

# PRG

# Photogrammetrie Fernerkundung Geoinformation

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

Jahrgang 2003, Heft 2

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

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

**Redaktionsbeirat** (Editorial Board): Ralf Bill, Christian Heipke, Olaf Hellwich,  
Barbara Koch, Hans-Gerd Maas, Jochen Schiewe, Matthäus Schilcher, Christiane  
Schmullius und Monika Sester.



E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung  
(Nägele u. Obermiller) Stuttgart 2003



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

---

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



International Society  
for Photogrammetry  
and Remote Sensing

**DAGM**

Deutsche Arbeits-  
gemeinschaft für  
Mustererkennung e.V.



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

---

Herausgeber:

© 2003 Deutsche Gesellschaft für Photogrammetrie, Fernerkundung und Geoinformation (DGPF) e.V.  
Geschäftsstelle: Dr. Klaus-Ulrich Komp, c/o EFTAS Fernerkundung Technologietransfer GmbH, Ostmarkstraße 92, D-48145 Münster, e-mail: Praesident@dgpf.de  
Internet: <http://www.dgpf.de>

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](mailto: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](mailto:Klaus.Szangolies@t-online.de)

Schriftleiter: Dr. rer.nat. Carsten Jürgens, Universität Regensburg, Institut für Geographie D-93040 Regensburg, Fax: 49-941-9434933, e-mail: [carsten.juergens@geographie.uni-regensburg.de](mailto:carsten.juergens@geographie.uni-regensburg.de) und Dr.-Ing. Eckhardt Seyfert, Landesvermessung und Geobasisinformation Brandenburg, Heinrich-Mann-Allee 103, D-14473 Potsdam, e-mail: [eckhardt.seyfert@lvermap.brandenburg.de](mailto:eckhardt.seyfert@lvermap.brandenburg.de)

Erscheinungsweise: 7 Hefte pro Jahrgang.

Bezugspreis im Abonnement: € 98,- 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](mailto:mail@schweizerbart.de), Internet: <http://www.schweizerbart.de>

Bernhard Harzer Verlag GmbH, Westmarkstraße 59/59a, D-76227 Karlsruhe, Tel.: 0721/944020, Fax: 0721/9440230, e-mail: [Info@harzer.de](mailto: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 2003, Heft 2

### Inhaltsverzeichnis

---

#### Originalbeiträge

GRUEN, A. & ZHANG, L.: Sensor Modeling for Aerial Triangulation with Three-Line-Scanner (TLS) Imagery .....	85
WÄLDER, O. & BUCHROITHNER, M.F.: Eine Anwendung von Spline-Verfahren zur DGM-Ausdünnung .....	99
CSAPLOVICS, E., NAUMANN, K. & WAGENKNECHT, S.: Beiträge zur Extraktion von Felskanten aus Airborne Laser Scanner Daten am Beispiel der Elbsandsteinformationen im Nationalpark Sächsische Schweiz .....	105
JARMER, T., UDELHOVEN, T. & HILL, J.: Möglichkeiten zur Ableitung Boden-bezogener Größen aus multi- und hyperspektralen Fernerkundungsdaten .....	115

#### Aus Wissenschaft und Technik

WIGGENHAGEN, M. & RAGUSE, K.: Entwicklung von Kenngrößen zur Qualitätsbeurteilung optischer Prozessketten .....	125
BRUNNER, K.: Frühe photogrammetrische Beiträge während deutscher Südpolar-Expeditionen .....	135

---

#### Berichte und Mitteilungen

##### Berichte

ISPRS Symposium Kommission VII, 3.–6. 12. 2002 in Hyderabad, Indien. .	143
Wechsel an der Spitze von CIPA .....	145
EuroSDR – European Spatial Data Research .....	145

##### Hochschulnachrichten

Hochschule Vechta .....	146
-------------------------	-----

##### Persönliches

Dr.-Ing. OTTO HOFMANN Ehrenmitglied der DGPF .....	148
--	-----

##### Buchbesprechungen

BECKEL, L. ....	148
DE LANGE, N. ....	149
OLBRICHT, G., QUICK, M. & SCHWEIKART, J. ....	150
SALLET, E. ....	152
BUHMANN, E. & WIESEL, J. ....	152
BILL, R., SEUSS, R. & SCHILCHER, M. ....	153
PATZL, C. ....	154

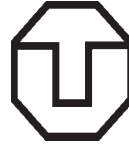
Vorankündigungen .....	155
------------------------	-----

Zum Titelbild .....	159
---------------------	-----

Neuerscheinungen .....	160
------------------------	-----

---

Fakultät Forst-, Geo- und Hydrowissenschaften  
Fachrichtung Geowissenschaften



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
DRESDEN

An der Fachrichtung Geowissenschaften der Technischen Universität Dresden ist zum frühestmöglichen Zeitpunkt eine

### **C3-Professur für Geoinformationssysteme**

zu besetzen.

Gesucht wird eine Persönlichkeit mit ausgewiesenen Lehr- und Forschungsqualitäten in konzeptionellen und algorithmischen Aspekten der raumbezogenen geowissenschaftlichen Datenverarbeitung. Er/sie soll Querschnittsaufgaben in den Studiengängen der Geodäsie, Geographie und Kartographie im GIS-Bereich in der Lehre wahrnehmen sowie Kernkompetenzen in den künftigen Masterstudiengang „Geoinformationswesen“ einbringen. Erwartet werden u.a. Lehrveranstaltungen zu den Themen Hard- und Softwaretechnik, Datenmodellierung, Geodatenformate, Datenanalyse, Geodatenvisualisierung und Web-basierte GIS-Technologien. Außerdem soll er/sie Lehrveranstaltungen zu Grundlagen und Anwendungen der Geoinformatik in den Studiengängen der Fachrichtung beitragen. In der Forschung soll er/sie sowohl grundlegende als auch anwendungsbezogene Fragestellungen der Geoinformatik mit interdisziplinären Methoden verfolgen. Zudem ist die Bereitschaft erwünscht, sich durch innovative Forschungsarbeiten aus dem GIS-Bereich in bestehende Aktivitäten der Fachrichtung zu integrieren.

Gesucht wird eine in Lehre und Forschung ausgewiesene Persönlichkeit mit der Fähigkeit zu fachübergreifender Kooperation. Die Bereitschaft zur Mitarbeit in den Gremien der akademischen Selbstverwaltung wird vorausgesetzt.

Die Bewerber/Innen müssen die Anforderungen zur Berufung zum Professor gemäß § 40 des Sächsischen Hochschulgesetzes vom 11.06.1999 erfüllen. Es wird darauf hingewiesen, dass sich die besoldungsrechtlichen Grundlagen im Laufe des Ausschreibungs- und Berufungsverfahrens aufgrund der – infolge bundesgesetzlicher Neuregelungen zur Reform der Professorenbesoldung – erforderlich gewordenen landesgesetzlichen Regelungen ändern können.

Frauen sind ausdrücklich zur Bewerbung aufgefordert. Bewerbungen Schwerbehinderter werden bei gleicher Eignung bevorzugt berücksichtigt.

Ihre Bewerbungen richten Sie bitte mit tabellarischem Lebenslauf, Lichtbild, Darstellung des wissenschaftlichen Werdeganges, Verzeichnis der wissenschaftlichen Publikationen, Verzeichnis der Lehrtätigkeit und beglaubigten Kopien von Zeugnissen und Urkunden bis zum 31.05.2003 an:

**Technische Universität Dresden, Herrn Prof. Dr. W. Killisch, Dekan der Fakultät Forst-, Geo- und Hydrowissenschaften, 01062 Dresden**

## Sensor Modeling for Aerial Triangulation with Three-Line-Scanner (TLS) Imagery

ARMIN GRUEN & ZHANG LI, Zürich

**Keywords:** photogrammetry, remote sensing, TLS (Three-Line-Scanner), sensor modeling, triangulation, GPS/INS integration, tie-point extraction

**Summary:** This article describes the sensor modeling and the photogrammetric triangulation procedure for the TLS (Three-Line-Scanner) system. This system is a new airborne digital sensor, developed by STARLABO Corporation, Tokyo jointly with the Institute of Industrial Science, University of Tokyo. It utilizes the Three-Line-Scanner principle to capture digital image triplets in along-strip mode. The imaging system contains three times three (RGB) one-dimensional CCD arrays, with 10200 pixels of 7  $\mu\text{m}$  each, mounted parallel to each other in the focal plane. They produce seamless high-resolution images (5–10 cm footprint on the ground) with three viewing directions (forward, nadir and backward). In order to get precise attitude data and high quality image data from an aerial platform, a high quality stabilizer stabilizes the camera and outputs attitude data at 500 Hz. A Trimble MS750 serves as Rover GPS and collects L1/L2 kinematic data at 5 Hz and another Trimble MS750 serves as Base GPS on the ground.

The position and attitude elements measured by the on-board GPS/INS do not refer to the perspective center of the imaging camera. Additionally, there is a boresight misalignment between the axes of the INS and the camera. These translational and rotational offsets have been taken into account in our sensor model and triangulation procedures. In our experiments, the following 3 trajectory models are evaluated: (a) Direct georeferencing with stochastic exterior orientations (DGR), (b) Piecewise Polynomials with kinematic model up to second order and stochastic zero and first order continuity constraints (PPM) and (c) Lagrange Polynomials with variable orientation fixes (LIM).

With different numbers and distributions of control points and tie points, 4.9–6.3 cm and 8.6–9.4 cm absolute accuracy in planimetry and height is achieved using the DGR model under

**Zusammenfassung:** *Sensormodellierung für die Aerotriangulation mit Bildern von Dreizeilenkamern (TLS).* Dieser Beitrag beschreibt die Modellierung des TLS (Three-Line-Scanner)-Systems und die dafür entwickelten Verfahren zur photogrammetrischen Triangulation. Dieses System, dessen Kernstück eine neue digitale Luftbildkamera darstellt, wurde von der Firma STARLABO Corporation, Tokyo in Zusammenarbeit mit dem Institut of Industrial Science, University of Tokyo entwickelt. Es arbeitet mit dem Drei-Zeilen-Prinzip, um digitale Mehrfachbildstreifen im simultanen Streifenverfahren zu generieren. Das Abbildungssystem besteht aus drei Paketen von je drei (RGB) eindimensionalen Linear Array CCD-Sensorelementen, mit 10200 Pixel pro Linie und einer Pixelgröße von 7  $\mu\text{m}$ , welche parallel zueinander in der Bildebene angeordnet sind. Diese produzieren eine simultane Dreifachabdeckung des Bodens (Vorwärts, Nadir, Rückwärts) mit hochauflösenden Bildern von 5 bis 10 cm Bodenpixelgröße. Das System wird standardmäßig auf einem Helikopter montiert, aber auch die Integration auf einer Flugzeugplattform ist möglich. Um genaue Winkelwerte für die äußere Orientierung und eine sehr gute Bildqualität bereits bei den Rohbildern zu bekommen, wird ein hochqualitativer Stabilisator mit einer Outputrate von 500 Hz eingesetzt. Ein Trimble MS750 dient als Rover GPS und sammelt L1/L2 kinematische Daten mit 5 Hz im differentiellen Modus.

Da die Daten der äußeren Orientierung sich nicht auf das Projektionszentrum der Kamera beziehen, müssen entsprechende Korrekturen in Kalibrierungs-, Georeferenzierungs- und Triangulationsverfahren eingebaut werden. Für diese Aufgaben haben wir insgesamt drei Trajektorienmodelle entworfen, implementiert und untersucht:

- Direkte Georeferenzierung mit stochastischer äußerer Orientierung (DGR),
- Stückweise Polynome, aufbauend auf einem

the condition that the GPS/camera displacement corrections have been applied. Moreover, with different numbers of spline sections or orientation fixes, 2.6–6.0 cm and 4.9–11.7 cm absolute accuracy in planimetry and height is attained using the PPM and LIM models. These results show that a ground point determination of 0.5–1.2 pixel accuracy in planimetry and 0.7–2.1 pixel accuracy in height has been achieved. The orientation parameter determination using the DGR model has the advantage of stability and needs less control points, but the obtained accuracy is better with the PPM and LIM models. This however is penalized by the need to have more well-distributed control and tie points.

kinematischen Modell zweiter Ordnung und stochastische Stetigkeitsbedingungen nullter und erster Ordnung (PPM), und

(c) Lagrange Polynome mit Orientierungsabschnitten variabler Länge (LIM).

Diese Trajektorienmodelle wurden als drei verschiedene Triangulationsverfahren realisiert und empirisch, das heißt mit Testfelddaten, untersucht. Unter Benutzung einer unterschiedlichen Anzahl und Verteilung von Passpunkten und Verknüpfungspunkten wurden mit der DGR-Methode Lagegenauigkeiten von 4.9–6.3 cm und Höhen-genauigkeiten von 8.6–9.4 cm erreicht, unter der Voraussetzung, dass die GPS/Kamera Offsetkorrekturen a priori angebracht wurden. Mit den PPM- und LIM-Methoden, unter Benutzung einer unterschiedlichen Anzahl von Splinesektionen und variablen Längen von Orientierungsabschnitten, wurden Lagegenauigkeiten von 2.6–6.0 cm und Höhen-genauigkeiten von 4.9–11.7 cm erreicht. Diese Ergebnisse zeigen, dass Bodenpunktgenauigkeiten von 0.5–1.2 Pixel in der Lage und 0.7–2.1 Pixel in der Höhe durchaus realistisch sind.

Dabei hat die DGR-Methode den Vorteil der generellen Einfachheit und Stabilität und benötigt die geringste Anzahl Passpunkte. Die beiden anderen Methoden dagegen haben ein höheres Genauigkeitspotenzial, aber ihr Einsatz erfordert eine ausgefeilte interne Qualitätskontrolle.

## 1 Introduction

During the last decade, in photogrammetry and remote sensing high spatial resolution digital sensors are being developed to collect panchromatic and multispectral imagery. Currently, most of these digital sensors are based on the Three-Line-Scanner principle. The use of three or more linear arrays in pushbroom mode is due to at least three good reasons: (a) matrix CCD array imaging systems with a comparable size are still not available, (b) the line sensors allow for a more flexible camera design and, (c) this new imaging mode allows for new and more powerful algorithmic approaches in data processing. Cameras based on linear CCD sensors like the Wide Angle Airborne Camera WAAC (BOERNER et al. 1997), the High Resolution Stereo Camera HRSC (WEWEL et al. 1999), the Digital Photogrammetric

Assembly DPA (HAALA et al. 1998) were the first digital systems being used for airborne applications. The first commercial line scanner Airborne Digital Sensor ADS40 was developed by LH Systems jointly with DLR and was introduced at the XIX<sup>th</sup> ISPRS Congress in Amsterdam (REULKE et al. 2000, SANDAU et al. 2000). In the year 2000, STARLABO Corporation, Tokyo designed a new airborne digital imaging system, the Three-Line-Scanner (TLS) system, jointly with the Institute of Industrial Science, University of Tokyo and completed in the meantime several test flights. The TLS system was originally designed to record line features (roads, rivers, railways, power-lines, etc) only, but later tests also revealed the suitability for general mapping and GIS-related applications. However, this was already conceived by MURAI & MATSUMOTO 2000 and MURAI 2001.

Georeferencing the image data of linear scanner systems is more complex compared to standard aerial triangulation. In traditional photogrammetric triangulation, the georeferencing problem is solved indirectly using some well-distributed control points and applying geometric constraints such as collinearity equations between the image points and object points. In principle, this approach can be transferred directly to line scanner imagery, but due to the instability of the platform during the scanning process the geometry of this imagery is much weaker compared to the traditional frame sensor imagery. Basically, the orientation parameters for all the image lines need to be recovered. In satellite platform applications this problem can partly be solved by modeling the trajectory by piecewise polynomial models, due to the fact that there is a high correlation between the orientation parameters of each scan line. In these models, only the polynomial parameters have to be recovered by using the control and tie points. Because of the high dynamics of the airborne environment and platform, the airborne digital sensors have to be integrated with high accuracy INS and GPS systems. This additional information allows for reducing the number of control points and enables even direct georeferencing of the linear array imagery. Nowadays, the integration of INS/GPS using the Kalman filter approach can reach a high absolute accuracy. For GPS, using the differential phase observations with rover-master receiver separation below 30 km, better than 10 cm absolute positional accuracy in airborne kinematic environments can be achieved (CANNON 1994, CRAMER 2000). Using a GPS-updated, high to medium accuracy inertial system for attitude determination, accuracies in the range of 10–30 arc sec can be obtained (SCHWARZ & WEI 1994, SKALOUZ 1999, CRAMER 2000). In a combined aerial triangulation approach, these parameters from the integrated INS/GPS system are used as additional weighted observations.

This article deals with the sensor modeling and the high precision georeferencing of the TLS imagery, collected with the Three-

Line-Scanner System developed by STARLABO Corporation, Tokyo. The next section describes briefly the TLS system. Then we report about the sensor model. Following that three different trajectory models and the corresponding combined triangulation approaches are introduced. In the final part the experimental results and conclusions will be provided.

## 2 The TLS System

The TLS (Three-Line-Scanner) system is a new airborne digital sensor, developed by STARLABO Corporation, Tokyo (MURAI & MATSUMOTO 2000, MURAI 2001, CHEN et al. 2001). It utilizes the Three-Line-Scanner principle to capture digital image triplets in along-strip mode. The imaging system contains three times three parallel one-dimensional CCD focal plane arrays, with 10200 pixels of 7  $\mu\text{m}$  each (Fig. 1). The TLS system produces seamless high-resolution images (5–10 cm footprint on the ground) with three viewing directions (forward, nadir and backward). There are two configurations for image acquisition. The first configuration ensures the stereo imaging capability, in which the three CCD arrays working in the green channels are read out with stereo angles of about 21 degrees.

The second configuration uses the RGB CCD arrays in nadir direction to deliver color imagery. In order to get precise attitude data and good quality raw image data from an aerial platform, a high quality stabilizer is used for the camera and outputs attitude data at 500 Hz. A Trimble MS750 serves as Rover GPS and collects L1/L2 kinematic data at 5 Hz and another Trimble MS750 serves as Base GPS on the ground. For the TLS sensor and imaging parameters see Tab. 1.

The TLS imaging system does not use the highest quality gyro system to achieve highly precise attitude data over long flight lines. Instead, a combination of a high local accuracy INS with the high global accuracy GPS is exploited. The rover GPS is installed on the top of the aircraft the INS and the TLS camera are firmly attached together.

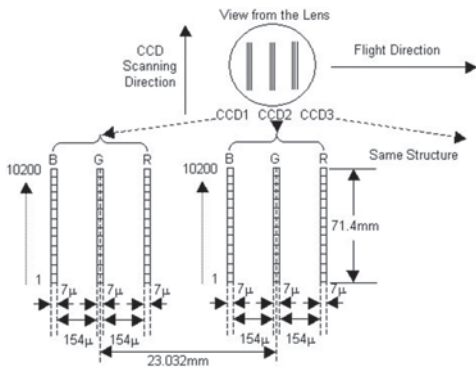


Fig. 1: TLS CCD sensor configuration.



Fig. 2: System configuration of the TLS system.

Tab. 1: TLS sensor and imaging parameters.

focal length	60.0 mm
number of pixels per array	10200
pixel size	7 μm
number of CCD focal plane arrays	3
stereo view angle	21/42° *
Field of view	61.5°
instantaneous field of view	0.0065°
scan line frequency	500 HZ

\* forward-nadir/forward-backward stereo view angle

Fig. 2 shows the configuration of the TLS components. After the collection of the GPS/INS raw data, the kinematic position and attitude data are calculated, but without use of a Kalman filter approach or anything equivalent. This results in large drift values for the INS observations, which currently have to be recovered, together with possible other systematic errors, by triangulation.

Unlike with frame-based photography, the three-line geometry is characterized by a nearly parallel projection in the flight direction and perspective projection perpendicular to that. Our sensor model for the TLS images is based on modified collinearity equations and uses different forms of trajectory models. These models are used for the improvement of the measured exterior orientation parameters for each scan line of TLS images by a modified photogrammetric bundle adjustment procedure, called TLS-LAB.

### 3 Sensor Modeling

Each scan line of the TLS image is collected in a pushbroom fashion at a different instant of time. Therefore, there is in principle a different set of values for the six exterior orientation parameters for each scan line. A good mathematical sensor model is needed to improve the time-dependent orientation elements of the TLS trajectory by photogrammetric triangulation.

At any given instant of time we can imagine the TLS CCD sensors to be positioned perpendicular to its flight trajectory at the instantaneous perspective center (Fig. 3). At

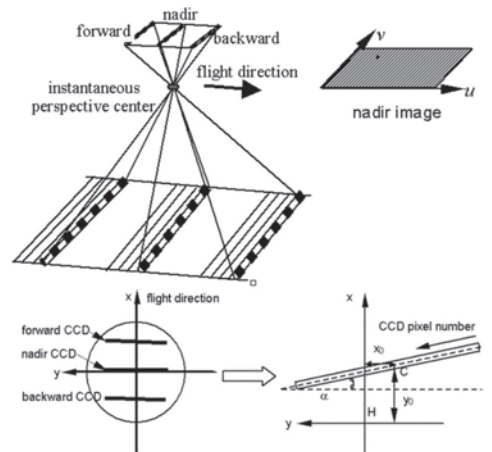


Fig. 3: TLS CCD sensor coordinate system definition and interior orientation parameters.

C: Center point of CCD linear array

H: Principal point

α: Inclination of CCD array to y-axis



this instant of time three lines of 10200 pixels each are acquired. With the movement of the aircraft three TLS image strips are constructed. In the TLS imagery the pixel coordinates of one certain point are given by its digital image column  $v$  and the scan line number  $u$ . We define the image coordinate system  $(x, y)$  as having its origin in the principle point of the focal plane and its  $x$ -axis perpendicular to the nadir CCD line. It is obvious that the image coordinates  $(x, y)$  of an image point are only related to the pixel coordinate  $v$  and the interior orientation parameters. After the interior orientation parameters and the lens distortion of the TLS camera have been estimated in the laboratory by a collimator device, the image coordinates  $(x, y)$  of a point can be computed by the following equations with respect to its pixel coordinate  $v$  (including a correction for radial distortion  $\Delta r$ ):

$$\begin{cases} x' = x_0 + (v - Midv) \times ps \times \sin \alpha \\ y' = y_0 + (v - Midv) \times ps \times \cos \alpha \\ \begin{cases} x = x' + \Delta r \times x' / r = I_x(v) \\ y = y' + \Delta r \times y' / r = I_y(v) \end{cases} \end{cases} \quad (1)$$

$$\text{and} \quad \Delta r = a_1 r + a_3 r^3 + a_5 r^5 \\ r = \sqrt{x'^2 + y'^2}$$

$(x_0, y_0)$  are the image coordinates of the center of the CCD arrays,  $\alpha$  is the inclination angle for the forward and backward CCD arrays to the image  $y$  axis,  $a_1$ ,  $a_3$  and  $a_5$  are radial symmetric lens distortion correction coefficients,  $Midv$  is the number of the CCD central pixel and  $ps$  is the pixel size (Fig. 3).

To relate the image coordinates  $(x, y)$  to the object coordinates  $(X, Y, Z)$  of a terrain point at any given instant, the following collinearity equations are used:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{bmatrix}_N + \lambda R(\omega, \varphi, \kappa)_N \begin{bmatrix} x \\ y \\ -c \end{bmatrix} \quad (2)$$

Here  $c$  is the calibrated camera constant;  $X_0$ ,  $Y_0$ ,  $Z_0$ ,  $\omega$ ,  $\varphi$  and  $\kappa$  are the exterior orientation parameters belonging to the  $N$ th scan

cycle. Assuming a constant scanning frequency  $f_s$ , the orientations parameters are functions of the pixel coordinate  $u$ :

$$u = f_s t \quad (3)$$

These orientation parameters can be measured by the onboard GPS/INS system directly, or estimated by means of a photogrammetric triangulation procedure with some well-distributed control points. The directly measured position and attitude elements  $(X_{GPS}, Y_{GPS}, Z_{GPS}, \omega_{INS}, \varphi_{INS}, \kappa_{INS})$  from the GPS/INS system do not refer to the perspective center of the imaging camera. The GPS antenna and the center of the INS unit are displaced from the camera, resulting in translational and rotational offsets (Fig. 2). Additionally, there is a bore-sight misalignment between the axes of the INS and the camera. These translational and rotational displacements should be corrected in order to obtain correct exterior orientation parameters for the instantaneous perspective center:

$$\begin{cases} X_0(t) = X_{GPS}(t) + \Delta X(t) \\ Y_0(t) = Y_{GPS}(t) + \Delta Y(t) \\ Z_0(t) = Z_{GPS}(t) + \Delta Z(t) \end{cases} \quad (4a)$$

$$\begin{cases} \omega(t) = \omega_{INS}(t) + \Delta \omega_{INS} \\ \varphi(t) = \varphi_{INS}(t) + \Delta \varphi_{INS} \\ \kappa(t) = \kappa_{INS}(t) + \Delta \kappa_{INS} \end{cases} \quad (4b)$$

Where  $(\Delta X, \Delta Y, \Delta Z)$  are translational displacement corrections between the GPS receiver and the TLS camera;  $(\Delta \omega_{INS}, \Delta \varphi_{INS}, \Delta \kappa_{INS})$  are INS errors including the bore-sight misalignment angles between the axes of the INS and the TLS camera.

The translational displacement vector between the GPS receiver and TLS camera can be determined using conventional terrestrial surveying methods after the installation of the TLS system in the aircraft. In the TLS system, the stabilizer keeps the camera pointing vertically to the ground in order to get high quality raw images, so the achieved attitude data from INS refers to the INS/camera body and not to the aircraft. For correction of this kind of displacement,

the aircraft attitude data should be recorded and used. In case of the TLS system this is done by mounting three GPS antennas on the aircraft, and deriving the attitude values from their coordinate recordings. We can measure the GPS-INS displacement when the system is in its initial status, then use the recorded aircraft attitude data to calculate the instant GPS-INS displacement at the same frequency as the aircraft attitude data. Using the same method, the INS-camera displacement vector can also be obtained. For the total GPS-camera displacement vector we obtain:

$$\begin{bmatrix} \Delta X(t) \\ \Delta Y(t) \\ \Delta Z(t) \end{bmatrix} = R(\Omega(t), \Phi(t), K(t)) \begin{bmatrix} T_X \\ T_T \\ T_Z \end{bmatrix}_{GPS/INS} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ s \end{bmatrix}_{INS/CAMERA} \quad (5)$$

Where  $(T_X, T_Y, T_Z)^T$  is the translational displacement vector between the GPS receiver and the INS;  $s$  is the vertical displacement between the INS and TLS camera. Since it is only about 20.3 cm in length its rotation can be neglected.  $(\Omega(t), \Phi(t), K(t))$  are the instantaneous attitude values for the aircraft. Due to the low accuracy of the aircraft attitude data (RMS of the directional values is  $0.3^\circ$ ), there should be some residual errors left in the position data for the perspective center of the camera. Assuming the maximum component of GPS-INS displacement vector is 2 meters, the error caused by the directional error of the aircraft attitude data could be 1–3 cm. This fact should be considered in the TLS sensor modeling.

The rotational offsets, i.e. the boresight misalignment between the INS sensor axes and the camera coordinate system cannot be observed via conventional surveying methods. The attitude errors of the INS system mainly consist of the constant offset  $(\omega_0, \varphi_0, \kappa_0)$  due to the incorrect initial alignment and the drift errors  $(\omega_j, \varphi_j, \kappa_j)$ . These errors have to be determined or corrected to obtain correct attitude data  $(\omega, \varphi, \kappa)$ .

$$\begin{cases} \Delta\omega_{INS} = \omega_0 + \omega_j t \\ \Delta\varphi_{INS} = \varphi_0 + \varphi_j t \\ \Delta\kappa_{INS} = \kappa_0 + \kappa_j t \end{cases} \quad (6)$$

By combining the equations from (1) to (6), the sensor model can be written as:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_{GPS}(t) \\ Y_{GPS}(t) \\ Z_{GPS}(t) \end{bmatrix} + R \begin{pmatrix} \Omega(t) \\ \Phi(t) \\ K(t) \end{pmatrix} \begin{bmatrix} T_X \\ T_Y \\ T_Z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ s \end{bmatrix} + \lambda R \begin{pmatrix} \omega_{INS} + \omega_0 + \omega_j t \\ \varphi_{INS} + \varphi_0 + \varphi_j t \\ \kappa_{INS} + \kappa_0 + \kappa_j t \end{pmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ -c \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$\text{Where } t = \frac{u}{f_s}; \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_x(v) \\ I_y(v) \end{bmatrix}$$

This expresses the relationship between the pixel coordinates  $(u, v)$  and the object coordinates  $(X, Y, Z)$ .

Equations (7) are the basic equations in the triangulation approach, which are appended by a trajectory model. The strength of the triangulation process with TLS data lies in the fact that at any instant of time there is only one set of orientations of the aircraft, yet there are three lines of data acquired. Measurements can be made in all three images, enabling each tie point to be located in three images and a good degree of redundancy to be achieved.

So far we have experimented with three different types of trajectory models: (a) Direct georeferencing with stochastic exterior orientations (DGR), (b) Piecewise Polynomials with kinematic model up to second order and stochastic zero and first order continuity constraints (PPM) and (c) Lagrange Polynomials with variable orientation fixes (LIM). The detailed formulation of our trajectory models is given in the next section.

## 4 Trajectory Models

### 4.1 Direct Georeferencing Model (DGR)

Under the condition that the attitude data of the aircraft was recorded successfully, the translational displacement vector can be cal-

culated and corrections can be made for the TLS positional data (equations (4) and (5)). Considering the errors of the aircraft attitude elements and the GPS errors, the positional data for the whole TLS trajectory can be modeled as:

$$\begin{aligned} X_0(t) &= X_{GPS}(t) + X_{off} \\ Y_0(t) &= Y_{GPS}(t) + Y_{off} \\ Z_0(t) &= Z_{GPS}(t) + Z_{off} \end{aligned} \quad (8)$$

Where  $(X_{off}, Y_{off}, Z_{off})$  are one set of unknown offset parameters to be estimated for the whole strip. Similarly, the INS error terms  $(\Delta\omega, \Delta\phi, \Delta\kappa)$  can be modeled by equations (6) for the whole trajectory.

Combining equations (6) to (8), the following observation equations for the triangulation procedure of TLS imagery can be formed:

$$\begin{cases} v_c = Ax_{off} + B_s x_s + B_d x_d + Cx_g - l_c; P_c \\ v_s = \phantom{Ax_{off}} \phantom{B_s} x_s \phantom{B_d} \phantom{Cx_g} - l_s; P_s \\ v_d = \phantom{Ax_{off}} \phantom{B_s} \phantom{B_d} x_d \phantom{Cx_g} - l_d; P_d \\ v_g = \phantom{Ax_{off}} \phantom{B_s} \phantom{B_d} \phantom{Cx_g} x_g - l_g; P_g \end{cases} \quad (9)$$

The first equation of this system is the linearized observation equation of (7) and  $x_{off}$  is the unknown positional offset vector;  $x_s$  and  $x_d$  are the unknown INS shift and drift terms respectively;  $x_g$  is the ground coordinates vector;  $A, B_s, B_d$  and  $C$  are the corresponding design matrices;  $v, l$  and  $P$  are the respective residual and discrepancy vectors and weight matrices.

This trajectory model allows the determination of 9 systematic error components, which are the remaining errors after the GPS-camera displacement vector and the INS error terms correction. The INS shift and drift terms and the ground coordinates are treated as stochastic variables. The triangulation procedure based on this trajectory model can thus be used for TLS system calibration and direct georeferencing as well.

#### 4.2 Piecewise Polynomial Model (PPM)

The piecewise polynomial model has been often used to model the platform trajectory with respect to time (LEE et al. 2000). In a

plain polynomial model, the values of the exterior orientation parameters are written as polynomial functions of time. The bundle adjustment solution determines the polynomial coefficients instead of the exterior orientation parameters themselves. Due to the instability of the high-order polynomial models here, the piecewise polynomial model is used, in which the full complex trajectory is divided into sections, with each section having its own set of low-order polynomials. Continuity constraints on the orientation parameters at the section boundaries ensure that the calculated positions and attitudes are continuous across the boundaries.

The piecewise polynomial model is used to model the translational displacement correction terms  $(\Delta X, \Delta Y, \Delta Z)$ . The model is described as:

$$\begin{aligned} \Delta X(t) &= x_0^k + x_1^k t + x_2^k t^2 \\ \Delta Y(t) &= y_0^k + y_1^k t + y_2^k t^2 \\ \Delta Z(t) &= z_0^k + z_1^k t + z_2^k t^2 \end{aligned} \quad (10)$$

for  $k = 1, 2, \dots, n_s$   
 $n_s = \text{number of polynomial segments}$

The INS errors are a function of time and most of the time-dependent errors follow a systematic pattern, so the INS error terms  $(\Delta\omega, \Delta\phi, \Delta\kappa)$  are modeled by equations (6) for the whole trajectory.

The total number of unknown parameters in this piecewise polynomial model with  $n_s$  segments is  $9 \times n_s + 6$ , i.e.

$$x_0^k, y_0^k, z_0^k, x_1^k, y_1^k, z_1^k, x_2^k, y_2^k, z_2^k, \quad (k = 1, 2, \dots, n_s)$$

and  $\omega_0, \phi_0, \kappa_0, \omega_1, \phi_1, \kappa_1$

There are two kinds of constraints that are applied to each parameter at the section boundaries. The zero order continuity constraints ensure that the value of the function computed from the polynomial in every two neighboring sections is equal at their boundaries, i.e.

$$\begin{cases} x_0^{k-1} + x_1^{k-1} t + x_2^{k-1} t^2 = x_0^k + x_1^k t + x_2^k t^2 \\ y_0^{k-1} + y_1^{k-1} t + y_2^{k-1} t^2 = y_0^k + y_1^k t + y_2^k t^2 \\ z_0^{k-1} + z_1^{k-1} t + z_2^{k-1} t^2 = z_0^k + z_1^k t + z_2^k t^2 \end{cases} \quad (11)$$

$k = 2, 3, \dots, n_s$

The first order continuity constraint requires that the slope, or first order derivative, of the functions in two adjacent sections is forced to have the same value at their boundary, i. e.

$$\begin{cases} x_1^{k-1} + 2x_2^{k-1}t = x_1^k + 2x_2^k t \\ y_1^{k-1} + 2y_2^{k-1}t = y_1^k + 2y_2^k t \\ z_1^{k-1} + 2z_2^{k-1}t = z_1^k + 2z_2^k t \\ k = 2, 3, \dots, n_s \end{cases} \quad (12)$$

All these constraints are treated as soft (weighted) constraints. The bundle adjustment solution determines the polynomial coefficients instead of the exterior orientation parameters themselves.

The overall estimation model results in:

$$\begin{cases} v_c = Ax_{dis} + B_s x_s + B_d x_d + Cx_g - l_c; P_c \\ v_1 = A_1 x_{dis} & -l_1; P_1 \\ v_2 = A_2 x_{dis} & -l_2; P_2 \\ v_s = & x_s & -l_s; P_s \\ v_d = & & x_d & -l_d; P_d \\ v_g = & & & x_g - l_g; P_g \end{cases} \quad (13)$$

The first equation of this system is the linearized observation equation of (7) and the following two equations are derived from the two kind of constraints;  $x_{dis}$  contains the unknown translational displacement correction terms ( $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$ ) for all spline sections;  $x_s$  and  $x_d$  are the unknown INS shift and drift terms respectively;  $x_g$  is the ground coordinate vector;  $A, A_1, A_2, B_s, B_d$  and  $C$  are the corresponding design matrices;  $v, l$  and  $P$  are the respective residual and discrepancy vectors and weight matrices. Through this consequent weighting scheme much flexibility is obtained with respect to the modeling of different trajectory conditions.

### 4.3 Lagrange Interpolation Model (LIM)

EBNER et al. 1992 developed the principle of orientation images or orientation fixes for the geometric in-flight calibration of MOMS imagery. This method is based on collinearity equations and the exterior orientation parameters are determined in the

so-called orientation fixes, which are introduced at certain time intervals. Between the orientation fixes, the exterior orientation parameters of an arbitrary scan line are interpolated using Lagrange polynomials. All unknown orientation parameters for these orientation fixes are estimated in a least squares adjustment procedure, and the parameters for each individual scan line are interpolated with its neighboring orientation fixes. The general form of the  $n$ -th order Lagrange polynomial is given as

$$P_n(t) = \sum_{i=0}^n P(t_i) \prod_{j=0, j \neq i}^n \frac{t - t_j}{t_i - t_j} \quad (14)$$

Where  $P_n(t)$  at time  $t$  is interpolated from the values  $P(t_i)$  at the  $n + 1$  neighboring orientation fixes with time  $t_i$ ;  $P_n(t)$  is any of the six exterior orientation parameters for a scan line at time  $t$ .

The interpolation function of order three has attracted most attention (EBNER et al. 1992, FRASER & SHAO 1996). In our experiments, we modified and adopted this method according to our sensor model with the provision of auxiliary position/attitude data generated by the GPS/INS system. In our case third-order Lagrange polynomials are used to model the aircraft attitude values ( $\Omega, \Phi, K$ ) instead of the translational displacement correction terms ( $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$ ) because the former are observations from the system and are related to the translational terms by equations (5). Linear Lagrange polynomials are used to model the INS errors ( $\Delta \omega, \Delta \varphi, \Delta \kappa$ ) because of their locally linear systematic pattern (FRASER & SHAO 1996).

After combining equations (7) and (14), the following observation equations for the combined triangulation procedure can be formed:

$$\begin{cases} v_c = Ax_a + Bx_{INS} & + Cx_g - l_c; P_c \\ v_t = & x_{INS} + B_s x_s + B_d x_d & -l_t; P_t \\ v_s = & & x_s & -l_s; P_s \\ v_d = & & & x_d & -l_d; P_d \\ v_g = & & & & x_g - l_g; P_g \end{cases} \quad (15)$$

The first equation of this system is the linearized observation equation of (7) and the se-

cond is a constraint which models the INS error terms in the whole trajectory as shift and drift terms.  $P_l$  controls the weight of this constraint.  $x_a$  is the unknown attitude parameter vector ( $\Omega$ ,  $\Phi$ ,  $K$ ) of the aircraft for the orientation fixes;  $x_{INS}$  is the unknown INS error ( $\Delta\omega$ ,  $\Delta\varphi$ ,  $\Delta\kappa$ ) vector for the orientation fixes;  $x_s$  and  $x_d$  are the unknown INS shift and drift terms respectively;  $x_g$  is the ground coordinates vector;  $A$ ,  $B$ ,  $B_s$ ,  $B_d$  and  $C$  are the corresponding design matrices;  $v$ ,  $l$  and  $P$  are the respective residual and discrepancy vectors and weight matrices.

If we have  $f$  orientation fixes and  $p$  tie/control points, there are  $6 \times f + 3 \times p + 6$  unknowns to be estimated in bundle adjustment. The selection of the number of orientation fixes depends on many factors. The software package ORIMA of LH Systems for their three-line scanner ADS40 triangulation procedure argues that the interval between two neighboring orientation fixes must be shorter than the ground distance corresponding to the „short base“ (the distance between the nadir and backward image lines) of the ADS40. For the TLS system, this corresponds to 3000–3600 scan lines. From our experiences, the orientation fixes interval of 2000 scan-lines (4 seconds flight time) is appropriate to model the TLS trajectory. The accuracy does not improve anymore by using a smaller interval below 1500 scan lines.

## 5 Tie Point Extraction

The DGR method, because of its low number of unknown orientation parameters (9), can work with only few tie and control points. If there are enough control points one could even do without extra tie points altogether. However, the triangulation procedures with the LIM and PPM trajectory models need a large number of tie points. A software package has been developed for tie point extraction from TLS imagery. Tie points can thus be extracted semi-automatically or fully automatically. Problems with fully automatic extraction might occur in low image contrast areas and forest areas. Also, the blunders need to be detected and

deleted. The image matching process is done in image space and exploits all three, i.e. forward, nadir and backward TLS images. In order to achieve sub-pixel accuracy the Least Squares Matching is used. The procedure runs as follows:

- The Foerstner interest operator is used to select well defined feature points that are suitable for image matching. When working in the semi-automatic mode, the user can select the match points in the nadir image. If the software works in fully automatic mode, the nadir-view image will be divided into small image windows ( $21 \times 21$  pixels) and then only one feature point will be extracted in each image window. In our implementation, the threshold for the Foerstner parameter roundness has been set to 0.85, the gray value variance of the image window is not allowed to drop below 20.

- Pixel accuracy level conjugate points are generated using the maximum of the normalized correlation coefficient. The positioning of the search areas is determined by using the already known tie/control points in the neighborhood. Image pyramids and a matching strategy based on region growing, which takes the already manually measured control points as seed points are used to get these approximate points. The threshold of the normalized correlation coefficient is 0.85.

- Least squares matching is finally used to refine the image coordinates of the tie points in order to achieve sub-pixel accuracy.

In our first test the semi-automatic tie point extraction strategy was used. Several hundreds of tie points are thus extracted in an interactive way. These tie points are introduced into the combined aerial triangulation procedure. In addition, the results of fully automatic tie point extraction are also reported.

## 6 Experimental Results

### 6.1 Image Data

In our experiments, TLS images in forward, nadir and backward views of Japan's GSI test area together with the position and attitude data of the sensor were used to eval-

luate the geometric accuracy of the TLS imagery and our triangulation approaches. The GSI test area is covered by a strip of 650 m  $\times$  2500 m. The footprint is about 5.6 cm. There are two versions of the trajectory data for the GSI area. One is the data that includes the GPS-camera displacement corrections and the other does not. The test area is relatively flat. All the 48 control points are signalized marks on the ground or on the top of buildings. The control points were measured using GPS and conventional total stations. The obtained accuracy was reported as 2 cm for the horizontal and 3 cm for the vertical components. The image coordinates of these points were measured manually in the TLS images.

## 6.2 Results of the DGR Model

The experiment with the DGR trajectory model was designed to test the overall performance of the whole sensor system. In a first step, the offsets between GPS receiver and the perspective center of the TLS camera, the INS shift and drift error terms and the misalignment angles were estimated by using a subset of the control points plus some check points, used as tie points here. Then these parameters were used to calculate the ground coordinates of the remaining checkpoints by equation (7). Tab. 2 gives the RMS values of the discrepancies for the checkpoints for the study area.  $\hat{\sigma}_0$  is the estimated standard deviation of unit weight.

**Tab. 2:** RMS values of checkpoint residuals for triangulation adjustments with the DGR trajectory model.

GPS-Camera Corrections	Control + Check Points	$\hat{\sigma}_0$ ( $\mu$ )	RMS X (cm)	RMS Y (cm)	RMS Z (cm)
No	4+44	13.7	7.2	8.8	17.2
	6+42	13.7	7.3	8.7	17.1
	8+40	13.8	7.2	8.8	16.6
	12+36	13.8	7.1	8.5	16.5
	18+30	13.8	7.2	8.4	16.3
	24+24	13.9	7.2	8.3	16.2
Yes	4+44	9.1	5.4	6.3	9.4
	6+42	9.1	5.4	6.1	9.1
	8+40	9.2	5.1	5.4	8.7
	12+36	9.2	5.5	6.0	8.6
	18+30	9.2	4.9	5.5	8.7
	24+24	9.3	4.9	5.4	8.8

The triangulation procedure gives better results when the GPS-camera displacement corrections are applied. With different numbers and distributions of control points, 4.9–6.3 cm and 8.6–9.4 cm absolute accuracy in planimetry and height are achieved. Due to the fact that the GPS-camera displacement corrections for each scan line are variable with time (equation (5)), the accuracy is worse with the trajectory data without the displacement corrections. Thus, 7.1–8.8 cm and 16.2–17.2 cm absolute accuracy in planimetry and height is achieved here. These results prove that the attitude data for the aircraft should be recorded and the GPS-camera displacement corrections need to be applied, at least for the DGR model, to achieve a reasonable accuracy.

However, the results are widely independent on the number of control points. For low accuracy applications, the DGR model is a good solution because it can achieve reasonable results with only 4–8 well-distributed control points. Also, the triangulation results with the DGR model can be used to detect and delete large-size blunders in the fully automatic tie point generation procedure.

## 6.3 Results of the PPM and LIM Models

Similar to the situation with frame-based images, the triangulation accuracy of TLS images with the PPM and LIM trajectory models is affected by the number of control points and their distribution. Also, the number of piecewise sections and orientation fixes will affect the resulting accuracy. Tab. 3 and 4 provide a summary of the accuracies obtained for the study area with the PPM and LIM models respectively. In these results, the tie points were measured semi-automatically. Tab. 5 gives the results with tie points extracted fully automatically.

With different numbers of spline sections or orientation fixes, 2.6–6.0 cm and 4.9–11.7 cm absolute accuracy in planimetry and height is attained using the PPM and LIM models. These results show that a ground point determination of 0.5–1.2 pixel accuracy in planimetry and 0.7–2.1 pixel

**Tab. 3:** RMS values for triangulation with the PPM trajectory model.

No. of Sections (Lines/Int.)	Control+Check+Tie Points	$\hat{\sigma}_0$ ( $\mu$ )	RMS X (cm)	RMS Y (cm)	RMS Z (cm)
3 (13610)	6+42+206	9.4	6.0	5.1	11.2
	12+36+206	9.5	5.3	4.8	10.9
	18+30+206	9.5	5.0	4.6	9.6
	24+24+206	9.4	4.9	4.7	9.1
	48+0+206	9.5	4.9	4.4	8.6
5 (8166)	6+42+206	7.8	5.9	5.6	10.7
	12+36+206	7.9	4.7	4.8	8.7
	18+30+206	8.0	4.7	4.8	8.7
	24+24+206	8.0	4.5	4.3	8.5
	48+0+206	8.1	4.0	4.1	8.2
11 (3712)	6+42+206	6.1	6.0	6.0	9.7
	12+36+206	6.3	4.9	4.6	8.7
	18+30+206	6.3	4.5	4.3	8.3
	24+24+206	6.4	4.3	4.1	7.9
	48+0+206	6.5	3.6	3.9	6.8
21 (1944)	6+42+206	4.8	5.3	5.6	8.8
	12+36+206	4.9	5.1	4.9	8.5
	18+30+206	5.0	4.7	4.1	7.9
	24+24+206	5.1	4.0	3.9	6.7
	48+0+206	5.3	3.5	3.1	6.0

accuracy in height are achieved. Given the same number of GCPs, the LIM model returns slightly better results than the PPM model, both in  $\sigma_0$  and in the RMS values for the check points. When evaluating the absolute accuracy level it should be noted that the signalized control points and check

**Tab. 4:** RMS values for triangulation with the LIM trajectory model.

No. of OFs (Lines/Int.)	Control+Check+Tie Points	$\hat{\sigma}_0$ ( $\mu$ )	RMS X (cm)	RMS Y (cm)	RMS Z (cm)
10 (4082)	6+42+206	5.8	4.5	4.5	11.7
	12+36+206	5.8	4.8	4.3	10.3
	18+30+206	5.9	4.2	3.9	8.7
	24+24+206	5.9	3.9	3.8	7.3
	48+0+206	6.0	3.7	3.6	6.4
20 (2040)	6+42+206	4.8	4.3	4.4	9.2
	12+36+206	4.9	4.2	4.1	9.7
	18+30+206	5.0	3.9	4.2	7.2
	24+24+206	5.1	3.4	4.1	6.8
	48+0+206	5.2	3.0	3.7	5.8
30 (1361)	6+42+206	4.6	4.0	4.1	8.8
	12+36+206	4.7	3.9	3.8	8.4
	18+30+206	4.8	3.7	4.1	7.1
	24+24+206	4.9	3.3	3.7	6.5
	48+0+206	5.0	2.8	3.0	5.3
40 (1020)	6+42+206	4.4	3.9	4.0	7.6
	12+36+206	4.4	3.7	3.7	7.4
	18+30+206	4.4	3.2	3.5	6.7
	24+24+206	4.6	3.2	3.5	6.4
	48+0+206	4.8	2.7	2.8	4.9

**Tab. 5:** RMS values for the triangulation with the LIM trajectory model and fully automatically measured tie points (40 orientation fixes).

Control+Check+Tie Points	$\hat{\sigma}_0$ ( $\mu$ )	RMS X (cm)	RMS Y (cm)	RMS Z (cm)
6+42+3654	4.8	3.1	3.7	8.2
12+36+3654	4.9	2.9	3.6	7.9
18+30+3654	5.0	2.6	3.4	7.9
24+24+3654	5.1	2.2	3.1	7.7

points are very small in the images (about 3–7 pixels diameter) and they were measured manually, which does not give the best possible accuracy. Also, the GPS-determined reference values were said to have already an inaccuracy of 2 cm in planimetry and 3 cm in height, accounting for roughly 50 % of the error budget.

Tab. 5 shows the triangulation results with the LIM model and fully automatically extracted tie points. In this result, the number of orientation fixes was set to be 40. The number of tie points after blunder cleaning is 3654 (in our experiments 5–10 % blunders are detected and deleted). The accuracy in height is slightly worse than the one with the semi-automatical tie point measurement version. This can be expected because there are some small size blunders left here.

In our systems we get high correlations between the estimated orientation parameters. By analysis of the covariance matrix of the estimated parameters, the correlations between the pitch (roll) values and the positional elements in X (Y) direction reach 90%. Therefore TLS image strips with different flight direction and different flying height should be used to de-correlate the estimated orientation elements, especially the estimated exterior orientation elements and interior orientation parameters, if used in a self-calibration procedure. The results of these works will be reported later.

### 6.4 Computing times

Computing times are of only temporary interest because they depend largely on the computer configuration used and on the status of software optimization. In the following we will give some numbers just for the

purpose of giving the reader some ideas about the coarse amount of CPU times needed to perform tie point extraction and triangulation. The number refer to the computer configuration DELL Optiplex GX1P with Pentium II processor at 450 MHz and 256 MB RAM. Also, at its current stage, the software is not fully optimized concerning speed. Improvements both on the software and hardware side will be made as the project progresses.

The automated extraction of 3654 tie points from an image triplet using cross-correlation takes 37 min. If the results obtained are refined by least squares matching an additional 80 min is added.

For triangulation with three image strips we obtain:

*DGR model:*

206 tie points: < 1/10 sec

*PPM model:*

206 tie points, 3 segments: 40 sec

206 tie points, 21 segments: 2.5 min

*LIM model:*

206 tie points, 5 segments: 20 sec in total  
206 tie points, 50 segments: 22 sec per iteration (2–3 iterations)

3654 tie points, 50 segments: 9 min per iteration (2–3 iterations)

In tie point extraction the computing times should depend linearly on the number of points extracted and on the method of matching used.

In triangulation we have to deal with more complex relationships. The main effort goes into the solution of the normal equations. Here the size and the sparsity of the normals is critical. The number of operations (and thus the CPU) goes with the  $n \times b^2$  law ( $n$  = number of unknowns,  $b$  = bandwidth). Therefore the number of segments and the number of tiepoints both have a significant influence. Some additional considerations apply if the inverse of the normals is computed for precision studies (this procedure is implemented, but not included in the given numbers).

## 7 Conclusions

The sensor model of the Three-Line-Scanner (TLS) system, developed by STARLABO Corporation, Tokyo has been described. Triangulation procedures with three different trajectory models have been developed: (a) Direct georeferencing with stochastic exterior orientations (DGR), (b) Piecewise Polynomials with kinematic model up to second order and stochastic zero and first order continuity constraints (PPM) and (c) Lagrange Polynomials with variable orientation fixes (LIM).

With different numbers and distributions of control points and tie points, 4.9–6.3 cm and 8.6–9.4 cm absolute accuracy in planimetry and height is achieved using the DGR model under the condition that the GPS/camera displacement corrections have been applied. Moreover, with different number of spline sections or orientation fixes, 2.6–6.0 cm and 4.9–11.7 cm absolute accuracy in planimetry and height is attained using the PPM and LIM models. These results show that a ground point determination of 0.5–1.2 pixel accuracy in planimetry and 0.7–2.1 pixel accuracy in height has been achieved. However, with the given data the accuracy limit of the system could not be fully explored, because both the image measurements and the accuracy of control and check points did not present the state-of-the-art.

Furthermore, the backward and forward images suffered under significant image blur, caused by lens imperfections.

The orientation parameter determination using the DGR model has the advantage of stability and needs less ground control points, but the obtained accuracy is better with the PPM and LIM models. This however is penalized by the need to have more well-distributed ground control and tie points with these latter models.

The CPU times indicate, while the software is not yet fully optimized in this respect and while they depend strongly on the computer configuration used, that they impose no real problem. The sensor model and the triangulation of relatively large blocks can be handled in reasonable time.



The major time factor relates to the extraction of tie points. Here high precision results are penalized by additional CPU efforts (least squares matching adds about 200 % CPU time to the crosscorrelation results). This must be compared to the times absorbed by manual measurements, and here we are by many factors faster. However, realistically, real-time performance cannot be expected from such a system.

The future experiments will include the triangulation procedure with self-calibration, using TLS multi- and cross-strips imagery, the detection of the small size blunders, the investigation of the effect of undetected small blunders and other issues. The covariance matrix of the estimated parameters is available for extensive theoretical precision studies of the different system configurations.

Currently, the TLS sensor is being replaced by a new camera, called STARIMAGER SI-200, which features a new, improved lens, 14 400 pixels per line and an additional infrared CCD line in the focal plane. Our future tests will include this new imagery as well.

### Acknowledgement

The authors would like to thank STARLABO Corporation, Tokyo for their project support and provision of the test TLS image data sets and control point coordinates.

### References

- BOERNER, A., REULKE, R., SCHEELE, M. & TERZIBASCHIAN, TH., 1997: Stereo Processing of Image Data from an Airborne Three-Line CCD Scanner. – The 3rd International Airborne Remote Sensing Conference and Exhibition, 7–10 July, Copenhagen, Denmark.
- CANNON, E., 1994: The Use of GPS for GIS Georeferencing: Status and Applications. – IAPRS, Vol. 30, Part 2: 163–172, Ottawa, Canada.
- CHEN, T., SHIBASAKI, R. & MORITA, K., 2001: High Precision Georeference for Airborne Three-Line Scanner (TLS) Imagery. – 3rd International Image Sensing Seminar on New Developments in Digital Photogrammetry, Sept. 24–27, Gifu, Japan, pp. 71–82.
- CRAMER, M., 2000: Genauigkeitsuntersuchungen zur GPS/INS-Integration in der Aerophotogrammetrie. – Dissertation, University of Stuttgart, Stuttgart, 120 pages.
- EBNER, H., KORNUS, W. & OHLHOF, T., 1992: A Simulation Study on Point Determination for The MOMS-02/D2 Space Project Using an Extended Functional Model. – IAPRS, Vol. 29, Part B4: 458–464, Washington, D.C.
- FRASER, C.S. & SHAO, J., 1996: Exterior Orientation Determination of MOMS-02 Three-Line Imagery: Experiences with the Australian Test Field Data. – IAPRS, Vol. 31, Part B3: 207–214, Vienna.
- HAALA, N., STALLMANN, D. & CRAMER, M., 1998: Calibration of Directly Measured Position and Attitude by Aerotriangulation of Three-Line Airborne Imagery. – IAPRS, Vol. 32, Part 3: 23–30, Budapest.
- LEE, C., THEISS, H.J., BETHEL, J.S. & MIKHAIL, E.M., 2000: Rigorous Mathematical Modeling of Airborne Pushbroom Imaging System. – Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, Vol. 66, No. 4, April, pp. 385–392.
- LH Systems ADS40 Airborne Digital Sensor – Digital Image Acquisition for Professionals, available on [ftp://ftp.gis.leica-geosystem.com/outgoing/docs/ada/ADS\\_40\\_Brochure.pdf](ftp://ftp.gis.leica-geosystem.com/outgoing/docs/ada/ADS_40_Brochure.pdf)
- MURAI, S., 2001: Development of Helicopterborne Three Line Scanner with High Performance of Stabilizer and IMU. – 3rd International Image Sensing Seminar on New Development in Digital Photogrammetry, Sept. 24–27, Gifu, Japan, pp. 1–3.
- MURAI, S. & MATSUMOTO, Y., 2000: The Development of Airborne Three Line Scanner with High Accuracy INS and GPS for Analysing Car Velocity Distribution. – IAPRS, Vol. 33, Part B2: 416–421, Amsterdam.
- REULKE, R., FRANKE, K.-H., FRICKER, P., POMIERSKI, T., SANDAU, R., SCHOENERMARK, M., TORNOW, C. & WIEST, L., 2000: Target Related Multispectral and True Color Optimization of the Color Channels of the LH Systems ADS40. – IAPRS, Vol. 33, Part B1: 244–250, Amsterdam.
- SANDAU, R., BRAUNECKER, B., DRIESCHER, H., ECKARDT, A., HILBERT, S., HUTTON, J., KIRCHHOFER, W., LITHOPOULOS, E., REULKE, R. & WICKI, S., 2000: Design Principle of The LH Systems ADS40 Airborne Digital Sensor. – IAPRS, Vol. 33, Part B1: 258–265, Amsterdam.
- SCHWARZ, K.P. & WEI, M., 1994: Aided Versus Embedded: A Comparison of Two Approaches to GPS/INS Integration. – Proc. IEEE Position

- Location and Navigation Symposium, April 11–15, Las Vegas, pp. 314–321.
- SKALLOUD, J., 1999: Optimizing Georeferencing of Airborne Survey System by INS/DGPS. – Dissertation, Calgary, Alberta, 210 pages.
- WEWEL, F., SCHOLTEN, F. & GWINNER, K., 1999: High Resolution Stereo Camera (HRSC) – Multispectral Data Acquisition and Photogrammetric Data Processing. – 4th International Airborne Remote Sensing Conference and Exhibition, Vol. I: 263–272, Ottawa, Canada.
- Anschrift der Autoren:  
Prof. Dr. ARMIN GRUEN  
ZHANG LI, M.Sc.  
Institute of Geodesy and Photogrammetry  
ETH-Hoenggerberg, CH-8093, Zürich  
Switzerland,  
e-mail: (agruen,zhangl)@geod.baug.ethz.ch
- Manuskript eingereicht: Oktober 2002  
Angenommen: November 2002

## Eine Anwendung von Spline-Verfahren zur DGM-Ausdünnung

OLGA WÄLDER & MANFRED F. BUCHROITHNER, Dresden

**Keywords:** cartography, digital terrain model (DTM), spline-method, Bezier-splines

**Zusammenfassung:** Ein spezielles Ausdünnungsverfahren für digitale Geländemodelle wird vorgestellt. Es reduziert in erster Linie den Speicheraufwand. Außerdem erhält es optimal die Struktur des ursprünglichen DGM für weitere Anwendungen. Als Ergebnis dieser Ausdünnung wird eine spezielle „Skin-Struktur“ des realen Georeliefs erzeugt. Zwei unterschiedliche Ansätze zur Modellierung der Stützpunkte dieser Skin-Struktur werden diskutiert. Diese einfachen und effizienten Ansätze werden am Beispiel zweier simulierter Oberflächen getestet und verglichen.

**Summary:** *An application of spline-methods for the thinning of digital terrain models.* A special method for thinning of digital terrain models is proposed. On one hand it helps to reduce the memory resources, on the other hand this approach optimally reproduces the original structure of the original DTM. As a result of this thinning we obtain a special „skin-structure“ of the real georelief. Two different methods for modeling the sampling points of this skin-structure are discussed. These simple and efficient approaches are applied to two simulated surfaces and the results are compared.

---

### 1 Problemstellung

Im Rahmen des Teilprojektes „Entwicklung und Anwendung von Methoden für die dreidimensionale Visualisierung der Marsoberfläche aus HRSC-Daten“ des Projektes „Mission Mars Express“ (MEX), unterstützt vom Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR), soll die Entwicklung bzw. Adaption von Methoden zur Visualisierung dreidimensionaler kartenverwandter Darstellungen auf der Basis von Daten der High Resolution Stereo Camera (HRSC) realisiert werden.

Die zu entwickelnden Methoden und Algorithmen dienen der prototypischen Erstellung von 3D-Karten. Die Relieferfassung der Marsoberfläche mittels HRSC ermöglicht eine verbesserte Darstellung morphologischer Formen und Zusammenhänge. Die Mission zum Planeten Mars ist für Ende 2003 geplant. Daher sollen die zu entwi-

ckelnden Ausdünnungsverfahren für die Reliefdaten zuerst an simulierten und später an realen Geo-Oberflächen getestet werden.

Ein optimiertes 3D-Netz, basierend auf den 3D-Punkten des aus HRSC-Daten abgeleiteten Geländemodells, soll generiert werden. Dazu wird eine spezielle Ausdünnung des DGM durchgeführt, die zu einer erheblichen Minimierung des Speicheraufwandes führt. Unter einem optimierten 3D-Netz ist in diesem Zusammenhang eine topologische Struktur aus einzelnen 2D-Flächen zu verstehen, welche das gegebene Gelände morphologisch ausreichend genau, d.h. die wesentlichen Gerippelinien berücksichtigend, und mit minimiertem Speicherbedarf abbildet.

### 2 Diskussion der Verfahren

Bei einer Polynomdarstellung einer Oberfläche wird die Z-Koordinate als Funktion

der Grundrisskoordinaten  $X, Y$  berechnet, KRAUS (2000), RENKA (1998):

$$Z = Z(X, Y) = a_1 + a_2X + a_3Y + a_4XY + a_5X^2 + \dots \quad (1)$$

Dabei werden die unbekanntenen Koeffizienten aus der folgenden Matrixgleichung bestimmt:

$$\begin{pmatrix} Z_1 \\ Z_2 \\ \dots \\ Z_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & X_1 & Y_1 & X_1Y_1 & \dots \\ 1 & X_2 & Y_2 & X_2Y_2 & \dots \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ 1 & X_n & Y_n & X_nY_n & \dots \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ \dots \end{pmatrix} \quad (2)$$

oder  $\underline{Z} = \underline{B}a$ , also  $\underline{a} = (\underline{B}^T \underline{B})^{-1} \underline{B}^T \underline{Z}$

Eine eindeutige Lösung von (2) kann ganz offensichtlich dann erreicht werden, wenn die Anzahl der unbekanntenen Variablen  $a_1, a_2, \dots$  und die Anzahl der Spalten und Zeilen in der Matrix  $B$  identisch ist. Wenn man nur von den  $z$ -Werten an vier Stützpunkten ausgeht, dazu aber als Zusatzinformation jeweils die zwei partiellen Ableitungen nach  $x$  und  $y$  an diesen Punkten bestimmt, dann können in der Polynomdarstellung (1) die Koeffizienten  $a_1, a_2, \dots$  eindeutig bestimmt werden, wie es schematisch in (3) dargestellt ist:

$$\underline{z} = [1, x, y, xy, x^2, y^2, \underline{y^3}, x^2y, xy^2, x^3y, xy^3]^T, \\ z(x, y) = \underline{z}^T \cdot \underline{1}, \\ \underline{a} = [a_1, \dots, a_{12}],$$

dann

$$Z(x, y) = \underline{z}^T \cdot \underline{a} \quad \text{und}$$

$$\begin{bmatrix} z(x_i, y_i) \\ \frac{\partial z(x_i, y_i)}{\partial x} \\ \frac{\partial z(x_i, y_i)}{\partial y} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 \\ \dots \\ a_{12} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_i \\ \frac{\partial Z_i}{\partial x} \\ \frac{\partial Z_i}{\partial y} \end{bmatrix} \Rightarrow$$

$$\begin{bmatrix} a_1 \\ \dots \\ a_{12} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} z(x_i, y_i) \\ \frac{\partial z(x_i, y_i)}{\partial x} \\ \frac{\partial z(x_i, y_i)}{\partial y} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} Z_i \\ \frac{\partial Z_i}{\partial x} \\ \frac{\partial Z_i}{\partial y} \end{bmatrix}$$

für  $i = 1, \dots, 4$ .

(3)

Auf ähnlichen Prinzipien werden die sogenannten *Bezier-Patches*, *B-Splines* oder *Bezier-Splines* aufgebaut, FARIN (1994). In dieser Darstellung werden zusätzliche Informationen über die erste und höhere Ableitungen in den Stützpunkten berücksichtigt. Dies führt dazu, dass stetige und differenzierbare Übergänge zwischen Bezier-Flächen geschaffen werden können. Darstellung (3) bezeichnen wir weiterhin als *Bezier-Fläche*. Bei Einbindung zusätzlicher Information mittels Bruchkanten werden rechteckige Maschen durch trapezförmige ersetzt. In diesem Fall wird nur die Stetigkeit der Übergänge an den Kanten verlangt.

Nun soll dieser Ansatz zur Modellierung eines optimierten 3D-Netzes verdeutlicht werden. Wir setzen die Existenz eines digitalen Geländemodells voraus. Es soll mittels einer Approximation durch Bezier-Flächen so dargestellt werden, dass einerseits eine Minimierung des Speicherbedarfs gewährleistet und andererseits der vorgegebene Genauigkeitsrahmen auch ohne explizite Integration von Bruchlinien eingehalten wird. Es werden zwei Ansätze zur Modellierung der Stützpunkte eines solchen 3D-Netzes diskutiert: Eine *totale Filterung* und eine nach bestimmten Optimalitätskriterien *gesteuerte Auswahl* von Punkten des DGM. Beide Modelle liefern als Ergebnis eine Transformation der Grundebene  $XY$  in eine räumliche Fläche.

**Totale Filterung.** Ein Raster-DGM soll auf ein gröberes Gitter projiziert werden. Alle vier Punkte einer Masche  $ACBD$  erhalten ihre  $Z$ -Werte folgendermaßen (siehe Abb. 1). Im benachbarten Bereich wird der  $Z$ -Wert für Punkt  $A$  ( $B, C, D$  analog) als der gewichtete Mittelwert der  $Z$ -Werte der dort platzierten Punkte des DGM (in Abb. 1 mit „x“ gekennzeichnet) gebildet. Die Bestimmung dieser Gewichte wird unten diskutiert. Auf dieses gröbere Gitter werden dann Bezier-Flächen mit stetigen und differenzierbaren Übergängen angepasst. Die partiellen Ableitungen für Punkt  $A$  ( $B, C, D$  analog) werden durch die Differenz der gewichteten Mittelwerte der  $Z$ -Werte der Punkte, die in den entsprechenden Hälften

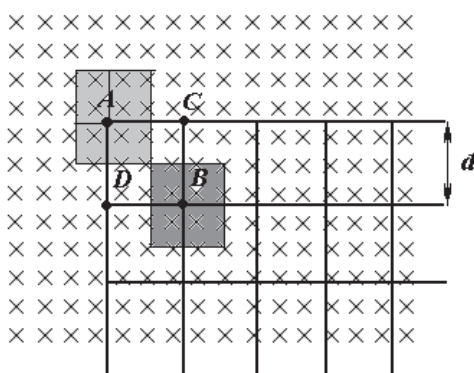


Abb. 1: Zur Ausdünnung des DGM.

des gekennzeichneten Bereiches liegen, berechnet, vgl. MENZ (1998):

$$\frac{\partial Z}{\partial x} \approx \frac{E_r - E_l}{d/2}, \tag{4}$$

$$\frac{\partial Z}{\partial y} \approx \frac{E_o - E_u}{d/2}.$$

$d$  bezeichnet hier die Breite des groben Gitters,  $E_r, E_l, E_o, E_u$  sind die Mittelwerte der  $Z$ -Werte in den rechten, linken, oberen und unteren Halfen des in Abb. 1 gekennzeichneten Bereichs.

Anschließend wird die gesamte absolute Abweichung der wahren  $Z$ -Werte der Punkte aus dem DGM von den mittels der angepassten Bezier-Fläche geschätzten Werten berechnet. Liegt diese Abweichung im zulässigen, a priori vorgegebenen, Genauigkeitsbereich, so wird die Masche mit den Polynomkoeffizienten  $a_i, i = 1, \dots, 12$  der entsprechenden Bezier-Fläche abgespeichert, vgl. (3). Wenn diese Voraussetzung nicht erfüllt wird, so wird die betroffene Masche bei der nächsten Schleife des Algorithmus nochmals „geviertelt“.

Die gewichteten Mittelwerte können auf unterschiedliche Weise berechnet werden. Als häufig verwendetes diskretes Verfahren soll hier die Methode der inversen Distanzen erwähnt werden. In etwas allgemeinerer Form lässt sich die Gewichtung hierbei folgendermaßen darstellen:

$$w_i = \frac{F(d_i)}{W}, W = \sum_{i=1}^n w_i, i = 1, \dots, n. \tag{5}$$

$F(d_i)$  ist ein Einflussfunktional,  $d_i$  stellt den Abstand zwischen dem  $i$ -ten Punkt und der Stelle, an der geschätzt werden muss, dar,  $n$  ist die Anzahl der bei der Schätzung berücksichtigten Punkte. Im Fall der gewöhnlichen Methode der inversen Distanzen benutzt man ein Einflussfunktional der Form

$$F(d_i) = \frac{1}{d_i^2}, i = 1, \dots, n. \tag{6}$$

Der maximal mögliche Abstand zwischen den Punkten kann die „natürliche“ Grenze des Definitionsbereiches des Einflussfunktionales beschreiben. Der mit zunehmendem Abstand nachlassende Einfluss lässt sich beispielsweise mit einer monoton fallenden exponentiellen Funktion darstellen.

**Gesteuerte Auswahl von Punkten des DGM.**

Es sei angenommen, dass bezüglich der Daten eines DGM außer den Koordinaten keine weiteren Beziehungsverhaltnisse (Höhen- oder Gerippelinien) abgeleitet werden sollen, da dies zusätzlichen Rechenaufwand erfordert. Eine Verdünnung muss dann so ablaufen, dass man in einer Gruppe von Punkten den „wichtigsten, unverzichtbarsten“ entdeckt. Die Fähigkeit des ausgewählten Punktes, die Struktur seiner Gruppe widerzuspiegeln, kann berücksichtigt werden.

Ein bekanntes Kriterium für eine solche Auswahl stellt die so genannte Entropie dar. Bei dieser gibt es durchaus unterschiedliche Definitionen. In der Stochastik wird die Entropie auf der Basis der Verteilung einer Zufallsgröße eingeführt. Von den diskreten Verteilungen liefert die Gleichverteilung den maximalen Wert der Entropie, unter den stetigen Verteilungen stellt die Normalverteilung als Extremfall den Fall vom maximalen Chaos dar. Im Fall einer deterministischen Betrachtungsweise muss nach einem Maß gesucht werden, welches den Informationsgehalt jedes Punktes in der Gruppe erfasst. Jener Punkt, der mittels seiner Nachbarpunkte am schlechtesten geschätzt werden kann, wird als der erkannt, welcher am not-

wendigsten ist, auf den somit nicht verzichtet werden kann. Zum Beispiel kann dies der Punkt mit dem maximalen Schätzfehler, bestimmt durch eine Cross-Validation, sein.

Auf der Grundlage des Entropieansatzes, vgl. SHANNON & WEAVER (1963), kann ein Entropie-Maß in der folgenden Form abgeleitet werden:

$$e = \frac{1}{\max(\sigma_i)}, i = 1, \dots, n(M) \quad (7)$$

mit

$$\sigma_i = (Z_i - \hat{Z}_i)^2, \quad (8)$$

wobei  $\hat{Z}_i$  ein Schätzwert für den wahren  $Z_i$ -Wert auf der Basis der  $Z$ -Werte der übrigen Maschenpunkte einer Masche  $M$  des Gitters ist, und  $n(M)$  die Anzahl der Punkte dieser Masche darstellt.

Nun ist derjenige Punkt in dem Punkt  $A$  benachbarten Bereich (siehe Abb. 1) zu finden, bei dem die Schätzvarianz  $\sigma_i$  aus (8) den maximalen Wert annimmt. Dann wird der  $Z$ -Wert dieses Punktes als der Schätzwert für den entsprechenden Stützpunkt  $A$  der Bezier-Fläche verwendet.

Anschließend soll das Gütemaß für jede Bezier-Fläche geprüft werden. Diskrete Interpolationsmethoden bieten unterschiedliche Ansätze zur Abschätzung ihrer Genauigkeit an. Als Alternative zu der klassischen Methode der minimalen Quadrate kann auch die bereits erwähnte Cross-Validation-Methode benutzt werden: Ein Punkt des DGM unter der Bezier-Fläche wird „weg gestrichen“, und eine Flächengleichung basierend auf den restlichen Punkten wird anschließend hergeleitet. Die absolute Differenz zwischen dem wahren  $Z$ -Wert dieses Punktes und seinem Schätzwert, abgeleitet aus der Flächengleichung, stellt somit den Schätzfehler dar. Wird dies sukzessiv für alle Punkte durchgeführt, so liegt eine komplette Erfassung des Schätzfehlers vor, die Genauigkeit des Modells kann somit flächendeckend analysiert werden. Um hohen Rechenaufwand zu vermeiden, kann diese Methode auf je einen zufällig ausgewählten Punkt für jede Bezier-Fläche angewendet

werden. Es können aber mehrere Punkte auf einmal weg gestrichen werden. Klarerweise wird dann der Wert der auf diesen alternativen Wegen berechneten Genauigkeit von dem klassischen Schätzfehler der Cross-Validation-Methode abweichen.

### 3 Vergleich der Verfahren

Beide Ansätze werden anhand von zwei Beispielen verglichen. Die beiden unten angeführten Oberflächen werden jeweils auf einem  $(x, y)$ -Gitter,  $0 \leq x, y \leq 1$  mit Maschenweite 0.02 erzeugt (siehe Abb. 2 und 3). Diese einfachen Oberflächen erfüllen dann die folgenden Gleichungen:

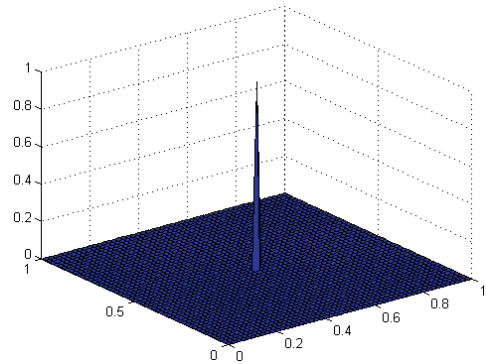


Abb. 2: Beispiel 1: Oberfläche mit einem auffälligen Maximum.

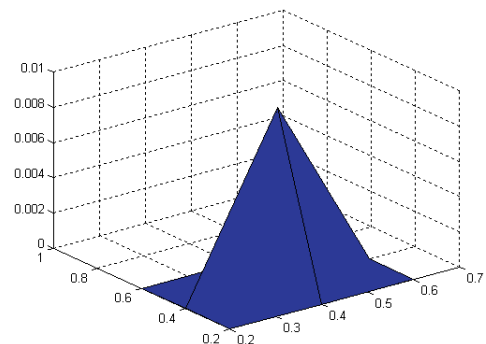
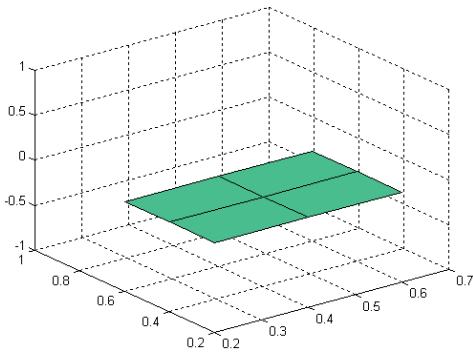
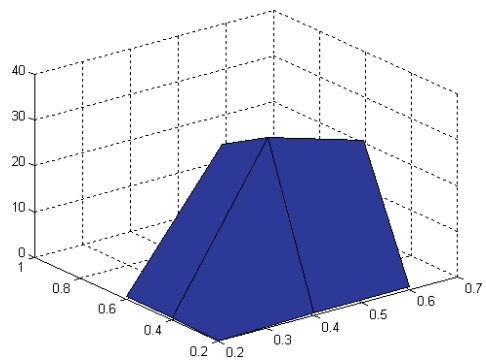


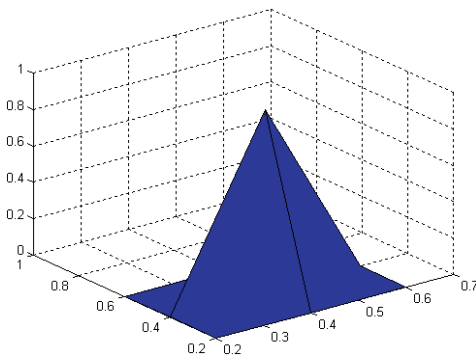
Abb. 2a: Beispiel 1: Totale Filterung mit einfachem arithmetischem Mittel. Ergebnis: Beinahe Null-Fläche.



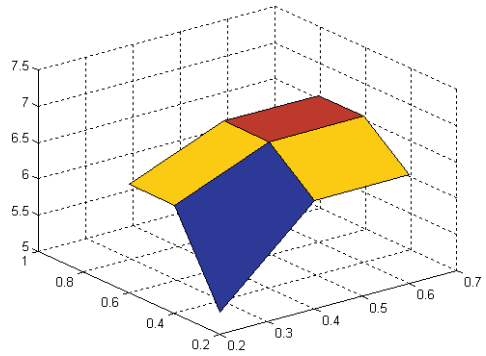
**Abb. 2b:** Beispiel 1: Totale Filterung mit der Methode der inversen Distanzen. Ergebnis: Beinahe Null-Fläche.



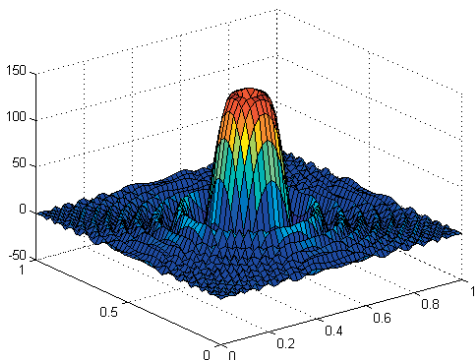
**Abb. 3a:** Beispiel 2: Totale Filterung mit einfachem arithmetischem Mittel.



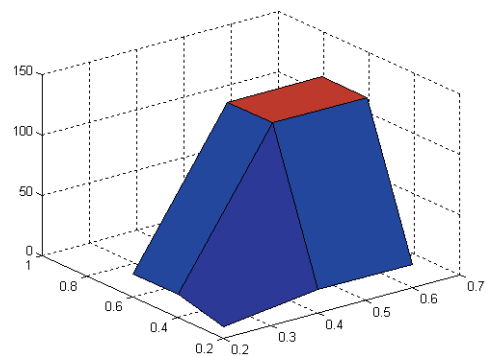
**Abb. 2c:** Beispiel 1: Gesteuerte Filterung.



**Abb. 3b:** Beispiel 2: Totale Filterung mit der Methode der inversen Distanzen.



**Abb. 3:** Beispiel 2: Glatte wellenförmige Oberfläche. Achtung: Maßstabsänderung bei Z-Koordinate in Abb. 3a–3c.



**Abb. 3c:** Beispiel 2: Gesteuerte Filterung.

Beispiel 1:

$$z(x, y) = \begin{cases} 1, & (x, y) = (0.5, 0.5) \\ 0, & \text{sonst} \end{cases} \quad \text{und}$$

Beispiel 2:

$$z(x, y) = \frac{\sin(150(x-0.5)^2(y-0.5)^2)}{0.0001 + (x-0.5)^2 + (y-0.5)^2}. \quad (9)$$

Es soll nun eine Ausdünnung dieser Flächen auf ein gröberes Gitter der Maschenweite 0.2, also um einen Faktor 10 größer, erfolgen. Die totale Filterung wird sowohl mittels des einfachen arithmetischen Mittelwertes (Abb. 2a und 3a) als auch mit der Methode der inversen Distanzen (Abb. 2b und 3b) durchgeführt. Für die gesteuerte Auswahl von Punkten des DGM (Abb. 2c und 3c) wird der arithmetische Mittelwert als Schätzwert in (8) benutzt. Entsprechende Algorithmen wurden mit der mathematischen Software MATLAB realisiert. Die Genauigkeit der entsprechenden Bezier-Flächen, d.h. die nicht gemittelte Summe der Abweichungen über alle Maschen, sowie der Maximalwert der Oberflächen werden verglichen.

#### 4 Diskussion und Ausblick

In diesem Vergleich wurde festgestellt, dass die totale Filterung einerseits zu einer starken Verfälschung der Extreme und andererseits zu einer gleichzeitigen Erhöhung der Genauigkeit im Vergleich zur gesteuerten Auswahl führt. Dieses Ergebnis steht in Übereinstimmung mit den Aussagen aus der Optimierungstheorie. Die Genauigkeit bezieht sich auf die Gesamtabweichung zwischen wahren und durch Bezier-Flächen berechneten Werten. In einigen praktischen Fällen ist es aber wichtiger, die Extrema bei der Ausdünnung zu bewahren, etwa um maßstabtreue 3D- und 4D-Darstellungen von Oberflächen zu ermöglichen. Ein solches Beispiel soll später die 3D-Visualisierung der Oberfläche des Mars liefern, dessen Relief eine Mischung aus großflächigen Wüstenplateaus, tiefen Grabenstrukturen und hohen Bergen darstellt. Hier kann der Algorithmus zur gesteuerten Auswahl von Punkten von Nutzen sein. Als nächster

Schritt werden derzeit Untersuchungen zu Effizienz, Formerhaltung, Speicherbedarf und Rechenzeit am Beispiel eines hochalpinen Testgebietes untersucht. Dabei wird auch ein Vergleich mit anderen Ausdünnungsmethoden durchgeführt.

#### Danksagung

Die vorliegende Arbeit wurde im Rahmen des MEX-Projektes, das durch die finanzielle Unterstützung des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR) ermöglicht wird, am Institut für Kartographie der TU Dresden angefertigt. Dank schulden die Autoren Prof. SIEGFRIED MEIER, Institut für Planetare Geodäsie der TU Dresden, der sie mit Diskussionen unterstützt hat.

#### Literatur

- FARIN, G., 1994: Kurven und Flächen in Computer Aided Geometric Design: Eine praktische Einführung. – Translation Copyright bei Vieweg, Braunschweig/Wiesbaden.
- KRAUS, K., 2000: Photogrammetrie, Band 3, Topographische Informationssysteme. – Dümmler, Köln.
- MENZ, J., 1998: Differentiation mit Faltungsoperatoren, Affintransformation bei geometrischer Anisotropie und Schichtdickenbestimmung. – Forschungsbericht zu DFG III 03-Me 1111/2-1, Freiberg.
- RENKA, R.J., 1988: Multivariate Interpolation of Large Sets on Scattered Data. – ACM Transactions on Mathematical Software, **14**, 2: 139–148.
- SHANNON, C.E & WEAVER, W., 1963: Mathematical Theory of Communication. – University of Illinois Press, Illinois.

Anschrift der Verfasser:

Dr. rer. nat. OLGA WÄLDER,  
Prof. Dr. phil. habil. MANFRED BUCHROITHNER  
Institut für Kartographie, TU Dresden  
Mommsenstrasse 13, 01062 Dresden  
Tel.: 0351-4633-6200 und 0351-4633-4809  
Fax: 0351-463-3-7028, e-mail:  
Olga.Waelder@mailbox.tu-dresden.de &  
Manfred.Buchroithner@mailbox.tu-dresden.de

Manuskript eingereicht: August 2002  
Angenommen: Dezember 2002



## Beiträge zur Extraktion von Felskanten aus Airborne Laser Scanner Daten am Beispiel der Elbsandsteinformationen im Nationalpark Sächsische Schweiz

ELMAR CSAPLOVICS, Dresden, KATHLEEN NAUMANN, Wien & STEFAN WAGENKNECHT, Dresden

**Keywords:** topography, airborne laser scanner data, extraction of rock edges, Elbe sandstone formations in Saxony

**Zusammenfassung:** Die topographische Modellierung von Felsgebieten mit hoher Reliefenergie und dichter Bewaldung ist mit traditionellen Methoden nur unter großem Aufwand und mit entsprechend großen Ungenauigkeiten möglich. Airborne Laser Scanner erfassen sowohl die Vegetationsoberfläche (Kronendach) als auch die Geländeoberfläche durch Laserpunkte mit hoher Lage- und Höhengenaugigkeit. Durch die große Punktdichte können auch Brüche und Kanten im bewaldeten Gelände in guter Näherung dokumentiert werden. Die Grenzen der Effizienz von Laserdaten zur Beschreibung zerklüfteter Terrains in Waldgebieten liegen jedoch einerseits in der Undurchdringbarkeit des Kronendaches sehr dichter Bestände, andererseits in der eingeschränkten Unterscheidbarkeit von Fels- und Kronenreflexion im Falle ähnlicher Höhenverhältnisse. Diese Einschränkungen liegen im Falle der Elbsandsteinlandschaft des Nationalparks Sächsische Schweiz vor. Im Rahmen eines übergeordneten transnationalen Projektes befasste sich daher eine Teilstudie mit der Untersuchung von Möglichkeiten, durch semi-automatische Ansätze der Laserdatenbearbeitung sowohl ausreichend genaue Terrainmodelle im Allgemeinen als auch weitestgehend exakte Dokumentation von solitären Felsformationen im bewaldeten Umfeld im Speziellen zu erreichen. Insbesondere durch Methoden der digitalen Bildverarbeitung von Laserdatensätzen lassen sich Felskanten mit sehr guter Genauigkeit extrahieren und können in Folge in die topographische Modellierung des Terrains integriert werden.

**Summary:** *Contributions to the Extraction of Rock Edges from Airborne Laser Scanner Data – Case Study of Elbe Sandstone Formations in the National Park Saxon Switzerland.* Traditional methods of topographic modelling meet their limits if applied to rock formations in forested areas. Airborne laser scanning collects densely distributed data of the reflecting surfaces with highest spatial accuracies. Forest canopies as well as ground surfaces can be detected. Thus morphological edges of the terrain are detectable as well. Airborne laser scanning meets its limits, if the terrain is covered by very dense forest stands, as penetration of the canopy will not be possible even under very high laser pulse frequencies. On the other hand, similar surface heights of forest canopies and adjacent rock surfaces create problems of classification. The region of the limestone landscapes along the Elbe river, protected by the National Park Sächsische Schweiz, represents the perfect real-world example of these terrain conditions. As one of many other multithematic activities in the frame of a complex transnational project, the presented study focussed on the analysis of possibilities to extract rock formations from laser scanner data by applying methods, which take into account the specific constraints and at the same time allow for highest accuracies of the digital documentation of the rock formations. It was learned that semi-automatic approaches to laser data specification and representation supported by topographic information systems and digital image analysis show quite remarkable results. Especially the application of methods of digital image filtering proved for a high efficiency in extracting edges of rock formations, which can then be integrated with over-all topographic modelling.

## 1 Einleitung

Die Elbsandsteinlandschaft ist eine von der Elbe und deren Nebenflüssen geformte Erosionslandschaft der Kreidezeit. Mächtige Sandablagerungen wurden durch tektonische Bewegungen in ein System sich kreuzender und paralleler Klüfte gegliedert (Quadersandstein). Die Landschaft gliedert sich in drei Stockwerke, denen sich charakteristische Formengruppen wie Tafelberge, Einzelfelsen, Riffe, Ebenheiten, Täler und Gründe zuordnen lassen. Die Schroffheit der Felsstandorte und die Vielzahl der Formen auf engstem Raum begründen die Einzigartigkeit der Landschaft und schaffen die Voraussetzungen für hochspezialisierte Tier- und Pflanzengesellschaften (RIEBE et al. 1999) (Abb. 1).

Aufgrund der unverwechselbaren naturräumlichen Ausstattung bestehen seit über 100 Jahren intensive Naturschutzbestrebungen. Sowohl die Sächsische Schweiz als auch

die Böhmisches Schweiz sind mittlerweile zu Nationalparks erklärt worden. Der 93 km<sup>2</sup> große Nationalpark Sächsische Schweiz besteht aus zwei räumlich getrennten Teilgebieten, welche in das 275 km<sup>2</sup> umfassende Landschaftsschutzgebiet Sächsische Schweiz eingebettet sind. Landschaftsschutzgebiete und Nationalparke auf deutscher und tschechischer Seite definieren zusammen die Nationalparkregion Sächsisch-Böhmische Schweiz mit einer Fläche von insgesamt ca. 700 km<sup>2</sup> (WÄCHTER 1998, Nationalparkverwaltung Sächsische Schweiz 1999).

Der großflächige schutzbedürftige Landschaftsraum ist vielfältigen Belastungen ausgesetzt.

Grundbaustein für eine multithematische und multitemporale Datenauswertung zur Lösung vielschichtiger Nutzungskonflikte mit dem Ziel, bedrohte Naturräume vor jeglicher Beeinträchtigung zu schützen, ist eine hochgenaue räumliche Bezugsebene. Dieses



**Abb. 1:** Typische Landschaft in der Sächsischen Schweiz (aus HANLE 1992).

Erfordernis gewinnt um so mehr an Bedeutung, wenn man sich den Einfluss der Geländemorphologie auf eine Vielzahl biotischer und abiotischer Faktoren verdeutlicht. Die Herausbildung eines spezifischen Mikroklimas, kleinräumiger Biotopwechsel, vielfältige Flora und Fauna und nicht zuletzt Waldstufeninversion stehen in direktem Zusammenhang mit der markanten Zerklüftung des Geländes. Der Aufbau eines exakten digitalen Geländemodells (DGM) war deshalb mit vorderster Priorität voranzutreiben (WAGENKNECHT & CSAPLOVICS 2000).

## 2 Laser Scanner Daten des Nationalparks Sächsische Schweiz

Airborne Laser Scanning ist eine Technologie zur Erfassung dreidimensionaler Koordinaten von Punkten der Erdoberfläche. Das flugzeuggestützte Verfahren arbeitet mit gepulstem Laserlicht. Es zeichnet sich insbesondere durch eine hohe Dichte (bis zu 25 Punkte/m<sup>2</sup>, vgl. BALTSAVIAS 1999) und eine gute Lage- und Höhengenaugigkeit der Aufnahmepunkte sowie die Fähigkeit aus, Vegetation in gewissem Maße zu durchdringen. Das Prinzip des Airborne Laser Scanning soll nachfolgend kurz vorgestellt werden. Das Messsystem besteht im Wesentlichen aus einer GPS-Einheit, einem Inertialsystem (INS) sowie dem eigentlichen Lasersensor. Der Lasersensor sendet kontinuierlich gepulstes Laserlicht hoher Energie aus. Die Laserpulse werden an der Geländeoberfläche reflektiert. Gemessen wird die Laufzeit der Laserpulse zwischen dem Aussenden und dem Eintreffen am Messsystem. Über die Laufzeit sind somit die Distanzen zwischen dem Reflexionsort und dem System im Flugzeug bestimmbar. GPS-Einheit und Inertialsystem (INS) bestimmen durch hochfrequente Messungen die Position und Orientierung des Lasersensors im Raum und erlauben dadurch eine Rekonstruktion der Flugbahn zur Zeit der Laserimpulsmessungen. Die Koordinaten der Reflexionspunkte erhält man schließlich durch Einbeziehung und Auswertung der GPS- und INS-Messungen.

Nicht alle Laserpunkte repräsentieren die Geländeoberfläche. Ein Anteil der Punkte wird in bzw. an der Vegetation (z.B. in den Baumkronen), aber auch an Gebäuden, Brücken und anderen Objekten reflektiert. Diese im Allgemeinen als Oberflächenpunkte bezeichneten Messungen sind für die Berechnung von digitalen Modellen zur mathematischen Beschreibung der Geländeoberfläche nicht relevant, wohl aber für die Ableitung von digitalen Oberflächenmodellen (z.B. Kronendachmodelle von Waldbeständen).

Untersuchungen zur Qualität und thematischen Anwendbarkeit von Laserscannerdaten sind zahlreich (WEHR & LOHR 1999, KRAUS 2001, SCHENK & CSATHO 2001).

Ebenso ist man bestrebt, hochqualifizierte Klassifikationsalgorithmen zu entwickeln, die in der Lage sind, Oberflächenpunkte, insbesondere Vegetationspunkte, und Bodenpunkte aus den Datensätzen mit größtmöglicher Genauigkeit zu extrahieren. Auf das Problem der Klassifizierung des Datensatzes und die damit verbundene Zuordnung der Punkte zu bestimmten Objektgruppen (Bodenpunkte, Vegetationspunkte etc.) soll nicht im Detail eingegangen werden (z.B. VOSSELMAN 2000, KRAUS & PFEIFER 2001).

Die den Untersuchungen zu Grunde liegenden Laserscannerdaten wurden im März 1997 aufgenommen und überdecken eine Fläche von 497 km<sup>2</sup> mit einem mittleren Punktabstand von 3,0 m. Das entspricht einer Gesamtanzahl von etwa 56 Mill. Laserpunkten. Es handelt sich dabei ausschließlich um last-pulse-Messungen, d.h. um Registrierungen der jeweils letzten Reflexion jedes Laserstrahls (CSAPLOVICS & WAGENKNECHT 1999).

Zur Genauigkeitsanalyse wurde für mehrere Kontrollflächen ein „Soll-DGM“ aus terrestrisch gemessenen Aufnahmepunkten berechnet. Für alle Laserpunkte im Bereich der Kontrollflächen wurden dann an den korrespondierenden XY-Positionen im „Soll-DGM“ die interpolierten Höhen bestimmt. Die Standardabweichung der Höhendifferenzen beträgt – je nach Kontrollfläche – zwischen  $\pm 10,8$  cm und  $\pm 12,6$  cm (Projektbericht 1997).

Auf Grundlage der von KRAUS (1997) angegebenen Methode der Datenfilterung, welche die schiefe Fehlerverteilung der Laserdaten in bewaldeten Gebieten bezüglich der Geländeoberfläche durch Einführung einer asymmetrischen und um einen bestimmten (der charakteristischen Fehlerverteilung entsprechenden) Betrag verschobenen Gewichtsfunktion berücksichtigt, wurden die Original-Datensätze (raw data) bearbeitet. Die nach der Datenfilterung verbleibenden Bodenpunkte erlauben nunmehr, sehr genaue digitale Modelle der Geländeoberfläche zu berechnen, die auch Felsgebiete der Sächsischen Schweiz mit guter morphologischer Detailgenauigkeit darstellen können (CSAPLOVIC & WAGENKNECHT 2000).

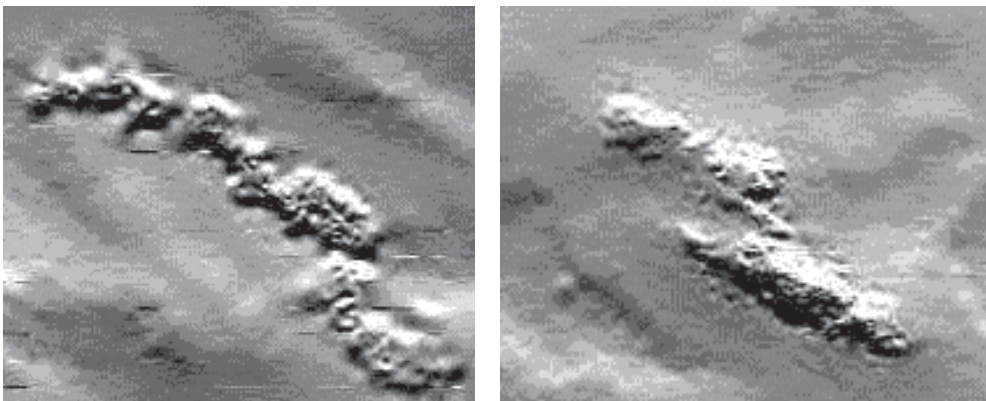
Bei außerordentlich dichtem Baumbestand, meist Fichte in Monokultur, wie er teilweise in der Nationalparkregion vorzufinden ist, werden aber oft nur sehr wenige oder im Extremfall gar keine Messungen den Waldboden repräsentieren. Weiterhin ist die Verteilung der Laserpunkte, welche über dichten Waldgebieten bereits in den Baumkronen reflektiert wurden, der Verteilung der Laserpunkte auf unbewachsenen Felsoberflächen sehr ähnlich. Selbst die zusätzliche first-pulse-Erfassung würde diesen Mangel nicht völlig beheben. Das angeführte Beispiel zeigt deutlich die Grenzen voll-

ständig automatisch ablaufender Filteralgorithmen. Ohne interaktiven Eingriff des Bearbeiters können Boden- und Felspunkte nicht von den übrigen Laserpunkten selektiert werden. Abb. 2 zeigt das Ergebnis einer automatischen Filterung. Im linken Bild sind nahezu alle Vegetationspunkte eines dichten Waldbestandes im Bodenpunkte-Datensatz verblieben.

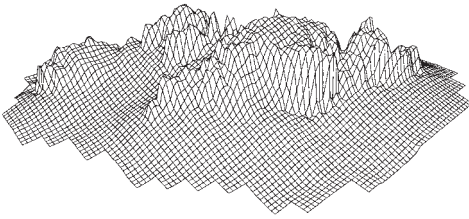
### 3 Einfache Ansätze zur Extraktion von Felskanten

Unter Berücksichtigung der angedeuteten Schwierigkeiten sollten erste Untersuchungen der umfassenden Analyse der Effizienz der Laserdatensätze zum Aufbau genauer digitaler Geländemodelle der Nationalparkregion dienen. Von zentraler Bedeutung war die spezifische Betrachtung der für die Sandsteinlandschaft typischen stark gegliederten Oberflächenformen, insbesondere der markanten Felsformationen (CSAPLOVIC & WAGENKNECHT 2000).

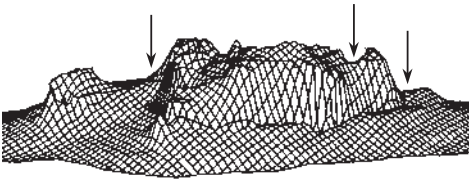
Bei Beschränkung auf die Anwendung automatischer Filterung der Originaldaten in Gebieten mit hoher Reliefenergie (Felstürme, Felsabbrüche, Schluchten) konnten keine zufrieden stellenden Ergebnisse der Geländemodellierung erreicht werden. Ein limitierender Faktor ist in diesem Zusammenhang auch die relativ geringe Punkt-



**Abb. 2:** Limitierte Anwendbarkeit ausschließlich automatischer Filterungen über dichten Wald- und Felsgebieten. Links: Vegetationspunkte (dichter Nadelwald), die fehlerhaft als Bodenpunkte klassifiziert wurden; Rechts: korrekt klassifizierte Bodenpunkte (Felspunkte der Felsformation „Gamrig“) (aus WAGENKNECHT & CSAPLOVIC 2000).



**Abb. 3:** Perspektivansicht des aus Laserdaten abgeleiteten DGM der Felsformation „Gamrig“ nach SCOP-Filterung und zusätzlicher Interaktion im Felsbereich (aus WAGENKNECHT 1999).



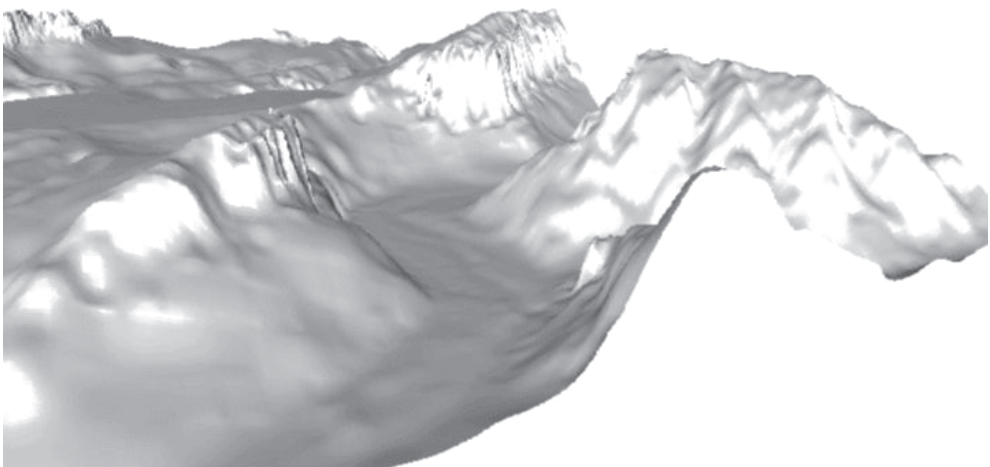
**Abb. 4:** Perspektivansicht des aus photogrammetrischen Messungen abgeleiteten DGM der Felsformation „Gamrig“ (aus RAUSCH 1994).

dichte der Laserdaten. Stark gegliederte Felsformationen werden durch den Filtervorgang geglättet. Markante Details des Felsreliefs, insbesondere Felskanten werden kaum oder gar nicht berücksichtigt. Eine

halbautomatische Methode der Bearbeitung sollte diese Nachteile minimieren (WAGENKNECHT 1999, CSAPLOVICS & WAGENKNECHT 1999). Auf Basis einer interaktiven Auswahl einzelner Felsformationen und mit Hilfe zusätzlicher Informationen aus topographischen Karten, Luftbildern sowie terrestrischen Messungen können repräsentative Ergebnisse erzielt werden.

Abb. 3 zeigt ein Laser-DGM der Felsformation „Gamrig“ im Nationalparkbereich „Vordere Sächsische Schweiz“. In diesem Fall waren – neben der automatischen Filterung – zusätzlich terrestrisch-geodätische Messungen sowie visuelle Interpretationen von CIR-Luftbildern zur koordinativen Festlegung des Verlaufes des Felsfußes durchgeführt worden. Das so berechnete Geländemodell der Felsformation ist durch eine hohe geomorphologische Detailgenauigkeit geprägt.

In Abb. 4 ist die Perspektivansicht des digitalen Geländemodells der Felsformation „Gamrig“ als Ergebnis einer photogrammetrischen Stereoauswertung eines CIR-Luftbildpaares (Bildmaßstab ca. 1: 10 400) dargestellt. Die Schwachstellen der Luftbildauswertung beruhen auf Problemen bei der Auswahl repräsentativer Felspunkte und



**Abb. 5:** Geschummerte Perspektivansicht des aus Laserdaten abgeleiteten DGM des Polenztals nach Integration von interaktiv ausgewählten Strukturlinien.

der eindeutigen Definition der Geländekanten. Schatten und Bewuchs limitieren die Repräsentativität der Erfassbarkeit von Felsbereichen in entscheidendem Maße (RAUSCH 1994). Die Pfeile in Abb. 4 deuten einige markante Differenzen beider Modelle an. Vergleiche vor Ort bestätigten, dass die Qualität der digitalen Geländemodellierung der Felsformation aus Laserdaten detailreicher und formtreuer und demzufolge wirklichkeitsnäher und umfassender ist.

Durch die starke Zergliederung der Felslandschaft sowie der häufig dichten Bewaldung ist eine Bestimmung von zusätzlichen Punkten am Felsfuß mit Hilfe terrestrischer Aufnahmeverfahren oft nicht oder nur mit hohem Aufwand möglich. Für das Testgebiet Polenztal wurde versucht, direkt Laserpunkte zu bestimmen, die die markanten Felsabbrüche gut charakterisieren. Die durch die Punkte so definierten Strukturlinien wurden als zusätzliche Forminformation in die abschließende Interpolation des Geländemodells einbezogen.

Abb. 5 zeigt das Ergebnis des Vorgehens. Zweifellos ist diese Art der Strukturliniendefinition lediglich ein rudimentärer Ansatz, führt jedoch – im Rahmen der zu erwartenden Genauigkeit – bereits zu deutlichen Verbesserungen in der Oberflächenbeschreibung im Felsbereich.

#### 4 Extraktion von Felskanten mit Hilfe von Bildverarbeitungsmethoden

Aufgrund der oben beschriebenen Schwierigkeiten bei der Felsabgrenzung wurde in weiterer Folge der Versuch unternommen, mit Hilfe von Bildverarbeitungsmethoden Geländekanten aus Laserdaten zu extrahieren.

Das mehrstufige Vorgehen beginnt mit der Berechnung von Kanten aus einem Graustufenhöhenbild mittels des Sobel-Operators. Diese werden danach in ein Binärbild überführt und ausgedünnt, um weniger relevante Information zu entfernen. Nach einer Verdickung der übrig gebliebenen Kanten werden diese halbautomatisch vektorisiert (NAUMANN 2000).

#### 4.1 Ableitung von Kantenbildern

Für das auch in diesem Abschnitt betrachtete Testgebiet Polenztal wurden die entsprechenden Punkte aus dem Originalpunkte-Datensatz entnommen. Mit Hilfe einer nichtlinearen TIN-Interpolation (Polynom 5. Grades) wurden daraus Graustufenbilder mit 1 m Pixelgröße erzeugt. Aus diesen Bildern wurden dann Kanten abgeleitet, wobei der Sobel-Operator zum Einsatz kam. Dies ist ein richtungsabhängiger Differenzenoperator zur Extraktion von Grauwertkanten und Linien aus einem Bild. Er besitzt zwei Masken, die jeweils Differenzen in horizontale bzw. in vertikale Richtung berechnen. In diesem Fall wurden Masken mit  $5 \times 5$  Elementen verwendet. Aus den beiden entstandenen temporären Bildern wurde dann der Betrag des Gradienten berechnet.

Das Ergebnis ist in Abb. 6 dargestellt. Das Kantenbild enthält neben den relevanten Informationen für die Extraktion von Felsabbrüchen auch Informationen über die Höhenvariationen der Bäume. Zum Teil sind Einzelbäume als kleine geschlossene Linienzüge erkennbar. Grauwertgradienten machen das Ausmaß dieser Differenzen sichtbar. Die Breite der Linien beschreibt die räumliche Ausdehnung der Höhendiffe-

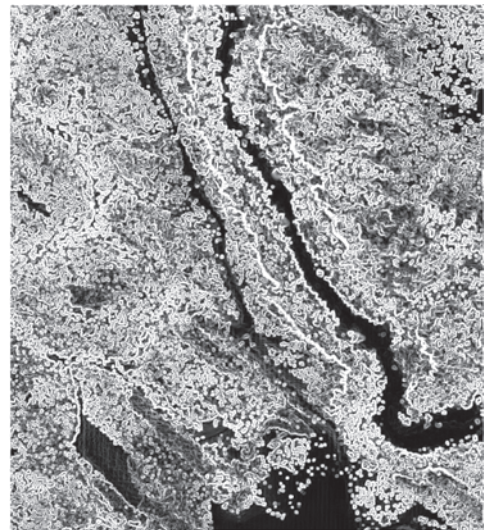


Abb. 6: Kantenbild (Sobel  $5 \times 5$ ), Bildausschnitt ca. 950 m  $\times$  1070 m (NAUMANN 2000).

renzen. Die „Strukturen“ sind lediglich überblicksartig wahrnehmbar. So sind durchaus Unterschiede zwischen verschiedenen Waldbeständen zu erkennen. Junger Nadelwald sowie wenig bewaldete Felsplateaus zeichnen sich z.B. durch eine dunklere Linienfarbe aus.

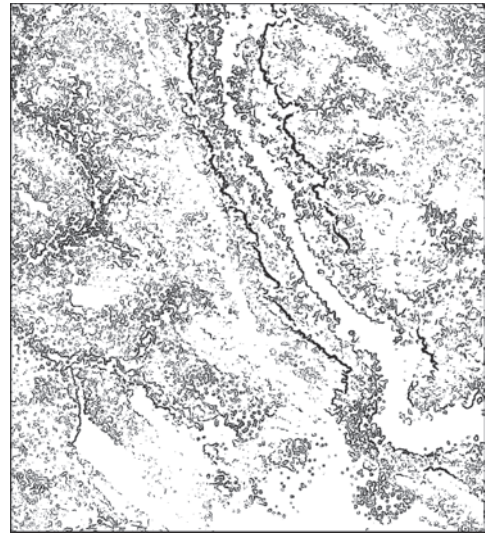
Je nach Höhenvarianz der umgebenden Flächen können Felsabbrüche gut, weniger gut oder gar nicht erkannt werden. Dies hängt stark davon ab, ob der Fels sich über den umgebenden Wald erhebt oder ob hohe Bäume bis an den Rand des Felsens heranwachsen und dann oftmals eine ähnliche Höhe wie der Fels selbst aufweisen. Weiterhin ist entscheidend, ob der Fels bewaldet ist oder nicht.

#### 4.2 Halbautomatische Extraktion von Felsabbruchlinien

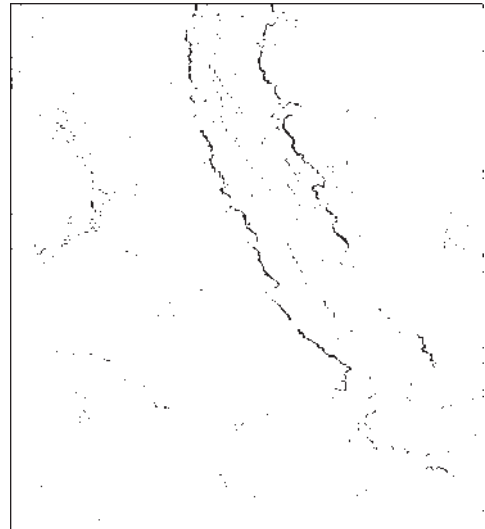
Im Folgenden wurde versucht, aus den Kantensbildern die sichtbaren Abgrenzungen der Felsabbrüche zu extrahieren. Dazu wurde zuerst das über den Sobel-Operator veränderte Bild in ein Binärbild überführt. Der Schwellwert wurde so festgelegt, dass nur Kanten mit großen Höhenunterschieden abgebildet werden.

Das Ergebnis ist in Abb. 7 ersichtlich. Die markanten Linien der Felsabbrüche sind gut zu erkennen. Weiterhin sind aber noch sehr viele weniger relevante Informationen enthalten. Das liegt daran, dass in dem mit dem Sobel-Operator bearbeiteten Bild bei Wald und Felsen z.T. ähnlich große Grauwerte (= ähnliche lokale Höhendifferenzen) auftreten, die über die Schwellwertbildung in das Binärbild gelangen. Durch Vergrößerung des Schwellwertes würden jedoch zu viele Pixel im Bereich der Felsen verloren gehen. Da die relevanten Felslinien meist breiter als die Grauwertkanten im Wald sind, wurde daraufhin eine Ausdünnung des Binärbildes auf Basis eines Maximumfilters durchgeführt.

In Abb. 8 ist das Ergebnis der Ausdünnung mit einer  $3 \times 3$ -Maske ersichtlich. Die breiten Linien sind dünner geworden, schmale Linien wurden ganz entfernt. Diese Methode hat die gleiche Wirkung wie die



**Abb. 7:** Binärbild nach Schwellwertbildung, Bildausschnitt ca. 950 m  $\times$  1070 m (NAUMANN 2000).



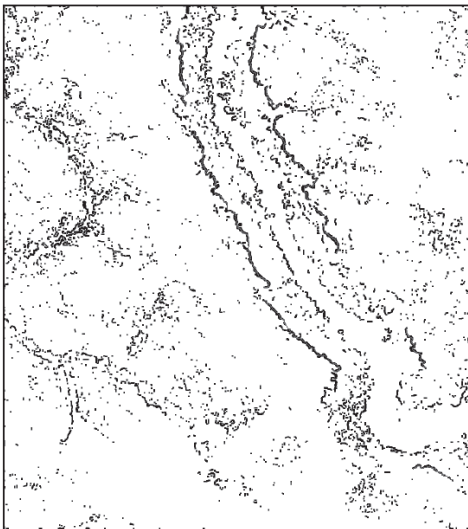
**Abb. 8:** Ausgedünntes Binärbild, Bildausschnitt ca. 950 m  $\times$  1070 m (NAUMANN 2000).

Anwendung des morphologischen Operators „Dilatation“ auf ein Binärbild, bei dem Objekte mit dem Wert 1 ausgedehnt werden, hier also der Hintergrund, der auf Kosten der Kanten im Bild vergrößert wird.

Um im weiteren Verlauf eine Vektorisierung der Felslinien durchführen zu können, ist es sinnvoll, die Lücken zwischen den Linien zu verkleinern. Das kann man durch die Anwendung eines Minimumfilters auf das ausgedünnte Bild erreichen. Dadurch werden die noch vorhandenen Objektpixel wieder ausgedehnt. Diese Filterung entspricht dem morphologische Operator „Erosion“. Eine Dilatation mit einer nachfolgenden Erosion wird als Closing (Schließen) bezeichnet.

Im nächsten Schritt werden die potenziellen Felskanten vektorisiert. Dazu stehen GIS-Werkzeuge zur Verfügung, die ein interaktives Festlegen des Anfangspunktes der zu vektorisierenden Linie zulassen und danach die Linie selbstständig verfolgen. Durch Auswahl geeigneter Werte für den Suchradius und für die zulässige Distanz ist es möglich, auch größere Lücken in den Linien zu überbrücken und damit eine interaktive Editierung durchzuführen.

Abb. 9 zeigt die vektorisierten potenziellen Felskanten für den ausgewählten Bereich des Polenztales (vgl. Abb. 5).



**Abb. 9:** Vektorisierte potenzielle Felskanten auf dem Closing-Bild, Bildausschnitt ca. 950 m × 1070 m (NAUMANN 2000).

Somit liegen die abgeleiteten Kanten lagegenau vor. Für eine Verwendung als Bruch- oder Formlinien bei der Berechnung von Geländemodellen sind aber zusätzlich Höhenangaben erforderlich. Aus den geokodierten Rohdatensätzen können über die Lageinformationen die zugehörigen Laserpunkte referenziert und damit die Höheninformationen generiert werden. Auf diese Problemstellung soll im Rahmen dieses Beitrages nicht eingegangen werden.

## 5 Diskussion

Automatische Filteralgorithmen unterteilen die unregelmäßig verteilten Laserpunkte in für die Berechnung digitaler Geländemodelle relevante und nicht-relevante Punkte. Die Untersuchungen mit verschiedenen Testdatensätzen in der Sächsischen Schweiz haben gezeigt, dass gerade in den stark zerklüfteten Felslandschaften Probleme bei dieser Klassifikation in Boden- und Felspunkte sowie sonstige Punkte (in der Regel Vegetationspunkte) auftreten. Gerade die Berücksichtigung markanter Felskanten (z.B. dem Felsfuß) im Rahmen der Klassifikation bzw. der abschließenden Interpolation der Geländeoberfläche führt jedoch zu bemerkenswerten Verbesserungen der Oberflächenbeschreibung.

Die vorgestellten Ansätze beschreiben somit den Versuch, auf unterschiedliche Weise die notwendigen ergänzenden geomorphologischen Informationen aus den Laserscannerdaten selbst bzw. anderen geeigneten Quellen abzuleiten. Besondere Schwierigkeiten ergeben sich aus der Vielgestaltigkeit und aus der reliefbedingt bzw. naturschutzrechtlich eingeschränkten Begehbarkeit des Geländes. Während die Selektion von Felsbereichen mit Hilfe von terrestrischen Messungen aufgrund des hohen Aufwandes nur exemplarisch erfolgen kann, scheint die Felskantenextraktion mit Hilfe von Bildverarbeitungsmethoden auch für größere Bearbeitungsgebiete praktikabel und effizient. Die mit diesem Verfahren abgeleiteten Kanten sind nur der Lage nach bestimmt. Derzeitige Forschungen fokussieren auf die automatische Ableitung von Bruchlinien



aus Laserdaten. Voraussetzung dafür ist zunächst eine grobe lagemäßige Bestimmung der Bruchlinien, beispielsweise mit Hilfe des vorgestellten Ansatzes aus der Bildverarbeitung.

## 6 Ausblick

Im Umfeld der topographisch orientierten Auswertung von Laserscannerdaten liegt ein Hauptgewicht auf den Bestrebungen, eine automatische Extraktion von topographisch relevanten Bruchkanten zu erreichen (BRZANK 2001, BRIESE et al. 2002).

Die Heterogenität stark strukturierter Geländes mit hoher Reliefenergie und einer Vielzahl von Formlinien und Bruchkanten, verbunden mit dichter Waldbedeckung stark variierender Bestandesarten und Bestandesdichten, wird jedoch eine rein automatische Extraktion von Bruchkanten nicht möglich machen. Somit wird die projektorientierte Nutzung einer spezifischen Kombination der vorgestellten und derzeit in Entwicklung befindlichen Ansätze die günstigsten Ergebnisse erzielen. Die kombinierte Nutzung von Reliefinformationen aus großmaßstäbigen topographischen Karten sowie aus hoch auflösenden Orthobildern auf Basis flugzeug- oder satellitengestützter Fernerkundungsdaten (IKONOS, CIR-Luftbild) in Verbindung mit automatisch extrahierten Linienelementen wird zur Optimierung der erzielbaren Genauigkeiten führen. Eine ideale Variante werden integrative Ansätze der Nutzung von Intensitätsinformationen der Laserscanner sowie die simultane Aufnahme der Projektgebiete mit hochgenauen optischen Fernerkundungssensoren liefern. Pilotprojekte über große Aufnahmegebiete (Sächsisch-Böhmische Nationalparkregion, ca. 750 km<sup>2</sup>) sind geplant. Neue Erkenntnisse zur semi-automatischen hochgenauen topographischen und landnutzungsorientierten Kartierung von Regionen mit hoher Reliefenergie und dichter Bewaldung sind zu erwarten. Insbesondere transdisziplinäre Anwendungsfelder in Ökologie und Hydrologie werden die resultierenden hochgenauen digitalen Oberflächenmodelle mit Berücksichtigung von Bruchlinienver-

läufen wie auch die gleichzeitig erfassten ebenso hochwertigen Landnutzungs- und Landbedeckungsinformationen dringend benötigen (CSAPLOVIC & WALZ 2001).

## 7 Dank

Die Daten der ALS-Befliegung wurden vom Landesvermessungsamt Sachsen und der Landesanstalt für Forsten zur Verfügung gestellt. Die Bearbeitung der Daten erfolgte im Rahmen von übergeordneten Kooperationsprogrammen mit dem Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung der TU Wien.

## 8 Literatur

- BALTSAVIAS, E.P., 1999: Airborne laser scanning – existing systems and firms and other resources. – *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, **54**: 164–198.
- BRIESE, C., KRAUS, K. & PFEIFER, N., 2002: Modellierung von dreidimensionalen Geländekanten in Laser-Scanner-Daten. – Festschrift anlässlich des 65. Geburtstages von Prof. Dr.-Ing. habil. Siegfried Meier, TU Dresden, Institut für Planetare Geodäsie, S. 47–52.
- BRZANK, A., 2001: Automatische Ableitung von Bruchlinien aus Laserscannerdaten. – Diplomarbeit, Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung, TU Dresden.
- CSAPLOVIC, E. & WAGENKNECHT, S., 1999: Airborne Laser Scanning zur topographischen Modellierung von Felsgebieten. – In: STROBL, J. & BLASCHKE, T. (Hrsg.): *Angewandte Geographische Informationsverarbeitung* **11**: 108–119, Wichmann, Bonn.
- CSAPLOVIC, E. & WAGENKNECHT, S., 2000: High-resolution environmental monitoring of wooded mountainous regions supported by airborne laser scanning. – *Proc 19<sup>th</sup> ISPRS Congress, Amsterdam, Netherlands. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. 33 (Part B7/4)*: 1668–1673.
- CSAPLOVIC, E. & WALZ, U., 2001: Spatial information systems for national park regions in the Central European Space – GIS-concepts for monitoring and managing national park regions. – In: MANDER, Ü., PRINTSMANN, A. & PALANG, H. (Eds.): *Development of European landscapes. – Publicationes Institutis Geographici Universitatis Taruensis*, **92**: 433–437.

- HANLE, A., 1992: Elbsandsteingebirge. – Meyers Lexikonverlag, Mannheim.
- KRAUS, K., 1997: Eine neue Methode zur Interpretation und Filterung von Daten mit schiefer Fehlerverteilung. – Österreichische Zeitschrift für Vermessung und Geoinformation (VGI), **85** (1): 15–30.
- KRAUS, K., 2001: Laser-Scanning – Ein Paradigma-Wechsel in der Photogrammetrie. – In: SEYFERT, E. (Hrsg.): 21. Wissenschaftlich-Technischen Jahrestagung der DGPF, Konstanz, Deutschland, Publikationen der Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie und Fernerkundung, Band **10**: 13–22.
- KRAUS, K. & PFEIFER, N., 2001: Advanced DTM generation from Lidar data. – International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Annapolis, Maryland, Vol. **34** (3/W4): 23–30.
- Nationalparkverwaltung Sächsische Schweiz (Hrsg.), 1999: Sächsisch-Böhmische Schweiz – České Svýcarsko. Schriftenreihe des Nationalparks Sächsische Schweiz, Heft 3, Königstein.
- NAUMANN, K., 2000: Die Bedeutung von Laser-scannerdaten zum Aufbau digitaler Geländemodelle für Nationalpark-Informationssysteme – zwei Fallstudien. – Diplomarbeit, Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung, TU Dresden.
- Projektbericht, 1997: Projektbericht zur Laser-scanner-Messaufnahme im Nationalpark Sächsische Schweiz
- RAUSCH, R., 1994: Konzeption und Aufbau eines digitalen Geländemodells für ein Test- und Übungsgebiet. – Diplomarbeit, Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung, TU Dresden.
- RIEBE, H., HÄRTEL, H., BAUER P. & BENDA, P., 1999: Die Naturausstattung der Sächsisch-Böhmischen Schweiz. – In: Nationalpark Sächsische Schweiz (Hrsg.): Sächsisch-Böhmische Schweiz – Ceskosaské Svýcarsko. Schriftenreihe des Nationalparks Sächsische Schweiz, Heft **3**: 20–57.
- SCHENK, T. & CSATHÓ, B., 2001: Modellierung systematischer Fehler von abtastenden Laseraltimetern. – Photogrammetrie – Fernerkundung – Geoinformation, 2001, Heft 5: 361–373.
- VOSSelman, G., 2000: Slope based filtering of laser altimetry data. – International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Amsterdam, Netherlands, Vol. **33** (Part B3/2): 935–942.
- WÄCHTER, A., 1998: Sächsische Schweiz – vom Landschaftsschutzgebiet zum Nationalpark. – In: Institut für Umweltgeschichte und Regionalentwicklung (Hrsg.): Naturschutz in den neuen Bundesländern – ein Rückblick. Halbbd.2, BdWi-Verlag, Marburg, S. 627–648.
- WAGENKNECHT, S., 1999: Untersuchungen zum Aufbau digitaler Geländemodelle aus Laserdaten in der Sächsischen Schweiz. – Diplomarbeit, Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung, TU Dresden.
- WAGENKNECHT, S. & CSAPLOVIC, E., 2000: Geodaten aus Airborne Laser Scanning zur Schaffung einer topographischen Datengrundlage für ein raumbezogenes Informationssystem der Nationalparkregion Sächsisch-Böhmische Schweiz. – In: STROBL, J. & BLASCHKE, T. (Hrsg.): Angewandte Geographische Informationsverarbeitung **12**: 504–511, Wichmann, Heidelberg.
- WEHR, A. & LOHR, U., 1999: Airborne laser scanning – an introduction and overview. – ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, **54**: 68–82.

#### Anschriften der Verfasser:

Prof. Dr. techn. habil. Elmar CSAPLOVIC  
 Dipl.-Ing. STEFAN WAGENKNECHT  
 Technische Universität Dresden, Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung  
 Mommsenstraße 13, D-01069 Dresden  
 Tel.: +49-351-463-33 680  
 Fax: +49-351-463-37 266,  
 e-mail: csaplovi@rcs.urz.tu-dresden.de  
 e-mail: Stefan.Wagenknecht@mailbox.tu-dresden.de

Dipl.-Ing. KATHLEEN NAUMANN  
 Technische Universität Wien, Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung  
 Gußhausstraße 27–29, A-1040 Wien  
 Tel.: +43-1-58801-12221,  
 Fax: +43-1-58801-12299,  
 e-mail: knaumann@ipf.tuwien.ac.at

Manuskript eingereicht: September 2002  
 Angenommen: Januar 2003

## Möglichkeiten zur Ableitung Boden-bezogener Größen aus multi- und hyperspektralen Fernerkundungsdaten

THOMAS JARMER, THOMAS UDELHOVEN & JOACHIM HILL, Trier

**Keywords:** remote sensing, spectrometry, absorption feature, organic carbon, inorganic carbon, iron

**Zusammenfassung:** Die räumliche Beschreibung pedologischer Eigenschaften erfordert die Analyse einer Vielzahl repräsentativer Proben. Die Reflexionsspektrometrie stellt in diesem Zusammenhang eine sinnvolle Ergänzung zur chemischen Laboranalytik dar, da sie auf Grund der schnellen Messtechnik und einer minimalen Probenaufbereitung einen hohen Probendurchsatz erlaubt. Anhand verschiedener Fallstudien wird das Potential der Methode für die räumliche Quantifizierung ausgewählter bodenchemischer Messgrößen (organischer und anorganischer Kohlenstoff, Eisen) aufgezeigt. Neben der Laborspektrometrie wurden hierbei auch Bilddaten unterschiedlicher geometrischer und spektraler Auflösung (Luftbild, Landsat-TM und DAIS 7915) für die Ableitung pedologischer Eigenschaften verwendet.

**Abstract:** *Possibilities to derive soil related parameters from multi- and hyperspectral remote sensing data.* The quantification of spatial soil properties requires the consideration of many representative soil samples. Reflectance spectroscopy seems to be a useful supplement for chemical laboratory analysis, since the approach is fast and has only limited requirements for sample preparation. Based on several case studies the potential of the method to derive selected chemical soil constituents (organic carbon, inorganic carbon and iron) is demonstrated. Beside of the usage of laboratory spectrometry also image data with different spatial and spectral resolution (aerial photographs, Landsat TM and DAIS 7915) have been included in the study.

---

### 1 Einführung

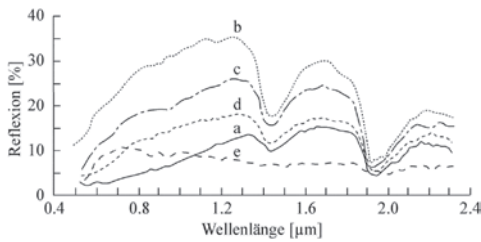
Böden bilden einen wesentlichen Bestandteil terrestrischer Ökosysteme. Die Eigenschaften der Böden sind jedoch weder statisch noch zeitlich und räumlich homogen. Dies macht die Entwicklung geeigneter Methoden für eine rasche Schätzung der räumlichen Verteilung von physiko-chemischen pedogenen Größen sinnvoll (SHEPHERD & WALSH 2002).

Der Einfluss pedogener Eigenschaften auf das Reflexionsverhalten von Böden ist allgemein bekannt (z. B. CONDIT 1970, BAUMGARDNER et al. 1985, IRONS et al. 1989). Die spektrale Reflexion von Böden ist eine kumulative Eigenschaft, die sich aus dem in-

härenten spektralen Verhalten heterogener Kombinationen von Mineralen, organischer Substanz und Bodenwasser ableitet.

Die Bodenreflexion ist in erster Linie durch das Reflexionskontinuum charakterisiert, wobei sich verschiedene bodenphysikalische und pedochemische Parameter in spezifischer Weise auswirken (Abb. 1). Jedoch können auch spezifische Absorptionsmerkmale im Spektralbereich zwischen 0,4 und 2,5  $\mu\text{m}$  zur Identifikation wichtiger Bodeninhaltsstoffe wie Eisen, Tonmineralen oder Karbonaten genutzt werden.

Die Schätzung spezifischer pedologischer Eigenschaften durch Reflexionsmessungen kann aufgrund der Schnelligkeit der Methode die herkömmliche Laboranalytik bei der



(a) organic-dominated (hoher Gehalt an organischer Substanz, mittelfeine Textur); (b) minimally altered (gering entwickelter Rohboden, geringer Gehalt an organischer Substanz, mittlere Eisengehalte); (c) iron-affected (geringer Gehalt an organischer Substanz, mittlere Eisengehalte); (d) organic-affected (hoher Gehalt an organischer Substanz, mittelgrobe Textur); (e) iron-dominated (hoher Eisengehalt, feine Textur)

**Abb. 1:** Charakteristische Reflexionsspektren für Oberbodenproben von fünf Mineralböden (STONER & BAUMGARDNER 1981).

Beschreibung räumlicher Bodeneigenschaften unterstützen. Dafür steht eine Vielzahl vorwiegend statistischer Methoden zur Verfügung. Bei der Modellwahl muss häufig ein Kompromiss zwischen Einfachheit und Vollständigkeit gefunden werden. Je einfacher ein Modell aufgebaut ist umso leichter ist es zu interpretieren, aber umso unvollständiger kann es sein. Dabei ist in Anlehnung an MARTENS & NAES (1989) insbesondere folgenden Punkten Rechnung zu tragen:

a. In der Regel müssen zur Vorhersage einer Messgröße mehrere Absorptionswerte verwendet werden. Eisen beispielsweise liegt im Boden in verschiedenen Bindungsformen vor, die unterschiedliche Spektralsignaturen aufweisen. Die Bestimmung des Gesamteisengehalts gelingt daher meist nicht mit der geforderten Genauigkeit mit Hilfe nur eines spektralen Merkmals.

b. Es treten hohe Korrelationen bei den spektralen Absorptionen insbesondere bei benachbarten Wellenlängen auf. Diese Kollinearität wird beispielsweise in der Partial-Least-Square Regression (PLS) genutzt, um die Robustheit des Regressionmodells gegenüber Zufallsstörungen zu erhöhen. Die PLS ist eng verwandt mit der Hauptkomponentenregression. Die Faktorisierung der X-

Matrix (der Reflexionsspektren) richtet sich jedoch hierbei nicht ausschließlich nach deren Varianz sondern ein weiteres Kriterium ist die Kovarianzmaximierung der gebildeten Faktorwerte mit den Y-Variablen (den vorherzusagenden Messgrößen) (BÜNTING 1999, OTTO 1997). Alternativ können auch abgeleitete, möglichst unabhängige Größen aus einem Reflexionsspektrum in einer multiplen Regression verwendet werden. Um beispielsweise die VIS-Domäne in Reflexionsspektren in einem Schätzmodell zu repräsentieren können spektral hoch aufgelöste redundante Reflexionswerte in einen geeigneten Farbraum transformiert und daraus wenige unabhängige Farbfaktoren verwendet werden.

c. Es ist oftmals nicht sichergestellt, dass unser a-priori Wissen bezüglich des Einflusses einer chemischen Messgröße auf das Reflexionsverhalten vollständig oder richtig ist. In Bodenproben treten beispielsweise spektrale Interferenzen aufgrund einer Vielzahl von Inhaltsstoffen auf, was oftmals die Berücksichtigung vieler spektraler Stützstellen in einem Schätzmodell erfordert. Bei der Quantifizierung von Bodeneigenschaften ist zudem mit indirekten Korrelationen zu rechnen. So schätzen BEN-DOR & BANIN (1995) beispielsweise die Kationenaustauschkapazität und weiterer Eigenschaften von Böden mit hoher Genauigkeit aus Reflexionsspektren, ohne dass diese Eigenschaften direkte spektrale Features aufweisen. Die Vorhersagen basierten vielmehr auf der Korrelation der Zielvariablen mit optisch aktiven Hintergrundvariablen wie beispielsweise dem Tongehalt.

Letztendlich stellt jedes statistische Modell eine Arbeitshypothese dar, basierend auf einer Anzahl von Annahmen für ein Problem, die unvollständig oder fehlerhaft sein können.

Im Folgenden werden einige ausgewählte Studien vorgestellt, die den Einsatz kontinuums- und bandenorientierter Analyseverfahren für die Schätzung bodenchemischer Messgrößen beispielhaft aufzeigen.

Die spektrale Reflexion der im Rahmen der folgenden Studien verwendeten Bodenproben wurde mit einem ASD FieldSpec im

Labor (Nadirposition des Sensors, 10 cm Entfernung des Messkopfes von der Probe, künstliche Beleuchtung mit einer 1000 W Halogenlampe aus 30 cm Entfernung mit 30° Einstrahlungswinkel) in 1 nm Schritten gemessen und gegen die absolute Reflexion eines Spektralon-Standards abgeglichen.

## 2 Schätzung von Konzentrationen pedochemischer Größen aus Reflexionsspektren

### 2.1 Gesamteisengehalt

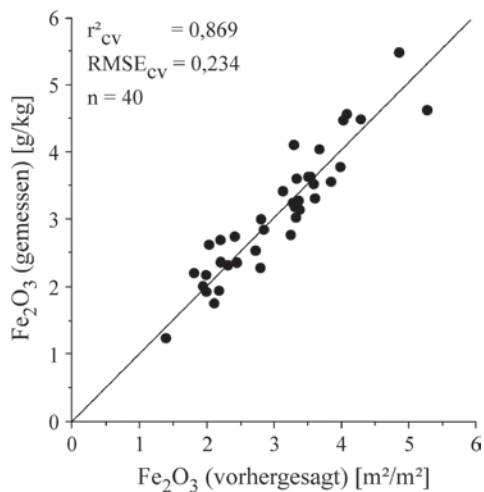
Eisen besitzt charakteristische Reflexionseigenschaften (BAUMGARDNER et al. 1985, CLARK 1999) und bereits nur in Spuren vorkommendes Eisen führt zum Auftreten von Absorptionsbanden (GEERKEN 1991). Die Art und relative Menge der Eisenoxide beeinflusst die Bodenfarbe deutlich. Eine Zunahme des Eisenoxidgehaltes hat eine Abnahme der Gesamreflexion zur Folge.

Die meisten der durch das Eisen hervorgerufenen Absorptionsbanden resultieren aus Elektronenübergängen in den Eisenkationen. Typischerweise treten drei relativ breite Absorptionen bei  $\sim 0,5 \mu\text{m}$ ,  $\sim 0,7 \mu\text{m}$  und  $\sim 0,9 \mu\text{m}$  in Fe(III)-Oxiden auf. Über die dritte Bande ist auch eine Differenzierung der Eisenoxide Goethit und Hämatit möglich, da die Absorptionsbande des Hämatit bei  $\sim 0,87 \mu\text{m}$  und die des Goethit bei  $\sim 0,93 \mu\text{m}$  auftritt. Zweiwertiges Eisen lässt sich durch eine Absorptionsbande bei  $\sim 1,0 \mu\text{m}$  identifizieren (HUNT et al. 1971, BURNS 1993).

Auf Grundlage einer synthetischen Mischungsreihe aus Eisenmineralien und einer karbonatischen Matrix konnte der Einfluss wechselnder Eisengehalte auf das resultierende Spektralverhalten von Böden nachgewiesen werden (JARMER & SCHÜTT 1998). In dieser Untersuchung wurden die Reflexionsspektren über die Anpassung einer konvex-einhüllenden Funktion normiert, um eine Quantifizierung der Absorptionsbanden zu ermöglichen. Dieses Verfahren ermöglicht es, Absorptionsbanden vergleichbar zu machen und ihre Wellenlängen-

position, Absorptionstiefe, -breite und -fläche sowie Asymmetrieeigenschaften zu bestimmen. Die Quantifizierung der Eisengehalte erfolgte mit einer multiplen linearen Regression. Für die Validierung standen Bodenproben aus dem südlichen Israel (entwickelt aus Kalkstein oder Kreide, teilweise vergesellschaftet mit Löß) zur Verfügung.

Das normierte Flächenintegral [ $0,451 \mu\text{m}$ ;  $1,270 \mu\text{m}$ ] sowie die über die konvex-einhüllende Funktion normierten Absorptionstiefen (1 – Hull Quotient) bei  $0,884 \mu\text{m}$  (Hämatit) und  $0,929 \mu\text{m}$  (Goethit) wurden als unabhängige Variablen für das Regressionsmodell verwendet (HAUFF & KRUSE 1990). Da die Konzentrationen von organischer Substanz und Karbonat in natürlichen Bodenproben erheblich variieren, wird deren Albedo nicht mehr ausschließlich durch den Eisengehalt bestimmt. Daher wurden zusätzlich die Normfarbwerte aus den Reflexionsspektren berechnet und in C.I.E.-Normfarbwerten (Y, x, y) ausgedrückt. Dieses Farbsystem der „Commission Internationale de l'Éclairage [C.I.E.]“ von 1931 wurde dem in der Bodenkunde verbreiteten MUNSSELL Farbsystem vorgezogen, da das C.I.E. auf spektralen Reflexionsmessungen



**Abb. 2:** Scatterplot der Kreuzvalidierung des entwickelten Modells zur Vorhersage von Gesamteisenkonzentration (aus JARMER & SCHÜTT 1998).

basiert. Der Quotient der C.I.E.-Normfarbwertanteile  $x$  und  $y$  wurde als zusätzliche unabhängige Variable für die Eisenbestimmung berücksichtigt, da dieser Wert vom Verhältnis zwischen den Hämatit- und Goethitgehalten deutlich beeinflusst wird. Außerdem wurde der C.I.E.-Normfarbwert  $Y$ , der ein Maß für die Farbhelligkeit darstellt und einen hohen Zusammenhang mit der panchromatischen Reflexion ( $\alpha < 0,001$ ) aufweist, als  $Y^{-2}$  in das Regressionsmodell einbezogen (SUDDUTH & HUMMEL 1991).

Die Kreuzvalidierung ergab für dieses Modell ein  $r_{cv}^2$  von 0,869 (Abb. 2).

## 2.2 Anorganischer Kohlenstoff

Karbonate zeigen starke Absorptionsbanden im nahen Infrarot bei 2.30–2.35  $\mu\text{m}$  und 2.50–2.55  $\mu\text{m}$ . Drei schwächere Absorptionsbanden treten bei 1.85–1.87  $\mu\text{m}$ , 2.12–2.16  $\mu\text{m}$  und 1.97–2.00  $\mu\text{m}$  auf. Die Positionen der Banden variieren in Abhängigkeit von der Zusammensetzung der unterschiedlichen Karbonate im Boden (HUNT & SALISBURY 1971, GAFFEY 1986). Mit zunehmendem Gehalt an Magnesiumkarbonat verschiebt sich die maximale Absorption hin zu den kürzeren Wellenlängen (VAN DER MEER 1996, CLARK 1999).

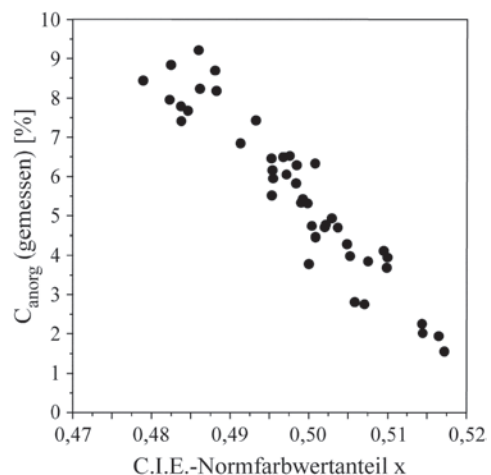
Die Untersuchung der Zusammenhänge zwischen Karbonatkonzentration und Bodenreflexionseigenschaften erfolgte im Rahmen einer entsprechenden Untersuchung beispielhaft an 45 Bodenproben aus dem Jüdischen Bergland in Israel. Dieser Raum ist durch semi-aride bis hyperaride Klimabedingungen charakterisiert. Alle berücksichtigten Proben stammen von Böden, die sich auf Kalkstein entwickelt haben. Die Böden in diesem Gebiet variieren entsprechend der Niederschlagsmengen von Rendzinen im semi-ariden und ariden Bereich bis zu Lithosolen am Ostrand des Gebietes.

Die starke Ausprägung der charakteristischen Absorptionsbande bei ca. 2,33  $\mu\text{m}$  kann zur Schätzung der Karbonatgehalte verwendet werden (JARMER et al. 2002). Die Messung der Bodenreflexion erfolgte unter den in 2.1 beschriebenen Bedingungen. Für

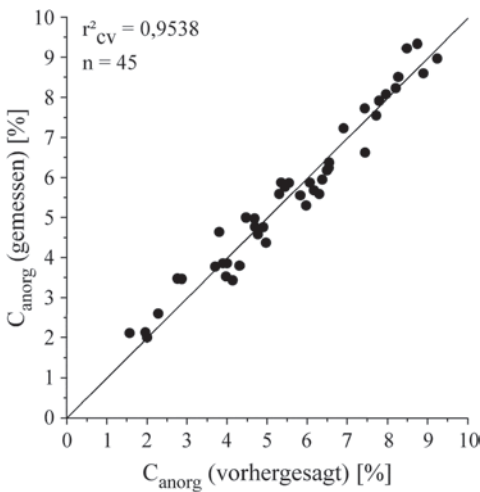
die Bestimmung der Karbonatbandenparameter wurden die Reflexionsspektren ebenfalls unter Verwendung einer Hüllkurve normiert und die maximale Absorptionstiefe und das Flächenintegral im Wellenlängenbereich 2.33–2.37  $\mu\text{m}$  ermittelt. Dieser Wellenlängenbereich zeigte die höchste Korrelation mit der Konzentration anorganischen Kohlenstoffs. Das beste Regressionsmodell mit einem Bestimmtheitsmaß von 0.719 ergab sich unter Verwendung der maximalen Absorptionstiefe bei 2.33  $\mu\text{m}$ –2.37  $\mu\text{m}$ .

Da der relative Karbonatanteil in Böden die Bodenelligkeit substantiell beeinflusst (BEN-DOR & BANIN 1994), wurden zusätzlich die C.I.E.-Normfarbwerte in der Modellbildung berücksichtigt. Dabei war zu erwarten, dass der C.I.E.-Normfarbwert  $Y$ , der die Helligkeit repräsentiert, die Modellergebnisse erheblich verbessert. Allerdings hatte die Integration von  $Y$  nicht den erhofften Effekt, während sich ein sehr hoher Zusammenhang zwischen dem C.I.E.-Normfarbwertanteil  $x$  und der Konzentration an anorganischem Kohlenstoff ergab ( $r = 0,946$ ) (Abb. 3).

Die Integration von Absorptionsbandenparametern und C.I.E.-Normfarbwerten in die Modellbildung, d.h. die Verknüpfung



**Abb. 3:** Zusammenhang zwischen dem C.I.E.-Normfarbwertanteil  $x$  und der Konzentration an anorganischem Kohlenstoff (aus JARMER et al. 2002).



**Abb. 4:** Scatterplot der Kreuzvalidierung des entwickelten Modells zur Vorhersage von Konzentrationen an anorganischem Kohlenstoff (aus JARMER et al. 2002).

zwischen spezifischen Absorptionsmerkmalen und Eigenschaften des Kontinuums, führte zu einem optimalen Ergebnis. Das beste Regressionsmodell lieferte hierbei kreuzvalidiert ein  $r^2$  von 0,9538 (Abb. 4).

### 2.3 Organischer Kohlenstoff

Im Gegensatz zu Eisen und anorganischem Kohlenstoff lässt sich organischer Kohlenstoff nur eingeschränkt über charakteristische Absorptionsbanden identifizieren. Er beeinflusst vielmehr den Gesamtverlauf der Reflexion zwischen  $0,35 \mu\text{m}$  und  $1,4 \mu\text{m}$ . Reflexionsspektren mit einem deutlich konkaven Anstieg zum maximalen Reflexionsniveau bei ca.  $1,3 \mu\text{m}$  weisen in der Regel nur sehr geringe Anteile an organischer Substanz auf (Abb. 1, Typ b und c). Mit zunehmendem Anteil an organischen Substanzen verringert sich die Gesamtreflexion. Während geringe Gehalte organischen Kohlenstoffs zu einem konvexen Verlauf des Reflexionsspektrums führen, kann bei hohen Anteilen organischen Kohlenstoffs ( $> 2\%$ ) häufig eine eher gestreckte oder konkave Verlaufsform beobachtet werden (Abb. 1, Typ a).“

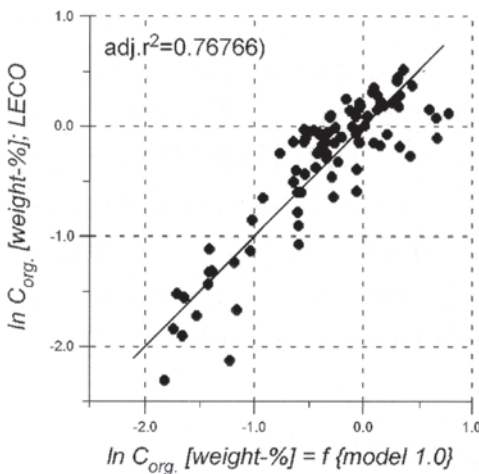
Aufbauend auf diesen Überlegungen schätzten HILL & SCHÜTT (2000) im Rah-

men einer Studie im Guadalentin (SE Spanien, karbonatische Böden) den organischen Kohlenstoffgehalt von Oberböden anhand einer spezifisch auf die Parametrisierung des spektralen Kontinuums ausgerichteten Strategie. Dazu wurden die kontinuierlich vorliegenden Reflexionsspektren ( $0,4\text{--}2,5 \mu\text{m}$ ) zunächst auf die Reflexion bei  $1,676 \mu\text{m}$  normiert. Anschließend wurde für den Wellenlängenbereich  $0,45\text{--}1,676 \mu\text{m}$  ein Polynom dritter Ordnung an den Kurvenverlauf approximiert (Gl. 1).

$$\rho_\lambda = b_0 + b_1 \cdot \lambda + b_2 \cdot \lambda^2 + b_3 \cdot \lambda^3 \quad (\text{Gl. 1})$$

Ein solches Polynom kann das Reflexionskontinuum von Böden und Gesteinen ziemlich gut annähern. Dabei beschreiben die Koeffizienten  $b_1\text{--}b_3$  die Steigung und Krümmung der Funktion, wobei die Koeffizienten  $b_1$  und  $b_3$  die wichtigsten Variablen zur Konzentrationsbestimmung von organischem Kohlenstoff darstellen. Mit Hilfe dieser beiden Variablen ließ sich die Konzentration des organischen Kohlenstoffs in den Bodenproben durch eine multiple Regression vorhersagen. Nachdem wegen der nichtlinearen Beziehung zwischen Reflexion und organischem Kohlenstoffgehalt die Konzentrationen des organischen Kohlenstoffs für die Modellbildung logarithmiert worden waren, lieferte das kreuzvalidierte Modell ein  $r^2$  von 0,768 ( $n = 91$ ) (Abb. 5).

In einer weiteren Untersuchung wurde der organische Kohlenstoff aus Reflexionsspektren von Bodenproben aus der Region Trier (Rheinland-Pfalz) mit der Partial Least Square Regression geschätzt (UDELHOVEN et al. 2003). Berücksichtigt wurden 165 Bodenproben von Acker- und Grünlandböden aus Eifel und Hunsrück. Im Hunsrück ist der vorherrschende Bodentyp eine schluffig-tonige Braunerde aus devonischen Schiefen. Die vorherrschenden Böden in der Eifel variieren in Abhängigkeit von den unterschiedlichen Ausgangsgesteinen (z.B. eisenreiche Sandsteine, Kalksteine, tonige Sedimente). Die Modellanpassung erfolgte für die beiden Untersuchungsgebiete getrennt.



**Abb. 5:** Scatterplot der Kreuzvalidierung des entwickelten Modells zur Vorhersage von Konzentrationen an organischem Kohlenstoff (aus HILL & SCHÜTT 2000).

Das Modell für die relativ homogenen Bodenproben aus dem Hunsrück erbrachte gute Schätzergebnisse der organischen Kohlenstoffkonzentrationen aus Labor-Reflexionsmessungen ( $r_{cv}^2 = 0,88$ ). Anders stellte sich das Resultat für die Bodenproben aus der Eifel dar. Für die auf heterogenem geologischen Ausgangsgestein entwickelten Böden lieferte das Kreuzvalidierte PLS-Modell nur ein  $r^2$  von 0.69. Im Rahmen dieser Studie konnten zwei zusätzliche Restriktionen bei der Schätzung chemischer Bodeninhaltsstoffe aus Reflexionsspektren aufgezeigt werden. So erbrachten die PLS-Modelle für pflanzenverfügbare Nährstoffe (P, K, Mg gemessen im CAL-Extrakt) keine verwertbaren Ergebnisse. Die Gesamtgehalte (Ca, Mg, Fe, Mn, K) hingegen konnten aus Labor-Reflexionsmessungen zufriedenstellend geschätzt werden. Entsprechende Geländemessungen erbrachten keine brauchbaren Resultate. Die zugrunde liegenden Ursachen sind in weiterführenden Untersuchungen noch zu klären.

### 3 Bildbasierte Schätzung pedogener Eigenschaften

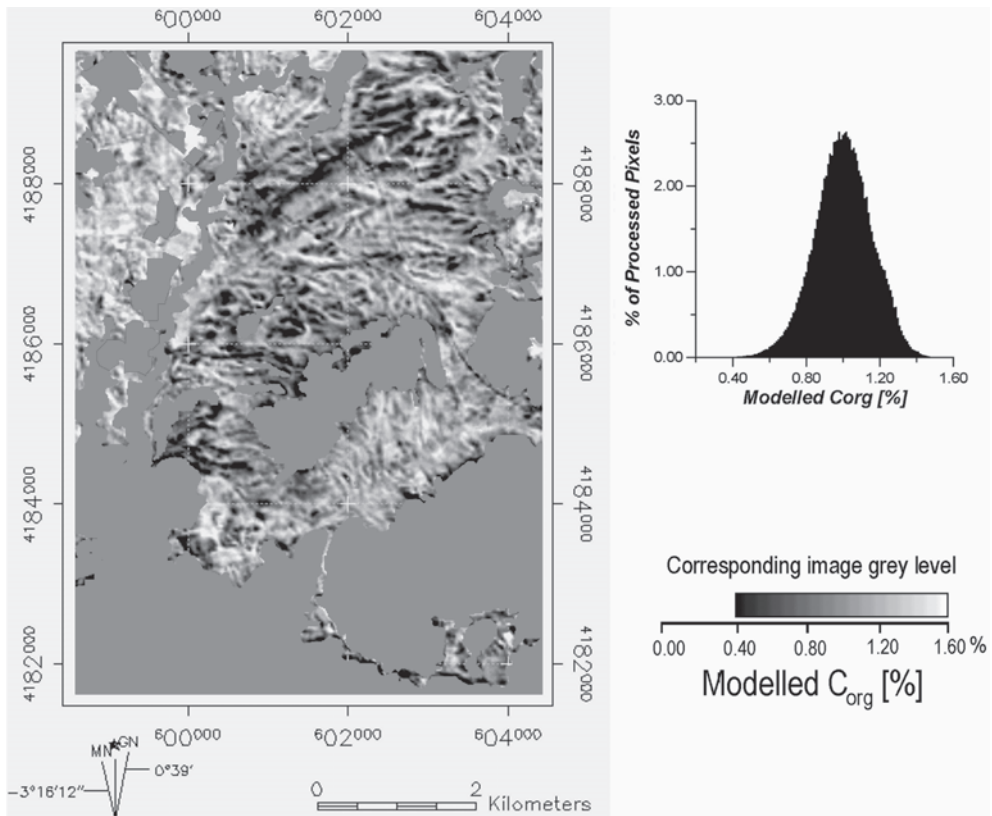
Eine Übertragung von unter Laborbedingungen entwickelten Modellen ist nur eingeschränkt auf Bilddaten möglich. Ursachen dafür sind u.a. die Verschiedenartigkeit der Sensoren, die Beeinflussung durch die Atmosphäre und ein unterschiedliches Skalenniveau, auf dem die Messungen erfolgen.

Dennoch konnte das Modell von HILL & SCHÜTT (2000) nach geringen Modifikationen auch für die Interpretation von multispektralen Bilddaten von Landsat TM und hyperspektralen Daten des HyMap-Sensors aus dem Untersuchungsgebiet (vgl. 2.3) verwendet werden. Dies ermöglichte die Ableitung einer räumlich differenzierten Karte der Verteilung des organischen Kohlenstoffs im Untersuchungsgebiet. Die anhand von 15 ausgewählten Standorten vorläufig überprüften Ergebnisse deuten an, dass insbesondere für niedrige  $C_{org}$ -Konzentrationen anhand der Satellitendaten niedrigere Schätzwerte als mit den HyMap-Hyperspektral-daten ermittelt wurden (Abb. 6).

Ein weiteres Beispiel für die Ableitung pedogener Größen aus Bilddaten bildet eine Studie aus dem Nordwestteil der Negev-Wüste in Israel (HILL et al. 2000). Dieses Gebiet bildet den östlichen Ausläufer des Sinai-Sandfeldes und ist durch west-ost-orientierte Longitudinaldünen charakterisiert, die durch Depressionen zwischen den Dünen (Interdunes) getrennt werden. Der obere Teil der Dünen besteht aus unverfestigtem Sand und ist fast vollständig vegetationsfrei, während die Dünenbasis und die Interdunes eine dichtere Vegetation aufweisen und zu großen Teilen durch biogene Krusten bedeckt sind. Die Zwischendünenbereiche sind außerdem durch inaktive Dünen, Nebkhas und vegetationsfreie Oberflächen („Playa“) mit vorherrschend schluffig-tonigen Sedimenten charakterisiert.

In diesem Gebiet wurden Reflexionsmessungen der unterschiedlichen vorherrschenden Substrat- und Oberflächentypen durchgeführt. Anhand einer spektralen Entmischung von digitalisierten, reflexionskalibrierten Luftbildern sowie Hyperspektral-





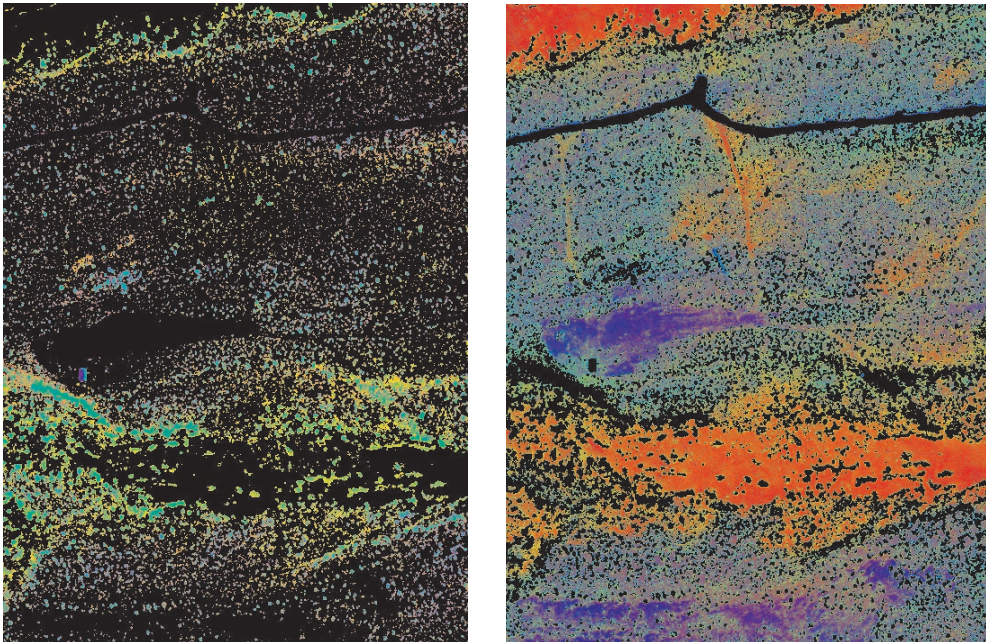
**Abb. 6:** Modellierung der durchschnittlichen Konzentrationen an organischem Kohlenstoff aus drei Landsat-TM Datensätzen (7/89, 4/92 und 7/92) für das Untersuchungsgebiet der Cañada Hermosa (SE-Spanien). Das Histogramm zeigt die Verteilung der  $C_{org}$ -Werte.

daten des DAIS-7915 Sensors wurden die proportionalen Anteile der Oberböden an Sand, Feinmaterial und biogener Bestandteile quantitativ bestimmt. Übereinstimmend sind dabei die Sande der Dünenkämme (rötlich) und die Playas (bläulich) zu erkennen, während die biogenen Krusten in grünlichen Farbtönen dargestellt sind (Abb. 7 & Abb. 8). Weiterführende Detailuntersuchungen sind in Bearbeitung.

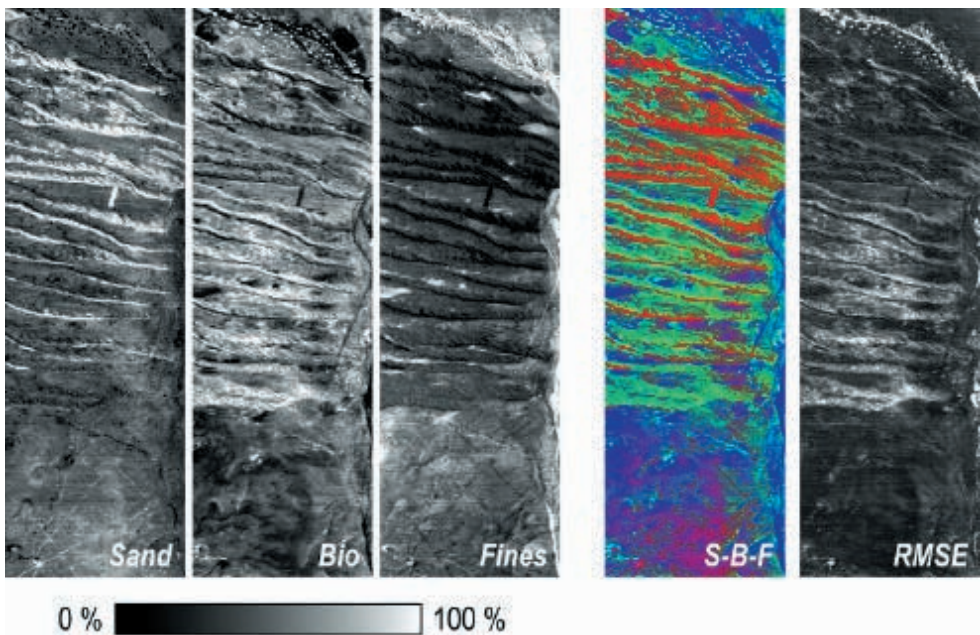
#### 4 Fazit

Die Analyse geo-ökologischer Prozesse auf unterschiedlichen Maßstabsebenen erfordert auch die räumliche Erfassung aussagekräftiger pedogener Eigenschaften. Die hier zusammengefassten Untersuchungen zeigen, dass ausgewählte Bodeninhaltsstoffe

(Fe, anorganischer und organischer Kohlenstoff) mit statistischen Modellen erfolgreich aus Reflexionsmessungen abgeleitet werden können. Es konnten sowohl kontinuumsbezogene wie auch auf die Auswertung spezifischer Absorptionsbanden ausgerichtete Verfahren erfolgreich eingesetzt werden. Damit ist ein schnelles Screening für ausgewählte Bodeninhaltsstoffe als Ergänzung zu chemischen Laboranalysen möglich. Für andere chemische Bodenkenngrößen, insbesondere für pflanzenverfügbare Nährstoffe, wurden hingegen keine ausreichend genauen Schätzergebnisse erzielt. Die Kalibrierung statistischer Modelle mit in-situ gewonnenen Reflexionsspektren stellt ein weiteres Problem dar. Die Übertragbarkeit von Labormodellen auf Bilddaten ist mit Einschränkungen möglich.



**Abb. 7:** Farbkomposite der Abundanzbilder für Vegetation (links) und Substrate (rechts) einer stratifizierten Entmischung aus Luftbildern (Nizzana/Nord-Negev). Die RGB-Darstellung zeigt die relativen Anteile an Sand – photosynthetisch aktiver Vegetation – verholzter Vegetation (links) und Sand – biogener Kruste – Schluff/Ton (rechts).



**Abb. 8:** Abundanzbilder für Sand, biogenes Krustenmaterial und Feinmaterial (Schluff/Ton), eine RGB-Farbkomposite dieser Fraktionen und der Root Mean Square Error des verwendeten Dreimember-Modells aus kalibrierten und atmosphärisch korrigierten DAIS-7915-Daten (Nizzana/Nord-Negev) (aus HILL et al. 2000).

## Literatur

- BAUMGARDNER, M.F., SILVA, L.F., BIEHL, L.L. & STONER, E.R., 1985: Reflectance properties of soils. – *Advances in Agronomy*, **38**: 1–44.
- BEN-DOR, E. & BANIN, A., 1994: Visible and near-infrared (0.4–1.1  $\mu\text{m}$ ) analysis of arid and semiarid soils. – *Remote Sensing of Environment*, **48**: 261–274.
- BEN-DOR, E. & BANIN, A., 1995: Near infrared analysis (NIRA) as a method to simultaneously evaluate spectral featureless constituents in soils. – *Soil Science*, **150**: 259–270.
- BURNS, R.G., 1993: Mineralogical applications of crystal field theory. (Ed.: A. PUTNIS & R.C. LIEBERMANN), 2nd edition. – Cambridge, Cambridge University Press.
- CLARK, N. (1999): Spectroscopy of rocks and minerals and principles of spectroscopy. – In: RYERSON, R. A. (Hrsg.): *Manual of Remote Sensing* (3rd ed.).
- CONDIT, H.R., 1970: The spectral reflectance of American soils. – *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, **36**: 955–966.
- GAFFEY, S.J., 1986: Spectral reflectance of carbonate minerals in the visible and near infrared (0.35–2.55 microns): calcite, aragonite, and dolomite. – *American Mineralogist*, **71**: 151–162.
- GEERKEN, R., 1991: Informationspotential von spektral hochauflösenden Fernerkundungsdaten für die Identifizierung von Mineralen und Gesteinen. Laborversuche und Anwendungsbeispiele in der Geologie. – Stuttgart.
- HAUFF, P.L. & KRUSE, F.A., 1990: International spectral properties data base. Species characterization. Handcopy. (prepared for the IGCP 264 Data Base Committee). Boulder, Co.
- HILL, J. & SCHÜTT, B., 2000: Mapping complex patterns of erosion and stability in dry mediterranean ecosystems. – *Remote Sensing of Environment*, **74**: 557–569.
- HILL, J., UDELHOVEN, T., SCHÜTT, B. & YAIR, A., 2000: Differentiating biological soil crusts in a sandy arid ecosystem based on hyperspectral data acquired with DAIS 7915. – In: SCHAEPMANN, M., SCHLÄPFER, D. & ITTEN, K. (Ed.): 1st EARSeL Workshop on Imaging Spectroscopy. – pp. 427–436.
- HUNT, G.R. & SALISBURY J.W., 1971: Visible and near-infrared spectra of minerals and rocks: II. Carbonates. – *Modern Geology*, **2**, 23–30.
- HUNT, G.R., SALISBURY, J.W. & LENHOFF, C.J., 1971a: Visible and near-infrared spectra of minerals and rocks: III. Oxides and hydroxides. – *Modern Geology*, **2**: 195–205.
- IRONS, J.R., WEISMILLER, R.A. & PETERSEN, G.W., 1989: Soil reflectance. – In: ASRAR, C., 1989: *Theory and applications of optical remote sensing*. – pp. 66–105, New York.
- JARMER, T. & SCHÜTT, B., 1998: Analysis of iron contents in carbonate bedrock by spectroradiometric detection based on experimentally designed substrates. – In: SCHAEPMANN, M., SCHLÄPFER, D. & ITTEN, K.: 1st EARSeL Workshop on Imaging Spectroscopy. – pp. 375–382.
- JARMER, T., LAVÉE, H., HILL, J. & SARAH, P., 2002: Spectral detection of inorganic carbon content along a semi-arid to hyper-arid climatic gradient in the Judean desert (Israel). – 2nd EARSeL Workshop on Imaging Spectroscopy, 2002, Enschede (on CD-Rom).
- MARTENS, H. & NAES, T., 1989: *Multivariate Calibration*. – John Wiley & Sons Ltd., Chichester.
- SHEPHERD, K.D. & WALSH, M.G., 2002: Development of reflectance spectral libraries for characterization of soil properties. – *Soil Sci. Am. J.*, **66**: 988–998.
- SUDDUTH, K.A. & HUMMEL, J.W., 1991: Evaluation of reflectance methods for soil organic matter sensing. – *Transactions of the ASAE*, **34**: 1900–1909.
- UDELHOVEN, T.; EMMERLING, C. & JARMER, T., 2003: Quantitative analysis of soil chemical properties with diffuse reflectance spectrometry and partial-least-square regression. – *Plant and Soil* (accepted).
- VAN DER MEER, F.D., 1995: *Imaging spectrometry and the Ronda peridotites*. – Wageningen.
- Anschriften der Autoren:  
 Dipl.-Geogr. THOMAS JARMER, Universität Trier, Abt. Fernerkundung, Behringstraße, D-54286 Trier  
 Tel.: +49-651-201-4605,  
 Fax: +49-651-201-3815,  
 e-mail: jarmer@uni-trier.de  
 Dr. rer. nat. THOMAS UDELHOVEN, Universität Trier, Abt. Fernerkundung, Behringstraße, D-54286 Trier  
 Tel.: +49-651-201-4594,  
 Fax: +49-651-201-3815,  
 e-mail: udelhove@uni-trier.de  
 Prof. Dr. rer. nat. JOACHIM HILL, Universität Trier, Abt. Fernerkundung, Behringstraße, D-54286 Trier,  
 Tel.: +49-651-201-4591,  
 Fax: +49-651-201-3815,  
 e-mail: hillj@uni-trier.de
- Manuskript eingereicht: November 2002  
 Angenommen: Januar 2003



## Entwicklung von Kenngrößen zur Qualitätsbeurteilung optischer Prozessketten

MANFRED WIGGENHAGEN & KARSTEN RAGUSE, Hannover

**Keywords:** close-range photogrammetry, evaluation indices, quality validation

**Summary:** *Development of quality parameters for quality assessment of optical process chains.* This paper presents quality parameters for the quality assessment of photogrammetric bundles in photogrammetric close-range applications. For the preparation and realisation of photogrammetric object determinations the quality parameters shall enable the user to get a maximum amount of result quality. The indices can be calculated from simple geometric measures and require no detailed experience in statistical methods or adjustment procedures.

**Zusammenfassung:** In diesem Beitrag werden Kenngrößen zur Beurteilung der Qualität photogrammetrischer Bildverbände in Nahbereichsprojekten vorgestellt. Diese Kenngrößen sollen den Nutzer in die Lage versetzen, bei der Vorbereitung und Durchführung photogrammetrischer Objektbestimmungen qualitativ hochwertige Ergebnisse zu erzielen. Die Kenngrößen können aus einfachen geometrischen Maßen abgeleitet werden und erfordern kein tiefer gehendes Wissen über statistische Methoden oder Ausgleichungsverfahren.

---

### 1 Einleitung

Die dreidimensionale Punktbestimmung mit Methoden der Photogrammetrie basiert auf klar definierten geometrischen Zusammenhängen der Zentralperspektive. Trotz dieser mathematisch eindeutig festgelegten Methoden werden von potenziellen Nutzern häufig folgende Kritikpunkte genannt: „Photogrammetrie ist kompliziert, nicht nachvollziehbar und nur Experten können reproduzierbare Ergebnisse erzielen“.

Diese Kritik entsteht oft aufgrund des fehlenden Einblicks in die einzelnen Arbeitsschritte bei der Vorbereitung, Durchführung und Auswertung der Aufnahmen. Weiterhin kann oftmals kein tiefer gehendes Wissen über den theoretischen Hintergrund der eingesetzten Bündelausgleichungsprogramme vorausgesetzt werden. Um diesem Defizit Abhilfe zu schaffen, enthalten viele der aktuell verfügbaren photogrammetrischen

Softwaresysteme umfangreiche Handbücher, die ein Lehrbuch auf dem Gebiet zwar nicht ersetzen können, diesem aber oft sehr nahe kommen, siehe z. B. ROLLEI (2002) und EOS (2001).

Die Akzeptanz der photogrammetrischen Verfahren kann jedoch auch dadurch erhöht werden, wenn nachvollziehbare unabhängige Kontrollmöglichkeiten der Zwischenresultate und Endergebnisse vorgesehen werden.

Zu diesem Zweck wurden in den vergangenen Jahren in den unterschiedlichen Gremien, wie z.B. DIN und VDI verstärkt Richtlinien entwickelt und Verfahren vorgestellt, die unabhängig von den verwendeten Ausgleichungsansätzen eine Bewertung der Qualität der photogrammetrischen Ergebnisse ermöglichen LUHMANN & WENDT (2000) und RAUTENBERG & WIGGENHAGEN (2002).

## 2 Zielsetzung

Die Qualität der dreidimensionalen Punktbestimmung wird von einer Vielzahl von einzelnen Prozessen und Parametern beeinflusst. Im Sinne des Qualitätsmanagements müssen für die Beurteilung der Qualität des Gesamtergebnisses die einzelnen an der Berechnung beteiligten Verfahren isoliert und im Einzelnen beurteilt werden können DIN (1995). Im Gegensatz zu Vorgehensweisen, die nur eine abschließende Bewertung der Ergebnisqualität ermöglichen und keinen Hinweis auf Optimierungsmöglichkeiten der gesamten Prozesskette geben, werden in diesem Beitrag Kenngrößen vorgestellt, die über die Beurteilung der einzelnen Teilprozesse Hinweise zu Defiziten im Gesamtprozess liefern und die gezielte Verbesserung einzelner Teilkomponenten erlauben.

### 2.1 Bestandteile der optischen Prozesskette

Die dreidimensionale photogrammetrische Punktbestimmung kann in folgende Teilprozesse unterteilt werden:

- Vorbereitung der Aufnahme,
- Bildaufnahme, Bildmessung und
- Ausgleichung des Bildverbandes.

Die Photogrammetrie findet heute fachübergreifend in den unterschiedlichsten Disziplinen Anwendung. Dort wird der Gesamtprozess der dreidimensionalen Punktbestimmung als „optische Messkette“ oder auch „optische Prozesskette“ bezeichnet.

Da die Ausgleichung des Bildverbandes am Ende dieser Prozesskette steht, sind hier zwar hohe Anforderungen an die optimale Bündelausgleichung und z.B. die Entdeckung grober Fehler und Ausreißer zu stellen, Mängel bei der Vorbereitung und Durchführung der Aufnahme können aber nur bei hoher Redundanz kompensiert werden.

### 2.2 Beurteilung der Qualität optischer Messketten

Die mathematisch rechnerische Auswertung des Bildverbandes basiert in den gängigen Softwarepaketen auf der ausgleichungstech-

nischen Umsetzung des zentralperspektivischen Modells unter Einführung zusätzlicher Beobachtungen und Bedingungen zwischen den Unbekannten. Experten beurteilen die Qualität der Ergebnisse, z.B. der ausgeglichenen Objektkoordinaten, über die Varianzen, Kovarianzen und Korrelationen der ausgeglichenen Unbekannten sowie den Verbesserungen der ausgeglichenen Beobachtungen.

Über dieses Expertenwissen verfügt nicht jeder Nutzer, außerdem erlaubt die Kapselung der Softwarepakete oft nur bedingt die Analyse des gesamten Fehlerhaushaltes. Um für die Ausgleichung des photogrammetrischen Bildverbandes optimale Ausgangsbedingungen zu schaffen, werden die nachfolgend vorgestellten Kenngrößen für die Prozessschritte Vorbereitung der Aufnahme und Bildaufnahme entwickelt.

## 3 Definition von Kenngrößen

Unter Kenngrößen werden Zahlenwerte verstanden, die einen Teilprozess der optischen Prozesskette zahlenmäßig charakterisieren bzw. Entscheidungshilfen liefern, ob die Qualität des jeweiligen Teilprozesses der gestellten Anforderung genügt.

### 3.1 Vorbereitung der Aufnahme

Dieser Abschnitt umfasst die Auswahl der geeigneten Sensor-Optik-Kombination, der Punktsignalisierung, der Beleuchtung und Auswahl der Kamerastandpunkte.

#### 3.1.1 Bildmaßstabszahl

Unabhängig von der zu lösenden Messaufgabe ist die Qualität der Ergebnisse wesentlich von der gewählten Bildmaßstabszahl abhängig.

Die Kenngröße **Bildmaßstabszahl** wird mit folgender Formel berechnet:

$$m_b = \frac{pel_o}{pel_i} = \frac{y}{c}$$

Es gilt:

$$\begin{aligned} m_b &= \text{Bildmaßstabszahl} \\ y &= \text{maximaler Abstand zwischen} \\ &\quad \text{Kamera und Objekt} \\ c &= \text{Kamerakonstante der eingesetzten} \\ &\quad \text{Kamera} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} pel_o &= \text{Bildelementgröße am Objekt} \\ pel_i &= \text{Bildelementgröße des Sensors} \end{aligned}$$

Beispiel:  $y = 5000 \text{ mm}, c = 25 \text{ mm},$   
 $pel_o = 2 \text{ mm}, pel_i = 0.009 \text{ mm}$

$$m_{bsoll} = \frac{pel_o}{pel_i} = \frac{2}{0.009} = 222$$

$$m_{bist} = \frac{y}{c} = \frac{5000}{25} = 200$$

Im vorgegebenen Beispiel wurde vom Auftragegeber eine Mindestbildelementgröße am Objekt von 2 mm gefordert. Die eingesetzte Digitalkamera hat eine Bildelementgröße von 0.009 mm. Aus dem Quotienten wird die erforderliche Bildmaßstabszahl  $m_{bsoll}$  mit 222 berechnet.

Aus dem Verhältnis der geplanten maximalen Aufnahmeentfernung und der gewählten Kamerakonstante kann die tatsächlich existierende Bildmaßstabszahl  $m_{bist}$  mit 200 ermittelt werden. Mit der Forderung  $m_{bist} \leq m_{bsoll}$  ist in diesem Beispiel das Kriterium „Bildmaßstabszahl“ erfüllt.

### 3.1.2 Zielmarkendurchmesser

Bei hohen Genauigkeitsanforderungen werden die zu bestimmenden Objektpunkte z. B. mit kreisförmigen Zielmarken versehen. Werden innerhalb der Auswertung die Bildkoordinaten der abgebildeten Zielmarken mit automatischen Verfahren ermittelt, wie z. B. mit Stern-, Ring-, oder Ellipsenoperator, muss ein Mindestdurchmesser der Zielmarken im Bild gewährleistet sein.

Bei der Vorbereitung der Aufnahme muss im folgenden Beispiel dafür gesorgt werden, dass die Zielmarken nicht kleiner als 18 mm im Durchmesser sind. Bei einer nachträglichen Überprüfung eines Bildverbandes wird das Kriterium „Zielmarkendurchmesser“ als erfüllt angesehen, wenn der tatsächliche Zielmarkendurchmesser größer oder gleich 18 mm ist. Es ist noch zu diskutieren, ob die

Beurteilung der Qualität nur auf dieser reinen ja/nein Entscheidung basieren soll oder auch Zwischenstufen möglich sind, da die abgebildeten Ellipsen auch bei nicht erreichtem Mindestdurchmesser gefunden werden, allerdings nicht mit der erwarteten Genauigkeit von z. B. 0.02 Bildelementen.

Die Kenngröße **Zielmarkendurchmesser** wird mit folgender Formel berechnet:

$$d_o = \frac{d_b \cdot pel_i \cdot y}{c}$$

Es gilt:

$$\begin{aligned} d_o &= \text{Minstdurchmesser der Zielmarke im} \\ &\quad \text{Objekt} \\ d_b &= \text{Minstdurchmesser der Zielmarke} \\ &\quad \text{im Bild} \\ c &= \text{Kamerakonstante} \\ pel_i &= \text{Bildelementgröße der eingesetzten} \\ &\quad \text{Kamera} \\ y &= \text{maximaler Abstand zwischen Kamera} \\ &\quad \text{und Objekt} \end{aligned}$$

Beispiel:  $d_b = 10 \text{ pixel}, c = 25 \text{ mm},$   
 $pel_i = 0.009 \text{ mm}, y = 5000 \text{ mm}$

$$d_o = \frac{d_b \cdot pel_i \cdot y}{c} = \frac{10 \cdot 0.009 \cdot 5000}{25} = 18 \text{ mm}$$

### 3.1.3 Zielmarkenkontrast

Die Präzision der automatischen Ellipsenmessung in digitalen Bildern ist wesentlich vom Kontrast abhängig. Mit Blitzgeräten oder Zusatzbeleuchtung ist daher für eine geeignete Ausleuchtung der Szene zu sorgen. Automatisierte Punktmessverfahren erlauben zwar die dynamische Anpassung des Messverfahrens an den lokalen Kontrast im Bild, die Einhaltung eines ausreichenden Kontrastes im Bild wird jedoch oftmals zur Gewährleistung einer präzisen Punktmessung gefordert.

Die Kenngröße **Zielmarkenkontrast** wird mit folgender Formel berechnet:

$$k_{ist} = \frac{g_{max} - g_{min}}{g_{max} + g_{min}}$$

Es gilt:

$k_{ist}$  = tatsächlicher Kontrast im Bild

$k_{soll}$  = minimaler Kontrast im Bild

(vom Softwarehersteller gefordert)

$g_{max}$  = maximaler Grauwert innerhalb der abgebildeten Zielmarke (weiß)

$g_{min}$  = minimaler Grauwert innerhalb der abgebildeten Zielmarke (schwarz)

Beispiel:  $k_{soll} \geq 0.5$ ,  $g_{max} = 250$ ,  $g_{min} = 128$

$$k_{ist} = \frac{g_{max} - g_{min}}{g_{max} + g_{min}} = \frac{250 - 128}{250 + 128} = 0.32$$

Die Beurteilung dieser Kenngröße ist nur im digitalen Bild direkt möglich. Durch den Einsatz digitaler Kameras, die sofort ausgelesen und deren Bilder z.B. auf dem Notebook unmittelbar ausgewertet werden können, stellt die Bestimmung des Kontrastes über die Grauwertmessung jedoch kein Problem dar. Mit einem erforderlichen Kontrast von  $k_{soll} \geq 0.5$  erfüllt das Beispiel die gestellten Anforderungen nicht.

### 3.1.4 Unschärfekreisdurchmesser

Photogrammetrische Bildverbände werden mit auf  $\infty$  fokussierten Objektiven oder mit gerasteten Fokussierungen aufgenommen. Die Schärfe der abgebildeten Zielmarken im Bild kann bei bekanntem Aufnahmeabstand und vorgegebener Optik vorausgerechnet werden.

Die Kenngröße **Unschärfekreisdurchmesser** wird mit folgender Formel berechnet:

$$u = \frac{\left| \frac{y_f}{y} - 1 \right| \cdot f^2}{(y_f - f) \cdot k}$$

Es gilt:

$u$  = tatsächlicher Unschärfekreisdurchmesser

$y$  = maximaler Abstand zwischen Kamera und Objekt

$y_f$  = fokussierter Abstand zwischen Kamera und Objekt

$f$  = Brennweite

$k$  = gewählte Blendenzahl des Objektivs

Beispiel:  $y = 6000 \text{ mm}$ ,  $y_f = 8000 \text{ mm}$ ,  
 $f = 25 \text{ mm}$ ,  $k = 8$

$$u = \frac{\left| \frac{y_f}{y} - 1 \right| \cdot f^2}{(y_f - f) \cdot k} = \frac{\left| \frac{8000}{6000} - 1 \right| \cdot 25^2}{(8000 - 25) \cdot 8} = 0.003 \text{ mm}$$

Falls das Objektiv auf  $\infty$  fokussiert wurde, gilt die Formel:  $u = \frac{f^2}{y \cdot k}$ .

Bei einem maximal zulässigen Unschärfekreisdurchmesser von 0.010 mm, wird im vorgegebenen Beispiel das Kriterium „Unschärfekreisdurchmesser“ erfüllt, da  $u < u_{max}$ .

In der Praxis wird für analoge Bilder ein Unschärfekreisdurchmesser von ca. 30  $\mu\text{m}$  gefordert. Bei digitalen Bildern entspricht der maximal zulässige Unschärfekreisdurchmesser etwa der Bildelementgröße des Sensors.

### 3.1.5 Bewegungsunschärfe

Bei der Bildaufnahme aus einem bewegten Fahrzeug oder bei der Aufnahme bewegter Objekte muss die Relativbewegung zwischen Objekt und Aufnahmesystem berücksichtigt werden. Für die praktische Anwendung sind die Größen zulässige Bewegungsunschärfe im Bild, maximale Belichtungszeit und Bewegungsunschärfe am Objekt von Bedeutung LUHMANN (2000).

Innerhalb eines Sicherheitsversuches wurde ein mit einer Geschwindigkeit von 68 km/h rechtwinklig zur Aufnahmeachse fahrender Pkw mit einer Belichtungszeit von 0.2 ms aufgenommen. Bei einer Bildmaßstabszahl von 400 ergibt sich eine tatsächliche Bewegungsunschärfe von 0.009 mm. Unter der Bedingung  $\Delta s' \leq \Delta s'_{max}$  ist in diesem Fall das Kriterium „Bewegungsunschärfe“ erfüllt.

Die Kenngröße **Bewegungsunschärfe** wird mit folgender Formel berechnet:

$$\Delta s' = \frac{\Delta t \cdot v}{m_b} \quad \text{mit:} \quad \Delta s'_{max} = \frac{1.5}{AV}$$



Es gilt:

$\Delta s'_{\max}$  = maximal zulässige Bewegungsunschärfe

$\Delta s'$  = tatsächliche Bewegungsunschärfe im Bild

$v$  = Geschwindigkeit rechtwinklig zur optischen Achse

$\Delta t$  = Belichtungszeit

$\Delta t_{\max}$  = maximale Belichtungszeit

$m_b$  = Bildmaßstabzahl

$AV$  = Auflösungsvermögen des Sensors

Beispiel:  $v = 68 \text{ km/h} = 18.9 \text{ m/s}$ ,  
 $\Delta t = 0.2 \text{ ms}$ ,  $m_b = 400$ ,  
 $AV = 111 \text{ L/mm}$

$$\Delta s'_{\max} = \frac{1.5}{AV} = \frac{1.5}{111} = 0.014 \text{ mm}$$

$$\Delta s' = \frac{\Delta t \cdot v}{m_b} = \frac{0.0002 \cdot 18900}{400} = 0.009 \text{ mm}$$

$$\Delta t_{\max} = \frac{\Delta s'_{\max} \cdot m_b}{v} = \frac{0.014 \cdot 400}{18900} = 0.296 \text{ ms}$$

### 3.1.6 Passpunktverteilung

Zwingend erforderlich für die Datumsdefinition bzw. die absolute Orientierung des photogrammetrischen Modells ist die Aufnahme von Passpunkten. Um eine ungünstige Lage von Passpunkten im Bild zu vermeiden, wird folgende Kenngröße festgelegt:

#### Passpunktverteilung

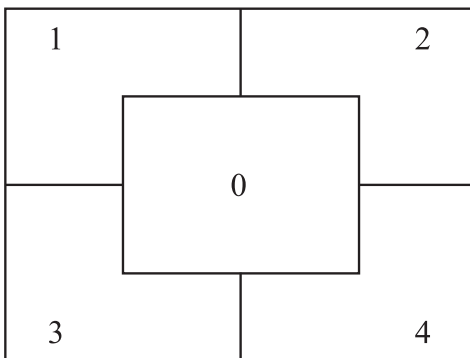


Abb. 1: Passpunktverteilung.

Im Bild müssen Passpunkte in den Sektoren 1 bis 4 abgebildet sein.

Es ergibt sich daraus als Kenngröße:

$pp_i = 1$ , falls in Sektor  $i$  ein Passpunkt liegt

$pp_i = 0$ , falls in Sektor  $i$  kein Passpunkt liegt

mit  $i = 1, 2, 3, 4$

$$v_p = pp_1 + pp_2 + pp_3 + pp_4$$

Die Existenz von vier Vollpasspunkten im Bild ( $v_p = 4$ ) erlaubt z.B. die Einzelbildauswertung im Sinne der projektiven Transformation. Bei der Berechnung von Bildverbänden ist diese Bedingung nicht für jedes Bild, sondern für das Modell bzw. den Verband einzuhalten.

Bei der Vorbereitung der Punktsignalisierung und der Kamerastandorte ist die Passpunktverteilung zu planen und die Zielmarken der Passpunkte sind mit höherer Genauigkeit z. B. geodätisch einzumessen.

### 3.2 Bildaufnahme

Die für die Bildaufnahme vorgestellten Kenngrößen sind sowohl für die digitale, als auch für die analoge Photogrammetrie anwendbar. Bei der Beurteilung der radiometrischen Eigenschaften hat die digitale Bildaufnahme einen erheblichen Zeitgewinn gegenüber der analogen Aufnahme, da eine Analyse des Bildmaterials unverzüglich erfolgen kann.

#### 3.2.1 Kamerastandorte

In Abhängigkeit von der zu erfassenden Objektform werden in der Regel komplette Rundumverbände oder Streifenverbände mit konvergent angeordneten Aufnahmerichtungen geplant. Zur Erhöhung der Redundanz bei der Punktbestimmung wird nach Abb. 2 ein Planungsschema für die Kamerastandorte im Grundriss und Aufriss vorgegeben.

Aufnahme-Ebenen

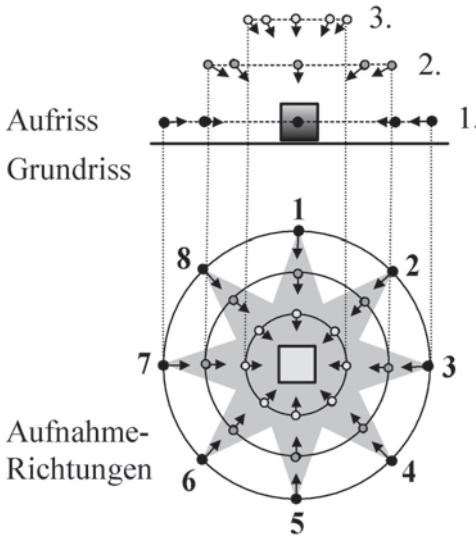


Abb. 2: Kamerastandorte.

Im Bildverband sollten die Kamerastandorte möglichst in der Nähe der Positionen 1 bis 8 und in den Ebenen 1 bis 3 vorgesehen werden.

Es ergibt sich daraus als Kenngröße **Kamerastandort**:

$$k_{st} = \sum_{j=1}^3 \sum_{i=1}^8 k_{ij}$$

mit  $i = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8$  und  $j = 1, 2, 3$

$k_{ij} = 1$ , falls ein Kamerastandpunkt im Bereich  $i$  und in der jeweiligen Ebene  $j$  liegt, anderenfalls gilt  $k_{ij} = 0$ .

In dem idealisierten Beispiel des Rundumverbandes wird die Qualität der Kamerastandorte über den Zusammenhang  $k = k_{st}/24 \leq 1$  charakterisiert. Da je nach Messaufgabe unterschiedliche Bildverbände entstehen, die aufgrund örtlicher Zwänge mehr oder weniger stark von dem idealen Rundumverband abweichen, ist die Kenngröße  $k$  nur als Richtwert zu verstehen. Bei Nichteinhaltung des Kriteriums kann dieses ggf. einen Hinweis auf eine mögliche Optimierungsnotwendigkeit der Kamerastandorte geben.

3.2.2 Aufnahmewinkel

Der Aufnahmewinkel, unter dem ein Objektpunkt abgebildet wird, sollte nicht zu klein werden, da sonst die Zielmarken und Objektdetails zu stark verzerrt dargestellt werden. Für kreisförmige Zielmarken sollte der Aufnahmewinkel daher nicht unter  $30^\circ$  liegen (siehe Abb. 3).

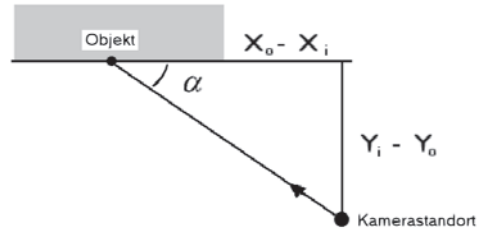


Abb. 3: Aufnahmewinkel.

Die Abschätzung für den Aufnahmewinkel kann sowohl im Grundriss (Abb. 3) als auch im Aufriss vorgenommen werden. Bei näherungsweise bekannten Objektpunktkoordinaten und Koordinaten des Projektionszentrums der Kamera lässt sich der Aufnahmewinkel abschätzen.

Die Kenngröße **Aufnahmewinkel** wird z. B. im Grundriss mit folgender Formel berechnet:

$$\alpha = \text{atan} \frac{(Y_i - Y_o)}{(X_o - X_i)}$$

Es gilt:

- $\alpha =$  Aufnahmewinkel
- $Y_o =$  Koordinate des Projektionszentrums
- $X_o =$  Koordinate des Projektionszentrums
- $Y_i =$  Koordinate des Objektpunktes
- $X_i =$  Koordinate des Objektpunktes

Beispiel:  $Y_o = 10 \text{ mm}, X_o = 3600 \text{ mm},$   
 $Y_i = 2610 \text{ mm}, X_i = 100 \text{ mm}$

$$\alpha = \text{atan} \frac{(Y_i - Y_o)}{(X_o - X_i)} = \frac{2600}{3500} = 36.6^\circ$$

Die Berechnung dieser Kenngröße kann für jeden Kamerastandort und für jeden im Bild sichtbaren Objektpunkt durchgeführt werden.

### 3.2.3 Überdeckung

Eine stabile Modellbildung mittels benachbarter Bilder kann durch eine ausreichende Überdeckung der Einzelbilder gewährleistet werden (siehe Abb. 4). Die gewünschte Überdeckung der Bilder ist abhängig vom Zweck der Auswertung. Bei dreidimensionaler Punktbestimmung muss eine stereoskopische Überdeckung von mindestens 50% vorgesehen werden. In der Praxis wird oftmals ein Wert von 60% angestrebt. Bei der Herstellung von Bildplänen für Dokumentationszwecke wird eine zusätzliche Sicherheitsüberdeckung benachbarter Bilder von 5–10% gefordert. Die Abschätzung kann für Grund- und Aufriss getrennt durchgeführt werden. Ähnlich der Bildflugplanung kann bei ausreichender horizontaler Überdeckung eine geringere vertikale Überdeckung gewählt werden. Die erfassbare Objektfläche ist im wesentlichen vom Formatwinkel des Aufnahmesystems abhängig.

#### Aufnahme-Ebenen

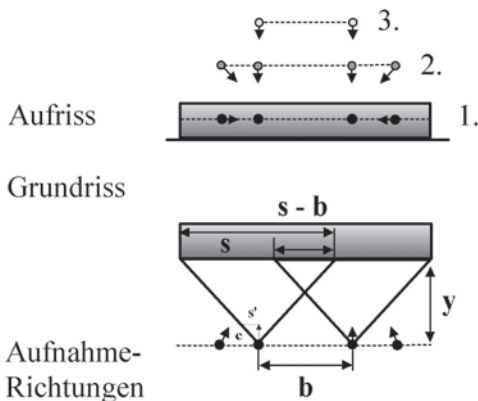


Abb. 4: Bildüberdeckung.

Die Kenngröße **Überdeckung** wird mit folgender Formel berechnet:

$$q_{ist} = 1 - \frac{b}{s'} \cdot \frac{c}{y}$$

Es gilt

$q_{ist}$  = tatsächliche Überdeckung

$q_{soll}$  = geforderte Überdeckung

$y$  = Abstand zwischen Kamera und Objekt

$c$  = Kamerakonstante

$s'$  = Bildformatseite

$b$  = Aufnahmebasis

Beispiel:  $q_{soll} = 0.60, y = 10000 \text{ mm},$   
 $c = 9 \text{ mm}, s' = 8.6 \text{ mm},$   
 $b = 3000 \text{ mm}$

$$q_{ist} = 1 - \frac{b}{s'} \cdot \frac{c}{y} = 1 - \frac{3000}{8.6} \cdot \frac{9}{10000} = 0.686$$

Mit der Forderung  $q_{ist} \geq q_{soll}$  erfüllt dieses Beispiel das Prüfkriterium „Überdeckung“. Eine gute Überdeckung spielt eine sehr große Rolle bei der Stabilität des Bildverbandes, der flexiblen Modellbildung und der Erhöhung der Redundanz in der Punktbestimmung.

Die Berechnung dieser Kenngröße basiert auf dem Normalfall der Kameraanordnung, der in der Praxis in den meisten Fällen durch die flexiblere Konvergentanordnung ersetzt wird. Hiermit lassen sich auch bei kleiner Basis und größeren Aufnahmeentfernungen höhere Überdeckungen erreichen.

### 3.2.4 Schnittverhältnis

Die Qualität der dreidimensionalen Objektpunktkoordinaten ist abhängig vom Netzdesign und der vorliegenden Schnittgeometrie. Für die Beurteilung der Schnittgeometrie in photogrammetrischen Bildverbänden kann das Abstands-Basis-Verhältnis pro Kamerapaar genutzt werden.

Die Kenngröße **Schnittverhältnis** wird mit folgender Formel berechnet:

$$i_s = \frac{y_{max}}{b}$$

Es gilt:

$i_s$  = Schnittverhältnis

$b$  = Abstand zwischen benachbarten Kameras (Basis)

$y_{max}$  = maximaler Abstand zwischen Kamera und Objekt

Beispiel:  $b = 10000 \text{ mm}, y_{max} = 5000 \text{ mm}$

$$i_s = \frac{y_{max}}{b} = \frac{5000}{10000} = 0.5$$

Unter günstigen Bedingungen und Schnittwinkeln am Objekt von  $90^\circ$ , gilt  $i_s = 0.5$ . Werden bei mindestens vier beteiligten Bildern Schnittwinkel zwischen  $45^\circ$  und  $120^\circ$  zugelassen, ergibt sich  $0.3 < i_s < 1.3$ .

Für die grobe Abschätzung der Genauigkeit der photogrammetrischen Objektpunktkoordinaten kann angesetzt werden:

$$s_{XYZ} = i_s \cdot m_b \cdot s_{x'y'}$$

Hiermit wird über das Schnittverhältnis die Unsicherheit der Bildkoordinatenmessung  $s_{x'y'}$  mit der Maßstabszahl  $m_b$  in den Objektraum  $s_{XYZ}$  übertragen. Da in Bildverbänden nicht mit Stereonormalfallaufnahmen, sondern in konvergenter Aufnahmeanordnung gearbeitet wird, kann die Genauigkeit der Ergebnisse streng genommen nur über das stochastische Modell der Ausgleichung abgeschätzt werden. Die Kenngröße „Schnittverhältnis“ ermöglicht jedoch für sämtliche Kamerakombinationen eine Grobabschätzung, d. h. ob z. B. die Kamerastationen für die dreidimensionale Punktbestimmung geeignet sind.

### 3.3 Skalierung und Kontrolle des Objektmodells

Zur Skalierung und Kontrolle des resultierenden Objektmodells werden entweder Pass- und Kontrollpunkte aufgenommen oder hochgenau kalibrierte Längenmaßstäbe in der Aufnahmeszene platziert und die Zielmarken der Maßstäbe photogrammetrisch erfasst.

#### 3.3.1 Maßstabsdefinition

Zur Festlegung des Systemmaßstabes und zur unabhängigen Kontrolle der dreidimensionalen Punktbestimmung werden vier und mehr hochgenau kalibrierte Längenmaßstäbe benötigt. Die Anordnung erfolgt in drei zueinander senkrechten Richtungen und ggf. quer dazu mit einer Länge von mindestens  $2/3$  der maximalen Länge im Messvolumen (siehe Abb. 5).

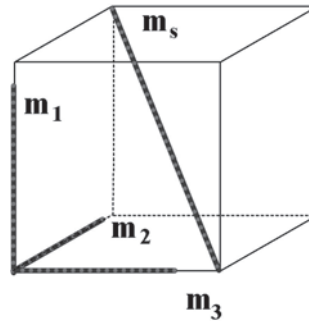


Abb. 5: Maßstabsanordnung.

Die Kenngröße **Maßstabsdefinition** wird berechnet, mit:

$$m_s = 1, \quad \text{falls Systemmaßstab in mehr als einem Bild sichtbar ist,}$$

$$\text{ansonsten gilt: } m_s = 0$$

$$m_{ki} = 1, \quad \text{falls Kontrollmaßstab in mehr als einem Bild sichtbar ist,}$$

$$\text{ansonsten gilt: } m_{ki} = 0 \quad \text{mit } i = 1, 2, 3,$$

ergibt sich:

$$m_k = m_{k1} + m_{k2} + m_{k3}$$

Falls nach Abb. 5 in einem Bildverband nur der Systemmaßstab  $m_s$  vorgesehen wurde, besteht keine Kontrollmöglichkeit über unabhängige Strecken. Es ist daher als Größe für die Maßstabsdefinition  $m_k$  mindestens der Wert 1 anzustreben. Weiterhin wird gefordert  $m_s = 1$ .

#### 3.3.2 Relative Längenmessabweichung

Auf den System- und Kontrollmaßstäben befinden sich jeweils mindestens zwei klar definierte Zielmarken für welche der Soll-Abstand aus dem Kalibrierungsprotokoll entnommen werden kann. Die Differenz zwischen den gemessenen Ist- und den kalibrierten Soll-Abständen ist ein Kriterium für die erreichte Qualität der dreidimensionalen Punktbestimmung.

Die Kenngröße **relative Längenmessabweichung** wird mit folgender Formel berechnet:

$$s_{kd} = \left| \frac{d_s - d_i}{d_s} \right| \leq s_{zd}$$

Es gilt:

$s_{kd}$  = relative Längenmessabweichung

$d_s$  = kalibrierter Soll-Abstand zwischen zwei Zielmarken

$d_i$  = gemessener Ist-Abstand zwischen zwei Zielmarken

$s_{zd}$  = maximal zulässige relative Längenabweichung

Beispiel:  $d_s = 1000.100 \text{ mm}$ ,  
 $d_i = 1000.060 \text{ mm}$ ,  
 $s_{zd} = 1 : 20000$

$$s_{kd} = \left| \frac{1000.100 - 1000.060}{1000.100} \right|$$

$$= 0,00004 = 1 : 25000$$

Im vorgegebenen Beispiel ist das Kriterium „relative Längenmessabweichung“ erfüllt, da  $s_{kd}$  mit 1 : 25000 kleiner als die geforderte Längenmessabweichung  $s_{zd}$  ist.

#### 4 Qualitätsangaben

Die beschriebenen Kenngrößen ermöglichen vor der Durchführung der Aufnahme eine Einschätzung der Qualität einzelner Teilprozesse der optischen Messkette. Nach der Auswertung und Berechnung der Ergebnisse können mögliche Schwachstellen in der Prozesskette durch die Beurteilung der einzelnen Kenngrößen ermittelt werden. Hieraus ergeben sich Optimierungsmöglichkeiten für zukünftige Messkampagnen.

##### 4.1 Quantitative Beurteilung der Ergebnisse

Wird in der abschließenden Bewertung für jede Kenngröße, welche die Anforderungen erfüllt hat, ein Wertungspunkt vergeben, so ermöglicht die Summation sämtlicher Wertungspunkte die Beurteilung des Gesamtfehlerbudgets der Punktbestimmung. Aus der Gegenüberstellung der theoretisch erreichbaren Punktzahl zur tatsächlich er-

reichten ergibt sich ein Hinweis auf die Gesamtqualität der optischen Messkette.

##### 4.2 Qualitative Beurteilung der Ergebnisse

Konkrete Zahlenwerte lassen sich z.B. aus dem Soll-Ist-Vergleich der Kontrollmaßstäbe ableiten. Die relative Längenmessabweichung ermöglicht somit dem Nutzer die zahlenmäßige Einschätzung der Ergebnisqualität. Da in der Praxis Strecken einfacher kontrolliert werden können als Koordinaten, ist den unabhängigen Kontrollmaßstäben gegenüber isolierten dreidimensionalen Passpunkten der Vorrang zu geben.

#### 5 Zusammenfassung

In diesem Beitrag wurde gezeigt, dass unter Zuhilfenahme unterschiedlicher Kenngrößen die einzelnen Teilprozesse der optischen Messkette untersucht und beurteilt werden können.

Da die Grenzwerte für manche Kenngrößen nicht in allen Fällen bereits hinreichend untersucht wurden, ist zu prüfen, ob die Prüfgrößen selbst sowie die Entscheidungsgrenzen noch entsprechend angepasst werden müssen. In den kommenden Monaten werden die vorgestellten Prüfkriterien in unterschiedlichen praktischen Anwendungen auf ihre Eignung untersucht.

Dieser Beitrag soll einerseits Einsteigern in die Anwendung der Nahbereichsphotogrammetrie Hilfestellung zur Optimierung der Aufnahme und Auswertung geben, andererseits wünschen sich die Autoren einen regen Meinungsaustausch zu diesem Thema mit den Berufskollegen.

#### Dank

Anlass für die Entwicklung der hier vorgestellten Kenngrößen sind die aktuellen Untersuchungen im Projekt „Qualitätsermittlung im Fahrzeugbau“. Die Automobilhersteller Volkswagen AG, Dr.-Ing. h.c. F. Porsche AG, Audi AG, BMW AG und DaimlerChrysler AG planen im Rahmen der internationalen ISO-Standardisierung,

diese und ähnliche Kenngrößen zur Charakterisierung der optischen Messkette in einer erweiterten ISO-Norm aufnehmen zu lassen. Unser Dank gilt an dieser Stelle den o.g. Auftraggebern für die vielen Anregungen und konstruktiven Fragen im ISO-Arbeitskreis, ohne die dieser Artikel nicht entstanden wäre.

## Literatur

- DIN EN ISO 8402, 1995: Qualitätsmanagement, Begriffe. Normenausschuss Qualitätsmanagement, Statistik und Zertifizierungsgrundlagen (NQSZ) im DIN. – Beuth Verlag, Berlin.
- EOS, 2001: PhotoModeler Pro 4.0, Benutzerhandbuch, S. 61–74. Eos Systems Inc. Vancouver.
- LUHMANN, T., 2000: Nahbereichsphotogrammetrie, Grundlagen, Methoden, Anwendungen, S. 502/503. Wichmann Verlag, Heidelberg, 2000.
- LUHMANN, T. & WENDT, K., 2000: Recommendations for an acceptance and verification test of optical 3-D measurement systems. – International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. 33, B5: 493–500, Amsterdam.
- RAUTENBERG, U. & WIGGENHAGEN, M., 2002: Abnahme und Überwachung photogrammetrischer Messsysteme nach VDI 2634, Blatt 1. – PFG 2/2002: 117–124.
- ROLLEI, 2002: Rolleimetric CDW, Close-Range Digital Workstation, Benutzerhandbuch, Kap. 3.1–3.5. – RolleiFototechnic GmbH, Braunschweig.

### Anschrift der Autoren:

Dr.-Ing. MANFRED WIGGENHAGEN,  
Dipl.-Ing. KARSTEN RAGUSE,  
Universität Hannover, Institut für Photogrammetrie und GeoInformation (IPI),  
Nienburger Str.1, D-30167 Hannover  
e-mail: wigge@ipi.uni-hannover.de  
raguse@ipi.uni-hannover.de

Manuskript eingereicht: Dezember 2002  
Angenommen: Januar 2003

## Frühe photogrammetrische Beiträge während deutscher Südpolar-Expeditionen

KURT BRUNNER, München-Neubiberg

**Keywords:** photogrammetry, plane table photogrammetry, Early German southern polar expeditions, antarctica

**Zusammenfassung:** Vor hundert Jahren, von 1901 bis 1903, fand die erste deutsche Südpolar-Expedition statt. Die wissenschaftlichen Ergebnisse dieser Expedition waren eindrucksvoll; bemerkenswert waren die umfangreichen kartographischen Ergebnisse. Ein Teil dieser Karten wurde mittels Messtisch-Photogrammetrie, einem frühen photogrammetrischen Verfahren, hergestellt.

Zehn Jahre später erfolgte die zweite deutsche Antarktis-Expedition. Das Expeditionsschiff konnte jedoch nicht an der Antarktisküste landen, es wurde vom Eis eingeschlossen und wanderte mit ihm nach Norden. Das wissenschaftliche Programm und auch die vorgesehenen photogrammetrischen Aufnahmen zur Herstellung topographischer Karten konnten deshalb nicht stattfinden.

1938 bis 1939 wurde die sogenannte „Schwabenland-Expedition“ durchgeführt. Hierbei machten zwei Flugboote vom Schiff aus umfangreich photogrammetrische Aufnahmen, von denen einige Karten abgeleitet wurden.

Diese Expeditionen zeigen die Leistungsfähigkeit der Photogrammetrie in der ersten Hälfte des vergangenen Jahrhunderts. Von großer Bedeutung ist, dass die kartographischen Ergebnisse dieser Expeditionen den Zustand antarktischer Küsten vor genau hundert bzw. vor ca. sechzig Jahren dokumentieren.

**Summary:** *Early photogrammetric contributions during German southern polar expeditions.* The first German southern polar expedition took place a hundred years ago from 1901 to 1903. The scientific results of this expedition were impressive. The cartographic results were also remarkable. A part of these maps were produced by means of plane table photogrammetry, an early one photogrammetric methode.

The second German Antarctic expedition of 1911/12 occurred ten years later. However, the expedition ship could not land on the Antarctic coast because it was icebound and drifted to the north with it. Therefore the scientific program and also the planned photogrammetric mapping could not occur.

The „Schwabenland-Expedition“ was carried out in 1938/39. Two flying boats launched from the ship took aerial photographs by which some maps were derived.

These expeditions show the capability of photogrammetry in the first half of the last century. It is also important that the cartographic results of these expeditions document the state of the antarctic coast before a hundred respectively sixty years ago.

---

### 1 Einführung

Von November 1901 bis November 1903 fand die erste deutsche Südpolar-Expedition statt. Ihre wissenschaftlichen Resultate sind beeindruckend. Von Bedeutung ist auch die Dokumentation der Expedition durch eine große Zahl topographischer und themati-

scher Karten, wobei von Interesse ist, dass einige topographische Aufnahmen mittels Photogrammetrie erfolgten.

Auch für die zehn Jahre später, 1911/12 erfolgte zweite deutsche Antarktis-Expedition war der Einsatz terrestrischer Photogrammetrie vorgesehen, konnte aber nicht realisiert werden.

Bei der Schwabenland-Expedition von 1938/39 wurde auf dem antarktischen Festland beachtenswert erfolgreich Luftbild-Photogrammetrie genutzt.

Diese bemerkenswerten Anwendungen der Photogrammetrie in der Antarktis durch deutsche Forscher bis zum Zweiten Weltkrieg, die in keiner Historie der Photogrammetrie gebührend vermerkt sind, sollen hier betrachtet werden. Schwerpunkt erhält dabei die erste dieser Expeditionen, die deutsche Südpolar-Expedition 1901–1903, die vor hundert Jahren stattfand.

## 2 Die erste deutsche Südpolar-Expedition

Am 11. November 1901 verließ der „Gauss“ den Heimathafen Kiel in Richtung Antarktis. An Bord des Dreimast-Schoners, der speziell für diese Forschungsreise gebaut wurde, waren neben der Schiffsmannschaft fünf Wissenschaftler und eine umfangreiche wissenschaftliche Ausrüstung. Leiter dieser ersten deutschen Südpolar-Expedition war ERICH VON DRYGALSKI (1865–1949).

DRYGALSKI studierte in Königsberg, Leipzig und Berlin Geographie, Mathematik und Naturwissenschaften. Von 1888 bis 1891 war er Assistent am Geodätischen Institut in Potsdam, wo er über ein Thema zum Geoid promovierte. 1891 und 1892/93 leitete er erfolgreich die von der Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin veranstalteten Expeditionen nach Grönland, wo er sich auch bei Kartenaufnahmen bewährte (DRYGALSKI 1897). 1906 wurde er erster Ordinarius für Geographie an der Universität München.

### 2.1 Ausstattung der Expedition

In der umfangreichen Liste wissenschaftlicher Geräte für diese deutsche Südpolar-Expedition finden sich reichlich Geräte für geodätische und topographische Arbeiten, so auch ein Phototheodolit der Fa. Ott, Kempten, mit einem Bildformat von 12 cm x 16 cm und einer Brennweite von 148,2 mm. DRYGALSKI plante topographische Aufnahmen während der Expedition mittels Messtisch-Photogrammetrie und stand hierzu in Kon-

takt zu SEBASTIAN FINSTERWALDER, der zur Nutzung des Ott'schen Phototheodoliten riet. Der Schriftverkehr mit ihm, aber auch mit der Fa. Zeiss, Jena, findet sich (zumindest teilweise) im vom Institut für Länderkunde, Leipzig, verwahrten Nachlass DRYGALSKIS.

### 2.2 Messtisch-Photogrammetrie

DRYGALSKI konnte lediglich die Messtisch-Photogrammetrie als photogrammetrisches Verfahren in Betracht ziehen. Die terrestrische Stereophotogrammetrie war noch nicht realisiert, das hierzu notwendige Gerät zur Messung von Bildkoordinaten, der Stereokomparator, wurde erst 1901 von CARL PULFRICH bei der Fa. Zeiss entwickelt.

Die Messtisch-Photogrammetrie ist ein Einschneideverfahren und kann als Weiterentwicklung klassischer Einschneideverfahren mittels Messtisch und Kippregel oder Theodolit, jetzt unter Verwendung von Photographien, angesehen werden. Diese Photographien müssen Messbilder mit bekannter innerer und äußerer Orientierung sein.

Hauptproblem der Messtisch-Photogrammetrie ist das Auffinden homologer Punkte sowie infolge der Notwendigkeit großer Basen die Schwierigkeit der richtigen Punktidentifizierung.

Die Messtisch-Photogrammetrie erfuhr am Ende des 19. Jahrhunderts als Vorläuferin der terrestrischen Stereophotogrammetrie Anwendung bei Forschungsreisen, vereinzelt in der amtlichen Landesaufnahme durch die Militärgeographischen Institute Italiens und Österreich-Ungarns. Umfangreich wurde sie bei Gletscherkartierungen durch SEBASTIAN FINSTERWALDER und seine Schüler eingesetzt (BRUNNER 1988 und 1994).

Die notwendige Bestimmung der Bildkoordinaten  $x'$  und  $y'$  in beiden Bildern geschah dabei anfangs durch Lineale, später durch Komparatoren. Mit bekannter Kammerkonstante  $c$  lassen sich aus den beiden konvergent aufgenommenen Messbildern die Bildwinkel  $\alpha'$  und  $\alpha''$  als Horizontalwinkel sowie die Vertikalwinkel  $\beta'$  und  $\beta''$  ermitteln. Mit der Basis und den Bildwinkeln wer-



den dann Lage und Höhe des Geländepunktes konstruktiv bzw. rechnerisch bestimmt.

### 2.3 Expeditionsverlauf

Am 14. Februar 1902 erreichte der „Gauss“ die Treibeisgrenze und nach beschwerlicher Fahrt durch Packeis wurde am 21. Februar 1902 bei  $89^{\circ}20'$  östlicher Länge Land gesichtet. Vom 22. Februar 1902 bis 8. Februar 1903 war das Expeditionsschiff bei  $66^{\circ}$  südlicher Breite vom Eis eingeschlossen und driftete 85 km vom Festland entfernt mit dem Eis. Unmittelbar am eingeschlossenen „Gauss“ wurde auf dem Eis eine ortsfeste Station errichtet. Auf dieser Station konnte nun ein knappes Jahr vielfältig Forschungsarbeit absolviert werden. Ende März 1902 kam die mitgeführte Ballonausrüstung bei einem Ballonaufstieg zu Erkundungszwecken zum Einsatz. Das gesichtete Land bekam den Namen „Kaiser Wilhelm II.-Land“.

Von großer Bedeutung waren insgesamt sieben Fahrten mit von Hunden gezogenen Schlitten von 4 bis 28 Tagen Dauer in Richtung antarktisches Festland. Auf der ersten Schlittenreise zum Festland im März 1902 wurde ein 370 m hoher erloschener Vulkan entdeckt, der den Namen „Gaussberg“ erhielt. Hauptsächlich während der vierten Schlittenreise erfolgte zwischen Mitte September und Mitte Oktober 1902 unter der Leitung von ERICH VON DRYGALSKI eine topographische Aufnahme des Gaussbergs unter wesentlichem Einsatz der Messtisch-Photogrammetrie. DRYGALSKI selbst führte trigonometrische Arbeiten zur Festlegung der Kamerastandpunkte aus; Grundlage der Triangulation waren vier gemessene Basislinien.

Die photogrammetrischen Aufnahmen von zwölf Standlinien aus besorgte der Alpinist und Arzt HANS GAZERT (1870–1961). Die geographische Lage bestimmte der zweite Offizier des „Gauss“ RICHARD VAHSEL (1868–1912) durch astronomische Beobachtungen. Weitere Arbeiten zur topographischen Erfassung des „Gaussberg“ brachten der Biologe ERNST VANHÖFFEN

(1858–1918) und der Geologe EMIL PHILIPPI (1871–1910).

Nach dem Freiwerden des Schiffes im Februar 1903 erfolgte ein weiterer Versuch, nach Süden vorzustoßen. Es konnte aber lediglich  $64^{\circ}$  S erreicht werden und so begann am 5. April 1903 die Rückreise nach Norden. Am 24. November 1903 traf der „Gauss“ in Kiel ein.

### 2.4 Auswertung in der Heimat

Einen ersten Bericht über die wissenschaftlich äußerst erfolgreiche und ergiebige Expedition legte DRYGALSKI bereits bald nach der Expedition in einem umfangreichen Buchwerk vor (DRYGALSKI 1904).

Die Auswertungen der Arbeiten auf der Station, anlässlich der Schlittenreisen, auf dem antarktischen Festland, am „Gaussberg“ und während der Rückreise, dauerten infolge fehlender Geldmittel und aufgrund des Ersten Weltkriegs und seiner Folgen dreißig Jahre. Zwischen 1905 und 1931 erschienen dann insgesamt 22 Bände zur Dokumentation der Ergebnisse dieser Südpolar-Expedition (DRYGALSKI 1905–1931).

Die Auswertung der photogrammetrischen Aufnahmen am „Gaussberg“ und die Ableitung einer Karte besorgte in Berlin der Kartograph MAX GROLL, der dies umfangreich im 1912 erschienen Band II des Expeditionsberichts (DRYGALSKI 1905–1931) abhandelt. Von den Messbildern der zwölf Standlinien wurden durch Konstruktion über 1200 Geländepunkte gewonnen, die Höhenlinien mit einer Äquidistanz von 10 m ermöglichten. Von diesem Konstruktionsblatt im Maßstab 1:2000 wurde die Karte „Der Gaussberg“, Maßstab 1:7500 abgeleitet. Die Karte liegt als Tafel II dem oben genannten Band II bei. Daneben wurde noch eine große Anzahl weiterer Karten veröffentlicht (BRUNNER et al. 2002).

In Abb. 1 ist ein einfarbiger Ausschnitt aus der Karte „Das Inlandeis am Gaussberg“, Maßstab 1:15000 zu sehen. Im Zentrum der mehrfarbigen Karte liegt der „Gaussberg“. Das Relief ist mit Höhenlinien in einer Äquidistanz von 10 m dargestellt. Im westlichen Teil des Kartenaus-

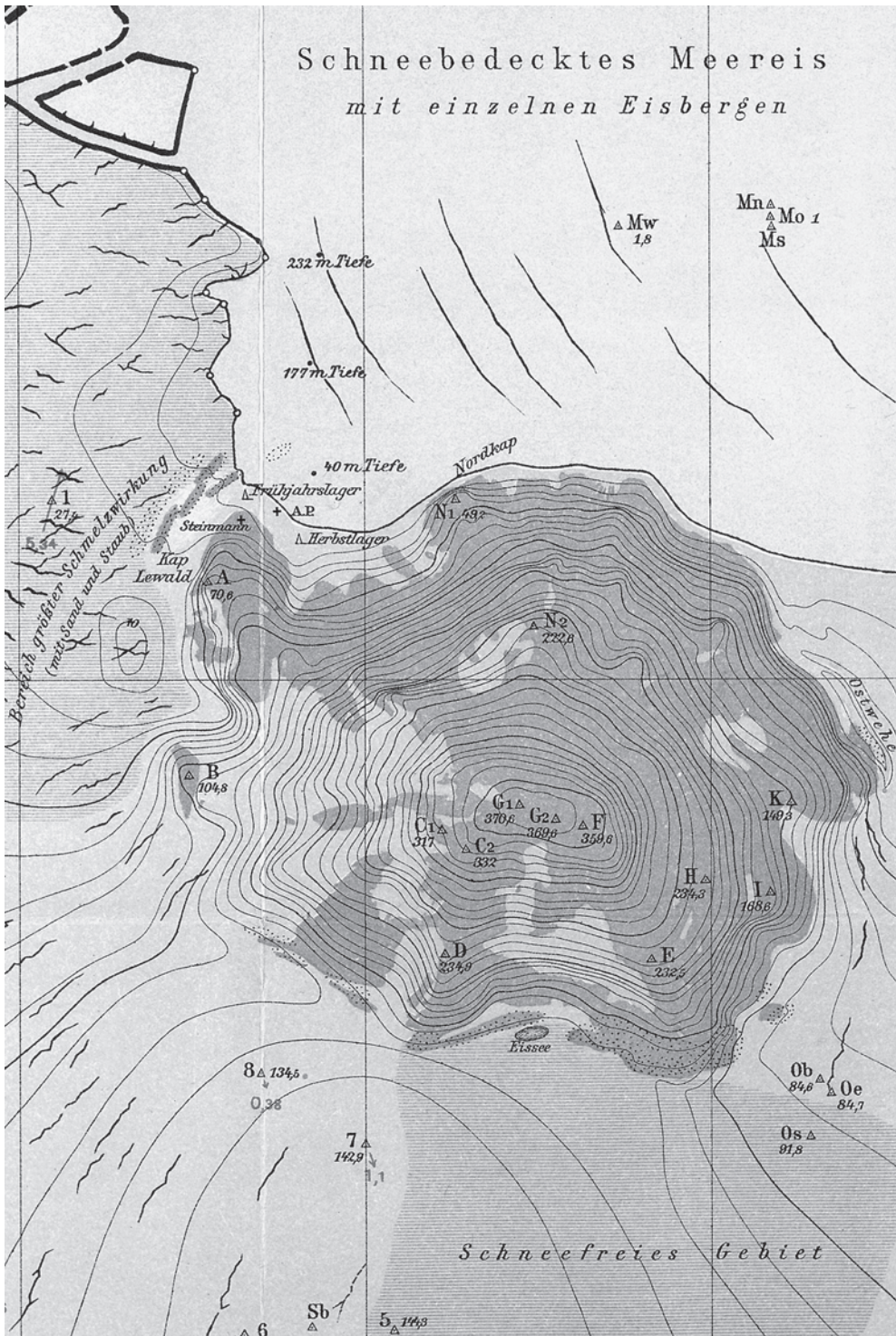


Abb. 1: Ausschnitt aus der Karte „Das Inlandeis am Gaussberg“. Maßstab 1: 15000.

schnitts zeigen beschriftete Vektoren die monatliche Eisbewegung in Meter. Die Karte ist abgedruckt als Tafel II in Band I der Dokumentation von DRYGALSKI.

Die Karten „Der Gaussberg“, „Das Inlandeis am Gaussberg“ sowie weitere dokumentieren als kartographische Ergebnisdarstellung der ersten deutschen Südpolar-Expedition die Lage von Eisrand und Schelfeis in der Davissee vor hundert Jahren.

### 3 Die zweite deutsche Antarktis-Expedition

Im Mai 1911 begann die zweite deutsche Antarktis-Expedition unter der wissenschaftlichen Leitung des Geophysikers und bayerischen Offiziers WILHELM FILCHNER (1877–1957). Ziel war die Weddellsee.

Vorher organisierte FILCHNER auf Grund der Erfahrungen der ersten deutschen Südpolar-Expedition eine „Vorexpedition“ nach Spitzbergen, also im arktischen Bereich, um Mannschaft und Material für den Einsatz in der Antarktis vorzubereiten bzw. zu testen.

#### 3.1 Vorexpedition

Bei dieser „Vorexpedition“ betrieb FILCHNER wesentlich auch topographische Aufnahmen mittels Routenaufnahme unter Einsatz der Messisch-Photogrammetrie, aber auch zur Nutzung einer rechnerischen, „analytischen“ Photogrammetrie mittels des Stereokomparators von CARL PULFRICH. Ergebnis dieser topographischen Aufnahmen unter Expeditionsbedingungen und der Auswertung in der Heimat ist eine beachtliche Karte im Maßstab 1:50000 (FILCHNER et al. 1911, PHILIPP 1914, WAND 1914).

#### 3.2 Terrestrische Photogrammetrie auf Spitzbergen

Hier ist nun auch Anlass, auf weitere frühe Anwendungen der terrestrischen Stereophotogrammetrie auf Spitzbergen zu verweisen. So erprobten 1907 die preußischen Offiziere der Topographischen Abteilung des Großen

Generalstabs FRANZ KARL VON BOCK und BERNHARD GRAF PONINSKI die seinerzeitigen Möglichkeiten der erdgebundenen Parallaxen-Photogrammetrie auf Spitzbergen. Dabei wurden auch Standlinien vom Schiff aus realisiert.

Die Ausmessung der Bilder am PULFRICH'schen Stereokomparator und die noch notwendige Konstruktion der Karte im Maßstab 1:100000 besorgte der Topograph der Preußischen Landesaufnahme PAUL SELIGER (SELIGER 1911, BRUNNER 1994); analoge Auswertegeräte standen noch nicht zur Verfügung.

Später, durch die Nutzung des nach Ideen von EDUARD VON OREL von Zeiss ab 1911 gebauten Stereoautographen, kam es bis in die sechziger Jahre des vergangenen Jahrhunderts mehrfach zum Einsatz der terrestrischen Photogrammetrie auf Spitzbergen (PILLEWIZER 1939 und 1968, BRUNNER 1994 und 1996).

#### 3.3 Expeditionsverlauf

Die zweite deutsche Antarktis-Expedition begann dann im Dezember 1911 mit dem Auslaufen der „Deutschland“ – einem umgebauten norwegischen eisgängigen Schiff – aus Bremerhaven. Die „Deutschland“ gelangte Mitte Dezember in Treibeis; im Februar 1912 wurde die Antarktis erreicht. Trotz zweier Versuche konnte das Schiff am eben entdeckten antarktischen Festland („Prinzregent Luitpold-Land“) bei einer westlichen geographischen Länge 35° in fast 78° Süd nicht landen. Die „Deutschland“ wurde danach vom Eis eingeschlossen und driftete neun Monate nach Norden. Im Dezember erreichte das Schiff Südgeorgien, wo die Expedition beendet werden musste (PRZYBYLLOK 1913, FILCHNER 1922).

Die mitgeführten Geräte für photogrammetrische Aufnahmen konnten somit nicht genutzt werden und die geplanten Kartenaufnahmen auf dem antarktischen Festland blieben aus. Lediglich einige kleinformatige Übersichtskarten der Weddellsee entstanden.

## 4 Die „Schwabenland-Expedition“

Im Dezember 1938 begann die dritte deutsche Südpolar-Expedition unter der Leitung von ALFRED RITSCHER (1879–1963). Die „Schwabenland“ lief von Hamburg aus; sie hatte zwei Flugboote vom Typ „Dornier Wal“ und eine Dampfkatapultanlage zum Start dieser Flugzeuge an Bord.

Am 19. Januar 1939 wurde das Zielgebiet bei ca. 4° West und 69° Süd erreicht und bereits am 20. Januar 1939 wurde der erste Flug ins antarktische Festland vorgenommen, das erkundete Land erhielt den Namen „Neu-Schwabenland“.

Neben meteorologischen, ozeanographischen, nautischen, geophysikalischen und biologischen Arbeiten war die luftbildphotogrammetrische Kartierung Hauptaufgabe der Expedition (RITSCHER 1942, RITSCHER 1958, VETTER 1963, SCHMIDT-FALKENBERG 1984, BRUNNER et al. 1985).

Die Rückreise wurde im Januar 1939 angetreten und endete im April 1939 im Hamburger Hafen.

### 4.1 Bildflüge

Von Mitte Januar bis Mitte Februar 1939 führten die beiden Flugboote „Passat“ und „Boreas“ vom Flugmutterschiff „Schwabenland“ aus sieben Photoflüge durch; sie waren hierzu mit zwei Reihemesskameras RMK C/5 der Firma Zeiss-Aerotopograph, Kamerakonstante 21 cm, Bildformat 18 cm × 18 cm, ausgerüstet. Die Messkameras waren dabei paarweise steuer- und backbord unter einem Winkel von 20° montiert.

Bei diesen Bildflügen während der kurzen Expeditionszeit wurde mit rund 11 500 Luftbildern bei einer Gesamtflugstrecke von 7 700 km eine Fläche von 600 000 km<sup>2</sup> aufgenommen. Daneben entstanden Schrägaufnahmen mittels einer Handkamera. Die Luftbildfilme sind im Zweiten Weltkrieg verloren gegangen. Von den Schrägaufnahmen existieren Kontaktabzüge auf Papier; ein großer Teil dieser Bilder ist in BRUNK (1986) reproduziert.

### 4.2 Auswertung

Die Befliegungen sollten Grundlage für ein Kartenwerk im Maßstab 1:250 000 des gesamten Neuschwabenlandes sein; von einzelnen interessanten Gebieten sollten Karten im Maßstab 1:50 000 entstehen. Infolge des Zweiten Weltkriegs konnte dieses Ziel nicht erreicht werden. Dennoch besorgte OTTO VON GRUBER photogrammetrische Auswertungen; Probleme ergaben sich dabei infolge der Schrägluftbilder und des Fehlens von Passpunkten und Positionsbestimmungen.

Von diesen Auswertungen entstanden neben einer Übersichtskarte 1:500 000 zwei Kartenblätter 1:50 000; diese Karten dokumentieren die Vergletscherung in „Neuschwabenland“ vor über sechzig Jahren. Bereits 1939 erschien die „Übersichtstafel von dem Arbeitsgebiet der Deutschen Antarktische Expedition 1938–39 – Neuschwabenland“ im Maßstab 1:1,5 Millionen; diese Übersichtskarte erwies sich später als stark Fehler behaftet (RITSCHER 1958, BRUNK 1986). Die genannten Karten liegen dem Bilder- und Kartenteil des ersten Bandes des Expeditionsberichts (RITSCHER 1942) bei.

Der Zweite Weltkrieg mit dem Tod mehrerer Expeditionsteilnehmer und den Kriegsauswirkungen mit dem Verlust der Luftbildaufnahmen verhinderte weitere photogrammetrische Kartierungen und verzögerte die Auswertungen biologischer, meteorologischer und ozeanographischer Serienbeobachtungen (VETTER 1963). Der zweite Band des Expeditionsberichts erschien erst 1958 (RITSCHER 1958). Er enthält mit der „Übersichtskarte des Arbeitsgebietes der Deutschen Antarktischen Expedition 1938/39 – Neuschwabenland“, gleichfalls im Maßstab 1:1,5 Millionen, eine Neubearbeitung der Übersichtskarte durch HANS PETER KOSACK. In dieser Karte sind der Schelfeisrand an der Küste sowie nachgewiesene Schelfeisränder im Inland zwischen ca. 20° Ost und 15° West mit dem Stand von 1939 eingetragen. In BRUNK (1986) findet sich schließlich die „Neubearbeitung der Übersichtskarte über die Flugwege der Bildflüge

der deutschen Antarktischen Expedition 1938/39 – Neuschwabenland“ im Maßstab 1:2 Millionen. Diese Karte enthält zusätzlich den Schelfeisrand späterer norwegischer und sowjetischer Kartierungen.

## 5 Schluss

In den ersten vierzig Jahren des vergangenen Jahrhunderts wurde die Photogrammetrie bei deutschen Expeditionsfahrten in ihren seinerzeitigen Entwicklungsphasen zur Entschleierung der Antarktis (und der Arktis) erfolgreich eingesetzt. Dies zeigt zum einen die Leistungsfähigkeit der Photogrammetrie.

Zum anderen verfügen wir mit den abgeleiteten Karten über Informationen zur Lage des Eisrands und von Schelfeis in der Davissee bei ca. 90° Ost vor hundert Jahren sowie des Schelfeisrands zwischen ca. 20° Ost und 15° West und den Zustand der Inlandsvereisung in „Neu-Schwabenland“ vor sechzig Jahren.

## 6 Literatur

- BRUNK, K., 1986: Kartographische Arbeiten und deutsche Namengebung in Neuschwabenland, Antarktis. – Deutsche Geodätische Kommission, Reihe E, **24**, Teil I und II, Mitt. 175 des IfAG, Frankfurt am Main, 42 S., 100 Bilder, Anhang und 17 Beilagen.
- BRUNNER, K., 1988: Die Messtischphotogrammetrie als Methode der topographischen Geländeaufnahme des ausgehenden 19. Jahrhunderts. – Bildmessung und Luftbildwesen, **56**: 98–108.
- BRUNNER, K., 1994: Frühe Anwendungen der Photogrammetrie für topographische Aufnahmen in der geowissenschaftlichen Forschung und auf Expeditionen. – In: BRUNNER, K. & PEIPE, J.: Festschrift für Prof. Dr.-Ing. EGON DORRER zum 60. Geburtstag. – Schriftenreihe Studiengang Vermessungswesen, Universität der Bundeswehr München, **46**: 37–48, Neubiberg.
- BRUNNER, K. 1996: Expeditionskartographie auf Spitzbergen. – Mitteilungen der Österreichischen Geographischen Gesellschaft, **138**: 247–260, Wien.
- BRUNNER, K. & HELL, G., 1985: Photogrammetrische und kartographische Ergebnisse der Deutschen Antarktisexpedition 1938/39. – Karlsruher Geowissenschaftliche Schriften, Reihe B, **1**: 41–55, Karlsruhe.
- BRUNNER, K. & LÜDECKE, C., 2002: Kartographische Ergebnisse der ersten deutschen Südpolar-Expedition 1901–1903. – Kartographische Nachrichten, **52**: 143–148.
- DRYGALSKI, E. v., 1897: Grönlandexpedition der Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin 1891–1893. – Berlin.
- DRYGALSKI, E. v., 1904: Zum Kontinent des eisigen Südens. – 668 S., Berlin.
- DRYGALSKI, E. v. (Hrsg.), 1905–1931: Deutsche Südpolar-Expedition 1901–1903. – 20 Bände, 2 Atlanten, Berlin und Leipzig.
- FILCHNER, W. & SEELHEIM, H., 1911: Quer durch Spitzbergen. Eine Deutsche Übungsexpedition im Zentralgebiet östlich des Eisfjords. – 124 S., Berlin.
- FILCHNER, W., 1922: Zum sechsten Erdteil. – 410 S., Berlin.
- PHILIPP, H., 1914: Ergebnisse der W. Filchner'schen Vorexpedition nach Spitzbergen 1910. – Petermanns Mitt. aus Justus Perthes Geogr. Anstalt, Ergänzungsheft **179**: 79 S., Gotha.
- PILLEWIZER, W., 1939: Die kartographischen und gletscherkundlichen Ergebnisse der Deutschen Spitzbergenexpedition 1938. – Petermanns Geographische Mitteilungen, Ergänzungsheft **238**: 46 S., Gotha.
- PILLEWIZER, W., 1968: Die wissenschaftlichen Ergebnisse der deutschen Spitzbergen-Expedition 1964–1965. – Nationalkomitee der Geodäsie und Geophysik der DDR bei der Deutschen Akademie der Wissenschaften zu Berlin, Berlin.
- PRZYBYLLOK, E., 1913: Deutsche Antarktische Expedition. Bericht über die Tätigkeit nach Verlassen von Südgeorgien. – Zeitschrift der Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin, **1**: 1–17.
- RITSCHER, A., 1942: Deutsche Antarktische Expedition 1938/39. Wissenschaftliche und fliegerische Ergebnisse. Erster Band: Textteil, Bilder- und Kartenteil. – 304 S., Leipzig.
- RITSCHER, A., 1958: Deutsche Antarktische Expedition 1938/39. Wissenschaftliche und fliegerische Ergebnisse. Zweiter Band. – 277 S., Hamburg.
- SCHMIDT-FALKENBERG, H., 1984: Deutsche Beiträge zur Kartographie der Antarktis mittels Photogrammetrie und Fernerkundung. – Zeitschrift für Vermessungswesen, **109**: 141–154.
- SELIGER, P., 1911: Die stereoskopische Messmethode in der Praxis. 1. Teil: Einführung in die Topographie. Einführung in die Bildmessung. Normal-Stereogramm. – 227 S., Berlin.

VETTER, O., 1963: Alfred Ritschers Beiträge zur Verbesserung der Karten der Antarktis und des südatlantischen Ozeans. – Kartographische Nachrichten, **13**: 114–116.

WAND, O., 1914: Kartographisches Begleitwort zur Karte 1 : 50 000. – In: PHILIPP, H. (1914): Ergebnisse der W. Filchnerschen Vorexpedition nach Spitzbergen 1910. – Petermanns Mitt. aus Justus Perthes Geogr. Anstalt, Ergänzungsheft **179**: 62–79, Gotha.

Anschrift des Autors:

Prof. Dr.-Ing. KURT BRUNNER, Lehrstuhl für Kartographie und Topographie, Universität der Bundeswehr München, D-85577 Neubiberg, Tel.: 089-6004-4049,  
e-mail: kurt.brunner@unibw-muenchen.de

Manuskript eingereicht: November 2002

Angenommen: Dezember 2002

## Berichte

### **ISPRS Kommission VII Symposium „Resource & Environmental Monitoring“**

vom 3. bis 6. Dezember 2002 in Hyderabad, Indien

Anfang Dezember fand das Symposium der ISPRS Kommission VII in Hyderabad, der „Perle Indiens“, statt. Hyderabad gilt heute als Silicon Valley Indiens, wurde aber vor allem durch den Perlenhandel bekannt, woher auch der Beiname stammt. Das Symposium wurde zusammen mit der Jahresversammlung der Indischen Gesellschaft für Fernerkundung (ISRS) im Luxushotel *Taj Krishna* abgehalten und unter das Motto „Resource & Environmental Monitoring“ gestellt. Am Tag vor dem Symposium fanden zwei Tutorials, „Sustainable Agriculture“ und „Integrated Coastal Zone Management“, sowie ein Workshop über „Land Use Cover Change (LUCC)“, ebenfalls in Hyderabad, statt.

Das Organisationsteam um Dr. R. R. NAVALGUND (Präsident der Kommission VII) und Dr. NAGARAJA (Leiter des Organisationskomitees), beide von der *National Remote Sensing Agency* (NRSA), konnte über 530 Delegierte begrüßen, darunter knapp 100 ausländische Teilnehmer aus 32 verschiedenen Ländern. Entsprechend groß war die Anzahl der eingereichten Artikel, über 400 Beiträge wurden abgegeben. Davon wurden ca. 150 in 30 Sitzungen als Vortrag gehalten. Etwa die gleiche Anzahl wurde in den Postersessions präsentiert.

Zu Beginn des Symposiums fand eine feierliche Eröffnungszeremonie statt, mit Grußworten von Dr. NAVALGUND, Dr. JOSEPH (Präsident der ISRS) und dem ISPRS-Präsidenten Prof. J. TRINDER. Nach Verleihung der awards einiger indischer Organisationen für die Jahre 2001 und 2002 und Begrüßungsworten der Organisatoren wurde das Symposium mit einem traditionellen indischen Gesang für Glück und Gelingen und

dem Entzünden eines Leuchters stimmungsvoll begonnen. Prof. TRINDER eröffnete anschließend die begleitende Ausstellung im Garten des Hotels, auf der sich verschiedene Firmen und Organisationen des Fernerkundungs- und GIS-Bereichs aus unterschiedlichen Ländern präsentierten.

Am Eröffnungstag wurden zwei Sessions hintereinander abgehalten, zum einen die „Theme Session“ über *nachhaltige Entwicklung*, bei der in das Thema des Symposiums eingeführt wurde. Die Redner wiesen vor allem auf die Schwierigkeit der Definition geeigneter Indikatoren zur Bestimmung der Nachhaltigkeit einer landschaftsgestaltenden Maßnahme hin und darauf, dass heute noch nicht immer Daten der benötigten Auflösung zur Verfügung stehen.

In der anschließenden „Special Interest Session“ wurde vor allem auf die Leistungsfähigkeit gegenwärtiger Fernerkundungssensoren zur Umweltüberwachung und auf geplante zukünftige Sensoren eingegangen. Y. KANEKO von der japanischen *National Space Development Agency* stellte den Stand und die Planungen in Japan vor, die sich vor allem durch eine geplante stärkere internationale Zusammenarbeit, hauptsächlich mit den USA, auszeichnen. V. JAYARAMAN von der *Indian Space Research Organization* zeigte die Entwicklungen in Indien auf, die sich durch starke Anwendungsabhängigkeit und zielgerichtete Spezialisierung der Sensoren auszeichnen. Für die nächsten vier Jahre sind nicht weniger als sieben neue Satelliten geplant, was die rege Fernerkundungstätigkeit in Indien zeigt.

Nach einer kurzen Teepause hielt die ISRS die „Vikram Sarabhai Memorial Lecture“ ab, was den Nichtmitgliedern die Gelegenheit zu einem ersten ausführlichen Besuch der Ausstellung eröffnete.

Für den Abend hatten die Veranstalter ein kulturelles Programm organisiert, das wie die technischen Sessions ebenfalls in der luxuriösen *Darbar Hall* des Hotels *Taj Krishna* stattfand. Neben traditionellen indischen

Gesängen und humorvollen Sketchen wurde ein Stück eines besonderen, nur in einem kleinen Gebiet Indiens beherrschten Tanztheaters gezeigt. Vor allem für die ausländischen Delegierten war dieses farbenfrohe Spektakel mit Sicherheit ein ganz besonderes Erlebnis. Nach Beendigung des kulturellen Programms wurden die Teilnehmer im Rahmen eines Willkommens-Dinners mit indischen Speisen bewirtet.

Mit Beginn des zweiten Tages fanden die technischen Sitzungen statt. Aufgrund der vielen Beiträge wurden zumeist drei Sessions gleichzeitig abgehalten. In der Regel wurden die Sitzungen durch einen „lead talk“ des Chairman über das jeweilige Sitzungsthema eingeleitet. Die Themen wurden dabei den einzelnen working groups zugeordnet. Sie reichten von eher sensorbezogenen Arbeiten über Auswertungsstrategien bis hin zu konkreten Anwendungen und Erfahrungsberichten. Dabei spielte die Nutzung der Fernerkundung zur Optimierung der Landwirtschaft, Landentwicklung und Nutzungsplanung, Dokumentation und Verhinderung von Schäden durch Naturkatastrophen, wie z.B. Lawinen durch Früherkennung, und Umweltüberwachung, wie z.B. der Meeresüberwachung, eine große Rolle. Aber auch Themen zur Datenfusion, höherwertigen Klassifizierungsstrategien und Datenmodellierung wurden aufgegriffen. Trotz der guten Organisation der Veranstalter kam es leider vereinzelt zu technischen Problemen, die aber ab dem dritten Tag endgültig behoben waren und zu gelegentlichen Vortragsausfällen.

Zeitgleich zu den Präsentationen waren die Posterausstellungen geöffnet. Die einzelnen Beiträge waren dabei jeweils den ganzen Tag verfügbar. Dadurch konnten die Poster in den Pausen oder am Ende des Tages besucht werden.

In der Nachmittags-session des 5. Dezembers wurde einigen Firmen die Gelegenheit zur Präsentation ihrer Produkte gegeben. An diesem Tag war die Teilnehmerzahl etwas geringer, was vor allem an dem „social program“ gelegen haben dürfte, das für diesen Tag eine ganztägige Stadtrundfahrt in Hyderabad und seiner Zwillingsstadt Secunderabad anbot.

Am letzten Tag des Symposiums teilten sich die Delegierten morgens nochmals auf technische Sitzungen auf, nach dem Mittagessen gab es aber wieder gemeinsame Plenarsitzungen. Prof. TRINDER stellte zu Beginn der gemeinsamen Sitzung, wie schon auf den Sitzungen der anderen ISPRS-Kommissionen, die Neuorganisation der ISPRS zur Diskussion. Dabei entwickelte sich vor allem von Seiten der indischen Teilnehmer eine rege Beteiligung. Es zeigte sich, dass sich vor allem die in der Fernerkundung tätigen Diskussionsteilnehmer nicht richtig in der ISPRS vertreten fühlen. Prof. TRINDER hob hervor, dass gerade eine Trennung der Photogrammetrie und Fernerkundung in verschiedene Kommissionen nicht im Sinne der ISPRS sei, sondern viel mehr ein Zusammenführen der beiden Gruppen. Abschließend gab er bekannt, dass über die weiteren Entwicklungen in dieser Sache in den ISPRS Highlights und auf der Homepage berichtet werden wird.

Nach dieser Diskussion fassten die Leiter der einzelnen working groups die ihnen zugeordneten Sitzungen des Symposiums, d.h. die Vorträge und Highlights, kurz zusammen. Anschließend vergab die ISPRS Preise für die besten Artikel, Vorträge und Poster des Symposiums.

Prof. O. ALTAN, der Vorsitzende des Organisationsteams des ISPRS-Kongresses 2004 in Istanbul, zeigte den Delegierten danach im Rahmen einer Einladungsveranstaltung für die Konferenz, wie einfach und schnell man von Indien nach Istanbul kommt und was die Konferenzteilnehmer dort Interessantes erwarten wird.

Zum Abschluss sprach Prof. I. DOWMAN, der Generalsekretär der ISPRS. Er fasste seine persönlichen Eindrücke des Symposiums zusammen und hob dabei als bemerkenswert hervor, das oftmals die Probleme Indiens angesprochen und mit Hilfe der Fernerkundung Lösungsmöglichkeiten gesucht wurden. Des Weiteren zeigte er sich durch die teilweise sehr regen Diskussionen nach den Vorträgen beeindruckt. Schließlich dankte er den Organisatoren und überreichte ihnen im Namen der ISPRS einige Präsente. Der Präsident der ISRS,



Dr. JOSEPH, schloss danach offiziell das Symposium.

Nähere Informationen über die einzelnen Sitzungsthemen und das genaue Programm, sowie die abstracts der Beiträge, findet man im Internet unter der Adresse <http://www.impelindia.com/isprs/sympnew/symindex.htm>.

EBERHARD STEINLE, Karlsruhe  
e-mail: [steinle@ipf.uni-karlsruhe.de](mailto:steinle@ipf.uni-karlsruhe.de)

### Wechsel an der Spitze von CIPA

Mit dem Jahreswechsel 2002/2003 hat der neue Vorstand des CIPA (früher *Comité International de la Photogrammétrie Architecturale*, jetzt *The ICOMOS and ISPRS Committee on Documentation of Cultural Heritage*) seine Arbeit aufgenommen. Damit wurde eine wichtige Entwicklungsphase abgeschlossen, die der bisherige Präsident, Prof. Dr. PETER WALDHÄUSL (Wien), während seiner fünfjährigen Amtszeit sehr zielbewusst und erfolgreich geführt hat.

CIPA war in der Gründungszeit 1968/70 eine Vereinigung von Photogrammetern, die sich der speziellen Probleme im Bereich Architektur und Denkmalpflege angenommen haben. Lange Zeit war die Tätigkeit stark durch die Entwicklung des photogrammetrischen Instrumentariums geprägt. In den letzten Jahren ist es gelungen, eine wesentlich breitere Basis zu schaffen und CIPA in einer neuen Struktur als gemeinsame Tochtergesellschaft der internationalen Vereinigung für Denkmalpflege ICOMOS (*International Council on Monuments and Sites*) und der internationalen photogrammetrischen Gesellschaft ISPRS (*International Society for Photogrammetry and Remote Sensing*) zu etablieren. Zugleich wurde das Arbeitsfeld methodisch auf alle Dokumentationsmethoden und inhaltlich z.B. auch auf die Erfassung von Kulturlandschaften erweitert (vgl. PFG 4/2001, S. 237–246). Diese Entwicklung hat auch die Symposien bereichert, wie sich in Potsdam 2001 deutlich gezeigt hat (vgl. PFG 4/2002, S. 297–298). Die CIPA-Symposien können nunmehr sogar

unter der Schirmherrschaft der UNESCO stattfinden. Die internationale Beteiligung an der Tätigkeit zur Dokumentation des kulturellen Erbes wächst, außerdem konnte CIPA jetzt zur Förderung die ersten »*Sustaining Members*« gewinnen. So durfte Präsident WALDHÄUSL am Ende seiner Amtszeit zu Recht feststellen »*CIPA is prepared for the future*«.

Die neuen Mitglieder im Präsidium von CIPA sind: Prof. PETROS PATIAS, Griechenland, als Präsident; ROBIN LETELLIER, Kanada, und Prof. CLIFF OGLEBY, Australien, als Vizepräsidenten; Prof. Dr. KLAUS HANKE, Österreich, als Generalsekretär; Dr. MICHAEL DONEUS, Österreich, als Webmaster; Prof. PIERRE GRUSSENMEYER, Frankreich, als Schatzmeister. Das nächste internationale Symposium von CIPA findet vom 30. September bis 4. Oktober 2003 in Antalya (Türkei) unter der Leitung von Prof. Dr. ORHAN ALTAN statt. Informationen über CIPA: <http://cipa.icomos.org/>

JÖRG ALBERTZ, Berlin



### **EuroSDR – European Spatial Data Research**

Als logische Konsequenz aus den signifikanten Veränderungen des Auftrages, der Zielstellungen und der Forschungsperspektiven hat das Steering Committee der OEEPE (Organisation Européenne d'Études Photogrammétriques Expérimentales – European Organization for Experimental Photogrammetric Research) auf seiner letzten Sitzung in Dublin beschlossen, den Namen zu ändern.

Der Auftrag der *EuroSDR* besteht darin:

- Verfahren, Systeme und Standards für die Gewinnung, Verarbeitung, Darstellung, Wartung und Verteilung von räumlichen Basisinformationen zu entwickeln und weiter zu entwickeln. Dazu gehört die Förderung der Anwendung dieser Daten. Spezielle Beachtung soll dabei auf die weitere Entwicklung von Luftbild- und Weltraum-gestützten Verfahren für die Datengewinnung gelegt werden, auf Verfahren zur Extraktion von Informationen aus diesen Daten und auf die Integration dieser Informationen mit solchen aus anderen Quellen.
- Die Zusammenarbeit zwischen Forschungseinrichtungen und dem Privatsektor der Anwendung zu fördern zwecks Aus-

tauschs von Erfahrungen über notwendige Forschungsarbeiten und Nutzung von erarbeiteten Forschungsergebnissen in Produktionseinrichtungen, die Geoinformationen erarbeiten.

Am 16. Oktober 2003 wird in München der 50. Jahrestag der Gründung der OEEPE mit einem Internationalen Symposium gewürdigt.

Weitere Informationen: <http://www.euro-sdr.org> oder <http://www.oeepe.org>

CHRIS PARESI, Generalsekretär *EuroSDR*  
ITC, PO Box 6, NL-7500 AA Enschede,  
Tel.: +31-53-4874339, Fax: +31-53-4874335,  
e-mail: [paresi@itc.nl](mailto:paresi@itc.nl)

## Hochschulnachrichten

### Hochschule Vechta

An der Hochschule Vechta hat Diplom-Geograph **MATTHIAS MÖLLER** am 11. September 2002 zum Dr. rer.nat. promoviert. Gutachter der Dissertationsschrift mit dem Titel „*Untersuchungen an extrem hoch auflösenden Flugzeugscannerdaten für urbane Fragestellungen und deren Integration in eine GIS-Umgebung*“ waren Prof. Dr. MANFRED EHLERS (Hochschule Vechta), Prof. Dr. JÖRG ALBERTZ (Technische Universität Berlin) und Prof. Dr. JOSEF STROBL (Universität Salzburg).

**Zusammenfassung:** Extrem hoch auflösende digitale Flugzeugscannerdaten werden seit 1999 operationell von dem Sensor High Resolution Stereo Camera-Airborne (HRSC-A) aufgenommen. Dieser Zeilenscanner arbeitet mit einem Sensortriplet und wurde vom Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) in Berlin Adlershof entwickelt. Zusätzlich zu den multispektralen Informationen des sichtbaren und des nahen infraroten Spektrums werden parallel zur Aufnahme die Lageparameter und die Po-

sition der Plattform aufgezeichnet. Aus diesen Daten kann in einem photogrammetrischen Prozess die geometrische Lage jeder Bildzeile am Boden rekonstruiert werden. Aufgrund der Ausrichtung einzelner Sensorreihen in einem Winkel nach vorne und nach hinten in Flugrichtung kann mit automatischen Methoden der Photogrammetrie ein Digitales Oberflächenmodell (DOM) berechnet werden. Aus einer Flughöhe von 3000 m wird eine Bodenauflösung von etwa 0,15 m im panchromatischen Nadirkanal, etwa 0,3 m in den multispektralen Kanälen und 0,5 m im DOM erreicht. Zunächst wird in dieser Arbeit die historische Entwicklung der Fernerkundungssysteme bis hin zur Entstehung der HRSC-A erläutert.

Die extrem hohe räumliche Auflösung legt einen Einsatz der Bilddaten für ein großmaßstäbiges Monitoring urbaner Räume nahe. Als Basis für die Untersuchung dient deshalb eine Befliegung der Stadt Osnabrück im Frühjahr 1999 durch das DLR. Diese Flugkampagne wurde unter operationellen Bedingungen durchgeführt und die Bilddaten im Rahmen dieser Arbeit zunächst bezüglich Aufnahmefehler unter-

sucht. Dabei zeigen sich mehrere systembedingte Bildfehler. Aufgrund des sehr kleinen Öffnungswinkels werden Flächen ausgelassen, dadurch sind Bildlöcher entstanden, die keine Information enthalten. Objekte, die sich während der Aufnahme bewegten, werden in den Kanälen mehrfach abgebildet. Die Lagegenauigkeit der panchromatischen HRSC-A Bildpunkte wird ebenfalls überprüft. Dabei kann eine maximale Abweichung von der Größe eines Bildpunktes in x- und y-Richtung festgestellt werden. Die mittlere Abweichung der Höhenwerte im DOM liegt bei etwa 0,78 m.

Aufgrund der hohen radiometrischen Auflösung kann aus den panchromatischen Bilddaten durch Methoden der Kantenverstärkung und Kantenfilterung versteckte Information so hervorgehoben werden, dass eine visuelle Auswertung erleichtert wird. Verschiedene Methoden der Bildfusion von hochauflösenden panchromatischen mit multispektralen Bilddaten werden hinsichtlich einer optischen Bildverbesserung auf ihre Eignung hin analysiert und bewertet.

Der Schwerpunkt der Arbeit ist die Analyse der HRSC-A Bilddaten für eine Verwendbarkeit im Rahmen urbaner Fragestellungen. Ziel ist es zunächst, einen schnellen dezentralen Zugriff auf die Bilddaten zu gewährleisten. Dafür hat sich eine auf HTML und Javascript basierende Nutzerschnittstelle bewährt, die im Intranet der Stadt über WWW-Browser zugänglich ist. Die HRSC-A Bilddaten können aufgrund ihrer hohen Detailliertheit und der exakten Georeferenzierung direkt in ein Geoinformationssystem

(GIS) integriert werden. Sehr kleine Flächeneinheiten, z.B. für den Aufbau eines Grünflächeninformationssystems, können direkt erfasst werden. Die spektralen Eigenschaften in Kombination mit entsprechender Zusatzinformation aus digitalen Katasterdaten ermöglichen die automatisierte Ableitung von mit Vegetation bestandenen Gebäudedächern für das gesamte Stadtgebiet.

Das DOM kann über manuelle Verfahren in ein Digitales Geländemodell (DGM) und in ein Objekthöhenmodell (OHM) differenziert werden. So kann wiederum mit Zusatzinformation aus den digitalen Katasterdaten für alle Gebäude in der Stadt die Höhe über Grund ermittelt werden. In einem GIS können auf Basis dieser Höhendaten 3D-Ansichten erzeugt und stadtklimatologische Phänomene anschaulich visualisiert werden. Diese 3D-Welten können aus dem GIS in das durch WWW-Browser unterstützte VRML-Format exportiert und so einem breiten Publikum zur individuellen und interaktiven Information angeboten werden.

Die Ergebnisse dieser Arbeit werden im Wichmann Verlag mit dem Titel „*Urbanes Umweltmonitoring mit digitalen Flugzeug-scannerdaten*“ publiziert und ab ca. April 2003 verfügbar sein.

Kontakt:

Dr. MATTHIAS MÖLLER, Kompetenzzentrum für Geoinformatik in Niedersachsen (GiN), PF 1553, D-49364 Vechta, Tel.: 04441-15383

mailto: mmoeller@gin-online.de

http://www.gin-online.de/mm

## Persönliches

### Dr.-Ing. OTTO HOFMANN Ehrenmitglied der DGPF



Dr. rer. nat. KLAUS-URICH KOMP, Präsident der DGPF, überreicht Herrn Dr.-Ing. OTTO HOFMANN die Urkunde zur Ernennung als „Ehrenmitglied der DGPF“ .

Wie bereits in PFG Heft 7/2002, Seite 470 berichtet, wurde Herr Dr.-Ing. OTTO HOFMANN aus Brunthal bei München am 25. September 2002 anlässlich der 22. Wissenschaftlich-Technischen Jahrestagung in Neubrandenburg zum Ehrenmitglied der DGPF ernannt. Er erhielt diese hohe Auszeichnung für seine Verdienste als Entwickler und Konstrukteur. Insbesondere seine Arbeiten und Erfolge zur Entwicklung der elektronischen 3-Zeilen-Bildaufnahme und -Auswertetechnik für die Aerophotogrammetrie aus Flugzeugen/Hubschraubern und für die Bildaufnahme von kosmischen Plattformen aus sind Erfolg versprechend und von großer Bedeutung heute und für die Zukunft.

Die Schriftleitung der PFG gratuliert Dr. HOFMANN zu dieser ehrenvollen Auszeichnung.

## Buchbesprechungen

BECKEL, LOTHAR, Hrsg. (2001): Mega Cities. Ein Beitrag der Europäischen Raumfahrtagentur zum besseren Verständnis einer globalen Herausforderung. 263 S., Geospace Verlag, Salzburg. Bezug: <http://geospace.co.at>, ISBN 3-85313-061-5.

Die Entwicklung der Menschheit ist durch die zunehmende Bildung und Ausweitung von Ballungsräumen geprägt. Da es sich dabei um ein globales Phänomen handelt, ist die satellitengestützte Fernerkundung die einzige Methode, um flächendeckend aktuelle und vergleichbare Informationen über Landnutzung und Bautätigkeit im natürlichen Umfeld zu erhalten.

Die ESA hat sich im Rahmen ihres Technologie-Transfer-Programmes dieser Anwendung angenommen. Der vorliegende re-

präsentative Band, welcher die eindrucksvollsten (teilweise bereits publizierten) Aufnahmen der bedeutendsten Metropolen in hervorragender Druckqualität versammelt, ist ein erstes Produkt dieser Arbeit.

Europa ist vertreten durch die Stadtlandschaften von Berlin, Istanbul, London, Madrid, Moskau, Paris, Rom, das Ruhrgebiet und (vom Österreicher BECKEL in den Kreis der Megacities „hineingemogelt“) Wien. Dazu kommen 10 Regionen in Nord- und Südamerika, sowie 6 afrikanische und 17 weitere vorwiegend asiatische – in einigen Fällen weitgehend unbekannte – Ballungsräume.

Jede Metropole und ihr Umland wird in Satellitenbildern verschiedener Sensoren, für Vergleichszwecke teils auch historischen Datums und mit terrestrischen Fotos vorge-

stellt. Fundierte Artikel von Autoren mit spezieller Ortskenntnis stellen die jeweilige geographische Lage und Geschichte sowie ökonomische und soziale Entwicklung dar. All das ergibt auch bei bekannten Städten neue Aspekte und Einsichten, so dass das Buch nicht nur bezüglich wenig bekannter Regionen höchst aufschlussreich ist.

Zu kritisieren wäre, dass bei den Satellitenbildern eine Maßstabsangabe fehlt, so dass oft selbst erfahrene Leser schwer die Ausdehnung eines abgebildeten Gebietes abschätzen können.

Fachlich interessierte würden sich die Angaben zu den Satellitendaten in der Bildunterschrift (statt bloß im Anhang) wünschen. Dafür kommt es so zu manchem lehrreichen Überraschungseffekt, wenn sich ein vermeintliches Luftbild als ausgezeichnete IKONOS-Farbkomposite herausstellt. Spezielle Auswertemethoden, wie Klassifikationsverfahren oder Interferometrie, werden mit guten Beispielen gezeigt, könnten aber noch zahlreicher sein.

Bilder von Erdbeobachtungssatelliten sind nicht nur informativ, sondern vor allem auch von hohem ästhetischen Wert. Daher eignet sich das Buch unter anderem sehr gut, um „fachfremden“ Personen anhand einer wichtigen Thematik die Schönheit und den hohen Nutzen der Fernerkundung nahe zu bringen.

RAINER KALLIANY, Graz

LANGE, NORBERT DE, (2002): Geoinformatik in Theorie und Praxis. 175 Abb., 59 Tab., XIV, 438 S., gebunden. Springer-Verlag, 69121 Heidelberg, Tiergartenstr. 17. ISBN 3-540-43286-8.

Mit diesem Buch ist ein neues breites Grundlagenwerk im Bereich der Geoinformatik vorgelegt worden. Das vom Autor ausgewählte Konzept des Buches, die „Wissenschaft hinter den Technologien“ zu präsentieren, ist bereits in der Einführung klar umrissen. Das Lehrbuch wird diesem Anspruch ohne Zweifel gerecht. Es zeichnet

sich durch klare Definitionen und übersichtliche Darstellungen aus, wobei nicht die aktuellen technischen Lösungen im GIS-Bereich, sondern theoretische Grundlagen im Vordergrund stehen. Wesentlich komplizierter ist zu beurteilen, ob der dabei angebotene Einstieg in die Thematik einen wirklich umfassenden Charakter hat. Als eine relativ junge Wissenschaft befindet sich die Geoinformatik in einer Phase der Entstehung. Ihre Grenzen zu den anderen Geo-Disziplinen wie Geographie, Geodäsie, Fernerkundung usw. einerseits und zur Informatik andererseits sind noch nicht eindeutig zu definieren. Diese Tatsache wurde auch vom Autor nicht verborgen, der bereits im Vorwort feststellt, dass die Diskussion um Inhalte der Geoinformatik noch nicht beendet ist.

Die Zweiteilung der Geoinformatik in der Betrachtungsweise des Autors spiegelt sich in der Gliederung des Werkes wieder, wo zwei etwa gleich große Blöcke „Informatik und EDV“ und „Erfassung, Verwaltung und Präsentation der raumbezogenen Daten – GIS“ deutlich zu erkennen sind. Den ersten Block bilden die Kapitel: „Allgemeine Grundlagen der Informationsbearbeitung“, „Grundlagen aus der Informatik“, „Komponenten von Computersystemen“, „Datenorganisation und Datenbanksysteme“. Während durch diese Kapitel den Geowissenschaftlern ein Einstieg in die Welt der binären Zahlen und deren Verarbeitung ermöglicht wird, stehen im zweiten Block des Buches mit den Kapiteln „Räumliche Objekte und Bezugssystem“, „Digitale räumliche Daten – Datengewinnung und Geobasisdaten“, „Visualisierung raumbezogener Informationen“, „Geoinformationssysteme“, Fernerkundung und digitale Bildverarbeitung“ die Geodaten, ihre Erfassung, Verwaltung und Präsentation im Mittelpunkt des Interesses. Die wenigen Verknüpfungen beider Blöcke sind nicht immer überzeugend realisiert. So sind z. B. einige grundlegende Algorithmen der Geoinformatik im Abschnitt 3.5 des Kapitels „Grundlagen aus der Informatik“ beschrieben, obwohl sie im Gesamtkonzept des späteren Kapitels „Geoinformationssysteme“ wesentlich besser aufgehoben wären.

Obwohl ein Grundlagenwerk sich insbesondere durch interdisziplinäre Betrachtungsweise auszeichnen sollte, sind bei der Auswahl der Schwerpunkte des Buches die Wurzeln des Autors in der Geographie und Fernerkundung nicht zu übersehen. So werden im Kapitel „Fernerkundung und digitale Bildverarbeitung“ nicht nur wertvolle Informationen über aktuelle Entwicklungen der Aufnahmesysteme gegeben, sondern in aller Ausführlichkeit ihre technischen Einzelheiten beschrieben. Die modernen geodätischen Erfassungsverfahren sind dagegen überhaupt nicht erwähnt, obwohl sie in den meisten großmaßstäbigen Anwendungsbereichen der Geoinformatik (z.B. bei EVU, Ver- und Entsorgung, Facility Management usw.) kaum zu ersetzen sind. Die Photogrammetrie (im klassischen Sinne) als Hauptlieferant von geometrischen Informationen wird lediglich in wenigen Sätzen behandelt, obwohl auch in diesem Bereich z. Zt. der Übergang zur digitalen Arbeitsweise stattfindet. Der aktuelle Standort eines mobilen Benutzers lässt sich nicht nur durch das sehr ausführlich beschriebene GPS-Verfahren, sondern auch mehr oder minder genau mittels der Mobilfunktechnik, Trägheitssystemen bzw. innerhalb von Räumen durch Infrarotsender bestimmen, um hier nur einige Beispiele zu nennen. Zusätzliche Beispiele aus verschiedenen Bereichen könnten außerdem an den jeweiligen Stellen die betrachteten Prinzipien verdeutlichen, ohne den umfassenden und theoretischen Charakter des Buches zu zerstören. Trotz der angebrachten Kritik bietet das insgesamt gelungene Buch für den fachkundigen Leser eine Fülle von Anregungen. Es kann ebenfalls den Studierenden der verschiedenen Fachrichtungen (Geographie, Informatik, Planungs- und Umweltbereich usw.) in vollem Umfang empfohlen werden. Der an konkreten Lösungen interessierte Praktiker sollte sich – angesichts des Preises – genau anschauen, ob der Inhalt seinen Erwartungen entspricht.

B. RESNIK, Rostock

OLBRICH, GEROLD, QUICK, MICHAEL & SCHWEIKART, JÜRGEN, (2002): Desktop Mapping. Grundlagen und Praxis in Kartographie und GIS. 3. überarb. u. erw. Auflage. IX, 309 Seiten, 153 Abbildungen, 25 Tab., gebunden. Mit CD-ROM. Springer-Verlag, 69121 Heidelberg, Tiergartenstr. 17. ISBN 3-540-64890-9.

Mit der vorgelegten dritten Auflage hat sich auch der Titel des Buches geändert. Ehemals 1994 unter „Computerkartographie. Eine Einführung in das Desktop Mapping am PC“ in der ersten Auflage publiziert, reflektiert die neue Titelgebung den Wandel in den Begrifflichkeiten und charakterisiert den Inhalt des Buches besser. Die neue Auflage ist vom Umfang her geringfügig erweitert. Auch die Gliederung ist nahezu komplett beibehalten. Im Wesentlichen sind die Produktdaten und die Programmbeschreibungen aktualisiert und erweitert. Jedoch sind die Druck- und auch die Abbildungsqualität im Vergleich zur ersten Auflage deutlich verbessert, welches sehr wohltuend auffällt. Das Buch gliedert sich in fünf Kapitel, gefolgt von mehreren Anhängen. Auf einer CD-ROM sind Demoversionen der Programme enthalten, so dass der Leser direkt auch erste praktische Erfahrungen im Umgang mit Desktop Mapping-Software erlangen kann.

Kapitel 1 führt grundlegend in das Wesen und die Funktion thematischer Karten ein, legt somit das begriffliche Umfeld fest und skizziert die historische Entwicklung.

Aus Sicht des Rezensenten stellt das Kapitel 2 den wertvollsten Teil des Werkes dar. Wir begegnen heute zunehmend kartographischen Produkten, erzeugt so nebenbei im Studium, in Projekten, im Arbeitsumfeld, in den Medien, im Internet und an vielen anderen Stellen. Und obwohl die Kartographie als eine durchaus alte Wissenschaftsdisziplin die wesentlichen Regeln zur Wiedergabe räumlicher Phänomene in thematischen Karten schon lange definiert hat und Experten auch danach handeln, so ist eine Vielzahl der aus GIS- oder Mapping-Produkten erzeugten Karten einfach nur kartographisch schlecht. Daher bedarf es genau solcher Ab-

handlungen zur thematischen Kartographie, wie sie in Kapitel 2 gegeben sind: Grundsätzliches zum Aufbau von Karten, zu den Minimalelementen in und um den eigentlichen Karteninhalt und Regeln zu Ausdrucks- und Darstellungsformen zur Visualisierung von Geometrie- und Sachdaten. Die Autoren geben hier auf rund 70 Seiten eine klar strukturierte Zusammenfassung des Kenntnisstandes der thematischen Kartographie, die jedem Nutzer von GIS- und Mapping-Produkten für die Erstellung seiner Karten zwingend zu empfehlen ist.

Kapitel 3 dagegen sollte in einer zukünftigen Neuauflage sowohl vom Titel als auch vom Inhalt überdacht werden. Hier werden eher Grundlagen und Voraussetzungen beschrieben, um Karten am Rechner zu verarbeiten. Grundlegende Aussagen zum Aufbau und Funktionalitätsumfang eines kartographischen Arbeitsplatzes (Hardware, Software und auch Daten) sind an dieser Stelle passend und auch in Umfang und Form gelungen. Darüber hinaus findet sich neben einigen ganz nützlichen Tipps bei der Kartenverarbeitung hier aber zu viel Bekanntes aus dem IT- und Windows-Umfeld. Die abschließenden Ausführungen zur Kartographie im Netz und zu GIS deuten die zukünftige Richtung an, gehen jedoch noch recht konservativ mit den neuen Kommunikationsformen um. So findet sich hier z.B. nichts zum Thema Multimedialkartographie, im internationalen Kontext inzwischen doch auch für Kartographen ein Betätigungsfeld.

Die Software zur Kartenerstellung wird in Kapitel 4 vorgestellt. Beginnend mit CD-Produkten (Atlanten, Datenbanken) über Statistik- und Tabellenkalkulationserweiterungen kartographischer Art wird zu Kartographieprogrammen übergeleitet. Hier ist eine einheitlich strukturierte Übersicht zu knapp 10 GIS- und Kartographieprodukten gegeben, zu denen auch Demoversionen auf CD vorliegen. Im Einzelnen ist nicht genau nachzuvollziehen, warum gerade diese Auswahl von Produkten beschrieben wird: So handelt es sich bei ArcView GIS und Map-Info Professional um vollwertige Desktop GIS-Lösungen, während die anderen Pro-

dukte eher dem Desktop Mapping-Bereich zuzuordnen sind. Dem Autor fehlt dagegen z.B. die Maptech Mapping-Familie, die doch eine recht weite Verbreitung gefunden hat. Für den Leser, der sich einen Überblick über am Markt verfügbare Programme schaffen möchte, ist dieses Kapitel nahe zu legen, zumal die Autoren sich intensiv mit den Softwarepaketen beschäftigt haben und deren Vor- und Nachteile klar skizzieren. Ein Hinweis auf den jährlich erscheinenden GIS-Report ([www.gis-report.de](http://www.gis-report.de)) oder die GIS-Produktesammlung im Geoinformatik-Service ([www.geoinformatik.uni-rostock.de](http://www.geoinformatik.uni-rostock.de)) wäre angebracht, um dem Leser weitere Recherchemöglichkeiten zu bieten. Auch mit Graphikprogrammen wie CorelDraw oder Bildbearbeitungsprogrammen wie Photoshop oder ERDAS lassen sich kartographische Produkte erzeugen, worauf in den abschließenden Abschnitten eingegangen wird.

Kapitel 5 fasst nochmals zusammen und stellt die Produkte einander tabellarisch gegenüber. In den Anhängen werden ein umfangreiches Literaturverzeichnis sowie Anschriften (inkl. URL) von wichtigen Datenanbietern (Internationale Statistische Ämter und der nationalen Landesvermessungsämter) sowie der Kartographie-Produkteanbieter angegeben. Weitere Anhänge erklären die Beurteilungskriterien der Kartographieprodukte und geben Nutzungshinweise zur CD.

Ungeachtet der oben gegebenen Hinweise für eine der nächsten Auflagen, kann das Buch uneingeschränkt empfohlen werden: sowohl jedem Studierenden, der in irgendeiner Weise mit GIS und Karten zu tun hat, als auch Praktikern, die mit derartiger Software thematische Karten zu erstellen haben. Es ist gut lesbar geschrieben und ansprechend mit Abbildungen durchsetzt, so dass es auch im Selbststudium erarbeitet werden kann.

RALF BILL, Rostock

ELLEN SALLET, 2002: Fachwörterbuch Fernerkundung und Geoinformation. Englisch – Deutsch. XVI, 250 S., gebunden. Hüthig Fachverlage, Im Weiher 10, 69121 Heidelberg, e-mail: kundenservice@huethig.de. ISBN 3-87907-378-3.

Das Fachwörterbuch schließt offensichtlich eine Lücke in der Fachliteratur. Es ermöglicht einem großen Nutzerkreis den schnellen Zugriff zur Übersetzung von Fachtermini, die sonst nur einer breit gefächerten Literatur zu entnehmen sind. In dem umsichtig angelegten Buch ist den wesentlichen englischen Fachbegriffen der Fernerkundung und Geoinformation die deutsche Übersetzung gegenübergestellt. Insgesamt sind 12 500 Stichwörter in alphabetischer Reihenfolge, insgesamt 105 Sachgruppen, wie z. B. Absorption, Cluster, GIS, Graustufe, Kalibrierung, Pixel zugeordnet, die häufig noch weiter untergliedert sind, etwa bei Graustufe: gray level, gray scale, gray tone, gray value, gray wedge mit den dazugehörigen Stichwörtern. Manche Begriffe, z. B. „Klassifikation“, enthalten über 300 Begriffe, viele von ihnen jedoch deutlich weniger. Eine wertvolle Zusatzinformation bieten in englischer Sprache hunderte von Hinweisen auf sachverwandte Begriffe oder Sachgebiete mit Relevanz für die jeweiligen Begriffe sowie Synonyma, in Ergänzung zu den Übersetzungen. Mit dieser Struktur weicht das Wörterbuch von analogen Werken ab.

Für die fachliche Beratung standen der Autorin 11 namhafte Spezialisten der Fernerkundung und Geoinformation zur Seite, wodurch das Wörterbuch von Unschärfen frei gehalten werden konnte. Es war offenbar nicht das Anliegen der Autorin, Anwenderdisziplinen enzyklopädisch zu erfassen. Dieser Verzicht auf handbuchartige Breite bringt mit sich, dass man Lücken entdecken kann. Als Beispiele seien genannt: „cardinal point effect“ aus der Radarinterpretation, „modulation transfer function“ – Methode zur Beschreibung der räumlichen Auflösung, „random line dropout“ – der nichtsystematische Linienausfall in Scanneraufnahmen. Dieser Umstand min-

dert den Wert des Wörterbuches in keiner Weise.

Das Wörterbuch ist für Fernerkunder generell, aber auch für Geodäten, Photogrammeter, Raumplaner und viele andere gedacht. Es sollte zum Bestand der einschlägigen Bibliotheken gehören. Es ist dem Buch vielfältige Nutzung zu wünschen.

PETER BANKWITZ, Potsdam

BUHMANN, ERICH & WIESEL, JOACHIM: GIS-Report 2002: Software, Daten, Firmen. Bernhard Harzer Verlag, Karlsruhe. 7. Auflage 2002. 384 Seiten. Broschiert. ISBN 3-9803128-8-7, ISSN 1618-8055.

Mit dem im Oktober 2002 zum siebten Mal in Zusammenarbeit mit dem Bernhard Harzer Verlag erschienenen GIS-Report der Autoren Erich Buhmann und Joachim Wiesel wurde der Überblick über den deutschsprachigen GIS-Markt erneut erweitert und aktualisiert.

In Zeiten, in denen sich die Anwendungsbereiche von GIS ständig erweitern und sich die Gemeinde der GIS-Firmen und Datenanbieter kontinuierlich vergrößert, ist der Bedarf an einem Übersicht gebenden Nachschlagewerk besonders groß. Dieses Ziel sucht auch der siebte GIS-Report zu erfüllen, der nun wieder aktualisiert als möglichst vollständige und vergleichende Übersicht über das GIS-Angebot für Experten, aber auch für Einsteiger zur Verfügung steht. Als Orientierungshilfe kann er vor allem diejenigen unterstützen, die vor der Entscheidung der Einführung eines GIS stehen und sich dabei über Marktangebot sowie zu erwartende Trends informieren möchten. In Sachen Trends sind entgegen den Erwartungen keine großen Neuerungen gegenüber der sechsten Auflage ersichtlich, für den Neuling ist dies aber dennoch ein interessantes Kapitel.

Der Inhalt des alljährlich erscheinenden GIS-Reports basiert auf Angaben der Firmen, die soweit möglich von Mitarbeitern des Verlages auf Plausibilität geprüft wer-



den. Das Handbuch hat so den Anspruch, frei von Einflüssen der Industrie zu sein, wobei jedoch erwähnt werden sollte, dass nicht alle Einträge in den GIS-Report für die Firmen kostenfrei sind.

Das Nachschlagewerk umfasst Kenndaten und Leistungsmerkmale von über 700 Produkten von etwa 150 Firmen und Datenanbietern, begleitet von Fachbeiträgen zu Software, Daten und Trends in der GIS Branche, und bietet somit einen Überblick über den GIS-Markt in Deutschland, Österreich und der Schweiz. Neben ausführlichen Softwarebeschreibungen finden Fachleute und Interessierte zudem eine Aufstellung von Datenanbietern aus dem öffentlichen und privaten Sektor. Abgerundet ist der GIS-Report durch detaillierte Firmenprofile – dem „Who is who“ der deutschsprachigen GIS-Branche.

Der Trend einer zunehmenden Entwicklung von Internet-Lösungen und Fachschulen lässt sich auch an der in diesem Bereich stark angestiegenen Zahl der Produkte erkennen. Nicht nur deshalb ist der Umfang des aktuellen GIS-Reports gegenüber der sechsten Auflage wiederum gewachsen.

Der GIS-Report ist auch im Internet unter <http://www.gis-report.de> abrufbar.

KATHRIN JAENICKE, München

BILL, RALF, SEUSS, ROBERT & SCHILCHER, MATTHÄUS (Hrsg.), 2002: Kommunale Geo-Informationssysteme. Basiswissen, Praxisberichte und Trends. – 416 S. mit CD-ROM, Kartiert, ISBN 3-87907-387-2.

Auch im kommunalen Bereich verbreiten sich seit geraumer Zeit GIS-Technologien. Marktstudien gehen allerdings davon aus, dass sich der kommunale GIS-Markt gerade erst entwickelt. Daraus folgt ein großer Informationsbedarf über GIS-Technologien und deren Anwendungsfelder. An diesem Punkt wollen die Herausgeber des Buches ansetzen, um potentiellen kommunalen GIS-Anwendern Anknüpfungspunkte für ein eigenes GI-Konzept zu geben.

Je nach Vorkenntnissen kann sich der Leser in den drei Teilen des Buches vertiefend informieren:

1. Basiswissen zu Geo-Informationssystemen
2. Fallbeispiele und Erfahrungsberichte
3. Trends und Entwicklungen

Die Grundlagenbeiträge reichen von Informationen zu Geobasisdaten, über GIS-Grundlageninformationen bis hin zu GIS-Produkten, jeweils bezogen auf den kommunalen Bereich.

13 Fallbeispiele geben einen praxisnahen Überblick über unterschiedliche GIS-Realisierungen in unterschiedlich großen Kommunen und Kreisen bzw. Planungsverbänden wider und schildern die jeweils gemachten Erfahrungen. Das Buch wird abgerundet durch einen Blick nach vorn: welche Trends und Tendenzen zeichnen sich am GIS-Markt ab? Hier wird umfassend über Aspekte des Internet-Einsatzes, Normungsfragen, mobile Geodatenerfassung, virtuelle GIS-Realitäten und Location Based Services berichtet.

Ergänzt wird der hervorragend konzipierte Sammel-Band durch eine Begleit-CD, auf der zu allen Beiträgen PDF-Präsentationen in Farbe abgelegt sind.

Gemäß dem Ziel des Bandes hat das kompetente Herausgeberteam selbstverständlich auch an den Praktiker gedacht, der mit dem Buch arbeiten will. Neben Querverweisen zwischen den Einzelbeiträgen existieren Hinweise und Empfehlungen im Sinne eines Leitfadens für die eigene GIS-Einführung. Darüber hinaus findet sich eine Sammlung nützlicher Internet-Links, ein ausführliches Literaturverzeichnis, ein Sachwortregister und natürlich ein Abkürzungsverzeichnis.

Als Fazit bleibt festzuhalten, dass der vorliegende Sammelband das Thema „kommunaler GIS“ umfassend abhandelt und jedem, der sich mit dem Thema befasst nützliche Informationen und Anregungen für die eigene Realisierung bietet.

CARSTEN JÜRGENS, Regensburg

PATZL, CHRISTIAN (2002): GIS in der Gartenarchitektur. Erkundung, Dokumentation und Management von Garten- und Parkanlagen. VI, 84 S., Kartoniert. Herbert Wichmann, Hüthig Fachverlage, Im Weiher 10, 69121 Heidelberg, e-mail: kundenservice@huethig.de. ISBN 3-87907-389-9.

Mit „GIS in der Gartenarchitektur. Erkundung, Dokumentation und Management von Garten- und Parkanlagen“ möchte CHRISTIAN PATZL eine Lücke im Zusammenhang mit der inzwischen umfangreichen Einführungsliteratur zum Thema „Geographische Informationssysteme“ schließen. Sein Werk zielt auf die Arbeitsfelder „Gartendenkmal“ und „Parkpflege“ und wendet sich somit in erster Linie an Gartenarchitekten, Landschafts- und Raumplaner, soll aber auch GIS-Anwender im Allgemeinen und Experten anderer Fachrichtungen ansprechen.

Einleitend werden 5 wesentliche Fragestellungen definiert, welche sich zu „die Vorteile und Einsatzmöglichkeiten Geographischer Informationssysteme im Kontext historischer Gartenanlagen“, „übertragbare Erfahrungen aus anderen Disziplinen“ und „sinnvolle Software und Applikationen“ zusammenfassen lassen.

Das Buch gliedert sich nach der Einleitung in 10 inhaltliche Kapitel: Zunächst erfolgt eine Übersicht zu den beiden Domänen „Geographische Informationssysteme“ und „Historische Gärten“. Erstere umfasst 10 Seiten und greift klassische Einführungselemente, wie die Unterscheidung von Raster- und Vektordaten, Dateneingabe und Datenbanken auf. Darüber hinaus werden Ausschnitte aus der Basis-Funktionalität Geographischer Informationssysteme vorgestellt. In Anbetracht der Tatsache, dass das Buch vor allem GIS-Neulinge ansprechen soll, wäre eine ausführlichere Darstellung mancher Aspekte an dieser Stelle wünschenswert gewesen; insbesondere die Zusammenfassung des letzten Punktes „Und was kann GIS nun eigentlich?“ auf lediglich 1 Seite erscheint zu knapp, während auf die Darstellung unterschiedlicher Datenbankmodelle hätte verzichtet werden können. Es

folgen 14 Seiten zu historischen Gärten von der Antike bis heute – die Begeisterung des Autors für diese Thematik zeigt sich hier deutlich. Dieses Kapitel beschränkt sich allerdings auf die historische Entwicklung der Gartenkunst und wird damit dem Titel des Buches nur teilweise gerecht.

Die Hauptkapitel 4 bis 7 umfassen zusammen 12 Seiten und befassen sich mit verschiedenen Formen Garten-spezifischer Kataster – sie bilden im Grunde genommen seitens des Umfangs, wie auch thematisch ein Kapitel. Grünflächenkataster, Baumkataster, Kulturgüterkataster und Leitungskataster werden als für die Gartenarchitektur relevante Katastertypen herausgegriffen und jeweils mit einem Beispiel aus der praktischen Anwendung belegt. Kapitel 8, „Gartenarchäologie“, kann als Einstieg in die Umsetzung thematischer Fragestellungen mit Methoden Geographischer Informationssysteme verstanden werden. Anhand archäologischer Untersuchungen werden Ansatzmöglichkeiten und Vorgehensweisen für den Einsatz von GIS am Beispiel einer tschechischen Gartenanlage dargestellt.

Im folgenden Abschnitt wird mittels zweier Beispiele die Umsetzung konkreter Fragestellungen im Zusammenhang mit historischen Gärten erläutert. Zum einen werden die Veränderungen heute noch existierender Gartenanlagen gegenüber ihrem ursprünglichen Planungsrahmen nachvollzogen. Dies geschieht am illustrativen Beispiel des Schönbrunner Fächers in der Schlossanlage Schönbrunn. Weiterhin wird die heutige Verbauung der Fläche eines ehemaligen Landschaftsgartens in Wien im zeitlichen Vergleich betrachtet.

Der Ausblick auf ein künftiges Garteninformationssystem GARDIS in Kapitel 10 stellt den interessantesten, aber kurz gehaltenen Teil des Buches dar: Es wird eine Verbindung existierender und künftig interessanter Themengebiete in einem für das Management von Gartenanlagen definierten GIS skizziert. Darauf aufbauend könnten Ideen zum Customizing existierender Lösungen und die Anforderungen an ein derartiges System entwickelt werden. Das Buch schließt mit einem kurzen Ausflug in die 3D-

Visualisierung für den virtuellen Besuch von Gärten.

Zusammenfassend sollte zunächst festgestellt werden, dass es sich bei „GIS in der Gartenarchitektur“ nicht um ein Buch handelt, welches den Anspruch eines wissenschaftlichen Werkes erhebt, sondern vielmehr eine erste Einführung in eine Thematik darstellt, die an vielen Stellen eher Erzählcharakter aufweist (Ich-Form, Ausdrucksweise, sparsame Literatur). Vor diesem Hintergrund sind auch die terminologischen und sprachlichen Unschärfen zu bewerten.

Allerdings führt diese Tatsache dazu, dass das Buch nicht – wie im Vorwort betont – gleichermaßen auch etablierte GIS-Anwender ansprechen kann. Der versierte Nutzer Geographischer Informationssysteme wird auf der einen Seite die elementaren Einführungen und Anwendungsbeispiele nicht Wert schätzen können und andererseits durch die weitgehende Beschränkung auf die Betrachtung historischer Gartenanlagen nicht in der Breite der Gartenarchitektur bedient. Auch vor dem Hintergrund der „übertragbaren Erfahrungen aus anderen Disziplinen“ wären Beispiele zu aktuellen Themen, wie der Flächennutzungswandel durch Ausgleichsmaßnahmen der Begrü-

nung oder die Bedeutung von Garten- und Parkanlagen im städtischen Naturschutz, eine sinnvolle Erweiterung gewesen. Garten- und Parkmanagement oder GIS-gestützte Pflegemaßnahmen kommen erst im Ausblick zum Tragen. Weiterhin ist der angekündigte Punkt „sinnvolle Software und Applikationen“ in dieser Form nicht aufgegriffen worden. Die Beispiele beziehen sich im Schwerpunkt auf ArcView und werden punktuell durch zusätzliche Tools ergänzt. Eine Marktübersicht oder Bewertung erfolgt nicht.

Für den GIS-Neuling mit Anknüpfungspunkten in der Gartenarchitektur, insbesondere im historischen Gartenbau, stellt „GIS in der Gartenarchitektur“ eine erste Einführung in die Möglichkeiten zum Einsatz Geographischer Informationssysteme dar. In vielen thematisch relevanten Studiengängen wie auch in der Praxis der Park- und Landschaftspflege gewinnen Geographische Informationssysteme und die damit verknüpften Möglichkeiten nur allmählich an Stellenwert. In diesem Zusammenhang kann das Buch als erster Schritt zum Wecken des Interesses für eine komplexere Thematik aufgefasst werden.

PATRICK HOSTERT, Berlin

## Vorankündigungen

### 2003

26. April – 1. Mai 2003: **Geographical Domain and Geographical Information Systems**. Modelling for Wayfinding Services. EURESCO Conference in **Bad Herrenalb**. Auskünfte durch: European Science Foundation, 1 quai Lezay-Marnésia, F-67080 Strasbourg cedex, Tel.: +33-388 76 71 35, Fax: +33-388 36 69 87, [www.esf.org/euresco](http://www.esf.org/euresco), e-mail: [euresco@esf.org](mailto:euresco@esf.org) und Chair: Sabine Timpf, University of Zürich.

3.–9. Mai: **ASPRS 2003 Annual Conference** in **Anchorage**, AK, USA. Auskünfte durch: ASPRS, 5410 Grosvenor Lane, Suite 210,

Bethesda, MD 20814-2160, USA. [www.asprs.org/alaska2003/](http://www.asprs.org/alaska2003/)

8./9. Mai: Seminar **Praxis mit Laserscanning** in **Oldenburg**. Veranstalter: Institut für Angewandte Photogrammetrie und Geoinformatik (IAPG) der FH Oldenburg/Ostfriesland/Wilhelmshaven mit dem Institut für Mess- und Auswertetechnik (IMA). Auskünfte durch FH Oldenburg/Ostfriesland/Wilhelmshaven, Zentrum für Weiterbildung, Ofener Str. 16/19, 26121 Oldenburg, Tel.: 0441-9722-270, Fax: 0441-9722-277, [www.fh-wilhelmshaven.de/oow/institute/iapg/seminare/](http://www.fh-wilhelmshaven.de/oow/institute/iapg/seminare/)

17. Mai: Die Fachrichtung Vermessungswesen der Uni Hannover und die Gesellschaft zur Förderung der Fachrichtung Vermessungswesen laden ein zum **Generationen Treff Geodäsie der Universität Hannover**. Auskünfte durch: Dr. Peter Lohmann, Tel.: +49-511-762 24 86, e-mail: lohmann@ipi.uni-hannover.de, <http://www.ipi.uni-hannover.de/foerder/Einladung.pdf>

22./23. May: 2<sup>nd</sup> Joint ISPRS WG III/6/IEEE/EARSel Workshop on **Remote Sensing and Data Fusion over Urban Areas (URBAN 2003) in Berlin**. Auskünfte durch: Prof. Olaf Hellwich, WG III/6 Chair, Tel.: +49-30-314-227 96, Fax: +49-30-314-211 04, e-mail: hellwich@fpk.tu-berlin.de und urban\_2003@ele.unipv.it, [www.fig.net/figtree/events/events2003.htm](http://www.fig.net/figtree/events/events2003.htm) und [www.tlc.unipv.it/urban\\_2003/](http://www.tlc.unipv.it/urban_2003/)

25.–28. Mai: 11<sup>th</sup> International Symposium on **Deformation Measurements in Santorini**, Griechenland. Auskünfte durch: Stathis C. Stiros, Tel.: +30-610-99 78 77, e-mail: stiros@upatras.gr, [www.fig.net/figtree/events/events2003.htm](http://www.fig.net/figtree/events/events2003.htm)

2.–5. Juni: 23<sup>rd</sup> EARSel Symposium „**Remote Sensing in Transition**“ in **Gent**, Belgien. Auskünfte durch: Prof. Rudi Goossens, University of Gent, e-mail: rudi.Goossens@rug.ac.be und earsel@meteo.fr

5.–7. Juni: Fourth International Workshop **Remote Sensing and GIS Applications to Forest Fire Management**, Innovative Concepts and Methods, in **Gent**, Belgien. Auskünfte durch: Dr. Emilio Chuvieco, Departamento de Geografía, Universidad de Alcalá, Spanien, e-mail: emilio.chuvieco@uah.es und earsel@meteo.fr, [www.earsel.org](http://www.earsel.org)

6./7. Juni: **International Workshop „Coastal Zone“** in **Gent**, Belgien. Auskünfte durch: Dr. Rainer Reuter, Universität Oldenburg, e-mail: r.reuter@las.physik.uni-oldenburg.de und earsel@meteo.fr, [www.earsel.org](http://www.earsel.org)

25.–27. Juni: The 11<sup>th</sup> **International Conference on Geoinformatics '2003: Advanced**

**Geoinformatics–Linking Pacific Rims to the World in Toronto**. Auskünfte durch: Prof. Vincent Tao, Tel.: +1-416-736-5221, Fax: +1-416-736-5817, e-mail: tao@yorku.ca, [www.geomaticseng.ryerson.ca](http://www.geomaticseng.ryerson.ca)

27.–29. Juni: ISPRS, WG VII/4, 4<sup>th</sup> International Symposium **Remote Sensing of Urban Areas 2003 in Regensburg**. Auskünfte durch: Dr. Carsten Jürgens, Co-chair WG VII/4, Tel.: +49-941-943-3630/3613, Fax: +49-941-943-4933, e-mail: carsten.juergens@geographie.uni-regensburg.de [www-urs2003.uni-r.de](http://www-urs2003.uni-r.de) und Dr. Gabor Remetey-Fulopp, Chair WG VII/4, Tel.: +36-1-301-40 52, Fax: +36-1-301-47 19, e-mail: gabor.remetey@fvm.hu

30. Juni–11. Juli: 23<sup>rd</sup> IUGG General Assembly **IUGG 2003 in Sapporo**, Japan. Auskünfte durch: Sekretariat Tel.: +81-468 66-5541, e-mail: IUGG\_service@jamstec.go.jp, [www.jamstec.go.jp/jamstec-e/iugg/index.html](http://www.jamstec.go.jp/jamstec-e/iugg/index.html)

1.–3. Juli: ISPRS WG V/4 und IC WG V/III Workshop **Vision Techniques for Digital Architectural and Archaeological Archives in Ancona**, Italien. Auskünfte durch: Hirofumi Chikatsu, Chair WG V/4, e-mail: chikatsu@g.den-dai.ac.jp und Gabriele Fangi, Co-Chair WG V/4, Tel.: +39-71-220 47 42, Fax: +39-71-220 47 29, e-mail: fangi@popesi.unian.it und fangi@mta01.unian.it, [www.ing.uni-an.it/strutture/fimet/fangi/workshop](http://www.ing.uni-an.it/strutture/fimet/fangi/workshop) [isprs2003/workshopisprs2003.htm](http://isprs2003/workshopisprs2003.htm)

10./11. Juli: **ISEIS 2003 Annual Conference on Systems Science and Information Technology for Environmental Applications in Regina**, Kanada. Auskünfte durch: Prof. Dr. Gordon Huang, Tel.: +1-306-585-4095, Fax: +1-306-585-4855, e-mail: gorddon.huang@uregina.ca, [www.iseis.org](http://www.iseis.org)

16.–18. Juli: Second International Workshop on the **Multi-Temporal Remote Sensing Images (MultiTemp-2003) in Ispra**, Italien. Auskünfte durch: MultiTemp-2003 Workshop Secretariat, Tel.: +39-332-78 52 79, Fax: +39-332-78 98 03, e-mail: multitemp2003@jrc.it

21.–25. Juli: International Geoscience and Remote Sensing Symposium **IEEE/IGARSS 2003** in **Toulouse**, Frankreich. Auskünfte durch: Dr. Bill Emery, e-mail: Emery@frodo.colorado.edu, www.ewh.ieee.org/soc/grss/igarss.html oder: Mrs. Christine Correcher, Tel.: +33-5-6128-2388, Fax: +33-5-6128-2939, e-mail: christine.correcher@cnes.fr, igarss03@colloquium.fr <http://www.igarss03.com/>

21.–25. Juli: **Cambridge Conference for National Mapping Organisations** in **Cambridge**, England. Auskünfte durch: e-mail: cambridge2003@ordsvy.gov.uk und www.ordnancesurvey.co.uk/cambridge

10.–16. August: 21<sup>st</sup> **International Cartographic Conference & 12<sup>th</sup> General Assembly of the International Cartographic Association** in **Durban**, Südafrika. Auskünfte durch: ICC 2003, Tel.: +27-21-689 13 51, e-mail: icc2003@dla.gov.za, <http://www.icc2003.gov.za>

13.–15. August: The 4<sup>th</sup> International Symposium on **Mobile Mapping Technology „MMT 2003“** ISPRS Comm. I, WG II/1, II/2, IV/2, V/5 in **Kunming**, China. Auskünfte durch: Prof. Vincent Tao, Tel.: +1-416-736-5221, Fax: +1-416-736-5817, e-mail: tao@yorku.ca oder: Prof. Gang Deng, Tel.: +86-871-514-4212, Fax: +86-871-519-8622, e-mail: iep@kmust.edu.cn, www.ucalgary.ca/~ctao oder: <http://www.geoict.net/mmt2003/index.htm>

13.–16. August: International Colloquium **Studying Land Use Effects in Coastal Zones with Remote Sensing and GIS** in **Kemer/Antalya**, Türkei. Auskünfte durch: Chair: Dr. Garik Gutman, Land Cover-Land Use Change Program, NASA HQ, Code YS 300 E Street, SW-Room 5Q26 Washington, DC 20546, Tel.: +1-202-358-2770, e-mail: ggutman@hq.nasa.gov, <http://lcluc.gsfc.nasa.gov/> Chair: Prof. Dr. Derya Maktav, Istanbul Technical University (ITÜ), Faculty of Civil Engineering, Remote Sensing Dept., 80626 Maslak, Istanbul, Türkei, Tel.: +90-212-

285 3808, Fax: +90-212-573 7027, e-mail: dmaktav@ins.itu.edu.tr, <http://www.ins.itu.edu.tr/deryamaktav>

1.–5. September: **49. Photogrammetrische Woche** im Institut für Photogrammetrie der Universität **Stuttgart**. Auskünfte durch: Konferenzsekretärin Martina Kroma, Geschwister-Scholl-Str. 24 D, D-70174 Stuttgart, Tel.: +49-711-121-3201, Fax: +49-711-121-32 97, www.ifp.uni-stuttgart.de e-mail: martina.kroma@ifp.uni-stuttgart.de

8.–9. September: Joint Workshop of ISPRS WG IV/3, 6 & 7 **Challenges in Geospatial Analysis, Integration and Visualization II** in **Stuttgart**. Abgabetermin für Abstracts: 1. 5. Auskünfte durch Dr. Jochen Schiewe, Tel.: +49-4441-155 58, Fax: +49-4441-154 45, e-mail: jschiewe@fzg.uni-vechta.de, <http://www.iuw.uni-vechta.de/personal/geoinf/jochen/isprs03.htm>

8.–12. September: **SPIE's Remote Sensing Europe** in **Barcelona**. Auskünfte durch: SPIE, Tel.: +1-360-676-3290, Fax: +1-360-647-1445, e-mail: spie@spie.org, <http://www.spie.org/>

9.–11. September: **23. Wissenschaftlich-Technische Jahrestagung der DGPF** „Auf dem Weg zu operationellen Prozessketten in Photogrammetrie, Fernerkundung und Geoinformation“ in **Bochum**. Auskünfte durch: Dr. Klaus-Ulrich Komp, Präsident DGPF, e-mail: Praesident@dgpf.de, Dr.-Ing. Manfred Wiggenhagen, Sekretär DGPF, e-mail: Sekretaeer@dgpf.de und Prof. Dr.-Ing. Franz-Josef Heimes, FH Bochum, FB Vermessung und Geoinformatik, Lennershofstr. 140, 44801 Bochum, Tel.: 0234-3210517, Fax: 0234-3214223, e-mail: franz-josef.heimes@fh-bochum.de und www.dgpf.de

14.–20. September: 6<sup>th</sup> International Symposium on **Tropospheric Profiling „ISTP 2003: Needs & Technologies“** in **Leipzig**. Auskünfte durch: Frau Ulla Wandinger, Tel.: +49-341-235-21 54, Fax: +49-341-235-23 61, e-mail: istp@tropos.de, <http://istp2003.tropos.de:8085/>

- 17.–19. September: **INTERGEO 2003** in **Hamburg**. Auskünfte durch: [www.dvw.de](http://www.dvw.de) und [www.hinte-messe.de](http://www.hinte-messe.de)
- 17.–19. September: ISPRS Joint Conference of WG II/IV, III/4, III/5, III/6 **Photogrammetric Image Analysis (PIA'03)** in **München**. Auskünfte durch: Prof. Helmut Mayer, Tel.: +49-89-6004-34 29/34 55, Fax: +49-89-6004-40 90, e-mail: [Helmut.Mayer@UniBw-Muenchen.de](mailto:Helmut.Mayer@UniBw-Muenchen.de) oder: [pia03@remotesensing-tum.de](mailto:pia03@remotesensing-tum.de)  
<http://serv.photo.verm.tu-muenchen.de/pia03>  
<http://www.remotesensing-tum.de/pia03>
- 22./23. September: ISPRS WG I/5 Workshop **Theory, Technology and Realities of Inertial/GPS Sensor Orientation in Barcelona**. Auskünfte durch: WG I/5 Chair Prof. Karsten Jacobsen, Tel.: +49-511-762-24 85, Fax: +49-511-762-24 83, e-mail: [karsten@ipi.uni-hannover.de](mailto:karsten@ipi.uni-hannover.de)
- 22.–25. September: 6<sup>th</sup> Conference (ISPRS Comm.V, FIG, IAG) on **Optical 3D Measurement Techniques** in **Zürich**. Auskünfte durch: Liliane Steinbrueckner, Tel.: +41-1-633-31 57, Fax: +41-1-633-11 01, e-mail: [stein@geod.baug.ethz.ch](mailto:stein@geod.baug.ethz.ch), <http://www.photogrammetry.ethz.ch/optical3d>
29. September – 3. Oktober: **54<sup>th</sup> International Astronautical Congress** in **Bremen**. Auskünfte durch: [www.iac2003.org/](http://www.iac2003.org/) und: 54<sup>th</sup> IAC Secretariat, Congress Office, ZARM, Uni of Bremen, Am Fallturm, 28359 Bremen, Tel.: 49-421-218 48 01, Fax: +49-421-218 25 21, e-mail: [congress@iac2003.org](mailto:congress@iac2003.org)
30. September – 4. Oktober: **CIPA Symposium „New Perspectives to Save Cultural Heritage“** in **Antalya**, Türkei. Auskünfte durch: Symposium-Direktor Prof. Dr. Orhan Altan, Tel.: +90-212-285 38 10, Fax: +90-212-285 65 87, e-mail: [oaltan@itu.edu.tr](mailto:oaltan@itu.edu.tr), [www.cipa2003-antalya.org/](http://www.cipa2003-antalya.org/)
- 6.–8. Oktober: ISPRS WG I/2, I/5 & IC WG II/IV Workshop **High Resolution Mapping from Space 2003** in **Hannover**. Auskünfte durch: WG I/5 Chair Prof. Karsten Jacobsen, Tel.: +49-511-762-24 85, Fax: +49-511-762-24 83, e-mail: [karsten@ipi.uni-hannover.de](mailto:karsten@ipi.uni-hannover.de)
- 6.–10. Oktober: 4<sup>th</sup> International Conference on **3-D Digital Imaging and Modeling** in **Banff/Alberta**, Kanada. Auskünfte durch: e-mail: [3dimconf@nrc.ca](mailto:3dimconf@nrc.ca), <http://www.3DIMconference.org>
- 8.–10. Oktober: ISPRS WG III/3 Workshop on Airborne Laserscanning **3-D Reconstruction from Airborne Laser Scanner and InSAR data** in **Dresden**. Auskünfte durch: WG III/3 Co-Chair Prof. Hans-Gerd Maas, Tel.: +49-351-463-328 59/336 80, Fax: +49-351-463-372 66, e-mail: [hmaas@rcs.urz.tu-dresden.de](mailto:hmaas@rcs.urz.tu-dresden.de), <http://rcswww.urz.tu-dresden.de/~hmaas/hg-maas.html>
- 15.–18. Oktober: Meeting of ISPRS WG VI/3 **Geo-Information for Practice in Zagreb**, Kroatien. Auskünfte durch: Ljerka Rasic, Tel.: +385-1-3657-386, Fax: +385-1-6157-389, e-mail: [ljerka.rasic@dgu.tel.hr](mailto:ljerka.rasic@dgu.tel.hr) und WG VI/3 Chair: Ulrike Karin Rivet, e-mail: [ulrike@eng.uct.ac.za](mailto:ulrike@eng.uct.ac.za)
- Oktober: ISPRS WG VII/6 **Monitoring and Modeling of Global Environmental Change – How to link Local with Global ?** in **Tokyo**. Auskünfte durch: Prof. Yoshifumi Yasuoka, Tel.: +81-3-5452-6409, Fax: +81-3-5452-6408, e-mail: [yyasuoka@iis.u-tokyo.ac.jp](mailto:yyasuoka@iis.u-tokyo.ac.jp)
- 10.–14. November: 30<sup>th</sup> International Symposium on **Remote Sensing of Environment** in **Honolulu/Hawai**. Auskünfte durch: ISRSE, e-mail: [isrse@email.arizona.edu](mailto:isrse@email.arizona.edu), oder: Steve Brown, e-mail: [brownie@ag.arizona.edu](mailto:brownie@ag.arizona.edu)
- 3.–5. Dezember: ISPRS Joint Workshop WG II/5 & WG II/6 on **Spatial Analysis and Decision Making** in **Hong Kong**. Auskünfte durch: Prof. Chen Jun, Pres.Com.II, e-mail: [chenjun@nsdi.gov.cn](mailto:chenjun@nsdi.gov.cn) oder: Rob Lemmens, Secr.WG II/5, e-mail: [lemmens@itc.nl](mailto:lemmens@itc.nl)

## Zum Titelbild

### STARIMAGER SI-200 – Eine neue digitale hoch auflösende Luftbildkamera



STARLABO Corporation, Tokyo hat eine neue großformatige digitale Luftbildkamera entwickelt, den STARIMAGER SI-200, basierend auf dem Dreiliniensprinzip (TLS – Three Line Scanner). Die Kamera ist in einen Hochleistungsstabilisierer eingebaut, der die Vibrationen des Luftfahrzeugs (Flugzeug oder Helikopter) aufnimmt und mit einer Genauigkeit von einem Pixel stabilisiert. In der Bildebene sind drei Blöcke von je drei (R,G,B) CCD Linear Array Chips mit einer Größe von jeweils 14400 Pixel/Linie angebracht. Damit kann gleichzeitig in Vorwärts-, Nadir- und Rückwärtsrichtung monochrom oder sogar in Farbe aufgezeichnet werden. Ein zusätzlicher Chip produziert einen Bildstreifen im nahen Infrarot. Es können also bis zu 10 Linien simultan ausgelesen und gespeichert werden. Es werden standardmäßig 125, 250 oder 500 Linien pro Sekunde aufgezeichnet. Gleichzeitig registriert das System die räumliche Lage und die Drehwinkel für jede einzelne Linie mit einer GPS Antenne und einer IMU (Inertial Measurement Unit), welche aus einem optischen Glasfasergyroskop besteht.

Der breite Dynamikbereich der CCD Chips mit einer Aufzeichnungstiefe von 11 Bit und

mehr erlaubt auch sehr kleine Grauwertunterschiede gut kenntlich zu machen, so zum Beispiel in Schattenzonen. Wegen des Hochleistungsstabilisierers haben die Rohbilder (Level 0) nur sehr kleine Verzerrungen und gute Bildschärfe. Das System erlaubt auch Schrägaufnahmen, indem der Stabilisierer entsprechend montiert wird (vergleiche das obere Bild, bei dem die Fassaden von Häusern entlang einer Straße sehr gut repräsentiert sind).

Die Installation auf einer Helikopterplattform erlaubt tiefe Flughöhen mit geringer Geschwindigkeit und damit sehr hoher geometrischer und radiometrischer Auflösung. Auch kann damit gut unter einer Wolkendecke geflogen werden, was den aktiven Flugzeitbetrieb deutlich erweitert. Das System wurde ursprünglich für die Aufzeichnung linearer Strukturen, wie etwa Straßen, Flüsse, Bahnlinien etc. konzipiert. In der Zwischenzeit hat es aber seine Nützlichkeit auch für allgemeine Aufgaben der Datenakquisition für GIS und Mapping unter Beweis gestellt. Der Footprint beträgt 3,5 cm bei einer Flughöhe von 450 m über Grund.

Durch die Kombination von nahezu orthogonaler Projektion in Flugrichtung und perspektiver Abbildung quer dazu ergeben sich nur wenige Verdeckungen, die durch eine zusätzliche Querbefliegung kompensiert werden können. Die mit der Dreifachüberdeckung einhergehende Redundanz erlaubt eine bessere Genauigkeit und Zuverlässigkeit bei automatischen Auswerteargorithmen, insbesondere bei der Bildzuordnung.

Neue, dem Sensormodell angepasste Methoden der Auswertung sowie die dazugehörige Applikationssoftware (Userinterface, Entzerrung, Orthobildgeneration, Triangulation, Image Matching zur DSM und DTM Generierung etc.) werden gegenwärtig an der Professur für Photogrammetrie des Instituts für Geodäsie und Photogrammetrie der ETH Zürich entwickelt. In diesem Heft, S. 85–98, findet sich ein Beitrag von ARMIN GRUEN und LI ZHANG zur Sensor- und Trajektorienmodellierung und Aero-triangula-

tion, mit ersten empirischen Genauigkeitssuntersuchungen. Diese Arbeiten beziehen sich noch auf das Vorläufermodell TLS, welches allerdings eine dem STARIMAGER sehr ähnliche Architektur aufweist.

STARLABO Corporation wurde im November 1999 in Tokyo, Japan gegründet als ein Joint Venture zwischen der Industrie (Sumitomo Electric Industries, Ltd.) und dem Institute of Industrial Science, University of Tokyo (vertreten durch sieben Persönlichkeiten). Die Firma hat gegenwärtig 16 Mitarbeiter bei einem Kapital von 484

Millionen Yen. Das Geschäftsmodell beinhaltet den Verkauf von Systemen und Anwendungssoftware sowie die Datenakquisition und Datenveredlung.

Erläuterung der Abbildungen (Bilder erstellt mit dem Vorläufermodell TLS):

- Oben: Farbaufnahme eines Straßenabschnitts in Tokyo im Schrägmodus.
- Unten: Nadiraufnahme in Yokohama
- Unten rechts: STARIMAGER montiert am Helikopter

ARMIN GRUEN & LI ZHANG, Zürich

## Neuerscheinungen

CHRISTIAN HEIPKE, KARSTEN JACOBSEN & HELGE WEGMANN, (Eds.), 2002: Integrated Sensor Orientation. Test Report and Workshop Proceedings. OEEPE Publ. No. 43, 302 S., ISSN 0257-0505 und ISBN 3-89888-864-9. Bestellung bei: [www.oeepe.org](http://www.oeepe.org) oder BKG, Abt. Geoinformationswesen, Richard-Strauss-Allee 11, D-60598 Frankfurt am Main.

WOLFGANG AUGATH, (Hrsg.), 2002: Geodäsie im Wandel – Einhundertfünfzig Jahre Geodätisches Institut. Dresdner Beiträge aus geodätischer Forschung und Lehre. Technische Universität Dresden. Schriftenreihe des Geodätischen Instituts, Heft 1. 144 S. Bezug: TU Dresden, Geodätisches Institut, Mommsenstr. 13, D-01062 Dresden, Fax: +49-351-463-37201, [www.gi.geo.tu-dresden.de](http://www.gi.geo.tu-dresden.de), e-mail: [ursula.adelt@mailbox.tu-dresden.de](mailto:ursula.adelt@mailbox.tu-dresden.de)

ALEXANDER ZIPF & JOSEF STROBL, (Hrsg.), 2002: Geoinformation mobil. VIII, 230 S., Softcover. Herbert Wichmann, Hüthig Fachverlage, Im Weiher 10, 69121 Heidelberg, e-mail: [kundenservice@huethig.de](mailto:kundenservice@huethig.de). ISBN 3-87907-373-2. € 40,-

CHRISTIAN PATZL, 2002: GIS in der Gartenarchitektur. Erkundung, Dokumentation und Management von Garten- und Parkanlagen. VI, 84 S., Kartoniert. Herbert Wichmann, Hüthig Fachverlage, Im Weiher 10, 69121 Heidelberg, e-mail: [\[vice@huethig.de\]\(mailto:vice@huethig.de\). ISBN 3-87907-389-9. € 19,80](mailto:kundenser-</a></p>
</div>
<div data-bbox=)

RALF BILL, ROBERT SEUB & MATTHÄUS SCHILCHER, (Hrsg.), 2002: Kommunale Geo-Informationssysteme. Basiswissen, Praxisberichte und Trends. X, 416 S., mit CD-ROM. Kartoniert. Herbert Wichmann, Hüthig Fachverlage, Im Weiher 10, 69121 Heidelberg, e-mail: [kundenservice@huethig.de](mailto:kundenservice@huethig.de). ISBN 3-87907-387-2. € 48,-

ERICH BUHMANN & JOACHIM WIESEL, 2002: GIS-Report 2002. Software Daten Firmen. Broschiert, 388 S. Bernhard Harzer Verlag GmbH, Westmarkstr. 59/59a, 76227 Karlsruhe, e-mail: [Info@harzer.de](mailto:Info@harzer.de). ISBN 3-9803128-8-7 und ISSN 1618-8055. € 24,-

THOMAS LUHMANN, (Hrsg.), 2002: Nahbereichsphotogrammetrie in der Praxis. Beispiele und Problemlösungen. IX, 318 S., Kartoniert. Hüthig Fachverlage, Im Weiher 10, 69121 Heidelberg, e-mail: [kundenservice@huethig.de](mailto:kundenservice@huethig.de). ISBN 3-87907-385-6. € 48,-

JOACHIM HÖHLE, 2003: Automatic Georeferencing of Aerial Images by Means of Topographic Database Information. 41 pages, ISP publication nr. 287. Orders to: Department of Development and Planning, Aalborg University, Fibigerstraede 13, DK-9220 Aalborg, Tel.: 45-9635 8419, e-mail: [bentej@i4.auc.dk](mailto:bentej@i4.auc.dk), ISSN 1397-3169, ISBN 87-90893-47-6. € 6,-