

# PRG

# Photogrammetrie Fernerkundung Geoinformation

Organ der Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie  
und Fernerkundung e.V.

Jahrgang 2002, Heft 6

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

Schriftleiter:  
Prof. Dr. Franz K. List und Dr.-Ing. Eckhardt Seyfert

**Redaktionsbeirat** (Editorial Board): Jörg Albertz, Hans-Peter Bähr, Manfred F. Buchroithner, Ákos Detreköi, Egon Dorrer, Heinrich Ebner, Manfred Ehlers, Wolfgang Förstner, Dieter Fritsch, Armin Grün, Dierk Hobbie, Joachim Höhle, Hermann Kaufmann, Barbara Koch, Gottfried Konecny, Karl Kraus, Thomas Luhmann, Martien Molenaar, Karl Regensburger, Heinz Schmidt-Falkenberg und Bernhard P. Wrobel



E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung  
(Nägele u. Obermiller) Stuttgart 2002



DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR PHOTOGRAMMETRIE  
UND FERNERKUNDUNG E.V.  
Gegründet 1909

---

Die *Deutsche Gesellschaft für Photogrammetrie und Fernerkundung 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:

© 2002 Deutsche Gesellschaft für Photogrammetrie und Fernerkundung 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)

© 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: Prof. Dr. Franz K. List, Freie Universität Berlin, Institut für Geologie, Geophysik und Geoinformation, Malteserstr. 74-100, D-12249 Berlin, e-mail, [fklist@zedat.fu-berlin.de](mailto:fklist@zedat.fu-berlin.de) und Dr.-Ing. Eckhardt Seyfert, Landesvermessung und Geoinformation 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: € 86,- 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)

Bernhard Harzer Verlag GmbH, Westmarkstraße 59/59 a, 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 2002, Heft 6

### Inhaltsverzeichnis

---

#### Originalbeiträge

KOCH, A., HEIPKE, CH. & LOHMANN, P.: Bewertung von SRTM Digitalen Geländemodellen – Methodik und Ergebnisse .....	389
HIETEL, E., WALDHART, R. & OTTE A.: Zur Eignung von DHM- und ATKIS-Daten für die Landschaftsmodellierung .....	399
XUAN THINH, N.: Entwicklung von AML-Programmen zur räumlichen Analyse der Flächennutzungsmuster von 116 kreisfreien Städten in Deutschland .....	409
SUI, L.: Ableitung topographischer Strukturlinien aus Laserscannerdaten mit Methoden der Bildverarbeitung .....	423
SINRAM, O., ALBERTZ, J., RITTER, M., HOHENBERG, H. & SCHERTEL, A.: Ein neues Kalibrierobjekt für die Elektronenmikrophotogrammetrie .....	435
DONNER, R.: Über den Beitrag der Geoinformatik zum Verständnis des Systems Erde .....	443
KRAUS, K.: Zur Orthophoto-Terminologie .....	451

---

#### Berichte und Mitteilungen

##### Berichte

ISPRS Symposium Kommission II, 20.–23.8.2002 in Xi'an, China .....	453
ISPRS Symposium Kommission IV, 8.–12.7.2002 in Ottawa, Kanada ..	454
Förderpreis Geoinformatik des „Runder Tisch GIS e.V.“ .....	456

##### Hochschulnachrichten

Universität Rostock .....	457
Universität Hannover .....	458

##### Persönliches

Prof. KLAUS SZANGOLIES zum 70. Geburtstag .....	460
Prof. OYSTEIN ANDERSEN verstorben .....	462

Vorankündigungen .....	462
------------------------	-----

Zum Titelbild .....	463
---------------------	-----



## Bewertung von SRTM Digitalen Geländemodellen – Methodik und Ergebnisse

ANDREAS KOCH, CHRISTIAN HEIPKE & PETER LOHMANN, Hannover

**Zusammenfassung:** Im Februar 2000 startete die erste weltraumgestützte Single-Pass-Interferometrie Mission – die Shuttle Radar Topography Mission (SRTM). Das Ziel dieser Mission war es, einen homogenen Höhendatensatz der Erde mit einer Gitterweite von einer Bogensekunde zu erstellen. Antennen zweier unterschiedlicher Wellenlängen wurden benutzt: Neben dem Amerikanischen SIR-C war das Deutsch/Italienische X-SAR System an Bord.

Dieser Artikel befasst sich mit der Bewertung der interferometrischen Geländehöhendaten, welche mit Hilfe des X-SAR Systems abgeleitet wurden. Diese sogenannten ITED-2 Daten wurden mit Referenzdaten höherer Qualität in einem sehr gut bekannten Testgebiet im Süden von Hannover verglichen. Das verwendete Verfahren ähnelt dem Verfahren der Bildzuordnung nach kleinsten Quadraten und basiert auf einer räumlichen Ähnlichkeitstransformation ohne Verwendung von Passpunkten. Der Algorithmus transformiert die SRTM Daten auf die Referenzdaten und berechnet dabei die sieben unbekannt Parameter, welche horizontale und vertikale Verschiebungen, Rotationen und einen Maßstabsunterschied in Bezug zum Referenzdatensatz beschreiben. Die Transformationsparameter deuten auf potentiell vorhandene systematische Fehler hin.

Der systematische Höhenfehler der SRTM ITED-2 Daten im Untersuchungsgebiet beläuft sich auf + 2,3 m, die vertikale Standardabweichung beträgt im offenen Gelände  $\pm 3,3$  m nachdem die räumliche Ähnlichkeitstransformation angewendet wurde. Es wurden maximale horizontale Verschiebungen von 4–6 m ermittelt, was nur 20–25% der ITED-2 Gitterweite darstellt.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die ermittelten Ergebnisse besser sind als die vor der Mission prognostizierten. Folglich ist die Qualität der SRTM ITED-2 Daten mehr als zufriedenstellend.

**Summary:** *Assessment of SRTM Digital Terrain Models – Methodology and Results.* In February 2000 the first spaceborne Single-Pass-Interferometry mission started – the Shuttle Radar Topography Mission (SRTM). The goal of the mission was the generation of a homogeneous elevation data set of the earth with a grid width of one arcsec. Antennas of two different wavelength were used: Beside the American SIR-C the German/Italian X-SAR system was on board.

This paper deals with the assessment of the interferometric terrain elevation data produced by the X-SAR system. These so-called ITED-2 data were compared with reference data of higher quality in a well-known test site in the South of Hannover. The used method is comparable to the Least Squares Image Matching method and is based on a spatial similarity transformation without using any control point information. The algorithm transforms the SRTM data onto the reference data and calculates the seven unknown parameters which describe horizontal and vertical shifts, rotations and a scale difference in respect of the reference data set. The transformation parameters lead to potentially existing systematic errors.

The systematic height error of the SRTM ITED-2 data inside the test site is + 2,3 m, the vertical standard deviation in the open landscape is  $\pm 3,3$  m after applying the spatial similarity transformation. Maximum horizontal shifts of 4–6 m were obtained, which correspond to just 20–25% of the grid width of the ITED-2 data.

Summarized it can be stated that the obtained results are better than the predefined before the mission started. Consequently the quality of the SRTM ITED-2 data is satisfying.

## 1 Einleitung

SAR-Interferometrie (InSAR) ermöglicht die Herstellung eines dreidimensionalen Abbildes der Erdoberfläche. Folglich ist das Hauptprodukt ein Digitales Geländemodell (DGM) oder im Falle von kurzwelligen Systemen ein Digitales Oberflächenmodell (DOM).

Die SRTM Mission (WERNER 2001, ROSEN et al. 2001a) war die erste Mission, welche Single-Pass-Interferometrie welt-raumgestützt einsetzte. Die Hauptantenne des Systems befand sich dabei innerhalb der Ladebucht des Space Shuttle Endeavour, wobei diese Mikrowellenimpulse ausgesendet und empfangen hat. Die Außen- oder Slave-Antenne war am Ende eines 60 m langen ausfahrbaren Mastes befestigt und operierte als reine Empfangsantenne. Der Mast realisierte die interferometrische Basislinie. Zwei unterschiedliche Wellenlängen wurden eingesetzt: Das Amerikanische C-Band System operierte mit einer Wellenlänge von  $\lambda = 6,0$  cm, die Wellenlänge des Deutsch/Italienischen X-Band Systems betrug  $\lambda = 3,1$  cm. Um globale Abdeckung zwischen  $60^\circ$  nördlicher und  $56^\circ$  südlicher Breite zu erhalten, flog das Shuttle bei einer Flughöhe von 233 km und einer Inklination von  $57^\circ$ . Das C-Band Interferometer operierte in dem sogenannten ScanSAR Modus (BAMLER 1999). Damit war es möglich, 225 km breite Streifen aufzuzeichnen und somit die komplette Erdoberfläche abzudecken.

Die X-Band Antenne operierte bei einem festen Depressionswinkel von  $38^\circ$ , die Streifenbreite betrug 50 km. Der Vorteil des X-Bandes im Vergleich zum C-Band System ist die höhere relative vertikale Genauigkeit, welche durch die kürzere Wellenlänge erreicht wird. Der Nachteil des X-Band Systems ist die nicht gegebene globale Abdeckung. Lücken befinden sich zwischen den Streifen, welche mit größer werdender geographischer Breite kleiner werden.

Das Ziel des Projektes am Institut für Photogrammetrie und GeoInformation (IPI) der Universität Hannover war die Bewertung der Qualität der SRTM X-SAR

Daten. Diese wurde mit Hilfe eines Vergleiches mit Referenzdaten höherer Genauigkeit innerhalb eines sehr gut bekannten Testgebietes untersucht.

Kapitel 2 beschreibt den Algorithmus, der für die Bewertung der SRTM X-Band Daten verwendet wurde. Die Methode basiert auf einer räumlichen Ähnlichkeitstransformation ohne Verwendung identischer Punkte. Einen Überblick über das Testgebiet und die benutzten Referenzdaten wird nachfolgend vorgestellt (Kapitel 3) und die Ergebnisse der Validierung werden in Kapitel 4 und 5 beschrieben. Der Artikel schließt mit einer kurzen Zusammenfassung. Ähnliche Untersuchungen wurden z. B. von KLEUSBERG & KLAEDTKE (1999) für flugzeuggestützte InSAR Daten und von ROSEN et al. (2001b) für SRTM C-Band Daten durchgeführt.

## 2 Zuordnung Digitaler Geländemodelle – 3D Least Squares Matching

Der entwickelte Algorithmus (KOCH & HEIPKE 2001) stellt eine Erweiterung des bekannten Verfahrens zur Digitalen Bildzuordnung nach kleinsten Quadraten dar (Least Squares Matching). Beim Least Squares Matching wird eine Referenzmatrix mit Hilfe einer geometrischen und radiometrischen Transformation auf die Suchmatrix abgebildet. Das hier vorgestellte Verfahren, auch 3D Least Squares Matching genannt, basiert anstelle der ebenen Affin- und der radiometrischen Transformation auf einer räumlichen Ähnlichkeitstransformation. Das Verfahren ist ebenfalls vergleichbar mit der Verwendung eines DGM zur absoluten Orientierung eines photogrammetrischen Blockes (EBNER & STRUNZ 1988). Ein ähnlicher Algorithmus wurde von SCHENK et al. (2000) entwickelt.

Die sieben Parameter der räumlichen Ähnlichkeitstransformation beschreiben systematische Abweichungen der SRTM Höhendaten innerhalb des Untersuchungsgebietes in Bezug zum Referenzdatensatz. Restfehler nach Durchführung der Trans-

formation können als lokale systematische oder zufällige Fehler interpretiert werden.

## 2.1 Mathematisches Modell

Einzelne Punkte  $P(X, Y, Z)$  mögen Höheninformationen eines bestimmten Gebietes enthalten.

Die Punkte können zu Vektoren zusammengefasst werden:

$$\begin{aligned} G_1 &= \{P_{11} \ P_{12} \ \dots \ P_{1i} \ \dots \ P_{1n}\} \\ G_2 &= \{P_{21} \ P_{22} \ \dots \ P_{2j} \ \dots \ P_{2m}\} \end{aligned} \quad (1)$$

Der Referenzdatensatz  $G_1$  enthält  $n$  regelmäßig oder unregelmäßig verteilte Punkte.  $G_2$  enthält  $m$  Punkte, welche die gleiche physische Oberfläche beschreiben wie  $G_1$ .  $G_2$  ist der zu untersuchende Datensatz.

Bei Vernachlässigung etwaiger zufälliger und systematischer Fehler wird folgende Gleichung erfüllt:

$$Z_{1i}(X_{1i}, Y_{1i}) = Z_{2i}(X_{2i}, Y_{2i}) \quad (2)$$

Systematische Fehler können dazu führen, dass beide Datensätze gegeneinander verschoben, um die Koordinatenachsen gedreht sind und/oder unterschiedliche Maßstabsfaktoren besitzen. Folglich wird eine räumliche Ähnlichkeitstransformation eingeführt:

$$Z_{1i}(X_{1i}, Y_{1i}) = Z_0 + (1 + m) \cdot r_3 \cdot \underline{X}_{2i} \quad (3)$$

mit

$$\begin{pmatrix} X_{1i} \\ Y_{1i} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X_0 \\ Y_0 \end{pmatrix} + (1 + m) \cdot \begin{pmatrix} r_1 \\ r_2 \end{pmatrix} \cdot \underline{X}_{2i} \quad (4)$$

$$\underline{R}^T = (r_1 \ r_2 \ r_3)$$

$$\underline{X}_{2i}^T = (X_{2i} \ Y_{2i} \ Z_{2i})$$

Die Punkte  $P_{2i}(X_{2i}, Y_{2i}, Z_{2i})$  werden mit Hilfe der sieben Parameter der räumlichen Ähnlichkeitstransformation in das Koordinatensystem der Referenzdaten transformiert.  $Z_0$  ist die Translation in der Höhe,  $(1 + m)$  ist der Maßstab. Der Vektor  $r_3$  enthält die Rotationen  $\omega$ ,  $\varphi$  und  $\kappa$ , er repräsentiert die dritte Zeile der Rotationsmatrix  $\underline{R}$  der räumlichen Ähnlichkeitstransformation.

Das Zentrum der Rotation ist der Schwerpunkt des Untersuchungsgebietes.

$Z_{1i}$  auf der linken Seite der Gleichung (3) ist der korrespondierende Höhenwert des Referenzdatensatzes mit den Lagekoordinaten  $X_{1i}$ ,  $Y_{1i}$ .  $X_{1i}$  und  $Y_{1i}$  werden mit Hilfe der Gleichung (4) durch Transformation der Koordinaten  $X_{2i}$ ,  $Y_{2i}$ ,  $Z_{2i}$  des zu untersuchenden Datensatzes bestimmt. Die Vektoren  $r_1$  und  $r_2$  repräsentieren die ersten zwei Zeilen der Rotationsmatrix  $\underline{R}$ .  $X_0$  und  $Y_0$  sind die horizontalen Translationen. Um  $Z_{1i}$  zu bestimmen, muss gewöhnlich interpoliert werden, da die Lagekoordinaten  $X_{1i}$  und  $Y_{1i}$  im Allgemeinen nicht mit den Punkten des Referenzdatensatzes zusammenfallen.

## 2.2 Ausgleichung nach kleinsten Quadraten

Die Gleichungen (3) und (4) bilden die Basis einer Ausgleichung nach kleinsten Quadraten. Es werden die Höhendifferenzen zwischen den Datensätzen als abgeleitete Beobachtungen eingeführt und die Parameter der räumlichen Ähnlichkeitstransformation als Unbekannte berücksichtigt. Die Beobachtungen werden als unabhängig voneinander angenommen und besitzen die gleiche Genauigkeit, wodurch sich eine Einheitsmatrix als Kovarianzmatrix der Beobachtungen ergibt. Gleichungen (3) und (4) können dann als Beobachtungsgleichungen formuliert werden, wobei für jeden Höhenwert  $Z_{2i}$  eine Gleichung aufzustellen ist:

$$\begin{aligned} v_i(Z_{2i}) &= \\ Z_{1i}(X_0 + (1 + m)r_1 X_{2i}, Y_0 + \\ &+ (1 + m)r_2 X_{2i}) - (Z_0 + (1 + m)r_3 X_{2i}) \end{aligned} \quad (5)$$

Die Gleichung ist die fundamentale Gleichung zur Berechnung der unbekannt Parameter der räumlichen Ähnlichkeitstransformation. Aufgrund der nicht gegebenen Linearität von Gleichung (5) ist sie in eine Taylorreihe zu entwickeln. Die Unbekannten werden dann iterativ mit Hilfe von Näherungswerten bestimmt. Die Designmatrix der Ausgleichung nach kleinsten Quadraten enthält die partiellen Ableitungen der Beobachtungsgleichungen nach den unbe-

kannten Transformationsparametern. Es ist zu erwähnen, dass die erläuterte Methode Höhenvariationen innerhalb des Untersuchungsgebietes benötigt, weil – mit Ausnahme von  $\partial v_i / \partial Z_0$  – alle partiellen Ableitungen von  $\partial Z / \partial X$  oder  $\partial Z / \partial Y$  abhängen (siehe Gleichung 6).

$$\frac{\partial v_i}{\partial X_0} = \frac{\partial Z_{1i}}{\partial X_{1i}}$$

$$\frac{\partial v_i}{\partial Y_0} = \frac{\partial Z_{1i}}{\partial Y_{1i}}$$

$$\frac{\partial v_i}{\partial Z_0} = -1$$

$$\frac{\partial v_i}{\partial \omega} = \frac{\partial Z_{1i}}{\partial Y_{1i}} \cdot \frac{\partial Y_{1i}}{\partial \omega} - \frac{\partial Z'_{2i}}{\partial \omega} \quad (6)$$

$$\frac{\partial v_i}{\partial \varphi} = \left( \frac{\partial Z_{1i}}{\partial X_{1i}} \cdot \frac{\partial X_{1i}}{\partial \varphi} + \frac{\partial Z_{1i}}{\partial Y_{1i}} \cdot \frac{\partial Y_{1i}}{\partial \varphi} \right) - \frac{\partial Z'_{2i}}{\partial \varphi}$$

$$\frac{\partial v_i}{\partial \kappa} = \left( \frac{\partial Z_{1i}}{\partial X_{1i}} \cdot \frac{\partial X_{1i}}{\partial \kappa} + \frac{\partial Z_{1i}}{\partial Y_{1i}} \cdot \frac{\partial Y_{1i}}{\partial \kappa} \right) - \frac{\partial Z'_{2i}}{\partial \kappa}$$

$$\frac{\partial v_i}{\partial m} = \left( \frac{\partial Z_{1i}}{\partial X_{1i}} \cdot \frac{\partial X_{1i}}{\partial m} + \frac{\partial Z_{1i}}{\partial Y_{1i}} \cdot \frac{\partial Y_{1i}}{\partial m} \right) - \frac{\partial Z'_{2i}}{\partial m}$$

$Z'_{2i} = Z_0 + (1 + m) r_3 X_{2i}$  bezeichnet den transformierten Höhenwert.

Die unbekannt Parameter werden dann mit Hilfe der bekannten Gleichungen der Ausgleichung nach kleinsten Quadraten berechnet. Die Standardabweichung der Gewichtseinheit stimmt mit der Standardabweichung der Höhendifferenzen nach Durchführung der Transformation überein.

### 2.3 Spezialfall einer unbekannt Translation $Z_0$

Der Algorithmus wurde auf die Weise implementiert, dass eine unterschiedliche Anzahl von Parametern eingeführt werden kann. Wird nur eine vertikale Translation eingeführt, kann der Algorithmus vereinfacht werden. Der ermittelte Transformationsparameter  $Z_0$  stimmt mit dem Mittelwert der Höhendifferenzen zwischen beiden Datensätzen überein. Die Beobachtungsgleichung hat dann die folgende Form:

$$v_i(Z_{2i}) = Z_{1i}(X_{2i}, Y_{2i}) - (Z_0 + Z_{2i}(X_{2i}, Y_{2i})) \quad (7)$$

Das Ergebnis des Algorithmus bei Einführung einer vertikalen Translation  $Z_0$  ist vergleichbar mit der Berechnung eines Differenzen DGM.

### 3 Testgebiet und verwendete Datensätze

Das Ziel des Projektes am Institut für Photogrammetrie und GeoInformation war die Bewertung der Qualität der SRTM X-SAR Höhendaten. Dieses kann erreicht werden, indem die Daten mit Referenzdaten eines sehr gut bekannten Testgebietes verglichen werden.

Das Untersuchungsgebiet des IPI befindet sich südlich von Hannover. Der nördliche Teil ist durch urbane Regionen und flaches Gelände charakterisiert. Der süd-westliche Teil besitzt größere Geländehöhenunterschiede, Wald und landwirtschaftlich genutzte Flächen bedecken diesen Bereich.

Die Größe des Untersuchungsgebietes beträgt  $50 \text{ km} \times 50 \text{ km}$ . Der maximale Höhenunterschied liegt etwa bei 430 m.

Die erwartete vertikale Genauigkeit der SRTM Höhendaten beträgt mehrere Meter. Folglich wurden hoch genaue Koordinaten von Trigonometrischen Punkten (TP) und das Digitale Geländemodell der LGN (Landesvermessung und Geobasisinformation Niedersachsen), das ATKIS DGM5 als Referenzdatensätze gewählt, die eine Genauigkeit von bis zu einer Größenordnung besser als die SRTM Daten aufweisen.

Die Lagekoordinaten der TP's sind Gauß-Krüger Koordinaten, die Höhen sind Normalhöhen. Die horizontale und vertikale Genauigkeit beträgt 1–3 cm.

Das DGM5 ist ein Datensatz, welcher die Geländeoberfläche repräsentiert. Die Daten bestehen aus regelmäßig verteilten Punkten mit einer Gitterweite von 12,5 m. Zusammen mit Strukturinformationen (Bruchkanten, markante Geländepunkte, ...) repräsentieren die Daten ein hybrides DGM. Die vertikale Genauigkeit beträgt etwa 0,5 m und ist abhängig von der Geländetopogra-



phie. Das DGM5 bedeckt Teile des Untersuchungsgebietes, 4,7 Millionen DGM5 Punkte sind insgesamt verfügbar.

Die SRTM ITED-2 Daten (Interferometric Terrain Elevation Data Level 2, Abb. 1) repräsentieren aufgrund der kurzen Wellenlänge des X-Band Systems im Gegensatz zum DGM5 die Oberfläche einschließlich Vegetation und Gebäude (Geländeraussehen). Die Daten liegen als ellipsoidische Koordinaten bezogen auf das geozentrische Ellipsoid WGS84 vor. Die Gitterweite beträgt 1 Bogensekunde in beiden Richtungen. Um die Datensätze miteinander zu vergleichen, mussten die ITED-2 Daten in das Koordinatensystem der Referenzdaten transformiert werden. Ein Datumsübergang zwischen den Ellipsoiden WGS84 und Bessel wurde durchgeführt, zusätzlich wurden die ellipsoidischen Höhen mit Hilfe der Geoidundulationen korrigiert. Das Geoid hat eine Abweichung in der Größenordnung von 43–45 m innerhalb des Untersuchungsgebietes. Nach der Transformation liegen die ITED-2 Daten näherungsweise in einem

regelmäßigen Raster vor. Die Gitterweite beträgt in Nord-Süd-Richtung ungefähr 30 m, die Gitterweite in Ost-West-Richtung ist abhängig von der ellipsoidischen Breite. Die ellipsoidische Breite des Untersuchungsgebietes beträgt etwa 52°. Infolgedessen beträgt die Gitterweite in Ost-West-Richtung etwa 20 m. Der zur Verfügung stehende Datensatz enthält 5,5 Millionen Punkte.

#### 4 Beurteilung der Qualität mit Hilfe von Koordinaten Trigonometrischer Punkte

Erste Untersuchungen wurden mit Hilfe von Koordinaten Trigonometrischer Punkte (TP's) durchgeführt. 1.068 TP's waren im Untersuchungsgebiet verfügbar, welche von den SRTM Daten überlagert wurden. Um die vertikale Genauigkeit zu bestimmen, wurden nur diejenigen TP's berücksichtigt, welche nicht in der Nähe von Gebäuden oder Vegetation liegen, da dort die entsprechenden SRTM-Höhen durch Effekte der DGM-Interpolation verfälscht sein können. Um die TP's zu klassifizieren, wurde das ATKIS Basis DLM der LGN verwendet. 368 Punkte wurden in urbanen Regionen sowie innerhalb oder in der Nähe von Wäldern ausgeschlossen, 700 TP's konnten verwendet werden.

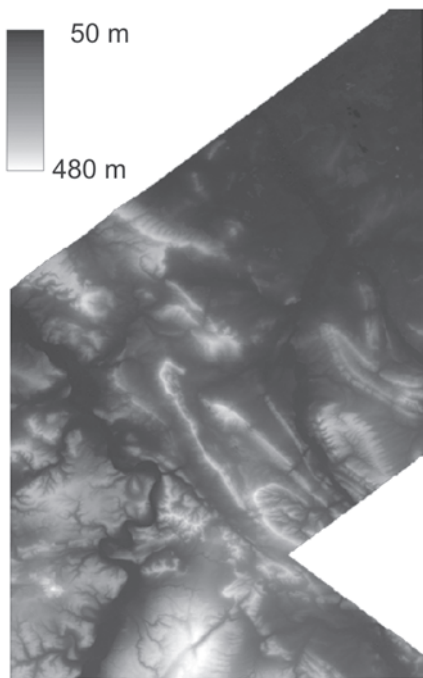


Abb. 1: Das Untersuchungsgebiet, SRTM ITED-2 Daten.

Tab. 1: Qualitätsmaße unter Verwendung aller TP's.

		Werte
Z0	[m]	+ 3,18
s	[m]	± 4,27
s <sub>Z0</sub>	[m]	± 2,86
n		700

Mit Hilfe der Lagekoordinaten der TP's wurden die korrespondierenden Höhenwerte des SRTM ITED-2 Datensatzes ermittelt. Die Höhendifferenzen wurden berechnet und die Qualitätsmaße wurden bestimmt (siehe Gleichung 7). Etwaige Lageverschiebungen, Verdrehungen beider Datensätze gegeneinander oder Maßstabsunterschiede zwischen den Daten wurden vernachlässigt. Tab. 1 enthält die Ergebnisse.

Der positive Wert  $Z_0$  bedeutet, dass das Höhenniveau der SRTM ITED-2 Daten niedriger ist als das der TP's. Der Datensatz enthält einen systematischen Höhenfehler von  $Z_0 = +3,2$  m. Die Standardabweichung der Höhendifferenzen  $s$  beträgt  $\pm 4,3$  m, nach Abzug des Mittelwertes vermindert sich der Wert auf  $s_{Z_0} = \pm 2,9$  m. Die Ergebnisse deuten auf eine hohe vertikale Genauigkeit der SRTM ITED-2 Daten hin. Die Ursache für die vertikale Systematik könnte in der Kalibrierung des SRTM Datensatzes begründet sein. Ein Höhenfehler in den Daten, welche zur Kalibrierung genutzt wurden, beeinflusst direkt die Ergebnisse der Untersuchungen. Während in den meisten Fällen InSAR Orbits von Küste zu Küste prozessiert und kalibriert werden und somit der Ozean als absolute Referenz vorhanden ist, wurde der Orbit, der die Daten des Untersuchungsgebietes enthält, auf anderer Weise bearbeitet. Existieren Gebäude oder Vegetation in dem für die Kalibrierung verwendeten Gebiet und wurden diese oberhalb des Geländes befindlichen Objekte nicht weiter berücksichtigt, werden die absoluten Höhenwerte des ITED-2 Datensatzes zu klein. Es soll darauf hingewiesen werden, dass diese Hypothese nicht weiter untersucht werden konnte, da keine weiteren Informationen über das Kalibrierfeld und die weiteren Bearbeitungsschritte zur Verfügung standen.

## 5 Beurteilung der Qualität mit Hilfe des Digitalen Geländemodells DGM5

Bei dem Vergleich der SRTM-Daten mit dem DGM5 wurden die Höhendifferenzen korrespondierender Punkte zuerst unter Vernachlässigung des Einflusses von „Geländerauschen“ (Gebäude, Vegetation) berechnet und daraus Qualitätsmaße der SRTM Höhendaten abgeleitet. In einem zweiten Schritt wurden nur die Höhendifferenzen verwendet, die sich außerhalb urbaner Regionen und Wälder befinden, und es wurde die Qualität der Daten innerhalb dieses „offenen Geländes“ bestimmt. Der in

Kapitel 2 beschriebene Algorithmus wurde angewendet, wobei sowohl ein als auch alle sieben unbekanntem Transformationsparameter eingeführt wurden.

### 5.1 Untersuchungen mit allen DGM5 Höhenwerten

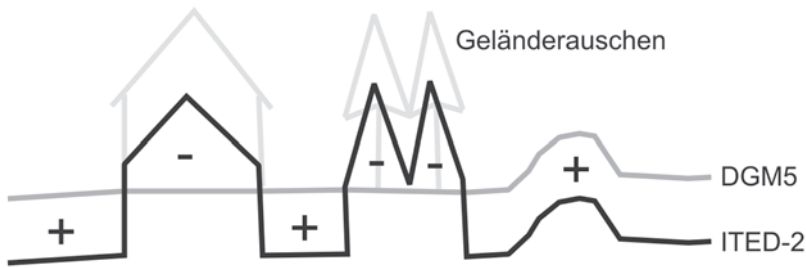
Im Gegensatz zu den Untersuchungen zuvor wurden die Lagekoordinaten des ITED-2 Datensatzes verwendet, um die korrespondierenden Höhenwerte des DGM5 zu bestimmen, wobei der Höhenwert mit Hilfe einer bilinearen Interpolation aus den umliegenden DGM5 Gitterpunkten abgeleitet wurde. Die Höhendifferenzen wurden berechnet und die Qualitätsmaße wurden abgeleitet (siehe Gleichung 7). Die folgende Tab. 2 enthält die Ergebnisse:

**Tab. 2:** Qualitätsmaße unter Verwendung aller DGM5 Punkte.

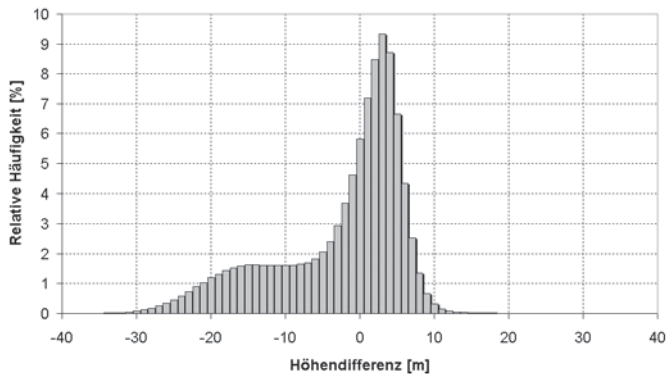
		Werte
Z0	[m]	- 2,63
s	[m]	$\pm 9,08$
$s_{Z_0}$	[m]	$\pm 8,68$
n		1 234 815

Etwa 1,2 Millionen Höhendifferenzen konnten innerhalb des Untersuchungsgebietes berechnet werden. Der Mittelwert der Höhendifferenzen  $Z_0$  ist negativ. Das bedeutet, dass das Höhenniveau der ITED-2 Daten höher ist als das des DGM5. Dieses Ergebnis widerspricht dem Ergebnis der Untersuchungen unter Verwendung der Trigonometrischen Punkte (siehe Tab. 1). Eine mögliche Ursache kann der Einfluss von Vegetation und Gebäuden sein. Während in Kapitel 4 nur Punkte genutzt wurden, welche nicht durch Geländerauschen beeinflusst waren, sind hier die Höhenwerte über das gesamte Untersuchungsgebiet verteilt, ebenso in Wäldern und urbanen Bereichen. Die Standardabweichungen  $s$  bzw.  $s_{Z_0}$  sind mit  $\pm 9,1$  m bzw.  $\pm 8,7$  m relativ hoch, was ebenfalls durch den Einfluss von Geländerauschen begründet werden kann.

Abb. 2 zeigt den Einfluss des Geländerausches auf das Vorzeichen des vertikalen



**Abb. 2:** Auswirkungen eines vertikalen systematischen Fehlers der SRTM ITED-2 Daten auf das Vorzeichen der Höhendifferenzen.



**Abb. 3:** Relative Häufigkeitsverteilung der Höhendifferenzen zwischen ATKIS DGM5 und SRTM ITED-2.

systematischen Fehlers. Die Abbildung zeigt einen positiven vertikalen systematischen Fehler im offenen Gelände. Das Höhenniveau der ITED-2 Daten ist geringer als das Höhenniveau der Referenzdaten. Zusätzlich lässt das Geländerausuchen das Höhenniveau der SRTM ITED-2 Daten ansteigen und somit negativen Höhendifferenzen hervorrufen und folglich den vertikalen systematischen Fehler verringern. Der Wert  $Z_0$  kann somit in Bereichen mit Vegetation und Gebäude negativ werden.

Die relative Häufigkeitsverteilung der Höhendifferenzen (siehe Abb. 3) bestätigt die ermittelten Ergebnisse. Die nicht symmetrische Verteilung wird durch Objekte verursacht, die sich über dem Gelände befinden. Folglich repräsentiert der linke negative Bereich des Histogramms diese Objekte. Zusätzlich ist erkennbar, dass sich das Maximum des Histogramms im positiven Bereich befindet. Das bedeutet, dass der syste-

matische Höhenfehler im offenen Gelände erneut positiv zu sein scheint. Dieses Ergebnis bestätigt die des Kapitels 4.

### 5.2 Untersuchungen mit DGM5 Höhenwerten im offenen Gelände

Erneut wurde das ATKIS Basis DLM der LGN genutzt, um die DGM5 Höhenwerte zu klassifizieren. Weil die Mission im Februar stattfand, repräsentieren die SRTM Daten in landwirtschaftlichen Regionen in unseren Breiten ebenfalls das Gelände. Die Vegetationshöhen sind vernachlässigbar. Die Höhenwerte innerhalb der Wälder und urbanen Bereiche wurden ausgeschlossen, das sind etwa 500 000 Punkte bzw. 40% der zur Verfügung stehenden DGM5 Höhenwerte.

Die Ergebnisse (siehe Tab. 3) bestätigen wiederum die vorigen Untersuchungen. Das

Vorzeichen des Mittelwertes  $Z_0$  ist positiv. Der Einfluss von großen negativen Differenzen, die durch Geländerausuchen verursacht werden, ist somit signifikant. Wie zu erwarten war, entspricht der berechnete Mittelwert  $Z_0$  in etwa dem Wert, welcher mit Hilfe der TP's berechnet wurde (siehe Kapitel 4). Die Standardabweichungen sind ebenfalls näherungsweise identisch. Die Ergebnisse zeigen eine hohe Qualität der SRTM Daten.

**Tab. 3:** Qualitätsmaße unter Verwendung aller DGM5 Punkte im offenen Gelände.

		Werte
z0	[m]	+ 2,62
s	[m]	± 4,32
s <sub>Z0</sub>	[m]	± 3,44
n		669 685

### 5.3 Untersuchungen unter Verwendung des 3D Least Squares Matching Verfahrens

In diesem Abschnitt werden die Ergebnisse präsentiert, die mit dem Algorithmus ermittelt wurden, welcher auf der räumlichen Ähnlichkeitstransformation basiert. Wie in Abschnitt 5.2. wurden nur Höhenwerte im offenen Gelände verwendet. Die Ergebnisse werden in Tab. 4 dargestellt:

**Tab. 4:** Ermittelte Transformationsparameter.

		Werte
X0	[m]	+ 0,60
Y0	[m]	- 2,32
Z0	[m]	+ 2,28
$\omega$	[gon]	- 0,003
$\varphi$	[gon]	+ 0,002
$\kappa$	[gon]	- 0,007
m		+ 3,06 · 10 <sup>-5</sup>

Der Wert  $Z_0$  ist mit dem Mittelwert in Tab. 3 vergleichbar. Die horizontalen Verschiebungen  $X_0$  und  $Y_0$  beschreiben systematische Lageverschiebungen zwischen den Datensätzen. Die ermittelten Werte betragen nur einen Bruchteil der SRTM ITED-2 Gitterweite.

Die Rotationswinkel  $\omega$  und  $\varphi$  verursachen maximale vertikale Verschiebungen von  $\pm 1,22$  m und  $\pm 0,98$  m am Rande des Untersuchungsgebietes. Der Maßstabsfaktor verursacht maximale horizontale Verschiebungen von  $\pm 0,76$  m in beiden Richtungen. Insgesamt führen die sieben ermittelten Transformationsparameter zu maximalen Lageverschiebungen von 6 m in Nord-Süd- und 4 m in Ost-West-Richtung. Die maximale vertikale Verschiebung beträgt 4,5 m am Rande des Untersuchungsgebietes. Die Standardabweichungen der sieben unbekanntenen Transformationsparameter sind eine Größenordnung besser als die Parameter selbst.

669 466 Beobachtungen wurden bei den Untersuchungen verwendet. Die Standardabweichung der SRTM Höhendaten, vergleichbar mit  $s_{Z_0}$  oben, beträgt  $\pm 3,3$  m, die vertikale Verschiebung und die Standardabweichung der Höhenwerte, die in diesem Abschnitt präsentiert wird, liegen nahe den Werten aus Abschnitt 5.2. (siehe Tab. 3). Folglich sind die SRTM ITED-2 Daten frei von systematischen Fehlern, welche mit Hilfe der räumlichen Ähnlichkeitstransformation modelliert werden können. Die Einführung eines vertikalen Transformationsparameters ist demnach ausreichend.

## 6 Weitere Untersuchungen

Die Qualität der SRTM ITED-2 Daten, d. h. die Größe der zufälligen und systematischen Fehler, ist abhängig vom Geländerausuchen. Je größer der flächenhafte Anteil Regionen ist, die Gebäude und Vegetation enthalten, desto größer ist der systematische Höhenfehler und desto größer ist die Standardabweichung der resultierenden Verbesserungen.

Um die SRTM Daten nicht nur in offenem Gelände zu bewerten, sondern auch in urbanen Regionen und Wäldern, wurden zwei kleinere Testgebiete mit einer Größe von  $2 \times 2$  km<sup>2</sup> analysiert, indem ein Digitales Oberflächenmodell (DOM) mittels analytischer Photogrammetrie bestimmt wurde. Die photogrammetrischen Messungen weisen eine Höhengenaugigkeit von etwa 0,4 m auf.

Die erste Testfläche befindet sich in Hildesheim. Das Gebiet wird durch einzeln stehende Gebäude mit Gärten sowie Gebäudekomplexe charakterisiert. Die zweite Testfläche besteht vorwiegend aus Laubwald. Zusätzlich sind landwirtschaftlich genutzte Flächen und eine Autobahn im Zentrum des Testgebietes. Es handelt sich um ein Gebiet im Süden von Hannover.

**Tab. 5:** Qualitätsmaße in urbaner Region und Wald, oberer Bereich: Vergleich zwischen DGM5 und ITED-2, unten: Vergleich zwischen analytisch gemessenem Oberflächenmodell (DOM) und ITED-2.

		urbaner Bereich	Wald-region
DGM5	Z0 [m]	- 5,13	- 13,19
-	s [m]	± 8,46	± 15,18
ITED-2	n	6794	6814
DOM	Z0 [m]	+ 1,05	+ 1,84
-	s [m]	± 5,09	± 4,57
ITED-2	n	6612	6675

Tab. 5 stellt die Ergebnisse des Vergleiches zwischen ITED-2 und Referenz DGM5 sowie ITED-2 und photogrammetrisch ermitteltem Oberflächenmodell dar. Die in Kapitel 5 angegebenen Parameter der räumlichen Ähnlichkeitstransformation wurden angebracht, bevor die Höhendifferenzen berechnet wurden. Folglich sollte der Wert Z0 im unteren Bereich der Tabelle Null sein, da das SRTM Oberflächenmodell sowie das mittels Photogrammetrie erstellte die gleiche Oberfläche repräsentieren. Die Standardabweichung s sollte sich den Ergebnissen aus Kapitel 4 und 5 annähern.

Bei Betrachtung der Ergebnisse unter Verwendung des DGM5 fällt auf, dass beide Regionen durch negative Mittelwerte Z0 charakterisiert sind, denn die Werte sind durch Geländerauschnitten beeinflusst. Zusätzlich sind die Standardabweichungen sehr groß.

Bei Verwendung des analytisch gemessenen DOM wird der Mittelwert positiv. Das bedeutet, dass die ITED-2 Daten signifikant unter dem analytisch gemessenen Oberflächenmodell liegen (die Werte aus Tab. 4 und

5 müssen addiert werden, um die komplette Verschiebung in der Höhe zu erhalten).

Im urbanen Bereich kann dieses Ergebnis als Interpolationseffekt interpretiert werden: Dort befinden sich einige Punkte auf der Erdoberfläche, die dieses Ergebnis beeinflussen. Im Waldbereich kann es sein, dass das X-Band Signal teilweise in die Vegetationsdecke eindringt (die Mission hat im Februar stattgefunden, folglich haben die Bäume keine Blätter getragen). Auch die Standardabweichungen sind größer als im offenen Gelände. Als Gesamtergebnis dieser Untersuchungen kann zusammengefasst werden, dass in urbanen Regionen und Wäldern die Qualität der ITED-2 Daten geringfügig schlechter ist als im offenen Gelände.

## 7 Schlussfolgerungen

Dieser Artikel enthält die Ergebnisse der Untersuchung der Qualität der SRTM ITED-2 Daten. Der verwendete Algorithmus basiert auf einer räumlichen Ähnlichkeitstransformation ohne Verwendung von Passpunkten und stellt eine Erweiterung des Verfahrens zur Bildzuordnung nach kleinsten Quadraten dar. Den SRTM Daten wurden Referenzdaten zugeordnet, welche eine bessere Qualität aufweisen. Die ermittelten sieben unbekanntenen Transformationsparameter beschreiben potentiell vorhandene systematische Fehler der SRTM ITED-2 Daten.

Erste Untersuchungen wurden unter Einführung einer vertikalen Verschiebung durchgeführt. Das Vorgehen ist vergleichbar mit der Berechnung eines Differenzen DGM und führt zu Mittelwert und Standardabweichung der Höhendifferenzen. Untersuchungen im offenen Gelände erbrachten einen positiven Mittelwert der Höhendifferenzen von etwa + 2,6 m. Folglich liegt das Höhenniveau der SRTM Daten unter dem der Referenzdaten. Eine Begründung dieses Ergebnisses kann die Tatsache sein, dass das SRTM Oberflächenmodell über Land und nicht in den Küstenregionen kalibriert wurde.

Die Standardabweichung der SRTM ITED-2 Daten im offenen Gelände beträgt



$\pm 3,3$  m, nachdem die räumliche Ähnlichkeitstransformation angebracht wurde. Maximale systematische Lageverschiebungen von 4–6 m wurden beobachtet, was 20–25% der SRTM ITED-2 Gitterweite ausmacht. Zusammengefasst kann gesagt werden, dass die Ergebnisse besser sind als die vor der Mission erwarteten. Folglich ist die Qualität der SRTM ITED-2 Daten als sehr gut zu bewerten.

## 8 Danksagung

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 50EE9927 gefördert. Die verwendeten Referenzdaten wurden freundlicherweise von der Landesvermessung und Geobasisinformation Niedersachsen (LGN) zur Verfügung gestellt.

## 9 Literatur

- BAMLER, R., 1999: The SRTM Mission – A World-Wide 30 m Resolution DEM from SAR Interferometry in 11 Days. – In: FRITSCH, D. & SPILLER, R. (Hrsg.), 1999: Photogrammetrische Woche 99. 145–154, Wichmann Verlag, Heidelberg.
- EBNER, H. & STRUNZ, G., 1988: Combined point determination using digital terrain models as control information. – International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Commission III, Vol. 27, Part B11, 578–587, Kyoto, Japan.
- KLEUSBERG, A. & KLAEDTKE, H.-G., 1999: Accuracy assessment of a digital height model derived from airborne synthetic aperture radar measurements. – In: FRITSCH, D. & SPILLER, R. (Hrsg.), Photogrammetrische Woche 99, 139–143, Wichmann Verlag, Heidelberg.
- KOCH, A. & HEIPKE, C., 2001: Quality Assessment of Digital Surface Models derived from the Shuttle Radar Topography Mission (SRTM). – International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Sydney, Australien.
- ROSEN, P., EINEDER, M., RABUS, B., GURROLA, E., HENSLEY, S., KNÖPFLE, W., BREIT, H., ROTH, A. & WERNER, M., 2001a: SRTM-Mission – Cross Comparison of X and C Band Data Properties. – International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Sydney, Australien.
- ROSEN, P. A., HENSLEY, S., GURROLA, E., ROGEZ, F., CHAN, S., MARTIN, J. & RODRIGUEZ, E., 2001b: SRTM C-Band Topographic Data: Quality Assessments and Calibration Activities. International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Sydney, Australien.
- SCHENK, T., KRUPNIK, A. & POSTOLOV, Y., 2000: Comparative study of surface matching algorithms. – International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Commission IV, Vol. XXXIII, Part B4, 518–524, Amsterdam, Niederlande.
- WERNER, M., 2001: Status of the SRTM data processing: When will the world-wide 30 m DTM data be available? – Geo-Informationssysteme, 2001(12): 6–10. Herbert Wichmann Verlag, Heidelberg.

### Anschriften der Verfasser:

Dipl.-Ing. ANDREAS KOCH, Institut für Photogrammetrie und GeoInformation, Universität Hannover  
Nienburger Straße 1, D-30167 Hannover  
Tel.: 0511-762-5289, Fax: 0511-762-2483  
e-mail: koch@ipi.uni-hannover.de

Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. CHRISTIAN HEIPKE, Institut für Photogrammetrie und GeoInformation, Universität Hannover  
Nienburger Straße 1, D-30167 Hannover  
Tel.: 0511-762-2482, Fax: 0511-762-2483  
e-mail: heipke@ipi.uni-hannover.de

Dr.-Ing. PETER LOHMANN, Institut für Photogrammetrie und GeoInformation, Universität Hannover  
Nienburger Straße 1, D-30167 Hannover  
Tel.: 0511-762-2486, Fax: 0511-762-2483  
e-mail: lohmann@ipi.uni-hannover.de

Manuskript eingegangen: August 2002

Angenommen: August 2002

## Zur Eignung von DHM- und ATKIS-Daten für die Landschaftsmodellierung

ELKE HIETEL, RAINER WALDHART & ANNETTE OTTE, Gießen

**Zusammenfassung:** An Agrarlandschaften werden vielfältige funktionale Ansprüche gestellt. Landschaftsfunktionen sind z.B. die Bereitstellung von Flächen für die landwirtschaftliche Produktion und für die naturbezogene Erholung, Regulierung des Wasserhaushaltes und Erhaltung oder Schaffung biotischer Vielfalt. Die GIS-gestützte Modellierung von Landschaftsstrukturen und ihrer zeitlichen Variabilität hat bei der Analyse von Landschaftsfunktionen große Bedeutung. ‚Natürliche‘ und ‚anthropogen bedingte‘ Raummuster, welche die Landschaftsstruktur prägen, sind z. B. Topographie und Nutzungsmuster. Digitale Höhenmodelle (DHM) und Datensätze des Amtlich Topographisch-Kartographischen Informationssystems (ATKIS) der deutschen Landesvermessungsämter können als Grundlagendaten für eine effiziente Landschaftsanalyse potenziell geeignet sein.

Ein Vergleich parzellenscharfer Geländekartierungen mit DHM- und ATKIS-Daten aus einer peripheren Kulturlandschaft Hessens zeigt jedoch, dass die aus diesem Gebiet vorliegenden digitalen Datensätze erhebliche Unschärfen und Fehler aufweisen. Diese beruhen im Wesentlichen auf einer zu geringen räumlichen Auflösung und fehlender Aktualisierung der Daten. Für effiziente Landschaftsanalysen im lokalen Maßstab sind diese digitalen Datensätze ungeeignet. Stattdessen sind Geländekartierungen (Maßstab 1:5.000) und Luftbildauswertungen (Maßstab 1:12.000 und größer) unverzichtbar.

**Summary:** *On the use of DEM and ATKIS on modeling landscapes.* Agrarian landscapes have various functions, e.g. providing areas for agricultural production and for recreation in nature, regulating the water balance and preserving or creating of biodiversity. Modeling landscape structures and their temporal changes with help of GIS is important to analyse landscape functions. ‚Natural‘ and ‚human made‘ spatial patterns such as topography or land-use patterns characterize landscape structures. Digital elevation models (DEM) and the authoritative topographic cartographic information system (ATKIS) are digital data provided by german surveying administrations that may be used for efficient analysing and modeling landscapes.

Comparing digital data of DEM and ATKIS with field inventories in a marginal rural landscape in Hesse we found a considerable lack of conformity caused by differences in spatial resolution and digital data out of date. Accordingly these digital data are insufficient to analyse landscape functions at local scale. Therefore, field inventories (at scale 1:5000) and visual interpreting of aerial photographs (at scale 1:12000 or finer) are indispensable.

### 1 Einleitung

In den letzten Jahren wurden zunehmend Methoden aus dem Bereich der Geoinformation in den Auswertungsprozess von Fernerkundungsdaten integriert (IHL & GLÄSSER 2001), so dass die Methoden der

geografischen Informationssysteme und der Fernerkundung zusammenwachsen. Daraus resultiert eine breite Anwendungsmöglichkeit für die Umweltwissenschaften. Ein wesentlicher Aspekt ist hier die GIS-gestützte Analyse von Landschaftsfunktionen.

Besonders an periphere landwirtschaftlich geprägte Kulturlandschaften werden heute vielfältige funktionelle Ansprüche gestellt (HENKEL 1995). Solche Landschaftsfunktionen sind z. B. die Bereitstellung von Flächen für die landwirtschaftliche Produktion und für die naturbezogene Erholung, die Regulierung des Wasserhaushaltes und die Erhaltung oder Schaffung biotischer Vielfalt. Qualitative und quantitative Kenntnisse der Landschaftsfunktionen ermöglichen die Entwicklung regionaler Landnutzungsoptionen und Managementkonzepte mit dem Ziel der nachhaltigen Sicherung dieser Funktionen.

Für die Analyse und Modellierung von Landschaftsfunktionen sind die Landschaftsstruktur prägende ‚natürliche‘ und ‚anthropogen bedingte‘ Raummuster (z.B. Topographie und Nutzungsmuster) und deren zeitliche Variabilität zu berücksichtigen (u.a. GROSSI et al. 1995, BUREL et al. 1998). Topographie und Landnutzung sind in diesem Zusammenhang wesentliche Zustandsvariablen und Prozessgrößen.

Die deutschen Landesvermessungsämter stellen mit Höhenmodellen (DHM) und dem Amtlich Topographisch-Kartographischen Informationssystem (ATKIS) digitale Datensätze zur Verfügung, welche derartige Raumdaten flächig verfügbar machen. Derzeit werden die DHM als eigenständige Modelle von den Landesvermessungsämtern erstellt. In der Endfassung von ATKIS ist aber geplant, auch das Relief als topologische Relation zu speichern (ADV 1988). Diese Datensätze können als Grundlagendaten für eine effiziente GIS-gestützte Landschaftsanalyse insbesondere in peripheren Kulturlandschaften eine potenziell große Bedeutung haben. Untersuchungen von LAUSCH & MENZ (1999) haben jedoch im Hinblick auf Satellitendaten ergeben, dass der geometrische und spektrale Informationsgehalt hier in der Regel nicht ausreicht, um eine realistische Quantifizierung von Landschaftsstrukturen zu erreichen.

Auf der Grundlage eines Vergleichs von im Gelände erhobenen Daten mit DHM- und ATKIS-Daten der Hessischen Kataster- und Vermessungsverwaltung wurde da-

her für zwei Testgebiete des Lahn-Dill-Berglandes (Hessen) auf lokaler Maßstabsebene ermittelt, mit welcher tatsächlichen/realen Genauigkeit Raummuster zu Topographie und Landnutzung über DHM und ATKIS abgebildet werden.

## 2 Daten und Methoden

### 2.1 Testgebiete

Die Untersuchungen erfolgten in zwei Testgebieten innerhalb des Lahn-Dill-Berglands (östliches Rheinisches Schiefergebirge, Hessen). Das Lahn-Dill-Bergland steht beispielhaft für periphere Mittelgebirgsregionen, in denen relativ ungünstige natürliche und agrarstrukturelle Gegebenheiten zusammenfallen (FREDE & BACH 1999). Bei den Testgebieten handelt es sich um (1) die Gemarkung Erda, Gemeinde Hohenahr (Flächengröße: 1154 ha, Höhe: 270–380 m über NN) und (2) die benachbarten Gemarkungen Steinbrücken und Eibelshausen, (Gemeinden Dietzhölztal und Eschenburg, Flächengröße: 927 ha, Höhe: 280–550 m über NN).

Aufgrund relativ ungünstiger standörtlicher Bedingungen für die Landwirtschaft ist seit Anfang der fünfziger Jahre im Lahn-Dill-Bergland eine zunehmende Extensivierung der landwirtschaftlichen Nutzung zu verzeichnen (SCHULZE-VON-HANXLEDEN 1972, KOHL 1978). In den beiden Testgebieten hat sich die Landnutzung seit 1945 unterschiedlich entwickelt (WALDHARDT et al. 1999): (1) In Erda sind kleinflächige ackerbauliche Nutzung, häufige Wechsel zwischen Acker und Grünland sowie ein relativ geringer Brachflächenanteil typisch. Die Flächenanteile des Acker-, Grün- und Brachlandes haben sich seit 1945 nicht wesentlich verändert. (2) In Steinbrücken/Eibelshausen ist dagegen eine fast vollständige Aufgabe der ackerbaulichen Nutzung zugunsten von Grünland, Brache oder Siedlung erfolgt.



## 2.2 Datengrundlagen

### 2.2.1 Geländekartierung

In den Jahren 1997 und 1998 wurden die Flächeneigenschaften Exposition, Hangneigung und Nutzungsform im Gelände für beide Testgebiete parzellenscharf auf ALK (Maßstab 1:5.000) kartiert (FUHR-BOSSDORF et al. 1999). Bei der Kartierung von Exposition und Hangneigung mittels Kompass und Klinometer wurden nur Acker-, Grünland- und Brachflächen außerhalb von fast ausschließlich als Grünland genutzten Tallagen berücksichtigt. In Erda wurden die Reliefdaten daher auf 28 % (entspricht 324 ha) und in Steinbrücken/Eibelshausen auf 16 % (entspricht 125 ha) der Gebietsfläche erhoben. Die Nutzungsformen wurden auf der Gesamtfläche der beiden Testgebiete kartiert.

### 2.2.2 DHM

Das flächendeckend in Hessen verfügbare DHM 40 beschreibt als Modell mittlerer Qualitätsstufe (d. h. mittlerer Gitterpunktgenauigkeit) die Geländeform der Erdoberfläche durch gitterförmig im 40 m-Raster angeordnete, in Lage und Höhe georeferenzierte Punktmengen und deckt einen Maßstabsbereich von 1:10.000 bis 1:30.000 ab (ADV 2002). Die Primärdatenerfassung erfolgte durch photogrammetrische Stereoauswertung von Luftbildern aus den Jahren 1975 bis 1984 im Maßstab 1:5.000.

### 2.2.3 ATKIS

ATKIS ist ein deutschlandweites, digitales Landschaftsmodell (DLM), in dem das topologische Netz der Straßen, Wege, Gewässer und Schienenbahnen die Landschaft in Maschen aufteilt. Für die dadurch abgegrenzten flächenförmigen Objekte wird die vorherrschende Nutzung (orientiert am Informationsgehalt der Topographischen Karte 1:25.000) aus digitalen Orthophotos abgeleitet. Die Klassifikation der Nutzungsarten erfolgt auf der Grundlage des ATKIS-Objektartenkatalogs (ADV 2002). Das Basis-DLM liegt im Maßstab 1:5.000 – 1:10.000 vor. In die Untersuchung einbezogen wurden ATKIS-Daten des Hessischen Landesvermessungsamtes im Erfassungsstand von 1998 und im Maßstab 1:5.000.

## 2.3 Methoden

Aus dem DHM wurden mit Hilfe des geographischen Informationssystems ArcView 3.2 Exposition und Hangneigung nach der Methode Horn berechnet, die sich für stärker reliefierte Oberflächen eignet (BURROUGH & McDONNELL 1998). Für Flächen mit einer Hangneigung  $< 1^\circ$  wird keine Exposition berechnet. Die aus dem DHM abgeleiteten Daten sowie die ATKIS-Nutzungsdaten wurden anschließend mit den im Gelände erhobenen Relief- und Nutzungsdaten verschnitten (Tab. 1).

Der Grad der Flächenübereinstimmung in den Datensätzen wurde ermittelt. Die Ex-

**Tab. 1:** Raumdaten der vergleichenden Analyse.

Datenquellen: Geländekartierungen (FUHR-BOSSDORF et al. 1999); DHM und ATKIS des Hessischen Landesvermessungsamtes.

Geländekartierung	Raumdaten	Digitale Landschaftsmodelle
Parzellenscharfe Geländekartierung für Acker-, Grünland- und Brachflächen, M = 1 : 5.000	Neigung ( $^\circ$ ) ← und → Exposition ( $^\circ$ )	DHM, 40 m-Raster
Geländekartierung auf gesamter Fläche M = 1 : 5.000	← Nutzung →	ATKIS, M = 1 : 5.000

position wurde hierfür in südliche und nördliche Bereiche unterschieden (Unterteilung der Windrose bei  $112,5^\circ$  und  $292,5^\circ$ ; AG BODEN 1996). Die Hangneigung wurde in 6 Neigungsstufen unterteilt, wobei nicht bis sehr schwach geneigte Bereiche ( $0^\circ$ – $2^\circ$ ), schwach geneigte Bereiche ( $2^\circ$ – $5^\circ$ ), mittel geneigte Bereiche ( $5^\circ$ – $10^\circ$ ), stark geneigte Bereiche ( $10^\circ$ – $15^\circ$ ), sehr stark geneigte Bereiche ( $15^\circ$ – $20^\circ$ ) und Steilhänge ( $> 20^\circ$ ) unterschieden wurden (AG BODEN 1996).

Die statistische Verteilung der Reliefdaten aus DHM und Gelände wurde analysiert und das Signifikanzniveau der Differenzen mittels Wald-Wolfowitz-Tests untersucht. Dafür war eine Transformation der Expositionsdaten erforderlich, die nach EWALD (1997) von  $-1$  (Schattseite,  $13,5^\circ$ – $31,5^\circ$ ) bis  $+1$  (Sonnseite,  $193,5^\circ$ – $211,5^\circ$ ) skaliert wurden.

Für den Vergleich der im Gelände kartierten und der ATKIS-Nutzungsdaten wurden die folgenden 6 Nutzungsklassen unterschieden: Wald, Acker, Grünland, Brache, Gehölz und Sonstiges. Brachen wurden lediglich bei der Geländekartierung ausgewiesen. Dabei handelt es sich um ältere verbuschte Brachen. Der ATKIS-Datensatz weist keine Brachflächen aus.

### 3 Ergebnisse

#### 3.1 Genauigkeit des DHM

Tab. 2 stellt die statistische Verteilung der Reliefdaten in den beiden Testgebieten dar und vergleicht DHM- und Geländedaten. Demnach ist Steinbrücken/Eibelshausen durch eine hohe Reliefenergie mit Hangneigungen bis  $> 20^\circ$  gekennzeichnet, wobei sonnseitige Expositionen dominieren. Erda weist dagegen insgesamt geringere Hangneigungen auf. Schattseitige Hangexpositionen treten hier häufiger auf als in Steinbrücken/Eibelshausen. Ein Vergleich der DHM- und der Geländedaten zeigt, dass bezüglich des Parameters Exposition die Verteilung der Daten ähnlicher ist als bei dem Parameter Hangneigung. Allerdings zeigen Wald-Wolfowitz-Tests, mit denen sich die Signifikanz von Differenzen nicht nur bezüglich der Lage des Medians sondern auch bezüglich der Streuung des Parameters beurteilen lässt, dass die Unterschiede zwischen DHM- und Geländedaten sowohl bei der Hangneigung als auch bei der Exposition sehr stark signifikant sind ( $p < 0,001$ ). Die Nullhypothese, wonach die Stichproben zu Hangneigung und Exposition aus dem DHM und aus der Geländekartierung jeweils aus denselben

**Tab. 2:** Deskriptive Statistik der Raumeigenschaften Hangneigung und Exposition in Steinbrücken/Eibelshausen (SE) und in Erda (E). Neigung in  $^\circ$ ; Exposition von  $-1$  (Schattseite,  $13,5^\circ$ – $31,5^\circ$ ) bis  $+1$  (Sonnseite,  $193,5^\circ$ – $211,5^\circ$ ) skaliert.

Das Signifikanzniveau der Differenzen in der Verteilung von DHM- und Geländedaten ist bei allen Parametern  $< 0,001$  (Wald-Wolfowitz-Tests).

Gebiet	Raumparameter	Datenquelle	N	Median	25% – 75% – Perzentile	Minimum – Maximum	Standard- abweichung
SE	Neigung	DHM	2429	8,0	5,0–11,0	0,0–34,0	4,85
		Gelände	1380	8,5	5,5–11,0	0,5–24,7	3,47
	Exposition	DHM	2350	0,3	– 0,2– + 0,7	– 1,0– + 1,0	0,53
		Gelände	1380	0,3	– 0,1– + 0,6	– 1,0– + 1,0	0,51
E	Neigung	DHM	5184	5,0	0,0– 5,0	0,0–16,0	2,84
		Gelände	1707	3,6	2,9– 4,5	0,5–13,1	1,42
	Exposition	DHM	3187	0,3	– 0,7– + 0,8	– 1,0– + 1,0	0,68
		Gelände	1707	0,3	– 0,6– + 0,8	– 1,0– + 1,0	0,72

Grundgesamtheiten stammen, muss daher verworfen werden.

Die kartierten Hangneigungen weichen von den aus dem DHM abgeleiteten Neigungsdaten teilweise erheblich ab (Tab. 3). Die Übereinstimmung beträgt in Steinbrücken/Eibelshausen in allen 6 unterschiedlichen Neigungsklassen ( $0^\circ$ – $> 20^\circ$ ) weniger als 50 %. In Erda wurden 4 Neigungsklassen ( $0^\circ$ – $15^\circ$ ) unterschieden, bei denen die Übereinstimmung mit dem DHM höher ist und von 24 % bis zu 61 % variiert. In beiden Testgebieten ist die Übereinstimmung bei den nicht bis schwach geneigten Hängen ( $0^\circ$ – $5^\circ$  Neigung) etwas geringer als bei den stärker geneigten Hängen.

Die Expositionen der Testgebiete werden durch das DHM relativ gut abgebildet, sofern allein Bereiche mit nördlicher und südlicher Exposition unterschieden werden (Tab. 3). Gelände- und DHM-Daten weisen in Steinbrücken/Eibelshausen Übereinstimmungen von 79 % (nördliche Exposition) bzw. 86 % (südliche Exposition) auf. In Erda sind die Übereinstimmungen mit 69 % (nördliche Exposition) bzw. 67 % (südliche Exposition) etwas geringer. Hier weist die Geländekartierung für einen relativ großen Flächenanteil, der im DHM als weitgehend

ebene Fläche (Hangneigung  $> 1^\circ$ ) ohne Angabe der Exposition abgebildet wurde, eine nördliche Exposition (25 %) bzw. eine südliche Exposition (27 %) aus.

### 3.2 Genauigkeit der ATKIS-Daten

Die im Gelände kartierten und die ATKIS-Nutzungsdaten werden in den Tab. 5a und 5b verglichen. Der Grad der Übereinstimmung mit den Geländedaten beträgt in Erda 68 % der Gesamtfläche und in Steinbrücken/Eibelshausen nur 56 %. In beiden Testgebieten weist Wald die größte Übereinstimmung auf, gefolgt von Acker und Grünland. Brachen werden in den ATKIS-Daten nicht ausgewiesen. In Steinbrücken/Eibelshausen mit 36 ha Brachflächen werden 56 % dieser Brachen von den ATKIS-Daten als Grünland ausgewiesen. Erda weist mit lediglich 4 ha einen erheblich geringeren Flächenanteil an Brache auf als Steinbrücken/Eibelshausen. In den ATKIS-Daten werden diese Brachflächen neben Wald und Acker zu einem relativ großen Anteil (25 %) als Gehölz dargestellt. Die im Gelände kartierten Gehölzflächen werden in den ATKIS-Daten für Steinbrücken/Eibelshausen vorwiegend als Wald (50 %) bzw. als Grünland (21 %)

**Tab. 3:** Prozentuale Übereinstimmung der im Gelände kartierten mit der im DHM ausgewiesenen Hangneigung.

Neigungsklassen (AG BODEN 1996):  $0^\circ$ – $2^\circ$  (nicht bis sehr schwach geneigt),  $2^\circ$ – $5^\circ$  (schwach geneigt),  $5^\circ$ – $10^\circ$  (mittel geneigt),  $10^\circ$ – $15^\circ$  (stark geneigt),  $15^\circ$ – $20^\circ$  (sehr stark geneigt),  $> 20^\circ$  (steil).

		Geländekartierung									
		Steinbrücken/Eibelshausen					Erda				
		0–2	–5	–10	–15	–20	> 20	0–2	–5	–10	–15
<b>Fläche in ha</b>		2,1	22,3	73,2	50,1	3,2	0,9	15,4	241,9	65,8	0,7
		<b>Prozent der im Gelände kartierten Fläche</b>									
<b>D H M</b>	<b>0–2</b>	<b>12</b>	11	3	0	0	0	<b>52</b>	30	6	0
	<b>–5</b>	21	<b>32</b>	12	0	0	0	23	<b>24</b>	19	0
	<b>–10</b>	61	49	<b>49</b>	29	12	0	25	44	<b>61</b>	0
	<b>–15</b>	6	7	28	<b>48</b>	57	7	0	2	12	<b>55</b>
	<b>–20</b>	0	1	7	16	<b>18</b>	53	0	0	1	45
	<b>&gt; 20</b>	0	0	1	7	13	<b>40</b>	0	0	–0	0

**Tab. 4:** Prozentuale Übereinstimmung der im Gelände kartierten mit der im DHM ausgewiesenen Exposition.

Exposition: Unterscheidung nördlicher und südlicher Bereiche durch Unterteilung der Windrose bei 112,5° und 292,5°.

		Geländekartierung			
		Steinbrücken/Eibelshausen		Erda	
		Nord	Süd	Nord	Süd
<b>Fläche in ha</b>		44,7	107,1	139,4	184,6
		Prozent der im Gelände kartierten Fläche			
<b>D</b>	<b>Nord</b>	<b>79</b>	11	<b>69</b>	6
<b>H</b>	<b>Süd</b>	18	<b>86</b>	6	<b>67</b>
<b>M</b>	<b>Hangneigung &lt; 1°</b>	3	3	25	27

**Tab. 5:** Prozentuale Übereinstimmung der im Gelände kartierten mit den ATKIS-Landnutzungsdaten.**5a) Steinbrücken/Eibelshausen**

		Geländekartierung					
		Wald	Acker	Grünland	Brache	Gehölz	Sonstiges
<b>Fläche in ha</b>		351	7	174	36	12	347
		Prozent der im Gelände kartierten Fläche					
<b>A</b>	<b>Wald</b>	<b>94,6</b>	0,4	1,4	24,4	50,0	10,4
<b>T</b>	<b>Acker</b>	0,2	<b>81,5</b>	25,2	18,1	2,3	7,3
<b>K</b>	<b>Grünland</b>	4,0	18,0	<b>71,0</b>	56,1	21,5	25,4
<b>I</b>	<b>Gehölz</b>	1,0	0,0	<b>0,7</b>	1,0	<b>8,4</b>	1,7
<b>S</b>	<b>Sonstiges</b>	0,2	0,1	1,7	0,4	8,7	<b>55,2</b>

**5b) Erda**

		Geländekartierung					
		Wald	Acker	Grünland	Brache	Gehölz	Sonstiges
<b>Fläche in ha</b>		439	285	219	4	8	202
		Prozent der im Gelände kartierten Fläche					
<b>A</b>	<b>Wald</b>	<b>98,5</b>	0,5	0,9	34,0	24,6	11,4
<b>T</b>	<b>Acker</b>	0,4	<b>91,0</b>	17,6	28,5	23,7	13,9
<b>K</b>	<b>Grünland</b>	0,4	8,2	<b>81,0</b>	8,8	28,2	15,7
<b>I</b>	<b>Gehölz</b>	0,3	0,1	0,2	24,9	<b>23,5</b>	1,0
<b>S</b>	<b>Sonstiges</b>	0,4	0,2	0,3	3,8	0,0	<b>57,9</b>

dargestellt, während sie in Erda zu etwa gleichen Flächenanteilen als Wald, Acker, Grünland und Gehölz dargestellt sind.

Hinzu kommt, dass der ATKIS-Datensatz das Nutzungsmuster im Vergleich zu den Geländedaten relativ grob darstellt (Abb. 1). Der Median der Parzellengrößen zusammenhängend bewirtschafteter Schläge beträgt bei der Geländekartierung in Er-







da für Acker 0,35 ha und für Grünland 0,20 ha sowie in Steinbrücken/Eibelshausen für Acker 0,24 ha und für Grünland 0,15 ha. Bei den ATKIS-Daten beträgt der Median der Parzellengrößen dagegen in Erda für Acker 0,48 ha und für Grünland 0,38 ha sowie in Steinbrücken/Eibelshausen für Acker 0,25 ha und für Grünland 0,21 ha.



ATKIS-Datensatz



Geländekartierung

-  Acker
-  Grünland
-  verbuschte Brache
-  Gehölz
-  Wald
-  Sonstiges



**Abb. 1:** Nutzungsmuster nach ATKIS-Daten und Geländekartierung 1998. Ausschnitt aus dem Testgebiet Steinbrücken/Eibelshausen.

## 4 Diskussion

### 4.1 DHM- und Geländedaten

Der Vergleich von DHM und Geländedaten zeigt signifikante Abweichungen auf. Demnach wird die Exposition besser durch das DHM abgebildet und weist einen höheren Übereinstimmungsgrad mit den Geländedaten auf als die Hangneigung. Ursache dafür mag die Beschränkung auf zwei Expositionsklassen (Nord und Süd) sein, während bei der Hangneigung differenzierter unterschieden wurde. Die aus dem DHM berechneten Expositionen zeigen im Testgebiet Steinbrücken/Eibelshausen, welches durch eine hohe Reliefenergie gekennzeichnet ist, eine höhere Übereinstimmung mit den Geländedaten als im Testgebiet Erda, welches einen relativ großen Flächenanteil mit geringer Hangneigung aufweist. Für diese Flächen kann offensichtlich aus den DHM-Daten die Exposition nicht berechnet werden. Die Qualität der aus dem DHM abgeleiteten Expositionsdaten ist also positiv mit der Reliefenergie des Testgebietes korreliert.

Die aus dem DHM berechneten Hangneigungen weichen erheblich von den kartierten Hangneigungen ab. Hier ist jedoch die Übereinstimmung in Erda höher als in Steinbrücken/Eibelshausen. Ursache dafür ist wiederum die höhere Reliefenergie in Steinbrücken/Eibelshausen. Die Interpolation, durch die das DHM aus den bei der photogrammetrischen Erfassung ermittelten regelmäßig verteilten Reliefpunkten flächenhaft berechnet wird, führt zu Zwischenwerten, die eine mathematische Approximation an das tatsächliche Relief darstellen (HAKE & GRÜNREICH 1994). Offenbar ist bei der vorliegenden hohen Reliefenergie im Testgebiet Steinbrücken/Eibelshausen das 40-m-Raster nicht ausreichend um die Hangneigungen entsprechend den örtlichen Gegebenheiten großmaßstäbig abbilden zu können. Die Höhengenaugigkeit des DHM ist geländetypabhängig und wird von der ADV (2002) für steile Lagen mit  $\pm 3$  m angegeben, für bewaldete Lagen mit  $\pm 3-5$  m. Die Qualität der aus dem DHM abgeleiteten Hangneigungsdaten ist also negativ mit der

Reliefenergie des Testgebietes korreliert. Hinzu kommt die vergleichsweise geringere Übereinstimmung bei den nicht bis schwach geneigten Hängen (Neigungsklassen  $0^\circ-2^\circ$  und  $2^\circ-5^\circ$ ). Die AG BODEN (1996) hält hier eine differenziertere Klasseneinteilung für erforderlich als bei den übrigen Neigungsklassen, die jeweils  $5^\circ$  Neigung umfassen. Diese differenzierten Neigungsunterschiede werden offenbar durch das DHM nicht ausreichend erfasst und ein großer Flächenanteil wird jeweils benachbarten Neigungsklassen zugeordnet.

Neben der geringen räumlichen Auflösung wird die Qualität des DHM zusätzlich stark durch Schleppfehler, welche die Karte verzerren, beeinträchtigt (FRIEDRICH 1996).

### 4.2 ATKIS- und Geländedaten

Die ATKIS-Daten spiegeln das aktuelle Nutzungsmuster sehr ungenau wider. Der Übereinstimmungsgrad ist im Testgebiet Steinbrücken/Eibelshausen geringer als in Erda. Beide Gebiete sind durch unterschiedliche Formen der Landnutzungsdynamik gekennzeichnet (FUHR-BOSSDORF et al. 1999, WALDHARDT et al. 1999, WALDHARDT accepted): Seit den fünfziger Jahren wurde in Steinbrücken/Eibelshausen die ackerbauliche Nutzung fast vollständig zugunsten des Grün- und Brachlandes bzw. des besiedelten Bereichs aufgegeben. In Erda haben sich im gleichen Zeitraum dagegen die Flächenanteile des Acker-, Grün- und Brachlands sowie das Nutzungsmuster nicht wesentlich verändert. Der ATKIS-Datensatz berücksichtigt die Nutzungsveränderungen in Steinbrücken/Eibelshausen nicht und ist offensichtlich veraltet. Dies erklärt die im Vergleich zu Erda geringere Übereinstimmung zwischen Gelände- und ATKIS-Daten. Waldflächen, die durch eine geringe Nutzungsdynamik gekennzeichnet sind, weisen in beiden Testgebieten jeweils die größte Übereinstimmung auf.

Brachflächen werden in den ATKIS-Daten nicht gesondert ausgewiesen; im Rahmen der Geländekartierung wurden dagegen verbusste Brachen aufgenommen. Während sich in Erda die Größe der Brach-



flächen nur wenig verändert hat (1945: 8 ha und 1998: 4 ha), nahmen im gleichen Zeitraum die Brachflächen in Steinbrücken/Eibelshausen erheblich von 11 ha auf 36 ha zu. Diese Nutzungsdynamik wird in den ATKIS-Daten nicht berücksichtigt, so dass ein großer Teil der aktuellen Brachflächen dort noch als Acker bzw. Grünland dargestellt ist. Neben den Übereinstimmungen zwischen Brache (Geländekartierung) und Wald (ATKIS) besteht in Erda zusätzlich eine relativ große Übereinstimmung mit Gehölz (ATKIS). Offenbar werden alte, mindestens schon seit den 60iger Jahren bestehende Brachflächen in den ATKIS-Daten Wald bzw. Gehölz zugeordnet.

Insgesamt ist die Qualität der ATKIS-Nutzungsdaten umso geringer, je größer die Nutzungsdynamik ist. Die Aktualisierung der ATKIS-Daten im 5-jährigen Turnus (ADV 2002) erfolgt offensichtlich nicht im Hinblick auf die Nutzungsattribute. Hinzu kommt das insgesamt gröbere Nutzungsmuster der ATKIS-Daten. Nach den Erfassungskriterien der ADV (2002) werden ATKIS-Objekte der Objektgruppe Vegetationsflächen (z. B. Acker, Grünland) erst ab 1 ha Mindestgröße erfasst, kleinere Objekte werden jeweils angrenzenden Flächen zugeschlagen. Gehölze und Wald werden dagegen bereits ab einer Mindestgröße von 0,1 ha erfasst. Die Lagegenauigkeit für Grenzlinien im Freiland wird mit  $\pm 10$  m angegeben. Diese Vorgaben werden dem kleinparzelligen Nutzungsmuster im Untersuchungsraum nicht gerecht.

### 4.3 Schlussfolgerungen

Zur Analyse und Modellierung der Landschaftsfunktionen des Lahn-Dill-Berglandes auf lokaler Maßstabebene sind die zur Verfügung stehenden DHM- und ATKIS-Daten nur zum Teil geeignet. Sowohl die aus dem DHM abgeleiteten Reliefdaten als auch die ATKIS-Nutzungsdaten weichen teilweise erheblich von den großmaßstäbig im Gelände ermittelten Daten (Maßstab 1 : 5.000) ab. Die vorgenommene Qualitätsanalyse ermöglicht jedoch die Identifizierung solcher digitaler Datenmengen, die sich im Untersu-

chungsraum eignen, Landschaftsfunktionen realistisch zu analysieren und die Unterscheidung von Datenmengen, die nicht ohne weitere Optimierung in die Analysen implementiert werden können. Dadurch wird ein konstruktiver Umgang mit den digitalen Daten ermöglicht (SBRESNY 1997). Nach Untersuchungen von SZIBALSKI et al. (1999) lässt sich die Qualität des zur Verfügung stehenden DHM 40 durch low-pass Filter verbessern. Auch für das geplante, in Hessen jedoch noch nicht flächendeckend zur Verfügung stehende DHM 25 ist von einer größeren Höhengenaugigkeit auszugehen (ADV 2002). Auf der Grundlage der veralteten ATKIS-Nutzungsdaten, welche die Nutzungsdynamik der vergangenen Jahrzehnte nicht berücksichtigen, lassen sich jedoch raum-zeitliche Analysen der Nutzungsstrukturen nicht durchführen und die aktuelle Nutzungsverteilung nicht identifizieren.

Insgesamt wären digitale Datensätze mit höherer räumlicher Auflösung und aktuellem Informationsgehalt für eine effiziente flächenbezogene Analyse von Landschaftsfunktionen wünschenswert. Bei gegebener Qualität der digitalen Datensätze bleiben zunächst Geländekartierungen und großmaßstäbige Luftbildauswertungen, wie sie von unserer Arbeitsgruppe im Rahmen der Biodiversitätsforschung durchgeführt werden (FUHR-BOSSDORF et al. 1999, WALDHARDT & OTTE accepted), unverzichtbar.

## 5 Danksagung

Wir danken der Deutschen Forschungsgemeinschaft für die im Rahmen des Sonderforschungsbereichs 299 ‚Landnutzungskonzepte für periphere Regionen‘ gewährte finanzielle Unterstützung sowie der Justus-Liebig-Universität Gießen für die Förderung der Arbeit im Rahmen eines Stipendiums.

## 6 Literatur

ADV, 1988: Amtliches topographisch-kartographisches Informationssystem (ATKIS). – 28 S., Landesvermessungsamt NRW, Bonn.

- ADV, 2002: ATKIS-Objektartenkatalog (ATKIS-OK). [<http://www.atkis.de>].
- AG BODEN, 1996: Bodenkundliche Kartieranleitung. – 4. Aufl., 392 S., Schweizerbart, Stuttgart.
- BUREL, F., BAUDRY, J., BUTET, A., CLERGEAU, P., DELETTRE, Y., LE CŒUR, D., DUBS, F., MORVAN, N., PAILLAT, G., PETIT, S., THENAIL, C., BRUNEL, E. & LEFEUVRE, J.C., 1998: Comparative biodiversity along a gradient of agricultural landscapes. – *Acta Oecologica*, **19** (1): 47–60.
- BURROUGH, P.A. & McDONNELL, R.A., 1998: Principles of geographical information systems. – 333 S., Oxford University Press, New York.
- EWALD, J., 1997: Die Bergmischwälder der Bayerischen Alpen – Soziologie, Standortbindung und Verbreitung. – *Dissertationes Botanicae*, 290: 234 S.
- FREDE, H.-G. & BACH, M., 1999: Perspektiven für periphere Regionen. – *Zeitschrift für Kulturtechnik und Landentwicklung*, **40** (5/6): 193–196.
- FRIEDRICH, K., 1995: Digitale Reliefgliederungsverfahren zur Ableitung bodenkundlich relevanter Flächeneinheiten. – 213 S., Diss. Univ. Frankfurt (Main).
- FUHR-BOSSDORF, K., WALDHARDT, R. & OTTE, A., 1999: Auswirkungen der Landnutzungsdynamik auf das Potential von Pflanzengemeinschaften und Pflanzenarten einer peripheren Kulturlandschaft. – *Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie*, **29**: 519–530.
- GROSSI, J.L., CHENAVIER, L., DELCROPS, P. & BRUN, J.J., 1995: Effects of landscape structure on vegetation and some animal groups after agriculture abandonment. – *Landscape and Urban Planning*, **31** (1–3): 291–301.
- HAKE, G. & GRÜNREICH, D., 1994: *Karthographie*. – 7. Aufl., 599 S., de Gruyter, Berlin, New York.
- HENKEL, G., 1995: Der ländliche Raum. Gegenwart und Wandlungsprozesse seit dem 19. Jahrhundert in Deutschland. – 2. Aufl., 310 S., Teubner, Stuttgart.
- IHL, T. & GLÄSSER, C., 2001: Operationalisierung von Fernerkundungsdaten für die Umweltverwaltung im Land Sachsen-Anhalt anhand ausgewählter Beispiele aus der Bergbaufolgelandschaft. – *Schriftenreihe mit den Tagungsbänden der Wissenschaftlich-Technischen Jahrestagungen der DGPF*, **10**: 341–351.
- KOHL, M., 1978: Die Dynamik der Kulturlandschaft im oberen Lahn-Dillkreis. Wandlungen von Haubergswirtschaft und Ackerbau zu neuen Formen der Landnutzung in der modernen Regionalentwicklung. – *Giessener Geographische Schriften*, **45**: 181 S.
- LAUSCH, A. & MENZ, G., 1999: Bedeutung der Integration linearer Elemente in Fernerkundungsdaten zur Berechnung von Landschaftsstrukturmaßen. – *Photogrammetrie – Fernerkundung – Geoinformation (PFG)*, **1999** (3): 185–194.
- SCHULZE VON HANXLEDEN, P., 1972: Extensivierungserscheinungen in der Agrarlandschaft des Dillgebietes. – *Marburger Geographische Schriften*, **54**: 326 S.
- SBRESNY, J., 1997: Fehlerquellen in Raumbezogenen Informationssystemen. – *Geologisches Jahrbuch*, **33**: 132 S.
- SZIBALSKI, M., BEHRENS, T. & FELIX-HENNINGSSEN, P., 1999: Regionalisierung bodenkundlicher Kennwerte peripherer Regionen am Beispiel des pH-Wertes. – *Zeitschrift für Kulturtechnik und Landentwicklung*, **40** (5/6): 228–233.
- WALDHARDT, R., FUHR-BOSSDORF, K., OTTE, A., SCHMIDT, J. & SIMMERING, D., 1999: Classification, localization and regional extrapolation of vegetation potentials in a peripheral cultural landscape. – *Zeitschrift für Kulturtechnik und Landentwicklung*, **40** (5/6): 246–252.
- WALDHARDT, R., accepted: Die Bedeutung von Landnutzungsdynamik für die Vielfalt der Ackerwildkrautflora. – *Nova Acta Leopoldina*, **87** (328).
- WALDHARDT, R. & OTTE, A., accepted: Indicators of plant species and community diversity in grasslands. – *Agriculture, Ecosystems & Environment*.
- Anschriften der Verfasser  
Dipl.-Ing. ELKE HIETEL, Dr. rer. nat. RAINER WALDHARDT & Prof. Dr. Dr. ANNETTE OTTE, Justus Liebig Universität Gießen, Professur für Landschaftsökologie und Landschaftsplanung, Heinrich-Buff-Ring 26–32  
D-35392 Gießen  
Tel.: 0641-9937 161  
e-mail: Elke.C.Hietel@agr.uni-giessen.de  
Rainer.Waldhardt@agr.uni-giessen.de  
Annette.Otte@agr.uni-giessen.de
- Manuskript eingereicht: April 2002  
Angenommen: Mai 2002



## Entwicklung von AML-Programmen zur räumlichen Analyse der Flächennutzungsmuster von 116 kreisfreien Städten in Deutschland

NGUYEN XUAN THINH, Dresden

**Zusammenfassung:** Der vorliegende Beitrag gibt zunächst einen kurzen Überblick über Kopplung von Modellen in Umwelt- und Geowissenschaften mit dem GIS. Des Weiteren beschreibt der Artikel die Entwicklung von GIS-basierten Modellen zur Quantifizierung der Kompaktheit und Vernetzung von städtischen Siedlungsmustern und deren Anwendung für 116 kreisfreie Städte in Deutschland. Um die erforderlichen GIS-Analysen und Berechnungen zu automatisieren und den Personalaufwand zu reduzieren sowie Experimente mit den Modellen bequemer auszuführen, wurden die Modelle in AML (Arc Macro Language) von ARC/INFO programmiert, d.h. in das GIS integriert. Dies kommt besonders bei 116 Städten zum Tragen. Der Autor betont einige Besonderheiten von AML gegenüber einer gewöhnlichen Programmiersprache. Einige durch Anwendung der entwickelten AML-Programme gewonnene empirische Ergebnisse werden vorgestellt und diskutiert.

**Summary:** *Development of AML-programs to the spatial analysis of land-use patterns of 116 German Regional Cities.* The available article gives first a brief overview of coupling of environmental and spatial models with geographical information systems (GIS). The research of urban land use structures requires models for evaluating and quantifying the spatial patterns (size, form, spatial composition and arrangement of different types of land use). The second part of the contribution describes the development of models for the calculation of the compactness and networking degree of urban settlement patterns. The third section of the paper treats the integration of these models into the GIS ARC/INFO by using Arc Macro Language (AML). This allows the spatial characteristics to be automatically computed and input by GIS personnel to be greatly reduced. Given study for a large number of cities, that is particularly beneficial. Furthermore task-related simulations can be conveniently conducted. The author will point out some special features and deficits of the language AML of ARC/INFO. The fourth part of the contribution reports on application of the models to 116 German Regional Cities and their city regions.

### 1 Kopplung von Modellen mit dem GIS – ein kurzer Überblick

Die zunehmende Verfügbarkeit raumbezogener digitaler Daten und leistungsstarker Geoinformationssysteme hat die Forschungsintensität über GIS-basierte Modellierung, GIS-gestützte Analysen und Simulation erhöht und die Entwicklung untersuchungsmethodischer Instrumente gefördert.

Diese stürmische Entwicklung führte vor wenigen Jahren z. B. zur Begründung eines neuen Wissenschaftszweiges: Geowissenschaftliches Berechnen (Geocomputation). Seit 1996 wird die International Conference on Geocomputation jährlich veranstaltet. Trotz rasanter Entwicklung der GIS-Technologie haben die heute kommerziell verfügbaren GIS noch eine Reihe von Defiziten und Schwächen bei der Modellierung und

Simulation in Umwelt- und Geowissenschaften. Das größte konzeptionelle Hindernis von kommerziellen GIS ist das Fehlen der zeitlichen Dimension der geometrischen GIS-Daten (STEYAERT & GOODCHILD 1994, STREIT & WIESMANN 1996). Des Weiteren sind die heute verfügbaren GIS infolge unterschiedlicher Entwicklungskonzepte, Datenmodelle und Marktstrategien überwiegend in sich abgeschlossene Systeme (STREIT 2000). Diese monolithische Systemarchitektur von meistens kommerziellen GIS erschwert den Geodatenaustausch, die Implementierung neuer Analysemethoden und die Kopplung von Modellen und stellt somit als praktisches Haupthindernis für die Entwicklung von leistungsstarken Anwendungsmodellen dar. Aus diesen Gründen wurden z. B. in Umwelt- und Geowissenschaften viel Anstrengungen unternommen, sowohl Simulations- als auch Berechnungsmodelle (analytische Modelle) mit dem GIS zu koppeln. Diese Kopplung erweitert erheblich das Anwendungsspektrum von GIS, weil die GIS-Funktionen um weitere Berechnungs- und Modellierungsfunktionen erweitert werden, die ein kommerzielles GIS nur schwerlich oder gar nicht ausführen kann, z. B. Lösung von Differentialgleichungen.

In der Literatur wurden sowohl die unterschiedlichen Intensitäten als auch Formen der Kopplung von Modellen mit GIS diskutiert. Man versuchte die Kopplung von Modellen mit GIS aus technischer, funktionaler und konzeptioneller Sicht anzugehen. Die technische Seite beschäftigt sich mit dem Aufbau der Datenstruktur und der Entwicklung von Schnittstellen zum Datenaustausch zwischen Modellen und GIS. Die funktionale Behandlung hängt davon ab, was zu modellieren ist und welche notwendigen Modellierungsfunktionen von einem vorhandenen GIS abgedeckt werden können. Die konzeptionelle Arbeit befasst sich mit dem Zweck der Kopplung. Dabei muss entschieden werden, ob das GIS nur als ein raumbezogenes Datenbankmanagementsystem zur Unterstützung der Modellierung oder nur als ein Werkzeug zur Darstellung von Ergebnissen von Modellen oder gleich-

zeitig als Datenbankmanagementsystem, Visualisierungs- und Modellierungswerkzeug eingesetzt wird. Bezüglich der Intensität der Kopplung werden folgende 5 Kopplungsformen unterschieden (vgl. STEYAERT & GOODCHILD 1994, GOODCHILD, STEYAERT, PARKS et al. 1996, STREIT & WIESMANN 1996, MANDL 1996):

- Isolierte Anwendung,
- Lose Kopplung (Ankoppeln),
- Enge Kopplung,
- Kooperative Kopplung und
- Integration.

Bei einer isolierten Anwendung finden GIS-Bearbeitung und Modellberechnungen in getrennten Hardwareumgebungen statt. Der Datenaustausch erfolgt manuell durch ein Speichermedium (z. B. CD-ROM) und in Form von Dateien (meist ASCII-Format). Der zusätzliche Programmierungsaufwand ist sehr niedrig. Die Effektivität der Kopplung ist aber stark eingeschränkt. Das GIS wird hauptsächlich nur zum Aufbereiten (Preprocessing) und/oder Visualisieren (Postprocessing) der Daten verwendet.

Eine lose Kopplung zwischen Modell und GIS wird auch durch eine Datendatei (ASCII- oder anderes Format z. B. dBase-Datei) realisiert. Die Modellberechnungen und GIS-Bearbeitung sowie der Datenaustausch nach Preprocessing und für Postprocessing werden im Unterschied zu isolierten Anwendungen auf derselben Workstation oder auf Computern in einem Lokalnnetzwerk vorgenommen. Die Effektivitätserhöhung ist noch begrenzt. Isolierte und lose Kopplungen haben jedoch den Vorteil, dass beliebige Programme, sogar unterschiedliche Betriebssysteme verwendbar sind, und damit für die Problemstellung optimal ausgereifte Programme miteinander gekoppelt werden können. Nachteile dieser zwei Kopplungsformen sind, dass ein Austausch von höheren Datenstrukturen (z. B. topologische Informationen) nur bedingt oder gar nicht möglich ist und der Anwender die Befehlsätze von zwei unterschiedlichen Softwaresystemen beherrschen muss.

Eine enge Kopplung wird bewerkstelligt durch eine GIS-Schnittstelle (gegebenenfalls unter Anwendung von DLL, OLE, ODBC

und/oder anderen Mechanismen) und eine Benutzeroberfläche, die zusammen mit dem GIS und dem Programm für das Modell ein geschlossenes System bilden. Dabei verwendet jedes Programm jeweils ein eigenes Datenmodell. Vorteile sind hohe Effektivität der Kopplung und komfortable Experimentierung mit dem Modell. Gegenüber den ersten zwei Kopplungsformen ist ein deutlich höherer Programmieraufwand erforderlich. Kooperative Kopplungen werden analog zu engen Kopplungen realisiert. Das gekoppelte System ist jedoch nicht als geschlossenes System entwickelt, sondern modular erweiterbar.

Bei der Integration werden Modelle vollständig in einer GIS-spezifischen Sprache (wie AML von ARC/INFO) oder sogar direkt im Quelltext eines GIS programmiert (z. B. das GIS GRASS erlaubt den Programmierern den direkten Zugriff auf den Quellcode; Integration in eigene GIS-Entwicklung ist bei BECKER & BERNARD et al. 2000 zu finden). Die Innovation der Integration gegenüber den anderen Kopplungsformen besteht in der Verwendung einer gemeinsamen Geodatenbasis durch das GIS und das Modellprogramm. In diesem Fall greifen das integrierte Modell und GIS auf eine kohärente Geodatenbasis zu. Interaktionen zwischen dem Modell und GIS sind sehr einfach und leicht zu gestalten. Jedoch erfordert die Integration in der Regel einen enorm erhöhten Entwicklungsaufwand und tiefes GIS-spezifisches Wissen.

Im Forschungsschwerpunkt „Ressourcenschonende Flächennutzung“ des Instituts für ökologische Raumentwicklung e.V., Dresden, werden seit 1997 Untersuchungen zur Flächennutzungsstruktur (räumliches Beziehungsgefüge von Flächen unterschiedlicher Nutzungen) von kreisfreien Städten in Deutschland durchgeführt. Die Datenbasis bilden Kenngrößen und digitale Daten von 116 kreisfreien Städten. Damit erfassen die Untersuchungen bis auf Eisenach alle kreisfreien Städte und somit nahezu die Grundgesamtheit einer wichtigen Städtekategorie in Deutschland. Durch eigene Digitalisierung unter Verwendung von CORINE-Daten und DLM-Daten (Digitales

Landschaftsmodell Deutschlands) sowie topographischen Karten ist eine Geo-Datenbasis der Flächennutzungsstruktur sowohl der 116 Städte als auch ihrer Stadtregionen geschaffen worden, die auch für weitere weitreichende Forschungszwecke genutzt werden kann (ARLT, GÖSSEL, HEBER, HENNERSDORF, LEHMANN & THINH 2001). Es wurden Modelle zur Quantifizierung der Form, räumlichen Anordnung, Kompaktheit und Vernetzung von Flächen entwickelt. Um die erforderlichen GIS-Analysen und Berechnungen zu automatisieren und den Personalaufwand zu reduzieren sowie Experimente mit den Modellen bequemer auszuführen, wurden die Modelle in AML (Arc Macro Language) von ARC/INFO programmiert (Integration der Modelle in das GIS ARC/INFO). Bei Anwendung der AML-Programme für 116 Städte kommt die Effizienzerhöhung deutlich zum Tragen.

## 2 Modelle zur räumlichen Analyse von städtischen Flächennutzungsstrukturen

### 2.1 Modelle zur Messung der Kompaktheit

Die Form historischer Städte beruhte seit ihrer Entstehung vor ca. 10.000 Jahren auf der Notwendigkeit der Verteidigung. Um die Länge der die Stadt umgebende Schutzmauer zu minimieren und die Zahl der Zugänge zu reduzieren, wurden Nutzungen, die in der Stadt störten oder zuviel Platz benötigten, vor die Mauer gelegt (beispielsweise Friedhof, Schießplatz, Mühle, Viehmärkte). Dadurch entstanden kompakte Siedlungsformen. Mit der Industrialisierung hat sich die Gestalt der Stadt dramatisch verändert. Moderne Kriegsführung führte zum Abreißen der Befestigungsmauern. Zugleich leitete der Ausbau der Industrie und der Transportsysteme einen beispiellosen Verstädterungsprozess ein, der bis tief ins 20. Jahrhundert anhielt. Stadtentwicklung bedeutete Stadterweiterung. Die Stadt wuchs unvermindert in ihr Umland. Diese Wucherung nach außen findet parallel zur Ver-

ödung des Zentrums statt und schafft enorme Kontraste. Heute müssen die Stadtplaner deshalb dringend nach Überlebensstrategien für die Stadt der Zukunft suchen. Und man findet sie – wie die aktuelle Diskussion im Städtebau zeigte – gerade in der historisch bedingten Kompaktheit und Dichte der Stadt, die erst ihren Aufschwung als Lebens- und Bebauungsform ermöglichte. Kompakt und vernetzt gebaute Städte, in denen Entfernungen zwischen Wohnen, Arbeit, Erholen, Versorgung, Bildung und Kommunikation leicht und weitestgehend zu Fuß oder mit dem Rad zu überwinden sind, bringen den Stadtbewohnern mehr Lebensqualität und werden sozialverträglicher. STETE (1995) wies nach, dass eine kompakte und Nutzungsgemischte Stadtstruktur die Mobilitätschancen begünstigt und die Alltagsbewältigung entscheidend erleichtert. Daher wird in der Stadtforschung in der letzten Zeit verstärkt versucht, die Kompaktheit von Städten zu messen und zu untersuchen. Allerdings wird der Begriff Kompaktheit bisher weitgehend unscharf oder qualitativ definiert (THINH et al. 2000, JENKS, BURTON & WILLIAMS 2000). Spezielle Forschungen zur Entwicklung von Kenngrößen, d.h. zur Messung der Kompaktheit von Städten unterscheiden generell nur zwei Flächennutzungstypen: Siedlungsfläche und Freifläche. In der Abstraktion wird das Strukturbild einer Stadt auf die Siedlungsflächen reduziert und stellt sich dann als Gebilde aus einer Menge von einzelnen schwarzen Flächen dar. Das Strukturbild wird in den Computer eingelesen und nach Umfang, Fläche, maximaler Randdistanz, Verteilung der Siedlungsfläche nach Größenordnungen oder nach Distanzzonen zum Mittelpunkt der jeweiligen Stadt ausgewertet. Diese Siedlungsflächeninformationen bilden die Ausgangsgrößen zur Ableitung von Aussagen über die Kompaktheit von Städten. Im Folgenden soll die theoretische Entwicklung von Kompaktheitsmaßen für städtische Siedlungsmuster dargestellt werden.

### Zerklüftungsgrad (The jaggedness degree)

Betrachtet man nur die Siedlungsfläche einer Stadt, so besteht das Muster der Flächennutzungsstruktur der Stadt aus einer Menge von Polygonen unterschiedlicher Formen (vgl. Abb. 1). Es seien  $p_i$  und  $a_i$  ( $i = 1(1)n$ ) die Umfänge bzw. Flächeninhalte dieser Polygone. Würde die gesamte Siedlungsfläche der Stadt in einem Kreis vereinigt, so hat dieser äquivalente Kreis mit dem Flächeninhalt ( $a_1 + a_2 + \dots + a_n$ ) den Umfang

$$P_{\min} = 2 \sqrt{\pi \sum_{i=1}^n a_i}$$

Es bezeichne  $P = p_1 + p_2 + \dots + p_n$  die Gesamtrandlänge der Stadt. Wenn die Stadt aus einer einzigen kreisförmigen Siedlungsfläche bestünde, d. h. am kompaktesten sein würde, so wäre  $P/P_{\min} = 1$ . Andernfalls gilt stets  $P/P_{\min} > 1$ . Je zerklüfteter die Polygone der Stadt sind, desto größer ist das Verhältnis  $P/P_{\min}$ . Daher liegt es nahe, dieses Verhältnis als Zerklüftungsgrad der Stadt zu benutzen.



Abb. 1: Siedlungsfläche der Stadt Bielefeld.

$$\text{Zerklüftungsgrad} = \frac{P}{P_{\min}} = \frac{\sum_{i=1}^n p_i}{2\sqrt{\pi \sum_{i=1}^n a_i}}$$

**Fraktale Dimension**

Das Wort „fraktal“ stammt aus dem lateinischen fractus und bedeutet sowohl „in unregelmäßige, splitterhafte Stücke zerbrochen“ als auch irregulär. Fraktal ist ein Gebilde, das bei jeder Vergrößerung neue Details zeigt und durch zwei sich gegenseitig bedingende Eigenschaften Selbstähnlichkeit und Verkrümpelung gekennzeichnet ist. Selbstähnlichkeit beschreibt den Sachverhalt, dass in jedem Detail des Objektes die Form des Gesamten wiedergefunden wird oder anders gesagt, in jedem noch so kleinen Teil immer eine Figur enthalten ist, die unter genügend starker Vergrößerung wieder das gesamte Bild ergibt. Verkrümpelung kennzeichnet Flächen ohne glatte Begrenzungen, deren exakte Längen oder genauer Flächeninhalt nicht zu bestimmen ist. Betrachtet man den Umfang p und Flächeninhalt a eines beliebigen Quadrates sowie Kreises, so gelten folgende Beziehungen

$$a = p^2/16 \quad \text{für jedes Quadrat und}$$

$$a = p^2/(4\pi) \quad \text{für jeden Kreis.}$$

Durch Verallgemeinerung dieses Verhältnisses für ein Polygon beliebiger Form erhält man die Beziehung

$$a = \alpha p^D$$

wobei  $\alpha$  der Proportionalitätsfaktor und der Exponent D die fraktale Dimension des Polygons sind. Für Strukturen mit einfachem Zerklüftungsgrad wie Quadrate oder Kreise ist D wegen der oben beschriebenen Beziehungen gleich 2. Je stärker zerklüftet eine vorgegebene Struktur ist, desto kleiner wird D. Hieraus ergibt sich

$$\ln(a) = D \ln(p) + \ln(\alpha)$$

Diese Gleichung legt es nahe, die fraktale Dimension einer polygonartigen Struktur

durch Regressionsanalyse zu ermitteln. Für alle Polygone einer gegebenen Struktur werden die Paare  $(\ln(p_i), \ln(a_i))$  in einem Punktdiagramm dargestellt. Danach ist die fraktale Dimension als der Anstieg der angepassten Regressionsgeraden gemäß folgender Formel zu bestimmen:

$$D = \frac{n \sum_{i=1}^n \ln(a_i) \ln(p_i) - (\sum_{i=1}^n \ln(a_i)) (\sum_{i=1}^n \ln(p_i))}{n \sum_{i=1}^n (\ln(p_i))^2 - (\sum_{i=1}^n \ln(p_i))^2}$$

Diese Methode ist allerdings nur anwendbar, wenn die Struktur aus einer genügend großen Anzahl von Polygonen (mehr als 20) besteht. Bei wenigen Polygonen kann die Methode Werte liefern, die den theoretischen Wertebereich  $1 \leq D \leq 2$  nicht mehr erfüllen.

Mit den oben beschriebenen Maßen können ausgewählte Aussagen über Gesetzmäßigkeiten der Stadtentwicklung in verschiedenen Kontinenten und Regionen getroffen werden (HUMPERT et al. 1996, FRANKHAUSER 2000). Allerdings haben die Maße den wesentlichen Nachteil, dass sie die räumlichen Distanzen zwischen einzelnen Siedlungsflächen nicht erfassen und daher die unterschiedlichen Dispersionsgrade urbaner Strukturen nicht widerspiegeln können. Deshalb ist es erforderlich, ein anderes Maß für die Kompaktheit der Städte zu entwickeln.

**Ein neues Kompaktheitsmaß auf der Grundlage der Rasteranalyse und des Gravitationsansatzes**

Die Arbeit in diesem Abschnitt stützt sich auf eine Kartierung städtischer Siedlungsräume auf der Grundlage der von HEBER & LEHMANN 1993 begründeten städtebaulichen Strukturtypen (siehe Tab.1 und Abb.3):

Die Strukturtypenkartierung erzeugt ein Gebilde, das den Siedlungsraum nach Polygonen gliedert. Ziel ist es, ein Maß für die Kompaktheit des Gebildes als Ganzes zu finden (nicht den Kompaktheitsgrad für ein



**Tab. 1:** Städtebauliche Strukturtypen.

Strukturtyp	Bezeichnung	Durchschnittlicher Bodenversiegelungsgrad in %
1	Verdichtet geschlossen bebaute Flächen	87
2	Geschlossen bebaute Flächen	58
3	Offen bebaute Flächen	41
4	Aufgelockert offen bebaute Flächen	20
5	Unbebaute Flächen im Siedlungsraum	20
6	Freiraumfläche	0
7	Fließgewässer	0
8	Stehende Gewässer	0
9	Meeresgewässer	0

einzelnes Polygon zu ermitteln). Angeregt durch die Zellulärautomatentheorie wird zunächst der Siedlungsraum einer Stadt mit einem quadratischen Gitternetz von der Maschenweite  $500\text{ m} \times 500\text{ m}$  überdeckt (Abb. 2). Für jede Rasterzelle (Quadrat  $500\text{ m} \times 500\text{ m}$ ) liefert eine GIS-Analyse die Flächeninhalte  $F_1, F_2, F_3, F_4$  und  $F_5$  der Strukturtypen 1, 2, 3, 4 und 5, die in der Rasterzelle enthalten sind. Danach wird die Versiegelungsfläche  $Z$  aller Zellen mit flächenspezifischen Versiegelungsgraden (Tab. 1) automatisch nach der Formel

$$Z = F_1 * 0,87 + F_2 * 0,58 + F_3 * 0,41 + (F_4 + F_5) * 0,2$$

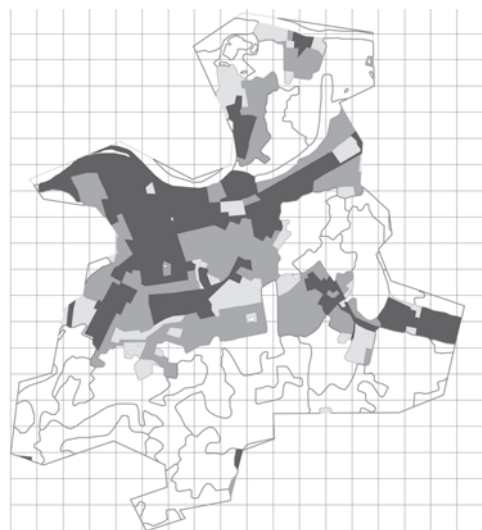
berechnet. Anschließend erfolgt die Abstraktion auf Rasterzellen, die mehr als  $5\text{ m}^2$  Versiegelungsfläche enthalten. Jede Rasterzelle umfasst eine Fläche von  $250.000\text{ m}^2$ . Rasterzellen mit weniger als  $5\text{ m}^2$  Versiegelungsfläche können vernachlässigt werden. Es sei  $N$  die Gesamtzahl aller Rasterzellen mit einer Versiegelungsfläche größer als oder gleich  $5\text{ m}^2$ . Diese Zahl  $N$  charakterisiert die

Stadtausdehnung (Dispersion). Bei gleicher Versiegelungsfläche ist die Stadt mit der größeren Anzahl Rasterzellen  $N$  disperser als die andere.

Die Kompaktheit einer Stadt hängt sowohl vom Füllgrad dieser  $N$  Rasterzellen mit Versiegelungsflächen als auch von der räumlichen Anordnung dieser Zellen ab. Daher liegt es nahe, ein Gravitationsmaß als Grad der Kompaktheit für Städte zu verwenden. Für jedes Paar von Rasterzellen  $i$  und  $j$  ( $i = 1(1)N - 1$  und  $j = i + 1(1)N$ ) mit den versiegelten Flächen  $Z_i$  und  $Z_j$  wird die gegenseitige Anziehungskraft analog nach dem Gravitationsgesetz

$$A(i,j) = 1/c * Z_i * Z_j / d^2(i,j)$$

berechnet, wobei  $d(i,j)$  den euklidischen Abstand zwischen den Mittelpunkten der Zelle  $i$  und Zelle  $j$  bedeutet und  $c = 100\text{ m}^2$  ein Proportionalitätsfaktor ist (durch  $c$  wird  $A(i,j)$  dimensionslos). Es entsteht eine symmetrische Gravitationsmatrix für jede Stadt ( $A(i,j) = A(j,i)$  für jedes Paar  $i, j = 1(1)N$ ). Aus dieser Matrix wird ein Mittelwert ermittelt und als Kompaktheitsgrad für eine Stadt verwendet.

**Abb. 2:** Überdeckung des Siedlungsmusters mit einem quadratischen Rasternetz.

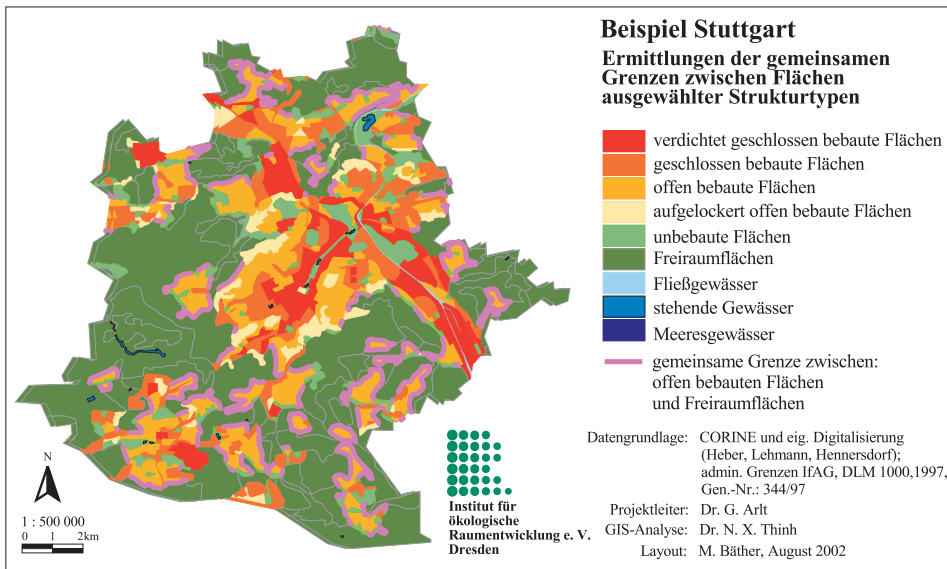
$$T = \frac{\sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N A(i,j)}{N(N-1) \cdot 2}$$

T ist ein mittleres Maß für die räumliche Interaktion zwischen den Clustern (Aggregaten) und spiegelt auch den Grad der räumlichen Dispersion der untersuchten städtischen Siedlungsstruktur wider. Je stärker und weiträumiger die bebauten Flächen einer Stadt verstreut sind, d. h. je löchriger (lakunärer) die städtische Struktur ist, desto kleiner ist T. Je löchriger eine städtische Struktur ist, desto schwächer ist die räumliche Interaktion zwischen den Clustern der Stadt. Umgekehrt ist die räumliche Interaktion zwischen den Clustern der Stadt umso stärker, je kompakter die städtische Struktur und je größer damit auch T ist.

### 2.2 Modelle zur Quantifizierung des Gefüges der Vernetzung zwischen unterschiedlichen Flächen

Neben der kompakten Bebauung (hohe Baudichte) ist die Nutzungsmischung ein

weiteres zentrales Ziel der Stadtplanung und Stadtpolitik (JESSEN 2000). Dichte ohne Funktionsmischung reproduziert die alten Monostrukturen und Nutzungsmischung ohne Dichte ist nicht tragfähig. R. ROGERS 1995 beschrieb mit dem Beispiel des neuen Distrikts Pudong von Shanghai, wie urbane, kompakte und durchmischte Struktur gebaut werden konnte, die die Bedeutung des Autos mindert und den Energieaufwand reduziert. Durch enge räumliche Nachbarschaften lässt sich z.B. Abwärme, die aus Bürokomplexen entweicht, für Krankenhäuser, Hotels, Schulen und Wohnungen wieder verwenden. Sogar eine riesige Menge von Abfall und Abwasser kann zur Gewinnung von Methangas oder zum Bewässern und Düngen von Pflanzen im Distrikt dienen. Zudem garantiert das von ROGERS konstruierte ineinander greifende Urbaugefüge jedem Bewohner eines beliebigen Wohnorts des Distrikts eine große räumliche Nähe zu Freiflächen. Aus diesen Gründen ist es für die räumliche Stadtanalyse eine lohnenswerte Aufgabe, die Vernetzung zwischen Flächen unterschiedlicher städtischer Nutzungen zu quantifizieren.



**Abb. 3:** Automatische Berechnung der gemeinsamen Grenzlinienlänge zwischen Flächen von zwei Strukturtypen durch GIS – am Beispiel der Stadt Stuttgart.

Zunächst soll das räumliche Nachbarschaftsgefüge der Strukturtypen-Flächen einer Stadt abgebildet werden. Die Vernetzung kann durch Grenzlinienlängen charakterisiert werden, die die Flächen eines Strukturtyps mit den benachbarten Strukturtypen-Flächen aufweisen. Mittels GIS-Analyse werden die Längen der Grenzlinien von Flächen unterschiedlicher Strukturtypen automatisch ermittelt (siehe Abb. 3). Hierdurch ergibt sich für jede Stadt eine Grenzlinienmatrix (Abb. 4).

Diese Grenzlinienmatrix beschreibt das räumliche Ordnungsgefüge der Flächennutzungsstruktur einer Stadt. Auf der Basis dieser Matrix lassen sich unterschiedliche Vernetzungsmuster untersuchen und quantifizieren.

Nach FINKE (1993) hängt die ökologische Qualität einer Stadt im Wesentlichen vom Anteil und der räumlichen Verteilung der Freiflächen ab. Daher soll hier die Vernetzung der Freiflächen und Freiräume mit den bebauten Flächen untersucht und quantifiziert werden. Die bebauten Flächen umfassen alle Flächen der Strukturtypen 1, 2, 3 und 4; die unbebauten Flächen die Flächen der Strukturtypen 5, 6, 7, 8 und 9 (siehe Tab. 1 und Abb. 3). Die Gesamtheit aller gemeinsamen Grenzlinien zwischen Flächen von zwei beliebigen unterschiedlichen Strukturtypen charakterisiert die räumlichen Nachbarschaftsbeziehungen der Strukturtyp-Flächen. Wenn die unbebauten Flächen mehr gemeinsame Grenzlinien mit

den bebauten Flächen haben, soll die Vernetzung besser bewertet werden. Deshalb wird als Vernetzungsgrad der Prozentwert der Längensumme aller Grenzlinien der bebauten Flächen mit den unbebauten Flächen zur Gesamtlängensumme aller gemeinsamen Grenzlinien zwischen den bebauten Flächen und Flächen aller anderen 9 Strukturtypen definiert. In mathematischer Formel lässt sich dieser Vernetzungsgrad wie folgt darstellen:

$$\text{Vernetzungsgrad} = \frac{\sum_{x=5}^9 \sum_{y=1}^4 [x, y]}{\sum_{y=1}^9 \sum_{x=y+1}^9 [x, y]} \cdot 100$$

Bezüglich der Quantifizierung anderer Vernetzungsmuster sei auf ARLT, GÖSSEL, HEBER, HENNERSDORF, LEHMANN & THINH 2001 verwiesen.

### 3 Programmierung der Modelle in AML

AML ist eine Interpreter-Sprache. Im Gegensatz zu bekannten Programmiersprachen wie FORTRAN oder C++ ist das Programmieren in AML gewöhnungsbedürftig. Ein AML-Programm ist eine Folge von

- ARC commands
- operating system commands
- AML directives
- AML functions
- AML variables
- AML operators und Sonderzeichen ~; !\* /\*

AML directives beginnen stets mit dem Zeichen &, z. B. &do, &to, &end oder &describe. AML functions werden immer in eckigen Klammern [...] eingeschlossen. AML variables müssen bei der Verwendung mit dem Zeichen % eingeschlossen werden %variable-name%. Im Unterschied zu gängigen Programmiersprachen wie C++ oder Turbo Pascal beginnt jede Ergibt-Anweisung mit der Zeichenkette &setvar (oder in abgekürzter Form &sv). AML unterstützt auch die

[2,1]								
[3,1]	[3,2]							
[4,1]	[4,2]	[4,3]						
[5,1]	[5,2]	[5,3]	[5,4]					
[6,1]	[6,2]	[6,3]	[6,4]	[6,5]				
[7,1]	[7,2]	[7,3]	[7,4]	[7,5]	[7,6]			
[8,1]	[8,2]	[8,3]	[8,4]	[8,5]	[8,6]	[8,7]		
[9,1]	[9,2]	[9,3]	[9,4]	[9,5]	[9,6]	[9,7]	[9,8]	

**Abb. 4:** Grenzlinienmatrix einer Stadt. Hierbei bedeutet [x, y] die Längensumme aller gemeinsamen Grenzlinien zwischen Flächen von zwei beliebigen unterschiedlichen Strukturtypen x und y (x = 2(1)9, y = 1(1) x - 1).



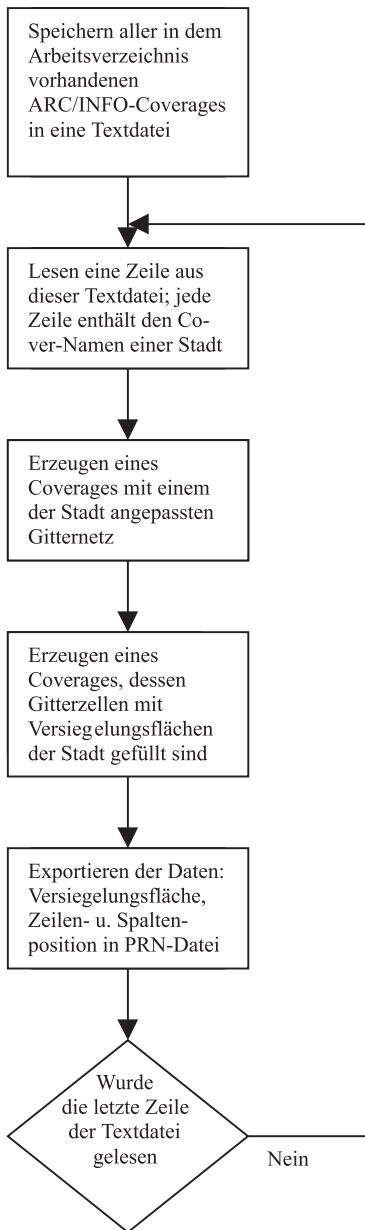


Abb. 5: Flussdiagramm des Programms generate\_grid500.aml.

Unterprogrammtechnik (modulare Programmierung). Möglichkeiten zur Parameterübergabe sind aber sehr stark eingeschränkt. Die Verwendung von eindimensionalen Feldern (indizierte Variable) ist zulässig. Operationen mit indizierten Variab-

len sind wiederum nur begrenzt möglich, weil der Index einer Variablen keine Variable sein darf.

Für die im Abschnitt 2 beschriebenen Modelle hat der Autor folgende AML-Programme entwickelt: *conversion\_shapearc.aml* (Umwandlung von Shape-dateien in Coverages), *jaggedness\_degree.aml* (Berechnung des Zerklüftungsgrades), *fractal\_dimension.aml* (Berechnung der fraktalen Dimension), *vernetzungsgrad.aml* (Berechnung des Vernetzungsgrades), *generate\_grid500.aml* und *gravitation.aml*. Jedes Programm wird in ARC/INFO mit dem Befehl

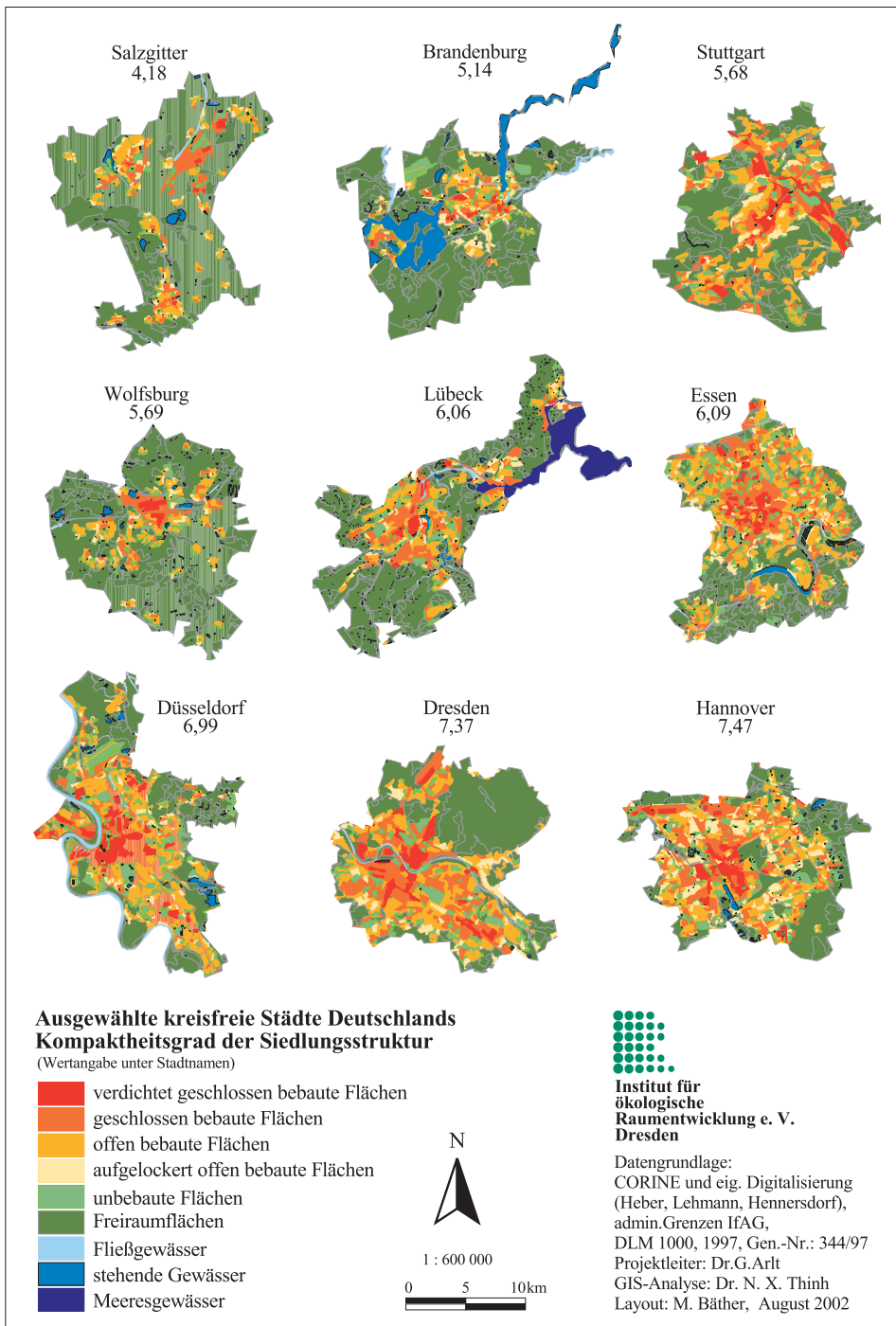
*&run AML-Programm-Name*

aufgerufen und ausgeführt. An dieser Stelle soll exemplarisch nur das Programm *generate\_grid500.aml* skizzenhaft vorgestellt werden, das für eine beliebige Anzahl von Coverages der Städte jeweils ein quadratisches Gitternetz von 500 m × 500 m erzeugt, die Topologie aufbaut und die Flächenverschnidung durchführt sowie die erforderlichen Daten zur Berechnung der Gravitationsmatrizen aufbereitet (Abb. 5). Anfragen zum Quellcode der Programme können direkt an den Autor gerichtet werden.

Das Programm *gravitation.aml* wird die von *generate\_grid500.aml* gelieferten Datendateien mit der Endung PRN einlesen und die Kompaktheitsgrade berechnen. Dieses Programm führt nur numerische Berechnungen durch (keine räumlichen GIS-Analysen). Deshalb erstellte der Autor für diese Berechnungen auch ein MATHCAD-Programm und koppelte es mit dem GIS ARC/INFO. Dadurch wird die Rechenzeit deutlich reduziert, weil die Software MATHCAD numerische Berechnungen viel schneller als AML ausführen kann.

#### 4 Ausgewählte empirische Ergebnisse

Mit den entwickelten Programmen wurden das Kompaktheitsmaß und der Vernetzungsgrad sowohl für die Kernstadt als auch

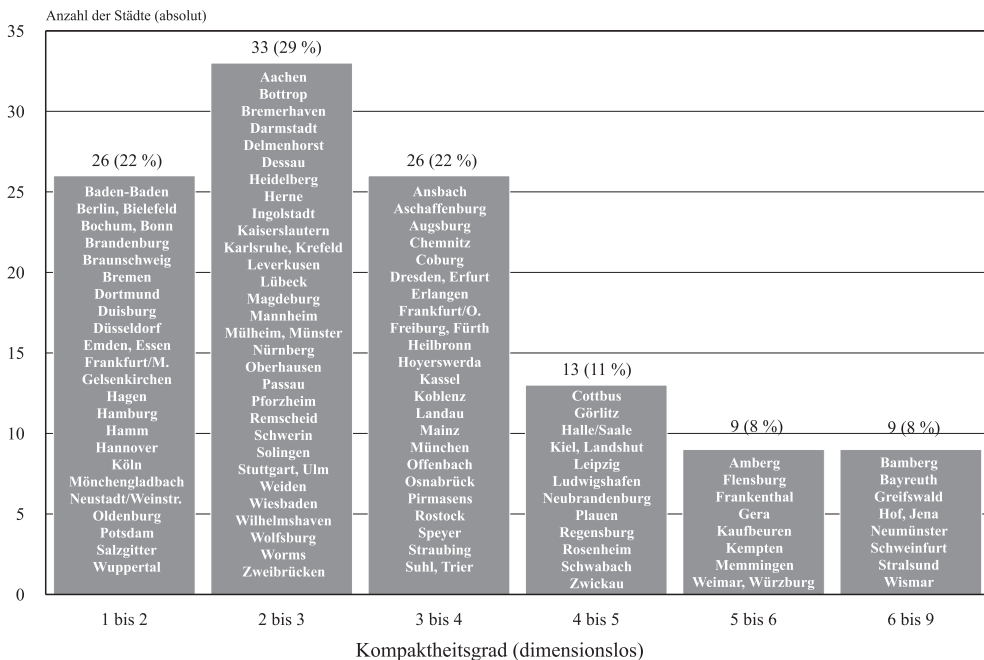


**Abb. 6:** Kompaktheitsgrad von 9 kreisfreien Städten mit annähernd gleicher Stadtfläche.

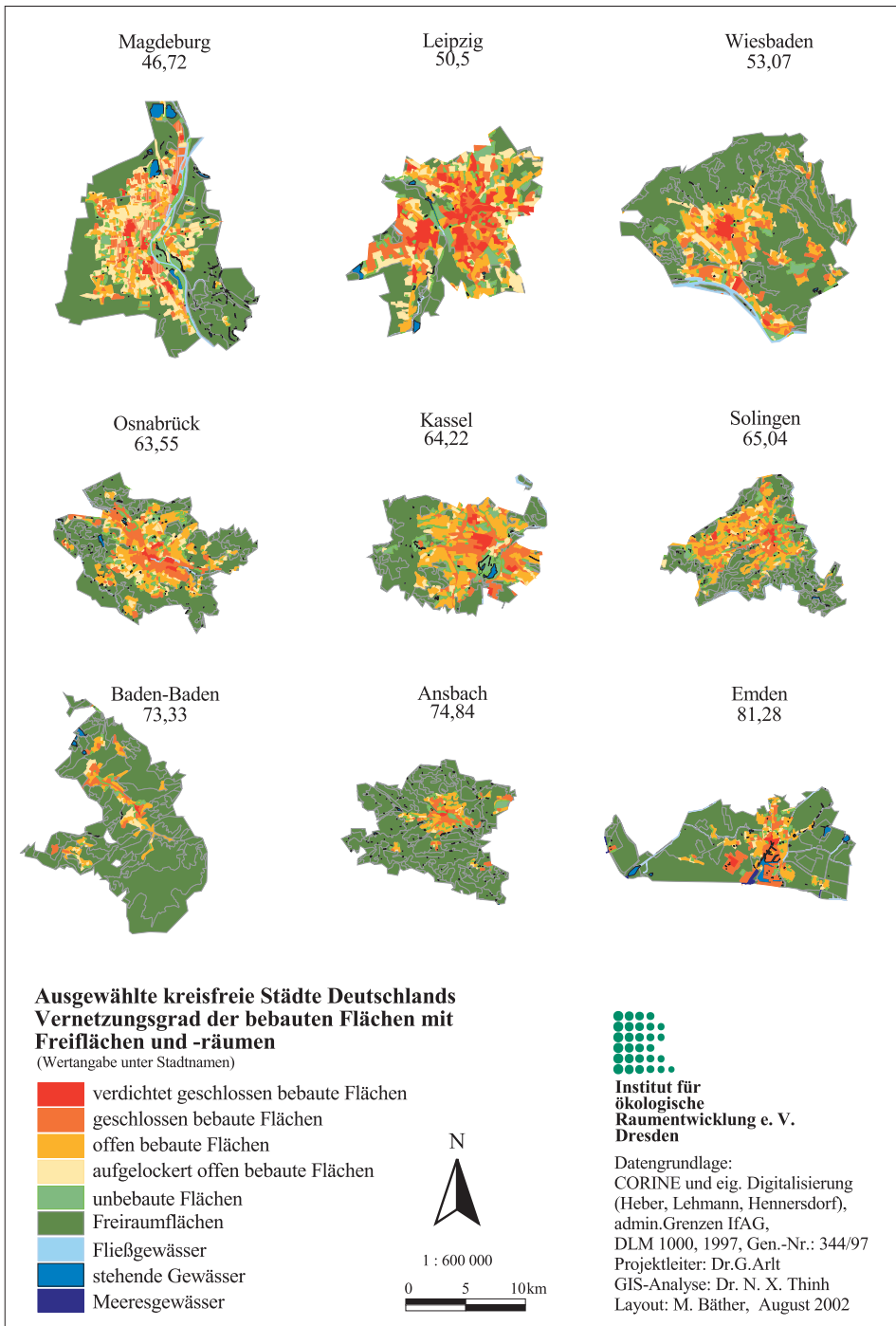
die Stadtregion der 116 kreisfreien Städte in Deutschland ermittelt. Der Begriff „Kernstadt“ bezeichnet hier eine kreisfreie Stadt in ihrer administrativen Grenze und „Stadtregion“ ist eine kreisfreie Stadt plus alle Gemeinden, die mit der Kernstadt gemeinsame Grenze haben. Die Berechnungsergebnisse vermitteln interessante Erkenntnisse. Bezüglich einer ausführlichen Darstellung der Ergebnisse sei auf ARLT, GÖSSEL, HEBER, HENNERSDORF, LEHMANN & THINH 2001 verwiesen. Im diesem Rahmen kann nur auf einige Aspekte eingegangen werden.

(1) Die Berechnung belegt eindeutig den Vorteil des neuen Kompaktheitsmaßes gegenüber dem Zerklüftungsgrad und der fraktalen Dimension. Die Abb. 6 visualisiert den Unterschied in der Kompaktheit der 9 Städte mit annähernd gleicher Stadtfläche (20 bis 22 Tausend ha). In der Reihenfolge *Salzgitter, Brandenburg, Stuttgart, Wolfsburg, Lübeck, Essen, Düsseldorf, Dresden und Hannover* ist Salzgitter am unkompaktesten und Hannover am kompaktesten, was intuitiv plausibel ist. Die sehr niedrigen Kompaktheitsgrade von Salzgitter und Brandenburg sind Ausdruck niedriger Versiegelungsgrade (7 und 8 %) und relativ kleiner bebauter Flächenpartikel mit großen Entfernungen zueinander. Stuttgart hat mehrere relativ große Flächenkomplexe vom Strukturtyp 1 (verdichtet geschlossenen bebauten Flächen), die räumlich stark verstreut sind. Im Vergleich zu Salzgitter, Brandenburg, Stuttgart und Wolfsburg sind die Flächennutzungsentwicklung von Essen, Düsseldorf, Dresden und Hannover wesentlich konzentrierter. Dies wurde durch das neue Kompaktheitsmaß richtig widerspiegelt (höherer Kompaktheitsgrad für die letztgenannten Städte). Dagegen lieferte die Berechnung des Zerklüftungsgrades und der fraktalen Dimension wegen Nichterfassung räumlicher Distanzen unplausible Rangordnungen für die Kompaktheit von Städten. Gemäß dem Zerklüftungsgrad wäre z. B. Salzgitter kompakter als Hannover, was nicht begründbar ist (Rangordnung von unkompakt bis kompakt: *Essen, Düsseldorf, Brandenburg, Stuttgart, Hannover, Lübeck,*

heitsgrade von Salzgitter und Brandenburg sind Ausdruck niedriger Versiegelungsgrade (7 und 8 %) und relativ kleiner bebauter Flächenpartikel mit großen Entfernungen zueinander. Stuttgart hat mehrere relativ große Flächenkomplexe vom Strukturtyp 1 (verdichtet geschlossenen bebauten Flächen), die räumlich stark verstreut sind. Im Vergleich zu Salzgitter, Brandenburg, Stuttgart und Wolfsburg sind die Flächennutzungsentwicklung von Essen, Düsseldorf, Dresden und Hannover wesentlich konzentrierter. Dies wurde durch das neue Kompaktheitsmaß richtig widerspiegelt (höherer Kompaktheitsgrad für die letztgenannten Städte). Dagegen lieferte die Berechnung des Zerklüftungsgrades und der fraktalen Dimension wegen Nichterfassung räumlicher Distanzen unplausible Rangordnungen für die Kompaktheit von Städten. Gemäß dem Zerklüftungsgrad wäre z. B. Salzgitter kompakter als Hannover, was nicht begründbar ist (Rangordnung von unkompakt bis kompakt: *Essen, Düsseldorf, Brandenburg, Stuttgart, Hannover, Lübeck,*



**Abb. 7:** Deutschlands kreisfreie Städte – Häufigkeitsverteilung der Kompaktheitsgrade der Stadtregionen



**Abb. 8:** Deutschlands kreisfreie Städte – Städte mit dem niedrigsten, mittleren und höchsten Vernetzungsgrad der unbebauten mit bebauten Flächen.

Wolfsburg, Salzgitter und Dresden). Außerdem sind die ermittelten fraktalen Dimensionen der Städte für Praktiker wegen der geringen Sensibilität nicht leicht zu vermitteln.

(2) *Ostdeutsche Stadtregionen sind in der Regel kompakter als westdeutsche* (siehe Abb. 7). Während 59% der westdeutschen Stadtregionen einen Kompaktheitsgrad von 1 bis 3 (darunter 26% von 1 bis 2) haben, sind dies bei ostdeutschen Stadtregionen nur 20% (darunter 8% von 1 bis 2). Die Ursache dafür ist in dem gegenüber westdeutschen Stadtregionen noch zurückliegenden Prozessverlauf in der Suburbanisierung zu sehen.

(3) *Die unterschiedliche Durchdringung von Frei- und Siedlungsraum wird durch die Vernetzungsgrade reflektiert*. In Abb. 8 sind jeweils 3 Städte mit dem niedrigsten (Magdeburg – Wiesbaden), mittleren (Osnabrück – Solingen) und höchsten (Baden-Baden – Emden) Vernetzungsgrad dargestellt. Es ist offensichtlich, dass die Städte Baden-Baden, Ansbach und Emden eine hohe Durchdringung von Frei- und Siedlungsraum aufweisen und folglich die höchsten Vernetzungsgrade haben. Ebenfalls ist der visuelle Unterschied zwischen den Städten mit niedrigsten und höchsten Vernetzungsgrad deutlich sichtbar. Ein Grund für den niedrigen Vernetzungsgrad von Leipzig ist der hohe Versiegelungsgrad (32%). Insgesamt kann man schlussfolgern, dass das vorgeschlagene Maß die räumliche Verzahnung der biologisch-ökologisch aktiven Freiflächen und Freiräume mit bebauten Flächen einer Stadt adäquat quantifiziert und Unterschiede in den räumlichen Vernetzungsmustern der verschiedenen Städte sichtbar macht. Dieses Maß kann daher eine Indikatorfunktion für das ökologische Leistungsvermögen des Siedlungsraums einer Stadt übernehmen. Ein erstes Anwendungsfeld der Messgröße ist die Bestimmung von Rangplätzen in einem Städtevergleich. Danach haben 20% der 116 Städte einen relativ niedrigen Vernetzungsgrad. Unter ihnen sind Städte wie Berlin, Bochum, Hannover, München, Leipzig und Magdeburg, deren Freiflächen im Siedlungsraum deshalb besonders vor Bebauung zu schützen sind.

## Danksagung

Der wesentliche Teil der Arbeit für diesen Aufsatz wurde als Teilaufgaben in einem interdisziplinären Forschungsprojekt am Institut für ökologische Raumentwicklung e.V. (IÖR) unter Leitung von Herrn Dr. G. ARLT durchgeführt. Die Digitalisierung von Daten haben Dr. B. HEBER, Herr. J. HENNERSDORF und Frau I. LEHMANN geleistet. Zudem dankt der Autor Dr. U. WALZ und J. GÖSSEL (IÖR) sowie Frau A. SCHULTZE (ESRI Deutschland) für die freundliche Unterstützung in ARC/INFO und S. WITSCHAS (IÖR) für die Hilfe bei der kartographischen Darstellung.

## Literatur

- ARLT, G., GÖSSEL, J., HEBER, B., HENNERSDORF, J., LEHMANN, I. & Thinh, N. X., 2001: Auswirkungen städtischer Nutzungsstrukturen auf Bodenversiegelung und Bodenpreis. – IÖR-Schriften, Band 34, Dresden.
- BECKER, L. & BERNHARD, L. et al., 2000: Integration of Dynamic Atmospheric Modeling and Object-oriented GIS. – In: Geo-informationssysteme GIS 2/2000, 19–23.
- FINKE, L., 1993: Stadtentwicklung unter ökologisch veränderten Rahmenbedingungen. – In: Zukunft Stadt 2000, Deutsche Verlags-Anstalt Stuttgart.
- FRANKHAUSER, P., 2000: GIS and the Fractal Formalisation of Urban Patterns: Towards a New Paradigm for Spatial Analysis. – In: FOTHERINGHAM, A. STEWART & WEGENER, M. (Eds.): Spatial Models and GIS New Potential and New Models. – 121–142. Taylor & Francis London.
- GOODCHILD, M.F., STEYAERT, L.T. & PARKS, B.O. et al. (Eds.), 1996: GIS and Environmental Modeling: Progress and Research Issues. – 141–142. GIS World, Inc.
- HUMPERT, K., BECKER, S. & BRENNER, K., 1996: Entwicklung großstädtischer Agglomerationen. – In: TEICHMANN, K. & WILKE, J. (Hrsg.): Prozess und Form natürlicher Konstruktionen. – 182–189, Ernst & Sohn Verlag, Berlin.
- JENKS, M., BURTON, E. & WILLIAMS, K. (Eds.), 2000: The Compact City A Sustainable Urban Form. – 215–216, E&FN London.
- JESSEN, J., 2000: Leitbild kompakte durchmischte Stadt. – GR 52, H. 7-8, 48–50.

- MANDL, P., 1996: Fuzzy-System-Umgebungen als regelgesteuerte Simulationsmaschinen für Geographische Informationssysteme. – In: MANDL, P. (Hrsg.): Modellierung und Simulation räumlicher Systeme mit Geographischen Informationssystemen. – Proceedings-Reihe der Informatik 96, Band 9, 75–90, Klagenfurt.
- STETE, G., 1995: Frauen unterwegs. Forderungen an die Stadtplanung. – Internationales Verkehrswesen, Jg. 47, Nr. 1/2, 35–42.
- STEYAERT, L.T. & GOODCHILD, M.F., 1994: Integrating geographic information systems and environmental simulation models: A status review. – In: MICHENER, W.K., BRUNT, J.W. & STAFFORD, S.G. (Eds.): Environmental Information Management and Analysis: Ecosystem to global scales. – 333–355, Taylor & Francis, London.
- STREIT, U., 2000: Interoperable, Offene Geowissenschaftliche Informationssysteme. – Geoinformationssysteme GIS 2/2000, 2–3.
- STREIT, U. & WIESMANN, K., 1996: Problems of integrating GIS and hydrological models. – In: FISCHER, M., SCHOLTEN H. J. & UNWIN, D. (Eds.): Spatial Analytical Perspectives on GIS. – 161–173, Taylor & Francis, London.
- THINH, N.X., ARLT, G., HEBER, B., HENNERSDORF, J. & LEHMANN, I., 2000: GIS-basierte Ableitung von funktionsräumlichen Kenngrößen für kreisfreie Städte in Deutschland. – Wissenschaftsmagazin der BTU Cottbus, Aktuelle Reihe 7/2000, 61–72, Cottbus.

Internetdokumentation:  
<http://www.geocomputation.org/>

Anschrift des Verfassers:  
Dr. rer. nat. NGUYEN XUAN THINH, Institut für ökologische Raumentwicklung e.V., Dresden, Weberplatz 1, D-01217 Dresden.  
e-mail: NG.Thinh@ioer.de

Manuskript eingereicht: August 2002  
Angenommen: August 2002



## Ableitung topographischer Strukturlinien aus Laserscannerdaten mit Methoden der Bildverarbeitung

LICHUN SUI, München

**Zusammenfassung:** Die mit Flugzeuglaserscannern gewonnenen Daten stellen zunächst unstrukturierte und unregelmäßig verteilte Punkthaufen dar, die einer intensiven Nachbearbeitung bedürfen. Als erste Aufgabe ergibt sich die Separation der gewünschten Laserpunkte auf der Geländeoberfläche (Bodenpunkte) von den nicht verwertbaren Punkten (Nichtbodenpunkte). Eine weitere Aufgabe ist die Extraktion von Strukturlinien aus Laserscannerdaten bzw. aus allgemeinen DHM-Daten. Das hier entwickelte Verfahren zur Extraktion von Strukturlinien basiert auf den Methoden der digitalen Bildverarbeitung und auf der Krümmungstheorie. Es erlaubt auf einfache Weise Erweiterungen für andere Anwendungsgebiete. Dies wird anhand von Beispielen und Abbildungen dargestellt. Die Genauigkeit der Extraktion von Strukturlinien wird durch die Bestimmung der Subpixelposition gesteigert. Insgesamt zeigt die Arbeit zur Extraktion von Strukturlinien, dass durch die Einführung von digitalen Bildverarbeitungsmethoden in vielen Anwendungsgebieten gute Ergebnisse erzielt werden können, ohne objektspezifisches Wissen einsetzen zu müssen.

**Summary:** *Terrain Modelling from Laser Scanner Data by Digital Image Processing Approaches.* Airborne laser scanner raw data are unstructured and irregularly distributed points which need intensive post processing. The first step is the separation of valuable points which lie on the ground surface (ground points) from outlayers which are located above it (non-ground points). Another task is the extraction of structure lines from laser scanner or other DEM data. The method presented here was developed for the extraction of structure lines by means of digital image processing methods and on the differential geometry of curves. These operators were initially developed for image processing and are now used in a new context. The developed and implemented methodology is open for further extension and compatibility. It is hence possible to use it in other fields of application. The accuracy of the extraction of structure lines increases due to the determination of sub-pixel positions. The presented work shows that image processing methods yield good results for the extraction of structure lines without the need of specific knowledge of objects.

---

### 1 Einführung

Die mit Flugzeug-Laserscannern gewonnenen digitalen Daten stellen zunächst unstrukturierte und unregelmäßig verteilte Punkthaufen dar, die einer intensiven Nachbearbeitung bedürfen. Zu diesem Zweck können die Originaldaten in *Höhenwerte* eines geordneten Digitalen Höhenmodells (DHM) durch Interpolation eines Rasters umgerechnet und als *Grauwerte* einer Bildmatrix interpretiert werden (SUI 1999 und 2002a). Es ergibt sich als erste Aufgabe für die Auswertung von Laserscannerdaten die Separation der gewünschten Laserpunkte auf der Geländeoberfläche (*Bodenpunkte*) von den nicht relevanten Punkten (*Nichtbo-*

*denpunkte*). Diese Trennung der beiden Punktarten entspricht im Wesentlichen einem Filterungsprozess. Diese Aufgabe kann entsprechend der digitalen Konzeption der Lasermessung durch ein automatisch ablaufendes, digitales Bildverarbeitungsverfahren gelöst werden. Für die Gewinnung von Digitalen Geländemodellen sind die nicht auf der Geländeoberfläche liegenden Punkte (Dächer, Bäume, Fahrzeuge usw.) zu erkennen und zu eliminieren. Zum *Erkennen* und zum *Trennen* von gemessenen Laserpunkten, für die *Gewinnung* und den *Aufbau* von Digitalen Höhenmodellen und zum *Auffinden* von Strukturlinien können die für die Analyse von Bilddaten bekannten Algorithmen der Digitalen Bildverarbeitung heran-

gezogen werden. Im Rahmen einer Studie sind die Möglichkeiten der Digitalen Bildverarbeitung zur Lösung dieses Problems untersucht worden. Die Methode und Ergebnisse zum Trennen von Bodenpunkten und Nichtbodenpunkten können beispielsweise bei LINDENBERGER (1993), KILIAN et al. (1996), FRITSCH et al. (1994) sowie SUI (1999 und 2002a) gefunden werden. Insbesondere bei SUI (2002a) werden unterschiedliche Modelle zur Bearbeitung von Laser-scannerdaten und zahlreiche Abbildungen über die Ergebnisse dargestellt.

Die Extraktion von Strukturlinien aus DHM-Daten ist eine der zwei wichtigsten Aufgaben der Arbeit. Strukturlinien gehören zu den zusätzlichen Forminformationen, die beim Aufbau des präzisen DGMs von großer Bedeutung sind. Unter Strukturlinien können unterschiedliche Modifizierungen verstanden werden, beispielsweise Falllinien bzw. Tallinien und Bruchkanten. Über die Extraktion von Falllinien bzw. Tallinien gibt es eine Vielzahl von Veröffentlichungen (z. B. KRAUS 1984, RIEGER 1992, AUMANN 1994). Dabei können solche Forminformationen beispielsweise durch die Analyse von Tangentialebenen, die Krümmungsberechnung oder Summationsverfahren extrahiert werden.

Die Kantendetektion mit Luftbildern kann man in Standardverfahren und statistische Verfahren einteilen (FUCHS 1998). Bei Standardverfahren zur Kantendetektion, z. B. LoG-, DoG-, Sobel-Operator oder Canny-Verfahren usw., werden die Kantestärke, Kantenrichtung und die erste bzw. zweite Ableitung bestimmt und berechnet. Bei statistischen Verfahren wird dagegen die Wahrscheinlichkeits- oder Energieoptimierung betrachtet. Solche Verfahren sind meistens die globalen Detektionsverfahren.

Die anderen Verfahren zur Kantendetektion basieren auf den Grundlagen der Differentialgeometrie. Die Differentialgeometrie befasst sich mit lokalen Eigenschaften von Kurven und Flächen, die mit der Flächenkrümmung im Krümmungsraum beschrieben werden können (JIANG et al. 1997, WEIDNER 1995). Strukturlinien kennzeichnen eine größere Flächenkrümmung auf der

Geländeoberfläche (WILD 1983, BILL 1999). Deshalb können Strukturlinien möglicherweise durch die Analyse der Flächenkrümmung detektiert werden.

## 2 Aufgabenstellung

Es ist wichtig, ein allgemeines Verfahren zur Analyse von DGM-Daten und zur automatischen Extraktion von Strukturlinien aus den allgemeinen DGM-Daten zu entwickeln. Aus diesem Grund kann das Verfahren der automatischen Extraktion von Strukturlinien aus DGM-Daten in die folgenden Teilaufgaben eingeteilt werden.

Die erste Aufgabe zur Extraktion von Strukturlinien ist die Vorverarbeitung der Daten. Die Vorverarbeitung bedeutet hier eine Umrechnung der Originaldaten in Höhenwerte eines geordneten digitalen Geländemodells (DGM) und in eine Grauwertbildmatrix, sowie anschließend eine Filterung. Des Weiteren sollen die kleinen in Originaldaten enthaltenen Störungen möglichst noch vor der Kantenextraktion beseitigt werden, damit keine unwichtigen Informationen als Strukturlinien extrahiert werden. Wichtig ist, darauf zu achten, dass ein kantenerhaltendes Filterungsverfahren angewendet wird, damit die in den Daten enthaltenen Kanten- und Strukturinformationen möglichst bei der Vorverarbeitung erhalten bleiben bzw. der Filterungsprozess die Daten nicht negativ beeinflusst. Die Datenfilterung ist allerdings nach Notwendigkeit durchzuführen. Wenn die Originaldaten keine Störungen enthalten, wird diese Filterung auch nicht angewendet.

Das Endergebnis der Extraktion von Strukturlinien kann mittels der tachymetrischen Vermessung oder durch unterschiedliche Visualisierungsmethoden überprüft werden. Unter den vorliegenden Bedingungen wird hier nur eine visuelle Überprüfung durchgeführt.



### 3 Vorverarbeitung von DHM-Daten

#### 3.1 Umrechnung der DHM-Daten in Grauwertbild

Wenn rasterförmige DHM-Daten als Höhenwerte angewendet werden, können sie einfach in die Form von Grauwerten umgerechnet werden. Dabei kann man eine einfache Umrechnungsformel verwenden:

$$G_i = \frac{255}{H_{\max} - H_{\min}} \cdot (H_i - H_{\min}) \quad (1)$$

wobei  $H_{\max}$  und  $H_{\min}$  den höchsten und tiefsten Höhenwert innerhalb der DHM-Daten darstellen.

Die Abb. 1 (a) stellt die Verteilung der Original-Laserpunkte dar. Die Abb. 1 (b) zeigt das gleiche Gebiet, nachdem die Höhen interpoliert in Grauwerten kodiert wurden. Auf diesem Bild kann man erkennen, welche Geländeformen dargestellt werden.

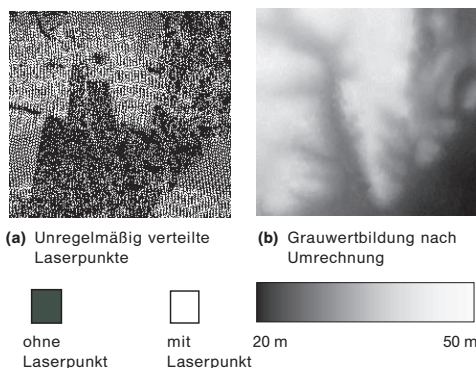


Abb. 1: Umrechnung von Laserpunkten in ein Grauwertbild.

#### 3.2 Datenverbesserung

Die Glättung und Kantenverstärkung von Daten bilden zusammen die Bildverbesserung. Diese Bildverbesserung hat das Ziel, die selektive Information durch die Hervorhebung geometrischer Strukturen in Daten zu verstärken. Dabei kann eine kantenerhaltende Filterung eingeführt und angewendet werden.

Den Effekt der kantenerhaltenden Filterung kann man durch die folgenden Darstellungen zeigen. Die Abb. 2 (b), (c) und (d) zeigen drei extrahierte Kantenlinienbilder. Die extrahierten Kantenlinien mit Originaldaten sind nicht sehr zufrieden stellend (Abb. 2 (b)). Die Abb. 2 (c) zeigt ein Ergebnis mit der bewegten Mittelwertfilterung. Die Kantenlinien sind zwar gut detektiert, die Daten sind aber stark geglättet und die Diskontinuitätsgrenzen sind verschmiert. Die Abb. 2 (d) stellt ein Ergebnis mit dem adaptiven Gradienten dar. Dieses Ergebnis ist besser als das der Abb. 2 (b) und (c).

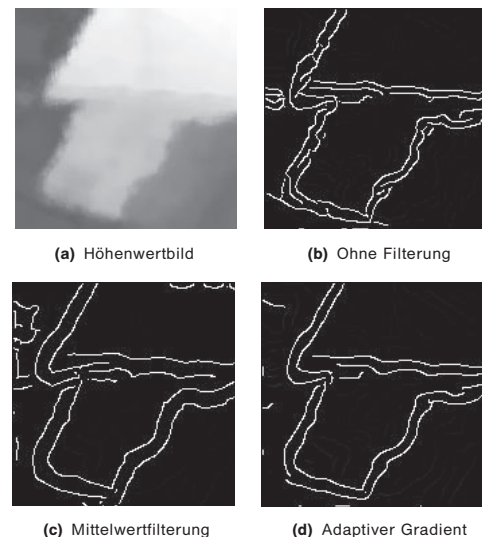


Abb. 2: Effekt der Datenfilterung.

### 4 Extraktion von Bruchkantenlinien

#### 4.1 Vorbemerkung

Strukturlinien gehören zu den zusätzlichen Forminformationen, die beim Aufbau eines präzisen DGMS von großer Bedeutung sind. Unter Strukturlinien können unterschiedliche Modifizierungen verstanden werden, beispielsweise *markante Punkte*, *Bruchkanten* und *Gerippllinien (Abflusslinien)*. *Markante Punkte* beschreiben die relativ höchsten oder tiefsten Punkte auf Kuppen bzw. in Mulden (BILL 1999, WILL 1983).

Die zweite Gruppe der zusätzlichen Forminformationen beschreibt das Zusammenstoßen zweier verschieden geneigter Teilflächen entlang von Falllinien. Solche Kantenlinien wurden beispielsweise von KRAUS (1984, 1991), RIEGER (1992), AUMANN (1994) genau diskutiert. Bei KRAUS (1984) und FINSTERWALDER (1986) wurden *Gerippllinien* durch die Bestimmung der Richtung der Tangentialebenen gewonnen. Von RIEGER (1992) wurde ein Summationsverfahren zur Extraktion von Gerippllinien entwickelt. Im Abschnitt 6 wird die Extraktion von Gerippllinien (hier Abschlusslinien) mittels Modelle der Krümmungsraumtheorie kurz diskutiert.

Neben den oben erwähnten Typen von zusätzlichen Forminformationen werden die übrigen Arten von Kantenlinien als Bruchkantenlinien bezeichnet. Die wichtigste Aufgabe der Arbeit liegt in der Extraktion von solchen Kantenlinien. Sie sind bei der Beschreibung der Geländeoberfläche bedeutsam.

Die Geländeoberfläche in der Natur ist ganz unterschiedlich. Deswegen werden in dieser Arbeit die in Bildverarbeitungsbereichen bekannten Verfahren untersucht, und daraus wird eine kombinierte Idee zur Extraktion von Strukturlinien entwickelt, die sogenannte *Multi-Resolution, Multi-Channel Method (MrMcMe)*. Unter *Multi-Resolution* wird hier verstanden, dass bei der Extraktion von Strukturlinien unterschiedliche Skalenparameter eingeführt und untersucht werden sollen. Unter dem *Multi-Channel* versteht man hier einerseits, dass unterschiedliche Modelle verwendet werden, andererseits sollen bei den verschiedenen Kantenformen unterschiedliche Verfahren eingeführt werden.

#### 4.2 Grundlagen des Kantendetektors

Die erste Ableitung von Ableitungsoperatoren hat an einer Kante ein lokales Maximum, die zweite Ableitung einen Nulldurchgang. Im zweidimensionalen Grauwertbild werden partielle Ableitungen  $\partial f(x, y)/\partial x$  und  $\partial f(x, y)/\partial y$  berechnet. Die erste partielle Ableitung ist ein Maß für die Änderung der

Grauwerte und somit für die Kantenstärke. Sie ist am stärksten senkrecht zur Ableitungsrichtung. Aus den räumlichen Ableitungen in den verschiedenen Koordinatenrichtungen können wir einen Vektoroperator, also den Gradientenvektor bilden:

$$\nabla g = \left[ \frac{\partial g}{\partial x_1}, \frac{\partial g}{\partial x_2}, \dots, \frac{\partial g}{\partial x_n} \right] \quad (2)$$

Da der Gradient ein Vektor ist, ist sein Betrag

$$|\nabla g| = \left( \sum_{k=1}^n \left( \frac{\partial g}{\partial x_k} \right)^2 \right)^{1/2} \quad (3)$$

invariant bei einer Drehung des Koordinatensystems. Der Vektor  $\nabla g$  zeigt in der Richtung der stärksten Änderung und sein Betrag ist umso größer, je stärker die Grauwert-Änderung ist.

Die Filterfunktion wird als Maske geschrieben. Gebräuchlich ist beispielsweise eine rechteckige, kreuzförmige oder näherungsweise kreisförmige Maske. Normalerweise wird eine rechteckige Maske zur Kanten Detektion angewendet. Als eine Auswahl nach Canny-Operator kann man die normierte zweidimensionale Gauß'sche Funktion

$$G_\sigma(x, y) = e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}} \quad (4)$$

eingeführen und anwenden (CANNY 1986).

In Anlehnung an die klassische Vorstellung eines Kantenoperators, bestehend aus Glättungsfilter und Ableitungsoperator, wird daher die Bildfunktion in kontinuierlicher Form  $f(x, y)$  mit den Richtungsableitungen der Gauß'schen Funktion in x- und y-Richtung gefaltet (5):

$$\begin{aligned} D_x(x, y) &= \frac{\partial}{\partial x} (G_\sigma(x, y) \cdot f(x, y)) \\ &= \frac{\partial G_\sigma(x, y)}{\partial x} \cdot f(x, y) \\ D_y(x, y) &= \frac{\partial}{\partial y} (G_\sigma(x, y) \cdot f(x, y)) \\ &= \frac{\partial G_\sigma(x, y)}{\partial y} \cdot f(x, y) \end{aligned} \quad (5)$$

Der Gradient der geglätteten Bildfunktion und die Orientierung der Kantenlinien an der Stelle ergeben sich aus der Gleichung (6).

$$D(x, y) = \sqrt{(D_x(x, y))^2 + (D_y(x, y))^2}$$

$$\Phi(x, y) = \arctan(D_y(x, y)/D_x(x, y)) \quad (6)$$

Unter Orientierung versteht man die Richtung der Tangente an der Kontur, die durch die einzelnen Kantenelemente beschrieben wird. Der Gradient  $D(x, y)$  zeigt immer in Richtung des stärksten Anstieges und steht damit immer senkrecht zur Kantenrichtung am untersuchten Punkt  $(x, y)$ . Der Skalenparameter (Standardabweichung)  $\sigma$  bestimmt die Glättungsstärke. Durch die Vergrößerung des Parameters und der Filtermasken kann eine größere Glättungswirkung erzielt werden, was den Nachteil einer schlechten Lokalisation der Kante mit sich bringen kann. Darüber hinaus ergeben sich mehrere feine Punkte oder allein stehende kürzere Linien innerhalb einer Kantenlinie, falls dieser Parameter zu klein gewählt wird. Um beide Nachteile möglichst zu vermeiden, kann eine Kanten-Nachbearbeitung ausgenutzt werden, die besteht aus dem Prozess der *Non-Maxima-Suppression* durch die Analyse der Kantenrichtung und -stärke, dem Prozess des *Hysteresis-Threshold-Verfahrens* und einem Prozess des *Constraint-Thinning-Verfahrens*, wenn dies notwendig ist. Im Folgenden werden drei Nachbearbeitungsschritte erläutert.

### 4.3 Nachbearbeitung

#### 4.3.1 Non-Maxima-Suppression-Verfahren

Eine Kanten-Nachbearbeitung ist die *Non-Maxima-Suppression*. Dabei sollen mögliche Kantenpunkte durch die Unterdrückung der Nicht-Kantenpunkte verstärkt werden. Dieses Verfahren zur Kanten-Nachbearbeitung setzt auf die Informationen der potentiellen Kantenpunkte und der Kantenrichtung bzw. Kantenstärke auf.

Das Verfahren der *Non-Maxima-Suppression* liefert eine bessere Möglichkeit zur Kanten-Nachbearbeitung. Eines davon ist das einfache *Non-Maxima-Suppression-Verfahren*. Bei diesem Verfahren wird ein aktueller Punkt mit seinen Nachbarn verglichen. Falls der Betragsgradient dieses aktuellen Punktes im betreffenden Pixel ein lokales Maximum zeigt, wird dieser Punkt als Kantenpunkt betrachtet. Ansonsten wird dieser Punkt als Nicht-Kantenpunkt gelöscht.

Ein Verfahren wurde von STEINBRECHER (1993) verwendet. Dabei wird der aktuelle Gradientenwert mit zwei angrenzend liegenden Gradientenwerten verglichen, die in Gradientenrichtung, aber auf verschiedenen Seiten des aktuell betrachteten Punktes liegen. Alle Gradientenpunkte sollen mit ihren zwei Nachbargradientenwerten verglichen werden. Falls dieser Punkt ein lokales Maximum besitzt, wird er als ein Kantenpunkt identifiziert. Ansonsten wird dieser Punkt als Nicht-Kantenpunkt gelöscht.

Von STEINBRECHER (1993) wurde auch ein anderes verbessertes Verfahren der *Non-Maxima-Suppression* vorgestellt. Dieses Verfahren geht davon aus, dass die Gradientenrichtung im Allgemeinen nicht genau in Richtung eines Gitterpunktes aus den 8-Punkt-Umgebungen zeigt. Die Kantenrichtung muss dabei angenähert und interpoliert werden. Nach der Annäherungsberechnung der Gradientenrichtung werden dann alle Punkte mit ihren zwei angenäherten auf verschiedenen Seiten liegenden Gradientenwerten verglichen. Falls dieser Punkt ein lokales Maximum darstellt, wird er als ein Kantenpunkt bezeichnet. Ist dies nicht der Fall, wird dieser Punkt als Nicht-Kantenpunkt gelöscht.

#### 4.3.2 Hysteresis-Threshold-Verfahren

Die Abb. 3(b) zeigt ein Ergebnis des Gradientenbetrages der ersten Testdaten. Die Abb. 3(c) stellt das Ergebnis nach dem *Non-Maxima-Suppression-Verfahren* dar. Aus diesem Bild kann man erkennen, dass die Anzahl der potentiellen Kantenpunkte erheblich reduziert wird. Aus diesem Ergebnis

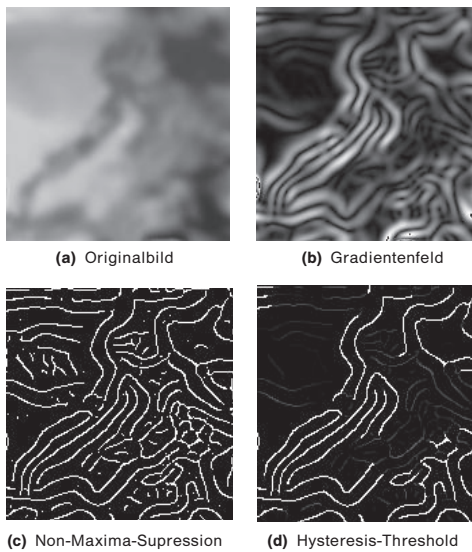


Abb. 3: Nachbearbeitungsschritte.

nach der Non-Maxima-Suppression kann dann durch eine geeignete Schwellwertbildung einfach entschieden werden, ob es sich bei einem Punkt aufgrund seines Gradientenwertes um einen Kantenpunkt handelt oder nicht.

Normalerweise kann man die Schwellwerte interaktiv auswählen. Sinnvoll ist es natürlich, ein quantitatives Verfahren zur Auswahl der Schwellwerte zu entwickeln. Die Abb. 4 (d) stellt ein Ergebnis nach dem Hysteresis-Threshold-Verfahren dar.

Hier wird nicht ein bestimmter Schwellwert, sondern ein *Schwellwertintervall* verwendet. Dabei werden ein hoher Schwellwert  $TH_{high}$  und ein niedrigerer Schwellwert  $TH_{low}$  eingesetzt. Punkte, an denen der Gradientenbetrag diesen hohen Schwellwert  $TH_{high}$  überschreitet, werden verwendet, um neue Konturen zu beginnen, während Punkte mit Gradientenbeträgen über dem niedrigeren Schwellwert  $TH_{low}$  der Fortsetzung dienen. Die Kantenpunkte und Konturen unter dem Schwellwert  $TH_{low}$  werden dann gelöscht. Die Wahl und Bestimmung beider Schwellwerte entspricht dem *Hysteresis-Threshold-Verfahren*. Die Wahl der beiden Schwellwerte muss nach unterschiedlichen Daten bzw. Bildern getroffen werden.

### 4.3.3 Constraint-Thinning-Verfahren

Der Grund für die Einführung des *Constraint-Thinning-Verfahrens* liegt darin, dass es in Kombination mit dem Non-Maximum-Suppression-Verfahren manchmal zu Fehlern kommt, wenn sich mehrere Kanten im Einzugsbereich des Operators befinden. Um solche Fehler möglichst zu beseitigen, kann ein Constraint-Thinning-Verfahren nach dem Hysteresis-Threshold-Verfahren eingesetzt werden. Durch STEINBRECHER (1993) wurde dieses Verfahren genau vorgestellt und beschrieben.

### 4.4 Wahl der Schwellwerte

Eine wichtige Aufgabe der Nachbearbeitung ist die Bestimmung des Schwellwertintervalls beim Hysteresis-Threshold-Verfahren. Dabei sollen ein hoher Schwellwert  $TH_{high}$  und ein niedrigerer Schwellwert  $TH_{low}$  bestimmt werden. Die Bestimmung zweier Schwellwerte beeinflusst wesentlich die Anzahl der extrahierten Kantenpunkte bzw. Kantenlinien. In der Untersuchung wurde zunächst ein Schwellwert näherungsweise bestimmt, aus dem die beiden Schwellwerte dann berechnet werden. Zur Bestimmung zweier Schwellwerte  $TH_{high}$  und  $TH_{low}$  sind beispielsweise folgende Methoden zu verwenden:

- Empirische Methode

Beim Non-Maxima-Suppression-Verfahren wird zunächst ein Mittelwert des Gradientenbetrages  $TH_{mittel}$  berechnet. Dieser Mittelwert liefert nur einen Näherungswert. Aus diesem Mittelwert werden dann beide Schwellwerte interaktiv festgelegt.

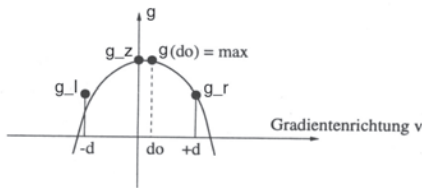
- Histogramm-Verfahren

Ein anderes Verfahren zur Bestimmung der Näherungswerte für die beiden Schwellwerte  $TH_{high}$  und  $TH_{low}$  geht von der Berechnung des Histogramms nach dem Non-Maxima-Suppression-Verfahren aus. Von LI (1990) wurde das Histogramm-Verfahren zur Bestimmung des Schwellwertes vorgestellt. Zur Herleitung der Schwellwerte wird die Schwellwertaufgabe als Hypothesentest formuliert. Aufgrund der Form des Histo-

gramms können Entscheidungen über günstige Schwellwerte zur Segmentierung getroffen werden. In der vorliegenden Studie konnte der Schwellwert  $TH_{high}$  durch Histogrammkurven berechnet werden. Dabei wurde ein *Signifikanzniveau*  $p$  eingeführt. Die mit diesem Wert ausgemachte Fläche kann dann als Schwellwert  $TH_{high}$  betrachtet werden. Der Schwellwert  $TH_{low}$  kann mittels eines empirischen Verfahrens bestimmt werden.

#### 4.5 Bestimmung der Subposition von Kantenpunkten

Die Kantenpunktlokalisierung kann auf Subpixelgenauigkeit gesteigert werden, indem durch drei auf der Gradientenrichtung liegenden Gradientenwerte eine ausgleichende Parabel gelegt wird. Diese Berechnung der Subposition von Kantenpunkten ist besonders von Bedeutung, wenn die Maschenweite (der DGM-Gitterabstand) sehr groß ist.



**Abb. 4:** Bestimmung der Subposition des Kantenpunktes (FUCHS 1998).

Angenommen, dass  $g_l$ ,  $g_z$  und  $g_r$  die drei auf der Gradientenrichtung liegenden Gradientenwerte sind (vgl. Abb. 4). Die unbekanntenen drei Parameter  $a$ ,  $b$  und  $c$  der Parabelgleichung  $g = av^2 + bv + c$  lassen sich dann aus den drei Gradientenwerten eindeutig bestimmen. Die optimale Subposition eines Kantenpunktes liegt beim Maximum der ausgleichenden Parabel bei  $v_0 = d_0$  (vgl. FUCHS 1998).

#### 4.6 Identifizierung der Kantenlinien

Nach dem Hysteresis-Threshold-Verfahren können extrahierte Kantenlinien normaler-

weise schon als *richtige* Kantenlinien bezeichnet werden. Allerdings sollten für manche Anwendungen solche Kantenlinienkandidaten noch nachbearbeitet werden. Es kommt vor, dass *allein stehende* Kantenpunkte bzw. *kürzere* Kantenlinien im extrahierten Kantenbild vorliegen. *Wenn es nötig ist*, können solche Kantenpunkte bzw. kürzere Kantenlinien noch eliminiert werden. Als Kriterium kann die *Länge* der Kantenlinien eingeführt werden. Falls ein extrahierter Kantenlinienkandidat die vorgegebene Kantenlinienlänge (den Schwellwert) nicht überschreitet, wird er eliminiert. Allerdings ist diese Nachbearbeitung je nach *Bedarf* durchzuführen.

### 5 Ergebnisse der Extraktion von Bruchkantenlinien

Im Folgenden werden einige Ergebnisse mit unterschiedlichen Beispielen von Daten und Bildern dargestellt. Dabei werden zunächst einige DGM-Daten herangezogen und die Extraktion von Bruchkantenlinien gezeigt. Anschließend werden einige Luftbilder beim Test der Extraktion von Gebäudeumrissen und Straßenlinien angewendet.

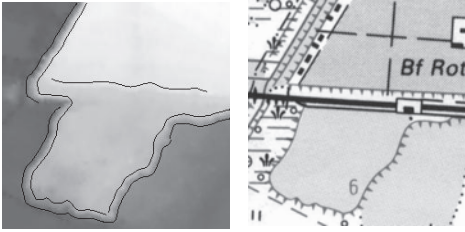
#### 5.1 Ergebnisse mit DHM-Daten

Die Abb. 5 (a) zeigt ein Ergebnis der Extraktion von Bruchkanten der ersten Testdaten. Das rechte Bild zeigt die digitalisierte Topographische Karte 1 : 25 000. Das linke Bild stellt das Ergebnis von extrahierten Strukturlinien dar. Der verwendete Maßstabsparameter  $\sigma$  beträgt 2,5. Die Abb. 5 (b) zeigt eine Perspektivansicht der entsprechenden Testdaten.

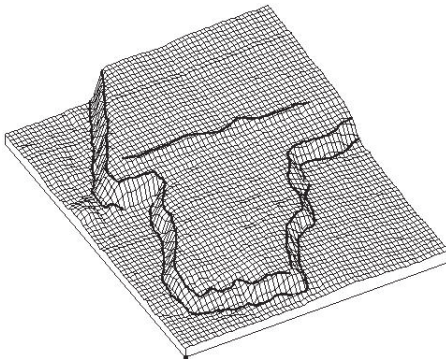
Die Abb. 6 (a) beschreibt ein Ergebnis der Testdaten II. In diesem Gebiet befinden sich ebenso mehrere Böschungen. Darin steht auch ein kleines Teilgebiet mit Nadelwald. Der Maßstabsparameter  $\sigma$  wurde hier mit 3,0 festgelegt. Die Abb. 6 (b) stellt eine Perspektivansicht dieser Testdaten dar.

Die abschließende Abb. 7 beschreibt ein Ergebnis der Testdaten III innerhalb der Topographischen Karte TK 25 Blatt 2833. Die Abb. 7 (a) zeigt einen Teil der extrahierten

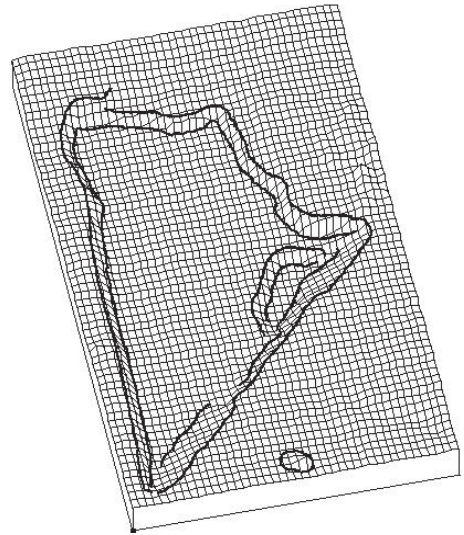




**Abb. 5(a):** Kantendetektion der Testdaten I (Linke Originaldaten:  $250 \times 250$  Pixel, DHM-Maschenweite: 2 m).

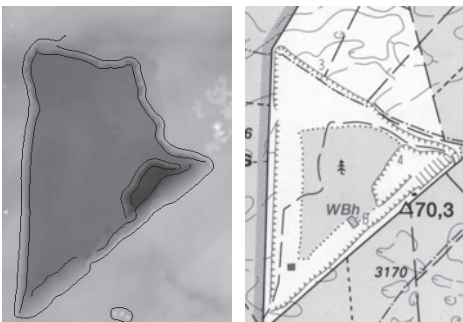


**Abb. 5(b):** Perspektivansicht der Testdaten I.

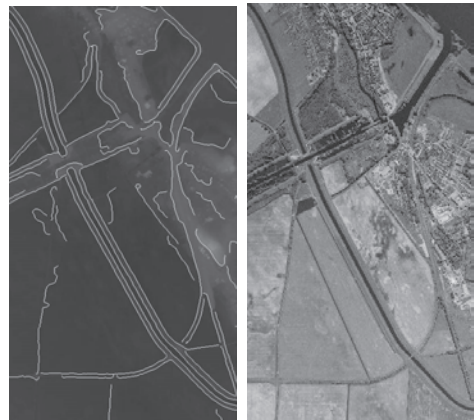


**Abb. 6(b):** Perspektivansicht der Testdaten II.

Kantenlinien des ganzen Gebietes. Die breiten *Fluss- und Straßenlinien* werden gut detektiert, vor allem auch die Ober- und Unterkanten der Böschungen am Wasserlauf. Die Abb. 7(b) zeigt ein Orthophotobild dieses entsprechenden Teilgebietes.



**Abb. 6(a):** Kantendetektion der Testdaten II (Linke Originaldaten:  $200 \times 280$  Pixel, DHM-Maschenweite: 4 m).

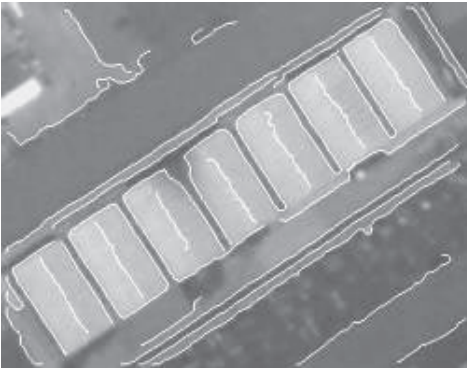


**Abb. 7(a):** Kantenbild des Testdaten III  
**Abb. 7(b):** Orthophotobild des Teilgebietes ( $400 \times 760$  Pixel, DHM-Maschenweite: 4 m).



## 5.2 Ergebnisse mit Luftbildern

Die Abb. 8(a) und (b) zeigen einige Ergebnisse mit Daten *flugzeuggetragener Abtastsysteme (Scannerbild)*. Die Originaldaten werden nicht entzerrt und die Auflösung beträgt 2,5 m am Boden. Die Bilder sind mit den extrahierten Strukturlinien überlagert. Die Abb. 8(a) zeigt das Ergebnis der Extraktion der Umrisse von Gebäuden. Die Abb. 8(b) stellt das Ergebnis der Extraktion von Straßenlinien dar. Diese Abbildungen zeigen, dass das entwickelte Verfahren bei der Extraktion von Strukturlinien mit Luftbildern oder Scannerbildern auch gute Ergebnisse erzielen kann.



**Abb. 8(a):** Kantendetektion mit Luftbild (Originaldaten: 456 × 350 Pixel).



**Abb. 8(b):** Kantendetektion mit Luftbild (Originaldaten: 330 × 325 Pixel).

## 6 Extraktion von Geripplinien

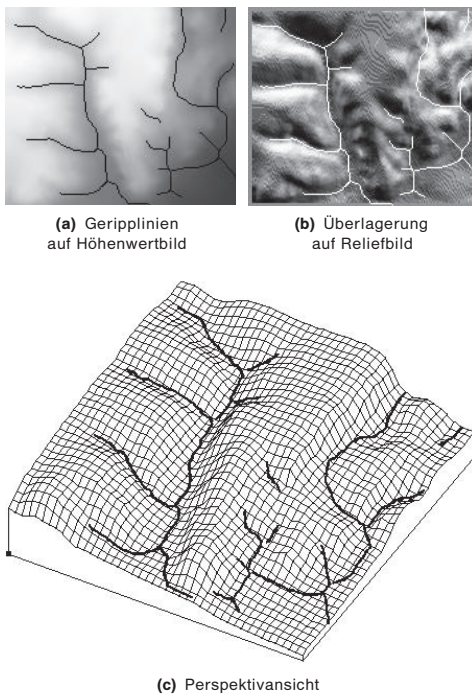
Die Differentialgeometrie befasst sich mit lokalen Eigenschaften von Kurven und Flächen, die nur vom Verhalten der Kurve oder Fläche in der Umgebung eines Punktes abhängen, sowie dem Einfluss lokaler Eigenschaften auf die gesamte Kurve oder Fläche (JIANG u. a. 1997).

Zur Berechnung der Krümmungsmaße werden in den meisten Fällen zwei Parametrisierungen verwendet, es sollen also zwei Flächendarstellungen berücksichtigt werden (WEIDNER 1994). Falls die lokale Fläche um jeden Bildpunkt mit einer Funktion  $f(x, y)$  approximiert wird, so kann die Parametrisierung  $(x, y, f(x, y))$  eingesetzt werden; die Bestimmung von Krümmungsmaßen kann also auf der Basis von Flächenapproximationen durchgeführt werden. In einem Höhenbild (in unserem Fall wie DGM-Daten) werden dann die Bildkoordinaten  $(x, y, z(x, y))$  als Parameter  $(\chi_1, \chi_2, \chi_3)$  verwendet, die Bestimmung von Krümmungsmaßen wird also aus diskreten Flächenpunkten eines Rasters durchgeführt. Die Bestimmung von Krümmungsmaßen aus solchen diskreten Flächenpunkten eines Rasters ist die Aufgabe der Untersuchung. Das Digitale Höhenmodell kann beispielsweise durch

$$\chi = (\chi_1, \chi_2, \chi_3) \quad (7)$$

gegeben sein.

Im Krümmungsraum zeigen Geripplinien eine größte Flächenneigung der Geländeoberfläche. Also stellt eine Geripplinie einen positiven (Maximalkrümmungswert) bzw. negativen Maximalkrümmungswert dar. Basierend auf der differentialen Krümmungsgeometrie können die Gauß'sche und mittlere Krümmung oder maximale und minimale Krümmung wie bei WEIDNER (1995), JIANG u. a. (1997), WILD & KRZYSZEK (1996) angewendet werden. Die Bilder der Abb. 9 zeigen einige Ergebnisse der Extraktion von Geripplinien mit Krümmungsmaßen.



**Abb. 9:** Extraktion von Gerippllinien mit Laser-scannerdaten.

## 7 Genauigkeits- und Zuverlässigkeitsbetrachtung

In der Photogrammetrie, insbesondere in der Digitalen Photogrammetrie ist die Genauigkeits- und Zuverlässigkeitsuntersuchung bei der Kantenextraktion seit langem ein aktuelles Thema. Von FÖRSTNER (1991) wurde dieses Thema intensiv untersucht. Dort wurden unterschiedliche Kriterien erstellt. Diese Kriterien bestimmten die Lokalisierung und Zuverlässigkeit der Extraktion markanter Punkte. Es ist schwierig, alle Anforderungen zu erfüllen. Die wichtigste Aufgabe besteht darin, unter der Erfüllung der Anforderungen an die *Lokalisation und Zuverlässigkeit die Genauigkeit möglichst steigern und die Verschmierung von Kantenpunkten- bzw. Kantenlinien vermeiden zu können.*

Die Genauigkeit kann durch unterschiedliche Kriterien beschrieben werden (vgl. FÖRSTNER 1991, FUCHS 1998). Die meisten Verfahren von Kantenoperatoren liefern die

Genauigkeit im Pixelbereich. Die Genauigkeitssteigerung ist durch die Bestimmung der Subpixelposition möglich. Die Anwendung dieses Verfahrens bei der Genauigkeitssteigerung in der Digitalen Photogrammetrie und Digitalen Bildverarbeitung kann auch gefunden werden bei CASOTT u.a. (1999), SCHICKLER (1992). Die Genauigkeit und Zuverlässigkeit bei der Kantenextraktion mit DGM-Daten wurden in SUI (2002a) intensiv untersucht. Dort wurde bewiesen, dass die Genauigkeit der Kantenextraktion mit Simulationsdaten durch das vorgestellte Verfahren den Subpixelbereich (0,11 Pixel) erreichen kann. Es wurde auch gezeigt, dass eine Kantenverschmierung bei Simulationsdaten nicht entsteht. Detektierte Kantenpunkte bzw. Kantenlinien wurden gerade in der Pixelmitte lokalisiert. So kann auch festgestellt werden, dass die Zuverlässigkeit mit Simulationsdaten sichergestellt wurde.

Einige Ergebnisse mit realen Daten wurden von SUI (2002a) auch dargestellt. Die Standardabweichung der Verbesserungswerte mit DHM-Daten lag zwischen 0,1606 und 0,2350 Pixel. Für alle dort dargestellten Ergebnisse und Abbildungen wurde die Genauigkeit von Kantenextraktionen veranschaulicht. Durch die Bestimmung der Subpixelposition wurde die Lokalisation besser gewährleistet und die Genauigkeit auf den Subpixelbereich gesteigert. Dies kann durch die in den vergangenen Abschnitten dargestellten Ergebnisse und Abbildungen nachgewiesen werden.

Eine *Kantenverschmierung* kann bei manchen Gebieten vorkommen, wo die Geländeoberfläche einen *glatten* Übergang zeigt und die gemessenen Laserpunkte *nicht genügend dicht* verteilt auf der Geländeoberfläche sind. In diesem Fall kann eine Vorbearbeitung der Kantenverstärkung von DGM-Daten eingeführt werden. Am sichersten ist es, die gemessene Laserpunktdichte zu steigern.

## 8 Ausblick

Zur Extraktion von zusätzlichen Forminformationen wurden digitale Bildverarbeitungsmethoden angewendet. Das entwickel-

te und realisierte Verfahren zur Extraktion von Strukturlinien erlaubte einerseits auf einfache Weise die Erweiterungen für andere Anforderungen. Andererseits konnten einige Aspekte des Verfahrens auch in anderen Verfahren leistungssteigernd integriert werden. Die extrahierten Strukturlinien verbessern die Qualität eines präzisen digitalen Geländemodells (DGM) und liefern außerdem zusätzliche Informationen für GIS bzw. für die 3D-Rekonstruktion von Objekten.

*Erweiterbarkeit:* Bei der Konzeption der Kantenlinienextraktion wurden einige Ergebnisse zur Anwendung auf andere Datentypen dargestellt. Die Einführung bzw. die Ergänzung durch Wissen erlaubt die weitere Erweiterung von Verfahren.

*Übertragbarkeit:* Durch Darstellungen und Beispiele wurde die Übertragbarkeit ebenfalls nachgewiesen. Das entwickelte Verfahren galt für die Anwendung der Extraktion von Umrisslinien mit Luftbildern, kann aber auch für den Mustererkennungszweck mit Panoramabildern usw. eingesetzt werden.

*Lokalisation, Zuverlässigkeit und Genauigkeit:* Durch die Bestimmung der Subpixelposition hat die Genauigkeit der detektierten Kantenlinien den Subpixelbereich erreicht. Gleichzeitig wurde die Qualität der Lokalisation und der Zuverlässigkeit gesteigert.

*Grenzen:* Es ist schwierig, ein allmächtiges, vollautomatisches Verfahren zur Kantendetektion zu entwickeln. Die weitere Entwicklung und Verbesserung des Verfahrens kann in der Einführung von Informationen einer topographischen Karte und von Fernerkundungsdaten als Ergänzung liegen.

## Danksagung

Diese beschriebenen Untersuchungen wurden am Fachgebiet Photogrammetrie und Kartographie der Technischen Universität Berlin durchgeführt und im Rahmen eines Pilotprojektes vom Landesvermessungsamt Brandenburg unterstützt. Ich bedanke mich insbesondere bei Prof. Dr.-Ing. JÖRG ALBERTZ von der TU Berlin für die Arbeitsmöglichkeiten und bei Dr.-Ing. ECKHARDT

SEYFERT, dem Abteilungsleiter im Landesvermessungsamt Brandenburg, für die Bereitstellung von zahlreichen Materialien von Laserscannerdaten, topographischen Karten sowie Luftbildern. Außerdem wurde die Arbeit auch von den folgenden Stiftungen unterstützt, wofür ich mich ebenfalls ganz herzlich bedanke:

- Otto-Lacmann-Stiftung der TU Berlin,
- Von-Humboldt-Ritter-Penck-Stiftung der Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin und
- Hegemann-Stiftung der TU Berlin.

## Literatur

- AUMANN, G., 1994: Aufbau qualitativ hochwertiger digitaler Geländemodelle aus Höhenlinien. – DGK Reihe C, Heft Nr. 411.
- BILL, R., 1999: Grundlagen der Geo-Informationssysteme. Band 2, Analysen, Anwendungen und neue Entwicklungen. – 2., völlig neu bearbeitete und erweiterte Auflage, Wichmann Verlag.
- CANNY, J., 1986: A computational approach to edge detection. – IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence 8 (1986), Heft 6.
- CASOTT, N. & PRENTING, J., 1999: Genauigkeitssteigerung beim Korrelationsverfahren in der digitalen Bildverarbeitung. – PFG 1999 (2).
- FINSTERWALDER, R., 1986: Zur Bestimmung von Tal- und Kammlinien. – ZfV 5/1986, 184–189
- FÖRSTNER, W., 1991: Statistische Verfahren für die automatische Bildanalyse und ihre Bewertung bei der Objekterkennung und -vermessung. – DGK Reihe C, Heft Nr. 370.
- FRICTH, D. & KILIAN, J., 1994: Filtering and calibration of laser scanner measurements. – ISPRS Commission III Symposium Munich, WG III/1.
- FUCHS, C., 1998: Extraktion polymorpher Bildstrukturen und ihre topologische und geometrische Gruppierung. – DGK Reihe C, Heft Nr. 502.
- JIANG, X. & BUNKE, H., 1997: Dreidimensionales Computersehen – Gewinnung und Analyse von Tiefenbildern. – Springer-Verlag 1997, Berlin, Heidelberg und New York.
- KILIAN, J., HAALA, N. & ENGLISH, M., 1996: Capture and evaluation of airborne laser scanner data. – International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXXI, Part B3, Vienna.

- KRAUS, K., 1984: Photogrammetrie Band 2, Theorie und Praxis der Auswertesysteme. – Dümmler Verlag, Bonn.
- KRAUS, K., 1991: Anmerkungen zum Aufsatz von R. FINSTERWALDER über die Genauigkeit digitaler Geländemodelle. – ZfV 1/1991.
- LI, R., 1990: Erfassung unstetiger Oberflächen aus digitalen Bilddaten durch Flächen- und Kantenzuordnung. – DGK Reihe C, Heft Nr. 364.
- LINDENBERGER, J., 1993: Laser Profilmessungen zur topographischen Geländeaufnahme. – DGK Reihe C, Heft Nr. 400.
- RIEGER, W., 1992: Hydrologische Anwendung des digitalen Geländemodells. – TU Wien, Geowissenschaftliche Mitteilungen, Heft 39.
- SCHICKLER W., 1992: Merkmalsextraktion für Meßaufgaben in der digitalen Photogrammetrie. – ZPF 4/1992.
- STEINBRECHER, R., 1993: Bildverarbeitung in der Praxis. – Oldenbourg
- SUI, LICHUN, 1999: Pilotprojekt zur Analyse von Laserscannerdaten mit digitalen Bildverarbeitungsmethoden. – Im Auftrag des Landesvermessungsamtes Brandenburg (unveröffentlicht). Abschlußbericht des Fachgebietes Photogrammetrie und Kartographie der TU Berlin, Juli. 1999.
- SUI, LICHUN, 2002a: Analyse von Laserscannerdaten mit digitalen Bildverarbeitungsmethoden. – Dissertation, Technische Universität Berlin 2002.
- SUI, LICHUN, 2002b: Processing of Laser Scanner Data and automatic Extraction of structure Lines. – ISPRS Commission II, WG VI/4, August 2002.
- WEIDNER, U., 1994: Information-preserving surface restoration and feature extraction for digital elevation models. – Proceedings of ISPRS Commission III, Symposium on Spatial Information from Digital Photogrammetry and Computer Vision, München.
- WEIDNER, U., 1995: Krümmungsmaße. – Institut für Photogrammetrie, Universität Bonn
- WILD, E., 1983: Die Prädiktion mit Gewichtsfunktionen und deren Anwendung zur Beschreibung von Geländeflächen bei topographischen Geländeaufnahmen. – DGK Reihe C, Heft Nr. 277.
- WILD, D. & KRZYSZEK, P.: Automatic breakline detection using an edge preserving filter. – International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXXL, Part B3, Vienna.

Anschrift des Verfassers:

Dr.-Ing. LICHUN SUI  
 Lehrstuhl für Kartographie,  
 Technische Universität München  
 Arcisstraße 21, D-80333 München  
 e-mail: sui@bv.tum.de  
 www.carto-tum.de/  
 www.fpk.tu-berlin.de/~sui/

Manuskript eingereicht: August 2002  
 Angenommen: August 2002

## Ein neues Kalibrierobjekt für die Elektronenmikro- photogrammetrie

OLAF SINRAM, JÖRG ALBERTZ, Berlin, MARTIN RITTER, HENZ HOHENBERG, Hamburg,  
& ANDREAS SCHERTEL, Feldkirchen

**Zusammenfassung:** Diese Arbeit stellt ein neues Kalibrierobjekt für die Rasterelektronenmikroskopie vor, welches den Anforderungen einer photogrammetrischen Auswertung gerecht werden soll. Für eine möglichst genaue Kalibrierung eines Aufnahmesystems werden viele, räumlich gut verteilte Passpunkte benötigt. In der Nahbereichsphotogrammetrie stellt dies in der Regel kein großes Problem dar. Kalibrierobjekte lassen sich hier unter Umständen sogar selbst herstellen, oder alternativ kann die Kamera zu einem vorhandenen Passpunktfeld gebracht werden. Beides lässt sich in der Elektronenmikroskopie nicht bewerkstelligen. Im Rahmen des laufenden, von der DFG unterstützten Forschungsprojekt 'Photogrammetrische Oberflächenrekonstruktion biologischer Objekte mittels REM Bildern' konnte ein neuartiges Kalibrierobjekt entwickelt werden, welches eindeutig identifizierbare, räumlich gut verteilte Passpunkte aufweist und durch sein Design eine gute und genaue Messbarkeit auch bei starken Kippungen gewährleistet.

**Summary:** *A new calibration object for electron microscope photogrammetry (microphotogrammetry).* This paper presents a new calibration object for Scanning-Electron-Microscopy, which is supposed to meet all requirements of photogrammetric evaluation. For a most accurate calibration of an image acquisition system, a sufficient number of spatially well distributed control points is required. This does not represent a major problem in close range photogrammetry. There, calibration objects can be selfmade eventually, or the sensor is taken to the nearest available control point field. Both solutions are not possible in electron microscopy. In the current research project, supported by the DFG, 'Photogrammetric surface reconstruction, using SEM images', a new pyramidal shaped calibration object was developed, which is equipped with clearly identifiable, spatially distributed control points. Due to its design, it also allows good and accurate measurements even when it is extremely tilted.

### Einleitung

Die quantitative photogrammetrische Auswertung von rasterelektronenmikroskopischen Bildern ist nur unter Berücksichtigung verschiedener physikalischer und mathematischer Ansätze und mit speziellem gerätetechnischem Aufwand zu bewerkstelligen. Es sollen im Folgenden die Punkte genannt werden, die die Voraussetzung für eine quantitative Auswertung bilden. Vor allem wird die Notwendigkeit eines speziellen Kalibrierobjektes für dieses Verfahren aufgezeigt. Dazu soll in Kapitel 2 die Entwicklung des Kalibrierobjektes von ersten Versuchen mit einem ebenen Gitter bis hin zur jetzigen

Form der Stufenpyramide nachvollzogen werden. Zum anderen werden erlangte Messergebnisse in Kapitel 3 vorgestellt, ein Ausblick über die weiteren Schwerpunkte des Projektes wird in Kapitel 4 gegeben.

### 1 Probleme bei der Elektronen- mikrophotogrammetrie

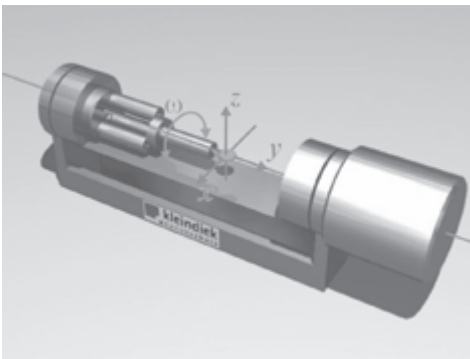
Die erste offensichtliche Herausforderung bei der Elektronenmikroskopie ist die Tatsache, dass der Sensor nicht bewegt werden kann. Das führt nicht nur bei der Kalibrierung, sondern auch bei jeder folgenden räumlichen Auswertung zu Schwierigkeiten,



da in diesem Falle Objektaufnahmen aus mehreren Richtungen erforderlich sind. Um diese bei einem feststehenden Sensor zu erhalten, muss das Objekt bewegt (gekippt) werden. Die Vakuumkammer des Mikroskopes limitiert dabei sowohl die Ausmaße des Gerätes, mit welcher die Probe bewegt und gekippt wird, als auch die Probengröße selbst. Die Entwicklung eines speziellen Positioniergerätes durch die Firma Kleindiek Nanotechnik (siehe Abb. 1) ermöglichte uns hierfür die exakte Positionierung und Kippung auf engstem Raum.

Eine weitere Hürde besteht darin, dass zwar generell mit dem Elektronenmikroskop über eine sehr große Spannweite an Vergrößerungen gearbeitet werden kann, etwa von  $100\times$  bis über  $150\,000\times$ . Für hohe Vergrößerungen wird dann aber das Sichtfeld sehr klein. Für die Kalibrierung des Systems bedeutet dies, dass die erforderlichen Passpunkte auf dem Kalibrierobjekt sehr genau auf kleiner Fläche positioniert sein müssen.

Beim Rasterelektronenmikroskop wird die speziell behandelte Oberfläche mit einem feinen Elektronenstrahl abgetastet und die gestreuten Elektronen werden detektiert. Diese Methode ist besonders gut zur hochauflösenden Betrachtung von Oberflächen geeignet. Der Unterschied zu einem üblicher Weise in der Photogrammetrie benutzten Sensor ist, dass das Bild nicht wie in einer photographischen Kamera durch ein mehr

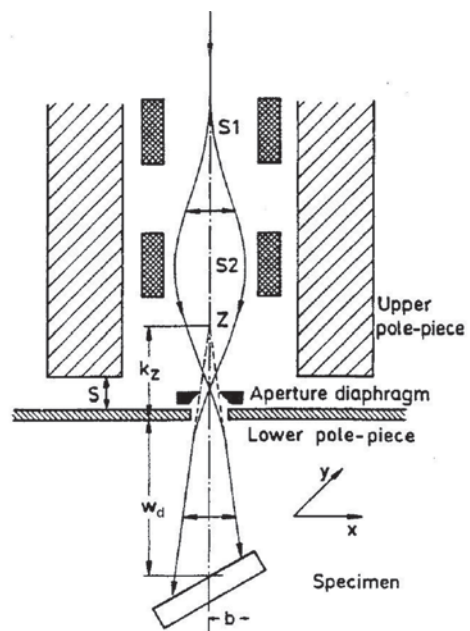


**Abb. 1:** Kippgenauer Probenstisch (ca.  $7\text{ cm} \times 2\text{ cm} \times 3\text{ cm}$ ).

oder weniger festes Linsensystem zur Bildebene gelangt. Stattdessen bestehen die Linsen im Elektronenmikroskop aus elektrischen und magnetischen Feldern.

Dieses Linsensystem unterliegt den Einstellungen des Mikroskopes (Vergrößerung, Beschleunigungsspannung, Strahldurchmesser, usw.) und hat keine Bildebene im herkömmlichen Sinn. Dennoch lässt sich die Bilderzeugung durch die Zentralperspektive modellieren, bzw. durch die Parallelperspektive, wenn eine Vergrößerung von ca.  $1000\times$  oder mehr angenommen wird (HEMMLER 2001).

Die im o. a. Forschungsprojekt gewählten Vergrößerungen lassen es zu, die Parallelperspektive als Standardfall anzunehmen. Die daraus resultierende mathematische Problemstellung, die schließlich zur Entwicklung des hier vorgestellten Kalibrierkörpers geführt hat, soll im folgenden Kapitel näher erläutert werden.



**Abb. 2:** Virtuelles Projektionszentrum Z (REIMER 1985).



## 2 Entwicklung des Kalibrierobjekts

Herkömmlicherweise werden für die Kalibrierung in der Rasterelektronenmikroskopie 2D-Teststrukturen, wie z. B. Gitterreplikas aus Kohlenstoff (mit 2160 Linien/mm) benutzt (Abb. 3), um damit den Maßstabsfehler und optische Verzerrungen zu erkennen und zu korrigieren.

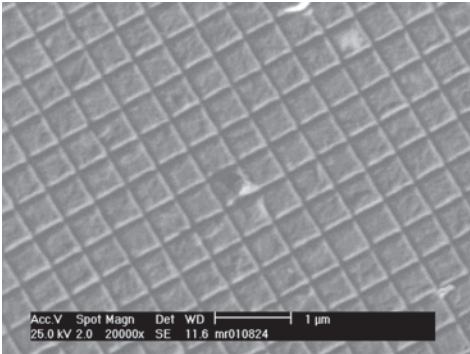


Abb. 3: 2D-Testgitter mit 2160 Linien/mm.

Die Schnittpunkte zweier Gitterlinien dienen dabei als Passpunkte für die Kalibrierung. Die Überlegung, ein derartiges Gitter auch für die photogrammetrische Kalibrierung des XL 30 ESEM bzw. des XL 30 FEG einzusetzen, wurde jedoch wieder verworfen. Versuche zeigten ungenaue und nicht reproduzierbare Ergebnisse hinsichtlich der Feststellung der Orientierungsparameter.

Bei der Parallelprojektion kommt es bei zweidimensionalen Strukturen, bzw. Punktfeldern, die auf einer Ebene liegen, zu mathematischen Instabilitäten (SINRAM et al. 2002). Praktisch alle kommerziell erhältlichen Kalibrierstandards (z. B. MikroMasch, Estland) sind entweder aus 2D-Strukturen aufgebaut oder aus 3D-Strukturen, die nur eine XY bzw. eine XZ Kalibrierung ermöglichen.

Um Mehrdeutigkeiten, die durch obengenannte mathematische Instabilitäten hervorgerufen werden können, bei der parallelperspektivischen Abbildung zu beseitigen, sind also Passpunkte notwendig, die nicht auf einer Ebene liegen. Das zweckmäßigste Konstrukt, das derart positionierte Pass-

punkte erlaubt, ist die Pyramidenform. Objekte dieser Form lassen sich jedoch nicht ohne weiteres mit herkömmlichen Verfahren herstellen. Mit dem „Gas-Induced Focused-Ion-Beam-Etching“ wurde eine Methode gewählt, bei der pyramidenförmige Strukturen mit hoher Genauigkeit hergestellt und mit Passpunkten versehen werden können.

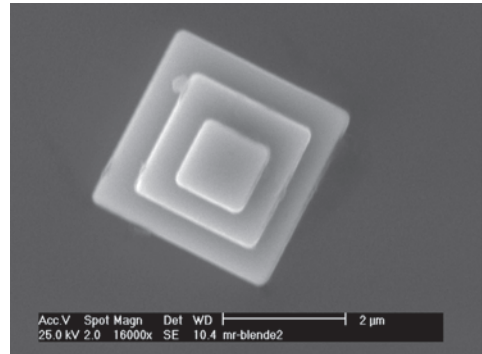


Abb. 4: Erste Form der Kalibrierpyramide mit senkrechten Seiten, ohne Passpunkte.

Abb. 4 zeigt einen ersten Prototyp der Pyramide, bestehend aus drei Stufen, mit senkrechten Seiten. Die Schnittpunkte der Stufenkanten sollten als Passpunkte dienen. Bei dieser Objektform lag die größte Schwierigkeit darin, die Kanten überhaupt zu identifizieren, da ungünstigerweise im REM die Außenkanten im Bild sehr stark überstrahlen und nur sehr vage zu bestimmen sind. Abb. 5. zeigt das Ergebnis einer Kantenextraktion, angewandt auf ein verhältnismäßig günstiges Bild (CANNY 1986, SUTHU 1999).

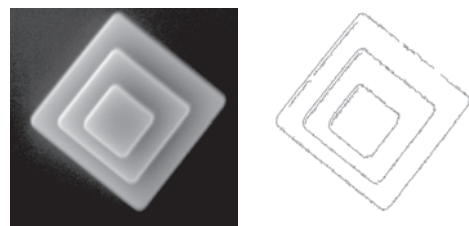
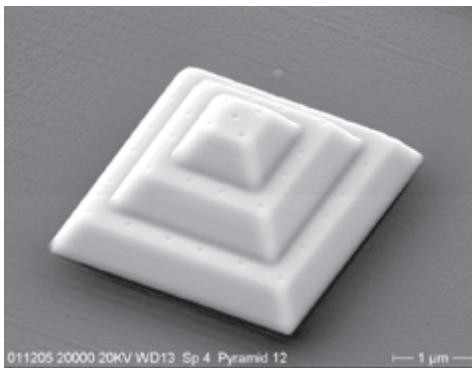


Abb 5: Ergebnis einer Kantenextraktion.

Die Schnittpunkte jeweils zweier ausgleichender Geraden, die durch die extrahierten Kantenpunkte gelegt wurden, sollten hierbei als Passpunkte dienen. Man erkennt deutlich die nur sehr unscharfe, breite Kante, deren Bestimmung – und damit auch die Bestimmung der Schnitt-, bzw. Passpunkte – nur mit großer Unsicherheit möglich ist. Wird zudem die Pyramide sehr stark gekippt, verschmelzen die Kanten miteinander und lassen die Passpunktbestimmung nicht mehr zu. Selbst eine interaktive, manuelle Messung und Bestimmung der Passpunkte



**Abb. 6:** Jetzige Form der Pyramide mit schrägen Kanten und Nanomarkern.

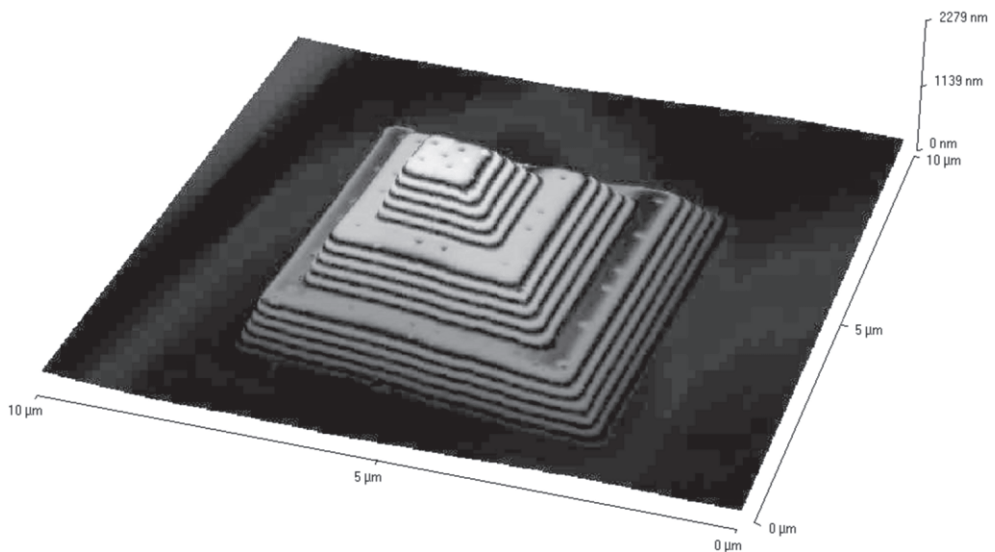
ist in diesem Falle nicht mehr zuverlässig durchführbar. Diese Unzulänglichkeiten veranlassten die Weiterentwicklung der Objektstruktur.

Die aktuelle und zuverlässig funktionierende Lösung fand sich in der in Abb. 6 gezeigten Form der Stufenpyramide mit schrägen Kanten und Nanomarkern, die als Passpunkte dienen. Die Pyramide hat eine Grundfläche von ca. 6 mm × 6 mm, mit einer durchschnittlichen Stufenhöhe von 700 nm.

Die Nanomarker werden mit einem Ionenstrahl in die Pyramidenstrukturen eingätzt und haben einen Durchmesser von 50 nm. Sie werden anschließend mit einem AFM (Rasterkraftmikroskop) hochgenau vermessen (siehe Abb. 7).

In diesem bislang optimalen Kalibrierkörper wurden die o. a. kritischen Punkte berücksichtigt. Darüber hinaus wurde eine Form gefunden, die einer Vielzahl von Anforderungen gerecht wird:

- Durch die Pyramidenform ist das Passpunktfeld räumlich verteilt.
- Die Passpunkte sind in Form von Nanomarkern auf den Pyramidenstufen eindeutig identifizierbar.



**Abb. 7:** AFM-Bild zur Vermessung der Nanomarker (Passpunkte).

- Durch eine gewollt asymmetrische Verteilung ist die Zuordnung der Punkte gewährleistet.
- Die schrägen Kanten erlauben Sicht zu allen Punkten selbst bei extremer Kippung.
- Die genaue Vermessung der Passpunkte mit einem AFM wird durch die schrägen Flanken erst zuverlässig ermöglicht.

Abb. 8a und b verdeutlichen die positiven Auswirkungen der schrägen Kanten auf die Sichtbarkeit der Punkte, bei extremen Kippungen.

Die 38 Passpunkte sind jeweils auf den Stufen der Pyramide angebracht (21 auf der unteren, 12 auf der mittleren und 5 auf der obersten), wobei die Punkte auf der untersten

Stufe bewusst unsymmetrisch angebracht wurden, um die Punktzuordnung sicherzustellen (siehe Abb. 8a, b, die rechte obere Ecke der Pyramide).

Die Rasterelektronenmikroskopie ermöglicht eine sehr große Spannweite an Vergrößerungen. Daher wäre es sinnvoll, ein skalierbares Kalibrierobjekt zu benutzen, um dieses für möglichst viele Vergrößerungen formatfüllend, also mit maximaler Anzahl von Passpunkten abbilden zu können. Aus diesem Grunde könnten mehrere Pyramiden verschiedener Größe auf einem Array zusammengefasst werden.

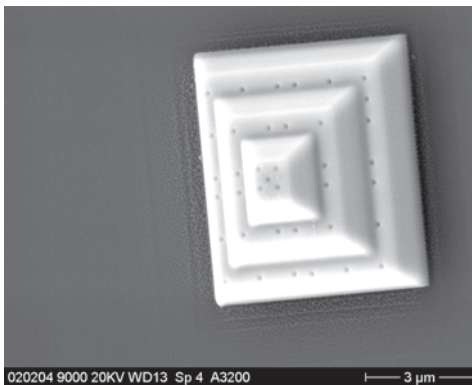
So ließen sich die verschiedenen Größen der Pyramiden nutzen, um in einem größeren Maßstab zu kalibrieren. Bei kleineren Maßstäben ließen sich mehrere Pyramiden zusammenfassen und abbilden, um das Bildformat zu füllen.

### 3 Messungen

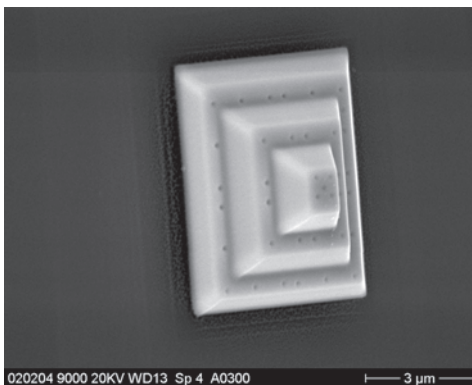
Ausgehend von unserem Standardfall der Parallelprojektion, kann für den verwendeten Sensor im einfachsten Fall mit einer einzigen Unbekannten gerechnet werden: dem Maßstab, der in gewissem Sinne die Kamerakonstante bei der Zentralprojektion ersetzt. Es lassen sich aber auch zusätzliche Parameter, wie Verzeichnung oder Affinität berücksichtigen, so dass insgesamt bis zu 7 Abbildungsparameter für den Sensor bestimmt werden können. Zudem gelten für jedes Bild 5 Unbekannte: 2 Translationen und 3 Rotationen, so dass für eine Auswertung insgesamt bis zu 12 Unbekannte in der Berechnung berücksichtigt werden müssen. Zum näheren Verständnis sei hier auf weiterführende Literatur verwiesen, z. B. (BURKHARDT 1981, MAUNE 1976).

Allein bei der Auswertung eines Bildes ergeben sich so 6 bis 12 Unbekannte (je nach Anzahl zusätzlicher Parameter), bei bis zu 76 Beobachtungen pro Bild ( $38 \times 2$ ). Das ergibt eine Redundanz von 64 bis 70. Diese lässt sich erhöhen, wenn man mehrere Bilder zur Kalibrierung heranzieht und einen Sensor für den ganzen Verband annimmt.

Exemplarisch sei hier das Ergebnis einer Auswertung mit 14 Bildern präsentiert. Da-



a) Kippung ca.  $-40^\circ$



b) Kippung ca.  $+30^\circ$

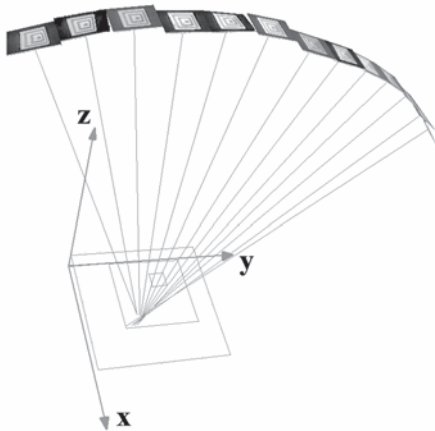
**Abb. 8:** Durch die Abschrägung der Seiten bleiben die Passpunkte auch bei extremen Kippungen.

bei wurden 77 Unbekannte aus 1042 Beobachtungen bestimmt:

Die Aufnahmeanordnung ist in Abb. 9 dargestellt.

**Tab. 1:** Ergebnisse der REM-Kalibrierung.

Parameter	Wert
Maßstab $m$ [ $pixel/\mu m$ ]	$94.612 \pm 0.11$
radiale Verz. $A_1$	$1.226e-007$
radiale Verz. $A_2$	$-1.204e-012$
tangentiale Verz. $B_1$	$-6.008e-006$
tangentiale Verz. $B_2$	$-2.145e-006$
Affinparameter $C_1$	$-4.810e-003$
Affinparameter $C_2$	$-1.535e-003$



**Abb. 9:** Visualisierung einer Kippserie.

#### 4 Ausblick

Der in dieser Arbeit vorgestellte Kalibrierkörper erlaubt zuverlässige und eindeutige Passpunktmessungen zur hochgenauen Bestimmung der Parameter des Elektronenmikroskops. Es wurde damit die Möglichkeit geschaffen, ein Rasterelektronenmikroskop zuverlässig über verschiedene Vergrößerungsbereiche hinweg zu kalibrieren. Zudem sind die mit dem AFM durch Kontaktmessung gewonnenen Koordinaten der Passpunkte auch auf andere bildgebende Systeme, wie z. B. das konfokale Lichtmikroskop übertragbar. Die Kalibrierung verschiedener bildgebender Systeme mittels

eines Kalibrierkörpers wird möglich und damit könnte auch erstmals im Vergleich eine Analyse über die quantitative Aussagekraft der gewonnenen Daten durchgeführt werden. Die quantitativen Aussagen verschiedener mikroskopischer Anwendungen könnten somit in ihrer Zuverlässigkeit erheblich gesteigert werden.

Die anfangs erwähnte Kippung der zu untersuchenden Objekte erfolgt über hochpräzise Kippbühnen, die im Inneren der Vakuumkammer installiert werden müssen. Neben den Sensoreigenschaften können auch die Zuverlässigkeiten solcher Kippbühnen über dieses Kalibrierobjekt kontrolliert werden, z.B. im Rahmen einer Bündelblockausgleichung. Damit wird also nicht nur die Bilderfassung möglichst genau modelliert, sondern auch die Geometrie der Aufnahmeanordnung.

Zukünftige Arbeiten sollen sich unter anderem auf eine semiautomatische Punktmessung konzentrieren, bei der unter Kenntnis der Objektkoordinaten, nach manueller Messung von einigen Initialisierungspunkten, die verbleibenden Punkte automatisch erkannt werden. Wir möchten die Messung der Kalibrierung auf diese Weise vereinfachen und beschleunigen, sowie individuelle Messfehler möglichst ausschließen.

#### 5 Danksagung

Die Autoren bedanken sich bei der DFG für die Förderung des Projektes ‚Photogrammetrische Oberflächenrekonstruktion biologischer Objekte mittels REM-Bilddaten‘. Weiterer Dank gebührt der Firma Kleindiek Nanotechnik, in D-72770 Reutlingen, deren hochpräziser Nanopositionierer bei der Probenausrichtung unverzichtbare Dienste leistet und Dr. ANDREAS DÖRING, Universität Ulm, für die AFM-Vermessung der Pyramide.

#### Literatur

BURKHARDT, R., 1981: Die stereoskopische Ausmessung elektronenmikroskopischer Bildpaare und ihre Genauigkeit. – Methodensammlung der Elektronenmikroskopie, Abschnitt 4.2.2.

- CANNY, J., 1986: A computational approach to edge detection. – IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence 8 (1986), Heft 6: 679–698.
- HEMMLEB, M., 2001: Photogrammetrische Auswertung elektronenmikroskopischer Bilddaten. – Dissertation, Technische Universität Berlin. [http://edocs.tu-berlin.de/diss/2001/hemmlieb\\_matthias.pdf](http://edocs.tu-berlin.de/diss/2001/hemmlieb_matthias.pdf)
- MAUNE, D. F., 1976: Photogrammetric Self-Calibration of Scanning Electron Microscopes. – Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 42, No. 9: 1161–1172.
- REIMER, L., 1985: Scanning Electron Microscopy. – Springer, Berlin/Heidelberg/New York/Tokyo 1985.
- SINRAM, O. & RITTER, M., 2002: Calibration of an SEM, using a nano positioning tilting table and a microscopic calibration pyramid. – ISPRS-Conference 2002, Commission V, Close-Range Vision Techniques, Korfu, Griechenland.
- SUTHAU, T., 1999: Photogrammetrische Vermessung von superelastischen Drähten mit CCD-Kameras. Diplomarbeit, TU Berlin.
- Anschriften der Autoren:
- Dipl.-Ing. OLAF SINRAM, Prof. a. D. Dr.-Ing. JÖRG ALBERTZ, Technische Universität Berlin, Photogrammetrie und Kartographie  
Straße des 17. Juni 135, D-10623 Berlin  
Tel.: 030-314-23991, Fax: 030-314-21104  
[sinram@fpk.tu-berlin.de](mailto:sinram@fpk.tu-berlin.de)  
[albertz@fpk.tu-berlin.de](mailto:albertz@fpk.tu-berlin.de)  
<http://www.fpk.tu-berlin.de/>
- Dipl.-Natw. (ETH) MARTIN RITTER,  
Dr. HEINZ HOHENBERG,  
Heinrich-Pette-Institut, Arbeitsgruppe  
Elektronenmikroskopie und Mikrotechnologie  
Martinistraße 52, D-20251 Hamburg  
Tel.: 040-48051-254, Fax: 040-48051-252  
[ritter@hpi.uni-hamburg.de](mailto:ritter@hpi.uni-hamburg.de)  
[hohenberg@hpi.uni-hamburg.de](mailto:hohenberg@hpi.uni-hamburg.de)  
<http://www.hpi-hamburg.de/>
- Dr. ANDREAS SCHERTEL, FEI Deutschland  
GmbH, Kirchenstraße 2, D-85622 Feldkirchen  
[andreas.schertel@de.feico.com](mailto:andreas.schertel@de.feico.com)  
<http://www.feico.com/>

Manuskript eingereicht: August 2002  
Angenommen: September 2002





## Über den Beitrag der Geoinformatik zum Verständnis des Systems Erde

RALF DONNER, Freiberg

**Zusammenfassung:** Für das Verständnis und den Erhalt der Lebensgrundlagen gewinnen deren systematische Eigenschaften an Bedeutung. Sie supervenieren über einem komplexen Beziehungsgefüge messbarer Größen, sind selbst jedoch weder unmittelbar messbar, noch im Prozess der Datenfusion oder im Geoinformationssystem modellierbar. Prozessen, die mit der Fernerkundung beobachtet werden können, steht eine Geoinformatik gegenüber, die diese Prozesse nicht durch Analyse und Synthese modellieren kann. Moderne Theorien der Wahrnehmung erklären die Bedeutung der visuellen Interpretation. Einige Schlussfolgerungen für die Entwicklung der Geoinformatik werden zur Diskussion gestellt.

**Summary:** *On the contribution of geoinformatics to an understanding of the system Earth.* Systematic properties are gaining in significance for our understanding and preservation of the foundations of life. In the ecology debate the coming out of characteristics from a network of interactions is a current conception also for the description of spatial phenomena. Thus systematic conceptions arrive also into the view point of geomatics. Systematic properties emerge over a complex relations network of measurable sizes, are even however not directly measurable. Processes observed through remote sensing stand opposite a school of geo-informatics which is unable to model these processes through analysis and synthesis. Modern perception theories justify, why data visualization is very important in the scientific process. Some conclusions are discussed.

---

### 1 Einleitung: Systemvorstellung der Natur

In der Natur emergieren aus den Wechselwirkungen zwischen den als Teilen vorgestellten Subsystemen unerwartete, neuartige Eigenschaften. Als verdeutlichendes Beispiel wird auf die Reaktion chemischer Stoffe verwiesen, deren Endprodukt Eigenschaften aufweist, die weder den beteiligten Ausgangsstoffen eigen waren, noch aus diesen abgeleitet werden können. Im Beispiel der chemischen Reaktion von Wasserstoff und Stickstoff zu Ammoniak erscheint die neue Eigenschaft Geruch als statisch. Von größerem Interesse sind dynamische Eigenschaften. Die Fähigkeit eines Systems, im komplexen Zusammenwirken äußerer Gegebenheiten und innerer Funktionen zeitliche, räumliche oder funktionale Strukturen zu generieren, aufrecht zu erhalten und zu modifizieren, wird als „Selbstorganisation“

bezeichnet. Selbstorganisation meint eine als Kausalbeziehung gedachte Wirkung des ganzen Systems gegenüber den als Teilen vorgestellten Subsystemen. Erst die Wechselwirkungen zwischen den Komponenten führen zu einer Unterordnung der Komponenten unter die von ihnen gebildete Ganzheit. Mit der Vorstellung des Auftauchens selbstorganisierender Fähigkeiten aus dem Zusammenwirken zwischen den Teilen können bis dahin unverstandene Phänomene wie die Mäander-, Strudel- oder Wirbelbildung in Gewässern, das Erhalten ökologischer Fließgleichgewichte bis hin zu typischen Lebensmerkmalen wie die Bildung energiereicher komplexer Eiweiße, Heilung, Wachstum oder Evolutionsprozesse besser erklärt werden. Da die Systemfähigkeit, Zustände hervorzubringen und zu erhalten, mehr aussagt, als die konkreten Zustandsparameter wird sie zum übergeordneten ökologischen Leitbild (MÜLLER 1997a).

Selbstorganisierende Prozesse haben in der Nachhaltigkeitsdebatte eine große Bedeutung.

Das Auftauchen systemischer Eigenschaften ist für Fernerkundung und Geoinformatik überall dort relevant, wo es darum geht, die Entstehung beobachteter Zustände auf regionalem bis globalem Niveau aus dem Wechselwirkungsgefüge beobachteter Teilsysteme zu erklären. Mit dem Einzug der Systemvorstellung in die Geowissenschaften werden Eigenschaften zum Untersuchungsgegenstand, die nicht unmittelbar gemessen werden können, da sie erst aus Interaktionen der als Teile vorgestellten Subsysteme hervorgehen. Da bislang mit der Fernerkundung Zustände beobachtet und im Geoinformationssystem Zustände analysiert und modelliert wurden, stellt sich nun die Frage nach dem Übergang zu den diese Zustände bestimmenden Selbstorganisationseigenschaften des Systems.

Eine Ausrichtung der Geoinformatik weg von Zustandbeschreibungen hin zu den diese Zustände bestimmenden systemischen Eigenschaften der Geosysteme verlangt den Übergang der Geoinformatik von einfach messbaren Parametern hin zu Eigenschaften, die erst aus der Interaktion der Komponenten hervorgehen. Das Auftauchen neuer Eigenschaften aus einem Geflecht von Wechselwirkungen rechnergestützt oder im Prozess der Wahrnehmung bestimmen den Inhalt dieser Abhandlung. Mit dem Überblick auf die verschiedenen Synthesearten in der Natur, im Geoinformationssystem und im Prozess der Wahrnehmung soll die Diskussion um die Möglichkeiten von Fernerkundung und Geoinformatik, systemische Eigenschaften im geowissenschaftlichen Kontext mit der Fernerkundung zu beobachten und im Geoinformationssystem zu analysieren, angestoßen werden.

## 2 Geoinformatik

### 2.1 *Fusion von Daten der Fernerkundung*

Auf den Synergieeffekt, aus dem Zusammenwirken verschiedenartiger Daten-Teile

neue Informationen zu gewinnen, zielen die digitalen Auswerteverfahren der Fernerkundung. Die mit dem Begriff Fusion bezeichnete Synthese von Daten unterschiedlicher Zeitpunkte, Sensoren, Maßstäbe, Perspektiven, Spektralbereiche, Polarität, Detailliertheit, Abstraktion oder unterschiedlicher Thematik gewann für die Interpretation von Fernerkundungsdaten und in der Geoinformatik in den letzten Jahren erhebliche Bedeutung, da sie effektiv hilft, detailliertere und präzisere Informationen zu gewinnen (z. B. BENEDIKTSSON & LANDGREBE 1999, WALD 1999, 2000). Beispielsweise führen Kombinationen von Landsat- und Radardaten oder multispektraler und höherauflösender panchromatischer Daten zu differenzierteren und zuverlässigeren Interpretationsergebnissen.

Um den Vorteil der Fusion für die Fernerkundung zu veranschaulichen, wird gern das Beispiel der Stereoskopie angeführt, bei dem aus der unterschiedlichen Perspektive der ebenen Bilder die räumliche Tiefe erfahren oder berechnet werden kann (WALD 2000). Mit der Tiefe weist die Ganzheit Raum eine Eigenschaft auf, die in den ebenen Bildern nicht vorhanden war. Werden durch logische oder arithmetische Verknüpfung verschiedener Geodaten Informationen gewonnen, die in keinem der beteiligten Datensätze – gegebenenfalls bei genauerer Untersuchung – hätten gefunden werden können? Simuliert die Fusion von Fernerkundungsdaten, systemische Eigenschaften, die erst aus dem Zusammenwirken emergieren und nicht unmittelbar gemessen werden können?

In einer Vielzahl von Aufsätzen und Tagungsbeiträgen wird über die Fusion verschiedener Geodaten berichtet. So grundsätzlich und methodisch eine Reihe von Beiträgen auch ist, z. B. POHL (1996), POHL & GENDEREN (1998), WALD (2000), so wenig klar nehmen sie zum Entstehen neuer Eigenschaften/Informationen durch die Fusion Stellung. Woher kommt das Mehr an Information durch die Fusion?

## 2.2 Erkenntnisgewinn mit Geoinformationssystemen

Um zu klären, wo das mit der Geoinformatik erzeugte Mehr an Information gegenüber den Ausgangsdaten herkommt, betrachten wir eine einfache Abfrage: Gesucht seien die bebauten Grundstücke. Eine Verschneidung aller Grundstücke mit dem Gebäudeverzeichnis zeigt die gesuchten Grundstücke. Die gewonnene Information entstand durch die Verbindung der Daten: Daten + Verbindungen = neue Information.

Dieses Grundprinzip der Informationsgewinnung gilt prinzipiell für alle rechnergestützte Informatik. Auch Klassifizierungsverfahren der Fernerkundung sind von ihrer Art her nichts anderes: das Klassifizierungsergebnis ist eine per Definition zugewiesene Kurzbezeichnung der verwendeten Daten und ihrer Relationen im Computer. Dies ist die Antwort auf die Frage nach der Herkunft der durch Fusion von Fernerkundungsdaten gewonnenen Informationen: Auch wenn es häufig so ist, dass die Konturen klassifizierter Objekte bereits in einzelnen der verwendeten Datensätze visuell erkannt werden können, weisen die zahlreichen, erst durch die Fusion erlangten Erfolge nach, dass die gewonnene Information das Ergebnis der Verknüpfung der Daten ist. Diese Verknüpfung erfolgt durch Definition, nicht allein aus den Beziehungen, Definition statt spontaner Emergenz.

Die Fähigkeit des Hervorbringens des Zustandes durch Selbstorganisation wird auch dann nicht simuliert, wenn selbstorganisierende neuronale Netze in der Analyse eingesetzt werden, denn die Selbstorganisationsfähigkeit des neuronalen Netzes hat nichts zu tun mit der Fähigkeit eines natürlichen Systems, Zustände zu erhalten. Zusammenfassend, nicht nur Emergenz sondern auch die aktive Selbstorganisation wird in der Geoinformatik derzeit nicht modelliert. Weder die Auswerteverfahren der Fernerkundung noch die Analyseverfahren der Geoinformationssysteme beziehen sich auf die Fähigkeit, Zustände hervorzubringen und zu erhalten. Schauen wir uns darum

an, wie vom Prinzip her in der Ökosystemlehre die Fähigkeit zur Selbstorganisation simuliert wird.

## 2.3 Mathematische Beschreibung systemischer Eigenschaften

In stark vereinfachten ökologischen Subsystemen gelingt die Modellierung von Selbstorganisationsmechanismen durch die rekursive Anwendung nichtlinearer Gleichungen. Sie zeigt Eigenschaften, die den Erhaltungseigenschaften natürlicher Systeme ähnlich sind. Als Beispiel sei die einfache Gleichung zur Modellierung der Populationsdynamik

$$N_{n+1} = N_n + rN_n - \frac{r}{K} \cdot N_n^2$$

mit  $N_n$  aktuelle Populationsgröße,  
 $N_{n+1}$  Größe der Folgegeneration,  
 $r$  Wachstumsfaktor und  
 $K$  Kapazitätsgrenze

herangezogen. Durch iterative Wiederholung nähert sich ihr Funktionswert dem Grenzwert (Abb. 1). Die Funktion pegelt sich auch nach Störungen von außen, im Beispiel könnten Naturkatastrophen die Population mehrmals schlagartig verringert haben, auf einen Grenzwert ein. Das Naturphänomen des Erhaltens eines Gleichgewichtes wird mathematisch simuliert.

**Abb. 1:** Mathematische Simulation der Populationsdynamik. Die Funktion simuliert das Vermögen, die Populationsgröße auf einen Grenzwert einzustellen, auch bei Störungen von außen.

### 3 Wahrnehmung

Die Fernerkundung hat einen ihrer wesentlichen Vorzüge in der Möglichkeit, durch das simultane Übersehen großer Regionen Zusammenhänge zu erkennen. Der Informationszuwachs, das Mehr an Information, entsteht durch die Synthese verschiedener Sinneseindrücke im Wahrnehmungsprozess (SCHEURLE 1984, LUTZKER 1996, S. 20, GOLDSTEIN 1997, S. 234). Aus verschiedenen Sinnesreizen wie Farbe, Form, Kontrast, Bewegung, werden im Kontext der Erfahrungen und Erwartungen des Interpretenden Zusammenhänge gebildet. Sind die Zusammenhänge definitiv zu Stande gekommen, rot und rund und süß ist Apfel, oder entstehen die Zusammenhänge spontan aus dem jeweiligen Kontext?

Anschauliches Beispiel für die Fusion verschiedener Sinnesreize zu einem Bewusstseinsgebilde ist die Bildung des Raumeindrucks aus den okulomotorischen, monokularen, bewegungsinduzierten Tiefenkriterien und der Querdisparation (GOLDSTEIN 1997, S. 215–234). Die Wahrnehmung einer Anspannung durch Akkomodation und Konvergenz, die visuelle Empfindung und die Empfindung der Bewegung sind

ganz unterschiedliche, sich gegenseitig ergänzende Empfindungen, die zum Raumeindruck beitragen. Für die räumliche Wahrnehmung weiter entfernter Objekte ist das stereoskopische Sehen nicht zwingend erforderlich, denn der Raumeindruck emergiert aus dem Wirkungsgefüge vieler Sinneserfahrungen (Abb. 2). Der Gesamteindruck weist eine in den einzelnen, komplementären (!) Sinnesreizen nicht vorhandene, neue Qualität auf, was als Emergenz angesehen werden könnte. Gemeinhin als „Sinnestäuschung“ bekannte Effekte könnten als Beispiele für die Fähigkeit, aus Teilen ein Ganzes zu bilden, dass die Teile subordiniert, herangezogen werden: Umkehrbilder, amodale Ergänzungen, geometrische Größentäuschungen usw.: „Ursache der Täuschung ist die Einordnung des der Täuschung unterliegenden Teiles in den figuralen Zusammenhang, der die Wahrnehmung des Ganzen bestimmt.“ (DORSCH 1987). Die Unterordnung der Teile unter die Gesamtgestalt erfolgt nicht nur über die verschiedenen Sinnesmodalitäten, sondern ermöglicht auch die Bildung einer ganzheitlichen Zeitgestalt über nacheinander gewonnene Erfahrungen. Ein entsprechendes, fälschlicherweise bislang als Täuschung bezeichnetes Phäno-

**Abb. 2:** Entstehung des Raumeindrucks. Der Raumeindruck emergiert aus einer Vielzahl von Sinnesanregungen.

men sind die Nachbilder. Die von den einzelnen Sinnesmodalitäten erfassten Teilspekte werden synergetisch zu einem Gesamteindruck fusioniert, während dieser Gesamteindruck die einzelnen Sinnesreize bestimmt, ganz analog dem oben beschriebenen Selbstorganisationsprinzip.

Ein weiteres gemeinsames Merkmal von Natur und Wahrnehmung ist die Prozesshaftigkeit, wie leicht an einer ausdauernden Beobachtung einer Farbfläche erfahren werden kann. Solange es gelingt, die Sinne für die Wahrnehmung offen zu halten, bleibt der Wahrnehmungsprozess im Fluss, das Erlebnis der Farbe ändert sich. Erst das definierende Urteil stoppt das Wirken der Wirklichkeit auf die Sinne, abstrahiert aus dem Prozess ein statisches Gebilde. Wahrnehmen und Erkennen der Wirklichkeit ist immer bewegliche Erfahrung und urteilendes Anhalten dieser Bewegung. Die psychischen Einzelvorgänge sind gleichzeitig gegenseitig abhängig wie sie wechselseitig aufeinander einwirken. Prozess und Ergebnis der Wahrnehmung sind eine Ganzheit, die nicht als Synthese unabhängig und nacheinander ablaufender Teilprozesse erklärt werden kann. Wie die Erscheinungen der Natur fortwährend verändert werden, wie durch chaotische Funktionen ständig variierende Formen generiert werden (LORENZEN 1999), ist auch der Wahrnehmungseindruck in fort-dauernder Bewegung.

### Zusammenfassung des Bisherigen

- Erstens. Eigenschaften und Verhaltensweisen natürlicher Systeme emergieren aus einem Netzwerk dynamischer Wechselwirkungen. Das Systemganze koordiniert die als Teile vorgestellten Subsysteme. Die Fähigkeit, Strukturen hervorzu-bringen, ist entscheidend für den Erhalt unserer Lebensgrundlagen.
- Zweitens. Die in der rechnergestützten Geoinformatik gewonnenen Informationen können als Kurzform der Daten und ihrer mathematischen Verbindungen angesehen werden. Sie beziehen sich auf Zustände und Differenzen zwischen den Zuständen. Emergenz und Selbstorganisa-

tion spielen in der Geoinformatik bislang keine Rolle.

- Drittens: Die Eigenschaft der Selbstorganisation, fortwährend variierende Strukturen hervorzu-bringen, kann mathematisch in Form rückgekoppelter diskreter dynamischer Systeme modelliert simuliert werden.
- Viertens: Im Wahrnehmungsprozess entstehen Bewusstseinsinhalte, die über die Eigenschaften einzelner Sinnesmodalitäten hinausgehen und ihrerseits die Wahrnehmung steuern.

Natur, Wahrnehmung und die Anwendung spezieller mathematischer Funktionen korrespondieren hinsichtlich des Vermögens, ständig variierende Formen hervorzu-bringen. Die rechnergestützte Auswertung von Fernerkundungsdaten und die georäumliche Analyse mit Geoinformationssystemen beziehen sich demgegenüber auf statische Zustände. Im Folgenden werden einige Thesen abgeleitet, um die Diskussion der Erfassung geobezogener systemischer Eigenschaften voranzubringen.

## 4 Diskussion

*a) Die Emergenztheorie ist eine geeignete Hypothese zur Erklärung systemischer Eigenschaften.*

Trotz gängiger Fallbeispiele ist das Konzept der Emergenz nicht unumstritten. Auf die wichtigsten Einwände soll hier eingegangen werden. MÜLLER et al. (1997a) heben als berechtigten Zweifel besonders die Nichtvorhersagbarkeit emergierender Eigenschaften hervor: „Wenn wir die Emergenz emergenter Eigenschaften nicht erklären können, was anders ist sie dann als die Summe der Mechanismen, die die Wissenschaft zum Zeitpunkt der Beschreibung noch nicht verstanden hat? Existiert das [von Technikern schon immer bezweifelte – R. D.] ‚Mehr‘ gegenüber der Summe der Teile tatsächlich, oder symbolisiert es nur eine große Wissenslücke?“ Beides möchte ich mit ja beantworten. Zum einen gibt es nicht nur diese oder jene Eigenschaft, die erst aus dem Zusammenwirken hervorgeht, sondern alle

Eigenschaften resultieren aus – besser: sind – Beziehungen: Die Empfindung der Farbe Grün ist Erfahrung der Beziehung zwischen dem Gegenstand und dem Beobachter, die mit einem Spannungsmesser gemessenen 23 V drücken die Beziehung zwischen Proband und Messgerät aus. Alles, was wir von den Dingen wissen, sind Beziehungen. Zum anderen wissen wir in der Tat von keiner einzigen Eigenschaft eines natürlichen Phänomens vollständig, wie sie zustandekommt. Weder wie aus der Mischung von Blau und Gelb die Farbe Grün entsteht, noch ist bekannt, wie sonst eine natürliche Eigenschaft aus den Wechselwirkungen hervorgeht. Als Ersatz für den unverstandenen Wechsel von Qualitäten setzen wir Definitionen und bilden Modellvorstellungen, wie unter Annahme von Kausalbeziehungen, der Zerlegbarkeit des Wechselwirkungsnetzes und vieler weiterer Voraussetzungen ähnliche Eigenschaften gebildet werden können. Im Laufe der Wissenschaftsgeschichte können nun nach und nach immer mehr natürliche Eigenschaften technisch simuliert werden, beispielsweise das Erhalten eines Fließgleichgewichtes oder die Entstehung des Musters einer Schneckenschale (MEINHARDT 1997) als emergierende Eigenschaft rückgekoppelter Wechselwirkungsgeflechte. Aber auch dann, wenn ein Teilaspekt eines natürlichen Systems erfolgreich virtuell oder technisch simuliert werden kann, erklärt die gelungene Simulation als solche nicht die ursprüngliche Realisierung des natürlichen Systems, es bleibt eine Modellvorstellung. Die emergenten Eigenschaften, die heute noch nicht simuliert werden können, sind aus Sicht des Technikers noch bestehende Wissenslücken. Einige konnten durch die Entdeckungen dissipativer Strukturen, die Entwicklung der Chaostheorie, die Theorie selbstorganisierender Strukturen, durch die Kybernetik u. a. in den letzten Jahrzehnten geschlossen werden.

Die Emergenztheorie schließt eine anders nicht überbrückbare Lücke, wenn die Wirklichkeit als ein aus Teilen zusammengesetztes Ganzes erklärt oder technisch simuliert werden soll, da die Wirklichkeit Eigenschaften zeigt, die über die Eigenschaften der

Teile hinausgehen: Selbstorganisation, Entstehung biologischer Muster, Fortentwicklung, Fließgleichgewichte, Zustände jenseits vollständiger Entropie usw.

*b) Nur quantitative Eigenschaften sind analysierbar. Systemische Eigenschaften sind nicht analysierbar.*

Durch Quantifizierung werden Merkmale, wie Gewichte, Häufigkeiten, Maße, bestimmt, deren mathematische Verknüpfung im Prozess der Auswertung von Fernerkundungsdaten oder der Geoinformatik zu neuen Erkenntnissen führt. Die quantitativen Eigenschaften eines technischen Systems können aus den Eigenschaften der Teile und den Beziehungen ihres Zusammenwirkens a priori bestimmt werden. In dieser Kategorie von zählbaren, additiven Eigenschaften entspricht das Ganze genau der Summe der Teile (MÜLLER et al. 1997a). Eine andere Gruppe bilden Eigenschaften, die erst aus dem Zusammenwirken der Teile entstehen, sie sind nicht analysierbar. Eine Melodie ist ebenso wenig in Töne zerlegbar, wie ein Lebewesen in seine Organe, eine Landschaft in Elemente oder eine Uhr in Teile. Wird ein System in seine Elemente oder Subsysteme zerlegt, so verliert es unwiederbringlich die spezifische Qualität seines Ordnungsniveaus.

Die in zahlreichen Wissensgebieten akzeptierte Auffassung von systemischen Eigenschaften stellt den reduktionistischen Standpunkt insgesamt in Frage, nach dem ein System umso besser erklärt werden kann, je mehr es zerlegt und seine einzelnen Bestandteile untersucht werden. Die hinlänglich bekannten Grenzen der Modellierung folgen demnach nicht nur aus der begrenzten Messgenauigkeit und der Unvollkommenheit der Daten, sondern auch aus dem Systemcharakter.

*c) Qualitative Forschung*

Messung und Erfahrung haben unterschiedliche Gültigkeiten und Berechtigungen. Die Messung erschließt die „Wirklichkeit“ mit dem Ziel ihrer technischen Simulierbarkeit und Nutzbarkeit. Die Wahrnehmung bildet mit ihrer Fähigkeit, die „Wirklichkeit“ in



ihrer Totalität und voraussetzungs frei zu erfahren, Grundlage und Gültigkeitskriterium der Naturwissenschaft. Erkundung der Natur und Suche nach ihrer technischen Nutzbarkeit verlangen unterschiedliche Arbeitsweisen. Die Erkundung von Eigenschaften, die aus einem Beziehungsgeflecht entstehen, das sich selbst auch beeinflusst, erfordert eine ergebnisoffene, voraussetzungs freie Beobachtung der Natur in ihren realen, d. h. insbesondere in nicht auf Laborbedingungen reduzierten Wirkungszusammenhängen, nennen wir sie „qualitative Forschung“.

#### *d) Neuausrichtung der Visualisierung von Geodaten*

Aufbereitung für visuelle Interpretation von Fernerkundungsdaten orientiert sich an den besonderen Eigenschaften des menschlichen Auges bei der Reizaufnahme aus zweidimensionalen Bildern und beschränkt sich auf die Ableitung von formalisierbaren, speziellen thematischen Aspekten zugeordneten Interpretationsmerkmalen (SÖLLNER 1982).

Wenn sich das Interpretationsziel ändert, weg von einer Zuordnung einer Kurzbezeichnung für eine bestimmte Kombination möglichst messbarer und vergleichbarer Interpretationsmerkmale, hin zur Bildung eines möglichst wirklichkeitsnahen Verständnisses bisher unverstandener Phänomene, heißt „interpretationsgerecht“ Visualisierung verschiedener, auch komplementärer oder gegenseitig ausschließender Sichten des Untersuchungsgegenstandes. Jede dieser Sichten trägt zur Vervollständigung des Gesamtbildes bei, bisherige „Sinnestäuschungen“ werden als Unterschiede zwischen Ganzem und Teil interpretiert.

## 5 Ausblick

Die technische Vorstellung der Welt ist die einer aus Teilen zusammengesetzten. Nicht zuletzt wegen der immensen Erfolge der Technik neigen wir dazu, die Natur auch als aus Teilen zusammengesetzt vorzustellen. Die systemischen Eigenschaften lehren uns, dass das Ganze Eigenschaften hat, die in den

Subsystemen und den Beziehungen zwischen ihnen nicht gefunden werden können. Akzeptieren wir, dass alle Eigenschaften der Wirklichkeit aus dem grenzenlosen Wechselwirkungsgeflecht von allem mit allem hervorgehen, die Vorstellung abteilbarer Teile allein dem menschlichen Denken geschuldet ist, die in der Wirklichkeit keine Entsprechung hat, wird eine Emergenztheorie nicht für das Verstehen der Wirklichkeit notwendig, sondern für die technische Nachbildung der Natur. Die emergierenden systemischen Eigenschaften schließen die Lücke zwischen dem Ganzen und der technischen Summe der Teile. Solange Modellierung und Simulation von Geophänomenen zu den Aufgaben der Geoinformatik gehören, brauchen wir eine Emergenztheorie, die jene Eigenschaften erklärt, die aus den Wechselwirkungen zwischen ihnen emergieren.

Das Wissen, dass jede Isolation eines Teilaspektes mit einem Verlust an Wirklichkeit einhergeht, wird emergente Eigenschaften auch bei der Synthese anderer, für das logische Denken notwendiger Untergliederungen offenbaren. Sollten emergierende Systemeigenschaften technisch nachgemacht werden können, könnte dieses Wissen vielleicht auch genutzt werden, um in einer Erweiterung der Geoinformatik aus zeitlichen und örtlichen Größen Eigenschaften der Raumzeit emergieren zu lassen.

Die sinnliche Erfahrung ist total, ganzheitlich, fließend. Logisches, rationales, technisches Denken ist diskret, auf isolierte Zustände bezogen. Jeder Schritt, der die technische Simulation systemischer Eigenschaften voranbringt, rückt die technische Sicht der Welt dichter an die erfahrene Wirklichkeit.

## 6 Literatur

- BENEDIKTSSON, J. & LANDGREBE, D.A., 1999: Introduction to Special Issue on Data Fusion. – *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 37 (1999) 3: S. 1187f.
- DORSCH, F., HÄCHER, H. & STAPF, K.H. (Hrsg.), 1987: *Psychologisches Wörterbuch*. – 11. erg. Aufl., 922 S., Bern/Stuttgart.

- FRÄNZLE, MÜLLER & SCHRÖDER, 1997: Handbuch der Umweltwissenschaften. Grundlagen und Anwendungen der Ökosystemforschung. – Landsberg am Lech (ab 1997).
- GOLDSTEIN, E. B., 1997: Wahrnehmungspsychologie: Eine Einführung. – 650 S., Spektrum, Heidelberg.
- LORENZEN, S., 1997a: Das Selektionsprinzip universell gültig als Naturgesetz – von der Evolutionstheorie zur Allgemeinen Selbstorganisationstheorie. – HBU Kap. III-2.2
- LORENZEN, S., 1999: Der Antagonismus von positiven und negativen Rückkopplungen in der abstrakten und natürlichen Welt – die Rolle von Fraktalen, dynamischem Chaos und Selbstorganisation in der interdisziplinären Forschung. – HBU Kap. 1.7, 5. Erg. Lfg. 11/1999.
- LUTZKER, P., 1996: Der Sprachsinn: Sprachwahrnehmung und Sinnesvorgang. – 325 S., Freies Geistesleben (Logoi; 12), Stuttgart.
- MEINHARDT, H., 1997: Wie Schnecken sich in Schale werfen. Muster tropischer Meeresschnecken als dynamische Systeme. – Dt. Aufl., 252 S., Springer, Heidelberg.
- MÜLLER, F., BRECKLING, M., BREDEMEIER, V. et al. (1997a): Emergente Ökosystemeigenschaften. – HBU Kap. I.III-2.5.
- MÜLLER, F., BRECKLING, M., BREDEMEIER, V. et al. (1997b): Ökosystemare Selbstorganisation. – HBU Kap. III-2.4.
- POHL, C., 1996: Geometric Aspects of Multi-sensor Image Fusion für Topographic Map Upgrading in the Humid Tropics. – Wiss. Arb. Fachrichtung Vermessungswesen der Universität Hannover. Nr. 214.
- POHL, C. & VAN GENDEREN, J. L., 1998: Multisensor image fusion in remote sensing: concepts, methods and applications. – Internat. Journal Remote Sensing **19** (5): 823–854.
- SCHOURLE, H. J., 1984: Die Gesamtsinnesorganisation. – 2. Aufl., 192 S., Georg Thieme, Stuttgart.
- SÖLLNER, R., 1982: Untersuchungen zur interpretationsgerechten Aufbereitung von Multispektralfotografien. – 85 S. + Anlagen, Zentralinstitut für Physik der Erde. Potsdam.
- WALD, L., 1999: Some Terms of Reference in Data Fusion. – IEEE TGR 37 (1999) 3: 1190–1193.
- WALD, L., 2000: The present achievements of the EARSeL-SIG ‚Data Fusion‘. – In: BUCHROITHNER, M. F.: A Decade of Trans-European Remote Sensing Cooperation. – S. 263–266, Lisse/Abingdon/Exton.

Anschrift des Autors:

Dr.-Ing. RALF DONNER, Institut für Markscheidewesen und Geodäsie an der Bergakademie Freiberg, Agricolastraße 1, D-09599 Freiberg.  
Tel.: 03731-39 35 55, Fax: 03731-39 36 01  
e-mail: Ralf.Donner@tu-freiberg.de

Manuskript eingereicht: Mai 2002  
Angenommen: Juni 2002

## Zur Orthophoto-Terminologie

KARL KRAUS, Wien

Im Heft 4 (2002) dieser Zeitschrift wurden an exponierter Stelle Bemerkungen zum Thema „True Orthoimage“ von Dr. W. MAYR veröffentlicht. Der Beitrag ist sehr klar formuliert und mit ausgezeichneten Beispielen ergänzt. Die dabei benutzte Terminologie, die über die Veröffentlichung von Dr. MAYR hinaus verhältnismäßig weit verbreitet ist, soll im Folgenden zur Diskussion<sup>1</sup> gestellt werden.

An die Stelle des Begriffes Orthophoto ist in der zitierten Veröffentlichung das Orthobild getreten. Die Luftaufnahmen, aus denen die Orthophotos entstehen, werden von **Photonen** der elektromagnetischen Strahlung erzeugt. Für den Benutzer des Endproduktes ist es zweitrangig, ob diese Photonen mit dem **photographischen** Effekt (analog) oder mit dem **photoelektrischen** Effekt (digital) aufgezeichnet werden. Ob die Geometrie einer Luftaufnahme – mit welcher Methode auch immer – verändert wird, ist ebenfalls zweitrangig. Der Bildinhalt wird davon nämlich nicht betroffen; er wurde – wie bereits erwähnt – von den Photonen der elektromagnetischen Strahlung geprägt. Es ist daher nicht einsichtig, warum die treffende Bezeichnung Ortho**photo** durch die zwar allgemeinere, aber weniger aussagekräftige Bezeichnung Orthobild ersetzt werden soll. Das „Orthobild“ hat den wesentlichen Bezug zur **Photo**-Textur verloren.

In der zitierten MAYRSchen Veröffentlichung werden dem Orthobild Adjektive wie „true“, „richtig“, „ehrlich“, „wahr“ und

„wahrlich 100%“ vorangestellt. Ortho kommt aus dem Griechischen und bedeutet – laut DUDEN (2000) – „gerade“, „aufrecht“, „richtig“, „recht“. Die MAYRSchen Adjektive zum Orthophoto sind also „Weiße Schimmel“, und daher – überspitzt formuliert – entbehrlich. Ein Orthophoto ist nämlich ein „richtiges Photo“: Da das Orthophoto – in geometrischer Hinsicht – wie eine Karte benutzt werden soll, ist das Axiom der Karte auch das Axiom des Orthophotos, d.h. eine orthogonale Projektion der dreidimensionalen natürlichen und künstlichen Landschaft auf eine horizontale (Grundriss-)Ebene. Ein Orthophoto hat demnach an jeder Stelle den gleichen Maßstab.

Der erste Teil des Wortes Orthophoto hat also zwei Bedeutungen, die eine drückt die Richtigkeit des Endproduktes und die andere den orthogonalen Abbildungsvorgang aus. Für die photogrammetrische Technik ist die zweite Wurzel die wichtigere; für unsere Nachbardisziplinen, für die das Orthophoto ein immer beliebteres Produkt wird, ist die erste Wurzel ausschlaggebend. Die gegenwärtig verbreitete Technik zur Herstellung von Orthophotos liefert allerdings keine Orthophotos bei strenger Auslegung des oben erwähnten Axioms.

Ihre (geometrische) Qualität könnte durch folgende Zusätze definiert werden:

- *Orthophoto hergestellt mit einem digitalen Geländemodell (DGM)*. Nur jene Bereiche sind geometrisch richtig, die auf der Geländeoberfläche liegen, also nur die (sichtbaren) Schnittlinien der vertikalen Gebäudewände mit dem DGM und nicht die Dächer; Entsprechendes gilt für Brücken, Vegetation, etc. Ein solches Orthophoto könnte man mit **DGM-Orthophoto** bezeichnen. Diese Bezeichnung brächte zum Ausdruck, dass die Photo-Textur auf das

<sup>1</sup> Dabei wird die historische Entwicklung der Orthophoto- und Entzerrungstechnik mehr oder weniger ignoriert. Es wird vielmehr eine Terminologie in den Mittelpunkt gestellt, die den Erwartungen der Benutzer der photogrammetrischen Produkte entspricht.

DGM übertragen und in die Grundriss-ebene abgebildet wurde.

- *Orthophoto hergestellt mit einem digitalen Oberflächenmodell (DOM)*. Grundsätzlich ist die gesamte natürliche und künstliche Landschaft geometrisch richtig (insbesondere für sehr große Maßstäbe wird dieser Wunsch – man denke an einzelne Bäume – nie erfüllbar sein). Ein solches Orthophoto könnte man mit **DOM-Orthophoto** bezeichnen.
- *Orthophoto hergestellt mit einem DGM und einem Gebäudemodell*. Solche Orthophotos sind eine Annäherung an die DOM-Orthophotos. Zusätzlich zu den Geländebereichen sind auch jene Bereiche geometrisch richtig, die vom Gebäudemodell erfasst sind. Gebäudedetails außerhalb des Gebäudemodelles (z. B. Schornsteine), Vegetation, etc. sind nach wie vor verfälscht wiedergegeben. Ein sehr gutes Qualitätsdokument für solche Orthophotos ist das visualisierte Gelände- und Gebäudemodell als Zusatzprodukt zum Orthophoto.

Noch eine Bemerkung zur **Mosaikierung**: Für ein vollständiges Orthophoto eines Interessensgebietes benötigt man mehrere Orthophotos aus überlappenden Luftaufnahmen von verschiedenen Aufnahmeorten. Auch wenn vier verschiedene Aufnahmen zur Verfügung stehen, muss man mehr oder weniger kleine Lücken akzeptieren. Diese Lücken kann und sollte man mit einer Sichtbarkeitskarte dokumentieren.

Zum Schluss soll gesagt werden, dass Terminologie zwar wichtig ist; wichtiger sind aber Methoden und Arbeitsprozesse, die zu Orthophotos mit hohen Qualitätsansprüchen führen. Dr. MAYR hat dazu einen wichtigen Beitrag geleistet.

Anschrift des Verfassers:

Prof. Dr. Karl Kraus, TU Wien,  
Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung  
Gusshausstrasse 27-29, A-1040 Wien,  
e-mail: [kk@ipf.tuwien.ac.at](mailto:kk@ipf.tuwien.ac.at),  
<http://www.ipf.tuwien.ac.at/>

## Berichte

### **ISPRS Technical Commission II Symposium vom 20. bis 23. August 2002 in Xi'an, China**

Das ISPRS Symposium der Kommission II, veranstaltet von der chinesischen Gesellschaft für Geodäsie, Photogrammetrie und Kartographie sowie vom State Bureau of Surveying and Mapping of China, fand im historisch geprägten Xi'an, einer der ältesten chinesischen Städte, statt. Von den 150 Teilnehmern aus 18 Ländern kamen 80 von außerhalb Chinas und davon immerhin 10 aus Deutschland. Insgesamt wurden von 160 angemeldeten Beiträgen 119 vorgetragen, davon 67 aus China.

Nach einer feierlichen Eröffnung durch den Kommissionspräsidenten Prof. CHEN JUN mit hochrangigen Gastreden, u. a. durch den Vizeminister für Wissenschaft und Technologie der Volksrepublik China, schloss sich der erste Tag des Symposiums mit Plenarveranstaltungen an. Dazu gehörten 2 *Invited papers*, vorgetragen von Prof. SHUNJI MURAI, der die Entwicklung der fachbezogenen Technologie von der Vergangenheit bis hin in die Zukunft umriss, sowie von Prof. CHRISTIAN HEIPKE über Anforderungen an moderne Geographische Informationssysteme. Im Anschluss daran trugen die Arbeitsgruppenleiter zu den in ihren Fachgebieten verfolgten Themenbereichen vor, wobei der gegenwärtige Arbeitsstand mehr hätte hervorgehoben werden können. Das wurde dann aber in den 14 Technischen Sitzungen und zwei Workshops zum Thema „*Geospatial Systems for Transportation-Related applications: Technology Showcase*“ und „*Standardization and ISPRS*“ nachgeholt. Daneben wurden in 4 Postersitzungen 16 Beiträge vorgestellt. Den *Young Authors Award* für das beste Paper nahm M. CROSETTO für den mit 3 Co-Autoren verfassten Beitrag: „*Modelling and Analysis Tools for Interferometric SAR Observations*“ entgegen. Den *Best Poster Award* erhielten XIRAN

CHENG und JIANQING ZHANG für das Poster: „*Semi-Automatic Extraction of Houses with Multi Right Angles from Aerial Images*“ und SHIXIN WANG gemeinsam mit 3 Co-Autoren für das Poster: „*The Development and the application of normal Water Extent Database for Flood monitoring using Remote sensing*“. Alle Beiträge sind sowohl auf CD als auch im Band XXXIV, Part 2 der Kommission II der ISPRS veröffentlicht.

Das Symposium wurde begleitet von einer Technischen Ausstellung, an der neben dem National Geomatics Center of China sowie dem Shaanxi Bureau of Surveying and Mapping (SHASM) auch 9 chinesische Firmen mit Angeboten aus dem Bereich Fernerkundungsdatenvertrieb, chinesischer photogrammetrischer Arbeitsstationen (z. B. JX – 4, Imatizer 2304 u. a.) und GIS vertreten waren.

Parallel zum Symposium bestand die Möglichkeit, an zwei technischen Exkursionen zum SHASM in Xi'an, die wohl die größte regionale Produktionsstätte des Vermessungswesens Chinas (über 2000 Beschäftigte) mit höchst moderner Technik darstellt, sowohl was photogrammetrische Datenverarbeitung, Kartenherstellung (1 : 4 Mio. bis 1 : 10 000) als auch GIS und 3D Visualisierung betrifft. Neben den erwähnten technischen Ausflügen bestand selbstverständlich auch die Möglichkeit zur kulturhistorischen Weiterbildung z. B. bei Besichtigungen der alten Bauwerke und Museen in Xi'an selbst, aber auch im Umland, wie bei den weltberühmten Terrakotta Soldaten und Pferden, deren Ausgrabung längst noch nicht abgeschlossen ist. Die Abende waren mit gesellschaftlichen Veranstaltungen gefüllt, bei denen chinesische Musik und Tanz, aber auch das Verkosten der schmackhaften chinesischen Küche auf dem Programm stand.

Anlässlich der Abschlussveranstaltung wurde von Prof. CHEN JUN verkündet, dass China sich im Jahr 2008 um den internatio-

nenalen Kongress der ISPRS in Beijing beworben wird, was von den Teilnehmern in Anerkennung des hohen technischen Standes Chinas aber auch eines erstklassig organisierten Symposiums begrüßt wurde. Prof. I. DOWMAN, Generalsekretär der ISPRS, fasste seinen Eindruck vom Symposium darin zusammen, dass die Arbeiten zur Objektextraktion aus Bildern nicht nur auf vollautomatische Verfahren beruhen, Qualität eine immer wichtigere Rolle spielt und Interoperabilität zunehmend gefragt ist. Besonders hervorzuheben sind auch eine stärkere Zusammenarbeit zwischen der ISPRS und Organisationen wie CEOS. Trends, die auch bei diesem Symposium sichtbar wurden, bestehen in der zunehmend wichtiger werdenden Rolle von Radar- und Lidarsensoren und wenigen Beiträgen zu digitalen photogrammetrischen Arbeitsstationen, da sie zunehmend bereits in der Produktion verwendet werden (siehe auch Besuch beim SHASM). Die Arbeiten im GIS Bereich sind derzeit überwiegend durch Visualisierungs- und Kartenproduktionsfragen geprägt. Ein weiterer Trend, der von DOWMAN gesehen wird, ist die zunehmende Akzeptanz der Nutzer in der Verwendung der neuen hochauflösenden Satellitendaten. Er schließt seine Beobachtungen mit dem Wunsch einer stärkeren Integration kommerzieller Organisationen in die Arbeiten der ISPRS.

Mit einer Vorstellung der Lokalitäten des nächsten internationalen Kongresses in Istanbul 2004 durch Prof. ALTAN und dem Dank an alle Mitarbeiter, die diesem Symposium zum Erfolg verholfen haben, wurde die Veranstaltung durch Prof. CHEN JUN geschlossen.

PETER LOHMANN, Hannover

### **Gemeinsames Symposium von ISPRS Kommission IV, SDH und CIG: Geospatial Theory, Processing and Applications vom 8. bis 12. Juli in Ottawa, Kanada**

Das Symposium der Kommission IV fand in diesem Jahr zusammen mit der Spatial

Data Handling (SDH) Konferenz, sowie der 95. Jahreskonferenz des Kanadischen Instituts für Geomatik statt.

Dieses gemeinsame Symposium führte Forscher aus der ganzen Welt sowie aus unterschiedlichen Disziplinen zusammen, die sich mit raumbezogener Datenverarbeitung beschäftigen, und bot damit die Möglichkeit, Ideen auszutauschen, sowie Forschungsergebnisse zu präsentieren. Gerade die Kombination der ISPRS Konferenz mit der SDH führte hierbei zu sehr guten und wichtigen Synergien: die Kombination wurde erreicht, indem Sitzungen mit gemeinsamen Themen veranstaltet wurden. Insgesamt zählte die Veranstaltung 500 Teilnehmer aus 35 Ländern.

Für das ISPRS-Symposium wurden insgesamt 154 Beiträge eingereicht, von denen etwa 100 zum Vortrag kamen. Alle Beiträge sind sowohl als CD-ROM als auch in gedruckter Form verfügbar. Vor der Veranstaltung fanden Workshops und Tutorien statt, die sich folgenden Themen widmeten: ein zweitägiger Workshop über multiskalige Repräsentationen raumbezogener Daten wurde von der ISPRS Arbeitsgruppe IV/3 gemeinsam mit der Kommission „Generalisierung“ der Internationalen Kartographischen Gesellschaft veranstaltet. Sie führte etwa 40 Forscher aus den Bereichen Generalisierung, Bildverarbeitung und Oberflächenvisualisierung zusammen. Die Workshopbeiträge sind auf folgender Web-Seite verfügbar: <http://www.ikg.uni-hannover.de/isprs>. Weiter wurden Tutorien zu den Themen „Semi-structured Data and XML in Geographic Data Modelling and Handling“ (Dr. E. STEFANAKIS), „Digital Elevation Models from LIDAR and IFSAR Data“ (von SCOTT PATERSON, PAUL MRSTIK, LORRAINE TIGHE) und „Web Mapping, On-Line Geo-Processing and Location Based Services“ (Dr. VINCENT TAO) durchgeführt.

Bezogen auf die Schwerpunkte der Arbeitsgruppen von Kommission IV wurden in den Vorträgen und Postern folgende Themen behandelt: Die Datenmodellierung konzentriert sich neben räumlichen und zeitlichen Modellen immer stärker auch auf



die 3. Dimension. Neben konzeptionellen Modellen, finden diese speziell Anwendung in der Gebäudemodellierung, speziell der 3D-Visualisierung und -Navigation. Einige Arbeiten zur Generalisierung von 3D-Gebäudedaten wurden vorgestellt. Im Bereich der Generalisierung standen Real-Time Anwendungen im Vordergrund, etwa für eine Darstellung von Umgebungsinformation auf kleinen mobilen Displays: automatische Ableitung von so genannten „location maps“, welche primär Landmarken mit hohem Wiedererkennungseffekt darstellen, bzw. eine Darstellung der Umgebung mittels Polyfokaler Projektion wurden vorgestellt. Multiskalen-Datenanalyse wird für hierarchische Segmentierung eingesetzt. Weiterhin wurden Ansätze vorgestellt, Video-Datenbanken anzulegen, die über intelligente Abfragesysteme zugänglich gemacht werden können.

Im Bereich der Landschaftsmodellierung wurden Anwendungen wie Vegetationsuntersuchungen, Navigation und speziell Tourismus vorgestellt. Eine wichtige Komponente hierbei stellt das DGM dar. Methoden zu dessen Ableitung mittels Bildverarbeitungstechniken sowie aus SRTM Daten wurden präsentiert.

Die Verbreitung der Daten in föderierten Datenbanken gewinnt zunehmend an Bedeutung. Es wird angestrebt, einen online-Zugriff auf die Daten zu ermöglichen, bis hin zu einer Übertragung und Darstellung auf mobilen Kleincomputern. Dieser themen- und Länder übergreifende Zugriff auf verteilte Datenbestände erfordert eine Homogenisierung der Daten – speziell auch die Analyse und Integration semantisch heterogener Daten. Ein großes Thema in diesem Zusammenhang sind Location Based Services.

Verfahren zur geometrischen Modellierung hoch auflösender Satellitendaten von Quickbird, IKONOS und EROS-A wurden präsentiert. Weiterhin wurden Verfahren zur Fusion von Bilddaten speziell mit Laserdaten vorgestellt.

Im Bereich der Globalen Umweltdatenbanken wurden einige Anwendungen präsentiert, speziell Flutrisikoanalyse, Standortwahl, sowie die Berechnung von Umweltsensitivitätsindizes.

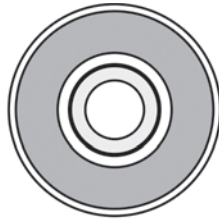
In der Arbeitsgruppe „Extraterrestrial Mapping“ stand der Planet Mars im Vordergrund: ein neues Koordinatensystem wurde definiert, die Erzeugung von Orthophotos, sowie die Bestimmung von Landepositionen für mobile Erkundungsfahrzeuge, sowie hoch auflösende topographische Kartierung wurden vorgestellt.

In der Abschlussitzung wurde eine Reihe von Preisen verliehen. Der bedeutendste – der Preis für die beste Arbeit eines jungen Autoren – ging an Dipl.-Inform. MARTIN KADA von der Universität Stuttgart für seine Arbeit im Bereich der automatischen Gebäudegeneralisierung.

Die Integration des Symposiums der ISPRS Kommission IV und der SDH machte deutlich, dass es eine Reihe gemeinsamer Forschungsthemen gibt, die in einer solchen Veranstaltung sinnvoll und gewinnbringend kombiniert werden können. Die ISPRS könnte von der SDH etwas bezogen auf den Review-Prozess der eingereichten Beiträge lernen. Während der Veranstaltung fand eine Diskussion zur möglichen Neugestaltung der ISPRS-Kommissionen statt, welche in dieser Periode bis zum Kongress in Istanbul auch auf allen weiteren Kommissionssymposien durchgeführt wird. Diese Neuordnung wird auch dazu beitragen, dass das Profil der Kommission IV weiter geschärft werden wird.

Als Fazit kann konstatiert werden, dass die Zusammenlegung der beiden Veranstaltungen, die traditionell ihr jeweils spezifisches Publikum haben, sehr erfolgreich war. Den Organisatoren – COSTAS ARMENAKIS, DIANNE RICHARDSON und TOM HEBERT – gebührt ein großer Dank und ein Kompliment, dieses Experiment gewagt zu haben.

MONIKA SESTER, Hannover  
COSTAS ARMENAKIS, Ottawa



## RUNDER TISCH GIS e.V.

### Förderpreis Geoinformatik des Runden Tisch GIS e.V.

Bestimmungen über die Verleihung des Förderpreises Geoinformatik des Runden Tisch GIS e.V.

Der Runde Tisch Geoinformationssysteme e.V. verleiht im Rahmen des jährlich stattfindenden Münchner Fortbildungsseminars Geoinformationssysteme seinen Förderpreis. Mit dem Förderpreis wird jährlich eine herausragende Diplomarbeit oder Dissertation ausgezeichnet. Für die Auszeichnung kommen Arbeiten in Betracht, die im Umfeld der Geoinformatik angesiedelt sind. Der Förderpreis ist mit € 2.500,- dotiert.

*Die Arbeiten müssen folgende Bedingungen erfüllen:*

Der Schwerpunkt der Arbeit muss im Bereich der Geoinformatik angesiedelt sein. Es können Arbeiten eingereicht werden, die sich mit GIS-Technologie, GIS-Projekten oder GIS-Anwendungen beschäftigen.

Die Arbeit muss auf eigenen Erkenntnissen beruhen und der Erweiterung der Kenntnisse im Bereich der Geoinformatik dienen. Die Arbeit muss grundlegend neue Entwicklungen aus Forschung und Anwendung der GIS-Technologie enthalten oder andere wichtige Beiträge für die Entwicklung des Geoinformationmarktes liefern.

*Einzureichen sind:*

Eine formlose Bewerbung um den Förderpreis des Runden Tisch GIS e.V. mit Angabe

des Themas der Arbeit und ihrer Bewertung durch die Universität bzw. Fachhochschule. Ferner ein Exemplar der Arbeit mit Zusammenfassung sowie einem Kurzbericht mit einer allgemeinverständlichen, öffentlichkeitswirksamen Darstellung des betreffenden Forschungsprojektes.

*Teilnahmebedingungen:*

- Teilnehmen können alle Studenten, Absolventen und Mitarbeiter von Technischen Hochschulen, Universitäten und Fachhochschulen im deutschsprachigen Raum.
- Die Arbeit muss mit der Note „sehr gut“ bewertet sein.
- Eine Arbeit darf nur einmal eingereicht werden.

*Allgemeines:*

- Die Verleihung des Förderpreises an eine Arbeit, die von mehreren Personen verfasst wurde, ist nicht ausgeschlossen.
- Die Arbeiten sind in der Geschäftsstelle des Runden Tisch GIS e.V. einzureichen.
- Einsendeschluss ist jeweils der 30. November des laufenden Kalenderjahres.
- Der Abschluss der Arbeit darf bei der Einreichung nicht länger als 12 Monate zurückliegen.
- Der Rechtsweg ist ausgeschlossen.
- Weitere Informationen erteilt die Geschäftsstelle.

*Anschrift:*

Technische Universität München  
Geodätisches Institut, Fachgebiet Geoinformationssysteme  
Arcisstraße 21, D-80290 München  
Tel.: +49 89 2 89-2 28 57, Fax: 8 92 89-2 39 67  
e-mail: runder-tisch@bv.tum.de  
www.runder-tisch-gis.de  
Bearbeiter: Dr. Gabriele Aumarm

*Vorstand:*

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Matthäus Schilcher  
Bürgermeister Dieter Fischer  
Dipl.-Ing. Winfried Kopperschmidt  
Dr.-Ing. Johann Sachmann  
Dr.-Ing. Harald Stützer

## Hochschulnachrichten

### Universität Rostock

Von der Fakultät für Ingenieurwissenschaften der Universität Rostock wurde Dipl.-Geogr. **GÖRRES GRENZDÖRFFER** am 14.12.2001 zum Dr.-Ing. promoviert. Das Thema seiner Dissertation lautet „*Konzeption, Entwicklung und Erprobung eines Precision Farming integriertes flugzeug-getragenes Fernerkundungssystem (PFIFF)*“.

Gutachter waren Prof. Dr.-Ing. RALF BILL, Universität Rostock, Prof. Dr.-Ing. DIETER FRITSCH (Uni Stuttgart), Prof. Dr.-Ing. MANFRED EHLERS (Hochschule Vechta).

**Zusammenfassung:** Grundvoraussetzung für den Erfolg des Precision Farming ist es, die Heterogenität des Bodens und des Bestandes zu erfassen, um sie im Entscheidungsprozess zu berücksichtigen. Genau hier setzt die Fernerkundung an, denn durch den Blick aus der Vogelperspektive bekommt der Landwirt/Wissenschaftler detaillierte und aktuelle flächendeckende Informationen und ist in der Lage mit seinem Wissen entsprechend darauf zu reagieren. Der optimale Aufnahmezeitpunkt ist für die Dokumentation und Analyse der Bestandentwicklung von herausragender Bedeutung. Allerdings stellt der Witterungseinfluss für die Verwendung optischer Fernerkundungssensoren für Precision Farming-Fragestellungen ein nicht zu unterschätzendes Problem dar. Der Vergleich potenzieller Bildflugtermine für Flugzeuge und verfügbarer Satellitenszenen zeigt, dass die Einsatzmöglichkeiten mit flugzeuggestützten Systemen um ein mehrfaches höher sind als mit satellitengestützten Systemen. Digitale low-cost Fernerkundungssysteme, wie z. B. PFIFF sind im Hinblick auf den Aufnahmezeitraum, den Turn-around-Zeitraum, die Bodenauflösung, die Daten(vor)verarbeitung und die Zusatzinformationen als betriebliches Managementinstrument sowie zur Unterstützung teilflächenspezifischer Applikationen im offline-Verfahren prädes-

igniert. Zur Nutzung kleiner Sportflugzeuge mit einer Bodenluke als flexible Aufnahmeplattformen für den Bildflug ist ein GPS-gestütztes Bildflugmanagementsystem notwendig. Die wichtigsten entwickelten Komponenten sind die Bildflugplanung, die Bildflugnavigation, die automatische Bildauslösung sowie die Aufzeichnung der Parameter der äußeren Orientierung während des Bildflugs.

Bei einer Digitalkamera, die für den Bildflug verwendet werden soll, ist nicht nur die Größe eines CCD-Chips von Bedeutung, sondern auch viele andere Eigenschaften der Kamera, z. B. Bildfolgezeit, Massenspeicher, Previewoption, mechanische Stabilität, zeitliche Exzentrizität, Zuverlässigkeit und radiometrische Eigenschaften müssen berücksichtigt und gemessen werden, um aus einer handelsüblichen Kamera eine Teilmesskammer für den Bildflug machen zu können. Moderne hochauflösende Digitalkameras sind für den Bildflug bei entsprechender Kalibrierung als photogrammetrische Teilmesskammern verwendbar. Durch eine Testfeldkalibrierung sind die Parameter der inneren Orientierung der verwendeten Digitalkamera Rollei DSP 104 bestimmt worden. Dabei zeigte sich, dass der Bildhauptpunkt zwischen den Messungen auf Grund der geringen mechanischen Stabilität deutlich variiert, während die Radialverzerrung und die Kammerkonstante vergleichsweise konstant bleibt. Die Kamera verfügt über radiometrische Eigenschaften, die einer photographischen Aufnahme überlegen sind, wie die Untersuchungen der Linearität, der spektralen Charakteristika der RGB-Bandfilter und des Signal-Rausch-Verhältnisses ergeben haben.

Im Rahmen dieser Arbeit sind preiswerte Sensoren zur Registrierung der Lageparameter der äußeren Orientierung verwendet, kalibriert und erprobt worden, da hochwertige Inertialsysteme dem low-cost Gedan-

ken der Systementwicklung zuwider laufen. Die gemessenen Winkel sollen als Näherungs- bzw. Startwerte für eine automatische Bildzuordnung dienen. Im Einzelnen handelt es sich dabei um einen zweiachsigen Neigungssensor, der die an den jeweiligen Sensorachsen anfallenden Beschleunigungsanteile des Gesamtschwerevektors misst und einen elektronischen flüssigkeitsgelagerten Kompass zur Kurswinkelbestimmung.

Das Sensorsystem ist im Labor und durch einen signalisierten Bildflug überprüft worden, um das Genauigkeitspotenzial des entwickelten Systems zur direkten Orientierungsbestimmung zu ermitteln. Durch den Vergleich der Parameter der äußeren Orientierung beider Systeme konnte die Absolutgenauigkeit der direkten Positions- und Winkelbestimmung durch das GPS/AHRS-System festgestellt werden. Dieser Genauigkeitsvergleich ist umfassend, da sich sowohl Restfehler der Orientierungsparameter, als auch Kalibrierfehler des optischen Systems sowie Fehler bei der Ausrichtung und Synchronisation der verschiedenen Sensoren in den Differenzvektoren zu den bekannten Kontrollpunktkoordinaten zeigen. Auch unter Berücksichtigung der maximalen Abweichungen ist die Koordinatenqualität des Garmin-Empfängers für die Initialisierung einer automatischen Aerotriangulation ausreichend, auch wenn die Koordinaten bei der Ausgleichung nicht mehr zur Ergebnisverbesserung beitragen können. Im Gegensatz dazu wichen die direkt gemessenen Winkel des AHRS um  $1^\circ$  im Nickwinkel,  $2,45^\circ$  im Rollwinkel sowie  $14^\circ$  im Kurswinkel von den indirekt bestimmten Winkeln der Aerotriangulation ab. Die äußerst unbefriedigenden Werte des Kompass sind auf mehrere Faktoren zurückzuführen, die nachträglich kaum korrigiert werden können. PFIFF verfügt über ein hohes photogrammetrisches Genauigkeitspotenzial, welches unter Verwendung eines L1/L2-GPS-Empfängers eine passpunktlose Aerotriangulation möglich macht. Voraussetzung für das Verfahren der passpunktlosen Aerotriangulation ist allerdings, dass die innere Orientierung der Kamera bekannt ist,

denn durch die fehlende Redundanz ist keine Simultankalibrierung möglich. Die äußere Genauigkeit des Testflugs lag bei einem Bildmaßstab von 1 : 44 500 im Subpixelbereich, d. h. bei  $< 0,5$  m in der Lage.

PFIFF wurde im Zeitraum von 1999 bis 2001 sowohl mit seinen Einzelkomponenten als auch als Gesamtsystem im Rahmen von 31 Befliegungen mit über 3 500 Luftbildern getestet und hat somit eine hohe Praxisreife bekommen.

Die Dissertation erscheint in der Reihe C, *Heft 552* der Deutschen Geodätischen Kommission.

### Universität Hannover

Frau MSc. **FAITH NJOKI KARANJA** wurde am 28. Juni 2002 am Fachbereich Bauingenieur- und Vermessungswesen der Universität Hannover mit der Dissertation „*Use of Knowledge Based Systems for the Detection and Monitoring of Unplanned Developments*“ zum Dr.-Ing. promoviert. Referenten waren Prof. Dr.-Ing. C. HEIPKE und Prof. Dr.-Ing. h.c. mult. G. KONECNY. Die Dissertation ist erschienen bei der Deutschen Geodätischen Kommission, Reihe C. Nr. 558, ISSN 0065-5325, ISBN 3 7696 9597 6 und in der Reihe „Wissenschaftliche Arbeiten der Fachrichtung Vermessungswesen der Universität Hannover“, Nr. 246, ISSN 0174-1454.

**Zusammenfassung:** Urbane Landnutzung kann allgemein in zwei Bereiche unterteilt werden, nämlich entwickelte Gebiete (Siedlungsgebiete, Industrieflächen, Baustellen etc.) und Schutzzonen (Waldgebiete, Wasserflächen, Gärten, Parks, Freiflächen etc.). Jedoch ist insbesondere in Entwicklungsländern nicht alles entwickelte Land legal zugelassen oder geplant. Für die Planer ist es wichtig, eine Möglichkeit zu haben, die Entwicklung dieser Phänomene zu erkennen, zu lokalisieren und vorherzusagen, um darauf rechtzeitig zu reagieren. Daher ist das Hauptziel der vorliegenden Arbeit die Entwicklung einer Methodik, welche vorhandene Planungsdaten und Landnutzungseinflüsse in Kombination mit Fernerkundungs-

daten nutzbar macht für die Erkennung und Quantifizierung ungeplanter Entwicklungen, und die Beobachtung dieser Trends zu erleichtern. Da Planung ein kontinuierlicher Prozess ist, sind Fernerkundungsdaten eine nützliche Informationsquelle für die Erhebung bebauter und unbebauter Flächen zu jedem beliebigen Zeitpunkt. Die Methodik ist unterteilt in vier Module, nämlich Interpretation, Erkennung, Trendprognose und Evaluierung.

Für die Interpretation entwickelter und geschützter Bereiche wurde das Verfahren der wissensbasierten Bildinterpretation von multispektralen Daten angewendet. Vier verschiedene Merkmale, nämlich NDVI, Textur, Kantendichte und das Ergebnis einer unüberwachten Klassifizierung wurden als Ausgangsbasis für die Interpretation herangezogen. Die Erfahrung zeigt, dass Datenreduktion und -veredelung vor der Integration in die Wissensdatenbank die Verwendung nur weniger Regeln erlaubt und dadurch die Korrelation reduziert. Die Wissensrepräsentation stellt eine besondere Herausforderung im Zusammenhang mit der Verknüpfung von Regeln dar. Aufgrund der erzielten akzeptablen Resultate erweist sich eine solche Technik als vielversprechend. Jedoch könnten Zusatzinformationen wie z. B. GIS-Daten die Resultate der Objektextraktion z. B. von Parkplätzen und komplexer Bebauungsgebiete, Straßen etc. verbessern.

Für die Erkennung ungeplanter Entwicklungen wurden die Einschränkungen von Planungsdaten ausgenutzt. Insbesondere wurden Planungsdaten in Kombination mit Fernerkundungsdaten untersucht, um von der IST-Situation zur SOLL-Prognose zu gelangen, mit besonderem Gewicht auf den neuen legalen und erlaubten Entwicklungen. Dies bildet den Hintergrund für die Erkennung ungeplanter Entwicklungen, welche zum Unterschied zwischen der SOLL-Situation und der IST-Situation im Pla-

nungszeitraum führt. Prototypexperimente zeigten, dass es sich hierbei um eine durchführbare Technik handelt, welche im Unterschied zu derzeitigen ad hoc Feld-Techniken leicht für schnelle Detektion implementiert werden kann.

Die Trendprognose ungeplanter Entwicklungen wurden der Einfluss von Landnutzung, Straßen- und Gewässernetz auf neu entwickelte Gebiete untersucht. Die Ergebnisse zeigen einen großen Einfluss existierender Landnutzungen auf neue Entwicklungsgebiete. Eine Kombination und Verschneidung dieser Einflüsse innerhalb von Pufferzonen resultiert in Fuzzy – ähnlichen Straten, die auf einer Skala von wahrscheinlichen zu unwahrscheinlichen ungeplanten Entwicklungsgebieten rangieren. Derartige Information könnte dem Planer dazu dienen ein entsprechendes Vorsorgeprogramm für solche Eventualitäten zu entwickeln und Prioritätsgebiete zur unmittelbaren Reaktionsplanung festzulegen.

Zur Genauigkeitsuntersuchung wurden sowohl qualitative als auch quantitative Techniken untersucht u. a. der visuelle Vergleich, „Polygon Pixel Count“ und der Kappa-Index. Für die Interpretations- und Detektionsmodule sind dabei mit diesen drei Techniken vergleichbare Ergebnisse erzielt worden. Die Wahl der einzusetzenden Technik hängt von der Anwendung und dem benötigten Detaillierungsgrad ab.

Zusammenfassend hat diese Arbeit gezeigt, dass es für die Detektion und Vorhersage ungeplanter Entwicklungen möglich ist, dem Planer ein vollständiges Instrumentarium an die Hand zu geben. Um den Erfolg zu garantieren sollte die Planung unter Beteiligung aller Interessengruppen auf kollektiver Verantwortlichkeit beruhen. Des Weiteren sollte möglichst ein umfassendes Grundrechtssystem eingeführt werden, das den Zugriff auf Grund und Boden und auch die Sicherheit und Transparenz im Grundstücksverkehr gewährleistet.



## Persönliches

### Professor KLAUS SZANGOLIES zum 70. Geburtstag

Wer Klaus Szangolies, den Hauptschriftleiter unserer Zeitschrift PGF kennt, wird es wegen seines jugendlichen Elans kaum für möglichhalten, dass er am 10. Oktober 2002 schon 70 Jahre alt geworden ist.



Klaus Szangolies wurde 1932 als Sohn eines Bauern in Ostpreußen geboren. Mit der Flucht seiner Familie in die Gegend von Stendal/Altmark im Jahre 1945 veränderte sich sein Lebensweg. Er besuchte die Oberschule in Tangermünde und bestand im Jahre 1952 das Abitur, um danach bis 1957 Vermessungswesen an der TH Dresden zu studieren. Durch eine Diplomarbeit bei Prof. BUCHHOLTZ war er der Photogrammetrie besonders zugetan. Nach Abschluß seiner Diplomprüfung folgte eine glänzende 35jährige Karriere als wissenschaftlicher Mitarbeiter und später als Forschungs-/Entwicklungsleiter für Photogrammetrie und Fernerkundung beim VEB Kombinat Carl Zeiss in Jena.

Diese Laufbahn verdankt er seinem hohen Intellekt, seinem enormen Arbeitseifer und seinem großen Einfühlungsvermögen mit den Dingen des Alltags in sachlicher Weise fertigzuwerden. Bis zum Jahr 1976 war HORST SCHÖLER sein Chef, der ihm die Freiheit zu wissenschaftlicher Arbeit gab. Während dieser Zeit entstammten von Klaus Szangolies 15 Patente und über 60 Veröffentlichungen, hauptsächlich auf dem Gebiet des photogrammetrischen Gerätebaus, welche die Entwicklung von Stereokartiergeräten, Stereokomparatoren, Orthoprojektoren, Verfahren der analytischen und digitalen Photogrammetrie und deren Automation, sowie der Bildkorrelation beschrieben. Später folgten noch nahezu 60 weitere Publikationen, unter anderem 4 Bände des begehrten *Kompodium Photogrammetrie* von Carl Zeiss Jena.

Mit seinen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten bei Carl Zeiss verfolgte Klaus Szangolies gleichzeitig seine akademische Laufbahn. 1963 promovierte er an der TU Dresden unter Prof. JOCHMANN zum Dr.-Ing. mit einer Arbeit über die *Korrektur systematischer Bildfehler bei der Aerotriangulation*. 1970 folgte seine Habilitation an der TU Dresden bei Prof. RÜGER mit einer Arbeit über die *Automatisierung der relativen und der absoluten Orientierung in der Photogrammetrie*.

Wegen seiner wissenschaftlichen Erfolge und wegen seines internationalen Kontaktvermögens wurde er schon früh ins Ausland entsandt um Carl Zeiss und die DDR offiziell zu vertreten.

Ich lernte ihn 1975 am Orthophoto Symposium in Sao Paulo in Brasilien näher kennen, wo er mir Ratschläge für den Besuch des Dschungels um Manaus gab.

Ich freute mich, ihn als einer der beiden DDR-Delegierten bei der 1. Kartographischen Konferenz der Vereinten Nationen für die Amerikanischen Staaten in Panama im Jahre 1976 wiederzusehen, bei der Prof.



TORGE und ich die Bundesrepublik Deutschland vertraten. Es ergaben sich danach viele weitere Treffen, bei denen sich, lange vor der deutschen Wiedervereinigung, informelle Kontakte zwischen unseren Institutionen anbahnten. 1978 trafen wir bei der 2. Amerikanischen Kartographischen UN-Konferenz in Mexiko zusammen. 1980 kam Klaus Szangolies zum ISPRS-Kongress nach Hamburg und 1984 nach Rio de Janeiro. Für mich war dies die Bestätigung, dass freundschaftliche Beziehungen über sonst so enge politische Grenzen hinweg möglich waren.

Nach meiner Wahl zum ISPRS-Präsidenten beim Rio-Kongress gab es die Gelegenheit zu gegenseitigen Besuchen an der Universität Hannover und bei Carl Zeiss Jena. Klaus Szangolies hatte in Rio die Verantwortung für eine Interkommissions Arbeitsgruppe der ISPRS für die „Gewinnung und Nutzung von Weltraumaufnahmen für die Kartierung“ übernommen.

Wir interessierten uns damals in Hannover für sowjetische MKF-6 Aufnahmen mit der in Jena gefertigten Multispektralkamera, geflogen im Interkosmosprogramm.

Klaus Szangolies vermittelte für mich einen Besuch der Akademie in Potsdam. Dort erhielt ich einige sonst streng geheim gehaltene MKF-6 Bilder und transportierte sie im Kofferraum meines Wagens über Marienborn nach Hannover.

Im Gegenzug brachte ich nach Potsdam, vermittelt durch die DLR, einen über der DDR bei Schneebedeckung aufgenommenen Bildstreifen des deutschen Spacelab-Kamera-Experimentes. Es waren wohl die ersten inoffiziell über die Mauer oder den „Eisernen Vorhang“ ausgetauschten Weltraumprodukte.

Klaus Szangolies, der von noch besseren russischen Weltraumaufnahmen innerhalb des Interkosmosprogramms wusste, gelang es, den weiteren Austausch von Bildmaterial über die Grenzen hinweg zu formalisieren. Als Leiter der Arbeitsgruppe lud er uns im Jahre 1987 zusammen mit Dr. KIENKO und Dr. DRAZHNIUK aus Moskau zu einer Arbeitstagung nach Leipzig ein. Von da ab war der Weg russischer KFA-1000 Aufnahmen

und ihrer Nachfolger in den Westen offen. Ein Reporter der New York Times saß im Transatlantikflug neben Dr. FRED DOYLE, der aus Leipzig nach Washington zurückkehrte. Die New York Times veröffentlichte daraufhin einen großen Artikel über die russischen Weltraumbilder, aber die stillen Arrangements von Klaus Szangolies aus Jena und von KARLHEINZ MAREK aus Potsdam blieben dabei unerwähnt.

Am ISPRS-Kongress 1988 in Kyoto wurde Klaus Szangolies für 4 Jahre zum Präsidenten der Kommission II „Data Processing and Analysis“ gewählt. In diese Zeitperiode fällt die deutsche Wende. Während seines Kommissions Symposiums im Jahre 1990 in Dresden wurde die Auflösung der ostdeutschen Gesellschaft für Photogrammetrie und Fernerkundung und ihre Überleitung in die DGPF auf einem Elbdampfer vollzogen.

In der ostdeutschen Gesellschaft für Photogrammetrie war Klaus Szangolies seit ihrer Gründung im Jahre 1960 aktiv tätig. Kein Wunder also, dass er im Jahre 1997 die ehrenamtliche Aufgabe des Hauptschriftleiters der PFG-Zeitschrift übernahm und somit Vorstandsmitglied der DGPF wurde.

Im akademischen Bereich wurde Klaus Szangolies 1982 zum Honorarprofessor an der TU Dresden berufen. Von 1980 bis 1989 war er Honorary Visiting Professor der City University in London.

1995 trat Klaus Szangolies offiziell in den Ruhestand, wenn man diesen bei seiner Schriftleitertätigkeit als solchen bezeichnen kann. Jedenfalls trifft man ihn und seine liebe Frau Margot bei jeder wichtigen Tagung der DGPF, des DVW, der ISPRS und bei mit diesen Organisationen verbundenen Gesellschaften, z.B. in Schweden. Die unbestrittene hohe Qualität der Zeitschrift PFG ist heute hauptsächlich ihm zu verdanken.

Dass es mit seinem jugendlichen Elan noch lange so bleibt, das wünschen ihm seine zahlreichen Kollegen und Freunde in Ost, West, Nord und Süd.

GOTTFRIED KONECNY, Hannover

### Prof. Andersen verstorben

Herr Prof. Andersen ist nicht mehr unter uns. Er verstarb am 27. Mai 2002 an den Folgen eines Verkehrsunfalls auf dem Heimweg von seinem Sommerhaus.

Sein plötzlicher Tod in der Hochphase seiner Kreativität erschütterte nicht nur seine Familie und Freunde sondern auch die Kollegen im „Department of Mapping Sciences“ der „Agricultural University of Norway“, wo er als Professor für Photogrammetrie tätig war, sondern auch seine Kollegen aus dem Kreise der OEEPE.

Als erster Delegierter vertrat er viele Jahre sein Heimatland Norwegen bei photogram-

metrisch – fernerkundlichen Vorhaben. Er bereicherte die OEEPE mit Ideen, Konzepten und Analysen als ihr Präsident von 2000 bis 2002 und als Präsident der Forschungskommission „Sensoren, Primärdatengewinnung und Georeferenzierung“. Beide Aufgaben hat er bis zuletzt hingebungsvoll wahrgenommen.

Wir alle haben mit ihm einen lieben Kollegen verloren. Sein Andenken an ihn werden wir in Ehren halten.

BERND-SIEGFRIED SCHULZ, Frankfurt

## Vorankündigungen

### 2003

10./11. Februar: **Basiswissen Kommunale GIS in Rostock**. Auskünfte durch: Prof. Dr. Ralf Bill, Kursleiter, STZ Geoinformatik, Pfeifengrasweg 5, 18198 Kritzmow, Fax: 0381-4982188, e-mail: ralf.bill@auf.uni-rostock.de

17./18. Februar: **Expertenwissen Kommunale GIS in Rostock**. Auskünfte durch: Prof. Dr. Ralf Bill, Kursleiter, STZ Geoinformatik, Pfeifengrasweg 5, 18198 Kritzmow, Fax: 0381-4982188, e-mail: ralf.bill@auf.uni-rostock.de

27./28. Februar: **GEOVIS 2003** – Aktuelle Entwicklungen in der Erschließung und Visualisierung von Geoinformation in **Hannover**. Veranstalter: Kommission „Geoinformation und Visualisierung“ der DGfK in Zusammenarbeit mit der Universität Hannover. Auskünfte durch: Dr. Doris Dransch, Leiterin der Kommission und [www.geovis-dgfk.de](http://www.geovis-dgfk.de)

27./28. Februar: **2. Oldenburger 3D-Tage**. Optische 3D-Messtechnik, Photogrammetrie, Laser-Scanning, Workshop in **Oldenburg**. Auskünfte durch: Inst. f. Angewandte Photogrammetrie und Geoinformatik, FH Oldenburg/Ostfriesland/Wilhelmshaven, Ofener Str. 16, 26121 Oldenburg, Tel.: 0441-7708-3363, Fax: 0441-7708-3170, e-mail: [iapg@fh-oldenburg.de](mailto:iapg@fh-oldenburg.de)

12.-14. März: **8. Münchner Fortbildungseminar Geoinformationssysteme** des „Runder Tisch GIS e.V.“ in **München**. Auskünfte durch: Frau Eva Horvath, TU München, Tel.: 089-2892-2578, e-mail: [eva.horvath@bv.tum.de](mailto:eva.horvath@bv.tum.de), [www.rundertischgis.de](http://www.rundertischgis.de)

25.-28. März: Tutorial and Workshop on **Close Range Photogrammetry in Bonn**. 1<sup>1/2</sup>-days Tutorial „New Orientation Methods in Photogrammetry“ (W. Förstner). 1<sup>1/2</sup>-days Workshop „New Developments in Close Range Photogrammetry“. Auskünfte durch: Prof. Dr.-Ing. W. Förstner, Bonn, [wf@ipb.uni-bonn.de](mailto:wf@ipb.uni-bonn.de) und Prof. Dr.-Ing. Th. Luhmann, Oldenburg, [luhmann@fh-oldenburg.de](mailto:luhmann@fh-oldenburg.de)

## Zum Titelbild



### Velingara Senke, Senegal

Das Titelbild zeigt den Ausschnitt einer Übersichtskarte, wie sie MAPS routinemäßig aus Orthophoto- und DGM-Projekten ableitet. Die kartographische Bearbeitung ist mit Ausnahme von Wegen, Bebauungsgrenzen und Ortsnamen vollautomatisch.

Die im Maßstab 1:275 000 dargestellte Velingara Senke im Süden vom Senegal ist erst durch die überbetonte Darstellung des automatisch erfassten Geländemodells und dem daraus abgeleiteten Gewässernetz zu erkennen. Dieses Naturphänomen ist durch einen Meteoriteneinschlag während des Paläozän entstanden. Sein Rand besteht aus Material, das durch den Einschlag gebrannt und gehärtet wurde. Die Senke mit einem Durchmesser von über 40 km und einer Tiefe von weniger als 50 m ist im Gelände nicht erkennbar. Selbst bei besten Sichtbedingungen und Berücksichtigung der Erdkrümmung und Refraktion würde der Kraterand von der Mitte der Senke aus betrachtet den Horizont nur maximal um 0,07 Grad überragen.

### MAPS geosystems GmbH

MAPS ist ein führendes Unternehmen in der Erfassung und Aufbereitung von raumbezo-

genen Daten und deren Einbindung in GIS/CAD-Systeme. Seit 1974 verwirklichte MAPS über 1000 Projekte in mehr als 55 Ländern. Mit 200 Mitarbeitern in 11 Büros in Europa, Afrika und dem Mittleren Osten setzt MAPS anwendungsorientierte Lösungen mit hohen Qualitätsansprüchen um.

Mit Einsatz der eigenen Software und selbst entwickelten Verfahren zur automatisierten Erstellung von wirtschaftlichen Luftbildprodukten sowie mit der langjährigen Praxis der Anpassung von Verfahren und Produkten an die Bedürfnisse der Benutzer erlangte MAPS weltweite Aufmerksamkeit. Zur Gewährleistung von Produktqualität und reibungsloser Auftragsabwicklung folgt MAPS stets den aktuellen technischen Standards.

#### *Luftbildbefliegung*

MAPS besitzt zwei Bildflugzeuge für Hoch-, Tief- und Simultanbefliegungen, die mit GPS gestützten ZEISS RMK TOP Kamerasystemen ausgerüstet sind. Beide Maschinen verfügen über das gemeinschaftlich mit ZEISS entwickelt T-Flight Bildflug-Management-System.

#### *Kartenerstellung*

MAPS ist auf die schnelle und effektive Erstellung von digitalen Kartengrundlagen mit halb und vollautomatisierten Verfahren spezialisiert.

#### *Digitale Geländemodelle*

Digitale Geländemodelle dienen bei MAPS schon seit über 15 Jahren als Grundlage aller Geländeform-Auswertungen, z. B. zur Ableitung von Höhenschichtlinien. Der frühe Einstieg in die Entwicklung automatisierter DGM-Erfassungsverfahren trug wesentlich zu der heutigen Vorrangstellung von MAPS auf dem Gebiet der Orthophoto-Produktion bei.

### *3D Stadtmodelle*

Die Nachfrage nach Gebäudemodellen in einer Vielzahl der GIS-/CAD-Datenstrukturen führte zu der Entwicklung von T3D. Das sind topologisch strukturierte dreidimensionale Daten, die redundanzfrei vorgehalten, gleichzeitig im CAD- wie auch im GIS-Bereich Anwendung finden.

### *Ingenieurvermessung*

MAPS bedient ein breites Spektrum, z.B. geodätische Netzbestimmungen, statische und kinematische GPS Anwendungen aber auch Bestands- und Ausführungsvermessungen. MAPS ortet Leitungen für Wasser, Gas, Strom und Telekommunikation.

Bei Aufgaben, die mit photogrammetrischen Methoden unwirtschaftlich sind, bringt MAPS die motorisierte mit kinematischem GPS ausgestattete Tachymetrie zum Einsatz. Mit RISS, Route Inventory Survey System, erfasst MAPS z.B. die 3D Lage von Pipelinetrassen mit hoher Genauigkeit.

### *Systementwicklung*

Eine System Engineering Sektion, die 20% der gesamten MAPS Belegschaft umfasst, prägt die technischen Leistungen von MAPS. Fachleute mit zusammen über 250 Jahren einschlägiger Erfahrung entwickeln photogrammetrische Auswertungsverfahren, Erweiterungen für CAD- und GIS-Systeme, GPS-Anwendungen, Datenmanagementprogramme und Bildverarbeitungsmethoden.

Im Herbst 2002 stellt MAPS erstmalig seinen *PromptServer* vor, in der Version 4 einer bisher nur intern eingesetzten Bild- und Servertechnologie für den schnellen Zugriff auf unbegrenzt große Bilddatenbestände in verschiedenen GIS-/CAD- und Internet-/Intranet-Umgebungen, die eine neuartige Bildpräsentation ermöglicht.

MAPS Anwendungen sind einfach in ihrer Handhabung und lassen sich an unterschiedliche Arbeitsanforderungen anpassen. Einfache Oberflächen auf der Basis von z. B. AutoCAD, ArcView, ArcGIS, MicroStation sowie Webbrowsern helfen Anwendern, sich ohne nennenswerten Trainingsaufwand in kürzester Zeit zu recht zu finden.

MAPS hat eine große Anzahl hauptsächlich in der eigenen Produktion angewandte Verfahren entwickelt. Zu erwähnen sind imCOMP, ein hoch effizientes Programm zur Parameter gesteuerten Bildaufbereitung und Tonanpassung., sowie genCONT, ein Programm zur kartographisch korrekten Darstellung von Höhenschichtlinien unter Berücksichtigung der Geländeneigung

### *Räumliche Datenintegration*

Es werden angepasste Lösungen benötigt, um einen wirtschaftlichen Nutzen aus geographischen Daten zu ziehen. MAPS unterstützt Behörden und Unternehmen bei der Integration von raumbezogenen Daten und der Einrichtung von CAD/GIS-Systemen.

### *Beratung und Schulung*

Aufbauend auf Erfahrungen aus über 27 Jahren internationaler Projektarbeit bietet MAPS seinen Kunden ausführliche Beratung und Schulungen für Anwender und Entwickler, die darauf ausgerichtet sind, den größtmöglichen Nutzen aus geographischen Informationen zu ziehen.

### **MAPS geosystems GmbH**

Truderinger Straße 13

81677 München

Tel: +49-89-47 20 83

Fax: +49-89-47 34 35

e-mail: [info@maps-geosystems.com](mailto:info@maps-geosystems.com)

[www.maps-geosystems.com](http://www.maps-geosystems.com)