

# PRG

# Photogrammetrie Fernerkundung Geoinformation

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

Jahrgang 2005, Heft 2

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

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

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



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



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

---

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



International Society  
for Photogrammetry  
and Remote Sensing

**DAGM**

Deutsche Arbeits-  
gemeinschaft für  
Mustererkennung e.V.



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

---

Herausgeber:

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

Published by:

E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele u. Obermiller), Johannesstraße 3 A, D-70176 Stuttgart. Tel.: 0711/351456-0, Fax: 0711/351456-99, e-mail: mail@schweizerbart.de  
Internet: <http://www.schweizerbart.de>

© Gedruckt auf alterungsbeständigem Papier nach ISO 9706-1994

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

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

Verantwortlich für den Inhalt der Beiträge sind die Autoren.

ISSN 1432-8364

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

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

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

Anzeigenverwaltung: Dr. E. Nägele, E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele u. Obermiller), Johannesstraße 3A, D-70176 Stuttgart, Tel.: 0711/351456-0; Fax: 0711/351456-99. e-mail: mail@schweizerbart.de, Internet: <http://www.schweizerbart.de>

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

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

## PFG – Jahrgang 2005, Heft 2

### Inhaltsverzeichnis

---

#### Originalbeiträge

LUHMANN, T.: Zum photogrammetrischen Einsatz von Einzelkameras mit optischer Stereostrahlteilung .....	101
BUSCH, A., GERKE, M., GRÜNREICH, D., HEIPKE, CH., LIEDTKE, C.-E. & MÜLLER, S.: Automatische Verifikation topographischer Geoinformation unter Nutzung optischer Fernerkundungsdaten: Systemdesign und praktische Ergebnisse ....	111
WÄLDER, O.: A Method for Sequential Thinning of Digital Raster Terrain Models II: Mixed locally adaptive Wavelet-Splines and anisotropy .....	123
KRÜGER, T., BUCHROITHNER, M.F. & LEHMANN, F.: GIS-gestützte Kartierung hochwasserschutzrelevanter topographischer Informationen mit HRSC-Daten .....	129
BACH, M., HIETEL, E., FREDE, H.-G. & WALDHARDT, R.: Überprüfung der Landnutzungsmodelle ATKIS, CORINE Land Cover und Landsat-Klassifikation anhand Feldkartierung .....	135
LENCINAS, J. D. & FARIAS, M. F.: Native Forest Mapping in Patagonian Andes based on Optical Satellite Imagery .....	147
GRÜN, A. & REMONDINO, F.: Die Rückkehr der Buddhas – Photogrammetrie und kulturelles Erbe in Bamiyan, Afghanistan. Teil II .....	157

---

#### Berichte und Mitteilungen

##### Berichte:

11 <sup>th</sup> SPIE International Symposium 13.–16.9.2004 in Maspalomas, Spanien ..	165
NATSCAN-Konferenz 3.–6.10.2004 in Freiburg .....	166
Erdgas und Klimaschutz .....	167
Maut-Kalkulation .....	168
SGPBF .....	169
OVG .....	169
RSPSoc .....	169
Hochschulnachrichten	
Technische Universität München: F. Meyer .....	170
Vorankündigungen .....	171
Buchbesprechung: L. Beckel .....	174
Zum Titelbild .....	175
Mitteilungen der DGPF, Adressen-Änderungen .....	175
Neuerscheinungen .....	176



## Zum photogrammetrischen Einsatz von Einzelkameras mit optischer Stereostrahlteilung

THOMAS LUHMANN, Oldenburg

**Keywords:** close-range photogrammetry, camera calibration, accuracy, image sequences, high-speed camera, stereo vision, beam splitting

**Zusammenfassung:** Der Beitrag diskutiert Konstruktionsmöglichkeiten, Kalibrierungsansätze und Einsatzmöglichkeiten photogrammetrischer Aufnahmesysteme, bei denen mit nur einem Aufnahmesensor ein Stereobild mittels optischer Strahlteilung erzeugt wird. Das Aufnahmeprinzip eignet sich besonders dann, wenn eine Stereobildsequenz aufgenommen werden soll, bei der beide Bilder zeitlich exakt synchron erfasst werden müssen oder wenn andere Bedingungen nur *eine* Kamera zulassen. Der hier vorgeschlagene Weg entspricht dem Prinzip des Spiegelstereoskops. Das mathematische Abbildungsmodell muss gegebenenfalls um Parameter zur Beschreibung von Spiegeldeformationen erweitert werden. Eine Pilotanwendung liegt im Bereich der Hochgeschwindigkeitsaufnahme und 3D-Auswertung von Bildsequenzen für Sicherheitsversuche im Automobilbau vor.

**Summary:** *On the photogrammetric use of single cameras with optical stereo beam splitting.* This article discusses possibilities for the construction, calibration and application of photogrammetric imaging systems based on one camera which acquires a stereo image by optical beam splitting. This imaging principle is most useful if stereo image sequences are required where both images are to be synchronized exactly, or where only one camera can be used due to other restrictions. The presented solution is similar to the design of a mirror stereoscope. The mathematical imaging model has to be extended if mirror components are used which generate significant image deformations. A prototype has been developed and tested for example applications in the field of high-speed imaging and 3-D image sequence processing for car safety testing.

---

### 1 Einleitung

Dreidimensionale Auswertungen von schnell ablaufenden dynamischen Prozessen (z. B. Strömungsmessungen, Sicherheitsversuche im Fahrzeugbau) gewinnen in jüngster Zeit zunehmend an Bedeutung. Häufig unterliegen die aufzunehmenden Objekte dabei hohen dynamischen Belastungen und Veränderungen, so dass neben der dreidimensionalen Messtechnik auch die zeitliche Komponente von Bedeutung ist. Es sind also in der Regel Bildsequenzen mit mindestens zwei Kameras aufzunehmen.

Die Synchronisation von zwei oder mehr gleichzeitig aufnehmenden Kameras ist nicht trivial und häufig nur mit hohem tech-

nischen Aufwand möglich. Bei analoger Aufnahmetechnik kann die gleichzeitige Belichtung beispielsweise über elektrisch ausgelöste Verschlüsse erfolgen. Weiterhin sind Techniken mit gepulsten Lichtquellen (Stroboskopie) bekannt, die zum Beispiel in der Motografie bei Langzeitbelichtungen eingesetzt werden (DORRER & PEIPE 1987).

Heute werden jedoch fast ausschließlich Digital- oder Videokameras eingesetzt. Die Synchronisation mehrerer Kameras erfolgt in der Regel über ein externes Triggersignal, das von einer der Kameras oder einem Frame Grabber generiert wird. Die Genauigkeit der Synchronisation hängt dabei von verschiedenen Faktoren ab, vor allem von den elektrischen Bauteilen (Kabel, Frequenze-



**Abb. 1:** Digitalkamera Fuji FinePix S1 Pro mit Stereostrahlteiler Stereoworld.

nerator, Sync-Impuls) und der Leistungsfähigkeit des Frame Grabbers. Am Markt verfügbare Frame Grabber haben je nach Fabrikat sehr unterschiedliche Synchronisationsgenauigkeiten (Beispiel: Viper Quad von CORECO IMAGING besitzt keine messbare Asynchronität bei 25 Bildern pro Sekunde). Digitalvideokameras mit FireWire-Anschluss lassen Synchronisationsfehler von bis zu 2 ms zu und sind daher für viele dynamische Anwendungen nicht geeignet (RIEDE et al. 2004).

Wenn höhere Bildfrequenzen gefordert werden, kommen häufig Hochgeschwindigkeitskameras zum Einsatz, die heute mit bis zu 1000 Bilder pro Sekunde bei einer Bildauflösung von bis ca.  $1500 \times 1000$  Pixel verfügbar sind. Die Synchronisation von zwei oder mehrerer dieser Kameras ist technisch aufwendig und in realen Systemen keinesfalls garantiert. Demzufolge ist eine schnelle und synchrone Stereo- oder Mehrbilderfassung nur mit hohem finanziellen Aufwand möglich.

Es wird daher hier auf Anregung der Unternehmen Volkswagen und Porsche ein Ansatz untersucht, 3D-Auswertungen schneller Bildsequenzen mit Hilfe nur einer Highspeedkamera vorzunehmen, die mit einem optischen Stereovorsatz ausgestattet ist. Dadurch entstehen zwei virtuelle Kameras, deren effektive Bildauflösung um mindestens 50% in horizontaler Richtung reduziert

ist. Eine derartige Kamera nimmt per se synchrone Bilder auf. Zusätzlich wird der Kostenaufwand reduziert, da nur eine Highspeedkamera verwendet zu werden braucht. Nachteilig auf die Messgenauigkeit wird sich ein eventuell verkürzter Basisabstand bzw. die auf die Hälfte reduzierte Bildauflösung auswirken.

Die Idee ist nicht neu. Für den Amateurbereich existieren seit langem Stereovorsatzoptiken, mit denen eine handelsübliche Spiegelreflexkamera in eine Stereokamera umgebaut werden kann (Abb. 1). Der Basisabstand der (virtuellen) Kameras entspricht dabei in etwa dem menschlichen Augenabstand, d. h. die resultierenden Bilder können unmittelbar in geeigneten Stereobetrachtern räumlich betrachtet werden. Auch für photogrammetrische Messaufgaben wurde das Prinzip bereits verschiedentlich umgesetzt. So beschreibt SCHÖLER (1981) einen mathematischen Ansatz für das Abbildungsmodell für einen optischen Stereostrahlteiler. Stereostrahlteilung ist ebenso aus der Stereomikroskopie bekannt, wenngleich hier Abbildungsmaßstäbe größer 1 auftreten und somit nicht vergleichbar mit den Anforderungen im Sicherheitsversuch sind. Eine Anwendung der Stereostrahlteilung auf Hochgeschwindigkeitskameras ist dem Autor nicht bekannt. Photogrammetrische Literatur zu diesem Thema ist ansonsten nur spärlich vorhanden. Einige Ausführungen zu Stereovorsatzkameras finden sich in REGENSBURGER (1990), EDIRISINGHE & JIANG und SIBERT & URQUHART (1994). DORRER (1998) erläutert den Einsatz einer Stereovorsatzkamera im Mars Pathfinder. WILLNEFF & MAAS (2000) sowie PUTZE (2004) diskutieren Systeme mit vier Umlenkspiegeln. Über eine Anwendung in der Mikromontage berichten BERNDT & TUTSCH 2003.

## 2 Optischer Aufbau

### 2.1 Konstruktionsmöglichkeiten mit zwei Objektiven

Für die Herstellung von Stereoalbbildern sind verschiedene Ansätze denkbar. Es ist möglich, die Strahlaufteilung direkt vor dem

Bildsensor vorzunehmen und die beiden getrennten Strahlenbündel über separate Objektive zu bündeln (Abb. 2a). Das Prinzip hat gegenüber einer Lösung mit einem gemeinsamen Objektiv jedoch gravierende Nachteile:

- es müssen zwei Objektive kalibriert werden,
- die resultierende Bildweite  $a'$  ergibt sich aus der Summe  $a'_1 + a'_2 + a'_3$ , d. h. die Bildweite ist wesentlich von der Basis abhängig,
- daraus folgt z.B. mit  $f = 10$  mm und  $a' = 250$  mm eine fokussierte Aufnahmedistanz von nur  $a = 10.4$  mm,

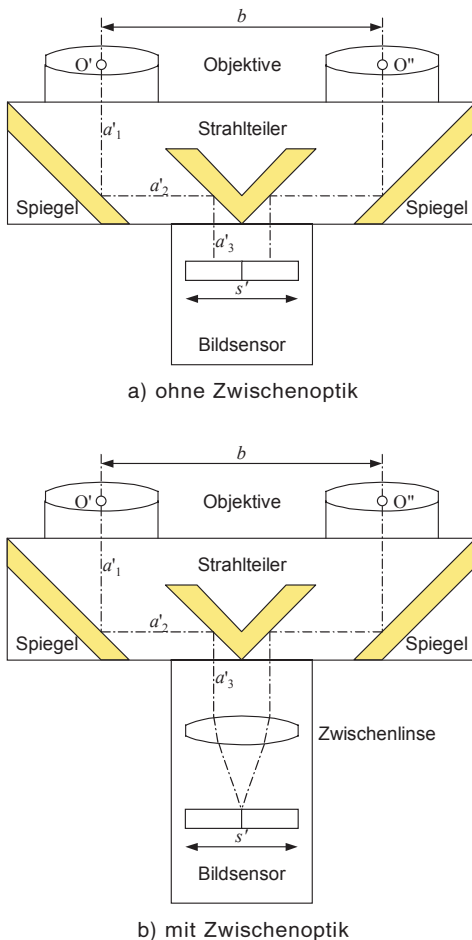
- sowie bei Blende 16 eine Schärfentiefe von nur 0.014 mm,
- das Strahlenbündel ist sehr schmal.

Für photogrammetrische Messaufgaben ergeben sich somit ohne zusätzliche Zwischenoptiken keine sinnvollen Anwendungsmöglichkeiten. Abb. 2b zeigt dazu eine prinzipielle Lösungsmöglichkeit mit einer zusätzlichen Linse zwischen Strahlteiler und Sensor, die dem Prinzip eines Stereomikroskops (REGENSBURGER 1990) angelehnt ist. Sie wird hier aufgrund der aufwendigeren photogrammetrischen Modellierung nicht weiter verfolgt.

## 2.2 Abbildungsmodell mit einem zentralen Objektiv

Abb. 3 stellt das geometrische Abbildungsmodell eines Spiegelstereovorsatzes mit zentralem Objektiv dar. Gegenüber den oben gezeigten Varianten kann hier eine Kamera mit existierendem Objektiv oder auch verschiedenen Objektiven eingesetzt werden. Unter der Annahme ebener Spiegel- und Strahlteilerflächen ergeben sich danach zwei virtuelle Kameras mit den Projektionszentren  $O'$  und  $O''$ , die nach wie vor der Zentralperspektiven Abbildung genügen.

Die Basis  $b$  ist definiert zwischen den zwei Punkten  $O'$  und  $O''$ . An diesen Punkten ist die photogrammetrische äußere Orientierung definiert, d. h. eine Änderung der Spiegelnennung oder -lage erzeugt eine veränderte Abbildungsgeometrie analog zur herkömmlichen Aufnahme mit getrennten Kameras. Der Bezugspunkt für die innere Orientierung der Kamera ist das im Objektiv liegende Projektionszentrum  $O$ . Der Öffnungswinkel  $\tau$  für das halbe Bild ergibt sich aus dem halben horizontalen Sensorformat  $s/2$  und der Kamerakonstante  $c$ . Für den Neigungswinkel der inneren Spiegel gilt  $\beta_1 > \tau$ , damit der äußere Strahl des Bildrandes noch vom Spiegel reflektiert wird. Der äußere Spiegel besitzt die Neigung  $\beta_2$  und weist gegenüber dem inneren Spiegel einen Drehwinkel von  $\alpha$  auf. In jedem Fall muss  $\beta_2$  kleiner als  $\beta_1$  sein, damit die beiden Hauptstrahlen  $h_1$  und  $h_2$  konvergent verlaufen



**Abb. 2:** Prinzip einer Stereovorsatzkamera mit getrennten Objektiven.

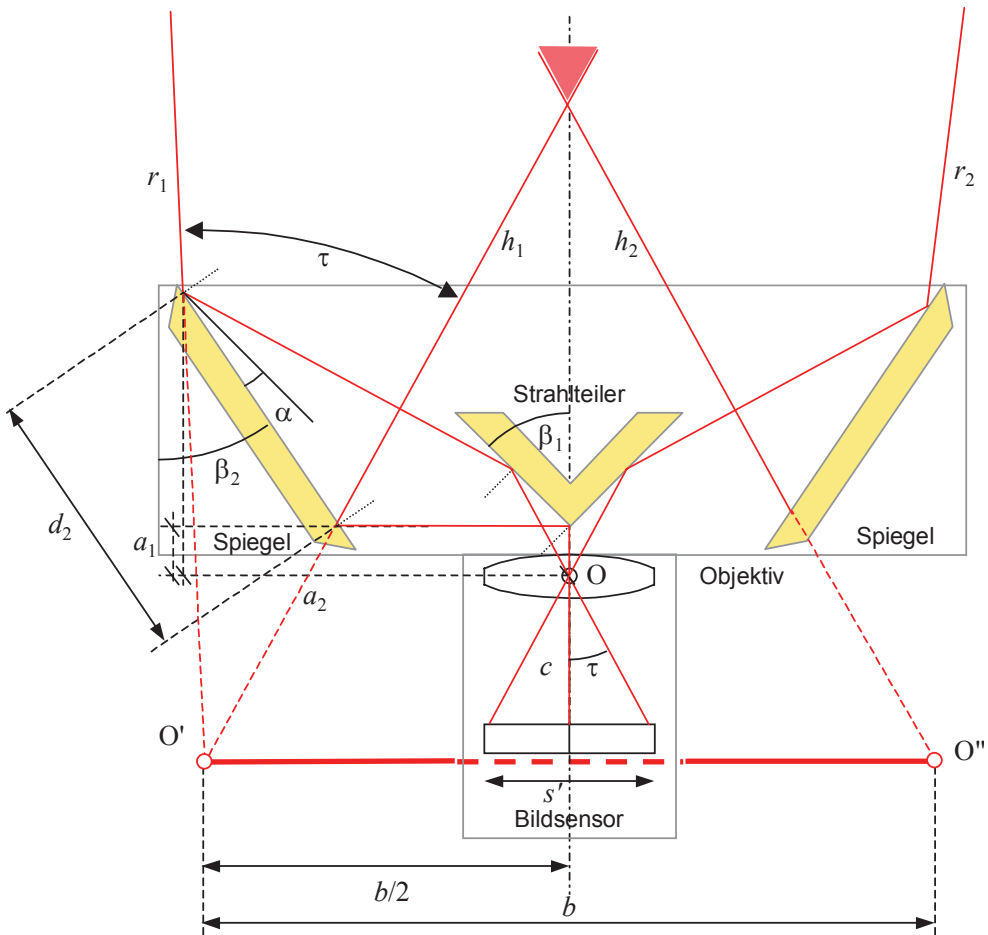


Abb. 3: Geometrisches Abbildungsmodell.

fen und einen stereoskopisch überdeckten Raum ergeben. Gleichzeitig sollte  $\beta_2$  gegenüber  $\tau$  so eingestellt werden, dass die Randstrahlen  $r_1$  und  $r_2$  divergieren, um einen Objektraum zu erfassen, das breiter als die Basis  $b$  ist.

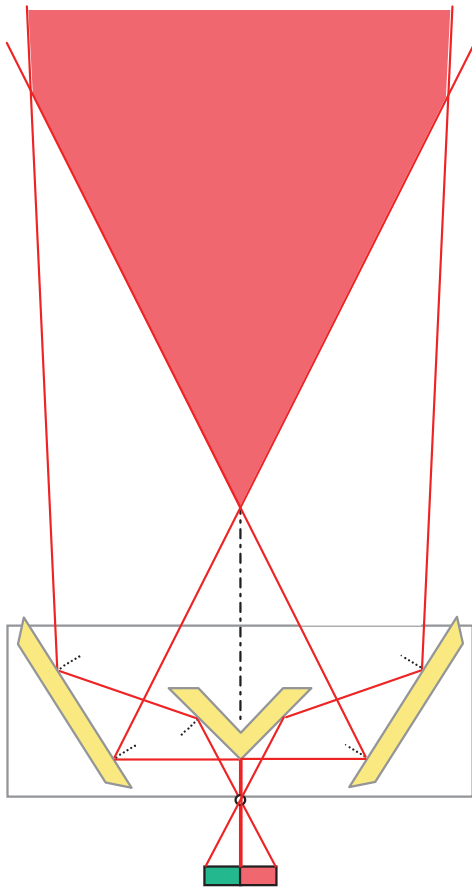
Die notwendige Größe der äußeren Spiegel ist primär eine Funktion des Öffnungswinkels des Objektivs sowie von Abstand und Drehwinkel der Spiegel. Die Spiegelgröße wächst linear mit abnehmender Brennweite und zunehmendem Spiegelabstand. Das resultierende horizontale (stereoskopische) Messvolumen wird jeweils durch die inneren und äußeren Abbildungsstrahlen begrenzt und kann dabei eine Figur wie

in Abb. 4 annehmen. Das vertikale Messvolumen ist wie sonst auch nur durch Öffnungswinkel und vertikales Bildformat definiert.

Die Ebenheit der Spiegelflächen muss den Anforderungen an die gewünschte Bildmessgenauigkeit genügen. Nach Abb. 5 führt ein gegenüber der idealisierten Spiegelebene  $S$  um  $\epsilon$  geneigtes Flächenstück  $S'$  zu einer Winkelabweichung des Bildstrahls  $r'$  um  $2\epsilon$ . Die maximale zulässige Richtungsabweichung kann mit

$$2\epsilon = \frac{\Delta x'}{c}$$



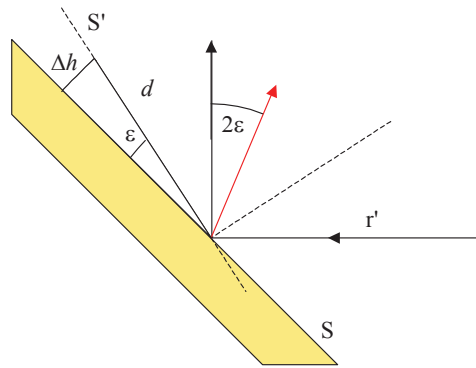


**Abb. 4:** Resultierendes stereoskopisches Messvolumen.

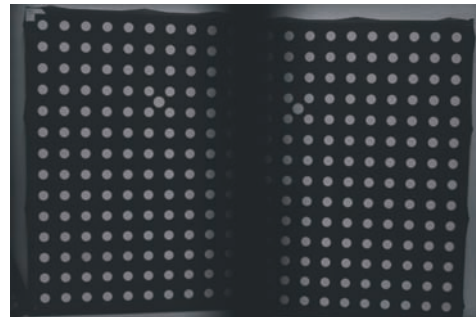
abgeschätzt werden, wobei  $\Delta x'$  die erreichbare Bildmessgenauigkeit und  $c$  die Kamerakonstante darstellen. Für ein Beispiel mit  $\Delta x' = 0.5 \mu\text{m}$  (ca.  $1/20$  Pixel) und  $c = 12.5 \text{ mm}$  ergibt sich die Winkelauflösung zu  $2\varepsilon = 0.0023^\circ$ . Die maximale zulässige Unebenheit einer Spiegelfläche beträgt auf einer Länge  $d$

$$\Delta h = \varepsilon \cdot d = \frac{\Delta x' \cdot d}{2c}.$$

Für das obige Zahlenbeispiel dürfte ein Spiegel auf einer Länge von  $d = 50 \text{ mm}$  eine maximale Unebenheit von  $\Delta h = 0.001 \text{ mm} = 1 \mu\text{m}$  aufweisen, für kürzere Längen ergeben sich entsprechend noch kleinere Werte.



**Abb. 5:** Einfluss unebener Spiegelflächen.



**Abb. 6:** Beispielhafte Testfeldaufnahme mit Stereovorsatz (Fuji FinePix S1 Pro).

An die Ebenheit werden also sehr hohe Anforderungen gestellt, sofern sie mathematisch nicht im Abbildungsmodell berücksichtigt werden kann.

Abb. 6 zeigt beispielhaft ein Bildpaar, das einer Digitalkamera Fuji FinePix S1 Pro und mit dem Stereovorsatz aus Abb. 1 aufgenommen worden ist. Es zeigt sich deutlich, dass zwischen den beiden Bildhälften ein breiterer Streifen vorhanden ist, in dem keine Bildinformation vorliegt. Der Grund liegt hier in der Nahtstelle zwischen den beiden inneren Spiegeln, die vermutlich wenig präzise ausgeführt worden ist und dadurch den nutzbaren Bildbereich um ca. 2 mm reduziert. Während dies für eine Kleinbildstereoaufnahme (Bildformat  $36 \text{ mm} \times 24 \text{ mm}$ ) möglicherweise noch toleriert werden kann, ist ein derartig breiter Mittelstreifen bei den sehr viel kleineren Videobildformaten ( $4.5 \text{ mm} \times 6 \text{ mm}$  bis  $11 \text{ mm} \times 16 \text{ mm}$ ) nicht

akzeptierbar. Die Strahlteilung sollte daher über ein scharfkantiges Prisma erfolgen.

### 3 Kameramodellierung

#### 3.1 Existierende photogrammetrische Ansätze

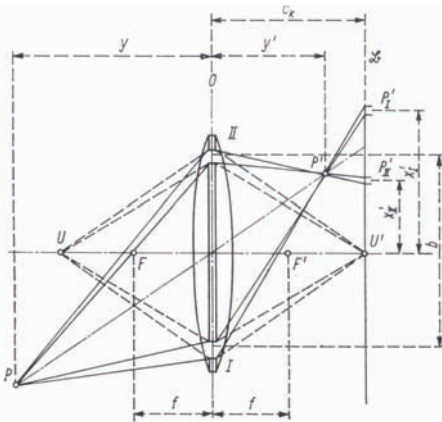
SCHÖLER beschreibt bereits 1981 ein analytisches Modell zur photogrammetrischen Auswertung von Stereovorsatzkameras. Der Ansatz basiert auf der optischen Konstruktion der Abbildungsgeometrie und definiert die beiden als Bezugspunkte wichtigen Projektionszentren durch die Lage der Eintrittspupillen, die sich als kreisförmige Öffnungen jeweils im Abstand der halben Basislänge von der optischen Achse des Objektivs bilden (Öffnungen I und II in Abb. 7).

SCHÖLER (1981) leitet Gleichungen zur direkten photogrammetrischen Koordinatenberechnung in der Form  $\underline{X} = f(x', y', \dots)$  ab. Das Modell enthält keine bildfehlerbeschreibenden Funktionen und setzt daher die klassische Messkamera voraus, die üblicherweise praktisch verzeichnungsfrei ist und über eine ebene Bildfläche verfügt. Die gleichen Anforderungen werden an das Spiegelsystem gestellt, bei dem vollkommen ebene Spiegelflächen vorausgesetzt werden. Weiterhin ist der Ansatz nicht günstig für

eine Formulierung als Beobachtungsgleichungen in einem Ausgleichssystem und wird daher nicht weiter verfolgt.

Eine vollständige Modellierung der Abbildungsgeometrie ist prinzipiell möglich. KOTOWSKI (1987) hat einen umfassenden photogrammetrischen Ansatz für lichtbrechende Trennflächen entwickelt (Multimedia-Photogrammetrie), der ebene und gekrümmte optische Trennflächen mit unterschiedlichen Brechzahlen in das analytische Abbildungsmodell integriert und auch innerhalb einer photogrammetrischen Bündelausgleichung realisiert werden kann. Nach dem Prinzip des Ray Tracing wird jeder Abbildungsstrahl vom Objektraum bis in den Bildraum verfolgt, wobei seine Brechungen an etwaigen Trennflächen oder Spiegeln durch Einfall- und Ausfallwinkel beschrieben werden, die jeweils aus dem Normalenvektor einer Trennfläche bzw. entsprechend dem Snellius'schen Brechungsgesetz abgeleitet werden. Die Anwendung auf Multimedia-Konfigurationen bei der Erfassung von Mehrbildsequenzen beschreibt MAAS (1995).

Wie in Abschnitt 3.2 gezeigt wird, kann auf diesen komplexen mathematischen Ansatz jedoch verzichtet werden, wenn ein geeignetes Bündelausgleichungsprogramm mit integrierten Bedingungsgleichungen und Modellierung der Abbildungsfläche (Bildfläche) eingesetzt wird, das praktisch jede beliebige Stereoanordnung kalibrieren und orientieren kann.



**Abb. 7:** Definition der Projektionszentren im Abbildungsmodell einer Stereovorsatzkamera nach SCHÖLER (1981).

#### 3.2 Kameramodell

Zur Kalibrierung der inneren Orientierung der Stereokamera wird jedes Halbbild getrennt betrachtet. Liegen hinreichend ebene Spiegelflächen vor, kann ein herkömmlicher Parametersatz für die Kalibrierung herangezogen werden mit Funktionen für die radialsymmetrische Verzeichnung, tangentiale und asymmetrische Verzeichnung sowie Affinität und Scherung (Übersichten in LUHMANN 2003). Für jedes Halbbild liegt der Bildhauptpunkt jeweils am inneren Rand, je nach Justierung der optischen Komponenten auch außerhalb des Bildes.

Alternativ zu zwei unabhängig betrachteten Kameras kann auch ein Ansatz gewählt werden, beide Bildhälften mit einer gemeinsamen Korrekturfunktion für die radial-symmetrische Verzeichnung (da nur ein Objektiv existiert) und für Affinität und Scherung (da nur ein gemeinsamer Bildsensor existiert) zu beschreiben, die anderen Parameter jedoch getrennt zu bestimmen. Insbesondere werden die Parameter der tangentialen und asymmetrischen Verzeichnung durch Schiefstellung der Spiegelflächen beeinflusst und können größere Werte als die der radialen Verzeichnung annehmen (Beispiel in Abb. 11).

Unebene Spiegelflächen sind mit den oben beschriebenen Parametern nicht modellierbar. In diesem Fall hat sich ein Ansatz bewährt, nicht-systematische Bilddeformationen mit Hilfe eines Korrekturgitters auf der Basis finiter Elemente zu beschreiben (Bündelausgleichungsprogramm FiBun, TECKLENBURG et al. 2001). Diese Bilddefor-

mationen können durch alle optischen Komponenten sowie durch mögliche Sensorunebenheiten hervorgerufen sein.

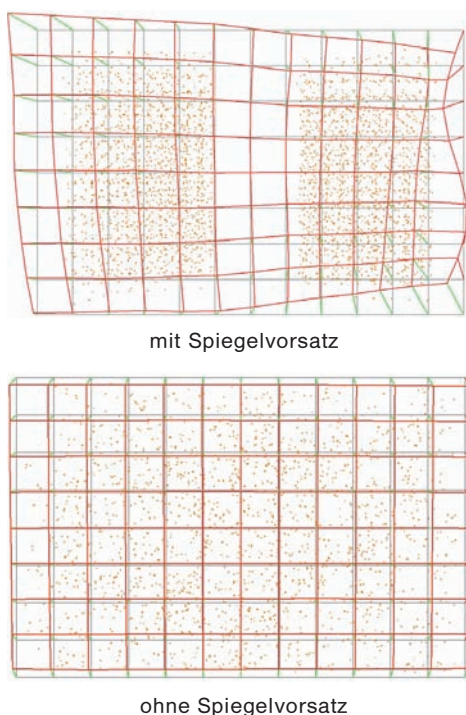
Abb. 8 zeigt das mit FiBun berechnete Sensordeformationsmodell der Stereokamera aus Abb. 1. Im oberen Bild wird deutlich, dass die Einflüsse des Spiegelvorsatzes zu großen Abweichungen im Bild führen, die ohne ein Korrekturgitter nicht kompensiert werden können. Man sieht weiterhin, dass die Deformationen im linken und im rechten Teil des Sensors völlig verschieden ausfallen. Die Ursache liegt eindeutig in den Eigenschaften des Spiegelvorsatzes. Zum Vergleich zeigt das untere Bild ein Kalibrierungsergebnis der gleichen Kamera-Objektiv-Kombination ohne Spiegelvorsatz. Sensordeformationen sind in diesem Maßstab kaum erkennbar.

Je nach mechanischer Stabilität von Kamera, Objektiv und Spiegelvorsatz ist weiterhin eine bildvariante Modellierung des Projektionszentrums (Kamerakonstante und Bildhauptpunkt) erforderlich (MAAS 1999, TECKLENBURG et al. 2001). Eine bildvariante (von Bild zu Bild variierende) Bestimmung des Projektionszentrums wird zum Beispiel durch die Bündelausgleichungsprogramme FiBun (IAPG) oder Ax.Ori (AXIOS 3D Services, [www.axios3d.de](http://www.axios3d.de)) ermöglicht.

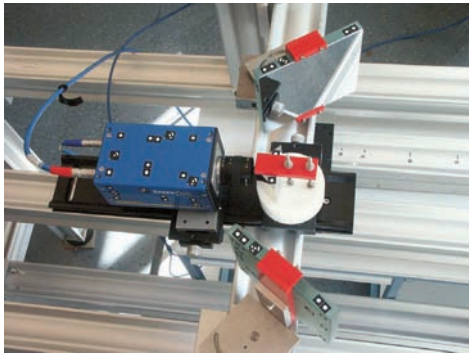
Neben der inneren Orientierung werden die Parameter der relativen Orientierung beider Bilder benötigt. Wenn das Aufnahmesystem zwischen zwei Bildern keinen mechanischen Veränderungen unterliegt, kann in der Bündelausgleichung die zusätzliche Bedingung integriert werden, dass beide Kameras über die Bildsequenz eine feste relative Orientierung aufweisen.

#### 4 Praktische Versuche

Abb. 9 zeigt zwei für die spätere Highspeed-Stereoaufnahme konzipierte Laboraufbauten mit unterschiedlichen Highspeed-kameras, jeweils mit 12.5 mm-Objektiv, 90°-Prisma und zwei Planspiegeln von 170 mm × 160 mm Seitenlänge. Im ersten Versuch wurde eine Weinberger Visario verwendet, die bei einem Bildformat von ca. 8.4 mm × 11.3 mm ein stereoskopisches



**Abb. 8:** Berechnete Sensordeformationen (Fuji FinePix S1, 28 mm Objektiv).



Weinberger Visario



NAC HiDcam II

**Abb. 9:** Versuchsaufbauten mit Highspeed-Kamera und optischer Stereobildtrennung.



**Abb. 10:** Erste Prototypenversion.

Messvolumen von  $700 \text{ mm} \times 700 \text{ mm} \times 300 \text{ mm}$  bei einem Aufnahmeabstand von ca.  $0.8 \text{ m}$  erzeugt. Die wirksame Basislänge beträgt  $b = 300 \text{ mm}$ . Im zweiten Versuch

wurde eine Highspeedkamera NAC HiDcam II eingesetzt, die bei einem Bildformat von ca.  $15.4 \text{ mm} \times 6.1 \text{ mm}$  ein Messvolumen von  $1200 \text{ mm} \times 1200 \text{ mm} \times 400 \text{ mm}$  bei einem Aufnahmeabstand von ca.  $2.0 \text{ m}$  erzeugt. Ein auf dieser Basis entwickelter erster Prototyp befindet sich inzwischen im praktischen Einsatz.

Das Aufnahmesystem wird jeweils mit Hilfe von Testfeldaufnahmen kalibriert, die den üblichen Kalibrieranordnungen für die Simultankalibrierung folgen (LUHMANN 2003).

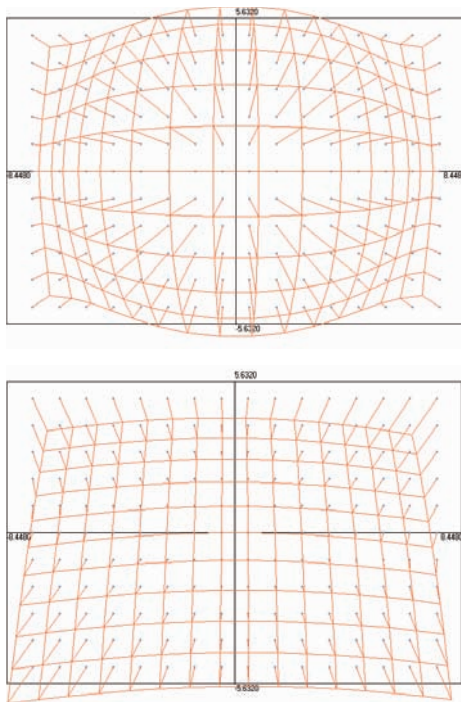
Nach der Bündelausgleichung wurden folgende Ergebnisse ermittelt:

		Weinberger Visario	NAC HiDcam II
Sigma 0		$0.9 \mu\text{m}$ (0.05 Pixel)	$0.52 \mu\text{m}$ (0.04 Pixel)
Parameter Innere Orientierung	c	-12.6174	-12.5386
	$x'_0$	-0.0399	-0.2189
	$y'_0$	-0.2630	-0.2277
	$A_1$	$-5.00\text{e-}04$	$-5.72\text{e-}04$
	$A_2$	$5.29\text{e-}06$	$5.44\text{e-}06$
	$A_3$	$-1.86\text{e-}08$	$-2.09\text{e-}08$
	$B_1$	$-4.12\text{e-}05$	$1.606\text{e-}05$
	$B_2$	$-1.73\text{e-}04$	$-9.07\text{e-}05$
	$C_1$	$-2.25\text{e-}05$	$-3.36\text{e-}04$
$C_2$	$-1.62\text{e-}04$	$1.07\text{e-}04$	
RMS Objektkoordinaten	X		$0.018 \text{ mm}$
	Y		$0.014 \text{ mm}$
	Z	$0.012 \text{ mm}$ $0.024 \text{ mm}$ $0.029 \text{ mm}$	$0.023 \text{ mm}$
Basis	b	$303 \text{ mm}$	$190 \text{ mm}$

In beiden Fällen wurden Bildmessgenauigkeiten im Submikrometerbereich erreicht. Die Objektpunktgenauigkeiten liegen entsprechend im Bereich bis maximal ca.  $30 \mu\text{m}$ .

Die etwas schlechteren Messergebnisse des ersten Versuches sind weniger auf die verwendete Kamera als vielmehr auf ungünstigere Versuchsbedingungen (Störlicht, Erschütterungen) zurückzuführen.

Die hier verwendeten Planspiegel zeigen nur eine geringe Unebenheit, die durch das Finite-Elemente-Gitter beschrieben wird. Leichte Abweichungen der Spiegelebenen



**Abb. 11:** Radial-symmetrische (oben) und tangential-asymmetrische (unten) Verzeichnung (jeweils 50fach überhöht, Objektiv 12.5 mm).

aus der Vertikalebene führen jedoch zu erheblichen Werten der tangentialen Verzeichnung. Sie erreicht größere Beträge im Bild als die radial-symmetrische Verzeichnung (siehe Abb. 11).

## 5 Zusammenfassung

Der Beitrag präsentiert ein Konzept für die synchrone Stereoerfassung mit einer einzelnen Kamera mittels Spiegelvorsatzes. Die Anordnung der optischen Komponenten in der Reihenfolge Kamera/Sensor, Objektiv, Strahlteiler (Prisma) und Umlenkspiegel ist einfach zu realisieren und erlaubt die Verwendung vorhandener Objektive. Das geometrische Abbildungsmodell führt zu zwei virtuellen Projektionszentren, deren Lage wie üblich die Stereobasis definiert. Das stereoskopisch nutzbare Messvolumen ist je nach Spiegeldrehung und Öffnungswinkel des Objektivs begrenzt.

Mit Testfeldaufnahmen und Simultankalibrierungen kann nachgewiesen werden, dass das Abbildungsmodell hinreichend mathematisch beschrieben werden kann, auch wenn Unebenheiten der Spiegelflächen zu erheblichen Bildfehlern führen. So lassen sich auch mit einem Spiegelstereovorsatz Bildmessgenauigkeiten erzielen, die mit denen herkömmlicher Digitalkameras vergleichbar sind.

## Danksagung

Der Autor bedankt sich für die gute Zusammenarbeit mit den Unternehmen Volkswagen AG (Wolfsburg) und Ferd. Porsche AG (Weissach), ohne deren Beteiligung die oben beschriebene Entwicklung nicht zustande gekommen wäre. Dank gilt ebenso Frau Dipl.-Ing. HEIDI HASTEDT für die durchgeführten Versuche und Berechnungen.

## Literatur

- BERNDT, M. & TUTSCH, R., 2003: Optischer 3D-Sensor zur räumlichen Positionsbestimmung bei der Mikromontage. – *Applied Machine Vision*, Stuttgart: 111–118.
- DORRER, E., 1998: Einsatz der IMP-Stereokamera beim Mars Pathfinder. – In: LIST (ed.): *Publikationen der DGPF*. – Band 6: 259–270.
- DORRER, E. & PEIPE, J. (Ed.), 1987: *Motografie*. – Schriftenreihe Studiengang Vermessungswesen, Heft 23, Universität der Bundeswehr, München, 280 S.
- EDIRISINGHE, E. A. & JIANG, J., unbekanntes Datum: *Stereo Imaging, an Emerging Technology*. – unbekanntes Herkunftsland, liegt dem Verfasser in Druckform vor.
- GODDING, R., 1993: Ein photogrammetrisches Verfahren zur Überprüfung und Kalibrierung digitaler Bildaufnahmesysteme. – *Zeitschrift für Photogrammetrie und Fernerkundung*, Heft 2/1993: 82–90.
- KOTOWSKI, R., 1987: *Zur Berücksichtigung lichtbrechender Flächen im Strahlenbündel*. – Dissertation, Deutsche Geodätische Kommission, Reihe C, Nr. 330, 78 S.
- LUHMANN, T., 2003: *Nahbereichsphotogrammetrie*. – 2. Aufl., 586 S., Wichmann Verlag, Heidelberg.
- MAAS, H.-G., 1995: *New developments in multimedia photogrammetry*. – In: GRUEN/KAHMEN

- (Ed.): Optical 3-D Measurement Techniques III. – Wichmann Verlag, Heidelberg: 91–97.
- MAAS, H.-G., 1999: Ein Ansatz zur Selbstkalibrierung von Kameras mit instabiler innerer Orientierung. – Publikationen der DGPF, Band 7, München 1998: 47–53.
- PUTZE, T., 2004: Einsatz einer Highspeedkamera zur Bestimmung von Geschwindigkeitsfeldern in Gasströmungen. – Publikationen der DGPF, Band 13, Halle: 325–332.
- REGENSBURGER, K., 1990: Photogrammetrie – Anwendungen in Wissenschaft und Technik. – VEB Verlag für Bauwesen, Berlin, 228 S.
- RIEDE, R., WENDT, A. & LUHMANN, T., 2004: Synchrone Mehrbildphotogrammetrie zur Aufnahme statischer und dynamischer 3D-Objekte. – In: LUHMANN (Ed.): Photogrammetrie, Laserscanning, Optische 3D-Messtechnik – Beiträge der 3. Oldenburger 3D-Tage, Wichmann Verlag, Heidelberg: 124–131.
- SCHÖLER, H., 1981: Production of photogrammetric stereo pairs by beam division in single-lens cameras. – Kompendium Photogrammetrie, Vol. XV, Akademische Verlagsgesellschaft, Leipzig: 77–86.
- SIEBERT, J.P. & URQUHART, C.W., 1994: C3D: a Novel Vision-Based 3-D Data Acquisition System. – Proceedings of Monalisa Workshop, Hamburg.
- Stereoworld, 2002: [http://www.pauck.de/marco/photo/stereo/stereo\\_world/stereo\\_world.html](http://www.pauck.de/marco/photo/stereo/stereo_world/stereo_world.html) (letzter Zugriff: 05.05.2004)
- TECKLENBURG, W., LUHMANN, T. & HASTEDT, H., 2001: Camera modelling with image-variant parameters and finite elements. – In: GRUEN/KAHMEN (Ed.): Optical 3-D Measurement Techniques V. – Wichmann Verlag, Heidelberg: 328–335.
- WILLNEFF, J., MAAS, H.-G., 2000: Design and calibration of a four-headed camera system for use in microgravity research. – International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXXIII, Part B5, Amsterdam 2000: 894–899.

Anschrift des Autors:

Prof. Dr.-Ing. THOMAS LUHMANN  
Institut für Angewandte Photogrammetrie und Geoinformatik  
Fachhochschule Oldenburg/Ostfriesland/  
Wilhelmshaven  
Ofener Str. 16, D-26121 Oldenburg  
Tel.: 0441-7708-3172, Fax: 0441-7708-3170,  
e-mail: [luhmann@fh-oldenburg.de](mailto:luhmann@fh-oldenburg.de)

Manuskript eingereicht: Juni 2004  
Angenommen: August 2004

## Automatisierte Verifikation topographischer Geoinformation unter Nutzung optischer Fernerkundungsdaten: Systemdesign und praktische Ergebnisse\*

ANDREAS BUSCH, MARKUS GERKE, DIETMAR GRÜNREICH, CHRISTIAN HEIPKE,  
CLAUS-EBERHARD LIEDTKE & SÖNKE MÜLLER, Frankfurt/Hannover

**Keywords:** GeoInformatics, automation, change detection, GIS, quality, updating

**Summary:** *Automated Verification of a Topographic Reference Dataset: System Design and Practical Results.* Quality of an official topographic reference dataset is important since it is the basis for many applications. Verification is classified as being part of quality management in this paper. Its main topic is the automated verification of a topographic reference dataset by means of ortho-images. The objects from the dataset are compared to an up-to-date orthoimage in order to obtain information on their quality. The main objects of interest are roads and built-up areas. As it is assumed that most of the objects in the database are correct, the strategy is to use the ATKIS objects stored in the Basis-DLM as a starting point. Automatic image operators being able to detect the objects of interest use prior knowledge from the dataset, such as contextual and geometrical information. Thus inconsistencies between the ATKIS objects and the image features can be detected. Positional accuracy of roads is also checked. To organise the verification of the data independently from its capture, a semi-automatic environment has been implemented. In an interactive step following the automatic one, the human operator just has to focus on those objects which were not accepted automatically. In this paper we introduce the whole system. We then focus on the automatic components and their integration into the semi-automatic workflow. A detailed report on the system in its daily application is given as well as an evaluation of results.

**Zusammenfassung:** Die Überprüfung der Qualität amtlicher topographischer Geoinformationen ist wichtig, weil diese das Fundament zahlreicher Anwendungen bilden. Verifikation wird in diesem Beitrag als Teil des Qualitätsmanagements verstanden, wobei hier eine automatisierte Verifikation eines topographischen Referenzdatensatzes mittels Orthophotos beschrieben wird. Die Objekte des Datensatzes werden mit einem aktuellen Orthophoto verglichen, um Informationen über ihre Qualität zu erhalten. Straßen und bebauten Gebiete sind von besonderem Interesse, da hier die meisten Änderungen zu erwarten sind. Automatische Bildoperatoren, welche in der Lage sind die entsprechenden Objekte aufzufinden, verwenden Vorwissen aus dem Datensatz, z. B. kontextabhängige und geometrische Informationen. Auf diese Weise werden Inkonsistenzen zwischen den ATKIS-Objekten und den Bildmerkmalen erkannt. Außerdem wird die Lagegenauigkeit von Straßen überprüft. Der automatische Verifikationsprozess ist in eine interaktive Arbeitsumgebung eingebettet, um einem Operateur eine abschließende Überprüfung des Verifikationsergebnisses zu ermöglichen. Wir stellen hier das gesamte System vor, konzentrieren uns anschließend auf die automatischen Komponenten und ihre Integration in einen halbautomatischen Arbeitsablauf und schließen mit einer Evaluierung der Ergebnisse.

---

\* Überarbeitete Fassung eines in den *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Band 35, Teil B2, 2004, S. 735–740, erschienenen Beitrags.

## 1 Hintergrund

Verifikation wird in diesem Beitrag als Teil des Konzepts des Qualitätsmanagements für topographische Geoinformation verstanden, wie es am Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG) umgesetzt wird. Zunächst wird der Hintergrund von Qualität und Qualitätsmanagement bezogen auf Geoinformation dargelegt.

### 1.1 Qualität der Geoinformation

Jede auf räumlichen Referenzdaten oder Geodaten basierende Anwendung erfordert gewisse Kenntnisse über deren Datenqualität oder zumindest eine Vorstellung über die Konsequenzen möglicher Fehler und die mit diesen Fehlern verbundenen Risiken. Je nach Anwendung benötigt der Nutzer unterschiedliche Information über die Qualität der Geobasisdaten. Viele Nutzer beurteilen die Qualität der raumbezogenen Referenzdaten nach ihrer Eignung für den praktischen Einsatz (fitness-for-use) und dem für die Handhabung der Datensätze notwendigen Aufwand. Firmen dagegen, die mittels Anbindung eigener Daten an Referenzdatensätze neue Produkte entwickeln, wollen wissen, ob die Referenzdaten die zugesicherten Eigenschaften tatsächlich besitzen.

Qualitätsmerkmale sind standardisiert oder Teil von Spezifikationen z. B. der ISO, CEN, DIN oder des Open Geospatial Consortiums (OGC). Diese Spezifikationen sollen nicht im Detail diskutiert werden. Ein System zur Beschreibung der Qualität von Geodaten liefert Joos (2000). Er definiert vier unabhängige Qualitätsmerkmale, nämlich Vollständigkeit, Korrektheit, Konsistenz und Genauigkeit. In unserem Zusammenhang empfiehlt sich eine Unterteilung der Qualitätsmerkmale in zwei Kategorien, die für die praktische Anwendung wichtig sind und den nachstehenden Definitionen entsprechen:

- logische Konsistenz, d. h. Konsistenz in Bezug auf das Datenmodell,
- inhaltliche Konsistenz, d. h. Übereinstimmung von Daten und Realität innerhalb des Anwendungsbereichs des Modells.

Wir bezeichnen die erste Kategorie als logische Konsistenz, weil sie dadurch charakterisiert ist, dass sie ohne Vergleich der Daten mit der realen Welt überprüft werden kann. Man kann eine komplette Überprüfung dieser Kategorie unter ausschließlicher Verwendung des Datensatzes ohne zusätzliche Informationen vornehmen. Lediglich die entsprechenden Routinen und die Funktionalität innerhalb der Datenbank oder des GIS sind notwendig. Deshalb kann die Untersuchung der logischen Konsistenz automatisch ausgeführt werden. Formatspezifikationen, topologische Bedingungen, die Eindeutigkeit der Objektnummern und die Definitionsbereiche der Attribute sind Bestandteile der logischen Konsistenz. Für die zweite Kategorie, nämlich die inhaltliche Konsistenz, ist ein Vergleich der Daten mit der Realität, also der Landschaft, erforderlich. Grundsätzlich kann der Vergleich mittels aktueller Sensordaten oder im Feldvergleich erfolgen. Die Überprüfung der inhaltlichen Konsistenz bildet den Schwerpunkt dieses Beitrags.

### 1.2 Qualitätsmanagement am BKG

Eine der Hauptaufgaben des BKG besteht in der Bereitstellung der Geodaten des Amtlichen Topographisch-Kartographischen Informationssystems ATKIS auf dem Staatsgebiet der Bundesrepublik Deutschland. ATKIS® ist ein eingetragenes Warenzeichen der Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland (AdV). Die wichtigsten Komponenten von ATKIS sind digitale Landschaftsmodelle (DLM) verschiedener Auflösungen und entsprechende digitale topographische Karten (DTK). Das ATKIS Basis-DLM, also das ATKIS DLM mit höchster Auflösung, wird von den Vermessungsverwaltungen der 16 Bundesländer erfasst und gepflegt und für grenzüberschreitende Fragestellungen an das BKG geliefert. Im GeoDatenZentrum (GDZ) des BKG wird das ATKIS Basis-DLM zu einem einheitlichen Datensatz für das gesamte Gebiet der Bundesrepublik zusammengefügt und in einer Datenbank gespeichert. Da die-



se Daten einerseits an Kunden weitergegeben und andererseits innerhalb des BKG verwendet werden, um Daten kleinerer Maßstäbe abzuleiten, ist ein System zur Qualitätskontrolle der ATKIS-Daten unverzichtbar. Die Daten werden am GDZ einer eingehenden Kontrolle unterzogen: Sie werden auf die flächendeckende Einhaltung der logischen Konsistenz, sowie der geometrischen Konsistenz an den Zuständigkeitsgrenzen der jeweiligen Vermessungsbehörden überprüft. Somit wird die Kontrolle auf logische Konsistenz in operationeller Weise innerhalb des täglichen Produktionsprozesses vorgenommen. Die während der Qualitätskontrolle aufgedeckten Fehler werden dem zuständigen Bundesland gemeldet.

Über diese gut etablierte, umfassende Überprüfung der logischen Konsistenz des ATKIS Basis-DLM hinaus betreibt das BKG eine inhaltliche Qualitätskontrolle.

Da praktisch alle Veränderungen in der Landschaft vom Menschen geplant und durchgeführt werden, sind Informationen darüber sehr frühzeitig verfügbar; für gewöhnlich bereits während der Planungsphase. Deshalb haben die Vermessungsverwaltungen in Deutschland ein sogenanntes topographisches Informationsmanagement eingerichtet, um Informationen über Veränderungen zu erhalten und diese in angemessener Zeit für die Aktualisierung der Geoinformationen zur Verfügung zu stellen.

Damit der gesamte Produktionsprozess von der Ersterfassung über Aktualisierungen bis zum aktuellen Datenbestand durchgreifend kontrolliert werden kann, ist ein Vergleich des ATKIS Basis-DLM mit der Landschaft notwendig. Hierfür hat das BKG ein gemeinsames Projekt mit der Universität Hannover initiiert, um ein System für die automatisierte Qualitätskontrolle des ATKIS Basis-DLM auf der Grundlage von Fernerkundungsdaten zu entwickeln (BUSCH & WILLRICH 2002). Da der Vergleich mit der realen Welt in der praktischen Anwendung noch weit davon entfernt ist, vollautomatisch abzulaufen, wurde das System als interaktives Verfahren, basierend auf ArcGIS® einerseits und auf automatischen Bildanalysemethoden andererseits, imple-

mentiert. Das wissensbasierte Bildinterpretationssystem GeoAIDA (LIEDTKE et al. 2001) und verschiedene Methoden der Objekterkennung bilden den Kern der automatischen Verfahren. Diese Algorithmen laufen separat im Batch-Modus und liefern Ergebnisse, die in die interaktive Arbeitsumgebung übernommen werden. In dem System werden Orthophotos neueren Datums als aktuelle Referenz verwendet. Diese werden zur Beurteilung der Vollständigkeit, der Korrektheit sowie der Lage- und zeitlichen Genauigkeit eingesetzt.

Während die endgültige Entscheidung über Fehler einem Operateur überlassen bleibt, geht es zunächst darum, möglichst viele ATKIS-Objekte automatisch in den Bilddaten zu finden. Diese als korrekt angenommenen Objekte können dann ausgeblendet werden, so dass sich der Operateur auf jene Objekte konzentrieren kann, bei denen das automatische Verfahren keine Verifikation vornehmen konnte. Unser Hauptinteresse gilt wichtigen Objekten mit den am häufigsten auftretenden Änderungen, also dem Straßennetz und bebauten Gebieten.

Wir betrachten die Qualitätskontrolle als unabhängiges Verfahren zur Beurteilung der Qualität von Geodaten anhand von Stichproben und um Mängel innerhalb der Produktionskette aufzuspüren. Je nach Bildquelle können verschiedene Objekte und Attribute auf ihre Richtigkeit überprüft werden. So kann beispielsweise anhand von Orthophotos die Lagegenauigkeit sowohl von Objekten als auch geometrischen Attributen, z. B. der Straßenbreite, bestimmt werden. Daneben existieren noch Attribute, die den Bilddaten nicht entnommen werden können. In diesen Fällen muss die Qualitätskontrolle auf anderem Wege durchgeführt werden.

### 1.3 *Automatisierte Verifikation und Fortführung räumlicher Datenbanken anhand von Bildern*

Automatische und halbautomatische Objekterkennung ist seit Jahrzehnten einer der Schwerpunkte internationaler Forschung

der Photogrammetrie und des Computersehens (Computer Vision) (z. B. BALTSAVIAS et al. 2001, HEIPKE et al. 2004). Inzwischen gelangen die Ergebnisse auch auf den kommerziellen Markt. Da jeder Algorithmus zur Objekterkennung eine gewisse Fehleranfälligkeit aufweist, muss er derzeit noch in einen interaktiven Arbeitsablauf eingebunden werden, wobei endgültige Entscheidungen einem Operateur überlassen bleiben. Um einen effizienten Arbeitsablauf zu gewährleisten, müssen die Algorithmen mit einer geeigneten und zuverlässigen Selbstdiagnosefunktion ausgestattet sein, die dem Operateur die Konzentration auf jene Fälle ermöglicht, bei denen das automatische Verfahren versagt. Z. B. entwickelte WALTER (2004) ein System, das den Operateur bei der Qualitätskontrolle flächen- und linienhafter Objekte in ATKIS unterstützt, indem es Landbedeckungsklassen aus Satellitenbildern mittels automatischer Klassifikation extrahiert und sie mit den entsprechenden ATKIS-Objekten vergleicht. WALTER verwendet dem existierenden ATKIS-Datensatz entnommenes Vorwissen, um Trainingsdatensätze für eine überwachte Klassifizierung zu definieren. ATKIS-Objekte, die mit hoher Wahrscheinlichkeit Änderungen gegenüber den extrahierten Objekten aufweisen, werden als verändert angenommen und zur Unterstützung der endgültigen interaktiven Analyse durch den Operateur visualisiert.

Vielfach beruhen solche Ansätze auf einem wissensbasierten System zur Bildinterpretation. Wissensbasierte Systeme haben sich als nützliches Mittel zur Darstellung von Objektwissen und dessen Auswertung während des Bildinterpretationsprozesses erwiesen. Unser System modelliert strukturelle Abhängigkeiten mittels semantischer Netze und wurde bereits bei der Klassifizierung von Landbedeckungen mittels Orthophotos, digitaler Oberflächenmodelle und Vorwissen aus einem GIS erfolgreich angewendet (BÜCKNER et al. 2002).

In unserem System enthält der Vergleich des ATKIS Basis-DLM mit der Realität zwei Schritte, nämlich die Verifikation und die Erfassung von Veränderungen. Die Veri-

fikation wird durch folgende Merkmale charakterisiert:

- Der Bildanalyseprozess wird durch GIS-Informationen über die zu verifizierenden Objekte gestützt, d. h. der Algorithmus verwendet die in einem GIS enthaltenen Informationen, um das Bildobjekt zu lokalisieren.
- Falls ein gewisser Übereinstimmungsgrad der Bildmerkmale und der GIS-Information besteht, wird das Objekt akzeptiert und als verifiziert angesehen.
- Andernfalls wird das Objekt als nicht akzeptiert ausgewiesen.

Somit ist die Verifikation für bestimmte Aussagen zur Qualität des Datensatzes geeignet. Objekte, für die die automatisierte Verifikation nicht möglich war, können sich gegenüber dem erfassten Datenbestand verändert haben. Für die Erfassung von Veränderungen müssen jedoch auch Informationen über ein neues, noch nicht im Datensatz gespeichertes Objekt oder über Veränderungen des alten Objektes aus dem Bild extrahiert werden. Unter praktischen Gesichtspunkten ist es sinnvoll, Differenzen zwischen Datenbestand im GIS und entsprechenden Objekten im Bild automatisch aufzudecken und den Erfassungsprozess des veränderten oder neuen Objektes separat und stärker vom Operateur kontrolliert durchzuführen. Deshalb beginnt ein sinnvoller Arbeitsablauf mit einem automatischen Verifikationsschritt.

## 2 Grundlegender Ansatz

### 2.1 Konzept des Prototypen

Das Konzept des Systems zur Verifikation von topographischen Geoinformationen wird durch die folgenden Ideen charakterisiert:

- Transfer wissensbasierter Bildinterpretationstechniken in operationelle Lösungen für praktische Anwendungen (siehe Abschnitt 1.3).
- Entwicklung eines Prototyps für den Vergleich des ATKIS Basis-DLM mit der

Realität auf der Basis digitaler Orthophotos.

- Effiziente Integration des Prototyps in einen interaktiven Arbeitsablauf.

Das entwickelte System ist in ein umfassendes Konzept einer wissensbasierten Arbeitsstation eingebettet, die für die Erfassung und Pflege von Geoinformationen verschiedene Funktionsweisen aus Photogrammetrie, GIS und Kartographie bereitstellt.

Durch Anwendung von Verfahren, die im Forschungs- und Entwicklungsprojekt mit der Universität Hannover entwickelt wurden, wird die interaktive Qualitätskontrolle derzeit Schritt für Schritt automatisiert. Der Operateur startet automatische Schritte der Bildauswertung, die zu einem Ergebnis führen, das wiederum Eingriffe des Operateurs ermöglicht.

Das Ziel ist die Reduzierung der menschlichen Eingriffe mittels automatisch ablaufender Routinen. Schwierige Situationen werden anschließend in einem separaten Schritt vom Operateur analysiert und gelöst.

Die Ergebnisse des automatischen Verfahrens werden ähnlich einer Ampelanzeige, d. h. mittels roter und grüner Farbe, an den Operateur weitergeleitet. Wenn der Algorithmus das entsprechende Bildobjekt ohne Widersprüche verifizieren kann, wird das ATKIS-Objekt mit grüner Farbe markiert, anderenfalls in rot.

Da der Operateur über Annahme oder Ablehnung lediglich im Falle der roten Ob-

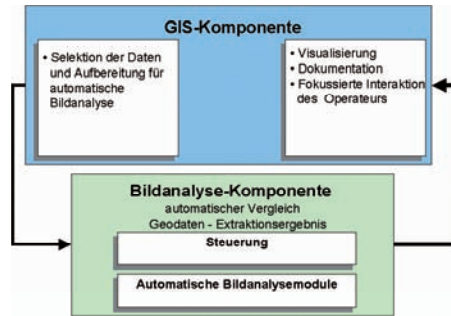


Abb. 1: Die Systemkomponenten für Qualitätskontrolle.

jekte entscheidet, muss die Entscheidung des automatischen Verfahrens insbesondere bei grün gekennzeichneten Objekten sehr zuverlässig sein. Die unterschiedlichen Situationen, die beim Vergleich der menschlichen Entscheidung und der Diagnose durch automatische Verfahren auftreten können, sind in Tab. 1 dargestellt.

### 2.2 Systemkomponenten

Das System ist als wissensbasierte Arbeitsstation konzipiert. Deren Funktionalität umfasst die wissensbasierte photogrammetrische Bildanalyse und weitere Schritte für die Produktion von Geoinformation. Es besteht aus zwei Hauptteilen: der GIS-Komponente und der Bildanalysekomponente (Abb. 1).

Die *GIS-Komponente* beruht auf ArcGIS®. Sie dient zur Selektion der ATKIS-Daten, als Schnittstelle zur Datenbank und zum Bildanalyse-System sowie als Umgebung für interaktive Nachbearbeitung automatisch abgeleiteter Ergebnisse.

Die *Bildanalyse-Komponente* führt vollautomatisch die Extraktion relevanter Objekte sowie deren Vergleich mit den zu überprüfenden Geodaten durch und ist aus Sicht des Benutzers als „Black Box“ konzipiert.

### 3 Automatische Bildanalysemodule

Die Überprüfung des topographischen Datensatzes erfolgt unter Verwendung des wissensbasierten Bildinterpretationssystems

Tab. 1: Entscheidungsmatrix: Operateur im Vergleich zum automatischen Verfahren. Die Entscheidung des Operateurs dient als Referenz.

automatisch \ Operateur	grün	rot
grün	richtigerweise angenommen	fälschlicherweise verworfen (Fehler 1. Art)
rot	fälschlicherweise angenommen (Fehler 2. Art)	richtigerweise verworfen

GeoAIDA (LIEDTKE et al. 2001), das am Institut für Theoretische Nachrichtentechnik und Informationsverarbeitung, Universität Hannover, entwickelt wurde. GeoAIDA basiert auf einem semantischen Netz, das die zu analysierende Szene abbildet. Es wurde für die Interpretation vollständiger Szenen entwickelt und innerhalb der genannten Kooperation für Zwecke der ATKIS Basis-DLM-Verifikation modifiziert.

### 3.1 Straßenverifikation

Der erste Schritt der Straßenverifikation besteht in einer der Datenbank entnommenen Festlegung einer Region für jedes Straßenobjekt. Es wird ein Puffer um den die Straßenachse darstellenden Vektor definiert, die Pufferbreite entspricht der geometrischen Genauigkeit des Straßenobjekts und dem Attribut der Straßenbreite in der ATKIS-Datenbank. Falls letzterer Wert einen Plausibilitätstest nicht besteht oder gar nicht vorhanden ist, wird ein vordefinierter Wert verwendet. Anschließend wird ein für die Bearbeitung im Bildbereich des Puffers geeigneter Straßenextraktionsalgorithmus ausgewählt. Die Auswahl enthält eine Parameterkontrolle unter Berücksichtigung des Wissens über die entsprechende Kontextregion. Derzeit wird der von WIEDEMANN 2002 beschriebene Straßenextraktionsalgorithmus verwendet. Dieser Ansatz modelliert Straßen als lineare Objekte in Luft- oder Satellitenbildern mit einer Auflösung von ca. 1 bis 2 m. Zu beachten ist, dass dieser Algorithmus für ländliche Gebiete entwickelt wurde. Deshalb beziehen sich die folgende Diskussion und die Ergebnisse der Straßenextraktion ausschließlich auf ländliche Bereiche.

Im Verlauf der Straßenextraktion werden zunächst unter Verwendung eines Ansatzes von STEGER 1998 extrahierte Linien durch Fuzzy-Werte entsprechender Attribute wie Länge, Geradlinigkeit und Homogenität in Breite und Grauwerten bewertet. Der letzte Schritt der Straßenextraktion, wie er in der Verifikation Anwendung findet, ist die Gruppierung einzelner Linien, um einen topologisch korrekten und geometrisch opti-

malen Weg zwischen Startpunkten ableiten zu können. Die Entscheidung, ob extrahierte und bewertete Linien in einem Straßenobjekt zusammengefasst werden sollen, wird anhand eines Kollinearitätskriteriums gefällt. Die beschriebene Straßenextraktionssoftware wurde an unsere speziellen Aufgaben angepasst, insbesondere durch Anwendung individueller Parameter für verschiedene Kontextbereiche und die separate Extraktion jedes Straßenobjektes.

Das vorgestellte Verfahren ist eingebettet in einen zweistufigen, auf der Graphentheorie basierenden Ansatz, der die Verbindungsfunktion von Straßen ausnutzt und zu einer Reduzierung falscher Entscheidungen während der Verifikation führt (GERKE et al. 2004). In der ersten Phase wird die Straßenextraktion mit strikter Parameterkontrolle angewendet, was zu einer relativ geringen Anzahl korrekt extrahierter Straßen führt. Andererseits werden auch zahlreiche Straßen abgewiesen, obwohl sie korrekt sind. Ziel dieses Schrittes ist es, Fehler 2. Art praktisch auszuschließen. Für die zweite Phase werden alle verworfenen Objekte hinsichtlich ihrer Verbindungsfunktion innerhalb des Straßennetzes überprüft. Es wird angenommen, dass in der ersten Phase akzeptierte Straßen über einen optimalen, d. h. kurzen, Weg miteinander verbunden sind. Alle zurückgewiesenen Straßen aus der ersten Phase, die diese Netzwerkfunktionen erfüllen, werden in der zweiten Phase erneut überprüft, jedoch mit einer toleranteren Parameterkontrolle für die Straßenextraktion.

Für den praktischen Einsatz ist die Einstellung der Parameter von großer Bedeutung. Die Parameter für die Straßenextraktion lassen sich grob in zwei Bereiche einteilen: Parameter für geometrische Straßeneigenschaften und solche für radiometrische Eigenschaften. Erstere sind abhängig von der Region, in der die ATKIS-Daten liegen. Beispielsweise können im Flachland weniger starke Krümmungen im Straßenverlauf erwartet werden als im Bergland (Serpentinen). Hier bedarf es spezifischer Anpassungen, die ein erfahrener Operateur aber leicht einbringen kann. Die Güte der Einstellung radiometrischer Parameter hängt sowohl

von den Straßen (Material), als auch von den Bilddaten und Aufnahmeeinflüssen (Sonnenstand, Filmmaterial/digitaler Sensor, Weiterverarbeitung etc.) ab. Eine genaue Anpassung an radiometrische Eigenschaften – hier: über den Kontrast bei der Linienextraktion – ist wegen des verwendeten topologischen Ansatzes nicht sehr kritisch. Die Kontrastparameter werden im ersten Schritt sehr streng gewählt, im zweiten Schritt eher tolerant, wodurch oben genannte Einflüsse keine signifikanten Auswirkungen auf das Ergebnis haben.

### 3.2 Verifikation flächenhafter Gebiete

Während dieser Analyse werden zwei unterschiedliche, sich gegenseitig ergänzende Ansätze verwendet. Für die Entscheidung zwischen den vier Klassen *bewirtschaftete Flächen, Wald, Industrie- und Wohnbauflächen* wird eine Texturanalyse der Szene vorgenommen. Zur weiteren Unterscheidung wird zusätzlich eine Strukturanalyse des Bildes durchgeführt, welche nach den wichtigsten Elementen für *Siedlungsgebiete, Häusern und Industriehallen*, sucht.

#### 3.2.1 Texturanalyse

Die Texturanalyse verwendet einen Segmentierungsalgorithmus wie in GIMEL'FARB 1997 beschrieben. Er wurde um die Funktionalität erweitert, in verschiedenen Auflösungen zu arbeiten. Die ATKIS-Objektarten *Ackerland* und *Grünland* werden wegen ihrer ähnlichen Textur in der einheitlichen Klasse *bewirtschaftete Fläche* zusammengefasst. Die textuellen Eigenschaften der einzelnen Klassen müssen anhand klassifizierter Trainingsgebiete angelernt werden. Bei diesem Anlernen kann der Auflösungsgrad für jede Klasse bestimmt werden, bei der sie signifikante Signaturen aufweist und so am besten von anderen Klassen getrennt werden kann. Das Ergebnis des Anlernens wird in einer Evaluationsmatrix gespeichert.

Bei der Texturanalyse wird das Eingangsbild zunächst in jeder Auflösungsstufe mit dem oben genannten Verfahren segmentiert. Im Folgenden wird die resultierende Klas-

sifikation aus einer Kombination der jeweiligen Segmentierungsergebnisse aus allen Auflösungsstufen unter Berücksichtigung der Evaluationsmatrix berechnet.

Das Anlernen ist entscheidend für die Effizienz und Güte der abgeleiteten Ergebnisse. Es ist nicht notwendig, den Segmentierungsalgorithmus für jedes Bild anzulernen, ein einmaliger Lernprozess pro Befliegung ist nach unserer bisherigen Erfahrung ausreichend. Um den Lernprozess zu beschleunigen, können die Grenzen der Trainingsgebiete auch einem GIS entnommen werden. Da aber die vollautomatische Ableitung von Trainingsgebieten zu inhomogenen Gebieten führen kann, ist die manuelle Festlegung von Flächengrenzen vorzuziehen.

#### 3.2.2 Strukturanalyse

Die Strukturanalyse basiert auf dem Auffinden von Gebäuden, die als komplexe, aus mehreren Teilen bestehenden Strukturen modelliert werden. Es wird ein Beleuchtungsmodell bei normaler Sonneneinstrahlung unterstellt; folglich werden Schatten neben einem Gebäude erwartet. Der Azimut- und Zenitwinkel der Sonne wird als Vorwissen verwendet. Hypothesen für Schatten und Dächer werden unter Verwendung zweier verschiedener Bildsegmentierungsoperatoren generiert. Um diese Hypothesen zu verifizieren, müssen Hypothesen für Dächer mit einem oder mehreren Schatten kombiniert werden. Schattenhypothesen von Gebäuden werden unter Verwendung des Grauerthistogramms gewonnen. Zusätzlich dürfen Schatten nur eine maximale Fläche haben, so dass z. B. Schatten in der Nähe eines Waldes unberücksichtigt bleiben. Dachhypothesen werden in einem komplexeren Verfahren generiert. Hier wird zunächst das Verfahren „Colour-Structure-Code“ (REHRMANN & PRIESE 1998) für die Segmentierung des gesamten Eingangsbildes verwendet. Es werden nur Dachhypothesen plausibler Größe ausgewählt; zusätzlich werden Kompaktheit und Orthogonalität überprüft. Die Position eines Schattens zu einem Dach muss dem Beleuchtungsmodell entsprechen. Die sich ergebenden Ge-

bäudeinstanzen werden unter Berücksichtigung ihrer Größe in Häuser und Gewerbehallen unterteilt. Die wenigen benötigten Parameter für die Extraktion von Schatten- und Dachflächen lassen sich leicht einstellen; selbst bei suboptimaler Wahl der Parameter arbeitet die Gebäudeextraktion durch die restriktive Überprüfung mit Hilfe des Beleuchtungsmodells zuverlässig.

### 3.2.3 Verifikation einer ATKIS-Region

Die Ergebnisse des struktur- und des texturbasierten Ansatzes werden zusammengeführt, um die ATKIS-Gebiete zu verifizieren. Beide Ansätze führen zu verschiedenen Qualitätsmaßen. Die Texturklassifikation führt zu einer pixelweisen Zuordnung zu den verschiedenen Klassen. Der strukturelle Ansatz identifiziert Gebäude unter Berücksichtigung verschiedener Merkmale und der Struktur von Primitiven wie Dach und Schatten zueinander. Die berücksichtigten ATKIS-Gebiete werden mittels eines Evaluationskatalogs bewertet, der aus dem ATKIS-Objektartenkatalog mit Hilfe der Erfahrung von Operateuren erstellt wurde. Sowohl die textuellen als auch die strukturellen Bedingungen müssen für eine korrekte ATKIS-Region erfüllt werden. *Wohnbauflächen* und *Industrieflächen* werden anhand der gefundenen Gebäude verifiziert. Vegetationsklassen werden verworfen, wenn Gebäude in diesen Regionen auftreten. Innerhalb bewirtschafteter Flächen wird ein gewisser Prozentsatz an *Wald* toleriert, häufig zu finden an den Rändern dieser Flächen.

## 4 Vollständiger Arbeitsablauf

Hauptmerkmal des kompletten Arbeitsablaufs der automatisierten Qualitätskontrolle ist die Kombination automatischer Abläufe (s. Abb. 2) mit den interaktiven Schritten und Entscheidungen, die vom Operateur vorgenommen werden. Orthophotos und das ATKIS Basis-DLM sind sowohl für die automatischen Verfahren wie auch für den Operateur verfügbar. Der Operateur betrachtet beides mit Hilfe einer entsprechend angepassten Oberfläche unter ArcGIS. Die

Ergebnisse der automatischen Abläufe erhält der Operateur in Form von Ampel-Diagnosen, die ebenfalls von ArcGIS eingelesen und am Bildschirm dargestellt werden. Wenn man sich auf die vom automatischen Verfahren akzeptierten Objekte, d. h. die grün hervorgehobenen ATKIS-Objekte, verlässt, kann der automatische Arbeitsablauf im Vergleich zu einem rein interaktiven Verfahren deutlich beschleunigt werden. Der Operateur muss sich ausschließlich auf eine Entscheidung für die zurückgewiesenen ATKIS-Objekte konzentrieren. So entsteht eine Zeitersparnis, die dem Anteil der automatisch akzeptierten ATKIS-Objekte entspricht. Die sich hieraus ergebenden Konsequenzen werden in Tab. 2 dargestellt. Der aus dem Vergleich eines ATKIS-Objekts mit dem Orthophoto resultierende Prozentsatz von Übereinstimmungen zeigt die Effizienz des Systems. Diese Effizienz entspricht der Ersparnis an interaktiver Arbeitszeit. Wenn der in Abb. 2 gezeigte Arbeitsablauf zugrunde gelegt wird, führen vom automatischen Verfahren akzeptierte Objekte, die vom Operateur verworfen würden, zu unentdeckten Fehlern (Fehler 2. Art). Ihr prozentualer Anteil muss deshalb so gering wie möglich gehalten werden. Um fälschlich verworfene Objekte (Fehler 1. Art) entsprechend Tab. 1 zu vermeiden, werden alle vom automatischen Ablauf zurückgewiesenen ATKIS-Objekte einer Endkontrolle durch den Operateur unterzogen. Nur bei diesen Objekten findet eine interaktive Prüfung

**Tab. 2:** Entscheidungsmatrix: Operateur im Vergleich zum automatischen Verfahren. Auswirkungen (siehe auch Tab. 1).

	automatisch	grün	rot
menschlicher Operateur			
grün		Effizienz	interaktive Endkontrolle
rot		nicht aufgefundene Fehler	interaktive Endkontrolle

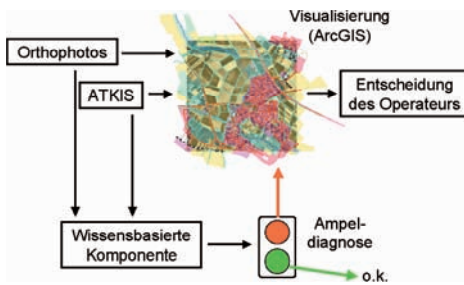


Abb. 2: Arbeitsablauf der Qualitätskontrolle.

statt, wie sie ohne automatische Unterstützung für alle Objekte durchgeführt werden müsste.

Fehler 1. und 2. Art lassen sich im Allgemeinen nicht unabhängig voneinander minimieren. So bewirkt eine Verminderung des Fehlers 1. Art eine Vergrößerung des Fehlers 2. Art und führt zu mehr unentdeckten Fehlern. In unserem Fall wurde eine Effizienz von 50%, also eine Einsparung der Hälfte an interaktiver Arbeitszeit, bei gleichzeitig verschwindend kleinem Fehler 2. Art als ein akzeptables Ergebnis definiert. Für eine vollständige Beurteilung des Verfahrens müsste gegebenenfalls zusätzlich die Art bzw. Schwere der nicht gefundenen Fehler hinzugezogen werden. Dies gibt auch Hinweise auf Schwächen der Bildauswertung, die dann durch verbesserte oder erweiterte Modellierung verbessert werden könnten.

### 5 Beispiele und Ergebnisse

Das System ist in der beschriebenen Form seit Mitte 2003 am BKG installiert. Die erzielten Verifikationsergebnisse wurden mit jenen eines Operateurs verglichen. Das Testgebiet umfasst 14 Szenen einer Größe von je 2 km × 2 km in Nordrhein-Westfalen.

Abb. 3 zeigt als Beispiel eine durch die automatische Straßenverifikation erzeugte Situation. Der rot markierte Weg entspricht nicht den Genauigkeitsvorgaben von ATKIS und wurde vom automatischen System deshalb nicht akzeptiert.

Während die Straßenextraktion gegenwärtig auf die im ATKIS Basis-DLM ent-

Tab. 3: Statistische Angaben zur Straßenverifikation. Der Prozentsatz bezieht sich auf die Anzahl getesteter ATKIS-Objekte.

automatisch / Operateur	grün	rot
grün	65.7 %	32.0 %
rot	0.76 %	1.53 %

haltenen Straßenobjekte beschränkt ist, bezieht sich die flächenhafte Verifikation auf das gesamte Orthophoto. So zielt die Analyse darauf, bebaute Gebiete zu verifizieren, ihre Änderungen und Erweiterungen zu erfassen, und schließlich Neubaugebiete und während der Datenerfassung übersehene bebaute Gebiete aufzufinden.

Tab. 3 fasst die Ergebnisse der Straßenverifikation zusammen. Diese basieren auf der Untersuchung von ca. 2300 ATKIS-Straßenobjekten innerhalb ländlicher Gebiete. Es wird ersichtlich, dass durch das automatisierte Verfahren etwa zwei Drittel der interaktiven Arbeitszeit eingespart werden konnte. Nach den bisherigen Erfahrungen benötigt ein Operateur für die rein interaktive Kontrolle der Straßen und Wege, d. h. ohne Unterstützung durch die automatische Bildauswertung, für ein Orthophoto (4 km<sup>2</sup>) etwa 4 Stunden. Die Zeitersparnis betrug für das beschriebene Projekt demnach ca. 40 Stunden.

Abb. 4 zeigt das Beispiel eines automatisch erfassten Neubaugebietes. Die statistischen Angaben für die Verifizierung bebauter Flächen sind in Tab. 4 enthalten. Die Ergebnisse basieren auf denselben Eingangsdaten wie diejenigen der Straßenverifikation. Die Prozentsätze in Tab. 4 beziehen sich erneut auf die Anzahl getesteter ATKIS-Objekte. Die flächenhafte Kontrolle der Wohnbau- und Industrieflächen, bewirtschafteter Flächen und des Waldes erledigt der Operateur ohne automatische Unterstützung in etwa 8 Stunden pro Orthophoto.

Es zeigen sich vergleichsweise mehr Fehler 2. Art (s. Tab. 1). Die meisten dieser Fälle

**Tab. 4:** Statistische Angaben zur Verifikation bebauter Flächen. Der Prozentsatz bezieht sich auf die Anzahl getesteter ATKIS-Objekte.

automatisch \ Operateur	grün	rot
grün	69.5%	21.2%
rot	6.2%	3.1%

stammen von Einzelgebäuden, die nur einen kleinen Teil, oft weniger als 10%, der untersuchten Fläche bedecken. Diese Schwäche des Verfahrens wird derzeit anhand einer Anpassung des Verfahrens an solche Fälle behoben.

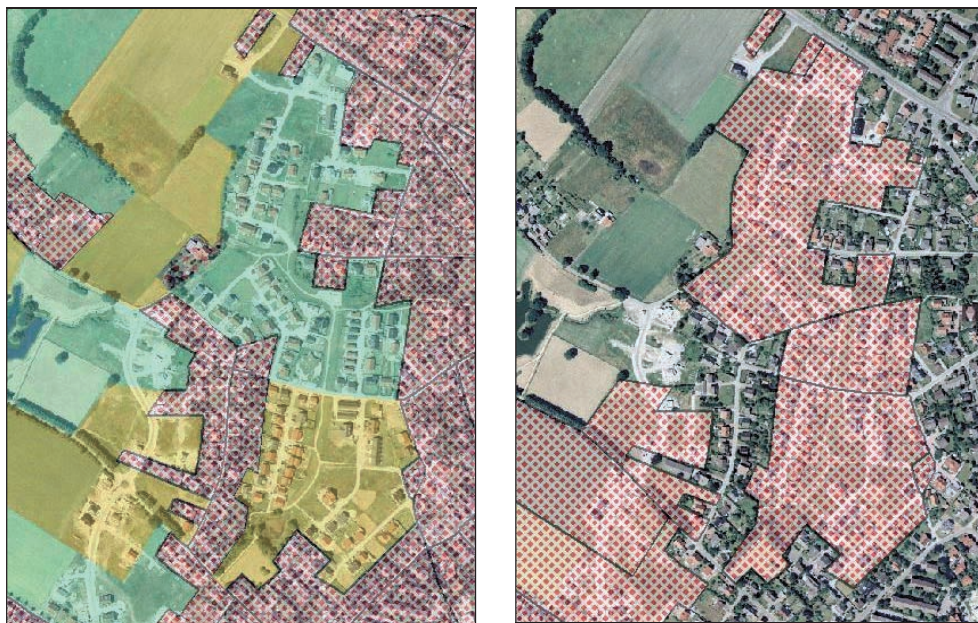
## 6 Schlussfolgerungen und Ausblick

Das hier beschriebene automatisierte Verifikationsverfahren ist durch einen effizienten Arbeitsablauf automatischer Verfahren und eine abschließende, manuelle Bearbeitung von Situationen, die sich in einer automatischen Selbstdiagnose als kritisch herausstellten, charakterisiert. Ein Beispielprojekt hat gezeigt, dass das Verfahren im praktischen Einsatz zu einer erheblichen Zeiterparnis in der täglichen Arbeit führt. Für die nahe Zukunft ist geplant, die Methoden mit Bildern hochauflösender Satelliten zu testen. Daneben ist für Straßen ein Modul zur Änderungsdetektion in Arbeit. Dadurch sollen dem Operateur auch Straßen angezeigt werden können, die sich im Vergleich ATKIS Basis-DLM zu Bilddaten als neu herausgestellt haben.



**Abb. 3:** Beispiel einer Straßenverifikation. Orthophoto und ATKIS Basis-DLM: grün = akzeptierte Objekte, rot = verworfenes Objekt.





**Abb. 4:** Verifikationsbeispiel bebauter Flächen. Links: Orthophoto und ATKIS Basis-DLM (grün: Grünland, gelb: Ackerland, rot: Siedlung), rechts: automatische Fehlererkennung (rot: Widerspruch zu ATKIS Basis-DLM = verworfene ATKIS-Objekte).

## Literatur

- BALSAVIAS, E., GRÜN, A. & VAN GOOL, L. (eds.), 2001: Automatic Extraction of Man-Made Objects from Aerial and Space Images (III). – A.A. Balkema Publishers, Lisse/Abingdon/Exton (PA)/Tokyo.
- BÜCKNER, J., PAHL, M., STAHLHUT, O. & LIEDTKE, C.-E., 2002: A knowledge-based system for context dependent evaluation of remote sensing data. – In: v. GOOL, L.J. (ed.), DAGM-Symposium, Lecture Notes in Computer Science. – Vol. 2449, pp. 58–65, Springer, Zürich, Switzerland.
- BUSCH, A. & WILLRICH, F., 2002: System design for automated quality control of geodata by integration of GIS an imagery. – International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXXIV, Part 2, Commission II, pp. 53–58.
- GERKE, M., BUTENUTH, M., HEIPKE, C. & WILLRICH, F., 2004: Graph supported verification of road databases. – ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, **58** (3–4): 152–165.
- GIMEL'FARB, G.L., 1997: Gibbs fields with multiple pairwise pixel interactions for texture simulation and segmentation. – Rapport de recherche RR-3202, INRIA, Sophia Antipolis, France.
- HEIPKE, C., PAKZAD, K., WILLRICH, F. & PELED, A., 2004: Integration of geodata and imagery for automated update of spatial databases. – ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, **58** (3–4): 127–128.
- JOOS, G., 2000: Zur Qualität von objektstrukturierten Geodaten. – Schriftenreihe des Studienganges Geodäsie und Geoinformation der Universität der Bundeswehr München, Nr. 66.
- LIEDTKE, C.-E., BÜCKNER, J., PAHL, M. & STAHLHUT, O., 2001: Knowledge based system for the interpretation of complex scenes. – In: BALSAVIAS, E., GRUEN, A. & VAN GOOL, L. (eds.), Automatic Extraction of Man-Made Objects from Aerial and Space Images (III). – A.A. Balkema Publishers, Lisse/Abingdon/Exton (PA)/Tokyo.
- REHRMANN, V. & PRIESE, L., 1998: Fast and robust segmentation of natural color scenes. – In: CHIN, R.T. & PONG, T.-C. (eds.), ACCV'98, Third Asian Conference on Computer Vision, Hong Kong, China, Proceedings, Volume I. – Lecture Notes in Computer Science 1351: 598–606, Springer.

- STEGER, C., 1998: An unbiased detector of curvilinear structures. – IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, **20**(2): 311–326.
- WALTER, V., 2004: Object-based classification of remote sensing data for change detection. – ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, **58** (3–4): 225–165.
- WIEDEMANN, C., 2002: Extraktion von Straßennetzen aus optischen Satellitenbildern. – Deutsche Geodätische Kommission. Reihe C, Dissertationen, Heft Nr. 551.
- Anschriften der Autoren:
- Dr.-Ing. ANDREAS BUSCH,  
Prof. Dr. DIETMAR GRÜNREICH,  
BKG – Bundesamt für Kartographie und Geodäsie, Richard-Strauss-Allee 11, D-60598 Frankfurt/M. –  
(andreas.busch, dietmar.gruenreich)@bkg.bund.de
- Dipl.-Ing. MARKUS GERKE,  
Prof. Dr. CHRISTIAN HEIPKE,  
IPI – Institut für Photogrammetrie und GeoInformation, Universität Hannover,  
Nienburger Str. 1, D-30167 Hannover –  
(gerke, heipke)@ipi.uni-hannover.de
- Prof. Dr. CLAUS-EBERHARD LIEDTKE,  
Dipl.-Ing. SÖNKE MÜLLER,  
TNT – Institut für Theoretische Nachrichtentechnik und Informationsverarbeitung, Universität Hannover, Appelstr. 9A, D-30167 Hannover –  
(liedtke, mueller)@tnt.uni-hannover.de

Manuskript eingereicht: November 2004

Angenommen: Dezember 2004

## A method for Sequential Thinning of Digital Raster Terrain Models II: mixed locally adaptive wavelet-splines and anisotropy

OLGA WÄLDER, Dresden

**Keywords:** digital raster terrain models, DTM, mathematical method for sequential thinning of DTM, wavelet concept

**Zusammenfassung:** *Ein Verfahren zur sequentiellen Ausdünnung von digitalen Raster Terrain Modellen.* Diese Arbeit ist eine ergänzende Fortsetzung der vorherigen Veröffentlichung WÄLDER & BUCHROITHNER (2004), PFG Heft 3/2004, S. 215–220, zur sequentiellen Ausdünnung bzw. zur funktionalen Geländeapproximation mittels spezieller „Wellen-Strukturen“. Nun wird für das reale Georelief der Aufbau von Makro- bis Mikrostrukturen so organisiert, dass nicht nur die Amplituden, sondern auch die Form der Wavelet-Spline-Komponenten optimal angepasst werden. Außerdem kann das anisotrope Georelief speziell behandelt werden, so dass seine Geländeapproximation mittels Wavelet-Splines möglichst „naturnah“ durchgeführt wird. Das verallgemeinerte Verfahren wird zur optimalen Gegenüberstellung anhand eines digitalen Geländemodells von einem Testgebiet in den österreichischen Alpen demonstriert, das schon in der vorherigen Veröffentlichung untersucht wurde. Nähere Details zu diesem verallgemeinerten Ansatz werden diskutiert.

**Summary:** This paper presents a complementary continuation of the previous paper WÄLDER & BUCHROITHNER (2004) about a sequential method for the thinning and the description of digital raster terrain models based on wavelet concepts by means of approximating functions. Now, the composition from macrostructures to microstructures of the geo-relief is organized, that the kind of functions in a wavelet-spline can be optimally fitted in addition to the amplitudes. Furthermore, the anisotropic geo-relief can be treated in a special way, that its approximation should be “natural” as far as possible. The generalized method is demonstrated using the DTM of the test area in the Austrian Alps, that was treated in the previous paper with the aim of better comparison. Further details to this refined approach are discussed.

### 1 Modelling with mixed locally adaptive wavelet-splines: a short overview

The developed methods and algorithms for the structuring and thinning of the relief data with wavelet/splines were presented and tested for real geo-relief data in WÄLDER & BUCHROITHNER (2004). The classical wavelet theory is well-known and often applied in signal processing, physics, photogrammetry, cartography a.o., see FABER (2004), MEI-

ER (2003), SCHMIDT (2001), TING JIANG (1997). Our method differs from usual approaches because of its locally adaptivity and flexibility in the calculation of amplitudes, see WÄLDER & BUCHROITHNER (2004). Here, we only give a short overview about the preceding modelling.

It is assumed, that the unknown function  $z = z(x, y)$  allows the following sequential approximation (1), c.f. WÄLDER & BUCHROITHNER (2004):

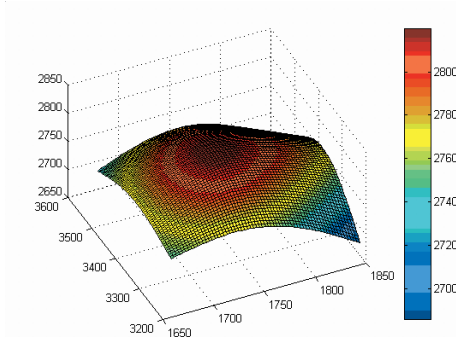


Fig. 1a:

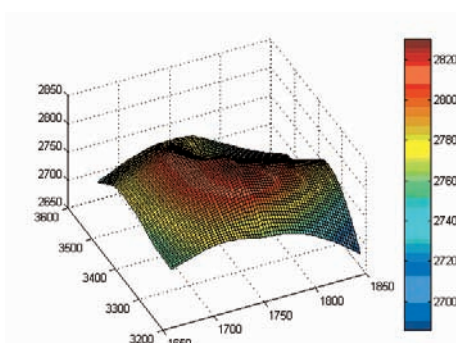


Fig. 1b:

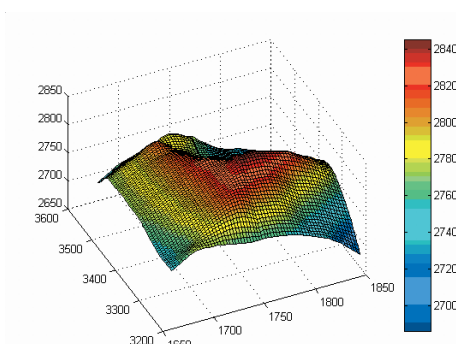


Fig. 1c:

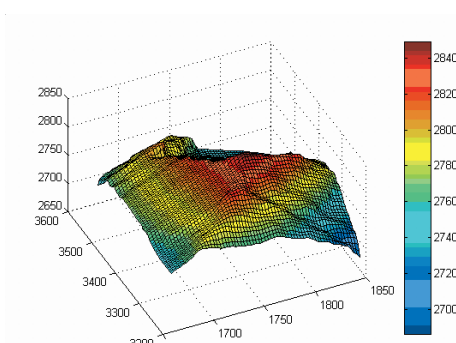


Fig. 1d:

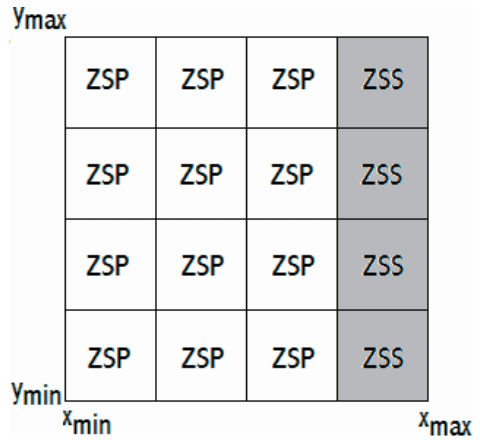


Fig. 1e: The combinations of wavelets after step 3: Z is a zigzag-like wavelet, S is a sinusoidal wavelet, P is a polynomial wavelet.

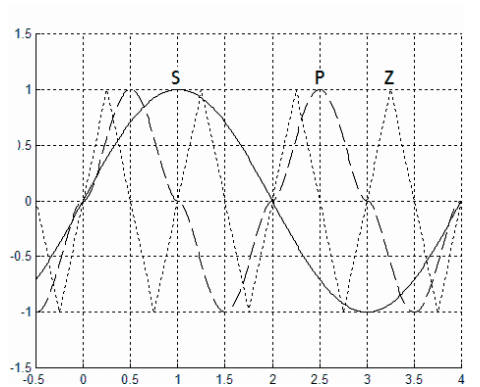


Fig. 1f: Three different kinds of wavelets: S is a sinusoidal wavelet  $f_1(\cdot)$ , P is a polynomial wavelet  $f_2(\cdot)$ , Z is a zigzag-like wavelet  $f_3(\cdot)$ , c.f. (1).

Fig. 1a–d: Approximation of the thinned DTM with a mixed locally adaptive wavelet-spline after: a) step 2, b) step 3, c) step 4, d) step 7.

$$\begin{aligned}
P_1(x, y) &= a_0 + a_1 f_1(x) + b_1 f_1(y) + c_1 f_1(x) f_1(y), \\
P_2(x, y) &= P_1(x, y) + \\
&\quad a_2(x, y) f_2(x) + b_2(x, y) f_2(y) + \\
&\quad c_2(x, y) f_2(x) f_2(y), \dots \\
P_{k+1}(x, y) &= P_k(x, y) + \\
&\quad a_{k+1}(x, y) f_{k+1}(x) + b_{k+1}(x, y) f_{k+1}(y) + \\
&\quad c_{k+1}(x, y) f_{k+1}(x) f_{k+1}(y), \dots \\
k &= 0, 1, \dots, \tag{1}
\end{aligned}$$

where  $f_k(\cdot)$ ,  $k = 1, 2, 3, \dots$  are special wavelets. Their possible kinds are sinusoidal, zigzag-like, polynomial ect., see Fig. 1f. For example, for sinusoidal wavelets these functions are:

$$f_k(x) = \sin(2^{k-2}\pi x), \quad k = 1, 2, \dots \tag{2}$$

The coefficients  $a, b, c$  are amplitudes. These constants are individual for each cell. This means, that they can vary for different cells. Exactly this leads to the *locally adaptive* wavelet-splines in comparison to the classical wavelet approaches.

But not only the amplitudes are individually chosen: the kind of functions  $f_k(x)$ ,  $k = 1, 2, \dots$  in (1) can be step-wise changed. Thus, these locally adaptive wavelets are called *mixed* in addition. With the aim of choosing the kind of functions the different combinations should be a-priori produced and compared. Then, this combination is finally accepted, that leads to the exactest approximation of the thinned DTM.

Fig. 1a–c shows three steps (from step 2 to step 4) of spline-modelling with mixed

**Tab. 1:** Accuracies in [m] obtained by different wavelet-splines. The thinned DTM corresponds to the seventh step.

Granat Spitz test area

Spine kind	Step					
	1	2	3	4	5	6
Sinusoidal (single)	69.30	15.43	5.18	2.17	1.02	0.39
Zigzag-like (single)	62.03	20.07	7.01	2.27	1.03	0.39
Polynomial (single)	63.87	17.91	6.97	2.72	1.22	0.44
Mixed	62.03	15.26	4.94	1.97	1.00	0.37

wavelet-splines for the test area. The locally adaptive combinations of wavelets after step 3 can be seen in Fig. 1e. Fig. 1f shows three different kinds of used wavelets. Fig. 1d pre-sets the final, seventh step of the approximation. Tab. 1 presents the comparison between different kinds of wavelet-spline-approximations.

## 2 Modelling the anisotropy

At first, we introduce some definitions, which we use for modelling the anisotropy.

*Definition 1:* A closed set  $P^2$  from  $R^2$  is called *X-convex*, if for

$$\begin{aligned}
\forall \begin{pmatrix} x_0 \\ y_0 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} \in P^2 \text{ and } \forall a \in [0, 1], \text{ it yields} \\
v_x = a \begin{pmatrix} x_0 \\ y_0 \end{pmatrix} + (1-a) \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} \in P^2.
\end{aligned}$$

*Remark:* This definition is weaker as the classical definition of a convex set.

*Definition 2:* A transformation of a  $N \times N$ -grid from a X-convex set to  $N \times N$ -grid with  $(x, y)$ -coordinates from  $(0,1) \times (0,1)$  is called *generalized  $(0,1) \times (0,1)$ -transformation*, if:

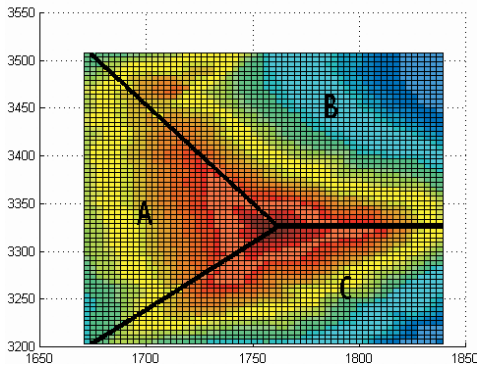
$$\begin{aligned}
x_j^{(0,1)}(y_i) &= \frac{x_j - \min(x(y_i))}{\max(x(y_i)) - \min(x(y_i))}, \tag{3} \\
y_i^{(0,1)} &= \frac{y_i - \min(y)}{\max(y) - \min(y)},
\end{aligned}$$

and its re-transformation is:

$$\begin{aligned}
x_j &= \{\max(x(y_i)) - \min(x(y_i))\} x_j^{(0,1)}(y_i) + \\
&\quad \min(x(y_i)), \\
y_i &= \{\max(y) - \min(y)\} y_i^{(0,1)} + \min(y), \\
i, j &= 1, \dots, N.
\end{aligned}$$

*Assumption:* We assume, that the test area can be divided into a finite number of X-convex, isotrop subsets. Then, we use definition 2 and calculate separately mixed wavelet-splines for each subset.

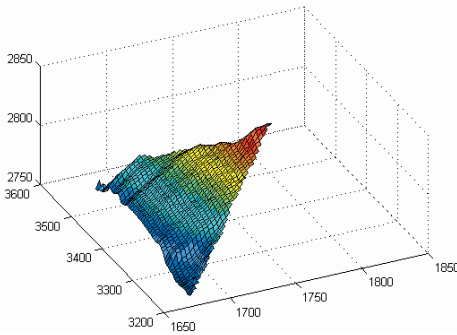
*Remark:* Definitions 1 and 2 can be simply adopted for Y-convexity. For example, the test area can be covered with Voronoi cells, which are X-convex as well as Y-convex. Thereby, the crossings between locally iso-



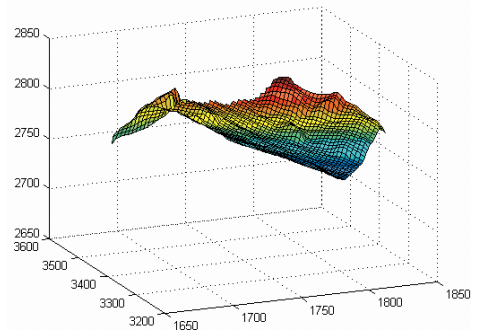
**Fig. 2:** Subsets of the Granat Spitz test area, which are assumed to be isotrop.

**Tab. 2:** Accuracies in [m] obtained for three subsets using mixed locally adaptive wavelet-splines. The thinned DTMs corresponds to the seventh step.

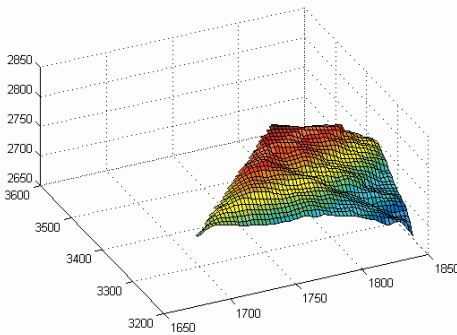
Granat Spitz test area, subsets A-C						
Step Subset	1	2	3	4	5	6
A	38.26	7.63	4.21	1.51	1.07	0.47
B	11.00	7.41	3.14	1.37	0.61	0.27
C	21.83	4.86	3.25	1.59	0.72	0.32



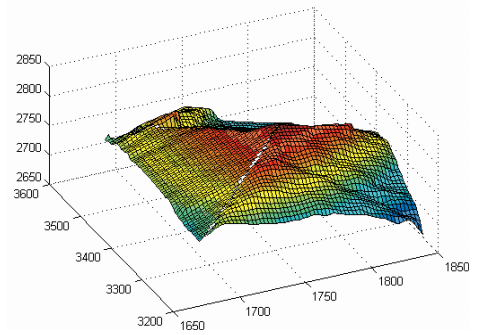
**Fig. 3a:**



**Fig. 3b:**



**Fig. 3c:**



**Fig. 3d:**

**Fig. 3a–d:** Approximation of the thinned DTM with mixed locally adaptive wavelet-splines for: a) subset A of the Granat Spitz test area, b) subset B of the Granat Spitz test area, c) subset C of the Granat Spitz test area. d) The whole Granat Spitz test area combined from subsets a)–c). The omitted z-connections should underline the anisotropy of the test area.

trop subsets of the anisotrop test area can be used as natural edges of these Voronoi cells.

In section 3 we show an application of this approach. The assumption made above leads to the use of mixed wavelet-splines. Their re-transformed frequencies are locally adapted corresponding to the  $y$ -coordinate.

### 3 Case Study Austrian Alps (Granatspitz Massif)

The test area belongs to the Austrian Hohe Tauern, southwest of Zell am See. This high-alpine area reaches from approx. 800 m to 3150 m a.s.l. This test area is characterized by a richness in geomorphological forms and therefore perfectly suitable as a test area for mixed locally adaptive wavelet-splines.

Tab. 1 presents the comparison of the accuracies obtained by single and mixed wavelet-splines. The thinned DTM is here a  $65 \times 65$  grid with  $64 \times 64$  different cells. Twenty two different amplitudes and seven combinations of kinds of wavelets in the mixed locally adaptive wavelet-spline belong to each cell.

The splining or, with other words, the approximation of the relief with mixed locally adaptive wavelet-splines is obviously more precise and less smoothed in comparison with another approximations of the relief with single locally adaptive wavelet-splines, cf. Tab. 1. Thus, it seems to be better suitable for modelling real reliefs. On the other hand, we should save the additional information about the combinations of these kinds for each cell. Fig. 1e shows these optimal combinations after step 3.

In order to illustrate the modelling of the anisotropy, we firstly divide the test area into three subsets, which are assumed to be nearly isotrop, see Fig. 2. At second, we choose the 7-step-thinning of these sets and the splining of the obtained grids with the mixed wavelet-spline. So, we obtain three new,  $65 \times 65$  grids with  $64 \times 64$  different cells after this procedure. The accuracies obtained thereby can be found in Tab. 2. Fig. 3a–c present the 7-step-approxima-

tions of the subsets, Fig. 3d shows the whole approximation of the test area. Here, the crossings between the subsets are special underlined by omitted z-connections.

### 4 Discussion

Statistical modelling of a relief can help to describe the actual geomorphological features and to understand it at different levels of detail. The approach, presented in WÄLDER & BUCHROITHNER (2004), is generalized by introducing different kinds of functions in (1) as well as by considering anisotropic cases. This approach is applied for the Granat Spitz test area. The approach to use locally adaptive mixed wavelet-splines and transformation (3) leads to flexibility in the choice of the kind of wavelets as well as of their frequencies. So, small subsets are covered by wavelets with higher frequencies as large subsets for the same step of the approximation.

All procedures are realized in the programming language Delphi 6.0. MATLAB is used for visualizations.

The relief modelling can be further refined for two or more time epochs by using surface deformation analysis between these epochs. First investigations have been started for a glacier region in the Oetztal Alps.

### References

- FABER, O., 2004: Effiziente Wavelet Filterung mit hoher Zeit-Frequenz-Auflösung. – Deutsche Geodätische Kommission bei der Bayerischen Akademie der Wissenschaften, Reihe A, Heft 119, München.
- MEIER, S., 2003: Zur K-Frage: Kompressionsraten der schnellen Wavelettransformation aus statistischer Sicht. – ZfV, Sonderdruck, 2003/1: 31–40.
- SCHMIDT, M., 2001: Grundprinzipien der Wavelet-Analyse und Anwendungen in der Geodäsie. – Shaker, Aachen.
- TING JIANG, 1997: Digitale Bildzuordnung mittels Wavelet-Transformation. – Dissertation, Schriftenreihe, Studiengang Vermessungswesen, Universität der Bundeswehr München, Heft 59, Neubiberg.

- WÄLDER, O. & BUCHROITHNER, M.F., 2003: Eine Anwendung von Spline-Verfahren zur DTM-Ausdünnung. – PFG, 2003/2: 99–104.
- WÄLDER, O. & BUCHROITHNER, M.F., 2004: A method for sequential thinning of digital raster terrain models. – PFG, 2004/3: 215–220.

Address of the author:

Dr. rer. nat. OLGA WÄLDER  
Institute for Cartography  
Dresden University of Technology  
Mommsenstrasse 13, D-01062 Dresden  
Tel.: +49-351-463-3-6200  
Fax: +49-351-463-3-7028  
e-mail: Olga.Waelder@mailbox.tu-dresden.de

Manuskript eingereicht: Juli 2004

Angenommen: August 2004



## GIS-gestützte Kartierung hochwasserschutzrelevanter topographischer Informationen mit HRSC-Daten

TOBIAS KRÜGER, MANFRED F. BUCHROITHNER, Dresden & FRANK LEHMANN, Berlin

**Keywords:** high-resolution stereo camera, flood protection, topographic mapping, digital surface model

**Zusammenfassung:** Die vorliegende Studie untersucht unter dem Eindruck des Hochwasserereignisses in Mitteleuropa vom August 2002 die Anwendbarkeit von Fernerkundungsdaten der HRSC-AX zu Hochwasserschutz Zwecken. Insbesondere wird untersucht, welche geomorphologischen Eigenschaften einer Deichlandschaft aus dem Digitalen Oberflächenmodell bestimmt werden können, die für Planung und Durchführung von Hochwasserschutzmaßnahmen relevant sind. Zur Verfügung standen Daten zweier Befliegungen des Tagebaurekultivierungsgebietes Goitzsche bei Bitterfeld in Sachsen-Anhalt. Vorbereitend wurden Recherchen über historische Hochwasserereignisse sowie die Entwicklung des Deichausbaus an diesem Abschnitt der Vereinigten Mulde durchgeführt. Die Studie zeigt, dass neben Informationen über die gegenwärtige Situation wie Deichhöhe und -profil auch Rückschlüsse auf ehemalige Flussverläufe gezogen werden können. Für ein Deich-Monitoring ist dies von Interesse, wenn, wie im vorliegenden Fall, diese Paläomäander von Deichen geschnitten werden.

**Summary:** *GIS-Based Mapping of Topographic Information Essential for Flood Protection Purposes Using HRSC Data.* Under the impression of the August 2002 flood catastrophe in Central Europe the present study investigates the usability of data acquired by the HRSC-AX remote sensing system for flood protection purposes. Thereby, the extraction of geomorphological features of embankment landscapes from the HRSC-derived digital surface model was of particular interest, since they can be essential for flood mitigation. The available data were initially acquired for documenting the stage of recultivation of the former brown coal mining site Goitzsche near the town of Bitterfeld in the German Federal State of Saxony-Anhalt. Complementary, a study has been carried out about historical flood events and the development of the embankment system of this particular section of the River Mulde. The results demonstrate that it is possible to get information not only about recent features like embankment heights and dyke profiles but also about ancient river beds. Those palaeo-meanders are of special interest when they are directly affecting the body of the dams as it is the case in the area investigated.

---

### 1 Einleitung

Für eine effiziente Planung und Durchführung von Hochwasserschutzmaßnahmen ist eine genaue Kenntnis der Landschaft und ihrer Besonderheiten unabdingbar. Dazu gehört neben der momentanen topographischen Zustandsbeschreibung und der fortlaufenden Aktualisierung derselben auch das Wissen über die historische Entwicklung. Die vorliegende Studie führt am Bei-

spiel des Muldegebiets bei Bitterfeld nördlich von Leipzig historische Informationen über Hochwasserereignisse, den Informationsgehalt älterer und aktueller topographischer Karten und eine Kartierung von Landschaftselementen mittels HRSC-Daten zusammen.

Ziel der Arbeit war es, mittels HRSC-Daten Rückschlüsse auf die frühere Geländebeschaffenheit zu ziehen, d. h. insbesondere den eingedeichten Bereich eines Flusses auf

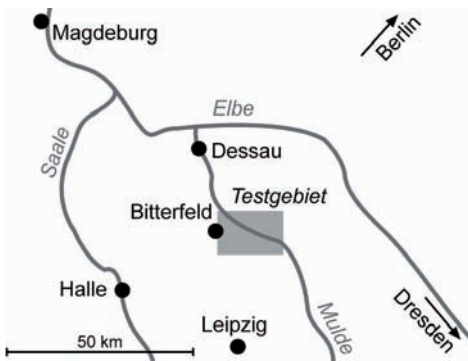


Abb. 1: Lage des Untersuchungsgebietes.

vormalige Flusschlingen, sog. Paläomäander, zu untersuchen. Derartige Informationen könnten für eine weiterführende Planung und Durchführung von Deichbauarbeiten von Interesse sein, da über die Ufer tretende Fließgewässer bevorzugt in ihre ehemaligen Verläufe zurückkehren. Das Testgebiet erstreckt sich entlang der Vereinigten Mulde nahe Bitterfeld. Für die Untersuchungen wurden HRSC-Daten, die aus Befliegungen des nahe gelegenen Bergbausanierungsgebietes Goitzsche stammten, verwendet.

## 2 Hochwasserereignisse an der Mulde

Zunächst wurde nach historischen Hochwasserereignissen recherchiert, um die Notwendigkeit eines effizienten Hochwasserschutzes zu unterstreichen, KRAUSE (1969) führt am Beispiel von Grimma, das vom Muldehochwasser 2002 besonders stark in Mitleidenschaft gezogen worden war, zahlreiche Ereignisse auf, die historisch belegt sind. Er bezieht sich dabei auf Aussagen einer Stadtchronik von 1856. Das erste Zeugnis eines Schaden verursachenden Hochwassers stammt aus dem Jahr 1306, als in der Stadt sechzehn Häuser und ein Teil der Stadtmauer zerstört wurden. Für die folgenden Jahrhunderte verzeichnet die Chronik zahlreiche Einträge. Das Hochwasser vom 14. 8. 1573, für das ein Pegel von 636 cm angegeben wird, blieb mehrere Jahrhunderte unübertroffen. Die zwei größten Ereignisse im zwanzigsten Jahrhundert fanden 1954

(700 cm) und am 13. 8. 2002 (868 cm) statt. Eine Aufstellung der dokumentierten Flutkatastrophen lässt deutlich werden, dass sich die Intervalle zwischen den Ereignissen in jüngerer Zeit stabilisieren. Aufgrund der unvollständigen und insbesondere in weit zurückliegenden Epochen fragwürdigen Datenlage ist eine exakte statistische Auswertung nicht möglich. Jedoch kann wohl davon ausgegangen werden, dass Ereignisse größeren Ausmaßes in Abständen von ca. vierzig Jahren auftreten.

## 3 Aufbau des Deichsystems im Untersuchungsgebiet

Ein systematisch geplanter und durchgeführter Deichbau beginnt Mitte des neunzehnten Jahrhunderts. Durch Vergleich der aktuellen TK25 mit der damals erstmals aufgenommenen Karte 1:25000 im Normalblattschnitt (Messtischblatt) ist es möglich, Landschaftsvergleiche durchzuführen. Hinsichtlich des Aufbaus des Deichsystems lassen sich anhand der Kartenserie folgende Schlussfolgerungen ziehen: Zur Zeit der Aufnahme der ersten Messtischblätter (um 1850) waren die wichtigsten Muldedeiche bereits vorhanden. Im Laufe der folgenden Jahrzehnte wurde das System weiter ausgebaut, allerdings hauptsächlich in einem Gebiet, in dem später Tagebaue aufgeschlossen worden sind. Der heute vorhandene Deichkörper geht in seiner Substanz somit auf die Mitte des neunzehnten Jahrhunderts zurück. Das hohe Alter der Deiche dürfte eine Ursache für das Versagen beim Hochwasser 2002 und die damit verbundenen Deichbrüche gewesen sein. Diese Feststellung wird



Abb. 2: Mulde mit Muldestausee und Tagebaurestloch bei Bitterfeld.

gestützt durch ein Gutachten der Internationalen Kommission zum Schutz der Elbe (IKSE), das bereits 2001 auf Schwachstellen hingewiesen hatte. Damals wurden 86 Prozent der Elbdeiche als sicherheitstechnisch unzureichend klassifiziert. Die Situation der Muldedeiche dürfte ähnlich schwierig sein.

#### 4 HRSC-Daten zur Merkmalsextraktion einer Deichlandschaft

##### 4.1 Allgemeines zu HRSC-Daten

Die High Resolution Stereo Camera (HRSC), entwickelt vom Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), arbeitet nach dem Prinzip eines Pushbroom-Scanners. Neun CCD-Zeilen sind unter voneinander abweichenden Blickwinkeln parallel in der Fokalebene der Instrumentenoptik montiert. Während der Vorwärtsbewegung des Flugzeugs werden zeitgleich neun sich überlappende Bildstreifen aufgenommen. Die Technologie ermöglicht die rasche Erstellung von Oberflächenmodellen, True-Ortho-Bildern (RGB und CIR) und Anaglyphen. Die Auflösung beträgt 20 cm bei 5000 m Flughöhe, die erreichbaren Genauigkeiten liegen im Subpixelbereich. Ausführliche Beschreibungen des Aufnahmesystems, der Datenprozessierung und -aufbereitung sind an anderer Stelle nachzulesen (WEWEL et al. 1998, WEWEL & SCHOLTEN 2000).

##### 4.2 Vorliegende Daten

Beim DLR lagen Daten zweier Befliegungen des Tagebaurestloches Goitzsche bei Pouch vor. Der erste Datensatz stammt vom Juli 2001, der zweite vom September 2002. Durch Vor- und Nachlauf sind jeweils auch Gebiete der Mulde mit ihren Deichen abgebildet worden; letztere Bildausschnitte lagen dieser Untersuchung zugrunde. Für die vorliegende Studie wurden vorrangig die Digitalen Oberflächenmodelle herangezogen, da die Studie auf geomorphologische Aspekte abzielt. Die DOM weisen eine Bodenauflösung von 100 cm in X- und Y-Richtung sowie 10 cm in Z-Richtung auf, d. h. ein Grau-



Abb. 3: Gebietsabdeckung der vorliegenden HRSC-Daten.

wertunterschied von 1 DN entspricht einem Höhenprung von 1 dm.

##### 4.3 Deichextraktion

Die Nutzung des HRSC-Oberflächenmodells (DOM) zur Deichbeobachtung kann auf unterschiedliche Weise erfolgen. Zunächst ist es notwendig, das DOM in ein Geländemodell (Digital Terrain Model, DTM) umzuwandeln. Dafür wird ein am DLR entwickelter Algorithmus (MAYER 2003) verwendet, der das DOM auf signifikante Höhensprünge innerhalb einer Suchumgebung, deren Größe variabel auf die Erfordernisse des Geländes abgestimmt werden kann, untersucht. Eine einfache Grenzwertfilterung ermöglicht anschließend die Trennung in Grund- und Nicht-Grundpunkte und die Erstellung einer Maske der erhöhten Objekte (Non-Ground Model, NGM). Anschließend werden für die maskierten Bereiche die fehlenden Grundpunkte aus der Umgebungshöhe interpoliert. Dadurch können Bäume, Gebäude und andere Objekte zuverlässig aus dem DOM entfernt

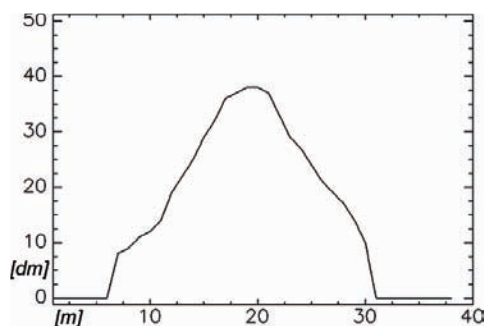
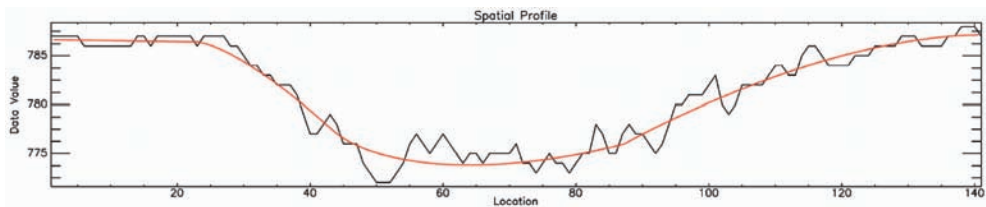


Abb. 4: Exemplarisches Deichprofil.



**Abb. 5:** Profilschnitt durch einen Paläomäander (x: Meter, y: Zentimeter).

werden. Durch Differenzbildung mit dem neu entstandenen DTM entsteht ein Über-Grund-Modell (Above Ground Model, AGM), aus dem die relativen Objekthöhen direkt abgelesen und Deichquerschnitte erstellt werden können, die ebenfalls die Deichbreite zeigen. Mit dieser Methode wurden in der Untersuchung teilweise fehlerhafte Karteninformationen der TK25 nachgewiesen. An einigen Stellen unterschreiten die abgeleiteten Deichhöhen die Kartenangabe um mehr als einen Meter (KRÜGER 2004).

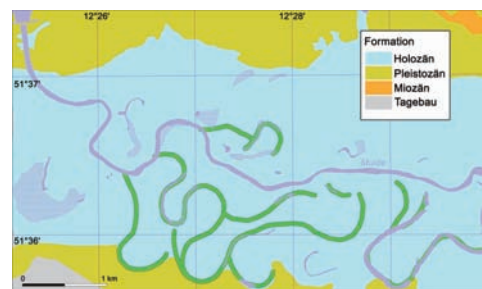
#### 4.4 Paläomäander

Das DOM/DTM der HRSC erlaubt es, Höhendifferenzen von 10 cm zu unterscheiden. In Verbindung mit der räumlichen Auflösung von 1 m<sup>2</sup> pro Pixel ermöglicht dies das Erkennen von Niveauunterschieden im Dezimeterbereich. Solch feine Strukturen sind nicht in der TK25 verzeichnet, allerdings können sie bei einem Anstieg des Wasserspiegels Bedeutsamkeit erlangen. Werden in dem durch den Algorithmus von MAYER (2003) erzeugten DTM die Geländehöhen von 770 dm bis 990 dm (der Bereich der Flussniederung) farbkodiert, sind deutlich vertiefte schlingenförmige Strukturen erkennbar, v. a. südlich des heutigen Flusslaufs. Anhand des auf diese Weise farbkodierten DTM konnten Paläomäander identifiziert und in das auf topographischen Karten basierende GIS eingebunden werden. Ihr linearer Verlauf wurde manuell nachgezeichnet und anschließend einer Pufferung unterzogen. Dadurch entstanden 50 m breite Vektorbänder, die in etwa mit der heutigen Flussbreite übereinstimmen. Eine Verschneidung dieser Vektoren mit Informationen aus geologischen Karten (Geologische

Karte 1:25000, GK25) zeigt, dass sich die Verbreitung der mutmaßlichen Paläomäander mit der Ausdehnung holozäner Sedimente im Flusstal deckt.

Analog zur Bestimmung von Deichhöhen und -breiten können auch Profilschnitte der Paläomäander aus den HRSC-Daten gewonnen werden. Im Querschnitt wird die Geringfügigkeit der Höhenunterschiede deutlich: Auf eine Entfernung von 20–30 m beträgt die Differenz etwa 100 cm oder weniger. Im Landschaftsbild oder gar in einer topographischen Karte sind solche Reliefstrukturen nicht erkennbar. Paläomäander lassen sich also durch folgende Merkmale als ehemalige Flussschlingen verifizieren:

1. Im farbkodierten Oberflächen- bzw. Geländemodell sind im weiteren Bereich um die Flussufer deutlich linienhafte Vertiefungen in der Geländeoberfläche sichtbar, die durch ihre Schlingenform auf Mäanderbildung hinweisen. Ihre Größe, d. h. ihr Krümmungsradius, kommt dem der noch vorhandenen Mäander nahe.
2. Der geologische Unterbau besteht aus holozänen Sedimenten, d. h. vorrangig aus Sanden und Kiesen, die im ehemaligen Urstromtal abgelagert worden sind.



**Abb. 6:** Kartierung der Mulde und ihrer Paläomäander in Relation zu den geologischen Schichten.

3. Das Gelände steigt mit zunehmender Entfernung von der digitalisierten Linie an. Der Anstieg lässt sich nicht pauschal quantifizieren, da die Ränder der Paläomäander nicht eindeutig genug festlegbar sind, ist aber dennoch durch die beschriebene Methode nachzuweisen.

4. Teilweise sind noch Altarme des Flusses vorhanden, wobei es sich auch um in der Karte ausgewiesenes sumpfiges Gelände handeln kann. Solche Wasserlöcher werden in allen Ausgaben der topographischen Karten oft mit „Alte Mulde“ bezeichnet.

## 5 Fazit

Die vorliegende Studie zeigt einige Möglichkeiten auf, die der Einsatz von HRSC-Daten für den Hochwasserschutz bietet. Am konkreten Beispiel konnten mit ihrer Hilfe einige bedeutsame Merkmale des Fluss- und Deichsystems ermittelt werden. Dazu gehören die tatsächlichen Deichhöhen, die durch die Normierung des DOM direkt abgeleitet werden können. Hier zeigte sich, dass die Angaben in der TK25 teilweise beträchtlich von den ermittelten Werten abweichen. Bei einer gleich bleibenden Qualität der HRSC-Daten ist es möglich, durch multitemporale Aufnahmen das Gelände an kritischen Punkten gezielt zu überwachen. Insbesondere im Überschwemmungsbereich der jährlichen Hochwasser können Veränderungen im Relief identifiziert werden. Dies ermöglicht die Anwendung von HRSC-Daten zur Quantifizierung von Erosionen und Sedimentationen nach Hochwasserereignissen.

Die hohe Auflösung des HRSC-Oberflächenmodells erlaubt weiterhin das Auffinden und Kartieren alter Flussbetten, selbst aufgrund von deren sehr geringen Geländevertiefungen. Mit Hilfe des HRSC-Höhenmodells konnten einige solcher Strukturen identifiziert und kartiert werden. Anhand mehrerer Merkmale wurde verifiziert, dass es sich in der Tat um verfüllte Flusschlingen handelt. Durch Kartierung dieser Paläomäander in Relation zum Deichsystem kann letzteres gezielt auf Schwachstellen hin untersucht werden, an denen die Deiche im

Hochwasserfall einer besonderen Belastung ausgesetzt sind.

## 6 Literatur

- KRAUSE, R., 1969: Untersuchungen historischer Hochwasserereignisse zur Verbesserung der Genauigkeit der Ermittlung statistischer Hochwässer. – Wasserwirtschaft-Wassertechnik (WWT), 19 (1).
- KRÜGER, T., 2004: Einsatz von HRSC-Daten zur GIS-basierten Kartierung für Hochwasserschutz. Demonstrationsbeispiel Bitterfeld. – Diplomarbeit. Technische Universität Dresden, Institut für Kartographie, Dresden (unveröffentlicht).
- MAYER, S., 2003: Automatisierte Objekterkennung zur Interpretation hoch auflösender Bilddaten in der Erdfernerkundung. – Dissertation. Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät II der Humboldt-Universität zu Berlin.
- PLESS, S. & GWINNER, K., 2002: Einsatz der HRSC-AX zur Quantifizierung von Hochwasserschäden. – Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V. Berlin (unveröffentlicht).
- WEWEL, F. et al., 1998: Digitale Luftbildaufnahme mit der HRSC – Ein Schritt in die Zukunft der Photogrammetrie. – Photogrammetrie · Fernerkundung · Geoinformation 1998 (6): 337–348.
- WEWEL, F. & SCHOLTEN, F., 2000: Erstellung von Digitalen Oberflächenmodellen mit dem Mehrzeilen-Stereo-Scanner HRSC-A. – Publikation der Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie und Fernerkundung, Bd. 8: 57–66.

### Anschriften der Autoren:

Dipl.-Ing. TOBIAS KRÜGER,  
 Prof. Dr. MANFRED F. BUCHROITHNER,  
 Technische Universität Dresden  
 Institut für Kartographie  
 Helmholtzstr. 10, D-01062 Dresden  
 e-mail: tobias-krueger@web.de  
 manfred.buchroithner@mailbox.tu-dresden.de

Dipl.-Geol. FRANK LEHMANN  
 Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V.  
 (DLR), Institut für Weltraumsensorik und Planetenerkundung  
 Rutherfordstr. 2, D-12489 Berlin-Adlershof  
 e-mail: frank.lehmann@dlr.de

Manuskript eingereicht: Juli 2004  
 Angenommen: August 2004



## Überprüfung der Landnutzungsmodelle ATKIS, CORINE Land Cover und Landsat-Klassifikation anhand Feldkartierung

MARTIN BACH, ELKE HIETEL, HANS-GEORG FREDE & RAINER WALDHARDT, Gießen

**Keywords:** remote sensing, ATKIS, CORINE land cover, field inventory, Landsat classification, land use model.

**Zusammenfassung:** Kenntnisse über die Bedeckung bzw. die Nutzung der Erdoberfläche haben in allen Bereichen der raumbezogenen Planung, Bewertung und Kontrolle höchste Bedeutung. Als digitale Informationsquellen werden dafür vielfach die Landnutzungsmodelle ATKIS, CORINE Land Cover (CLC) sowie Klassifikationen von Satellitenszenen verwendet, deren Wiedergabetreue allerdings im Regelfall nicht beurteilt werden kann. Die Güte der drei genannten Landnutzungsmodelle wird daher exemplarisch anhand der Ergebnisse einer Feldkartierung der Nutzungsklassen ‚Siedlung und Verkehr‘, ‚Wald‘, ‚Ackerland‘, ‚Grünland‘ sowie ‚Brachland (einschließlich sonstiger Nutzungen)‘ in zwei Testgebieten (drei Gemarkungen, zusammen 17 km<sup>2</sup>) in Mittelhessen überprüft. Das Untersuchungsgebiet ist durch eine kleinstrukturierte Landschaft mit einem relativ hohen Anteil an Bracheflächen gekennzeichnet. Die Ergebnisse der overall accuracy für die drei Landnutzungsmodelle variieren zwischen 69 % und 88 % im Vergleich zur Geländeerhebung in den zwei Kartierungsgebieten. Die Kongruenz der Siedlungs- und Verkehrsflächen sowie der Waldflächen ist deutlich höher als für Ackerland, Grünland und Brache. In der Gesamtbetrachtung der Modelle liefert ATKIS etwas bessere Gütemaße, ohne jedoch den beiden anderen Landnutzungsmodellen entscheidend überlegen zu sein. Das CLC-Modell unterschätzt Nutzungen tendenziell umso stärker, je geringer deren Flächenanteil ist.

**Summary:** *Verification of land use models ATKIS, CORINE Land Cover und Landsat-classification with field inventory.* Digital maps of the land use/land cover are an essential source of information for any kind of spatial distributed landscape planning and evaluation. Therefore the land use models ATKIS, CORINE Land Cover (CLC), and Landsat-TM-classifications are widely used. However, the users of these data mostly are not able to verify their quality. The fidelity of the three land use models is reviewed based on the results for the classes ‘urban and traffic areas’, ‘forest’, ‘arable land’, ‘grassland’, and ‘fallow land (including other uses)’ of an field inventory in two test areas (together 17 km<sup>2</sup>) in the German state Hessen. The area of interest is characterized as a small structured landscape with a relatively high portion of fallow land. The results for the overall accuracy between the field inventory and the land use models varies from 69 % to 88 %. For the land uses classes ‘urban and traffic areas’ and ‘forest’ the congruency is clearly better compared to ‘arable land’, ‘grassland’, and ‘fallow’. Overall, the model ATKIS shows a somewhat better rating, without being crucially superior to the two other land use models. The CLC model tends to underestimate land use classes, that have relatively small coverage, or that are more strongly dispersed in the landscape.

### 1 Einleitung

Kenntnisse über die Bedeckung bzw. die Nutzung der Erdoberfläche haben in allen Bereichen der raumbezogenen Planung, Bewertung und Kontrolle höchste Bedeutung.

Insbesondere für GIS-gestützte Analysen und für die raumvariate Modellierung von physischen Prozessen im Landschaftsmaßstab sind Informationen über die Art und die räumliche Verteilung der Landnutzung unverzichtbar. Für diese Zwecke werden re-

gelmäßig digitale Karten zur Landnutzungsverteilung herangezogen. In Deutschland kommen dabei für mesoskalige Anwendungen vor allem die drei digitalen Landnutzungsmodelle ATKIS, CORINE Land Cover (CLC) sowie Landnutzungsklassifikationen von Satellitenszenen als Datenquellen in Betracht. Eine ausführliche Darstellung bedeutender nationaler und internationaler Flächenerhebungsprogramme in Europa geben u. a. MEINEL & HENNERSDORF (2002).

Der Gebrauchswert digitaler Landnutzungsmodelle für den Nutzer hängt maßgeblich von ihrer Qualität ab, das heißt von der Güte der Übereinstimmung zwischen Modellabbildung und Wirklichkeit. Digitale Kartenwerke können jedoch zwangsläufig keine naturgetreue 1 : 1-Wiedergabe der realen Flächennutzung bzw. Bodenbedeckung leisten. Die Erstellung eines digitalen Modells der Landnutzung bzw. Bodenbedeckung bedingt, sowohl die Zahl der Geoobjekte als auch die Anzahl der Attribute und die Differenzierung für diese Geoobjekte auf ein praktikables Maß zu beschränken. Diese Bearbeitungsschritte reduzieren zwangsläufig den Informationsgehalt des Endproduktes, da mit der Aggregation sowohl auf der geometrischen als auch auf der sachlichen Ebene unvermeidlich eine Reduktion von Komplexität einhergeht. Ein Geodatenmodell bedeutet somit immer eine Generalisierung der Informationsvielfalt und eine Abstraktion der Realität (SBRESNY 1997).

In Anbetracht dieser Einschränkungen ist für praktische Anwendungen zu fragen, mit welcher Güte die drei häufig verwendeten Landnutzungsmodelle ATKIS, CLC und Landsat-TM-Klassifikation die reale Flächennutzung wiedergeben. Zur Beantwortung dieser Frage werden im vorliegenden Beitrag die Wiedergabetreue (respektive die Abweichungen) der drei aufgeführten Landnutzungsmodelle anhand einer Geländekartierung der Landnutzung in drei Gemarkungen überprüft. Parallel dazu ist die Kongruenz der drei Landnutzungsmodelle für ein größeres Untersuchungsgebiet untersucht sowie mit statistischen Angaben zur Flächennutzung verglichen worden (BACH et al. 2005).

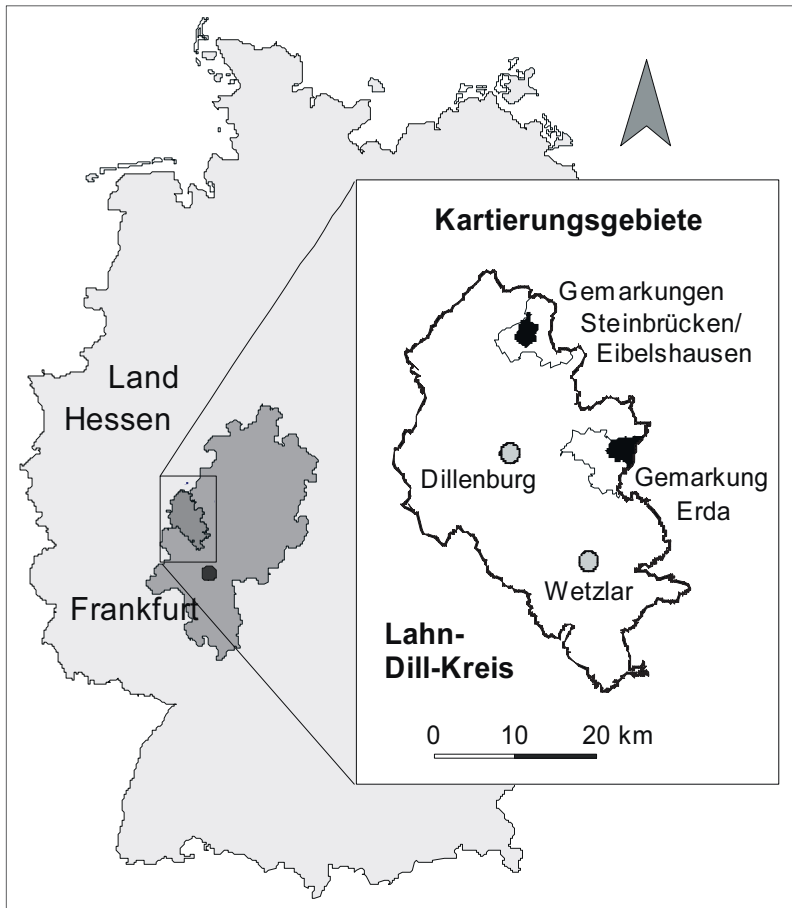
## 2 Daten und Methodik

### 2.1 Geländekartierung

Im Rahmen des Sonderforschungsbereichs SFB 299 „Landnutzungskonzepte für periphere Regionen“ (FREDE & BACH 1999) sind in zwei Arealen des Untersuchungsgebietes des SFB 299 Geländekartierungen durchgeführt worden: in der Gemarkung Erda (Gemeinde Hohenahr) mit 1007 Hektar kartierter Fläche sowie in den zwei aneinander grenzenden Gemarkungen Steinbrücken (Gemeinde Dietzhölzthal) und Eibelshausen (Gemeinde Eschenburg) mit zusammen 692 Hektar ausgewerteter Kartierungsfläche (Abb. 1). Für die Kartierung wurden, auf der Basis der Amtlichen Liegenschaftskarte (ALK, Maßstab 1 : 5.000), die Nutzungen in den Jahren 1997 bzw. 1998 parzellenscharf aufgenommen (FUHR-BOSSDORF 2003).

Die kartierten Gemarkungen liegen im mittelhessischen Bergland und sind durch ungünstige agrarstrukturelle und standörtliche Voraussetzungen für die landwirtschaftliche Bewirtschaftung geprägt. Die Freilandflächen weisen eine sehr kleine Parzellierung und einen engräumigen Wechsel von Acker- und Grünlandflächen auf; zudem wird ein vergleichsweise hoher Anteil von Landwirtschaftsflächen als so genannte „Sozialbrache“ nicht mehr für die Agrarproduktion genutzt (HIETEL et al. 2004). Diese Charakteristika der untersuchten Testgebiete sind typisch für viele Mittelgebirgslandschaften in Deutschland. Insbesondere die Gemarkungen Steinbrücken und Eibelshausen (im folgenden Stb./Eibh. abgekürzt) zeichnen sich durch eine fast vollständige Aufgabe der ackerbaulichen Nutzung zugunsten von Grünland, Brache oder Siedlung aus. Entsprechend der Fragestellung des SFB 299 diente die Kartierung vorrangig dem Ziel, die Nutzungsverhältnisse von *Landwirtschaftsflächen* (aktuelle und ehemalige) zu erfassen, so dass sich die Kartierung auf das Freiland konzentrierte; in Stb./Eibh. wurden daher unter anderem die Areale mit geschlossener Besiedlung sowie die Gewässer nicht erfasst. Abbildungen zu den Kartenbildern der Geländekartierung





**Abb. 1:** Kartierungsgebiete Gemarkungen Erda und Steinbrücken/Eibelshausen (Lahn-Dill-Kreis, Hessen).

und des ATKIS-Modells sind in HIETEL et al. (2002) wiedergegeben.

## 2.2 Digitale Landnutzungsmodelle

In **ATKIS** (Amtliches Topographisch-Kartographisches Informationssystem) wird die Erdoberfläche durch das topologische Netz der Straßen, Wege, Schienenbahnen und Gewässer in Polygone aufgeteilt (AdV, 2002; <http://www.atkis.de>). Die vorherrschende Nutzung innerhalb der Polygone wird über die visuelle Interpretation von Luftbildern nach Vorschrift des Objektartenkatalogs der AdV (2002) abgeleitet. Der Aktualisierungs-Rhythmus beträgt fünf Jahre, wobei nach

Auskunft der Katasterverwaltung der Schwerpunkt allerdings auf der Aktualisierung des topografischen Netzes und weniger auf der Überprüfung der Nutzungen liegt. Die Mindest erfassungsgrößen sind für verschiedene Objektarten unterschiedlich, für Vegetationsflächen im Freiland gilt beispielsweise 1 Hektar als Mindestgröße, für Waldflächen 0,1 Hektar. ATKIS ist nicht flurstückstreu, beispielsweise werden Straßen und Wege stets nur als Linienobjekte repräsentiert. Die Lagegenauigkeit wird mit ca.  $\pm 3$  m für die wesentlichen linearen Objekte (Maschenbildner) und mit ca.  $\pm 10$  m für die übrigen Grenzlinien im Freiland angegeben. Für die hier durchgeführte Unter-

suchung wurde der ATKIS-Datenbestand des Hessischen Landesvermessungsamts mit Stand vom 1. 1. 1998 verwendet; Tab. 1 gibt eine Übersicht der ausgewerteten Objektklassen.

**CORINE Land Cover** (CLC, COoRdination of INformation on the Environment) bezeichnet einen Datenbestand zur Bodenbedeckung, der nach einheitlicher Methodik für 28 Länder in Europa erstellt worden ist (European Communities Commission 1992). Landsat TM-Szenen aus den Jahren 1989 bis 1992 wurden zunächst unter Bezugnahme auf topographische Karten im Maßstab 1:100.000 geokodiert (Statistisches Bundesamt 1997); anschließend wurden die Bodenbedeckungsdaten über eine rechnergestützte visuelle Satellitenbildinterpretation ermittelt und den CLC-Erhebungseinheiten zugewiesen (Statistisches Bundesamt 1996; <http://www.destatis.de/stabis/start.htm>). Die Mindestgröße der Erhebungseinheiten (Erfassungsuntergrenze) beträgt 25 Hektar, linienförmige Objekte (z. B. Gewässerläufe) werden ab einer Breite von 100 m erfasst. Die CLC-Nomenklatur unterscheidet in der dritten Gliederungsebene 44 Klassen, die eine Mischung aus Bedeckungs- und Nutzungskategorien darstellen.

**Landsat-5-TM-Klassifikation** des Untersuchungsgebietes von NÖHLES (2000), für die drei Miniszenen (50 km \* 50 km, path/row 196/25 nach World Reference System, Pixelgröße 30 m) vom 24.06.1994, 14.10.1994 und 23.03.1995 als multitemporale Klassifikation in einem dreistufigen Verfahren ausgewertet wurden. An die (i) geometrische und radiometrische Korrektur schloss sich (ii) eine überwachte hierarchische Klassifikation mit fünf Landbedeckungsklassen (Siedlung, Laubwald, Nadelwald, Gewässer, ‚Restflächen‘) an. Die Klasse der ‚Restflächen‘ wurde anschließend (iii) in einer Subpixelklassifikation weiter interpretiert und mit dem Verfahren der Spectral Mixture Analysis (SMA) in die drei Klassen ‚Ackerland‘, ‚Grünland‘ und ‚Übergangsvegetation‘ aufgeteilt. Aufgabe der SMA war es speziell, die Pixel mit so genannter Übergangsvegetation, d.h. verschiedenen Sukzessionsstadien des Vegeta-

tionsaufwuchses auf Bracheflächen, als eigene Klasse von den Ackerland- und Grünlandflächen zu trennen; Einzelheiten zu Methodik und Ergebnissen siehe NÖHLES (2000).

### 2.3 Datenaufbereitung und Analyse

Entsprechend ihrer unterschiedlichen Erhebungsmethodik und Zielstellung verwenden die drei Landnutzungsmodelle unterschiedliche Klassifikationssysteme zur Einteilung der Flächennutzung bzw. Bodenbedeckung. Die Nutzungsklassen der digitalen Modelle müssen daher zunächst einer der fünf Kategorien ‚Siedlung und Verkehr‘, ‚Wald‘, ‚Ackerland‘, ‚Grünland‘ oder ‚Brachland (einschl. sonstige Nutzungen)‘ der Feldkartierung zugeordnet werden (Tab. 1); Gewässer wurden in der Feldkartierung nicht berücksichtigt. Die Kategorien *Siedlung und Verkehr*, *Wald* sowie *Grünland* werden in den Nomenklaturen der drei Modelle weitgehend übereinstimmend definiert, so dass ihre Gleichsetzung unproblematisch erscheint. Zum *Ackerland* gehören in den Landnutzungsmodellen auch die Flächen mit so genannter konjunktureller (einjähriger) Flächenstilllegung; in CLC werden darüber hinaus mit den Klassen 2.4.2 ‚Komplexe Parzellenstrukturen‘ und 2.4.3 ‚Landwirtschaftsfläche mit Flächen natürlicher Bodenbedeckung‘ auch Areale dazugerechnet, die nur teilweise ackerbaulich genutzt werden.

In der Kategorie *Brachland (einschl. sonstige Nutzungen)* wird ein heterogenes Spektrum an Nutzungsformen bzw. Bodenbedeckungen zusammengefasst, deren Ansprache als ‚Brachland‘ in der Geländeerhebung sich vornehmlich am Vegetationsbestand einer Fläche orientierte. Zum einen fällt das Brachland im klassischen Sinne darunter, das heißt ehemalige Agrarflächen, die seit mehr oder weniger langer Zeit nicht mehr bewirtschaftet (gepflügt, gemäht oder beweidet) werden und auf denen sich eine Spontanvegetation etabliert hat, sowie alle übrigen naturbelassenen Flächen. Weiterhin werden in diese Kategorie auch Gartenland, Dauerkulturflächen und Streuobstwiesen

**Tab. 1:** Gleichsetzung der Flächennutzungs- bzw. Landbedeckungsklassen der Feldkartierung mit den drei Landnutzungs/Landbedeckungsmodellen.

Geleändekartierung Nutzungskategorie <sup>a</sup>	ATKIS-Objektarten <sup>a</sup>	CLC-Klassen <sup>a</sup>	Landsat-5- Klassifikation <sup>b</sup>
<i>Siedlung und Verkehr</i>	2xxx Siedlung 3xxx Verkehr	1.x.x Bebaute Flächen	„Siedlung“
<i>Wald</i>	4107 Wald, Forst 4108 Gehölz	3.1.x Wälder	„Laubwald“ „Nadelwald“
<i>Ackerland</i>	4101 Ackerland	2.1.1 Ackerland 2.4.2 Komplexe Parzellenstrukturen 2.4.3 LF mit Fl. natürl. Bodenbedeckung.	„Ackerland“
<i>Grünland</i>	4102 Grünland	2.3.x Grünland	„Grünland“
<i>Brachland (einschl. sonstige Nutzungen)</i>	4103 Gartenland 4104 Heide 4105 Moor, Moos 4106 Sumpf, Ried 4110 Brachland 4120 Vegetat.lose Fl. 4199 Vegetation unbestimmbar	2.2.x Dauerkulturen 2.4.1 Einj. Kulturen mit Dauerkulturen 3.2.x Strauch- und Krautvegetation 3.3.x Offene Flächen mit geringer Veg. 4.1.x Feuchtf Flächen	„Übergangsvegetation“
<i>(Wasserfläche)<sup>c</sup></i>	51xx Wasserflächen	5.1.x Wasserflächen	„Gewässer“

<sup>a)</sup> In der Tab. nicht aufgeführte Objektarten bzw. Klassen sind im Untersuchungsgebiet nicht vertreten bzw. wurden nicht kartiert.

<sup>b)</sup> Landbedeckungsklassen der Landsat 5-TM-Klassifikation von NÖHLES (2000)

<sup>c)</sup> Wasserflächen wurden bei der Kartierung nicht berücksichtigt.

eingeorordnet, für die aufgrund ihres sehr geringen Flächenanteils im Untersuchungsgebiet keine eigene Rubrik erstellt werden sollte. Und schließlich sind als ‚Sonstige Nutzungen‘ im Untersuchungsgebiet unter anderem noch militärisch genutzte Areale, Deponien und Abbauf Flächen vertreten, die überwiegend mit Vegetation bedeckt sind und deren Erscheinungsbild mit Kraut- und Buschbewuchs dem Brachland ähnelt.

Zur Beurteilung der Wiedergabequalität sind die drei Landnutzungsmodelle mit den Ergebniskarten der Nutzungskartierung im Gelände verschnitten (ArcView<sup>®</sup> 3.2-Extension *Geoprocessing*, Funktion *Intersect*) und die Flächenanteile der Objekte mit gleicher Nutzung gezählt worden. Zur Bewertung der Übereinstimmung der Flächennutzungen zwischen Feldkartierung und den einzelnen Landnutzungsmodellen wurden error matrices sowie overall accuracy, user accuracy

und Cohen's kappa-Koeffizient herangezogen (CONGALTON 1991, STEHMAN 1997).

### 3 Ergebnisse

Die Nutzungsanteile nach Geländekartierung und nach den drei Landnutzungsmodellen für die drei Gemarkungen werden in Tab. 2 verglichen. Für die *Siedlungs- und Verkehrsflächen* betragen die größten absoluten Differenzen zur Kartierung 1,4%-Punkte in der Gemarkung Erda und rd. 3%-Punkte in den Gemarkungen Stb./Eibh. *Wald* nimmt nach Geländeaufnahme in Erda 37,3% Anteil ein, während die Landnutzungsmodelle zwischen 33,8 und 41,9% angeben, d.h. der größte Unterschied zwischen zwei Landnutzungsmodellen beträgt für eine der vier Hauptnutzungskategorien 8%-Punkte. In Stb./Eibh. sind die Ergebnisse homogener: 54,1% Wald nach Kartierung

**Tab. 2:** Flächennutzung nach verschiedenen Landnutzungs-/Landbedeckungsmodellen im Vergleich zur Geländekartierung in den Gemarkungen Erda und Steinbrücken/Eibelshausen.

Nutzungs-kategorie	Gemarkung Erda (10,07 km <sup>2</sup> )				Steinbrücken/Eibelshausen (6,92 km <sup>2</sup> )			
	Kartie-rung %	ATKIS %	CLC %	Land-sat 5 %	Kartie-rung %	ATKIS %	CLC %	Land-sat 5 %
Siedlung u. Verkehr	8,11	8,04	7,57	6,70	3,36	4,63	6,39	4,85
Wald	37,31	39,71	33,78	41,86	54,11	55,72	53,03	51,08
Wasser	n. b.	0,03	0,00	0,00	n. b.	0,57	0,00	0,00
Freiland zusammen	54,58	52,22	58,65	51,44	42,53	39,08	41,58	44,07
davon:								
– Ackerland	28,79	31,02	27,67	26,30	1,44	10,34	17,28	3,69
– Grünland	21,01	21,08	30,99	19,95	30,12	27,29	23,30	27,54
– Brache, Ödland, Übergangsveget.	1,05	0,04		5,19	6,29	1,39		12,35
– Gartenland	0,26	0,08			1,78	0,05		
– Streuobst	1,44				1,23			
– Sonstige Nutzung	2,04				1,67			

stehen Angaben der Modelle von 51,1 bis 55,7% gegenüber. Auch für die Kategorie *Freiland* liegen die Bandbreiten der Nutzungsanteile in ähnlichen Größenordnungen, in Erda beträgt die Überschätzung durch CLC rd. 4%-Punkte, während ATKIS und Landsat-5 den Freilandanteil um ca. 3%-Punkte unterschätzen. Für Stb./Eibh. liefert dagegen das ATKIS-Modell das schlechteste Ergebnis, welches das Freiland um 3,5% zu gering schätzt; Landsat-5 weist hier mit 44,1% den höchsten Anteil aus. Wasserflächen wurden in der Geländeaufnahme nicht berücksichtigt, so dass dafür keine Vergleichswerte zu den Landnutzungsmodellen vorhanden sind.

Schlüsselt man die Freilandnutzungen weiter auf, so werden teilweise starke Diskrepanzen offenkundig. Für *Ackerland* werden für Erda von allen Informationsquellen relativ übereinstimmend Anteile von 26,3% bis 31,0% genannt. Für Stb./Eibh. dagegen sind in der Kartierung nur 1,4% Ackerflächen ermittelt worden, was auch von der Landsat-5-Klassifikation mit 3,7% noch relativ gut wiedergegeben wird, während nach ATKIS 10,3% und nach CLC sogar 17,3% Ackerland in diesen Gemarkungen anzutreffen sein sollten. Die Angaben zu den *Grünlandanteilen* sind aufgrund der unterschiedlichen Klassifikationssysteme zur Flächennutzung/Bodenbedeckung der Land-

nutzungsmodelle nicht unmittelbar vergleichbar, da die Klasse *Grünland* in CLC und in ATKIS (teilweise) auch Flächen mit Brachland bzw. Vegetations-sukzession beinhaltet. Die Ergebnisse der Landsat-5-Klasse *Übergangsvegetation* mit 5,2% in Erda resp. 12,4% in Stb./Eibh. stimmen mit den Summen von *Brache, Ödland, Gartenland, Streuobst* sowie *Sonstige Nutzungen* der Felderhebung gut überein, die dafür 4,8% in Erda resp. 11,0% in Stb./Eibh. angibt.

Die Gesamtübereinstimmung zwischen Geländekartierung und den Landnutzungsmodellen beträgt im besten Fall 87,6% (overall accuracy der ATKIS-Daten für Erda, Berechnung mit N = 6 Nutzungskategorien), das schlechteste Ergebnis liefert CLC für Stb./Eibh. mit 69,2% (Tab. 3). Das ATKIS-Modell schneidet in beiden Testgebieten am besten ab, während CLC die geringste Übereinstimmung zeigt, was vor allem in der wesentlich stärkeren Aggregation infolge der Mindestobjektgröße von 25 Hektar in CLC begründet ist. Die Güte der Landsat-5-Klassifikation rangiert jeweils zwischen diesen beiden Landnutzungsmodellen. Im Vergleich der Testgebiete deuten die durchgängig niedrigeren Werte der overall accuracy für Stb./Eibh. darauf hin, dass die Landnutzungs- bzw. Landbedeckungsmodelle das tatsächliche Nutzungsmuster

umso schlechter abbilden können, je klein-strukturierter und vielfältiger die Nutzungsverteilung in einen Landschaftsraum ist.

Für die einzelnen Nutzungskategorien erreicht die Flächenkongruenz im Maximum 99% (*Waldflächen* des ATKIS-Modell für Erda; Tab. 4). Mit Werten von über 80% für

vier Nutzungskategorien zeigt ATKIS für das Testgebiet Erda hier durchgängig relativ eine hohe Übereinstimmung zwischen Modell und Kartierung; die *Bracheflächen* werden jedoch nicht getroffen. Die user accuracy für die Klassen *Siedlung und Verkehr* sowie *Wald* zeigt keine nennenswerten Unterschiede zwischen den drei Landnutzungs-

**Tab. 3:** Gütemaße der Übereinstimmung zwischen Geländekartierung und den Landnutzungs-/Landbedeckungsmodellen in den Gemarkungen.

Vergleich <sup>a</sup>	Gemarkung Erda (10,07 km <sup>2</sup> )		Steinbrücken/Eibelshausen (6,92 km <sup>2</sup> )	
	overall accuracy	kappa Koeffizient	overall accuracy	kappa Koeffizient
Kartierung vs. ATKIS	0,876	0,826	0,796	0,660
Kartierung vs. CLC	0,748	0,652	0,692	0,518
Kartierung vs. Landsat 5	0,792	0,707	0,742	0,587

**Tab. 4:** Übereinstimmung zwischen Flächennutzung nach Geländekartierung und nach Landnutzungs-/Landbedeckungsmodellen in der Gemarkung Erda (10,07 km<sup>2</sup>).

ATKIS	Kartierung (Referenz)					User accuracy
	Siedlung und Verkehr	Wald	Ackerland	Grünland	Brache, sonst. Nutzg. <sup>a</sup>	
Siedlung und Verkehr	<b>0,880</b>	0,002	0,001	0,012	0,111	<i>0,888</i>
Wald	0,006	<b>0,991</b>	0,006	0,007	0,489	<i>0,931</i>
Ackerland	0,029	0,004	<b>0,917</b>	0,170	0,138	<i>0,851</i>
Grünland	0,084	0,003	0,075	<b>0,810</b>	0,233	<i>0,807</i>
Brache, sonst. Nutzg. <sup>a</sup>	0,001	0,000	0,000	0,000	<b>0,024</b>	<i>0,939</i>

CORINE Land Cover	Kartierung (Referenz)					User accuracy
	Siedlung und Verkehr	Wald	Ackerland	Grünland	Brache, sonst. Nutzg. <sup>a</sup>	
Siedlung und Verkehr	<b>0,832</b>	0,008	0,009	0,006	0,032	<i>0,891</i>
Wald	0,004	<b>0,841</b>	0,020	0,034	0,228	<i>0,929</i>
Ackerland	0,077	0,086	<b>0,681</b>	0,145	0,250	<i>0,708</i>
Grünland	0,088	0,065	0,290	<b>0,816</b>	0,490	<i>0,553</i>
Brache, sonst. Nutzg. <sup>a</sup>	0,000	0,000	0,000	0,000	<b>0,000</b>	<i>0,000</i>

Landsat 5 (NÖHLES 2000)	Kartierung (Referenz)					User accuracy
	Siedlung und Verkehr	Wald	Ackerland	Grünland	Brache, sonst. Nutzg. <sup>a</sup>	
Siedlung und Verkehr	<b>0,780</b>	0,004	0,004	0,006	0,087	<i>0,883</i>
Wald	0,021	<b>0,942</b>	0,044	0,032	0,289	<i>0,922</i>
Ackerland	0,071	0,010	<b>0,764</b>	0,207	0,140	<i>0,783</i>
Grünland	0,095	0,006	0,142	<b>0,704</b>	0,247	<i>0,704</i>
Brache, sonst. Nutzg. <sup>a</sup>	0,033	0,039	0,046	0,052	<b>0,236</b>	<i>0,206</i>

<sup>a)</sup> Brachland, Gartenland, Streuobstwiesen, Übergangsvegetation, Ödland, sonstige Nutzungen.

**Tab. 5:** Übereinstimmung zwischen Flächennutzung nach Geländekartierung und nach Landnutzungs-/ Landbedeckungsmodellen in den Gemarkungen Steinbrücken/Eibelshausen (6,92 km<sup>2</sup>).

ATKIS	Kartierung (Referenz)					User accuracy
	Siedlung und Verkehr	Wald	Ackerland	Grünland	Brache, sonst. Nutzg. <sup>a</sup>	
Siedlung und Verkehr	<b>0,897</b>	0,005	0,000	0,011	0,092	0,652
Wald	0,053	<b>0,973</b>	0,001	0,019	0,212	0,945
Ackerland	0,007	0,002	<b>0,880</b>	0,248	0,133	0,123
Grünland	0,043	0,019	0,116	<b>0,714</b>	0,407	0,788
Brache, sonst. Nutzg. <sup>a</sup>	0,000	0,001	0,003	0,007	<b>0,106</b>	0,807

CORINE Land Cover	Kartierung (Referenz)					User accuracy
	Siedlung und Verkehr	Wald	Ackerland	Grünland	Brache, sonst. Nutzg. <sup>a</sup>	
Siedlung und Verkehr	<b>0,378</b>	0,037	0,021	0,064	0,104	0,199
Wald	0,071	<b>0,906</b>	0,012	0,071	0,147	0,924
Ackerland	0,306	0,035	<b>0,442</b>	0,257	0,548	0,037
Grünland	0,244	0,022	0,524	<b>0,608</b>	0,201	0,786
Brache, sonst. Nutzg. <sup>a</sup>	0,000	0,000	0,000	0,000	<b>0,000</b>	0,000

Landsat 5 (NÖHLES 2000)	Kartierung (Referenz)					User accuracy
	Siedlung und Verkehr	Wald	Ackerland	Grünland	Brache, sonst. Nutzg. <sup>a</sup>	
Siedlung und Verkehr	<b>0,426</b>	0,027	0,008	0,036	0,077	0,296
Wald	0,096	<b>0,860</b>	0,108	0,042	0,256	0,911
Ackerland	0,163	0,004	<b>0,241</b>	0,071	0,037	0,094
Grünland	0,227	0,029	0,503	<b>0,729</b>	0,231	0,798
Brache, sonst. Nutzg. <sup>a</sup>	0,087	0,079	0,140	0,121	<b>0,356</b>	0,316

<sup>a)</sup> Brachland, Gartenland, Streuobstwiesen, Übergangsv egetation, Ödland, Sonstige Nutzungen.

modellen; offensichtlich wirken sich bei diesen Nutzungsformen, die meist in relativ großen, geschlossenen Arealen auftreten, die unterschiedlichen Mindestobjektgrößen der drei Modelle kaum auf die Abbildungsgüte aus. Erst bei Betrachtung der Ergebnisse für die verschiedenen Nutzungen des *Freilandes* mit ihrem kleinräumigen Wechsel werden größere Unterschiede zwischen den Modellen erkennbar. Der Vergleich der *Brachflächen* nach Landsat-5 mit der Kartierung verdeutlicht, dass ein annähernd identischer Flächenanteil nicht zwangsläufig auch eine gute Flächenübereinstimmung bedeuten muss. Während die Bracheanteile in Erda mit 5,2% nach Landsat-5-Klassifikation bzw. 4,8% nach Kartierung ähnlich

hoch sind, stimmt die Lokalisierung dieser Flächen nur zu 23,6% überein.

Die entsprechenden Konformitätstabellen für die Gemarkungen Stb./Eibh. unterstreichen, wie unterschiedlich die Repräsentanz der Landnutzungsmodelle in zwei verschiedenen Testgebieten ausfallen kann (Tab. 5). Die Übereinstimmung der *Siedlungs- und Verkehrsflächen* beträgt in Landsat-5 hier nur noch 42,6% und in CLC 37,8%. Aus dem hohen *Ackerlandanteil* im ATKIS-Datenbestand resultiert zwar eine hohe Kongruenz von 88%, der sehr niedrige Wert der user accuracy von nur 0,12 bringt jedoch die gravierende Überschätzung dieser Nutzung durch ATKIS im Vergleich zur Kartierung zum Ausdruck. Die *Bracheflä-*

chen in den Gemarkungen Stb./Eibh. werden von keinem Modell gut wiedergegeben; selbst die Landsat-5-Klassifikation kann nur rund ein Drittel der Brachefläche zutreffend verorten.

#### 4 Diskussion

Eine externe Validierung bzw. von unabhängiger Seite erhobene Angaben zur Genauigkeit der Landnutzungsmodelle ATKIS, CLC und Landsat-Klassifikationen werden in der Literatur nur sehr selten beschrieben. Für ATKIS sind nach Stand der Kenntnis bislang keine entsprechenden Auswertungen durchgeführt worden. Zur Genauigkeit des CLC-Datensatzes für Deutschland macht das Statistische Bundesamt (1997) keine Angaben; für das CLC-Modell der Niederlande geben THUNISSEN & MIDDELAAR (1995) die Übereinstimmung anhand einer stichprobenartigen Überprüfung an 324 Stellen mit 87% an. Die Klassifikationsgüte ihrer siebenstufigen Landsat-5-Klassifikation beträgt nach NÖHLES (2000) 82,8%. HEINZMANN & ZOLLINGER (1995) kommen bei der Überprüfung einer fünfklassigen Landsat-5-Klassifikation mittels Feldbegehung für ein 9 km<sup>2</sup>-Areal in der Oberrheinebene zu ähnlich großen Abweichungen für die Nutzungsklassen ‚Ackerland‘ und ‚Rebland‘ wie die hier durchgeführte Untersuchung. JÜRGENS (2000) erreichte eine deutlich bessere Klassifikationsgenauigkeit multitemporaler Landsat-Szenen von rd. 90% für drei Gemeindegebiete, wofür allerdings phänologisch günstigere Aufnahmetermine zur Verfügung standen und die Szenen zusätzlich mit SPOT Pan-Daten zur Georeferenzierung verschnitten wurden.

Als generelles Fazit der Überprüfung von ATKIS, CLC und der Landsat-5-Klassifikation von NÖHLES (2000) anhand einer Feldkartierung ist festzuhalten, dass die reale Nutzungsverteilung in den Testgemarkungen der Untersuchung von den digitalen Landnutzungsmodelle im besten Fall mit einer Kongruenz in der Größenordnung von 90% bei Betrachtung aller Nutzungen repräsentiert wird. Die Übereinstimmung kann aber auch auf unter 70% sinken, wie

das Beispiel des CLC-Datensatzes für Stb./Eibh. zeigt, das heißt auf mehr als 30% der Fläche wurde in diesen Gemarkungen die Nutzung vom Modell falsch wiedergegeben. Legt man den Fokus auf eine differenzierte Analyse der Freilandnutzungen Ackerland, Grünland und Brachland, so verschlechtert sich die Wiedergabetreue aller Landnutzungsmodelle weiter. Insbesondere die Nutzungs-kategorie ‚Brache (einschl. sonstige Nutzungen)‘ wird nur in der Landsat-5-Klassifikation zumindest dem Anteil nach zutreffend berücksichtigt, bei ATKIS und CLC werden die meisten Flächen mit Übergangs- und ähnlicher Vegetation dem Grünland zugeordnet. Wie wenig zuverlässig die Modelle für einzelne Situationen sein können, verdeutlichen die Ergebnisse für Ackerland in Stb./Eibh.: die Übereinstimmung zwischen Kartierung (als Referenz) und CLC beträgt zwar immerhin noch 44%, die Zuverlässigkeit für den Nutzer (user accuracy) des Datenbestandes beträgt für diese Klasse jedoch nur 0,04.

Die nicht unerheblichen Divergenzen, sowohl in Bezug auf die Nutzungsanteile als auch auf die Kongruenz der Nutzungsverteilung, sind teilweise auf die Charakteristika der Modelle zurückzuführen; für verschiedene Effekte können die Autoren allerdings nach Stand der Kenntnis keine Hypothesen anbieten. Die Ursachen für die Abweichungen in den *Nutzungsanteilen* zwischen der Flächenerhebung und den drei Landnutzungsmodellen sind unter anderem in der Generalisierung und Aggregation der drei Geodatenbestände zu suchen, in deren Folge insbesondere kleinere Brachlandareale bzw. sonstige Nutzungen in den sie umgebenden Nutzungen (meistens ‚Grünland‘) aufgehen. Weiterhin kann die fehlende Übereinstimmung mit der Geländeerhebung zu einem gewissen Teil mit den abweichenden Erhebungsjahren der Datenbestände erklärt werden: CLC geht auf die Jahre 1989 bis 1992 zurück, die Landsat-5-Klassifikation von NÖHLES (2000) basiert auf Szenen aus 1994 und 1995, während die Geländekartierungen 1997/98 durchgeführt worden sind; der Aktualisierungsstand der Nutzungen in ATKIS ist nicht dokumen-

tiert. In einer Gemarkung wie Stb./Eibh., in der in den neunziger Jahren in größerem Umfang Agrarflächen brachgefallen sind, werden die Differenzen zur Kartierung sicherlich zu einem gewissen Anteil durch den Zeitversatz zu den Modellen verursacht. Es erscheint allerdings fraglich, ob die gravierenden Differenzen beim ‚Ackerland‘ zwischen Kartierung (1,4%) und ATKIS (10,3%) bzw. CLC (17,3%) in Stb./Eibh. mit dem Zeitversatz ausreichend erklärt werden können. Abweichungen in der hier beobachteten Größenordnung sind wahrscheinlich vorrangig auf die methodischen Fehler bei der Generierung der digitalen Landnutzungsmodelle zurückzuführen.

Die Ergebnisse zur *Kongruenz* der Landnutzungsmodelle mit der aktuellen Nutzung nach Feldkartierung zeigen tendenziell etwas bessere Werte für ATKIS und Landsat-5 im Vergleich zu CLC, was vor allem auf die höhere räumliche Auflösung der Modelle Landsat und ATKIS zurückgeführt werden kann. Die relativ hohe Kongruenz der Landsat-5-Daten ist zudem in der Methodik von NÖHLES (2000) begründet: im Verlauf der hierarchischen Klassifikation sind die einzelnen Nutzungen sukzessive klassiert und nach jedem Schritt die neue Klasse zu einem räumlich möglichst geschlossenen Objekt vereinigt worden. Dabei wurden darin eingeschlossene vereinzelte Pixel mit abweichenden Eigenschaften der Nutzungsklasse des gebildeten Objektes zugeschlagen. Die schlechtere Nutzungsrepräsentanz im CLC-Modell ist auch mit der stärkeren Aggregation der Flächenobjekte zu erklären, deren Mindestgröße 25 ha beträgt. Dadurch werden vor allem diejenigen Nutzungsarten systematisch unterrepräsentiert, die innerhalb einer Raumeinheit nur mit vergleichsweise geringen Flächenanteilen vertreten sind, oder die sich durch eine geringe spezifische Flächengröße auszeichnen.

Infolge der hohen kleinräumigen Variabilität der Nutzungstypen stellen die hier kartierten Gemarkungen zweifellos besonders hohe Anforderungen an die Qualität von Landnutzungsmodellen, insbesondere im Bereich der Freilandnutzungen. Auch wenn für das ATKIS-Modell im Regelfall etwas

bessere Gütemaße ermittelt worden sind, kann bei der Überprüfung der Landnutzungsmodelle nicht von einem eindeutigen „Testsieger“ im Sinne eines optimalen oder besten Datenbestands gesprochen werden. In Anbetracht der Missweisung aller digitalen Modelle gegenüber der Geländekartierung sowie angesichts der Divergenzen der Modelle untereinander (vgl. BACH et al. 2005) ist den Nutzern von Landnutzungsmodellen anzuraten, *jede* Datenquelle zunächst kritisch zu überprüfen. Für bestimmte Anwendungen wie beispielsweise Landschaftsanalysen zur Konnektivität oder zur Grenzliniendichte erscheinen alle drei untersuchten Modelle wenig geeignet, zumindest in Landschaften mit kleinstrukturierter Parzellierung und sehr heterogener Nutzungsverteilung (s.a. HIETEL et al. 2002). In dieser Situation gewinnen dann andere Kriterien für die Entscheidung an Bedeutung (s. dazu MEINEL & HENNERSDORF 2002), welche Landnutzungsdaten ein Modellanwender als Eingabevariablen zur Landnutzung bzw. Bodenbedeckung für sein Modell heranziehen soll. Zu diesen Faktoren gehören beispielsweise die Beschaffungskosten, die Datenverfügbarkeit, der Aktualisierungsstand, die Art der Geodaten (Vektor/Raster), das kategoriale System der Nutzung/Bodenbedeckung, die räumliche Auflösung, die Gebietsabdeckung usw., worauf in diesem Beitrag nicht näher eingegangen werden kann.

## 5 Danksagung

Die ATKIS-Daten sind freundlicherweise vom Hessischen Landesvermessungsamt zur Verfügung gestellt worden. Für die GIS-Auswertung ist JUKKA HÖHN zu danken. Der SFB 299 wird von der Deutschen Forschungsgemeinschaft, Bonn, finanziell gefördert.

## 6 Literatur

AdV (Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen in der Bundesrepublik Deutschland), 2002: ATKIS – Amtliches topographisch-kartographisches Informationssystem.  
– Landesvermessungsamt Nordrhein-Westfalen [<http://www.atkis.de/>].



- BACH, M., BREUER, L., FREDE, H.G. & HUISMAN, J.A., 2005: Kongruenz unterschiedlicher Informationsquellen zur Flächennutzung. – Photogrammetrie, Fernerkundung, Geoinformation (in print).
- CONGALTON, R.G., 1991: A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. – *Remote Sensing Environment*, **37** (1): 35–46.
- European Communities Commission, 1992: EUR 12585 – CORINE Land Cover Project – Technical Guide. – Office for Official Publications of the EU, Luxembourg (ISBN 92-826-8).
- FREDE, H.G. & BACH, M., 1999: Perspektiven für periphere Regionen. – *Z. Kulturtechnik Landentwicklung*, **40** (5/6): 193–196.
- FUHR-BOSSDORF, K., 2003: Die Bedeutung der Diasporenbank aktuell und ehemals landwirtschaftlich genutzter Standorte für Vegetationsentwicklungen im Lahn-Dill-Bergland (Hessen). – PhD-Thesis, Univ. Giessen.
- HEINZMANN, U. & ZOLLINGER, G., 1995: Validation of representativeness with relief parameters based on the comparison of two landscape classifications. – *Catena*, **24**: 69–87.
- HIETEL, E., WALDHARDT, R. & OTTE, A., 2002: Zur Eignung von DHM- und ATKIS-Daten für die Landschaftsmodellierung. – *Photogrammetrie, Fernerkundung, Geoinformation*, **2002** (6): 399–408.
- HIETEL, E., WALDHARDT, R. & OTTE, A., 2004: Analysing land-cover changes in relation to environmental diversity. – *Landscape Ecology* (accepted).
- JÜRGENS, C., 2000: Change Detection – Erfahrungen bei vergleichenden multitemporalen Satellitenbilddauswertung in Mitteleuropa. – *Photogrammetrie, Fernerkundung, Geoinformation*, **2000** (1): 5–18.
- MEINEL, G. & HENNERSDORF, J., 2002: Erhebungsmethoden, Programme und Nomenklaturen der Flächenbedeckung und Flächennutzung. – *Photogrammetrie, Fernerkundung, Geoinformation*, **2002** (4): 271–286.
- NÖHLES, I., 2000: Landnutzungsklassifikation mit multitemporalen Landsat TM-Szenen in einer kleinstrukturierten Agrarregion. – *Boden u. Landschaft*, Bd. **32**, 173 S., Giessen (Diss. Univ. Giessen).
- SBRESNY, J., 1997: Fehlerquellen in Raumbezogenen Informationssystemen. – *Geol. Jahrb., Reihe F, H.* **33**, 132 S.
- Statistisches Bundesamt, 1996: Datenerhebungsanleitung CORINE Land Cover (deutsche Ausgabe), Stand 1.9.1996. – Statistisches Bundesamt, Wiesbaden [<http://www.destatis.de/stabis/start.html>].
- Statistisches Bundesamt, 1997: Daten zur Bodenbedeckung für Deutschland (CORINE Land Cover). – Statistisches Bundesamt, Wiesbaden [2 CD-ROM].
- STEHMAN, S.V., 1997: Selecting and interpreting measures of thematic classification accuracy. – *Remote Sensing Environment*, **62** (1): 77–89.
- THUNISSEN, H.A.M. & MIDDELAAR, H.J. VAN, 1995: The CORINE Land Cover database of The Netherlands. – DLO Winand Staring Centre, Report 78, 58 p., Wageningen.

#### Anschriften der Verfasser

Dr. MARTIN BACH,  
Prof. Dr. HANS-GEORG FREDE,  
Dr. RAINER WALDHARDT,  
Justus-Liebig-Universität Gießen, SFB 299,  
Institut für Landschaftsökologie und  
Ressourcenmanagement,  
Heinrich Buff-Ring 26–32, D-35392 Gießen,  
Tel. 0641-99-37375  
[martin.bach@agrар.uni-giessen.de](mailto:martin.bach@agrар.uni-giessen.de)

Prof. Dr. ELKE HIETEL,  
Fachhochschule Bingen, Bereich Umweltschutz,  
Berlinstr. 109, D-55411 Bingen.

Manuskript eingereicht: August 2004

Angenommen: November 2004



## Native Forest Mapping in Patagonian Andes Based on Optical Satellite Imagery

JOSE D. LENCINAS & MARIA F. FARIAS, Esquel/Argentinien

**Keywords:** remote sensing, forest mapping, Patagonian Andes, *Nothofagus* forests, classification, SPOT data

**Summary:** Data derived from optical satellite sensors have been increasingly utilized as a source of data to inventory native forests in Argentinean Patagonia, mostly due to the difficulty of accessing vast, rugged areas, where native forests are placed. This study focuses on the classification process applied to map native *Nothofagus* forest, as well as the identification of the critical factors that affected it. The study area corresponds to the watershed of La Plata and Fontana lakes, covering 1,256 km<sup>2</sup>. Both types of SPOT 4 sensor data, multispectral and panchromatic mode, were used. A combination of supervised classification and a binary hierarchical procedure was utilized. The classification revealed a total area of 44,484 ha of Lenga (*Nothofagus pumilio*) forests and 5,791 ha of Ñire (*Nothofagus antarctica*). The classification accuracy for Lenga class was better than that for Ñire (95% and 80% of user's accuracy respectively). Some justifications for these results and recommendations for future classifications are given.

**Zusammenfassung:** Waldkartierung für die Patagonischen Anden auf der Grundlage von optischen Satellitenbildern. Optische Satellitensensoren werden im argentinischen Patagonien immer häufiger als Datenquelle für Inventuren in Naturwäldern herangezogen, da diese vorwiegend ausgedehnte Flächen unzugänglichen, gebirgigen Geländes bedecken. Die vorliegende Studie behandelt den Klassifikationsprozess zur Kartierung von *Nothofagus*-Naturwäldern sowie die Identifizierung dafür kritischer Faktoren. Das Untersuchungsgebiet umfasst das Einzugsgebiet der Seen La Plata und Fontana mit einer Fläche von 1256 km<sup>2</sup>. Zum Einsatz kamen sowohl multispekturale als panchromatische Daten des Sensors SPOT 4, die Klassifizierung erfolgte in Form einer Kombination von überwachter Klassifikation und einer binär-hierarchischen Methode. Das Ergebnis zeigte eine Gesamtfläche von 44.484 ha Lengawäldern (*Nothofagus pumilio*) und 5.791 ha Ñirewald (*Nothofagus antarctica*). Die Klassifikationsgenauigkeit für Lenga lag mit 95% höher als für Ñire mit 80% „user's accuracy“. Einige Erklärungen der Ergebnisse sowie Empfehlungen für zukünftige Inventuren werden gegeben.

### 1 Introduction and objective

The large extent and inaccessibility that characterize the natural forests in Patagonian Andes have led surveys to be done by means of remotely sensed data. The first inventory of native forests in Patagonia was carried out in 1986, based on analogue products from Landsat MSS and black and white aerial photographs at scale 1:60 000 (IFONA 1986). Later, classical techniques, such as aerial photography, have demonstrated not to be cost-effective in Patagonia, therefore,

the mapping of forests has been based chiefly on satellite imagery. Data acquired by Landsat TM have been the most commonly used. Vegetation thematic maps from Patagonia are available mostly at scale 1:250 000, and only for a few small commercial forested areas at scale 1:100 000. Federal and provincial programmes related to environmental issues and regional foresters have an increasing special need for forest maps at scales from 1:25 000 to 1:100 000.

Topography, specially in mountainous regions like Patagonian Andes, causes geo-

metric and radiometric distortions to satellite sensor data. Digital elevation models (DEM) with proper spatial resolution are not yet available in Patagonia. On the other hand, publications about the geometric correction of satellite imagery using map-derived ground control points (GCPs) have reported sub-pixel accuracy (FORSTER et al. 1988, MICHAELIS 1988), but large-scale maps from Patagonia do not exist, and the available 1:100 000 topographic maps date from the 1960s. Both natural and man-made land changes have converted these existing maps into obsolete material, therefore, they are not a reliable source from which to extract GCPs. When neglecting the atmosphere influence, the topography-induced differential illumination is the most important scene related effect in Patagonian Andes. In order to minimize it, a DEM with at least the same spatial resolution than that of the scene, is an absolute requirement (ITTEN et al. 1992). The current local limitations for correcting the geometric and radiometric impact of topography are the major reasons for the slow development of automatic classification approaches of satellite imagery. The classification of satellite data is still done manually, and therefore, accuracy has never been measured (LENCINAS 2001).

This study was the first phase of a project focused on the land use planning for the watershed of lakes La Plata and Fontana. For this, it was essential to inventory the native forests of Lenga (*Nothofagus pumilio*), which is the main tree species in the region. Time constraints due to the advanced summer season would not allow a carefully planned forest inventory. In addition, the low available budget needed of a quick and accurate forest mapping, with minimum costs of field work.

The objective of this study is to determine efficiently the stratum of Lenga forests at scale 1:50 000.

## 2 Study Area

The study area corresponds largely to the watershed of lakes La Plata and Fontana in Province of Chubut, Patagonia, Argenti-

na. This area lies between 44° 44' S and 45° 03' S, and 71° 20' W and 72° 04' W, on the eastern side of the Andes range. It stretches 57 km from east to west and 20 km from North to South, covering 1256 km<sup>2</sup> (Fig. 1). The main tree species is Lenga (*Nothofagus pumilio*), which appears in pure stands from the lakeshores up to the tree line. In areas that are sheltered from the wind, Lenga trees can reach up to 26 m in height, whereas in snowy areas that suffer from very strong winds, mainly near the tree line, they form shrub forests. Lenga forests have a complex pattern of structure types, and 90% of the stands have multiple canopy layers (LENCINAS 2002). The second tree species in order of importance in the area is Ñire (*Nothofagus antarctica*). It has a shrubby appearance and is found in lower areas of shallow soils, or it appears before other species in the ecological succession after fires.

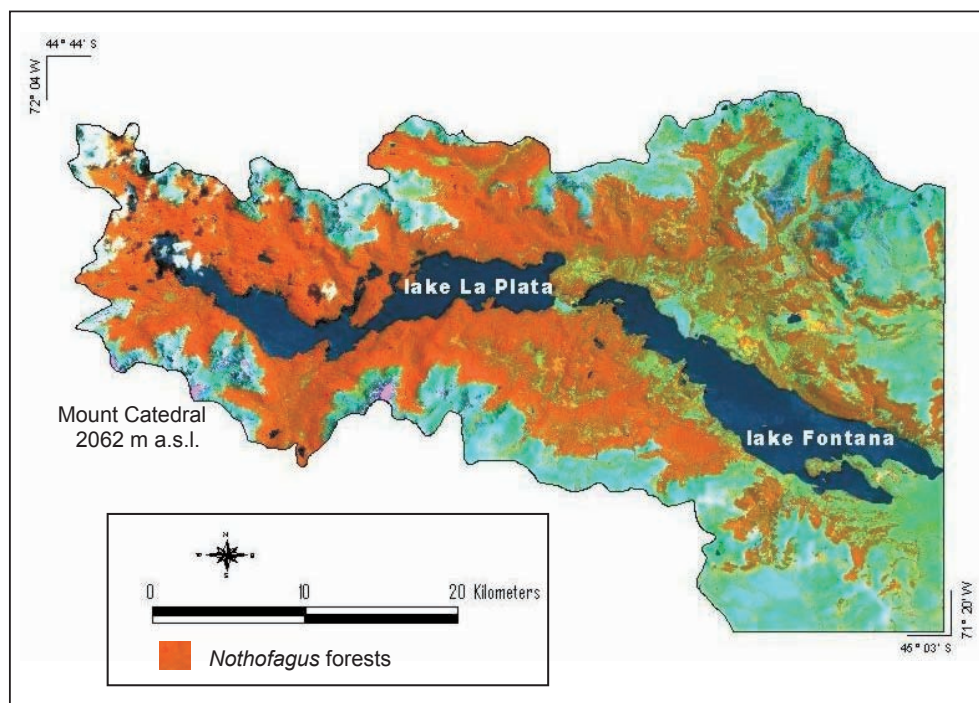
The relief is mountainous and rugged, with very steep slopes. The main ridges of the Andes, with the highest summits in the area, run along the west side of the study area, over Mount Dedo (2020 m), north of lake La Plata and Mount Catedral (2062 m) to the south. The lakes' level lies at approximately 900 m a.s.l. The area is almost inaccessible. There are two main roads running along the north and south banks of lake Fontana, up to River „Unión“, which links both lakes. There are also a few forest roads used for skidding, which are mostly in poor maintenance condition and only a few of them are passable with cross-country vehicles.

Precipitation in the study area falls mostly as snow and varies significantly, from about 2500 mm yr<sup>-1</sup> in the western part of the area to 500 mm yr<sup>-1</sup> over the eastern part.

## 3 Materials and Methods

### 3.1 Satellite sensor and ancillary data

The digital data used in this study were acquired on January 1, 1999 by SPOT 4. An image in multispectral Xi mode and an image in monochromatic P mode were purchased. Both of them had been preprocessed



**Fig. 1:** An enhanced SPOT 4 scene (Bands 3,4,2) of the study area.

to the 1B level and contained a minimum amount of cloud cover. The geometric and radiometric quality of the images were excellent. System corrections did not cause duplicate lines. No radiometric errors due to possible failures of the sensor system were found. Summer images were required in order to optimize the spectral contrast between vegetation and other surfaces such as bare soils and water, and to minimize the topographic influence on the illumination.

As a large part of the vegetation in the northern shore of Lake Fontana was razed by a fire in February 1999, a Landsat TM image from March 1999 was purchased by CONAE (Comisión Nacional de Actividades Espaciales, Argentina), in order to identify and map the burnt area.

A DEM from the study area was generated, based on the digitized topographic maps at scale 1:100 000. The model was then converted to raster and resampled to 20 m, i.e. the same as the SPOT data resolution. However, the true spatial resolution

of the generated DEM is 250 m (SIEBERT 2001).

### 3.2 Hardware and Software

GCPs were collected using Trimble GeoExplorer II portable receivers. These data were subjected to differential correction by means of Trimble Pathfinder software, version 2.11. The processing of the remotely sensed data and the DEM was carried out on a Silicon Graphics O2 R5000 work station, using ERDAS Imagine 8.3 software at CIEFAP (Patagonian Andes Forest Research and Extension Centre). The DEM was generated with ArcInfo 7.2 (Unix) at the Department of Biometry at the Georg-August-University of Göttingen, Germany.

### 3.3 Geometric corrections

The GCPs that can be extracted from the existent topographic maps at scale 1:100 000 should be considered as poorly

accurate (the accuracy for both X and Y coordinates is about 100 to 150 m). Because point accuracy had to be at least 10 m, GCPs were acquired and corrected differentially (SA distortion still existed by the time). Geometry of satellites and obstructions to satellite signals had been taken into account so as to make the conditions of acquisition of as high quality as possible (AUGUST et al. 1994). Data were collected with a PDOP (positional dilution of precision) mask of six, a signal-to-noise ratio threshold of five, and an elevation mask of 15 degrees. Data used as reference in the differential correction were obtained from a portable receiver, previously set as a base station, placed at a first-order National Geodetic Survey control point. While the base station was operating, 500 sequential fixes (continuously logged at a rate of approximately one per second) were collected by the rover at each location of interest. Differential correction was computed in the laboratory.

In order to obtain accurate GCPs, sites must be chosen carefully on the image and then measured on the ground (CLAVET et al. 1993). The Xi image was found to be more suitable for this purpose than the P image, because of the high contrast among land, vegetation and water features. In the study area there were only a few identifiable locations created by human intervention (e.g. intersections of roads, bridges) that could be chosen as GCPs. However, there were some natural features that could be clearly identified on the image, such as intersections of small streams, edges of water bodies, islands, river outlets and small tree patches. For the field work, several colour prints were made from the SPOT Xi image with identifiable pixels. The field workers needed to make use of all-road vehicles, trekking and boats to reach the selected points.

35 GCPs and check points, distributed as uniformly as possible, were surveyed in the area between the lake's shore level and 1150 m a.s.l. Due to the difficulty of access and the high costs implied, no points were taken at the highest altitude.

The SPOT Xi image was rectified by means of a second-order affine transform-

ation method, using 26 ground control points. For the resampling, a nearest neighbour interpolation was applied. The P image was registered to the Xi image using 30 GCPs. A subset from the Landsat TM image was also registered to the SPOT Xi image to map the burnt area.

### 3.4 Radiometric corrections

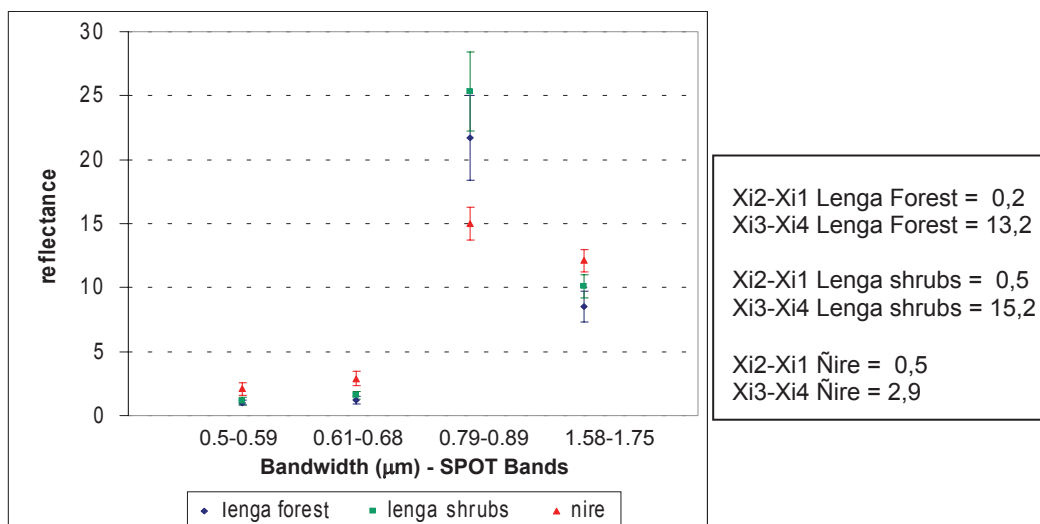
Since reliable data concerning visibility and relative humidity to correct the atmospheric effects were not available, a haze removal technique on the dark value principles (CHAVEZ 1975) was applied. Digital numbers were then converted to reflectance values. To compensate the topographic influence on the illumination, a radiometric DEM-based approach would have been necessary (TEILLET et al. 1982). As the generated DEM had low spatial resolution, a DEM-based approach was not used. Instead, a vegetation index (Xi3-Xi4) was produced within the classification scheme, to minimize for topographic effects.

### 3.5 Masking

*Clouds:* Clouds and their shadows in the SPOT Xi image were masked out by visual interpretation.

*Water:* The water boundaries digitized from the topographic maps did not correspond exactly to the actual conditions, due to the small scale of the maps and the natural timely variation of the lakes shore. Nevertheless, in order to improve the visual interpretation, a water mask had to be generated. First, the PCA method was used to merge the information contents of Xi and P data. This method maintains the original spectral information (WELCH & EHLERS 1987) or produces only slight distortions (CHAVEZ et al. 1991). The water mask was then derived by means of a pixel-by-pixel visual interpretation of the 10 m merged data. The new generated polygons representing water bodies were compared to the polygons extracted from the digitized topographic maps.

Forest type	Xi1		Xi2		Xi3		Xi4	
	Mean	St dev	Mean	St dev	Mean	St dev	Mean	St dev
Lenga forest	1	0,2	1,2	0,3	21,7	3,3	8,5	1,2
Lenga shrubs	1,1	0,3	1,6	0,3	25,3	3,1	10,1	0,9
Nire	2,1	0,5	2,9	0,6	15	1,3	12,1	0,9



**Fig. 2:** Comparison of the reflectance of Lenga, Lenga shrubs and Ñire for all SPOT bands. Error-bars show the strength of overlap. Standard deviation of the reflectance values, as well as differences between bands for the forest types are shown in separate boxes.

*Vegetation:* To mask out the non-vegetation class, the Transformed Vegetation Index (TVI) (DEERING et al. 1975) based on the Xi data bands was applied.

### 3.6 Spectral profiles analysis and training area selection

In order to analyse the reflectance of the vegetation classes of interest, their respective spectral profiles were extracted. The vegetation classes were: Lenga forests, Ñire forests and Lenga shrubs. The latter group refers to Lenga forests with a shrubby appearance, which is found at high altitudes (i.e. above 1150 m a.s.l.). To determine the spectral profiles based on spectral SPOTs bands of these vegetation classes, thirty point samples for each class were taken randomly. Then, the mean of each thirty-sample group of reflectance values was extracted, for all spectral bands. Finally, the absolute difference among the reflectance values for bands Xi3

and Xi4 was calculated for all classes. Fig. 2 depicts the spectral profiles for each class, mean value and standard deviation, and the absolute differences among the values for all bands.

The training areas for each vegetation class were selected on the basis of prior surveys and knowledge of the study area. Five training areas were selected for grasslands, five training areas for Ñire forests, and eight for Lenga forests. Each training area was represented by a  $4 \times 4$  pixel matrix. The statistic contents of the signature file aided to the determination of their separability in the multi-dimensional attribute space.

### 3.7 Classification process and ground data

A combination of a supervised classification utilizing the maximum likelihood algorithm and a binary hierarchical procedure was used in this study (see Fig. 3).

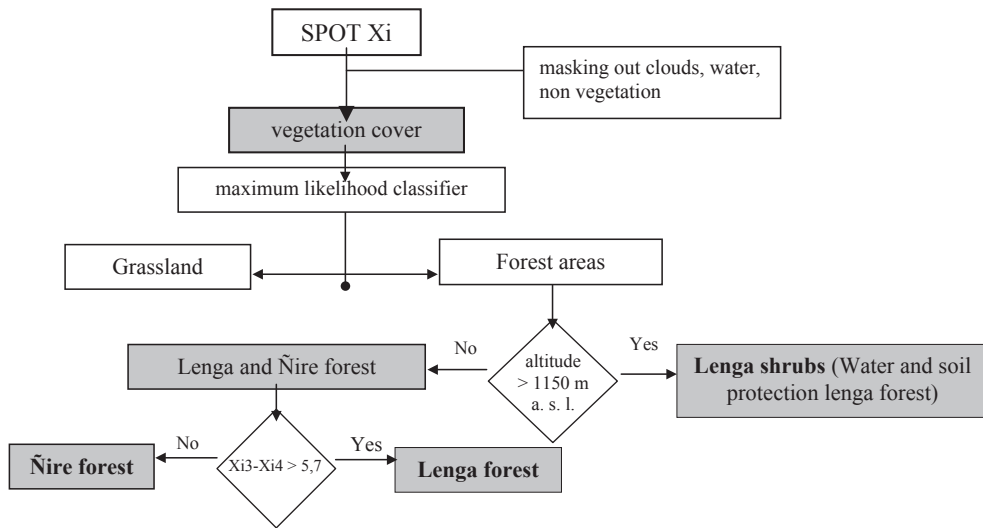


Fig. 3: An overview of the classification process.

The vegetation cover class was the result of multiplying the SPOT Xi data by the cloud, water and non-vegetation masks. For the classification, the SPOT bands Xi2, Xi3 and Xi4 were used and the signatures were considered with all classes set to equal probability. Those bands correspond nearly to the TM3, TM4 and TM5 bands and are the most suitable for forest cover mapping (HORLER & AHERN 1986).

As shown in Fig. 3, the vegetation cover was segmented into forest areas (Lenga and Ñire) and grassland areas, by using the maximum likelihood classifier.

An ANOVA test showed that Lenga forest, Lenga shrubs and Ñire could be considered as different populations, significant at 0.05 level, for SPOT bands 3 and 4.

In order to set a threshold value to discriminate Lenga from Ñire forests in the classification process, the difference  $Xi3 - Xi4$  was calculated for the maximum and minimum values of three standard deviations from the mean value of each class. The minimum value for the synthetic band difference for Lenga forest was 6.4; whereas the maximum value for Ñire class was 4.1. The mid value 5.7 between these extremes was set as a threshold to differentiate Lenga forest from Ñire classes.

Altitude data, derived from the DEM, was included as additional information, in order to solve the overlap between Lenga and Ñire forest classes with Lenga shrubs class, when considering only the spectral values.

The determination of the burnt area was accomplished through a visual digitizing on the Landsat TM image, whereas the assessment of the affected types of vegetation was derived from the automatically classified SPOT data.

### 3.7.1 Accuracy assessment

Results of a per-pixel classification should be considered as point classifications, and the validation should be based on the sampling of individual pixels (JANSSEN & VAN der WEL 1994). The thematic accuracy was assessed by comparing samples of the classification result with ground reference data. Neither up-to-date aerial photographs nor thematic maps from the study area were available. Ground truth data were available only from the Lenga forest areas. In 1996, the native commercial forests of Chubut Province were inventoried, by using a systematic sampling method. Nineteen clusters were installed in potentially commercial



Lenga forests (stand mean height > 10 m), which were placed between the lakes level and 1200 m a.s.l. The sample units were clusters, square tracts of 300 m × 300 m, containing a circular sample plot of 500 m<sup>2</sup> in each vertex. In 1999 were installed 44 clusters in order to carry out a forest inventory and the sample units were square tracts of 60 m × 60 m (LENCINAS 2002).

Because of time constraints, 11 samples were generated using random sampling, as reference data for Ñire forests. Then, they were inspected in the field during the fieldwork, which was primarily meant for collecting ground control points. Furthermore, the surveys was mainly focused on the mapping of Lenga forests rather than Ñire forests.

From an error matrix, overall producer's and user's accuracy were calculated. To glean as much information from the error matrix as possible (CONGALTON 1991), Kappa<sub>nat</sub> coefficient was computed.

## 4 Results

### 4.1 Rectification

A RMS of 0.26 pixels (5,2 m) was obtained in the rectification of the SPOT Xi data. A positional accuracy of 15m was determined by comparing the result of the rectification with checkpoints. It should to be kept in mind, that the obtained precision refers to the range of elevation covered by the GCPs. The P image was registered to the Xi image attaining a RMS of 0.2 pixels (2 m). The subset of the Landsat TM image was also registered to the Xi image, with a RMS of 0.9 pixels (27 m).

### 4.2 Masks

The areas with water bodies digitized from topographic maps were compared visually to the water mask derived from satellite sensor data. Differences in position of the shoreline of up to 120 m were assessed. The surface of the major lake of the study area, lake Fontana, measured on the topographic map was 8 307 ha whereas the water mask made from the satellite data showed 8 196 ha,

which indicates a difference of 111 ha. The reason for the differences is the dubious precision of the topographic maps, due to the year of creation and small scale. In addition, being they so old (form 1949) it is highly probable that the shape and position of the shore line have changed with time.

### 4.3 Classification of the vegetation

The *Nothofagus* (Lenga and Ñire) forests cover an area of 50 275 ha, of which 44 484 ha are Lenga forests and 5 791 ha are Ñire forests (Tab. 1). 2600 ha of the total forest area were burnt.

### 4.4 Accuracy assessment

Information about the accuracy of Lenga and Ñire classes are shown in Tabs. 2 and 3.

**Tab. 1:** *Nothofagus* forest in the study area.

Forest strata	Area (ha)
Lenga shrubs (above 1150 m a.s.l.)	18 870
Lenga forests (under 1150 m a.s.l.)	24 900
Ñire	3 905
Lenga*	714
Ñire*	1 886

\* Burnt areas

**Tab. 2:** Error matrix of the forest classification derived from the SPOT Xi data.

Classified data	Reference data		
	Lenga	Ñire	Row total
Lenga	63	3	66
Ñire	2	8	10
Column total	65	11	76

**Tab. 3** Parameters for the evaluation of the error matrix.

	Pro-ducer's accuracy	User's accuracy	Overall accuracy	K <sub>nat</sub> coefficient
Lenga	96 %	95 %	93 %	72 %
Ñire	72 %	80 %		

The producer's and user's accuracy for the Lenga class were fairly good and for Ñire were relatively low. It was confusing when it came to discriminate Ñire and Lenga classes, because the user's accuracy for Ñire was 80%. The overall classification accuracy was 93%, and the  $K_{\text{hat}}$  statistic was 72%.

## 5 Discussion

### *Satellite data*

The pushbroom system of Spot's HRVIR sensor allowed the acquisition of digital data of high geometric and radiometric quality.

### *GPS*

In Patagonia, the use of GPS technology has improved the accuracy of those maps produced on the basis of satellite data. With the acquired GCPs by using GPS, a database has been implemented. This will surely diminish the costs of future surveys for the rectification of imagery as well as accuracy assessments in the area.

The distortions caused by relief displacements on the images could not be removed. These distortions are not eliminated neither during the system correction nor during the geocoding with polynomial transformations (ITTEN et al. 1992).

### *Masks*

The differences found in the form and localization of water boundaries extracted from topographic maps and those derived from analogue interpretation of Xi-M merged data, are due to cartographic generalization and actual changes of water bodies. The water mask derived from Xi-M data was more suitable for the processing of the satellite data.

### *DEM*

Despite the fact that the generated DEM could not be used as a basis for radiometric corrections, it was utilized as ancillary data in order to identify vegetation strata according to different altitudes above the sea level. SIEBERT (2001) generated a DEM for an area in Patagonia by means of P images from

SPOT 4 but the costs are still very high. A concrete possibility for Patagonia region is to create DEMs from ASTER data (ECKERT & KELLENBERGER 2002).

### *Radiometric Correction*

The applied radiometric corrections were not successful, since the shapes of the „reflectance" values do not correspond to green peak, typical for green vegetation, and the average reflectance in band Xi1 is too small (see Fig. 2). Worth is mentioning that OCHSNER (2003) obtained fair results utilising ATCOR3 (RICHTER 2001) for correcting a Landsat 7 scene from a mountainous Patagonian region.

### *Accuracy*

Although the producer's accuracy for Lenga class was rather good, it was not high for Ñire class (72%). There are patches of Ñire forests with similar structure (trees of 11 m height) than Lenga forest. Provided that no assessment of accuracy for classifications has ever been done nor published in Patagonia, there are no parameters to establish a comparison. The values of the overall accuracy (93%) and Kappa coefficient (72%) indicate that the agreement in the classification was good, better than one obtained by chance. These results must be however considered with extreme care, since the sample size for the reference data was not optimal. CONGALTON (1991) suggests that a good rule of thumb is to collect a minimum of 50 samples for each category in the error matrix. Reference ground pixels for the grassland category were not considered and therefore could not be included in the error matrix. Thus, new reference samples would have to be taken for all the established classes in future works concerning digital classification of satellite data.

### *Classification*

JAAKKAOLA et al. (1988), TOMPPU (1988) and HAGNER (1990) concluded that Landsat TM was more appropriate than SPOT1 to map and extract vegetation parameters. Unlike SPOT 1, SPOT 4 has an additional spectral channel, which increases significantly its overall suitability for mapping vegetation.

The procedure applied to classify vegetation in this study represents one of the pioneer steps aimed to develop a methodology that could be reproduced automatically, for Patagonian Andes area.

The results of the classification process for SPOT data are promising and quite adequate for mapping Lengua forests in this area. DURRIEU (1995) concluded that forest mapping can be done at scale 1:50 000 from SPOT data. A thematic forest map from the study area at scale 1:50 000 was generated. This represents an up-to-date improvement on the existent vegetation maps, which are at a coarse scale of 1:250 000.

## 6 Conclusions

SPOT multispectral data allow the generation of thematic maps with improved and more detailed information than the old fashioned and small scale forest maps in Patagonia. In Patagonia, GPS receivers are currently the most adequate and sometimes the only way of collecting GCPs for the geometric correction of satellite sensor imagery with high and medium spatial resolution. It is extremely important to generate DEMs effectively, in order to correct geometrically and radiometrically digital data from satellite imagery and to integrate them to the classification process as well. In order to count on reliable information about the accuracy of the classifications it is important to achieve a proper sampling of the reference data. This study shows just a small part of the great challenges that remotely sensed data analysts and developers have yet to face, in order to map and monitor the extensive Andean-Patagonian forests.

## 7 References

- AUGUST, P., MICHAUD, J., LABASH, C. & SMITH, C., 1994: GPS for environmental applications: accuracy and precision of locational data. – *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, **60** (1): 41–45.
- CHAVEZ, P.S., 1975: Atmospheric solar and MTF corrections for ERS digital imagery. – *Proceedings of American Society of Photogrammetry Convention*, Phoenix, Arizona.
- CHAVEZ, P., STUART, C. & ANDERSON, J., 1991: Comparison of three different methods to merge multiresolution and multispectral data: Landsat TM and SPOT panchromatic. – *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Vol **57** (3): 295–303.
- CLAVET, D., LASSERRE, M. & POULIOT, J., 1993: GPS control for 1:50 000-scale topographic mapping from satellite images. – *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, **59** (1): 107–111.
- COCHRAN, W.G., 1972: *Stichprobenverfahren*. – Berlin.
- CONGALTON, R., 1988: A comparison of sampling schemes used in generating error matrices for assessing the accuracy of maps generated from remotely sensed data. – *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, **54** (5): 593–600.
- CONGALTON, R., 1991: A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. – *Remote Sensing of Environment*, **37**: 35–46.
- DEERING, D.W., ROUSE, J.W., HAAS, R.H. & SCHELL, J.A., 1975: Measuring forage production of grazing from Landsat MSS data. – *Proceedings 10th International Symposium on Remote Sensing of Environment*, Ann Arbor: ERIM, **2**: 1169–1178.
- DURRIEU, S., 1995: Experience of remote sensing in forestry. – *New Tools for Agriculture and Forestry Statistics*, Porto, October 1995.
- ECKERT, S. & KELLENBERGER, T., 2002: Qualitätsanalyse automatisch generierter digitaler Geländemodelle aus ASTER Daten. – *DGPF*, Band **11**: 337–345.
- FORSTER, B.C., TRINDER, J.C., CARROLL, D., FARRINGTON, R. & KWON, L., 1988: Mapping and urban multi-experimental assessment of SPOT-Mapping results. – *SPOT 1 Image Utilization, Assessment, Results*. Cepadues-Editions, Toulouse, France, 1289–1295.
- HAGNER, O., 1990: Computer aided forest stand delineation and inventory on satellite remote sensing. – *Proceedings SNS/IUFRO workshop in Umeå*, 26-28 February, 94–105.
- HORLER, D.N.H. & AHERN, F.J., 1986: Forestry information content of Thematic Mapper data. – *International Journal of Remote Sensing*, **7**: 405–428.
- IFONA (Instituto Forestal Nacional), 1986: *Pre-carta Forestal Nacional*. – Provincia del Chubut.
- ITTEN, K.I., MEYER, P., KELLENBERGER, T., LEU, R., SANDMEIER, S., BITTER, P. & SEIDEL, K., 1992: Correction of the impact of topography

- and atmosphere on Landsat TM forest mapping of alpine regions. – Remote Sensing Series **18**, Zürich.
- JAKKOLA, S., POSO, S. & SKRÄMO, G., 1988: Satellite remote sensing for forest inventory. Experiences in the Nordic countries. – Scandinavian Journal of Forest Resources **3**: 545–567; Stockholm.
- JANSSEN, L.F. & VAN DER WEL, J.M., 1994: Accuracy assessment of satellite derived land-cover data. A Review. – Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, **60** (4): 419–426.
- LENCINAS, J.D., 2001: Untersuchungen zur Entwicklungsplanung für die Naturwaldbestände an den Seen la Plata und Fontana in den patagonischen Anden. – Cuvillier Verlag, Göttingen, Germany, ISBN 3-89873086-7.
- LENCINAS, J.D., 2002: Stand volume estimation from satellite data employing two-phased sampling. TS 35. – 29th International Symposium on Remote Sensing of Environment, Abril 2002, Buenos Aires, Argentina.
- MICHAELIS, M., 1988: A geometrical analysis of SPOT data. SPOT 1 Image Utilization, Assessment, Results, Cepadues-Editions, Toulouse, France, 1235–1243.
- OCHSNER, P., 2003: Waldbestandes-klassifikation mit Landsat-7 ETM+ Daten in Chubut, Patagonien. – Diplomarbeit, Geographisches Institut der Universität Zürich, 70 S.
- RICHTER, R., 2001: Atmospheric and topographic correction: Model ATCOR 3. – DLR-Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Wessling, Deutschland.
- SIEBERT, A., 2001: Untersuchungen zur Erfassung topographischer Informationen aus SPOT-Daten. – Magisterarbeit, Georg-August-Universität Göttingen, Germany.
- TEILLET, P., GUINDON, B. & GOODENOUGH, D., 1982: On the slope-aspect correction of multispectral scanner data. – Canadian Journal of Remote Sensing, **8** (2): 84–106.
- TOMPPA, E., 1988: Standwise forest variable estimation by means of satellite images. – Proceedings of the IUFRO Subject Group 4.02.05 Meeting in Finland, University of Helsinki, Department of forest mensuration and Management, Research Notes **21**: 103–111.
- WELCH, R. & EHLERS, M., 1987: Merging multi-resolution SPOT HRV and Landsat TM data. – Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, **53** (3): 301–303.

Anschrift der Autoren:

Dr. JOSÉ DANIEL LENCINAS  
 M Sc. MARÍA FLORENCIA FARIAS  
 Remote Sensing and GIS Lab, CIEFAP  
 Ruta 259, km 4, CC 14,  
 9200 Esquel, Argentina  
 Tel./Fax: + + 54-2945-453948  
 e-mail: JDLenCinas@gmx.net  
 florenciarias@hotmail.com

Manuskript eingereicht: November 2004  
 Angenommen: Januar 2005

## Die Rückkehr der Buddhas – Photogrammetrie und kulturelles Erbe in Bamiyan, Afghanistan, Teil II\*

ARMIN GRÜN & FABIO REMONDINO, Zürich

### 4.2 Modellierung der Felswand und der leeren Buddha-Nischen

Zur Modellierung der fast senkrecht, bis auf über 100 m Höhe anstehenden und ca. 1 km langen Felswand und der leeren Buddha-Nischen wurde terrestrische Photogrammetrie eingesetzt. Während unserer Feldkampagne im August 2003 erstellten wir mit der analogen halbmetrischen Filmkamera Rollei 6006 einen Bildstreifen der gesamten Felswand, aus dem 39 Bilder für die Auswertung genutzt wurden.

Für die beiden Buddha-Nischen wurden jeweils zwei kleine lokale Streifen mit der Rollei 6006 und der digitalen Kamera Sony Cybershot F707 (gewähltes Bildformat:  $1920 \times 2560$  Pixel) erstellt. Insgesamt wurden 30 natürliche Passpunkte durch Vorwärtseinschneiden mit einem Tachymeter von einem Polygonzug aus eingemessen.

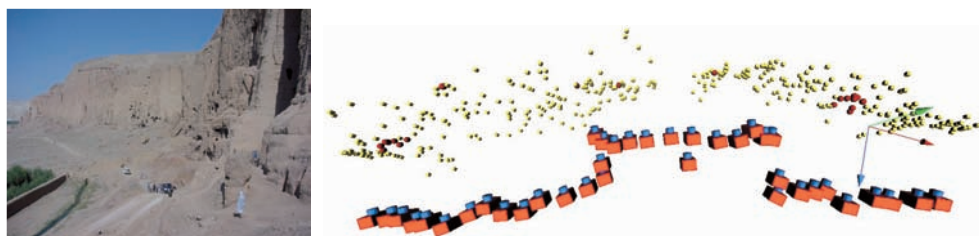
#### Felswand

Die Triangulation des analogen Bildstreifens mit 39 Bildern wurde am Analytischen

Plotter AC-3 durchgeführt, mit anschließender Bündelausgleichung inklusive Selbstkalibrierung. Es ergab sich ein  $\sigma_0 = 13 \mu\text{m}$  und eine durchschnittliche Neupunktgenauigkeit von  $\sigma_{x,z} = 0.13 \text{ m}$  und  $\sigma_z$  (Tiefe) =  $0.23 \text{ m}$ . Abb. 10 zeigt ein Bild der Felswand und die Netzkonfiguration.

Für die Stereoauswertung der einzelnen Modelle zum Zwecke der Generierung eines 3D Oberflächenmodells wurden die Bilder mit  $20 \mu\text{m}$  Auflösung eingescannt. Dies entspricht einem Footprint am Objekt von 8 cm. Es wurde zunächst versucht, die Auswertung mit Photomodeler zu machen, aber das schlug fehl. Daraufhin haben wir eine eigene Software zur manuellen Messung von Stereomodellen digitaler Amateurbilder entwickelt. Mit dieser Software wurde die gesamte Felswand mit Einzelpunkten plus Kantenmessung erfasst. Besonderes Augenmerk wurde dabei auf die Einmessung der Höhleneingänge gelegt.

Insgesamt haben wir somit eine Punktwolke mit ca. 18 000 Punkten erzeugt. Diese Punktwolke wurde im DTM-Programm SCOPE modelliert und ein 50 cm-Raster



**Abb. 10:** Links: Felswand. Im Vordergrund die Nische des Kleinen Buddha. Rechts: Netzgeometrie der Felswand als Ergebnis der terrestrischen Triangulation. Kamerapositionen, Verknüpfungspunkte, Passpunkte (letztere dargestellt in Kugelform).

\* Fortsetzung von PFG, Heft 1/2005, Seite 68



**Abb. 11:** Oben: Blick auf das DOM der erweiterten Felswand, bestehend aus dem SPOT 5-DTM und aus dem DOM der Felswand, abgeleitet aus Rollei 6006 Bildern. Unten: Eine Fotografie der gesamten Felswand.

DOM abgeleitet. Dieses DOM wurde mit einem aus dem ursprünglichen SPOT5-DTM abgeleiteten 1 m-Raster DTM verschmolzen. Das Ergebnis ist in Abb. 11 dargestellt, zusammen mit einer Fotografie der gesamten Felswand.

### Nische des Großen Buddha

Die Auswertung wurde mit den Bildern der Sony Cybershot F 707 durchgeführt. Dazu wurden fünf Bilder trianguliert (Abb. 12) durch halbautomatische Messung der Verknüpfungspunkte (26) und der Passpunkte (10) und selbstkalibrierende Bündelausgleichung.



**Abb. 12:** Zwei Sony Cybershot F707 Bilder aus dem Bildstreifen der Nische des Großen Buddha.

Ergebnisse:  $\sigma_0 = 2 \mu\text{m}$ ,  $\sigma_{x,z} = 0.015 \text{ m}$ ,  $\sigma_y = 0.021 \text{ m}$ .

Anschließend wurden die Bilder deformationfrei gerechnet (insbesondere die Objektivverzeichnung hat einen großen Einfluss) und zur modellweisen Weiterverarbeitung in VirtuoZo vorbereitet. Dort wurden die Modelle in horizontalen Profilen plus signifikante Kanten ausgemessen. Auf diese Weise wurde eine Punktwolke mit ca. 12000 Punkten erzeugt. Die Oberflächenmodellierung wurde durch Kombination von Funktionen unseres eigenen DTM-Modellierers DTMZ mit denen von Geomagic Studio erreicht. Die Texturmap wurde durch eigene Software erzeugt. Abb. 13 zeigt die Punktwolke mit den Kamerapositionen (links) sowie das texturierte 3D Modell (rechts).



**Abb. 13:** Nische des Großen Buddha. Links: Punktwolke mit Kamerapositionen, rechts: Texturiertes Oberflächenmodell in VRML.

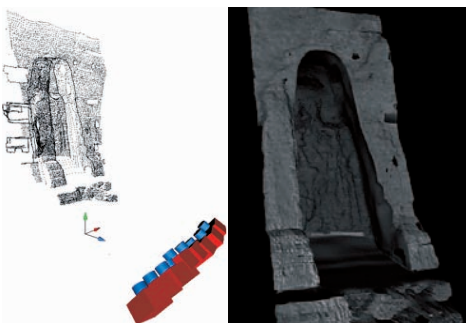
### Nische des Kleinen Buddha

Zur Bearbeitung der Nische des Kleinen Buddha wurden neun Sony Cybershot F707 Bilder benutzt (Abb. 14). Wiederum wurden die Verknüpfungspunkte (32) und die Passpunkte (10) halbautomatisch mit eigener Software gemessen und eine selbstkalibrierende Bündelausgleichung durchgeführt. Ergebnisse:  $\sigma_0 = 1.9 \mu\text{m}$ ,  $\sigma_{x,z} = 0.017 \text{ m}$ ,  $\sigma_y = 0.022 \text{ m}$ .

Die Oberflächenpunkte wurden wiederum aus Zuverlässigkeitsgründen manuell aus Stereomodellen mit VirtuoZo im Profilmodus unter Einbezug von Kanten gemessen. Abb. 15 zeigt die Punktwolke, bestehend aus ca. 17000 Punkten, mit den Kamerapositionen und das texturierte 3D Modell.



**Abb. 14:** Zwei Sony Cybershot F707 Bilder aus dem Bildstreifen der Nische des Kleinen Buddha.



**Abb. 15:** Nische des Kleinen Buddha. Links: Punktwolke mit Kamerapositionen, rechts: Texturiertes Oberflächenmodell in VRML.

### 5 Die Wiedergeburt des Großen Buddha

Die Computer-Rekonstruktion des Großen Buddha ist abgeschlossen. Abb. 16 zeigt ein gefrästes, physisches Modell im Maßstab 1:200.

Für unsere Arbeiten am Großen Buddha stand uns folgendes Bildmaterial zur Verfügung:

1. Ein Satz von ursprünglich fünfzehn Bildern unterschiedlichen, aber immer sehr kleinen Formats, die von verschiedenen Autoren über das Internet beschafft wurden. Zur Auswertung wurden vier Bilder herangezogen.
2. Ein Satz von zwölf digitalisierten Touristenbildern (Format ca.  $1840 \times 1232$  Pixel), die uns HARALD BAUMGARTNER freundlicherweise zur Verfügung stellte, der das Gebiet Ende der 60er Jahre besuchte. Wir benutzten vier Bilder für die Auswertung.
3. Drei metrische Bilder auf Glasplatten im Format  $13 \text{ cm} \times 18 \text{ cm}$ , die von Prof.



**Abb. 16:** Der Große Buddha ist als Modell im Maßstab 1:200 bereits wiedererstanden.

KOSTKA, TU Graz, im Jahre 1970 vor Ort mit einer TAF aufgenommen wurden (KOSTKA 1974).

Die Rekonstruktion wurde in mehreren Stufen durchgeführt, gemäß den laufenden Änderungen und Erweiterungen der Zielsetzungen der Arbeiten und der ursprünglich nicht gleichzeitigen Verfügbarkeit aller Bilder:

- (a) automatische Auswertung der Internetbilder,
- (b) automatische Auswertung der touristischen Amateurbilder,
- (c) automatische und manuelle Auswertung der drei Messbilder.

Über die Methodik und die Ergebnisse der Auswertungen ist bereits mehrfach berichtet worden. Wir verweisen insbesondere auf GRUEN et al. 2003a, b, 2004a, b. Es ist uns gelungen, unter Benutzung von selbstentwickelter Software aus den drei verschiedenen Bilddatensätzen jeweils 3D Modelle des Objekts weitgehend automatisch herzustellen. Mit Ausnahme einiger kleinerer grober Fehler, die durch Editierung beseitigt werden konnten, sind diese Ergebnisse zwar recht genau, aber unvollständig. Viele kleine Strukturen, wie etwa die Faltenwürfe und andere wichtige Elemente wurden durch die automatischen Messverfahren nicht erfasst. Daher sind die so erzeugten Modelle für einen realitätsnahen Wiederaufbau nicht geeignet.

Glücklicherweise wurden im Jahre 1970 von Prof. KOSTKA, TU Graz, der sich damals auf einer topographischen Vermessungskampagne im Norden Afghanistans

aufhielt, mehr oder weniger durch Zufall drei photogrammetrische Aufnahmen des Großen Buddha mit der TAF Kamera (Terrestrische Ausrüstung Finsterwalder,  $c = 160.29$  mm) hergestellt. Die Aufnahmen wurden längs einer doppelten Basislinie nach dem Prinzip des Normalfalls in ca. 150 m Entfernung vom Objekt gemacht (Abb. 17). Wie der Zufall es so wollte, nahm auch Prof. M. BUCHROITHNER an dieser Expedition teil.

Die ursprünglichen Aufnahmen (Glasplatten des Formats  $13\text{ cm} \times 18\text{ cm}$ ) wurden zur Weiterverarbeitung am Scanner ULTRA SCAN 5000 von Vexcel Imaging Inc. mit  $10\text{ }\mu\text{m}$  Auflösung digitalisiert. Dies resultierte in Bildformaten von jeweils  $16930 \times 12700$  Pixel, also im Vergleich zu den Amateuraufnahmen in wesentlich besserer Objektauflösung.

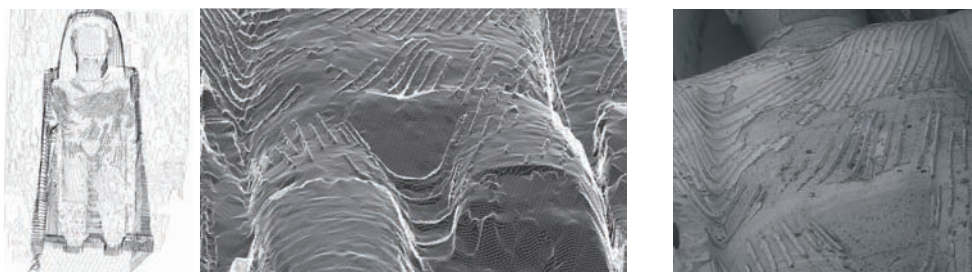
Mit diesen Aufnahmeinformationen sowie mit einigen Passpunkten, die einem von Prof. KOSTKA erstellten Isollinienplan entnommen wurden, konnten die Näherungswerte für die folgende Bündelausgleichung gewonnen werden. Zur präzisen Orientierung wurden die drei Aufnahmen einer gemeinsamen Bündelausgleichung unterworfen. Daraus ergaben sich für gemessene Neupunkte am Objekt die durchschnittlichen Standardabweichungen  $\sigma_{x,z} = 7\text{ cm}$  und  $\sigma_y = 14\text{ cm}$ . Diese Werte stellen Absolutmaße dar. Die Nachbargenauigkeit dagegen, welche für eine physische Rekonstruktion des Buddhas wichtiger ist, kann mit  $1\text{--}2\text{ cm}$  in der Aufrissebene (dies entspricht einem Pixel) abgeschätzt werden.

Die manuelle Stereomodellauswertung von drei Modellen erfolgte am digitalen Sys-



**Abb. 17:** Photogrammetrische TAF-Aufnahmen des Großen Buddha aus dem Jahr 1970 von Prof. KOSTKA, TU Graz.





**Abb. 18:** Links: Punktwolke, erzeugt durch manuelle Stereomodellmessungen. Die wichtigen Kanten und Strukturelemente des Objekts sind hier bereits klar erkennbar. Mitte: Ausschnitt aus abgeleitetem Drahtmodell. Rechts: Zum Vergleich der gleiche Ausschnitt im Bild.

tem VirtuoZo durch Messung horizontaler Profile mit 20 cm Höhenabstand und zusätzlicher Einzelpunkte und Kanten. Insbesondere eine vollständige Kantenmessung ist sehr wichtig, bestimmen diese doch ganz wesentlich die Objektgeometrie. Die so erzeugte räumliche Punktwolke enthält ca. 76000 Punkte (Abb. 18 links). Abb. 18 Mitte und rechts belegen den hohen Auflösungsgrad des Geometriemodells. Die Falten des Gewandes haben eine Breite von 10 cm und mehr und werden im Modell dennoch detailliert wiedergegeben.

Der Übergang von der Punktwolke zum strukturierten Oberflächenmodell gestaltete sich für uns als Hauptproblem, und zwar aus folgenden Gründen. Das Modell ist hochgradig dreidimensional, es kann also als Ganzes durch die übliche 2.5D Software nicht modelliert werden. Die Punkte weisen sehr unterschiedlich große Abstände zueinander auf. Zum Teil sind diese Abstände so groß, dass kommerzielle 3D-Modellierungssoftware, die ursprünglich für extrem dichte Laserscanpunktwolken konzipiert war, die lokalen Strukturen nicht korrekt interpretieren konnte. Auch war diese Software nicht in der Lage, Kanten bei der Oberflächeninterpolation als Unstetigkeiten mathematisch korrekt zu berücksichtigen. Deshalb bedurfte es recht vieler Handarbeit, um durch Kombination unseres 2.5D Modellierers DTMZ mit Geomagic Studio schlussendlich ein vernünftiges Ergebnis zu bekommen. Dabei wurde DTMZ im Wesentlichen als Interpolator und Geomagic Studio als Editor (hole filling, noise reduction, edge correction, polygon reduction) eingesetzt.

Die Bildtextur (Texturemap) wurde unter Benutzung aller drei Bilder mit unserem eigenen Programm Textur3D erzeugt und dem Geometriemodell überlagert.

Die TAF-Messbilder liefern nur eine S/W Textur. Durch Entnahme von Farbe aus anderen, weniger hoch auflösenden Bildern und Integration in die S/W Textur konnten wir ein sogenanntes PAN-sharpened Texturprodukt erzeugen, ähnlich wie dies heute bei Satellitenaufnahmen üblich ist.

Damit entstand ein quasi dreidimensionales, korrekt vermaßtes Bild des Objekts. Die Entnahme von speziellen Maßen (Distanzen, Flächen, Volumen) für Analyse- und Rekonstruktionszwecke ist möglich.

Zur 3D Visualisierung setzen wir gegenwärtig folgende Programme ein, deren Gebrauch von Projekt zu Projekt allerdings variiert, gemäß den unterschiedlichen Projektanforderungen, Datenmengen und Visualisierungsbedingungen:

- + eigene Pakete,
- + Cosmoplayer,
- + Deep Explorer,
- + VirtualGIS,
- + Terrainview,
- + Skyline,
- + Maya.

Neben dem Computermodell haben wir ein physisches Modell im Maßstab 1:200 mit einer Fräsmaschine des Instituts für Virtuelle Produktion der ETH Zürich aus Polyurethan herausarbeiten lassen (Abb. 16). Zwei Exemplare dieses Modells wurden dem ehemaligen König von Afghanistan MOHAMMED SAHIR SHAH und dem Vizepräsidenten K. KHALILI in Kabul übergeben.

## Wie geht es weiter?

Der Wiederaufbau eines oder beider Buddhas vor Ort ist immer noch Gegenstand intensiver Diskussionen internationaler Experten. Inzwischen sind unter der Aufsicht der UNESCO erste Arbeiten zur Verfestigung der Felswände bei den Buddha-Nischen angelaufen, aber es besteht immer noch kein Konsens über den Wiederaufbau. Unser Modell könnte allerdings für einen solchen Wiederaufbau als Grundlage dienen.

Am Institut für Baustatik und Konstruktion der ETH Zürich wurden im Sommersemester 2004 im Rahmen einer Semesterarbeit mögliche bautechnische Konzepte zum Wiederaufbau des Großen Buddha untersucht und kritisch analysiert.

Von besonderem Interesse waren dabei Bauweise und Materialwahl unter Berücksichtigung der Randbedingungen vor Ort. Die vorgeschlagenen Optionen Ort- und Fassadenbauweise sind in CHAPPUIS et al. (2004) detailliert beschrieben. Damit liegen zum ersten Mal realistische und konkrete Angaben über bautechnische Optionen in quantifizierter Form vor.

Unsere eigenen Arbeiten konzentrieren sich im Moment auf das Einbringen der (heute zerstörten) Fresken in das 3D Modell des Großen Buddha. Es existieren reichlich Amateurbilder einzelner Freskenteile aus früheren Zeiten. Diese Einzelbilder werden zusammengefügt in eine gemeinsame konsistente geometrische Referenz und das so entstehende (fiktive) Gesamtfreskenbild als Textur dem Geometriemodell überlagert. Wegen der Nutzung dieses Ergebnisses in einem für 2005 geplanten Kinofilm („The Giant Buddha“) muss diese Arbeit unter extremen Qualitätsansprüchen durchgeführt werden. So haben diese Fresken eine geometrische Auflösung von 2 mm.

Ebenfalls für den Film werden die untersten Teile der Buddha-Füße, und die hinteren Teile des Kopfes, die in den für die Rekonstruktion der Gesamtstatue von uns nutzbaren Bildern entweder gar nicht oder nur zum Teil sichtbar sind, aus neu akquirierten Spezialbildern herausgemessen.

Inzwischen ist ein physisches Modell des Großen Buddha im Maßstab 1:25, d. h. von ca. 2.1 m Größe produziert worden. Dieses Modell wird im Swiss Pavillon auf der Weltausstellung 2005 in Aichi, Japan, gezeigt werden. In der Broschüre „Schweizer Beitrag zur Weltausstellung 2005, Aichi, Japan“ ist das Projekt mit folgenden Worten angekündigt: *‘Top of Science ... Das Herzstück dieser Abteilung bildet die sagenhafte Geschichte, wie Professor ARMIN GRÜN vom Institut für Geodäsie und Photogrammetrie der ETH-Zürich ein Computermodell geschaffen hat, das es ermöglicht, die beiden weltberühmten und von den Taliban zerstörten Buddhas von Bamiyan in Afghanistan wieder aufzubauen. Die Japanische ebenso wie die Schweizerische Regierung engagieren sich im Bamiyantal. Bereits mehrfach hat das japanische Fernsehen über Professor GRÜNS Projekt berichtet.’*

Anschließend soll das Modell an das Afghanische Nationalmuseum in Kabul übergeben werden, als herausragendes Exponat für einen geplanten „Bamiyanraum“.

## Schlussbemerkungen

Wir haben unsere Rekonstruktions- und Modellierungsarbeiten vollständig mit modernen Methoden der Photogrammetrie durchgeführt. Diese Verfahren haben sich als sehr leistungsfähig herausgestellt und mit keinen anderen Methoden hätten wir Ergebnisse ähnlicher Qualität und Vollständigkeit erzielen können.

Wesentliche technische Voraussetzungen für einen physischen Wiederaufbau der Buddhas von Bamiyan wären damit gegeben. Die Entscheidung, ob die Welt diese Statuen in voller Größe und Ausstrahlung auch in Zukunft wieder bewundern können, liegt in den Händen anderer.

Nicht zuletzt durch die gewonnene Aufmerksamkeit in den Weltmedien haben sich in letzter Zeit diverse internationale Aktivitäten auf Bamiyan konzentriert. So plant die Schweiz den Bau eines Museums und die ETH Zürich den eines universitären Hauses der Begegnung, wo afghanische und ausländische Studierende und Dozenten sich unter

Nutzung einer fortschrittlichen Infrastruktur ihren Studien und Projekten widmen und in Seminaren und Workshops einen Informationsaustausch pflegen können.

Wir erkennen hier mit Interesse, dass die Photogrammetrie nicht nur in der Lage war, den Großen Buddha maßgerecht zu rekonstruieren, sondern dass ihre Produkte ein auslösendes Moment sind für viele weitere Unternehmungen auf bautechnischem, historischem und touristischem Gebiet.

Nach unserem Besuch in Afghanistan im Jahre 2003 waren wir erschüttert über das Ausmaß der Zerstörungen in Bamiyan selbst und im ganzen Lande. Die Schäden sind unübersehbar und deprimierend (SIBA SHAHIB: *Nach Afghanistan kommt Gott nur noch zum Weinen*). Jedes Dorf hat immer noch seine Überreste aus dem Krieg in Form zerstörter Häuser, Brücken, Straßen und inzwischen unbrauchbar gemachter schwerer Waffen. Es gibt keine Familie, die nicht schmerzliche Verluste durch die 23 Kriegsjahre erlitten hätte. Gleichzeitig aber waren wir überrascht von der herzlichen Gastfreundlichkeit, die uns überall entgegengebracht wurde.

Das afghanische Volk hat es mehr als verdient, dass man ihm sein kulturelles Erbe zurückgibt.

## Danksagung

Viele Personen haben bis heute an unserem Bamiyan-Projekt in irgendeiner Form mitgearbeitet und allen gebührt unser Dank. Ganz besonders aber möchte ich hier meinen Mitarbeiter ZHANG LI erwähnen, ohne dessen Engagement und technisch-wissenschaftliche Kompetenz die Projektergebnisse nicht in der heutigen Form verfügbar wären. Wir schätzen ebenfalls die Projektbeiträge von NATALIE VASSILIEVA, YUGANG LI und XIAOYUN FU, die den Großteil der manuellen Messungen erledigten. Ein herzlicher Dank gebührt auch PAUL BUCHERER-DIETSCHI, dem Leiter der Stiftung Bibliotheca Afghonica und des Afghanistan-Museums im Exil in Bubendorf, Schweiz, dessen rastloser Einsatz für die Belange Afghanistans und seine kompetente Beratung und Ermunterung unabdingbar für unseren Erfolg waren und immer noch sind.

Schlussendlich bedanke ich mich auch bei meinem Kollegen Prof. MANFRED BUCHROITHNER, dem Initiator des PFG-Heftes 1/2005, auf dessen Vorschlag nicht nur die Stereokarten des Großen Buddha entstanden, sondern der mich auch zum Schreiben dieses Artikels ermunterte und mir den entsprechenden Platz gewährte.



**Abb. 19:** Nach getaner Feldarbeit in Bamiyan, August 2003. Von links: JOSHUA HESS, ALEXANDER MAZZARA, ARMIN GRÜN, PETER INDERGAND, FABIO REMONDINO, CHRISTIAN FREI, MARIANNE STINER, PAUL BUCHERER.

## Literatur

- BEAL, S., 1906: SI-YU-KI. Buddhist Records of the Western World (Translation from Chinese), 2 Volumes. – Susil Gupta, Ltd., Calcutta, 1958, S. 49–53 (first published in London, 1884, 1906).
- BYRON, R., 1937: The Road to Oxiana. – Mac-Millan and Co Ltd, London, 1937; Random House, London, 2004, 391 S.
- CHAPPUIS, F., DUMOLIN, S., GALLIN, C., REY, Y. & WELLAUER, O., 2004: Rekonstruktion der Buddhasstatuen von Bamiyan, Afghanistan. Konzept Ortbeton und Konzept Fassadenkonstruktion, 2 Bände. – Semesterarbeit Sommersemester 2004, Institut für Baustatik und Konstruktion, ETH Zürich, 48 und 48 S.
- CHATWIN, B., 1980: „Introduction“ to „The Road to Oxiana“ by ROBERT BYRON. – Random House, London, 2004.
- DUPREE, N.H., 1977: An Historic Guide to Afghanistan. – Afghan Tourist Organization Publication Number 5, Second Edition, Kabul, 492 S.
- DUPREE, N.H., 2002: The Valley of Bamiyan. – Third Edition 2002, Published by Abdul Hafiz Ashna. First Edition 1962 by Afghan Tourist Organisation.
- GRÜN, A., 1976: Photogrammetrische Rekonstruktion aus Amateuraufnahmen. – Architekturphotogrammetrie II, Landeskonservator Rheinland, Rheinland Verlag, Köln, S. 85–92.
- GRUEN, A., 1984: Processing of amateur photographs. – Presented Paper ISPRS Congress Rio de Janeiro 1984, Commission V, WG 1, 14 p.
- GRÜN, A., 2004: Die Buddhas von Bamiyan. – Abenteuer Archäologie, Spektrum der Wissenschaft, No. 2, S. 70–74.
- GRUEN, A. & ZHANG, L., 2003: 3D processing of highresolution satellite images. – Proceedings The Asian Conference on Remote Sensing, Busan, Korea, 3–7 November, on CD-ROM.
- GRUEN, A., REMONDINO, F. & ZHANG, L., 2003a: Image-based automatic reconstruction of the Great Buddha of Bamiyan, Afghanistan. – CVPR Workshop on 'Application of Computer Vision in Archaeology', Madison, USA, on CD-ROM.
- GRUEN, A., REMONDINO, F. & ZHANG, L., 2003b: Computer reconstruction and modeling of the Great Buddha statue in Bamiyan, Afghanistan. – CIPA Symposium, Antalya, Turkey, Int. Arch. of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XXXIV, Part 5/C15, S. 440–445 (also on CD-ROM).
- GRUEN, A., REMONDINO, F. & ZHANG, L., 2004a: 3D modeling and visualization of large cultural heritage sites at very high resolution: The Bamiyan valley and its standing Buddhas. – Int. Arch. of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XXXV, Part B5, S. 603–608.
- Gruen, A., Remondino, F. & Zhang, L., 2004b: Photogrammetric reconstruction of the Great Buddha of Bamiyan. The Photogrammetric Record, 19 (107), S. 177–199.
- HACKIN, J., 1928: The Colossal Buddhas at Bamiyan. Their influence on Buddhist sculpture. – The Eastern Art, Vol.1:2, 10, S.109–116.
- HACKIN, J. & HACKIN, R., 1939: Bamiyan. Führer zu den buddhistischen Höhlenklöstern und Kolossalstatuen. – Deutsche Ausgabe. Publication de la Delegation Archeologique Francaise en Afghanistan, Les Editions D'Art et D'Histoire, Paris.
- HIGUCHI, T., 2001: Bamiyan. Art and archaeological researches on the Buddhist cave temples in Afghanistan 1970–1978. – 4 Volumes. Publication of the Kyoto University Archaeological Mission to Central Asia, Donosha Media Plan.
- KOSTKA, R., 1974: Die stereophotogrammetrische Aufnahme des Großen Buddha in Bamiyan. – Afghanistan Journal, 3 (1), S. 65–74.
- KNOBLOCH, E., 2002: The archaeology and architecture of Afghanistan. – Stroud Tempus. ISBN 0-7524-2519-6, S. 88–95.
- MODE, M., 1999: Ein vergessener Anfang: Carl Ritter und die „Kolosse von Bamiyan“. Zum 220. Geburtstag eines grossen deutschen Geographen. – Webversion eines Artikels, auf <http://mluca6.urz.uni-halle.de/orientarch/ca/bam/bamiyan>.
- RITTER, C., 1838: Die Stupa's (Topes) oder die architectonischen Denkmale an der Indo-Baktischen Königsstraße und die Colosse von Bamiyan. – Nicolaische Buchhandlung, Berlin.
- The Bamiyan Buddha Project. – TV Reports, Institute of Geodesy and Photogrammetry, ETH Zurich, Switzerland, 2004, DVD.
- UNESCO (Webpage Bamiyan): <http://whc.unesco.org>.

### Anschriften der Autoren:

Prof. Dr.-Ing. ARMIN GRÜN  
 Dipl.-Ing. FABIO REMONDINO  
 Institut für Geodäsie und Photogrammetrie  
 ETH Zürich, CH-8093 Zürich, Schweiz  
 e-mail: [agruen@geod.baug.ethz.ch](mailto:agruen@geod.baug.ethz.ch)  
[fabio@geod.baug.ethz.ch](mailto:fabio@geod.baug.ethz.ch)

Manuskript eingereicht: September 2004  
 Angenommen: Oktober 2004

## Berichte

### 11<sup>th</sup> SPIE International Symposium Remote Sensing

vom 13. bis 16. September 2004  
in Maspalomas, Gran Canaria, Spanien

Es war das 11. Remote Sensing Symposium der International Society for Optical Engineering (SPIE). Vorsitzende des Organisationskomitees waren Dr. ANTON KOHNLE (Symposium Chair) vom Forschungsinstitut für Optronik und Mustererkennung und JOHN D. GONGLEWSKI (Symposium Co-Chair) vom Air Force Research Lab (USA). Das Symposium bestand aus 9 Konferenzen jeweils mit Vorträgen und Posterpräsentationen. Dieser Bericht beschränkt sich auf die Konferenz „5574A Remote Sensing for Environmental Monitoring, GIS Applications, and Geology III“, die vom Vorsitzenden Prof. Dr. MANFRED EHLERS, Universität Osnabrück, und den 2. Vorsitzenden Prof. Dr. HERMANN J. KAUFMANN, GeoForschungsZentrum Potsdam, und Dr. ULRICH MICHEL, Universität Osnabrück, geleitet wurde.

Über 3 Tage (14.–16. September 2004) verteilt wurden 34 Vorträge präsentiert, die in 12 Sitzungen gruppiert und durch eine Postersitzung ergänzt wurden. Themenschwerpunkte waren Digitale Bildverarbeitung (Bildfusion und Klassifizierung/Kartierung, 6 Vorträge), Umweltmonitoring (4 Vorträge), Landanwendungen (4 Vorträge), neue Sensoren (4 Vorträge), Veränderungsanalysen (2 Vorträge), hyperspektrale Anwendungen (4 Vorträge), Geologie (4 Vorträge), urbane Anwendungen (3 Vorträge) und Modellintegration (2 Vorträge). Das thematisch umfangreiche Programm deckte zahlreiche aktuelle Aspekte der Fernerkundung ab. Die folgenden Ausführungen beschränken sich auf eine kurze Beschreibung der inhaltlichen Aspekte der einzelnen Themenschwerpunkte.

Die Themen in der Sitzung „Bildfusion“ waren Methoden der Bildfusion, basierend auf der Filterung in der Fourier Domain und auf der Multi-Wavelet Transformation.

In der Sitzung „Klassifizierung/Kartierung“ wurde eine Methode zur Erhebung von Trainingsgebieten für die Bildklassifizierung im Gelände, ein Segment-basiertes Klassifizierungsverfahren zur Fusion von hyperspektralen und hoch aufgelösten (digitale Orthophotos) Fernerkundungsdaten, die Entwicklung eines Klassifizierungsschemas für eine Landnutzungsklassifizierung in China und die Genauigkeitsuntersuchung eines aus ASTER Daten abgeleiteten DGMs vorgestellt. Die Evaluierung einer pan-europäischen Niederschlagsdatenbank (4 Dekaden) für die Gerinneabflussmodellierung, eine Studie zur Beziehung zwischen Infrarot Wolkenbildern und Niederschlagsraten, Untersuchungen zur Nutzung von LIDAR-Daten für das Küstenmonitoring und die Analyse und Visualisierung von Ölverschmutzungen in der Nord- und Ostsee waren Themen der beiden Umweltmonitoring Sitzungen.

Der Themenblock „Landanwendungen“ beschäftigte sich mit der Aktualisierung der CORINE Daten durch einen automatischen objektbasierten Klassifizierungsansatz (Support Vector Classifier), dem ökologischen Monitoring von Ölfeldern mit hoch aufgelösten (Quickbird) Fernerkundungsdaten, der Evaluierung der Nutzbarkeit von RADARSAT-1 Fine Beam Mode SAR-Bildern für boreale Torfgebiete und der Veränderungsanalyse der Landnutzung auf Teneriffa, basierend auf einer objektorientierten Analyse von Landsat MSS, Landsat ETM+, DGM und geologischen Daten.

In der Sitzung „Neue Sensoren“ wurde ein neuer, ab 2006 verfügbarer, flugzeuggestützter Sensor (Airborne Reflective Emissive Spectrometer, ARES) mit 150 Kanälen (0,47–2,42  $\mu\text{m}$  und 8,1–12,1  $\mu\text{m}$ ) vorgestellt. Weitere Themen waren die Entwicklung eines flugzeuggestützten multispektralen Aufnahmesystems für den schnellen Einsatz bei Naturkatastrophen, basierend auf einer Sony digitalen Videokamera, die Analyse von Feuern mit dem Infrarot Sensor-

system FASA (Fire Airborne Spectral Analyser) des DLR und die Untersuchung von Staub in Innenräumen mit einem Radiometer (1200–2400 nm, 1200 Kanäle). Zwei Schemata zur Verbesserung der Robustheit der MAD (Multivariate Alteration Detection) und eine Methode zur Veränderungsanalyse mit multi-resolution Analyse und Bewegungsschätzung wurden in der entsprechenden Sitzung vorgestellt. Der hyperspektralen Anwendung waren 4 Vorträge gewidmet. Zwei Vorträge beschäftigten sich mit der Landdegradation in semiariden Gebieten. Ein iterativer „*multiple endmember spectral unmixing*“ Ansatz zur quantitativen Ermittlung der Landbedeckung und die Ergebnisse von spektralen Felduntersuchungen in der Almeria Provinz in Spanien wurden in diesem Zusammenhang vorgestellt. Die beiden anderen Vorträge behandelten zum einen die Nutzung von hyperspektralen TRWIS III Daten zur Abgrenzung von Abraum-Flächen in Ontario (Kanada) und der Einschätzung des sich daraus ergebenden Versauerungsrisikos und zum anderen der Ermittlung der verbliebenen Schwermetall-Kontamination nach einem Minenunfall (Aznacollar Unfall, Guadiamar, Spanien) mit hyperspektralen Daten.

Neben diesen beiden Vorträgen war eine Sitzung dem Thema „*Bergbau und Gefährdung*“ gewidmet. Hier wurde ein Verfahren zur europaweiten Bestandsaufnahme von Abraum-Deponien durch die Kombination von Landsat-TM, regionalen und europäischen (z. B. CORINE Land Cover) Daten vorgestellt. Weitere Themen waren die Kartierung von Bergrutsch – Risikoflächen durch den Einsatz von GIS und eines Fuzzy Neural Network, die Modellierung von komplexen Bergsenkungsprozessen, sowie ein interferometrisches Lasersystem zur eindimensionalen lokalen Messung seismischer Störungen.

Im Block „*Modellintegration*“ wurde eine so genannte „*Dark-Pixel-Profile*“ (DPP) Methode zur atmosphärischen Korrektur von HRSC-AX Daten vorgestellt. Komplettiert wurde dieser Block durch einen Vortrag zu den integrativen Methoden und Ansätzen des EU Forschungsprojektes „*Benefits of*

*Urban Green Space*“ (BUGS) In diesem Projekt wird die Bedeutung des urbanen Grünraums zur Abschwächung der negativen Effekte der Urbanisierung untersucht.

Den Abschluss der Konferenz bildete die Sitzung „*Urbane Anwendungen*“. Die drei Vorträge in dieser Sitzung beschäftigten sich mit der Nutzung multisensoraler Fernerkundungsdaten (TM, ETM, SPOT, ERS-1) zur Einschätzung der Umweltqualität in Bukarest, der Landnutzungsveränderung der Region rund um Peking und dem Monitoring von urbanen Landsenkungen mit multi-temporalen InSAR Daten in Hong Kong.

Die Vorträge sind in einen Tagungsband veröffentlicht (*Proceedings of SPIE Vol. 5574, ISBN 0-8194-5521-0*) und können über die SPIE ([www.spie.org](http://www.spie.org)) bezogen werden.

LARS TUFTE, Koblenz

### **NATSCAN Konferenz**

vom 3. bis 6. Oktober 2004 in Freiburg

Die englischsprachige Konferenz „*Laser-Scanners for Forest and Landscape Assessment*“ fand in Freiburg im Breisgau statt. Die Konferenz wurde durch eine Reihe von Fachorganisationen und Firmen aus dem photogrammetrisch-fernerkundlichen, forstlichen und IT Bereich unterstützt und war eine Folgekonferenz von *ScandLaser*, die im Jahr 2003 in Umea, Schweden durchgeführt wurde. Die Konferenz in Freiburg war somit die zweite ihrer Art in Europa und die vierte weltweit. Im Vergleich zur vorhergehenden *ScandLaser* Konferenz in Umea, war die Konferenz in Freiburg etwas weiter gefasst und thematisierte die Objekte Wald und Landschaft sowie terrestrische und flugzeuggetragene Aufnahmesysteme.

Zur Konferenz konnten mehr als 100 Teilnehmer aus 25 verschiedenen Nationen begrüßt werden, darunter auch viele Teilnehmer aus USA, Südamerika und Japan. Die Veranstaltung war somit ausgebucht. Insgesamt umfasste die Konferenz 50 Vorträge und 18 Poster. Die Inhalte der Vorträge und Poster sind auf 344 Seiten in einem Konfe-

renzband (Thies et al. 2004, ISPRS International Archives series, volume 36, part 8/W2) zusammengefasst. Zusätzlich sollen einige Beiträge auch noch in referierten Zeitschriften veröffentlicht werden.

Die Vorträge zeigten, dass Laserscannersysteme sich außerordentlich gut eignen, um Wald- und Landschaftsstrukturen detailliert zu erfassen. Aus flugzeuggetragenen Laserscannerdaten lassen sich Einzelbauminformationen, wie Höhe, Kronendurchmesser oder Kronenform sehr gut erfassen, während für die Bestimmung der Baumart multispektrale Daten hinzugenommen werden müssen. In einigen Untersuchungen wurde darüber hinaus gezeigt, dass auf Bestands-ebene ein enger Zusammenhang zwischen den rückgestreuten Signalen und dem Holzvolumen besteht. Letzterer Ansatz wird für den operationalen Einsatz in Norwegen erprobt. Die Auswertung terrestrische Laserscannerdaten ergab, dass auf der Basis dieser Daten hochgenaue Baummodelle erstellt werden können. Der Einsatz von terrestrischen Laserscannern im Wald ist jedoch noch umständlich und kostenintensiv. Neben Untersuchungen zur Erfassung von forstlich relevanten Parametern, wurden auch Untersuchungen zur Habitat- bzw. Biodiversitätsforschung, Landschaftserfassung sowie -visualisierung und zu Gletscheruntersuchungen vorgestellt. Des Weiteren bot die Konferenz ein Forum, um Entwicklungen auf dem Gebiet der Geräte- und Algorithmenverbesserung darzustellen und neue Auswertesoftware vorzuführen.

Die Vorträge der Konferenz verdeutlichten die rasante Entwicklung auf dem Gebiet der Laserscannersysteme und Auswerteverfahren für Anwendungen in Wald und Landschaft. Insbesondere die Möglichkeit 3-D Information mit hoher Auflösung extrahieren zu können und dabei auch Informationen aus dem Bestandsinneren sowie über die Geländeoberfläche unter Bestand zu erhalten, eröffnen eine Vielzahl neuer fernerkundungsbasierter Anwendungen, die ohne den Einsatz von Laserscannerdaten nicht gegeben sind.

Es ist vorgesehen, die Serie von Konferenzen zur Wald- und Landschaftserfassung

aus Laserscannerdaten fortzusetzen. So findet im Jahr 2005 eine entsprechende Veranstaltung, "*SilviScan – Lidar Applications in Forest Assessment and Inventory*" in Blacksburg, Virginia, USA, 16–18 October, 2005 statt (e-mail: ross.f.nelson@nasa.gov), außerdem wird das Thema Laserscanner auch in der von der Universität für Bodenkultur in Wien geplanten Konferenz "*3-D Remote Sensing in Forestry*" einen breiten Raum einnehmen (<http://ivfl.boku.ac.at/3DRSForestry>).

BARBARA KOCH, Freiburg

### **Erdgas beim Klimaschutz deutlich vor anderen fossilen Energieträgern**

Neue Studie entkräftet Aussagen über hohe Gasverluste im russischen Pipeline-System.

Die Klimabilanz von Erdgas ist besser als die von Öl und Kohle – dies ist das Fazit einer neuen Studie des »Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH« vom Dezember 2004 zu den Auswirkungen von Treibhausgasemissionen des russischen Erdgas-Pipeline-Systems auf das Klima. Die Studie basiert auf den bislang umfangreichsten Emissions-Messungen an russischen Export-Pipelines und Erdgasanlagen in Sibirien. Hintergrund der Messkampagne waren die in der Öffentlichkeit oft überhöht dargestellten Emissionswerte beim Transport des russischen Gases.

Prof. Dr. PETER HENNICKE, Präsident des Wuppertal Instituts, sagte anlässlich der Vorstellung der Studie in Berlin: „Die vereinzelt anzutreffenden Aussagen über hohe Gasverluste im russischen Exportleitungssystem konnten nicht bestätigt werden. Der größere Anteil der Treibhausgasemissionen entsteht nicht durch Leckagen, sondern beim Einsatz von Erdgas als Antriebsenergie für den Transport nach Westeuropa und durch Wartungsarbeiten. Insgesamt liegen die Freisetzungen in einer Größenordnung von rund einem Prozent, bezogen auf die transportierte Erdgasmenge.“

Mit fachlicher Unterstützung durch das *Max Planck Institut für Chemie, Mainz*, hat-

te das Wuppertal Institut im Sommer 2003 Messungen an den Leitungssystemen der russischen Gastransportunternehmen Mostransgaz, Sewergazprom und Tjumentransgaz durchgeführt und mit weiteren Studien verglichen. „Insgesamt wurden 25 Absperr-Armaturen der Fernleitungen und 50 Maschinen sowie zugehörige Nebenaggregate und Armaturen in fünf Verdichterstationen untersucht,“ erläuterte STEFAN LECHTENBÖHMER, der Leiter des Projekts, „zusätzlich wurden rund 2.380 Kilometer Leitungen aus der Luft mit Lasertechnik auf Lecks hin kontrolliert.“ Auf dieser repräsentativen Basis konnte eine wissenschaftlich belegte Hochrechnung des gesamten Exportnetzes erfolgen.

Insgesamt – bezogen auf die gesamten Treibhausgasemissionen der Energieträger – weist damit das in Deutschland genutzte Erdgas bei einer Prozesskettenbetrachtung einen deutlichen Vorteil von mehr als 25 Prozent gegenüber dem Öl auf.

Russisches Erdgas trägt mit rund einem Drittel zur deutschen Gasversorgung bei. Der in Westsibirien geförderte Rohstoff wird über mehr als 5.000 Kilometer lange Pipelines nach Deutschland und Westeuropa transportiert. Im Jahr 2003 strömten rund 31 Milliarden Kubikmeter Erdgas aus Russland nach Deutschland.

Die Studie kommt zu dem Schluss, dass Erdgas damit der fossile Energieträger mit den mit Abstand geringsten Treibhausgasemissionen ist. Die verstärkte Nutzung von Erdgas ist eine im Rahmen einer Klimaschutzstrategie verfügbare Option zur Reduzierung der Treibhausgasemissionen. Sie ist daher eine sinnvolle und notwendige Ergänzung einer klimapolitischen Kernstrategie, die auf die erheblich effizientere Nutzung aller Energieträger und auf den Umstieg auf erneuerbare Energien zielt.

Die ausführliche Fassung des Berichtes hierzu liegt vor und kann auf der Homepage des Wuppertal Instituts unter <http://www.wupperinst.org/download/1203-report-de.pdf> abgerufen werden.

PETER HENNICKE, Wuppertal  
e-mail: [pr@wupperinst.org](mailto:pr@wupperinst.org)

## Maut-Kalkulation

In Deutschland werden ab 1. Januar 2005 für alle in- und ausländischen Lkw ab einem zulässigen Gesamtgewicht von zwölf Tonnen Mautgebühren fällig. Durchschnittlich 12,4 Cent pro Kilometer auf insgesamt 5.200 gebührenpflichtigen Autobahnabschnitten betragen die Streckenkosten.

Eine Unterstützung bietet hierbei das *Datenpaket EWS Maut Deutschland* vom Karlsruher Datendienstleister DDS Digital Data Services GmbH.

Das EWS Maut Deutschland von DDS hat sich bereits als Standard für effizientes Flottenmanagement, wirtschaftliche Auftragsplanung und transparente Abrechnung in der Transport- und Logistikbranche etabliert. Das EWS liefert europaweit Entfernungsangaben zwischen beliebigen Orten. Dabei weist das EWS Maut Deutschland nur noch die mautpflichtigen Teilstrecken aus.

Legt ein Fahrzeug also nach dem EWS insgesamt 400 Kilometer zurück, davon 300 Kilometer auf gebührenpflichtigen Autobahnabschnitten, weist das EWS Maut D nur noch diese mautpflichtige Teilstrecke aus.

Die Ortsdatei im EWS Maut Deutschland enthält 115.823 Orte und entspricht damit dem Stand der neuen EWS-Version 2005.

Ausführungen: EWS Deutschland, EWS Europa mit knapp 400.000 Orten sowie die Kombination aus beiden Produkten.

Das Entfernungswerk wird einmal jährlich aktualisiert und bezieht somit immer die neuesten Straßenverläufe ein. Entwickelt wurde die Datenbank in Zusammenarbeit mit der Bundeszentralgenossenschaft Straßenverkehr (BZG) und der PTV AG. Ab sofort ist bei DDS auch die Neuauflage des EWS Maut Österreich erhältlich, das alle mautpflichtigen Autobahnabschnitte im Alpenland berücksichtigt.

Weitere Informationen: LANDSCAPE GmbH, Richard-Wagner-Str. 39, 50674 Köln, Tel.: 0221-921-82562, Fax: 0221-921-82515, e-mail: [wenski@landscape.de](mailto:wenski@landscape.de)  
<http://www.ddsgeo.de>

CLAUDIA WENSKI, Köln





Die Schweizerische Gesellschaft für Photogrammetrie, Bildanalyse und Fernerkundung ([www.sgpbf.ch](http://www.sgpbf.ch)) wird gegenwärtig geleitet von:

Präsident: Prof. Dr. ARMIN GRÜN,  
e-mail: [agruen@geod.baug.ethz.ch](mailto:agruen@geod.baug.ethz.ch)

Sekretär: CHRISTOPH KAESER,  
e-mail: [christoph.kaeser@astra.admin.ch](mailto:christoph.kaeser@astra.admin.ch)

Kassier: PRISKA TIEFENBACH,  
e-mail: [p.tiefenbach@fhbb.ch](mailto:p.tiefenbach@fhbb.ch)

Beisitzer: Prof. Dr. STEPHAN NEBIKER,  
e-mail: [s.nebiker@fhbb.ch](mailto:s.nebiker@fhbb.ch)

Beisitzer: Prof. Dr. ERICH MEIER,  
e-mail: [meier@geo.unizh.ch](mailto:meier@geo.unizh.ch)

Das Fachorgan der SGPBF ist die *Geomatik Schweiz*, Geoinformation und Landmanagement. Diese Zeitschrift erscheint monatlich und wird herausgegeben vom Schweizer Verband für Geomatik und Landmanagement. Diesem Verband gehören außer der SGPBF elf weitere Verbände/Institutionen an ([www.geomatik.ch](http://www.geomatik.ch)).



## ÖVG

Die Österreichische Gesellschaft für Vermessung und Geoinformation (ÖVG) ([www.ovg.at](http://www.ovg.at)) wird gegenwärtig geleitet von:

Präsident: Dipl.-Ing. GERT STEINKELLNER

Stellvertreter: Prof. Dr.-Ing. KARL KRAUS,  
Baurat Dipl.-Ing. MANFRED ECKHARTER,  
Senatsrat Dipl.-Ing. ERWIN HYNST

Vorstandsrat: bestehend aus 13 Mitgliedern

Sekretär: Dipl.-Ing. KARL HAUSSTEINER

Schriftführer: Dipl.-Ing. WALTER BERG,  
Dipl.-Ing. FRIEDRICH REICHHART

Schatzmeister: Dipl.-Ing. HELMUT MAYER,  
Dipl.-Ing. HUBERT LEISSLER

Schriftleitung der VGI:

Dipl.-Ing. WOLFGANG GOLD,  
e-mail: [wolfgang.gold@bev.gv.at](mailto:wolfgang.gold@bev.gv.at)  
Dipl.-Ing. STEFAN KLOTZ,  
Dipl.-Ing. ERNST ZAHN

Das Fachorgan der OVG und der Österreichischen Geodätischen Kommission (ÖGK) ist die *Österreichische Zeitschrift für Vermessung & Geoinformation (VGI)*. Diese Publikation erscheint viermal jährlich. Sie wird herausgegeben von der OVG.



## RSPSoc

Der Vorstand von *The Remote Sensing and Photogrammetry Society* in Großbritannien ([www.rspsoc.org](http://www.rspsoc.org)) setzt sich gegenwärtig wie folgt zusammen:

Präsident: Prof. DAVID RHIND, City University London

Elected Members: 11 Personen

Co-opted Member: Dr. JIM CHANDLER, University of Loughborough

Ex-Officio:

Chairman Dr. STUART MARSH, British Geological Survey,

Hon.Gen.Secretary Dr. JON FINCH, Centre for Ecology and Hydrology

Hon. Treasurer ROBERT TAFT, Leica Geosystems GIS & Mapping Ltd.

Neben anderen Funktionsträgern gehören außerdem zum Vorstand:

– *IJRS* Editor IAN DOWNEY, BNSC

– Editor of *The Photogrammetric Record* PAUL NEWBY, Consultant und

– *Newsletter* Editor Prof. PAUL MATHER, University of Nottingham.

siehe auch: PFG 5/2005, S.435

KLAUS SZANGOLIES, Jena

## Hochschulnachrichten

### Technische Universität München

Dipl.-Ing. FRANZ MEYER promovierte am 16. 1. 2004 am Lehrstuhl für Photogrammetrie und Fernerkundung der TU München zum Dr.-Ing.

1. Gutachter: Univ.-Prof. Dr.-Ing. HEINRICH EBNER, TU München
2. Gutachter: Univ.-Prof. Dr.-Ing. OLAF HELLWICH, TU Berlin
3. Gutachter: Univ.-Prof. Dr.-Ing. RICHARD BAMLER, TU München

Thema: *Simultane Schätzung von Topographie und Dynamik polarer Gletscher aus multi-temporalen SAR Interferogrammen.*

Erschienen in der DGK Reihe C, Nr. 579

Zusammenfassung:

Die Arbeit präsentiert eine neue Methode zur simultanen Schätzung von Topographie und Bewegung polarer Gletscher und Eisflächen aus multi-temporalen SAR Interferogrammen. Die unbekannt Parameter Topographie und Bewegung werden dabei aus einer redundanten Anzahl an Beobachtungen geschätzt. Die Redundanz wird systematisch zur Ableitung realistischer Genauigkeitsaussagen sowie zur Aufdeckung möglicher grober Fehler bzw. Modellfehler genutzt. Die Überbestimmung eröffnet ebenfalls die Möglichkeit, restriktive Modellkomponenten durch flexiblere Modellkomponenten mit einer größeren Anzahl an freien Parametern zu ersetzen und gewährleistet dadurch eine bessere Beschreibung der tatsächlichen Verhältnisse.

Der Ansatz basiert auf der Kombination einer Anzahl von SAR Interferogrammen in einer Kleinste-Quadrate-Ausgleichung nach dem Gauss-Markov Modell. Zur Verknüpfung der multi-temporalen Datensätze wird ein räumlich-zeitliches Modell vorgeschla-

gen, das die Eigenschaften der beobachteten Oberfläche und deren zeitliche Veränderung beschreibt. Die Parametrisierung des räumlich-zeitlichen Modells kann dabei an die Eigenschaften des Untersuchungsobjekts angepasst werden. Simulationsrechnungen zeigen, dass die Topographie und die Bewegung polarer Gletscher je nach Konfiguration der Ausgleichung mit einer Genauigkeit von wenigen Höhenmetern bzw. wenigen Dezimetern pro Jahr bestimmt werden können. Die Genauigkeit der geschätzten Parameter wird dabei vor allem durch die Genauigkeit der Phasenbeobachtungen, die Aufnahmegeometrie und die Anzahl der kombinierten Datensätze bestimmt.

Zuverlässigkeitsanalysen zeigen zudem eine hohe Robustheit der Schätzwerte gegenüber groben Fehlern in den Beobachtungen. Der Einfluss der atmosphärischen Laufzeitverzögerung auf die Unbekannten wurde für verschiedene Beobachtungskonfigurationen und verschiedene atmosphärische Bedingungen untersucht und quantifiziert. Fehler im Bewegungsmodell führen zu einer signifikanten Verfälschung der geschätzten Unbekannten. Auf eine sorgfältige Konfiguration des räumlich-zeitlichen Modells ist daher zu achten. Neben der Ermittlung der Schätzwerte ermöglichen das Verfahren und dessen inhärente Analysestrategien, die zum Erreichen eines vorgegebenen Genauigkeitsniveaus notwendige Beobachtungskonfiguration im Voraus zu bestimmen. Die Analysestrategien sind daher ein nützliches Werkzeug für die Projektplanung. Anhand einer Fallstudie, bei der ein großer Eisdom in der russischen Arktis beobachtet wurde, wird die Umsetzbarkeit des Verfahrens unter realen Bedingungen gezeigt.

## Vorankündigungen

### 2005

16.–21. April: **FIG Working Week 2005 »From Pharaohs to Geoinformatics«** and **XXVIII General Assembly in Cairo**. Auskünfte durch: FIG Office, Tel.: +45-38-861081, Fax: +45-38-86 0252, e-mail: fig@fig.net, www.fig.net/cairo/

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

17.–20. Mai: **ISPRS Comm I & IV Workshop 2005 High-Resolution Earth Imaging for Geospatial Information in Hannover**. Auskünfte durch: Frau Gesine Boettcher, Universität Hannover (IPI), Tel.: +49-511-7622482, Fax: +49-511-7622483, e-mail: boettcher@ipi.uni-hannover.de, www.ipi.uni-hannover.de/ISPRS\_workshop\_05.htm

25.–27. Mai: 1<sup>st</sup> International Symposium on **Cloud-prone and Rainy Areas Remote Sensing (CARRS2005)** in **HongKong**. Auskünfte durch: Ms. Chloris Yip, Tel.: +852-26096538, Fax: +852-26037470, e-mail: jlglis@cuhk.edu.hk, www.jlglis.cuhk.edu.hk/events/events/CARRS2005/

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

2./3. Juni: 1. Deutschsprachige GI-Ausbildungsveranstaltung des **DDGI: Innovationen in Aus- und Weiterbildung mit Geo-Informationssystemen (GIS)** am Geo-Forschungszentrum (GFZ) in **Potsdam**. Auskünfte durch: Dr. Joachim Wächter, e-mail:

wae@gfz-potsdam.de, PD Dr.-Ing. Jochen Schiewe, e-mail: schiewe@ikg.uni-bonn.de, Dipl.-Inform. Gerhard König, e-mail: gert@fpk.tu-berlin.de, http://gis.gfz-potsdam.de/

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

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

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

20.–24. Juni: 31<sup>th</sup> International Symposium on **Remote Sensing of Environment „Global Monitoring for Sustainability and Security“** in **Saint Petersburg**, Russland. Auskünfte durch: Catherine Mironova, 31st ISRSE Coordinator, Nansen International Environmental and Remote Sensing Centre (NIERSC), 197101 Saint Petersburg, e-mail: 31\_ISRSE@niersc.spb.ru, Fax: +7-812-234 38 65, www.niersc.spb.ru/isrse/index.shtml

21./22. Juni: **Internationaler Workshop »Next Generation 3D City Models«** an der Universität **Bonn**, gemeinsam veranstaltet mit dem Arbeitskreis GIS der DGPF und

dem EuroSDR. Auskünfte unter <http://www.ikg.uni-bonn.de/NextGen3dCity/>

22.–24. Juni: **Münsteraner GI-Tage 2005**. Geo-Sensornetzwerke – von der Forschung zur praktischen Anwendung. Auskünfte durch: Antonio Krüger, Institut für Geoinformatik, Universität Münster, <http://ifgi.uni-muenster.de/> <http://www.smartgraphics.org>, Tel.: +49-251-83-33073

23.–25. Juni: **Geomatiktage 2005 in Basel**. Auskünfte durch: SGPF, [www.igs-gfsvvk.ch/d/oeffentlichkeit/veranstaltungen/fin-dex.html](http://www.igs-gfsvvk.ch/d/oeffentlichkeit/veranstaltungen/fin-dex.html)

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

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

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

9.–16. Juli: **XXII ICA International Cartographic Conference** in **A Coruña**, Spanien. Auskünfte durch: Global Congresses, Tel.: +34-981-208 990, Fax: +34-981-208 701, e-mail: [secretary@icc2005.org](mailto:secretary@icc2005.org), [www.icc2005.org/html-eng/english.html](http://www.icc2005.org/html-eng/english.html)

25.–29. Juli: **IEEE/IGARSS 2005** in **Seoul**, Korea. Auskünfte durch: IEEE Conference Services, e-mail: [conference-services@ieee.org](mailto:conference-services@ieee.org) und e-mail: [info@igarss05.org](mailto:info@igarss05.org), [www.igarss05.org](http://www.igarss05.org)

05.org, <http://ewh.ieee.org/soc/grss/igarss.htm>

22.–24. August: **ISPRS WG V/4 Workshop 3D-Arch' 2005**. 3D Virtual Reconstruction and Visualization of Complex Architectures in **Mestre-Venice**, Italien. Auskünfte durch: Fabio Remondino, WG V/4 Co-Chair, e-mail: [fabio@geod.baug.ethz.ch](mailto:fabio@geod.baug.ethz.ch)

29./30. August: **ISPRS WG III/4, WG III/5, Vienna University of Technology, Technical University of Munich and DAGM Joint Workshop „Object Extraction for 3D City Models, Road Databases and Traffic Monitoring – Concepts, Algorithms, and Evaluation“** in **Wien**. Auskünfte durch: Dr. Franz Rottensteiner, University of New South Wales, Sydney, e-mail: [f.rottensteiner@unsw.edu.au](mailto:f.rottensteiner@unsw.edu.au) und Prof. Uwe Stilla, TU München, e-mail: [stilla@bv.tu-muenchen.de](mailto:stilla@bv.tu-muenchen.de)

29. August–2. September: **AfricaGIS 2005** in **Johannesburg**, Südafrika. Auskünfte unter: [www.africagis2005.org.za](http://www.africagis2005.org.za)

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

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

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

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

12.–14. September: **ISPRS WG III/3, III/4, V/3 workshop Laserscanning 2005 in Enschede**, Niederlande. Auskünfte durch: George Vosselman, Tel.: +31-53-487-4344, Fax: +31-53-487-4335, e-mail: [vosselman@itc.nl](mailto:vosselman@itc.nl), [www.itc.nl/isprswgIII-3/laserscanning2005](http://www.itc.nl/isprswgIII-3/laserscanning2005)

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

26.–30. September: **CIPA 2005**, XX International Symposium **International Cooperation to save the World's Cultural Heritage** in **Torino**, Italien. Auskünfte durch: ACTA Congresses and Events, Tel.: +39-11-591871, Fax: +39-11-590833, e-mail: [info@actacongress.com](mailto:info@actacongress.com); <http://www.cipatorino2005.org>

3.–5. Oktober: 7<sup>th</sup> International Conference on **Optical 3-D Measurement Techniques** and **ISPRS WG V/1 Session** in **Wien**. Auskünfte durch: Conference secretary, e-mail: [conf@pop.tuwien.ac.at](mailto:conf@pop.tuwien.ac.at) and Prof. Thomas Luhmann (WG V/1), e-mail: [luhmann@fh-oldenburg.de](mailto:luhmann@fh-oldenburg.de), [www.info.tuwien.ac.at/in geo/optical3d/o3d.htm](http://www.info.tuwien.ac.at/in geo/optical3d/o3d.htm)

4.–6. Oktober: **INTERGEO 2005** in **Düsseldorf**. Auskünfte durch e-mail: [intergeo2005@stadt.duesseldorf.de](mailto:intergeo2005@stadt.duesseldorf.de), [www.dvw.de](http://www.dvw.de), [www.intergeo2005.de](http://www.intergeo2005.de) und [www.hintemesse.de](http://www.hintemesse.de)

6./7. Oktober 2005: Universitätslehrgang **Laserscanning – Data Acquisition and Modeling** an der Technischen Universität **Wien**. Auskünfte: [http://www.ipf.tuwien.ac.at/events/unil\\_laser\\_2005.html](http://www.ipf.tuwien.ac.at/events/unil_laser_2005.html)

14.–16. Oktober: **ISPRS WG IV/1, IV/8, IC WG II/IV Workshop on Service and Application of Spatial Data Infrastructure** in **Hangzhou**, China. Auskünfte durch: Dr. Jie Jiang, Tel.: +86-10-6848-3218, Fax: +86-10-6842-4101, e-mail: [jjie@nsdi.gov.cn](mailto:jjie@nsdi.gov.cn) und e-mail: [jiangjie\\_263@263.net](mailto:jiangjie_263@263.net), [www.isprswg41.nsd.gov.cn](http://www.isprswg41.nsd.gov.cn)

16.–18. Oktober: **SilviScan – Lidar Applications in Forest Assessment and Inventory** in **Blacksburg**, Virginia, USA. Auskünfte durch e-mail: [ross.f.nelson@nasa.gov](mailto:ross.f.nelson@nasa.gov)

23.–27. Oktober: **PECORA 16**, The William T. Pecora Memorial Symposium “Global Priorities in Land Remote Sensing” in **Sioux Falls**, SD. Auskünfte durch: American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, [www.asprs.org](http://www.asprs.org)

30. November–2. Dezember: 2nd International Conference „**Earth from Space – the Most Effective Solutions**“ in **Moskau**.

Auskünfte durch: Polina Glazyrina, e-mail: [polina@scanex2.ss.msu.ru](mailto:polina@scanex2.ss.msu.ru) und Conference Secretary, Tel./Fax: +7-095-939-4284, e-mail: [conference@scanex.ru](mailto:conference@scanex.ru), [www.transparentworld.ru/conference/](http://www.transparentworld.ru/conference/)

9./10. Dezember: **Geokosmos 4<sup>th</sup>** International Conference and Exhibition in **Moskau**. Auskünfte unter: [inna\\_bartchan@geokosmos.ru](mailto:inna_bartchan@geokosmos.ru)

## 2006

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

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

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

## Buchbesprechung

**LOTHAR BECKEL**, (Hrsg.), 2004: Österreich Satellitenbild Atlas. 245 mm × 345 mm, 144 S., zahlreiche Satellitenbilder und topographische Karten. Geospace Verlag, Jakob Haringer Str.1, A-5020 Salzburg, Fax: +43-662-458115-4, e-mail: office@geospace.at, www.geospace.at, ISBN 3-85313-100-x.



Nahezu jeder Mensch freut sich in dieser „mobilen Zeit“ über neue kartographische Produkte. Erstens, weil durch Straßen-, Eisenbahnbau, Häuser- und Industriebau und landwirtschaftliche Nutzungsänderungen vorhandene Karten schnell veralten, und zweitens, weil durch neue, höher auflösende Satelliten verbesserte Geoinformationen mit mehr Informationsgehalt zur Verfügung stehen.

Die Herausgabe eines neuen Satellitenbild-Atlas von Österreich ist deshalb ein besonderes erfreuliches Ereignis, nicht nur für Geodäten und Kartographen, und nicht nur für die Österreicher allein, sondern auch für die angrenzenden Nachbarn und für ganz Europa.

Um die Gesamteinschätzung des »Österreich Satellitenbild Atlas« vorweg zu nehmen: Dieses Buch ist ein erstklassiges kartographisches Werk. Die Konzeption mit der Darstellung von Satellitenbild auf der linken Bildseite und topographischer Karte auf der rechten Seite, alles im gleichen Maßstab 1:200 000 und mit gleichem Blattschnitt, ergibt eine hervorragende Übersicht und Information über das gesamte Territorium Österreichs (80 Seiten Satellitenbilder, 8 Seiten Luftbilder und 47 Seiten topographische Karten).

Die neuen Satellitenbilder von Landsat-7 mit 15 m × 15 m Auflösung vermitteln im Maßstab 1:200 000 scharfe Abbildung und hohe Auflösung.

Für alle acht Landeshauptstädte (Bregenz, Innsbruck, Salzburg, Klagenfurt,

Linz, Graz, Sankt Pölten, Eisenstadt) sind zusätzlich Ikonos-Bildaten mit einer Auflösung von 1 m im Maßstab 1:15 000 auf je einer Doppelseite als Bildpläne gedruckt. Die Hauptstadt Wien ist auf einer Bildkarte 1:55 000 und ihr Zentrum nochmals extra auf 2 Druckseiten im Maßstab 1:8 000 dargestellt. Auch diese großmaßstäbigen Bild Darstellungen sind sehr gut kartographisch ergänzt, haben hohe Bildschärfe und hervorragenden Informationsgehalt.

Außer den flächendeckenden Karten und Plänen muss ein Atlas natürlich auch Indexkarten, Texteingführungen in Historie und Landschaften enthalten. Das ist in diesem Werk alles vorhanden, auch eine alphabetische Liste aller Gemeinden Österreichs mit Index, wo sie zu finden sind. Die Texte sind bewusst kurz gehalten. Die Luftbilder der GEOSPACE zur Charakterisierung der Landschaften, der Lebensräume, der Landnutzung und der Typenlandschaften sind vorzüglich in der Qualität und ihrer Wirkung auf den Betrachter.

Wenn man zu diesem erstklassigen Atlas, an dem der Rezensent keine kritischen Positionen zu bemängeln hat, einen Vorschlag zur weiteren Optimierung zukünftiger Auflagen machen soll, dann vielleicht Folgendes:

- Die größeren Gewässer (Seen und Flüsse ab einer festzulegenden Breite; siehe z. B. Seite 110) könnten wirkungsvoller und einheitlicher blau eingefärbt werden, heller oder dunkler in Abhängigkeit von der Gewässertiefe und
- die mit Schnee bedeckten Hochgebirgszonen (siehe z. B. Seite 88) sollten etwas mehr Struktur erhalten.

Die Druckqualität für Bildkarten, für lineare Darstellungen (topographische Karten), und auch für Texte ist sehr gut. Dieser neue Satelliten Bildatlas von Österreich wird sicher auch in Deutschland zahlreiche Interessenten finden.

KLAUS SZANGOLIES, Jena

## Zum Titelbild

### Historische Metric Camera Aufnahme von Rügen

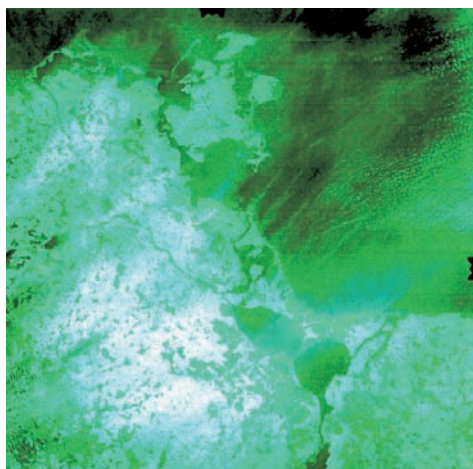


Foto 291: Mit freundlicher Genehmigung zur Verfügung gestellt vom Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR).

Dieses Bild ist eine Spacelab – Aufnahme, hergestellt während der 1. europäischen Spacelab-Mission im November/Dezember 1983 über NO-Deutschland und Polen. Der Astronaut Dr. ULF MERBOLD war bei

dieser Mission zuständig für die Zeiss RMK und die Bildaufnahme. Projektingenieur für die Spacelab-Kameramission war Prof. MANFRED SCHROEDER und wissenschaftlicher Leiter des gesamten Projektes Prof. GOTTFRIED KONECNY.

Auf dem Bild im Maßstab von etwa 1:1 Mio. gut zu erkennen sind die Inseln Rügen, Usedom und Wollin, die Oder in ihrem Unterlauf mit Stettin und in der linken unteren Hälfte der Unterrückersee (unten) mit Prenzlau, der Tollensesee mit Neubrandenburg und Kummerower See bei Malchin (links). Das Gelände ist zum Teil verschneit und zum Teil durch Schleierwolken verdeckt. Die Aufnahme wurde angefertigt am 2. 12. 1983 mit einer leicht modifizierten Reihenmesskammer RMK A 30/23 während der ersten Spacelab Mission (Space Shuttle Flug Nr.9) auf Farbinfrarotfilm Kodak 2443 aus eine Höhe von 255 km mit Belichtungszeit 1/375 s und Blende 5.7.

Die fotografische Aufnahme Nr. 291 wurde für die Verwendung als Titelbild der PFG mit 20 µm Pixel gescannt (414 MB) und in TIFF gespeichert für den Satz verwendet.

GOTTFRIED KONECNY, Hannover

## Mitteilungen der DGPF

### Adressen-Änderungen

Prof. Dr. CORNELIA GLÄßER:  
e-mail: [cornelia.glaesser@geo.uni-halle.de](mailto:cornelia.glaesser@geo.uni-halle.de)

Phoenics GmbH  
Große Düwelstr. 28, 30171 Hannover

Dr. HORST WEICHELDT:  
ILV-Fernerkundung GmbH  
Wallstraße 15/15a, D-10179 Berlin  
Tel.: 030-240 485 0, Durchwahl 15  
e-mail: [dgpf-akfe@h-weichelt.de](mailto:dgpf-akfe@h-weichelt.de)

TerraVista Umweltdaten GmbH  
Internet: [www.terravista.de](http://www.terravista.de)  
e-mail: [info@terravista.de](mailto:info@terravista.de)

## Neuerscheinungen

PETER KOHLSTOCK, 2004: Kartographie. UTB 2568. 230 S. Kartoniert. Verlag Ferdinand Schöningh GmbH, Jühenplatz 1, D-33098 Paderborn. [www.schoeningh.de](http://www.schoeningh.de), ISBN 3-506-71710-3, UTB-Bestellnummer: ISBN 3-8252-2568-2. 16,90 €

ALBERT WIEDEMANN, 2004: Bauwerksvermessung Geodäsie – Photogrammetrie – Laserscanning. Birkhäuser Verlag, Basel. e-mail: [rapp@birkhauser.ch](mailto:rapp@birkhauser.ch), ISBN 3-7643-6722-9. 88,- €

LOTHAR BECKEL, (Hrsg.), 2004: Österreich Satellitenbild Atlas. 144 S., davon 96 S. Satellitenbilder und topographische Karten. Geospace Verlag, Jakob Haringer Str. 1, A-5020 Salzburg, Fax: +43-662-458115-4,

e-mail: [office@geospace.at](mailto:office@geospace.at), [www.geospace.at](http://www.geospace.at), ISBN 3-85313-100-x. 39,20 €

MARKUS MÖLLER & HENDRIK HELBIG, (Hrsg.), 2005: GIS-gestützte Bewertung von Bodenfunktionen. Datengrundlagen und Lösungsansätze. VI, 223 S., Softcover mit CD-ROM. Herbert Wichmann, Hüthig Fachverlage, Heidelberg. Bestellungen: e-mail: [kundenservice@huethig.de](mailto:kundenservice@huethig.de); ISBN 3-87909-427-5. 40,00 €

LARS BERNARD & JENS FITZKE, (Hrsg.), 2004: Geodateninfrastruktur. Grundlagen und Anwendungen. XIV, 311 S. Softcover. Herbert Wichmann, Hüthig Fachverlage, Heidelberg. Bestellungen: e-mail: [kundenservice@huethig.de](mailto:kundenservice@huethig.de); ISBN 3-87907-395-3. 46,00 €



Der Name ESG steht seit vier Jahrzehnten für Innovation und Know-how bei Prozessen rund um Entwicklung, Logistik und Service von langlebigen High-Tech-Produkten. Mit Kernkompetenzen beim Engineering komplexer Elektronik- und Informatik-Systeme, bei Product Support und technischem Training sowie End-to-end-Logistik für Instandhaltungsprozesse gehört die ESG zu den führenden IT-Unternehmen in Deutschland.

Arbeitsschwerpunkte im Bereich Geo- und Bilddatenverarbeitung sind die Konzeption und Realisierung von:

- Geo-Informationssystemen für die hybride Verarbeitung von Bild-, Vektor-, Raster-, Höhen- und Kartendaten,
- Archivierungs-, Management- und Auskunftssystemen für Geodaten (GeoBroker®),
- Web-basierten und mobilen GIS-Komponenten,
- Workflows in den Bereichen Photogrammetrie, GIS, Kartographie und Bildverarbeitung,

- Software für die automatisierte Bildauswertung und Objektextraktion,
- Software für die Karte/Lage Darstellung,
- Software zum Erzeugen von Geodatenbasen für Simulationssysteme,
- Konvertierungs-SW für Rasterdatenformate (Geo TIFF, COT, ...), Vektordatenformate (DFAD, VPF GML, ...), Höhendatenformate (DTED, DHM) und Simulationsdatenformate (SIF, SEDRIS, Open-Flight)
- Bodensegmenten für hoch auflösende optische und Radar-Aufklärungssatelliten.

Als Intergraph Business Partner konzipiert und integriert die ESG Systemlösungen, die auf Intergraph Software (GeoMedia, GeoMedia WebMap, ...) basieren. Darüber hinaus werden auf der Basis der Software-Pakete ERDAS Imagine, ArcGIS, Genasys, und HALCON Systementwicklungen durchgeführt.

ESG Elektroniksystem- und Logistik-GmbH z. Hd. Dr. TIMM OHLHOF  
Einsteinstraße 174, D-81605 München  
Tel.: (089) 9216 2285, Fax: (089) 9216 2732

e-mail: [tim.ohlhof@esg.de](mailto:tim.ohlhof@esg.de)

Internet: <http://www.esg.de>