

# PRG

# Photogrammetrie Fernerkundung Geoinformation

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

Jahrgang 2002, Heft 5

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

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

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



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



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

---

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



International Society  
for Photogrammetry  
and Remote Sensing

**DAGM**

Deutsche Arbeits-  
gemeinschaft für  
Mustererkennung e.V.



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

---

Herausgeber:

© 2002 Deutsche Gesellschaft für Photogrammetrie und Fernerkundung e.V.

Geschäftsstelle: Dr. Klaus-Ulrich Komp, c/o EFTAS Fernerkundung Technologietransfer GmbH, Ostmarkstraße 92, D-48145 Münster, e-mail: Praesident@dgpf.de

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

Published by:

E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele u. Obermiller), Johannesstraße 3 A, D-70176 Stuttgart. Tel.: 07 11/35 14 56-0, Fax: 07 11/35 14 56-99, e-mail: [mail@schweizerbart.de](mailto:mail@schweizerbart.de)

© Gedruckt auf alterungsbeständigem Papier nach ISO 9706-1994

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

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

Verantwortlich für den Inhalt der Beiträge sind die Autoren.

ISSN 1432-8364

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

Schriftleiter: Prof. Dr. Franz K. List, Freie Universität Berlin, Institut für Geologie, Geophysik und Geoinformation, Malteserstr. 74-100, D-12249 Berlin, e-mail, [fklist@zedat.fu-berlin.de](mailto:fklist@zedat.fu-berlin.de) und Dr.-Ing. Eckhardt Seyfert, Landesvermessung und Geoinformation Brandenburg, Heinrich-Mann-Allee 103, D-14473 Potsdam, e-mail: [eckhardt.seyfert@lvermap.brandenburg.de](mailto:eckhardt.seyfert@lvermap.brandenburg.de)

Erscheinungsweise: 7 Hefte pro Jahrgang.

Bezugspreis im Abonnement: € 86,- pro Jahrgang. Mitglieder der DGPF erhalten die Zeitschrift kostenlos.

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

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

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

## PFG – Jahrgang 2002, Heft 5

### Inhaltsverzeichnis

---

#### Originalbeiträge

SCHOLTEN, F., GWINNER, K. & WEWEL, F.: Angewandte digitale Photogrammetrie mit der HRSC .....	317
SUJEW, S., SCHOLTEN, F., WEWEL, F. & PISCHEL, R.: GPS/INS-Systeme im Einsatz mit der HRSC – Vergleich der Systeme APPLANIX POS/AV-510 und IGI AEROcontrol-IIId .....	333
OERTEL, D., BRIESS, K., LORENZ, E., SKRBEK, W. & ZHUKOV, B.: Fire Remote Sensing by the Small Satellite on Bi-spectral Infrared Detection (BIRD) .....	341
GIERK, M. & SEYFERT, E.: Hochgenaue digitale Geländemodelle für die Belange des Hochwasserschutzes und des Vermessungswesens an der Oder .....	351
MENZ, J., MARTIENßEN, TH. & NGUYEN, V. D.: Photogrammetrische Erfassung der Klüftigkeit des Gebirges und Zugänge zur weitgehend automatisierten Bereitstellung der Ergebnisse .....	361

---

#### Berichte und Mitteilungen

Berichte	
Festakt zum 50-jährigen Bestehen des BKG .....	373
OEEPE Education services .....	373
Neue Mitglieder der DGPF .....	374
Persönliches	
Professor KENNERT TORLEGÅRD zum 65. Geburtstag .....	375
Prof. Dr.-Ing. WANG ZHIZHUO † .....	376
Hochschulnachrichten	
Ruhr-Universität Bochum .....	377
Fachhochschule Karlsruhe .....	378
Universität Regensburg .....	379
ETH – Hoenggerberg Zürich .....	380
Vorankündigungen .....	380
Zum Titelbild .....	383
Neuerscheinungen .....	384

FACHHOCHSCHULE HOCHSCHULE FÜR  
STUTT GART TECHNIK

Im **Fachbereich Vermessung, Informatik und Mathematik** ist zum Wintersemester 2003/2004 (01.09.2003)

**eine Professur (Bes. Gr. C2)**

für das Fachgebiet **Photogrammetrie und Geoinformatik** zu besetzen. **Kennzahl: 47**

Der/die Stelleninhaber/in soll das ausgeschriebene Fachgebiet in seiner gesamten Breite in Lehre und angewandter Forschung vertreten. Die Beteiligung an der Grundlagenausbildung im Diplommstudiengang Vermessung und Geoinformatik, an der Lehre in den englischsprachigen Masterstudiengängen Photogrammetrie und Geoinformatics und Software Technology sowie im Bachelorstudiengang Informatik des Fachbereiches wird erwartet.

Voraussetzungen:

- ein abgeschlossenes Hochschulstudium
- Promotion oder gleichwertige Befähigung zu wissenschaftlicher Arbeit
- besondere Leistungen in der beruflichen Praxis von mindestens fünf Jahren, davon mindestens drei Jahre außerhalb des Hochschulbereiches
- pädagogische Eignung
- Bereitschaft zur Beteiligung an den Aufgaben der Selbstverwaltung der Hochschule

Bei Eignung ist die Übernahme als Professor/in in das Beamtenverhältnis auf Lebenszeit beabsichtigt, sofern die beamtenrechtlichen Voraussetzungen vorliegen und zu diesem Zeitpunkt das Lebensalter von 50 Jahren nicht überschritten ist. Im Falle einer erstmaligen Berufung in ein Professorenamt wird das Dienstverhältnis gemäß § 48 FHG in der Regel zunächst auf drei Jahre als Beamter auf Zeit befristet.

Die Hochschule strebt bei ihrer Professorenschaft eine Erhöhung des Anteils von Frauen an und fordert daher Frauen besonders zur Bewerbung auf. Bei gleicher Eignung werden schwerbehinderte Menschen bevorzugt berücksichtigt.

Bewerbungen mit Lebenslauf, Lichtbild, Zeugniskopien und Unterlagen über eigene Projekte und wissenschaftliche Veröffentlichungen werden **bis vier Wochen nach Erscheinen der Ausschreibung** an den Rektor der **Fachhochschule Stuttgart – Hochschule für Technik, Postfach 10 14 52, 70013 Stuttgart, erbeten. Internet:** <http://www.fht-stuttgart.de>.

**Weitere Auskünfte erhalten Sie gerne vom Fachbereich (Telefon: +49-711-121 2606; e-mail: sekretariat.fbv@fht-stuttgart.de), sowie der Frauenbeauftragten: frauenbeauftragte@fht-stuttgart.de**

## HIRTs Stichwortbücher

<http://www.schweizerbart.de/j/hirts-stichwortbuecher>

### Geomorphologie in Stichworten

**I. Endogene Kräfte, Vorgänge und Formen. Beiträge zur Allgemeinen Geographie**  
von Herbert Wilhelmy. 5. überarb. Aufl. von Berthold Bauer und Christine Embleton-Hamann. 1994. 143 S., 50 Abb. ISBN 3-266-03050-8. Auslieferung: VVA

**II. Exogene Morphodynamik. Abtragung – Verwitterung – Tal- und Flächenbildung**  
von Herbert Wilhelmy. 6. überarb. Aufl. von Berthold Bauer und Hans Fischer. 2002. 213 S., 58 Abb. ISBN 3-443-03113-7. 19,80

**III. Exogene Morphodynamik. Karstmorphologie – Glazialer Formenschatz – Küstenformen**  
von Herbert Wilhelmy. 5. neubearb. Aufl. von Hans Fischer und Christine Embleton-Hamann 1992. 176 S., 47 Abb., 3 Tab. ISBN 3-443-03101-3. 17,60

### Bodenkunde in Stichworten

von Dietrich Schroeder. 5. rev./erw. Aufl. von Winfried E.H. Blum. 1992. 175 S., 63 Abb., 26 Tab. ISBN 3-443-03103-X. 37,-

### Karteninterpretation in Stichworten

**I. Topographische Karten**  
von Armin Hüttermann. 4. überarb. Aufl. 2001. 205 S., 56 Abb. ISBN-3-443-03110-2. 19,-

### Klimageographie in Stichworten

von Günter Borchert, 2. überarb. u. erw. Aufl. 1993. 176 S., Abb. i. Text. ISBN 3-443-03105-6. 22,-

### Meteorologie in Stichworten

von Stefan Emeis. 2000. XIV, 200 S., 8 farb. Taf., 25 Abb., 14 Tab. ISBN 3-443-03108-0. 19,60.

### Wirtschaftsgeographie in Stichworten

von Klaus Arnold. 1992. 240 S., viele Abb. ISBN 3-443-03102-1. 22,-

### Pflanzenernährung in Stichworten

von Arnold Finck, 5. Aufl. 1991. 200 S., viele Abb., Tab. ISBN 3-443-03100-5. 16,40

**Gebrüder Borntraeger Verlagsbuchhandlung  
Berlin • Stuttgart  
E-mail: mail@schweizerbart.de**

## Angewandte digitale Photogrammetrie mit der HRSC

FRANK SCHOLTEN, KLAUS GWINNER & FRANZ WEWEL, Berlin

**Zusammenfassung:** Seit den ersten erfolgreichen flugzeuggestützten Anwendungen von HRSC vor 5 Jahren wurden umfangreiche Weiterentwicklungen des Sensor- und Verarbeitungssystems vorgenommen, die auf die Leistungsfähigkeit des Systems im operationellen Einsatz abzielten. Dabei konnten sowohl die Ergebnisse systematischer Performanceanalysen als auch umfassende Erfahrungswerte, die in zahlreichen Anwendungsprojekten gewonnen wurden, umgesetzt werden. Die Arbeit beschreibt den aktuellen technischen Stand des flugzeuggestützten HRSC-Gesamtsystems unter dem Gesichtspunkt der praxisgerechten Anwendung. Auf Unterschiede zu konventionellen photogrammetrischen Systemen für die Bildaufnahme und -auswertung wird ebenso eingegangen wie auf Möglichkeiten zur Integration von HRSC in herkömmliche photogrammetrische Arbeitsprozesse. Schließlich wird ein Einblick in die Vielseitigkeit der Anwendungen von Daten multispektraler Stereoscanner gegeben.

**Summary:** *Applied Digital Photogrammetry using HRSC.* Since the first successful airborne applications of HRSC 5 years ago, considerable efforts for further technical development of the sensor and processing system have addressed the efficiency of the system in its operational use. Both systematic analysis of the performance characteristics and extensive practical experience stemming from numerous application projects could be put into practice through these developments. The paper reports on the actual technical status of the airborne HRSC system as a whole, from a practice-oriented viewpoint, and with regard to its application. We address the differences that exist with respect to traditional photogrammetric techniques for data acquisition and analysis, but also the possibilities for integrating HRSC into traditional photogrammetric work processes. Finally, an insight into the versatility of applications of multispectral stereo scanner data is given.

### 1 Einleitung

Mit der Entwicklung von digitalen Mehrzeilenscannern wie HRSC (WEWEL et al. 1998, NEUKUM 1999, NEUKUM et al. 2001) und ADS40 (FRICKER 2001) erschließen sich seit einigen Jahren neue Möglichkeiten gegenüber der klassischen analogen Bildaufnahme. Neben der vollständig digitalen Bildaufnahme und -verarbeitung bietet dieser neue Sensortyp eine Vielzahl von weiteren Vorteilen, insbesondere durch die Kombination von hoher Auflösung, permanenter Mehrfach-Stereoabdeckung und der gleichzeitigen Aufzeichnung von Bilddaten in verschiedenen Spektralkanälen.

Mit dem HRSC-Gesamtsystem, bestehend aus Bildaufnahme- und Verarbeitungssystem, gelang vor einigen Jahren erstmals die stereophotogrammetrische Kartierung

großer Projektgebiete mit einem digitalen hochauflösenden Sensorsystem (WEWEL et al. 2000). Bei den umfangreichen Weiterentwicklungen innerhalb der letzten Jahre lag das Hauptaugenmerk auf der Optimierung und dem Ausbau des Verarbeitungssystems, der anwendungsbezogenen Produktentwicklung und, nicht zuletzt, der technischen Weiterentwicklung mit dem Ergebnis der Fertigstellung einer neuen Kameraversion, HRSC-AX, und deren vollständiger Integration in das Verarbeitungssystem.

### 2 Konventionelle photogrammetrische Arbeitstechniken und digitale Mehrzeilenscanner

Die klassische analoge Luftbildaufnahme ist eine seit Jahrzehnten bewährte Methode zur

flächendeckenden Gewinnung bildhafter Information. Bei der Stereokartierung wird ein Bildverband sich überlappender Einzelaufnahmen zur Erfassung der dreidimensionalen Form der Oberfläche verwendet. Die der Bildaufnahme eines Einzelbildes zugrundeliegende Zentralperspektive ist im Rahmen der photogrammetrischen Auswertung einfach modellierbar und, in Verbindung mit Pass- und Verknüpfungspunkten zur Rekonstruktion der äußeren Orientierung der Einzelbilder, ausreichend genau numerisch beschreibbar. Die zentralperspektivische Abbildung birgt jedoch auch Nachteile, die bisher in der Praxis in Kauf genommen wurden. Abseits des Bildhauptpunktes wirken radial in alle Richtungen des Bildes Versetzungen, die, wenn die Form der abgebildeten Oberfläche nicht genau genug bekannt ist, im Rahmen der Erstellung von entzerrten (Ortho-) Bilddaten nur unzureichend korrigiert werden können. Vor allem aber bewirken sie Verdeckungen, die sich negativ auf die Informationsdichte in den kartenprojizierten Auswertungsprodukten auswirken, im (häufigen) Extremfall als Lücken, die durch Interpolation geschlossen werden müssen. Die dreidimensionale Erfassung der Oberfläche basiert dabei i. d. R. lediglich auf einer einfachen Stereoüberlappung in Flugrichtung. Nicht zuletzt besitzt das bei der analogen Bildaufnahme verwendete Filmmaterial eine relativ geringe radiometrische Auflösung (max. ca. 7 Bit), was im Hinblick auf die erforderlichen Beleuchtungsverhältnisse zu einer zeitlich erheblich eingeschränkten Einsetzbarkeit und bei großen Helligkeitskontrasten in der Bildszene zu einer eingeschränkten Detailwiedergabe führt.

Aktuelle digitale Framekamera-Entwicklungen müssen aufgrund der extrem hohen Kosten für große Flächen-CCD-Arrays auf aufwendige Kamerakonzepte, z. B. mit mehreren kleineren Flächenkomponenten (HINZ et al. 2001), zurückgreifen. Mit kleinen Flächensensoren ausgestattete Systeme kommen bisher im experimentellen Bereich zum Einsatz (THOM & JURVILLIER 1997, TOTH 1999).

Digitale Mehrzeilenscanner wurden zunächst satellitengestützt (z. B. MOMS) eingesetzt. Bei der Bildaufnahme aus einem stabilen Orbit ist dabei die permanente Änderung der äußeren Orientierung mit relativ einfachen Modellansätzen beschreibbar. Beim flugzeuggestützten Einsatz ist jedoch durch ständige und teilweise hochfrequente Änderung der Fluglage trotz stabilisierender Maßnahmen (stabilisierende Plattform) die direkte Messung der Orientierungsdaten erforderlich. Durch die Integration von Entwicklungen im Bereich hochpräziser DGPS/INS-Systeme (LITHOPOULOS 1999) können die hier vorliegenden Anforderungen jedoch bereits seit einigen Jahren erfüllt werden (siehe Abschnitt 4). Das Pushbroom-Prinzip gewährleistet in Flugrichtung eine Abbildung in Parallelprojektion. Radiale Bildpunktversetzungen treten in der Nadirzeile nur innerhalb der Zeile auf und sind somit auf die Bildbereiche quer zur Flugrichtung beschränkt. Versetzungen in Flugrichtung in nadirnah angeordneten Farbzeilen sind gering. Die Größe von abgeschatteten Bereichen, insbesondere in Gebieten mit dichter Bebauung, ist somit minimiert. Unterstützt wird dieser Effekt, wenn wie bei HRSC-A und HRSC-AX, mit kleinen Öffnungswinkeln (vgl. Tab. 1) gearbeitet wird. Die permanente Mehrfach-Stereoabdeckung bietet eine für die automatisierte 3D-Erfassung notwendige hohe Redundanz. Vervollständigt werden die Vorteile von Mehrzeilensensoren durch die gleichzeitige multispektrale Bildaufnahme sowie einen vollständig digitalen Datenfluss.

Oftmals wird als Nachteil solcher Systeme die aus dem geringeren Öffnungswinkel resultierende Erhöhung des Befliegungsaufwandes genannt. Demgegenüber ermöglichen digitale Mehrzeilenscanner jedoch einen hohen Automatisierungsgrad und damit verbundene Kosteneinsparungen und Effizienzsteigerungen bei der Prozessierung. Wie im Folgenden weiter erläutert, können die Daten nach einer geeigneten automatisierten Aufbereitung auch in konventionelle Weiterverarbeitungsprozesse integriert werden.

### 3 Das HRSC-Gesamtsystem

Das am DLR-Institut für Weltraumsensorik und Planetenerkundung entwickelte HRSC-Gesamtsystem beinhaltet die Komponenten der Bildaufnahme und der digitalen Verarbeitungskette und ist in Abb. 1 schematisch dargestellt. Große Teile des Gesamtsystems befinden sich bereits seit 1997 im operativen Einsatz und wurden in den Folgejahren durch Weiterentwicklungen ergänzt und optimiert.

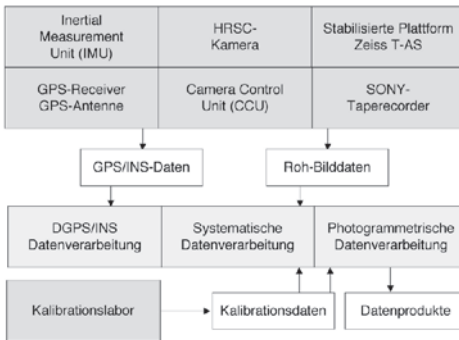


Abb. 1: HRSC-Gesamtsystem.

#### 3.1 Datenaufnahme mit der HRSC

Das HRSC-Bildaufnahmesystem beinhaltet als Hauptkomponente die eigentliche Kamera sowie Peripheriekomponenten für Stabilisierung, Datenspeicherung, Kamerasteuerung und für die Aufzeichnung von Navigationsdaten. Es existieren 3 verschiedenen HRSC-Kameravarianten, deren tech-

nische Daten in Tab. 1 aufgelistet sind. Für HRSC-AX werden Zeilensensoren mit 12000 CCD-Elementen verwendet, die maximale Auslesefrequenz ist gegenüber HRSC-A deutlich erhöht. Im Vergleich zu HRSC-A wird somit eine wesentlich größere Flächenabdeckung bei gleicher Bodenauflösung erzielt, die höhere maximale Auslesefrequenz ermöglicht entsprechend höhere Bodenaufösungen in Flugrichtung.

Die sich aus Taktrate, Fluggeschwindigkeit und Flughöhe ergebenden nominellen Bodenaufösungen sind in Analysen von Aufnahmen von Testtargets (Abb. 2) bestätigt worden.

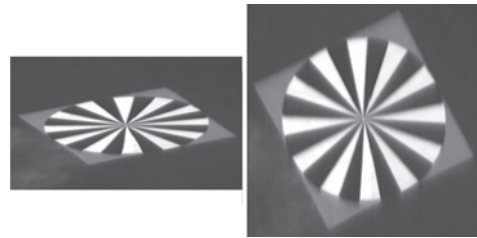


Abb. 2: Siemensstern (Durchmesser 6 m), HRSC-AX, Flughöhe 500 m (links Originaldaten, rechts Fluglage-korrigiertes Bild).

Die Kameras werden über einen Adapter mit einer kreiselstabilisierten Plattform (ZEISS T-AS) verbunden. Entsprechende Adapter können auch für die Nutzung anderer Plattformen eingesetzt werden. Die Plattform dient dazu, die Einhaltung des Flugpfades am Boden (und somit die geplante Querüberlappung der einzelnen

Tab. 1: Technische Daten der HRSC-Kameras.

	HRSC-A	HRSC-AX	HRSC-AXW
Brennweite	175 mm	151 mm	47 mm
Anzahl CCD-Zeilen	5 Stereo/4 Farbe	5 Stereo/4 Farbe	3 Stereo/2 Farbe
Pixel je CCD-Zeile	5184	12000	12000
CCD-Pixelgröße	7 µm	6,5 µm	6,5 µm
Öffnungswinkel	12° quer/38° stereo	29° quer/41° stereo	79° quer/30° stereo
Max. Auslesefrequenz	450 Zeilen/s	820 Zeilen/s	820 Zeilen/s
Max. Bodenauflösung in Flugrichtung, v = 75 m/s	17 cm	9 cm	9 cm
Bodenauflösung (quer z. Flugrichtung, h = 2000 m)	8 cm	9 cm	28 cm

Flugstreifen) sowie eine ausreichende Dämpfung von Vibrationen zu gewährleisten.

Die direkt auf der jeweiligen Kamera montierte Inertial Measurement Unit (IMU) dient als Kernkomponente des inertialen Navigationssystems APPLANIX POS/AV-510 der kontinuierlichen hochfrequenten Messung der verbleibenden und somit auf die Kamera wirkenden Fluglageänderungen. Während der GPS-Empfänger Positionsdaten im WGS84-System mit einer Frequenz von 1 Hz aufzeichnet, werden mit Hilfe der IMU Winkeländerungen und Beschleunigungen mit 200 Hz erfasst. Im Rahmen eines Testfluges im März 2002 wurden gleichzeitig zwei auf der HRSC-A montierte GPS/INS-Systeme (APPLANIX POS/AV-510 und IGI AEROcontrol-IId) betrieben. Erste Ergebnisse dieses vergleichenden Tests sind in SUJEW et al. (2002) beschrieben.

Die Camera Control Unit (CCU) ist ein Steuerrechner, der den Betrieb des Gesamtsystems regelt sowie Kontrollfunktionen für den Operator bietet.

Während die GPS/INS-Messdaten auf einer PC-Karte aufgezeichnet werden, werden die eigentlichen Bilddaten in einem Multiplex-Format (Daten-Level-0) bisher auf ein SONY-Hochgeschwindigkeitstape mit einer maximalen Datenrate von ca. 28 MByte/s geschrieben. Der Einsatz eines Raid-Festplattensystems zur Ermöglichung von höheren Datenraten und -kapazitäten befindet sich derzeit in der Vorbereitungsphase.

### 3.2 Geometrische Kalibration der Kameras

Voraussetzung für die Erstellung von Produkten mit einer Genauigkeit im Bereich der Bodenauflösung ist die Verfügbarkeit entsprechender genauer Information zur geometrischen Kalibration (innere Orientierung). Hierzu wird jede Kamera im Labor auf einem Kipp-Drehtisch montiert und die Fokalebene senkrecht zu einem Kollimator ausgerichtet. Anschließend werden Kippungen und Drehungen, die notwendig sind, um den

Kollimatorstrahl exakt auf das betreffende CCD-Element zu leiten, für die einzelnen CCD-Elemente aller Zeilen hochgenau bestimmt. Dies wird durch einen gleichzeitigen Betrieb der Kamera und Messung der einfallenden Kollimatorstrahlung kontrolliert. Durch eine Verteilung der Messpositionen auf die gesamte CCD-Zeilenlänge ergeben sich somit für jedes CCD-Pixel jeder CCD-Zeile Kamerakoordinaten, die in Verbindung mit der Fokallänge eine vorläufige innere Orientierung darstellen. Etwaige Winkeloffsets des Kipp-Drehtisches werden im Rahmen einer nachfolgenden Bildflugkalibrierung bestimmt und gehen in die endgültigen Daten der inneren Orientierung ein.

### 3.3 Verarbeitung von HRSC-Daten

Die Abbildung der Oberfläche mit 5 verschiedenen Stereo-Kanälen und 4 multispektral ausgelegten Kanälen erlaubt es, die komplette photogrammetrische Basisprodukt-Palette, bestehend aus Digitalen Oberflächenmodellen (DOM) sowie True-Orthobildern, in Form von Grauwertbildern einzelner Spektralkanäle oder von beliebigen Farbkompositen, insbesondere von RGB-Echtfarbbildern und Farbinfrarotbildern, in hoher Auflösung zu erstellen. Die digitale Bilddatenaufnahme und die präzise Erfassung der Orientierungsdaten stellen dabei die Grundvoraussetzungen für einen

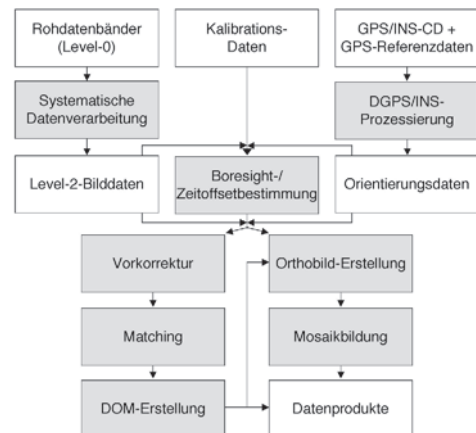


Abb. 3: HRSC-Datenverarbeitung.



hochautomatisierten Prozessierungsablauf (Abb. 3) dar. Zu den weiteren wesentlichen Voraussetzungen für die automatisierte Prozessierung zählen die Verwendung interner Kontrollparameter zur geometrischen Genauigkeit, ein umfangreiches System von Verarbeitungsprozeduren (Skriptsystem) für Prozess-Steuerung, Prozess-Kontrolle und Daten-Handling und, nicht zuletzt, umfassendes Erfahrungswissen bezüglich der produktgerechten Festlegung der Verarbeitungsparameter.

### 3.3.1 Systematische Datenverarbeitung

Die systematische Verarbeitung von HRSC-Bilddaten beinhaltet die Generierung der Eingangsdaten für die photogrammetrische Prozessierung. Die hierzu notwendigen Arbeitsschritte umfassen das Auslesen der Original-Tapes, das De-Multiplexen der Daten (Ergebnis: Daten-Level-1) sowie die Anwendung der radiometrischen Kalibrationsdaten (Ergebnis: Daten-Level-2) und werden vollautomatisch durchgeführt.

### 3.3.2 Prozessierung der DGPS/INS-Daten

Parallel zur systematischen Prozessierung der Bilddaten werden die Daten des GPS/INS-Systems verarbeitet. Zusätzlich zur Ableitung einer Online-Lösung (Genauigkeit ca. 1 m) werden in einem weitergehenden Schritt die an Bord gemessenen GPS- und INS-Daten mit den gleichzeitig aufgezeichneten GPS-Daten einer oder mehrerer Bodenstationen auf der Basis einer Kalman-Filterung kombiniert (LITHOPOULOS 1999). Die daraus resultierenden Positions- und Lagedaten, sogenannte SBET-Lösungen (Smoothed Best Estimation of Trajectory), beschreiben die Position der Kamera (Lever-Arm-Offsets zur GPS-Antenne sind berücksichtigt) sowie die Orientierung der IMU-Messachsen mit einer Genauigkeit von nominell wenigen Zentimetern bzw. wenigen tausendstel Grad.

### 3.3.3 Bestimmung und Optimierung der Orientierungsdaten für jede Bildzeile

Die SBET-Files sind die Ausgangsdaten für die Bestimmung der Orientierungsdaten jeder einzelnen Bildzeile und liegen in 200 Hz vor. Da die SBET-Files jedoch lediglich die äußere Orientierung der IMU-Messachsen widerspiegeln, muß noch der sogenannte Boresight-Offset, d.h. die Drehung des IMU-Koordinatensystems gegenüber dem Kamera-Koordinatensystem bestimmt werden. Dies erfolgt im Rahmen eines numerischen Optimierungsverfahrens, bei dem nicht nur die 3 Winkelkomponenten des Boresight-Offsets, sondern auch etwaige Zeitoffsets der Bildzeilen-Zeit gegenüber der Zeitskala der Positions- und Lageinformation sowie translationale WGS84-Positionsoffsets des GPS-Flugweges bestimmt werden können. Während Boresight- und Zeitoffsets mit Hilfe von Verknüpfungspunkten zwischen sich überlappenden Flugstreifen ableitbar sind, sind absolute WGS84-Offsets des Flugweges nur über Vollpasspunkte zu bestimmen. Daraus folgt, dass die relative Stabilisierung des Flugstreifenverbandes allein mit Verknüpfungspunkt-Information zu gewährleisten ist. Die dabei erzielbare absolute Genauigkeit liegt bereits bei ca.  $\pm 20-25$  cm ( $1\sigma$ ). Die mit Hilfe von Vollpasspunkten bestimmbaren Flugweg-Offsets betragen in der Praxis ca. 10 cm, wobei der Hauptanteil in der Höhenkomponente liegt. Über Vollpasspunkte kann darüber hinaus die Datumstransformation der im WGS84-System definierten Aufnahmegeometrie in jedes beliebige, durch die geforderten Datenprodukte vorgegebene, Ziel-Referenzsystem (z. B. Bessel-Ellipsoid, landesspezifisches Datum Potsdam, Höhensystem DHHN) gewährleistet werden. Die Notwendigkeit von Passpunkten entfällt natürlich in diesem Schritt, wenn die entsprechenden Datums-Transformationsparameter bereits bekannt sind.

### 3.3.4 Entzerrung

Die Entzerrung beinhaltet die Korrektur der Fluglageänderungen und der durch die Oberflächenform bedingten Verzerrungen. Je nach Qualität der eingehenden Orientierungsdaten und der Beschreibung der Oberflächenform weisen die entzerrten Datensätze unterschiedliche Eigenschaften auf, die in verschiedene Produkt- bzw. Verarbeitungslevels eingeteilt wurden (Tab. 2). Das Entzerrungsergebnis ist aber in jedem Fall bereits ein georeferenziertes Bild.

### 3.3.5 DOM-Erstellung

Die der DOM-Erstellung zugrunde liegende Bestimmung homologer Bildpunkte umfasst folgende Schritte:

#### – Vorkorrektur der Bilddaten

Liegen die Orientierungsdaten der Online-Lösung vor, werden die 5 Stereo-Kanäle zum Verarbeitungs-Level-3a (mit SBET-Lösung zu Level-3), bzw. bei bewegtem Gelände zum Level-4a verarbeitet, um die Einflüsse durch die Fluglageänderungen zu eliminieren und Bilddaten mit reduzierten y-Parallaxen (Level-3/3a) und x-Parallaxen (Level-4a) zu generieren. Im Rahmen dieser Vorkorrektur werden für jedes erzeugte Bildpixel die Parameter für die Rücktransformation in die Level-2-Bildgeometrie gespeichert. Um den hierzu notwendigen Speicherbedarf zu minimieren, werden diese temporären Zusatzdaten in komprimierter Form (Kompressionsfaktor > 10) mit einer Lagegenauigkeit von besser als 0,1 Pixel abgelegt.

**Tab. 2:** Entzerrungs-Levels.

Daten- bzw. Produkt-Level	Verwendete Orientierungs-Daten	Verwendete Oberflächen-Beschreibung	Level-Eigenschaften	Nutzung
Level-3a	Online-Lösung	Mittlere Geländehöhe	Quasi-Epipolar-Geometrie der Stereokanäle (signifikante Höhenparallaxen nur in Flugrichtung) Rest-Parallaxen quer zur Flugrichtung bedingt durch Ungenauigkeit der Online-Lösung im Bereich von bis zu 1 m absolut (relativ ca. 10–20 cm).	Input für Matching bei schwachem Geländere relief
Level-3	SBET-Lösung	Mittlere Geländehöhe	Relative Genauigkeit ca. 10–15 cm, absolut ca. 15–25 cm zzgl. Höhenparallaxen	Input für Matching bei schwachem Geländere relief, manuelle Stereo-Anwendungen
Level-4a	Online-Lösung	5–10 m Raster-DOM	Wie Level-3a, aber deutliche Beschleunigung der Bildkorrelation durch verringerte Höhenparallaxen	Input für Matching bei Geländehöhenunterschieden > 100 m
Level-4	SBET-Lösung	1–2 m Raster-DOM	True-Orthobilder, absolute Genauigkeit ca. 15–25 cm (relativ 10–15 cm)	Endprodukt Einzelkanal bzw. Komponente für Farbkomposit



**Abb. 4:** Grauwert-kodiertes DOM, Genf, Schweiz (Ausschnitt), 1 m-Raster, 10 cm Höhengauflösung, HRSC-AX, Flughöhe 5000 m, April 2002 (prozessiert für SWISSPHOTO AG).

– *Matching*

Die flächenhafte Bildzuordnung erfolgt als paarweise Zuordnung der 4 Stereo-Kanäle zum Nadir-Kanal. Durch eine gestaffelte Reduktion der Suchfenstergröße bei der Pyramiden-basierten Zuordnung kann das Auffinden homologer Punkte auch bei großen  $x$ -Höhenparallaxen unter vertretbarem Rechenaufwand durchgeführt werden. Level-4a-Bilder werden bei bewegtem Gelände für das Matching verwendet. Sie werden anhand eines vorläufigen DOM (5–10 m-Raster) erzeugt, welches zuvor basierend auf einer groben Bildauflösung (2–5 m) berechnet wird. Der zusätzliche Zeitaufwand für diese Berechnung liegt bei 5–10 % des nachfolgenden Fein-Matchings, die Zeitersparnis gegenüber der Verwendung von Level-3-Daten kann aufgrund großer Suchbereiche jedoch ein Vielfaches betragen.

– *Rückrechnung der Bildkoordinaten homologer Punkte in Level-2-Bildkoordinaten*

Die im Matching-Prozess erhaltenen Bildkoordinaten der homologen Bildpunkte beziehen sich auf das Verarbeitungslevel 3a, 3

oder 4a. Sie werden unter Anwendung der gespeicherten Transformationsdaten ohne Genauigkeitsverluste in Bezug auf die Endprodukte in Level-2-Bildkoordinaten zurückgerechnet.

– *Objektpunktberechnung*

Aus den flächenhaft vorliegenden Bildkoordinaten der 5 Stereokanäle und den dazugehörigen Orientierungsdaten wird mit Hilfe eines mehrfach überbestimmten räumlichen Vorwärtsschnittes für jedes Tupel homologer Punkte der entsprechende Objektpunkt im WGS84-System berechnet. In der Regel werden ohne Überbestimmung ( $< 3$  Sichtstrahlen) berechnete Objektpunkte in der weiteren Verarbeitung nicht verwendet, da keine Information über ihre Zuverlässigkeit verfügbar ist. Das gleiche gilt für solche Punkte, für die sich niedrige Schnittgenauigkeiten der Sichtstrahlen (schlechter als  $3\sigma$  bezogen auf die in der Orientierungsberechnung erhaltene mittlere relative Genauigkeit) ergeben. Bei Verwendung von 5 Stereokanälen erfüllen im Durchschnitt 85–95 % aller Objektpunkte diese Kriterien.

– *Interpolation von Raster-Oberflächenmodellen*

Die WGS84-Objektpunkte werden per Datumstransformation in das Zielsystem überführt. Im Raster des zu erzeugenden DOM (in der Regel 50 cm- oder 1 m-Raster in einer vorgegebenen Kartenprojektion) werden dabei Lücken, die z. B. durch fehlende Objekttexturen bedingt sein können, durch Interpolation geschlossen. Die Auswahl der verwendeten Interpolationsverfahren richtet sich dabei nach der Art der Nutzung des jeweiligen DOM. Die Höhen werden als 16bit Integer-Werte mit einer Auflösung von 1 Dezimeter gespeichert (vgl. Abb. 4).

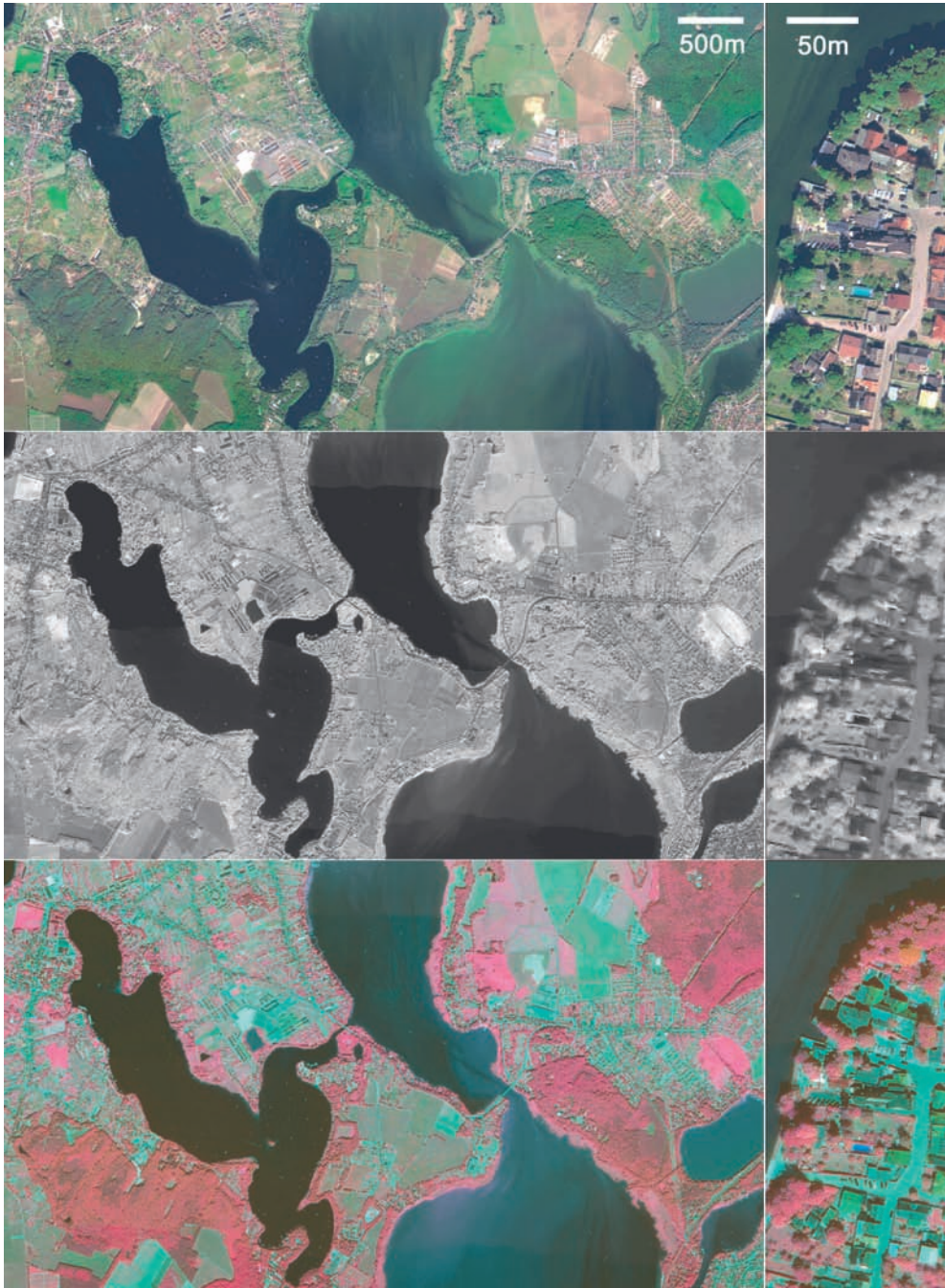
Da bei der zuvor angewendeten räumlichen Datumstransformation etwaige signifikante lokale Geoidundulationen nicht berücksichtigt sind, sind diese, soweit vorliegend, in additiver Form auf die DOM-Höhen anzuwenden, um die gewöhnlich geforderten physikalischen Höhen zu erzeugen.

### 3.3.6 Erstellung von Orthobildern und Mosaikbildung

Die Generierung von Orthobildern unter Verwendung hochauflösender DOM stellt eine Sonderform der Entzerrung dar, bei der nicht nur die Form der abgebildeten Geländeoberfläche, sondern auch Einflüsse durch Bebauung und Bewuchs berücksichtigt werden. Dadurch werden auch Bilddaten, die unter unterschiedlichen Beobachtungsrichtungen aufgenommen werden (z. B. die Farbkanäle der HRSC), stets lagerichtig im Rahmen der DOM-Genauigkeit in der geforderten Kartenprojektion abgebildet. Die Einzelkanal-Orthobilder aller Flugstreifen werden dann im Rahmen einer radiometrischen Mosaikbildung zu einheitlichen spektralen Orthobildmosaiken zusammengeführt (vgl. Abb. 5 und 6).



**Abb. 5:** RGB-Echtfarb-Orthobildmosaik, Berlin (Ausschnitt), HRSC-AX, Flughöhe 5000 m, 25 cm Bodenauflösung, Mai 2001.



**Abb. 6:** Orthobildmosaike, Werder, Brandenburg (Ausschnitt) mit Detailbildern, RGB-Echtfarbe (oben), Infrarot (mitte), Farbinfrarot (unten), HRSC-AX, Flughöhe 4200 m, 20 cm Bodenauflösung, August 2001.

### 3.3.7 Prozesssteuerung durch UNIX-Skripte

Die Programme zur Verarbeitung der HRSC-Daten werden innerhalb von parametrisierten UNIX-Shellskripten ausgeführt, die ein einheitliches Verarbeitungsgerüst für die flexible Bearbeitung von Projekten unterschiedlicher Größe und mit unterschiedlichen Ergebnisspezifikationen ermöglichen. Neben den Programmaufrufen enthalten die Skripte UNIX-Befehle, die zur Steuerung und Kontrolle der photogrammetrischen Anwendungen im „batch-Betrieb“ dienen. Die photogrammetrischen Programm-Module werden so in komplexe automatische Produktionsabläufe eingebettet.

Neben reinen Produktionsskripten, die im wesentlichen eine spezifizierte Abfolge von geometrischen Verarbeitungsschritten enthalten, werden eine Reihe von Skripten zur autonomen Prozess-Steuerung, zur automatischen Generierung von Daten- und Verzeichnisstrukturen, für den autonomen und teilautomatischen Datentransfer sowie für das interaktive Prozesshandling zur Kontrolle der automatischen Arbeitsabläufe eingesetzt.

Die Skripte sind modular strukturiert und hierarchisch organisiert. Übergeordnete Prozesse können in mehreren Hierarchieebenen Aufrufe anderer Skripte enthalten. Dies dient insbesondere der parallelen Bearbeitung von Unterprozessen, die auf verschiedenen Prozessoren gleichzeitig ausgeführt werden. Da dies eine erhebliche Effizienzsteigerung insbesondere für rechenintensive Verarbeitungsschritte mit nur untergeordneten I/O-Anforderungen ermöglicht, wurde die gesamte Verarbeitungskette hinsichtlich parallelisierbarer Elemente untersucht und modifiziert. Die Möglichkeit, die Berechnungen für Matching, Objektpunkt-berechnung, geometrische Vorkorrektur und Orthobildberechnung auf einzelne Bildstreifen zu beschränken, kommt dabei der parallelen Verarbeitung stark entgegen.

In der Praxis werden bisher bis zu 24 Prozessoren und ein Server gleichzeitig für ein Projekt eingesetzt. Diese Anzahl kann für

die schnellere Bearbeitung besonders zeitkritischer Projekte deutlich erhöht werden. Dabei ist darauf zu achten, dass der in Verbindung mit jedem zusätzlichen Rechner ansteigende Aufwand für Datentransfers durch entsprechende Netzwerkkomponenten und Kapazitäten für den Datenzugriff aufgenommen werden kann.

## 4 Geometrische Validierung

In den vergangenen Jahren wurden mit HRSC-Kameras zahlreiche Testbefliegungen zum Zwecke von Genauigkeitsuntersuchungen durchgeführt. Es konnten jeweils mittlere Punktgenauigkeiten im Bereich von  $\pm 1$  Pixel (absolut 15–25 cm, 5–15 cm relativ) bei Flughöhen von 1000–5000 m sowie bei unterschiedlichen Entfernungen zu GPS-Referenzstationen erzielt werden (SCHOLTEN et al. 2001a, b, WEWEL & BRAND 1999). Diese Werte gelten sowohl unter Verwendung des Navigationssystems APPLANIX POS/AV-510, als auch für IGI AERO-control-II d (SUJEW et al. 2002).

Wie bereits erwähnt, können die genannten Genauigkeiten ohne jegliche Passpunktinformation erzielt werden. Zusätzliche Anforderungen, die die Verwendung von Passpunkten erforderlich machen, wurden bereits in Abschnitt 3.3.3 diskutiert.

## 5 Anwendungsaspekte

### 5.1 Anwendungsbereiche und Erfahrungswerte aus der Praxis

Flugzeuggestützte HRSC-Kameras wurden innerhalb der vergangenen 5 Jahre in zahlreichen Anwendungsprojekten eingesetzt. Auf die ersten umfangreichen, vorwiegend geowissenschaftlich-planetologisch orientierten Kameraexperimente (GWINNER et al. 1999) folgten weitere Anwendungsprojekte im Umwelt- und Planungsbereich sowie in der Kartographie, die in Kooperation mit externen Partnern teilweise bis hin zur kommerziellen Nutzung weiterentwickelt wurden. Beispielhaft seien die Erstellung und Aktualisierung topographischer Karten (GWINNER et al. 2000, HOFFMANN et al.

2001), die Hochgebirgskartierung (HAUBER et al. 2000), geologische (GWINNER 2001, BALDI et al. 2002), hydrologische (MARTIN & O'KANE 2000) und vegetationskundliche Untersuchungen (LESER 2002) sowie die Planung von Telekommunikationsnetzwerken (RENOUARD & LEHMANN 1999), die Überwachung von Bergbaufolgeschäden (SPRECKELS 2000) und die Erstellung digitaler Stadtmodelle (MÖLLER 2000) erwähnt.

Unter Verwendung der HRSC-Kameras wurde bisher ein Datenvolumen von etwa 20 TByte aufgenommen und hochauflösende Datenprodukte für mehrere Zehntausend km<sup>2</sup> Fläche erzeugt (von DLR und ISTAR). Vor dem Hintergrund der zahlreichen abgeschlossenen Projekte lässt sich ein erstes Resümee über sich aus der Anwendung ergebende Anforderungen an die Eigenschaften und Prozessierung der Daten ziehen. Als häufig wiederkehrender Standardfall wurden hier von Anwenderseite DOM mit 1 m-Raster und Orthobilder mit 20 cm- bis 50 cm-Raster gefordert und für Projektgebiete von mehreren hundert Quadratkilometern Größe erstellt. Bei einer Fläche von 500 km<sup>2</sup> ergibt sich somit eine Produktdatenmenge von 76 Gbyte für 20 cm RGB-Echtfarb- und Farbinfrarot-Orthobildmosaik und 1 m-DOM mit der genannten absoluten Genauigkeit von 20–25 cm. Die durchschnittliche Produktionskapazität unter Verwendung von 25 Rechneinheiten beträgt dabei etwa 100 km<sup>2</sup>/Woche.

## 5.2 Anwendungsnahe Weiterverarbeitung der photogrammetrischen Basisprodukte

Für die genannten Anwendungsbereiche können mit den photogrammetrischen Basisprodukten hochauflösender digitaler Stereokameras Datensätze für die Auswertung genutzt werden, die bisher nicht oder nur mit sehr großem Aufwand verfügbar gemacht werden konnten. Hierzu zählen großmaßstäbige multispektrale Orthobilder und DOM-Folgeprodukte für große Gebiete.

Durch die Kombination der Farbkanäle mit den meist höher aufgelösten Nadirdaten können hochauflösende **IHS-Farborthobild-**

**mosaik** erzeugt werden. Hierbei wird die ursprüngliche Intensitätskomponente eines Farbkomposits durch die panchromatischen Nadirdaten ersetzt und anschließend eine Rücktransformation in den RGB-Raum durchgeführt. IHS-Farbkomposite können für beliebige Kombinationen der HRSC-Spektralkanäle hergestellt werden. Standardprodukte sind RGB-Echtfarbkomposite und Farbinfrarotkomposite.

Die gleichzeitige Verfügbarkeit von hochauflösenden DOM und digitalen multispektralen Orthobildern ermöglicht die Kombination beider Datentypen für die Erstellung von **topographischen Bildkarten** bis zum Maßstab 1 : 500 und von **hochauflösenden 3D-Visualisierungen** (Abb. 7).



**Abb. 7:** Perspektivansicht eines DOM, mit RGB-Orthobild überlagert, Berlin, (Ausschnitt Adlershof), 1 m-Raster DOM, 10 cm Höhenauflösung, HRSC-AX, Flughöhe 5000 m, Mai 2001 (Perspektivansicht FPK GmbH, Berlin).

Tab. 3 gibt einen Überblick über Bodenauflösung und Genauigkeit der photogrammetrischen Produkte für unterschiedliche Flughöhen sowie zugeordnete Kartenmaßstäbe, die unter diesen Bedingungen in etwa maximal zulässig sind. Neben großmaßstäbigen Karten lassen sich – bei vertretbarem Befliegungsaufwand und reduziertem Verarbeitungsaufwand – auch Bildkarten in mittleren Maßstäben (1 : 10000 bis 1 : 25000) erstellen.

Die Eignung von HRSC-Daten zur Kartierung von Stadtgebieten wurde im operationellen Einsatz für eine Vielzahl europäischer und nordamerikanischer Städte demonstriert, unter anderem mit der Erstellung von zwei Kartenblättern der Luftbild-

**Tab. 3:** Auflösung, Genauigkeiten und max. Kartenmaßstäbe für HRSC-A/AX Stereodaten.

Flughöhe	Bodenauflösung panchromatisch/ multispektral	Planimetrische Genauigkeit	Höhen- Genauigkeit	Max. Kartenmaßstäbe panchromatisch/ multispektral
1500 m	0.12 m/0.25 m	0.10 m	0.15 m	1 : 500/1 : 1500
3000 m	0.15 m/0.30 m	0.15 m	0.20 m	1 : 750/1 : 2000
6000 m	0.20 m/0.40 m	0.30 m	0.30 m	1 : 1500/1 : 3500

karte 1 : 5000 von Berlin in Echtfarbausgabe (HOFFMANN & LEHMANN 2000). Die Verwendung von 5 Stereobeobachtungen und die Verfügbarkeit eines Nadirsensors erweisen sich hier als besonders hilfreich für die Aufnahme von „man-made objects“, die typischerweise steile Oberflächendiskontinuitäten aufweisen.

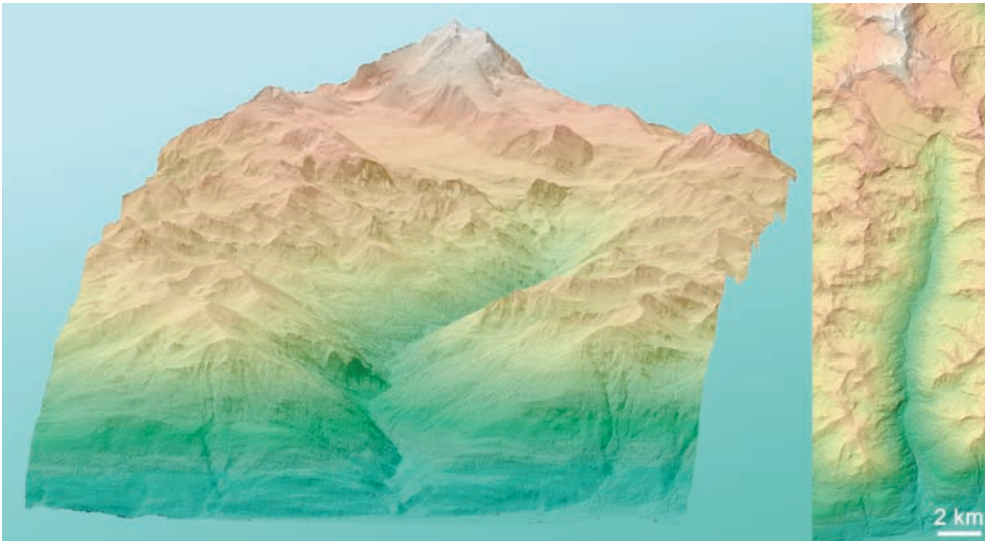
Im geowissenschaftlichen Bereich stellte die „Topographische Bildkarte Fossa di Vulcano 1 : 5000“ (GWINNER et al. 2000), ebenfalls eine Echtfarb-Bildkarte mit automatisch generierten 10 m-Höhenlinien, die Potentiale von HRSC-Daten für die Kartographie unter Beweis. Für diesen Anwendungsbereich, in dem die Erstellung eigener photogrammetrischer Basiskarten bisher (weil mit hohem Aufwand verbunden) die Ausnahme war, ist die durch die automatische Prozessierung gegebene Effizienzsteigerung hinsichtlich der Erstellung einer digitalen topographischen Datenbasis besonders hervorzuheben, da in abgelegenen Gebieten häufig kein ausreichend genaues topographisches Datenmaterial zur Verfügung steht und in Gefahrenzonen häufige Aktualisierungen erforderlich sind.

Weitere **DOM-Folgeprodukte** dienen in der Hauptsache einerseits der visuellen Interpretation der Oberflächenformen, andererseits ihrer quantitativen Analyse. Mit hochauflösenden DOM können digitale Karten für Hangneigung, Neigungsrichtung und andere Oberflächenparameter unmittelbar numerisch erzeugt und auch für Interpretationen im großmaßstäbigen Bereich (> 1 : 50000) bereitgestellt werden. Dabei bieten DOM-Folgeprodukte generell den Vorteil, dass wahlweise unterschiedliche Farbkodierungen, Beleuchtungsrichtungen und Schattierungsgesetze eingesetzt werden

können und somit z. B. die Über- und Unterbewertung bestimmter Richtungen, ein häufiges Merkmal von Luft- und auch Radarbildern, vermieden werden kann.

**Abb. 8:** Schattiertes DOM, Aarau, Schweiz (Ausschnitt), 1 m-Raster, 10 cm Höhenauflösung, HRSC-AX, Flughöhe 5000 m, Februar 2002 (prozessiert für SWISSPHOTO AG).





**Abb. 9:** Z-kodierte DOM-Perspektivansicht, Turtmanntal, Schweiz, 1 m-Raster, 10 cm Höhenauflösung, HRSC-A, mittl. Flughöhe ü. Grund 4000 m, September 2001 (prozessiert für Universität Bonn).

Für die quantitative Neigungsanalyse wirkt sich die höhere horizontale Auflösung des DOM positiv auf die Verminderung von Quantisierungseffekten und die Kompensation von Höhenfehlern durch geeignete Gradientenfilter aus. Dabei kann im Fall von HRSC-Daten die interne Genauigkeitskontrolle, die die Überbestimmung der Objektpunkte zulässt, zur hinsichtlich einer erforderlichen Genauigkeit der Neigungswerte optimalen Parametrisierung der Neigungsberechnung genutzt werden (GWINNER & ALBERTZ 2001).

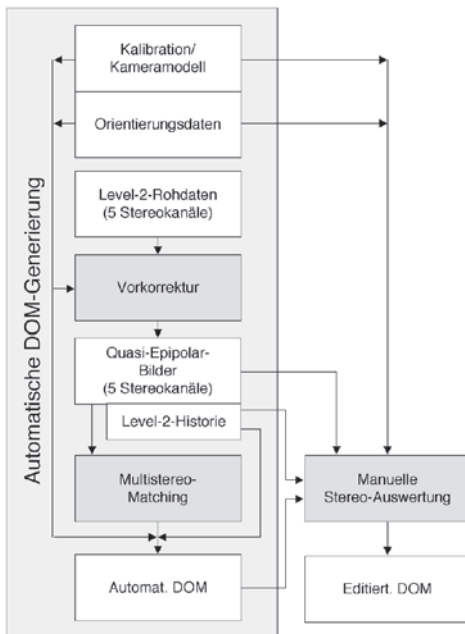
Neben den neuen Möglichkeiten für die Auswertung, die die Daten digitaler Stereoscanner bieten, stellt sich jedoch auch die Frage nach der Nutzbarkeit dieser Daten für die Auswertung mit Hilfe von konventionellen photogrammetrischen Arbeitsstationen bzw. -methoden.

Für verschiedene Anwendungsfälle kann eine solche Bearbeitung in Ergänzung oder alternativ zur automatisierten Berechnung von DOM sinnvoll sein, beispielsweise, wenn die Messung von bestimmten, unregelmäßig verteilten Einzelpunkten bzw. -objekten erforderlich ist. Ebenso kann in Einzel-

fällen eine Stereo-Editierung der DOM-Standardprodukte gewünscht sein, z.B. wenn für bestimmte Objekte, die im Mittelpunkt der Auswertung stehen (z.B. Hauskanten), eine höhere Darstellungsgenauigkeit erforderlich ist, als die Raster-Höhenmodelle bieten, und nur für diesen Objekttyp nachträglich ein erhöhter Aufwand betrieben werden soll.

Solche Auswertungen sind mit digitalen und analytischen Stereokartiergeräten anhand von automatisch erzeugten Level-3-Bilddaten (Fluglage-korrigiert und georeferenziert) möglich (Abb. 10). Die vorkorrigierten Stereobildpaare brauchen nicht gesondert orientiert zu werden da sie bereits Epipolargeometrie aufweisen. Zur Rückrechnung in die ursprünglichen Level-2-Bildkoordinaten können dann dieselben Routinen verwendet werden, die auch für automatisch zugeordnete homologe Punkte benutzt werden (vgl. Abb. 3). Für die Punktbestimmung muss das Auswertesystem das Sensormodell eines Mehrzeilenscanners enthalten.

Für stereoskopische Interpretationen mit einfachen Stereokartiergeräten, wie sie in



**Abb. 10:** Kombination von automatischer und manueller HRSC-Stereoauswertung.

den Geowissenschaften vielfach eingesetzt werden, bietet sich die Möglichkeit, synthetische Stereobildpaare herzustellen.

## 6 Resümee

Innerhalb der letzten Jahre haben HRSC-Daten bei zahlreichen flugzeuggestützten Anwendungen die Leistungsfähigkeit von digitalen Stereoscannern für die digitale Stereophotogrammetrie unter Beweis gestellt. Seit den ersten erfolgreichen Befliegungen in 1997 haben technische Weiterentwicklungen und die Optimierung und der Ausbau des Verarbeitungssystems die Effizienz des Systems im operationellen Einsatz erhöht und den Weg für neuartige Verfahren in der anwendungsbezogenen Datenauswertung geebnet. Auch unter schwierigen Bedingungen (ungünstige Beleuchtungsverhältnisse, schwache Objekttexturen, Turbulenzen, etc.) konnten hochgenaue Datenprodukte für sehr große Gebiete erzielt werden. Die geometrische Kalibration des Sensors wurde optimiert und die Abhängigkeit

der Ergebnisse von den qualitätsbestimmenden Faktoren der GPS-Daten (z. B. Entfernungen zu Referenzstationen, Höhen Genauigkeit) sowie von Kontrollpunkten praxisbezogen untersucht. Der Einsatz des neuen Kamerasystems HRSC-AX erlaubte erstmalig, mit digitalen Luftbildern Genauigkeiten im Sub-Dezimeterbereich in speziellen Aufnahmekonfigurationen zu erzielen. Neben den Ergebnissen systematischer Analysen zu den Eigenschaften des Gesamtsystems konnten umfangreiche Erkenntnisse aus der mehrjährigen Praxiserfahrung gewonnen und im operationellen Betrieb umgesetzt werden. Beides lässt der weiteren erfolgreichen Nutzung des HRSC-Systems – und von flugzeuggetragenen digitalen Stereoscannern überhaupt – sehr positiv entgegenzusehen.

## Literaturverzeichnis

- BALDI, P., BONVALOT, S., BRIOLE, P., COLTELLI, M., GWINNER, K., MARSELLA, M., PUGLISI, G. & RÉMY, D., 2002: Validation and Comparison of Different Techniques for the Derivation of Digital Elevation Models and Volcanic Monitoring. – *International Journal of Remote Sensing*, im Druck.
- FRICKER, P., 2001: ADS40 – Progress in digital aerial data collection. – In: FRITSCH & SPILLER, *Photogrammetric Week 01*: 105–116, Heidelberg.
- GWINNER, K., HAUBER, E., HOFFMANN, H., SCHOLTEN, F., JAUMANN, R., NEUKUM, G., COLTELLI, M. & PUGLISI, G., 1999: The HRSC-A Experiment on High Resolution Imaging and DEM Generation at the Aeolian Islands. – *Proc. 13th Int. Conf. Applied Geologic Remote Sensing*, Vancouver, **Vol. I**: 560–569.
- GWINNER, K., LEHMANN, H. & ALBERTZ, J., 2000: The Topographic Image Map Fossa di Vulcano 1 : 5000 – A Digital Mapping Approach based on High Resolution Stereo Camera-Airborne Imagery. – *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing* **33 (B4)**: 63–69.
- GWINNER, K., 2001: Anwendungspotential hochauflösender digitaler Stereobilder als topographische Datengrundlage – Fallstudie zur Geologie von Vulcano. – *Publikationen der Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie und Fernerkundung*, Bd. 9: 302–311.

- GWINNER, K. & ALBERTZ, J., 2001: Calculating and Visualising Terrain Slopes based on Digital Elevation Models derived from High-Resolution Stereo Images. – In: BUCHROITHNER, A Decade of Trans-European Remote Sensing Cooperation: 227–233, Lisse u. a. (Balkema).
- HAUBER, E., JAUMANN, R., WEWEL, F., GWINNER, K., NEUKUM, G. & SLUPETZKY, H., 2000: The Airborne High Resolution Stereo Camera (HRSC-A) as a Tool for High Mountain Cartography. – *Kartographische Bausteine* **18**: 29–38, Dresden.
- HINZ, A., DÖRSTEL, C. & HEIER, H., 2001: DMC – The Digital Sensor Technology of Z/I-Imaging. – In: FRITSCH & SPILLER, *Photogrammetrie Week 01*: 93–103, Heidelberg.
- HOFFMANN, A. & LEHMANN, F., 2000: Vom Mars zur Erde – Die erste digitale Orthobildkarte Berlin mit Daten der Kamera HRSC-A. – *Kartographische Nachrichten* **50** (2): 61–72.
- HOFFMANN, A., VAN DER VEGT, J. W. & LEHMANN, F., 2000: Towards automated map updating: is it feasible with new digital data acquisition and processing techniques? – *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing* **33** (B4): 63–69.
- LESER, C., 2002: Operationelle Biotoptypenkartierung mit HRSC-Daten – Probleme und Lösungsansätze. – In: BLASCHKE, *Fernerkundung und GIS*: 88–97, Heidelberg.
- LITHOPOULOS, E., 1999: The Applanix approach to GPS/INS integration. – In: FRITSCH & SPILLER, *Photogrammetric Week 99*: 53–57, Heidelberg.
- MARTIN, J. & O’KANE, J. P., 2000: Integration of physically based computer models with high resolution digital elevation models for the generation of flood maps. – *Water in the Celtic World: Managing Resources for the 21st Century*, British Hydrological Society, 181–188.
- MÖLLER, M., (2000): Applications of very high resolution digital airborne scanner data. – *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing* **33** (B4): 663–669.
- NEUKUM, G., 1999: The Airborne HRSC-A: Performance Results and Application Potential. – In: FRITSCH & SPILLER, *Photogrammetric Week 99*: 83–88, Heidelberg.
- NEUKUM, G. & THE HRSC-TEAM, 2001: The Airborne HRSC-AX Cameras: Evaluation of the Technical Concept and Presentation of Application Results after one Year of Operations. – In: FRITSCH & SPILLER, *Photogrammetric Week '01*: 117–130, Heidelberg.
- RENOUARD, L. & LEHMANN, F., 1999: High resolution digital surface models and orthoimages for telecom network plan-ning. – In: FRITSCH & SPILLER, *Photo-grammetric Week 99*: 241–246, Heidelberg.
- SCHOLTEN, F., WEWEL, F., & SUJEW, S., 2001a: High Resolution Stereo Camera – Airborne (HRSC-A): 4 Years of Experience in Direct Sensor Orientation of a Multi-Line Pushbroom Scanner. – *ISPRS Proceedings Sensors and Mapping from Space 2001*, Veröffentl. Inst. f. Photogrammetrie und Geoinformation, Universität Hannover.
- SCHOLTEN, F., WEWEL, F., & SUJEW, S., 2001b: Einsatz digitaler Kameras im Auflösungsbe- reich von 5 cm bis 1 m – die neue HRSC-AX Kamerageneration in der geometrischen Ana- lyse. – *Publikationen der Deutschen Gesell- schaft für Photogrammetrie und Fernerkun- dung Bd. 10*, 101–111.
- SPRECKELS, V., 2000: Monitoring of Coal Mining Subsidence by HRSC-A Data. – *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing* **33** (B7): 1452–1458.
- SUJEW, S., SCHOLTEN, F., WEWEL, F. & PISCHEL, R., 2002: GPS/INS-Systeme im Einsatz mit der HRSC – Vergleich der Systeme Applanix POS/ AV-510 und IGI AEROcontrol-III. – *Photo- grammetrie, Fernerkundung, Geoinformation* **5** (dieses Heft).
- THOM, C. & JURVILLIER, I., 1997: Current status of the digital aerial camera IGN. – In: FRITSCH & HOBBIE, *Photogrammetric Week '97*: 75–82, Heidelberg.
- TOTH, C., 1999: Experiences with frame CCD arrays and direct georeferencing. – In: FRITSCH & SPILLER, *Photogrammetric Week 99*: 95–107, Heidelberg.
- WEWEL, F., SCHOLTEN, F. & GWINNER, K., 2000: High Resolution Stereo Camera (HRSC) – Multispectral 3D-Data Acquisition and Photo- grammetric Data Processing. – *Canadian Jour- nal of Remote Sensing* **26** (5): 466–474.
- WEWEL, F. & BRAND, M., 1999: Geometrische Val- lidierung des hochauflösenden multispektralen Mehrzeilen-Stereoscanners HRSC-A. – *Publi- kationen der Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie und Fernerkundung Bd. 7*: 245–252.
- WEWEL, F., SCHOLTEN, F., NEUKUM, G. & ALBERTZ, J., 1998: Digitale Luftbildaufnahme mit der HRSC – Ein Schritt in die Zukunft der Photogrammetrie. – *Photogrammetrie, Fernerkundung, Geoinformation* **6**: 337–348.

Anschrift der Autoren:

Dipl.-Ing. FRANK SCHOLTEN, Institut für Weltraumsensorik und Planetenerkundung, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR), D-12489 Berlin.

Tel.: ++49-30-67055-326, Fax: ++49-30-67055-402, e-mail: Frank.Scholten@dlr.de.

M.A. KLAUS GWINNER, Institut für Weltraumsensorik und Planetenerkundung, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR), D-12489 Berlin.

Tel.: ++49-30-67055-310, Fax: ++49-30-67055-402, e-mail: Klaus.Gwinner@dlr.de.

Dipl.-Ing. FRANZ WEWEL, Institut für Weltraumsensorik und Planetenerkundung, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR), D-12489 Berlin.

Tel.: ++49-30-67055-326, Fax: ++49-30-67055-402

Manuskript eingereicht: Juni 2002

Angenommen: Juni 2002

## GPS/INS-Systeme im Einsatz mit der HRSC – Vergleich der Systeme APPLANIX POS/AV-510 und IGI AEROcontrol-IIId

SERGEJ SUJEV, FRANK SCHOLTEN, FRANZ WEWEL & RENE PISCHEL, Berlin

**Abstract:** *Application of GPS/INS Systems with HRSC – A Comparison of Applanix POS/AV-510 and IGI AEROcontrol-IIId.* Since 1997 the German Aerospace Center (DLR) has been operating the airborne HRSC in combination with direct georeferencing methods. Using a GPS/INS system many scientific and commercial applications could be realized with accuracies in the decimeter range for the standard products, such as true-orthoimage mosaics and Digital Surface Models. In March 2002 the DLR-Institute of Space Sensor Technology and Planetary Exploration conducted a test flight with the HRSC-A in cooperation with BSF Luftbild GmbH and IGI mbH using two GPS/INS systems APPLANIX POS/AV-510 and IGI AEROcontrol-IIId simultaneously. The first results of the investigations of the exterior orientation quality of both GPS/INS systems based on photogrammetric processing of HRSC-A data are presented.

**Zusammenfassung:** Seit 1997 betreibt das Deutsche Zentrum für Luft und Raumfahrt e.V. (DLR) die flugzeuggetragene Version der HRSC in Verbindung mit direkter Sensororientierung. Mit Hilfe von GPS/INS-Systemen konnten zahlreiche wissenschaftliche und kommerzielle Anwendungen mit Genauigkeiten im Dezimeterbereich für Standardprodukte wie Orthobildmosaik und Digitale Oberflächenmodelle erfolgen. Im März 2002 führte das Institut für Weltraumsensorik und Planetenerkundung des DLR einen Testflug mit der HRSC-A in Zusammenarbeit mit der BSF Luftbild GmbH und der IGI mbH unter der gleichzeitigen Verwendung der GPS/INS Systeme APPLANIX POS/AV-510 und IGI AEROcontrol-IIId durch. Erste Ergebnisse der vergleichenden photogrammetrischen Untersuchungen über die Genauigkeit der dabei von beiden Systemen für die HRSC-A abgeleiteten absoluten Orientierung werden präsentiert.

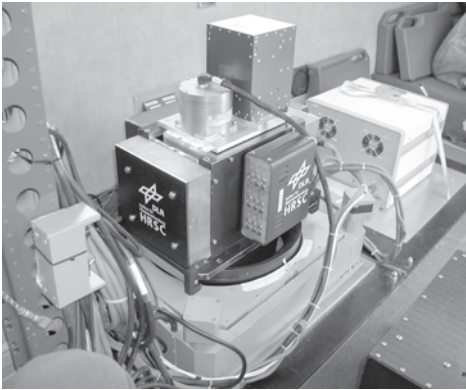
### 1 Einleitung

Seit 1997 ist die High Resolution Stereo Camera – Airborne (HRSC-A) am DLR-Institut für Weltraumsensorik und Planetenerkundung im operationellen Einsatz (NEUKUM et al. 2001, WEWEL et al. 1998, SCHOLTEN et al. 2001, SCHOLTEN et al. 2002). Die photogrammetrische Auswertung von Scannerdaten, wie die der HRSC, erfordert eine präzise und kontinuierliche Erfassung von Positions- und Lagedaten. Die stabile und sehr genau bekannte innere Orientierung der digitalen Kamera bietet, kombiniert mit einer hohen räumlichen Auflösung und der permanenten Bildaufnahme mit 450 Hz Taktfrequenz, eine Möglichkeit, die Qualität von GPS/INS-Systemen bzw. die damit generierten Orientierungsdaten zu untersuchen. Im Gegensatz zu bisherigen

Tests (HEIPKE et al. 2001) konnte somit erstmalig ein Vergleich der GPS/INS-Systeme von APPLANIX und IGI unter identischen Einsatzbedingungen mit einem hierfür idealen Bildaufnahmesystem erfolgen.

### 2 Testkonfiguration

Für den GPS/INS Performance-Testflug wurde eine Standard-Installation des HRSC-A Kamerasystems in einer ZEISS T-AS Stabilisierungsplattform an Bord einer zweimotorigen CESSNA 404 der BSF Luftbild GmbH realisiert. Beide GPS/INS-Systeme, APPLANIX POS/AV-510 und IGI AEROcontrol-IIId, wurden für einen gleichzeitigen Betrieb während des Testfluges installiert. Um absolut identische Umgebungsbedingungen zu gewährleisten, wur-



**Abb. 1:** Installation der HRSC-A mit APPLANIX AIMU und mit IGI IMU-IId.

den beide Systeme über einen Splitter an eine L1/L2 GPS-Antenne angeschlossen, die direkt über der Kamera angebracht war. Außerdem wurden beide inertialen Messeinheiten (APPLANIX AIMU und IGI IMU-IId) dicht nebeneinander auf einer gemeinsamen Adapterplatte auf dem Kamerakopf befestigt (Abb. 1). Die Zeitsynchronisation der HRSC-Bilddaten mit den Navigationsdaten erfolgte auf Grund des vom APPLANIX GPS-Receiver gelieferten PPS-Impulses (Pulse Per Second).

Der Testflug fand am 12./13. März 2002 über einem Testfeld südlich von Berlin (Kö-

nigs Wusterhausen, Ragow) statt. Das Testfeld wurde mit vier Ost-West Flugstreifen (je ca. 10 km Länge) sowie zwei Nord-Süd Flugstreifen (je ca. 3 km Länge) abgedeckt. Die Querüberlappung betrug ca. 60 %, die Flughöhe lag bei 1000 m.

Bei dem Testflug wurden beide GPS/INS-Systeme synchron betrieben, d.h. gleichzeitig eingeschaltet, initialisiert und nach dem Flug ausgeschaltet. Die statische Initialisierung erfolgte vor dem Start am Boden und dauerte etwa 10 min. Vor dem ersten Flugstreifen wurde noch ein zusätzliches In-Flight-Alignment Manöver durchgeführt. Als Referenzstation wurde die SAPOS GPS-Station Wünsdorf verwendet. Startflughafen, Testgebiet und Referenzstation befinden sich in einem Umkreis von 30 km. Die GPS-Situation während des gesamten Fluges war mit 9–10 Satelliten günstig.

### 3 Beschreibung der GPS/INS-Systeme

Die bei dem Testflug benutzten Systeme APPLANIX POS/AV-510 und IGI AEROcontrol-IId sind integrierte GPS/INS-Systeme, die für die direkte Positions- und Lagebestimmung der flugzeuggetragenen Sensoren bestimmt sind und effizient die Inertialsensor- und GPS-Technologien

**Tab. 1:** Parametervergleich der Navigationssysteme APPLANIX POS/AV-510 und IGI AEROcontrol-IId.

	APPLANIX POS/AV-510	IGI AEROcontrol-IId
System components	AIMU (dry tuned gyros), PCS-computer (incl. L1/L2 GPS receiver) s/w package: POSPac	IMU-IId (fibre-optic gyros), AEROcontrol-computer L1/L2 GPS receiver s/w package: AEROoffice
Operation in flight	autonomous	via Standard CCNS4
IMU parameters	AIMU	IMU-IId
Size (H × W × L)/Weight	9 × 11 × 11 cm/1,6 kg	19 × 14 × 13 cm/3,3 kg
Raw data	200 Hz	64 Hz
Gyro drift	0.1 deg/h	0.1 deg/h
Gyro drift stability	0.01 deg/sqrt(h)	0.02 deg/sqrt(h)
Absolute Accuracy Spec. (post-processed)		
Data rate	200 Hz	64 Hz
Position (RMS)	5–10 cm	5–10 cm
Attitude (RMS)		
Roll, Pitch	0.005 deg	0.005 deg
Heading	0.008 deg	0.008 deg

kombinieren (LITHOPOULOS 1999, KREMER 2001). Ihre technischen Parameter sind in Tab. 1 aufgelistet.

Jedes System beinhaltet drei zentrale Komponenten, die Inertial Measurement Unit (IMU), einen Steuercomputer mit L1/L2 GPS-Empfänger und ein Auswertesoftwarepaket. Der wesentliche Unterschied zwischen den Systemen besteht in der IMU. Die APPLANIX AIMU basiert auf einer mechanischen Kreiseltechnologie mit 200 Hz Abtastfrequenz, dagegen besitzt die IGI IMU-IId Fiber-optische Gyroskope (FOG) mit 64 Hz Taktfrequenz. Die IMU realisiert Messungen von Beschleunigungen und Winkelgeschwindigkeiten. Sie erfasst damit alle Restbewegungen des Kamera-IMU-Systems, die nicht von der stabilisierten und gedämpften Plattform ZEISS T-AS ausgeglichen werden können. Die zeitsynchronisierten IMU- und GPS-Daten werden während des Fluges im Steuercomputer auf einem Speichermedium (PC-Karte) für die nachfolgende Prozessierung abgelegt.

#### 4 GPS/INS-Datenverarbeitung

Während die Daten des APPLANIX-Systems am DLR mit Hilfe der APPLANIX-Software POSpac verarbeitet wurden, erfolgte die Prozessierung der Daten des IGI-Systems vollständig beim Hersteller IGI. Dabei wurde die auf der 64 Hz basierte IGI-Navigationslösung auf 200 Hz gesampelt. Der generelle Prozessierungsablauf der aufgezeichneten GPS- und Inertialdaten besteht aus zwei Phasen und gilt für beide Systeme (Abb. 2).

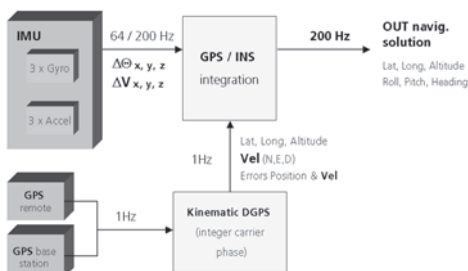


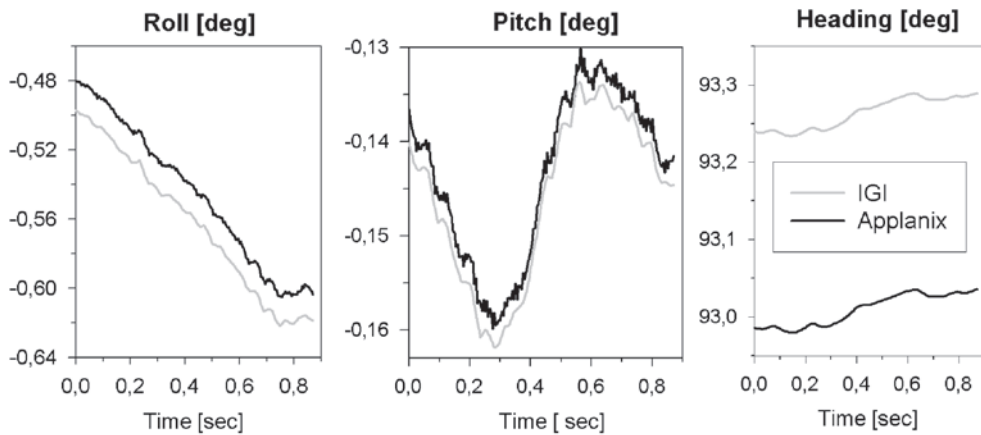
Abb. 2: GPS/INS Datenverarbeitung.

Die erste Phase beinhaltet die reine GPS-Prozessierung, wobei die GPS-Daten vom Flugzeug zusammen mit den Daten der Referenzstation zu einer kinematischen GPS-Trajektorie prozessiert werden. Diese DGPS-Lösung mit 1 Hz beschreibt im WGS84-Koordinatensystem die Position (Latitude, Longitude, Altitude) und die Geschwindigkeit ( $V_n$ ,  $V_e$ ,  $V_d$ ) mit sehr hoher absoluter Genauigkeit (5–10 cm für die Position und einige cm/s für die Geschwindigkeit). Die zweite Phase besteht aus der GPS/INS-Integration. Der auf den IMU-Daten basierte Inertial-Navigationsalgorithmus wird dabei durch die zusätzliche GPS-Positions- und Geschwindigkeitsinformation gestützt. Aufgrund der Tatsache, dass die typischen Fehler von Inertial-Navigation und GPS-Messungen unabhängig und komplementär sind, ist es möglich, im Rahmen von Kalman-Filterverfahren diese Inertialfehler zu schätzen und zu kompensieren. Die resultierende Genauigkeit der integrierten GPS/INS-Lösung wird damit für die Position über die GPS-Positionsgenauigkeit und für die Lage über die Qualität der IMU bestimmt.

#### 5 Analyse der Navigationslösungen

Für die Auswertung standen für den hier beschriebenen HRSC-A Testflug vom 13. März 2002 für die Systeme von APPLANIX und IGI jeweils die reinen DGPS-Lösungen mit 1 Hz sowie endgültige GPS/INS-Lösungen mit 200 Hz als Navigationsdaten zur Verfügung. Zuerst wurden die reinen DGPS-Lösungen von APPLANIX (s/w POSGPS 3.0) und von IGI verglichen, da die GPS-Position als absolute Referenz für die weitere GPS/INS Integration verwendet wird. Unter Verwendung der GPS-Bodenstation Wünsdorf ergab sich mit einer maximalen Positionsabweichung (3D) zwischen beiden Trajektorien bezogen auf die GPS-Antenne von 4 cm (RMS 2 cm) über den gesamten Flugweg eine gute Übereinstimmung.

Die entsprechenden integrierten GPS/INS-Lösungen beziehen sich in der Position auf das HRSC-A Projektionszentrum und in der Lage auf die jeweiligen IMU-Achsen.



**Abb. 3:** Lagedifferenz der APPLANIX- und IGI-Navigationslösungen.

Der direkte Vergleich der beiden Navigationslösungen zeigt für die Lage (Abb. 3) die einbaubedingt unterschiedlichen Boresight-Winkel. Diese, wie auch mögliche geringe Zeitsynchronisations-Offsets, können nur im Rahmen einer auf Bildinformation basierenden photogrammetrischen Auswertung (vgl. Abschnitt 6) bestimmt und analysiert werden.

Die Bilddaten der HRSC-A werden mit einer Taktrate von 450 Hz aufgezeichnet und beinhalten Bewegungen und Vibrationen, die während der Aufnahme auf die Kamera wirken und nicht durch die T-AS Stabilisierungsplattform kompensiert und gedämpft werden. Die Parameter der verbleibenden Bewegungen hängen von verschiedenen Faktoren, wie z. B. Flugzeugtyp, aktuelle Turbulenzverhältnisse oder Stabilisierungseigenschaften der Plattform, ab. Eine Spektralanalyse der Lagedaten aus beiden Navigationslösungen zeigt folgende dominante Frequenzen (Tab. 2).

Diese Frequenzen konnten in den Bilddaten ebenfalls nachgewiesen werden. Beide Systeme haben somit die relativ hochfrequenten Bewegungen der Kamera erfasst und reproduziert. Eine Ausnahme besteht darin, dass, wie in Tab. 2 dargestellt, die IGI-IMU-IId mit 64 Hz Messfrequenz gegenüber der APPLANIX-AIMU mit 200 Hz eine Rollbewegung von 85 Hz nicht erfassen kann. Aufgrund der geringen Amplitude von  $\leq 0.002$  deg (unterhalb der HRSC-Pixelauflösung) ist dies aber von untergeordneter Bedeutung.

## 6 Photogrammetrische Analyse der Navigationslösungen

Die HRSC-A nimmt Bilddaten mit 9 verschiedenen CCD-Zeilen auf, wovon 5 panchromatische Stereokanäle unterschiedliche Stereowinkel von  $0^\circ$ ,  $\pm 12,8^\circ$  und  $\pm 18,9^\circ$  aufweisen und im Gegensatz zu den anderen 4 Spektralkanälen im Rahmen der

**Tab. 2:** Dominante Frequenzen in den APPLANIX- und IGI-Navigationslösungen.

Frequenz [Hz]	APPLANIX (Roll)	IGI (Roll)	Amplitude	Bemerkung
1–2	+	+	ca. 0.02 deg	T-AS Plattform Regelkreis
18	+	+	ca. 0.004 deg	
85	+	–	$\leq 0.002$ deg	Flugzeugpropeller mit 3 Blättern (1700 U/min)



**Tab. 3:** Ergebnisse der photogrammetrischen Analyse der Navigationssysteme APPLANIX POS/AV-510 und IGI AEROcontrol-Ild.

	APPLANIX	IGI
Boresight-Winkel-Offsets:		
Boresight $\omega$ [°]	0,024	0,011
Boresight $\phi$ [°]	0,009	0,013
Boresight $\kappa$ [°]	- 0,017	0,259
WGS84-Positions-Offset:		
$\Delta$ North [cm] / $\Delta$ East [cm] / $\Delta$ Up [cm]	4 / 1 / 4	2 / 1 / 12
Zeit-Offsets:		
$\Delta t$ Position-Bild [ms] $\Delta t$ Lage-Bild [ms]	3 / - 4	4 / - 2
Punktgenauigkeiten:		
Relativ (Flugstreifen intern): 3D-RMS [cm]	8	8
Flugstreifen zu Flugstreifen: 3D-RMS [cm]	14	16
Absolut: (an Passpunkten): 3D-RMS [cm]	14	16

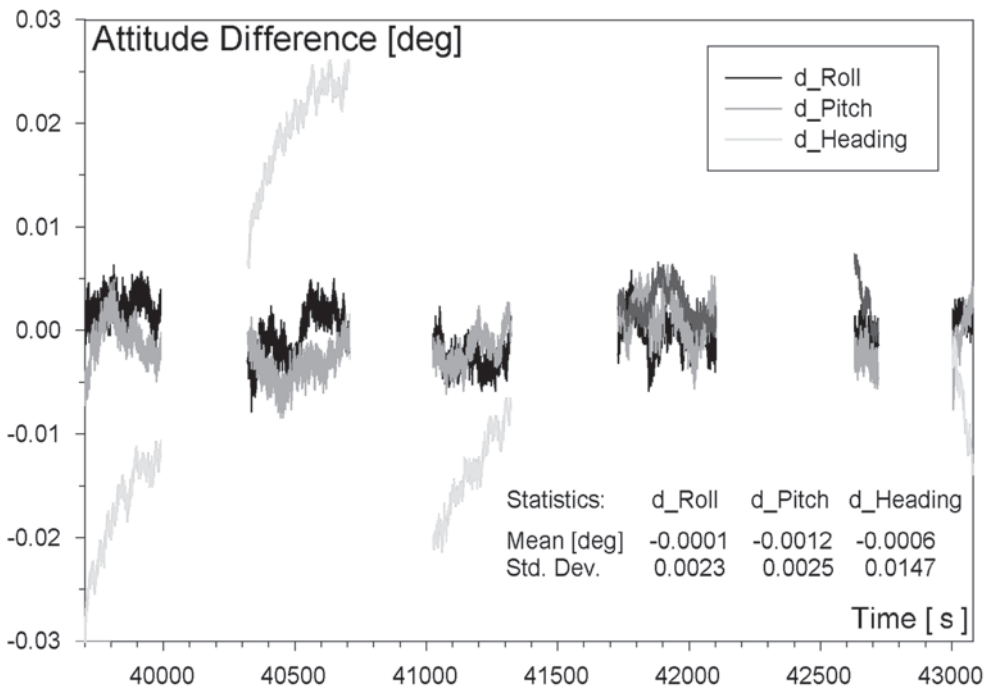
photogrammetrischen Analyse verwendet werden. Aufgrund der Taktrate von 450 Hz ergibt sich für alle 5 Stereokanäle eine Bodenaufösung in Flugrichtung von ca. 16 cm. Aufgrund der Flughöhe von 1000 m liegt die Bodenaufösung quer zur Flugrichtung bei 4 cm.

Im Testfeld liegen 18 einwandfrei identifizierbare und zuvor mit GPS-Verfahren mit einer Genauigkeit von wenigen Zentimetern bestimmte Passpunkte vor. Die Bildkoordinaten dieser Passpunkte sowie von weiteren 87 Verknüpfungspunkten wurden in allen Stereokanälen mit Subpixel-Genauigkeit gemessen. Die Verknüpfungspunkte sind ebenfalls eindeutig identifizierbare Punkte in den Überlappungsbereichen der 6 Flugstreifen. Im Rahmen eines numerischen Optimierungsverfahrens werden nun zunächst die Boresight-Offsets für  $\kappa$  und  $\phi$  sowie ein etwaiger Zeit-Offset zwischen Bild- und Lagedaten durch Optimierung der Strahlenschnitte aller durch die innere und äußere Orientierung definierten Raumstrahlen der Pass- und Verknüpfungspunkte bestimmt. Anschließend wird der Boresight-Offset für  $\omega$ , ein etwaiger Zeit-Offset zwischen Bild- und Positionsdaten sowie mögliche absolute WGS84-Positions-Offsets über alle Punkte in den sich überlappenden, in alternierenden Richtung geflogenen Flugstreifen berechnet. Dieses Verfahren wurde für beide Navigationssysteme angewendet. Die Ergebnisse dieser Optimierung sind in Tab. 3 dargestellt.

Die in Tab. 3 dargestellten Werte lassen sich wie folgt interpretieren:

- Die unterschiedlichen Boresight-Winkel resultieren aus dem real nicht streng parallelen Einbau der beiden IMU auf der HRSC-A.
- Die WGS84-Positions-Offsets in Nord- und Ostrichtung sind nicht signifikant. Der Unterschied von 8 cm in der Höhenkomponente spiegelt vermutlich Fehler in den angenommenen Lever-Arms zwischen Kamera bzw. IMU und GPS-Antenne sowie deren nicht berücksichtigte geringfügige Dynamik aufgrund der aktivierten Stabilisierung wider.
- Die Unterschiede in den Zeit-Offsets sind mit 1 bzw. 2 ms gering und beruhen vermutlich auf unterschiedlichen Filterungseffekten im Rahmen der GPS/INS-Integration. Insbesondere der Zeit-Offset zwischen den Bild- und Lagedaten ist aber aufgrund der Empfindlichkeit der Bestimmung der inneren, streifeninternen Genauigkeit über die 5 Stereobeobachtungen als relativ gesichert anzusehen.
- Die erzielten relativen und absoluten Punktgenauigkeiten der beiden Systeme bewegen sich bei  $\leq 1$  Pixel und sind daher als nicht signifikant unterschiedlich zu bezeichnen.

Unter Verwendung der berechneten Zeit- und Boresight-Offsets ergeben sich für beide Systeme neue Lagedaten, deren Differenz

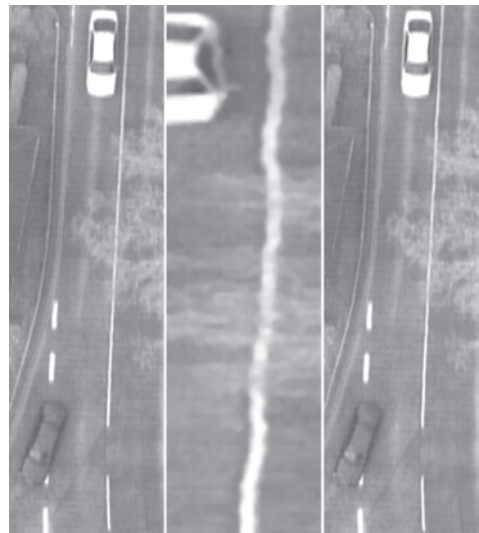


**Abb.4:** Lagedifferenz der APPLANIX- und IGI-Navigationslösungen nach photogrammetrischer Boreisight- und Zeitoffset-Korrektur (6 Flugstreifen).

für den gesamten Flugweg in Abb. 4 dargestellt ist.

Die Standardabweichungen der Roll- und Pitch-Differenzen entsprechen der HRSC-A-Bildpixelaufösung von  $0,0023^\circ$ . Auswirkungen eines Headingfehlers in der Grösse von  $0,0147^\circ$  sind abhängig vom Abstand zum Bildhauptpunkt. Für die nadirnahen Bildzeilen ergeben sich wegen des geringen Öffnungswinkels der HRSC daraus lediglich Unterschiede unterhalb der Bildauflösung. Die außen angeordneten vier Stereozeilen sind zwar mit Auswirkungen bis zu 2 Pixeln betroffen, deren symmetrische Anordnung kompensiert aber diesen Effekt, so dass zwar die Schnittgenauigkeit verringert, die Position des Objektpunktes dadurch jedoch nicht verfälscht wird.

Die Fluglage-Korrektur der HRSC-A-Bilddaten mit Hilfe der beiden photogrammetrisch verbesserten Navigationslösungen ist in Abb. 5 beispielhaft dargestellt. Ent-



**Abb.5:** Entzerrung von HRSC-Daten (mitte) mit APPLANIX- (links) und IGI-Navigationsdaten (rechts).

sprechend der vorhergehenden Analyse sind die Unterschiede der Resultate beider Navigationslösungen marginal und liegen bei bzw. unterhalb der Bildauflösung. Auch die mit Hilfe der 64 Hz IGI-Lösung nicht kompensierbaren Vibrationseffekte sind aufgrund ihrer geringen Amplitude visuell nur sehr schwer zu erfassen.

## 7 Resümee

Im Rahmen des Tests unter der synchronen Verwendung der GPS/INS Systeme APPLANIX POS/AV-510 und IGI AEROcontrol-IId mit der HRSC-A wurden von beiden Systemen Navigationslösungen geliefert und am DLR im Rahmen einer photogrammetrischen Auswertung auf der Basis der permanenten HRSC-A-Bildaufnahme hinsichtlich Offsets für Boresight-Winkel, Zeiten und WGS84-Flugweg optimiert. Beide Systeme erfassen sämtliche auch in den HRSC-Bilddaten sichtbaren Bewegungsfrequenzen, mit Ausnahme des 64 Hz IGI-Systems, das aufgetretene Vibrationen von 85 Hz mit geringen Amplituden von  $< 0,002^\circ$  nicht erfassen konnte. Die mittleren Differenzen der beiden verbesserten Navigationslösungen liegen sowohl hinsichtlich der Positionsdaten als auch der Daten für Nick(Pitch)- und Rollwinkel in der Größe bzw. unterhalb der HRSC-Pixelauflösung von  $0,0023^\circ$ . Die mittleren Heading-Differenzen von  $0,0147^\circ$ , deren Ursache im Rahmen dieser ersten Untersuchungen nicht einer der beiden Systeme zugeordnet werden kann, bewirken aufgrund der symmetrischen Verteilung der HRSC-CCD-Zeilen bezüglich des Nadirs und wegen des geringen HRSC-Öffnungswinkels ebenfalls nur Differenzen im HRSC-Subpixelbereich.

Somit ergibt sich als Fazit, dass nach Vorliegen der bisherigen Untersuchungsergebnisse aus technischer Sicht beide Systeme gleichermaßen für den Einsatz mit der HRSC geeignet sind, insbesondere dann, wenn, wie von der IGI mbH angekündigt, das IGI-System künftig eine IMU-Messfrequenz von 128 Hz statt bisher 64 Hz bietet.

## Dank

Wir danken der BSF Luftbild GmbH und der IGI mbH für die freundliche Unterstützung bei der Durchführung des Testfluges und der Aufbereitung der Navigationsdaten.

## 8 Literatur

- HEIPKE, C., JACOBSEN, K. & WEGMANN, H., 2001: The OEEPE Test on Integrated Sensor Orientation – Results of Phase I. – In: FRITSCH/SPILLER (Eds.), Photogrammetric Week 01: 195–204. – Wichmann Verlag, Heidelberg
- KREMER, J., 2001: CCNS and AEROcontrol: Products for Efficient Photogrammetric Data Collection. – In: FRITSCH/SPILLER (Eds.), Photogrammetric Week 01: 85–92. – Wichmann Verlag, Heidelberg.
- LITHOPOULOS, E., 1999: The Applanix approach to GPS/INS integration. – In: FRITSCH/SPILLER (Eds.), Photogrammetric Week 99: 53–57. – Wichmann Verlag, Heidelberg.
- NEUKUM, G. & The HRSC-Team, 2001: The Airborne HRSC-AX Cameras: Evaluation of the Technical Concept and Presentation of Application Results after one Year of Operations. – In: FRITSCH/SPILLER (Eds.), Photogrammetric Week 01: 117–130. – Wichmann Verlag, Heidelberg.
- SCHOLTEN, F., WEWEL, F. & SUJEW, S., 2001: High Resolution Stereo Camera – Airborne (HRSC-A): 4 Years of Experience in Direct Sensor Orientation of a Multi-Line Pushbroom Scanner. – ISPRS Proceedings Sensors and Mapping from Space 2001: Veröffentl. Inst. f. Photogrammetrie und Geoinformation, Universität Hannover.
- WEWEL, F., SCHOLTEN, F., NEUKUM, G. & ALBERTZ, J., 1998: Digitale Luftbildaufnahme mit der HRSC – Ein Schritt in die Zukunft der Photogrammetrie. – Photogrammetrie, Fernerkundung, Geoinformation, **1998** (6): 337–348. – E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.
- SCHOLTEN, F., GWINNER, K. & WEWEL, F., 2002: Angewandte Digitale Photogrammetrie mit der HRSC-A. – Photogrammetrie, Fernerkundung, Geoinformation, 2002 (5): 317–332. – E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.

## Anschriften der Autoren:

Dr. SERGEJ SUJEW, Institut für Weltraumsensorik und Planetenerkundung, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V. (DLR), D-12489 Berlin.

Tel.: ++49-30-67055-343, Fax: ++49-30-67055-386, e-mail: Sergej.Sujew@dlr.de

Dipl.-Ing. FRANK SCHOLTEN, Institut für Weltraumsensorik und Planetenerkundung, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V. (DLR), D-12489 Berlin.

Tel.: ++49-30-67055-326, Fax: ++49-30-67055-402 e-mail: Frank.Scholten@dlr.de

Dipl.-Ing. FRANZ WEWEL, Institut für Weltraumsensorik und Planetenerkundung, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V. (DLR), D-12489 Berlin.

Tel.: ++49-30-67055-326, Fax: ++49-30-67055-402.

Dr. RENE PISCHEL, Institut für Weltraumsensorik und Planetenerkundung, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V. (DLR), D-12489 Berlin.

Tel.: ++49-30-67055-338, Fax: ++49-30-67055-386, e-mail: Rene.Pischel@dlr.de

Manuskript eingereicht: Juni 2002

Angenommen: Juni 2002

## Fire Remote Sensing by the Small Satellite on Bi-spectral Infrared Detection (BIRD)

DIETER OERTEL, KLAUS BRIESS, ECHEHARDT LORENZ, WOLFGANG SKRBK & BORIS ZHUKOV, Berlin

**Abstract:** Fire has a growing influence on the ecosystem of the Earth. This influence is still not investigated sufficiently, because there is a lack of measurement data obtained globally. So far there is no dedicated satellite sensor for fire remote sensing in an earth orbit.

One objective of the DLR small satellite mission on Bi-spectral Infrared Detection (BIRD) is to test a new generation of IR sensors – together with a modified Wide-Angle Optoelectronic Stereo Scanner (WAOSS) which was originally developed for the Mars-96 Mission – with regard to the remote sensing of High Temperature Events, such as vegetation fires, coal seam fires and volcanic activities.

The DLR satellite on Bi-spectral InfraRed Detection (BIRD) was piggy back launched with the Indian Polar Satellite Launch Vehicle in a 570 km circular sun-synchronous orbit on 22 October 2001 – together with the Indian main satellite TES and the small satellite PROBA from the European Space Agency.

The paper presents results of BIRD data based remote sensing of bush fires in Australia and coal seam fires in China.

**Zusammenfassung:** Feuerfernerkundung mit dem DLR-Kleinsatelliten zur bispektralen IR-Detektion (BIRD). Feuer übt einen immer größeren Einfluss auf das Ökosystem der Erde aus. Der Einfluss ist jedoch noch ungenügend erforscht, da nur unzureichende Messdaten im globalen Maßstab zur Verfügung stehen. Bisher gab es keine Sensorik im Orbit, die auf Feuerfernerkundung zugeschnitten ist. Mit der DLR-Kleinsatellitenmission BIRD (Bi-spectral Infrared Detection) wird erstmals eine neue Generation von Infrarotsensoren in Kombination mit einer modifizierten WAOSS-Kamera (Weitwinkel-Stereo-Kamera für die Mars-96-Mission) im Weltraum erprobt, die für die wissenschaftliche Fernerkundung von Vegetationsbränden, Vulkanausbrüchen, Kohlefeuern und anderen Hot-Spot-Ereignissen geeignet ist. Am 22. Oktober 2001, 04:53:00 Uhr UTC, wurde der DLR-Kleinsatellit BIRD mit einer indischen Trägerrakete vom Typ PSLV-C3 zusammen mit dem indischen Hauptsatelliten TES und dem ESA-Kleinsatelliten PROBA erfolgreich vom indischen Raketenstartplatz Shar aus gestartet. Der Beitrag zeigt Ergebnisse der BIRD-datenbasierten Fernerkundung von Buschbränden in Australien und Kohleflözfeuern in China.

### Introduction

Both the global change scientific community and the fire fighting authorities demand new and dedicated space-borne fire observation sensors with a resolution of 50–100 m for local/regional monitoring and of a few hundred metres for global observations that would be able to detect fires from a few to a few tens of square metres and to estimate quantitatively variables such as location, temperature, area, energy release, associated aerosol and gaseous emissions (AHERN et al. 2001).

The existing satellite sensors with 3–4  $\mu\text{m}$  mid-infrared channels, such as:

- the Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) on the polar orbiting satellites of National Oceanic and Atmosphere Administration (NOAA),
- the MODerate-resolution Imaging Spectro-radiometer (MODIS) on the Earth Observing System (EOS) satellite Terra, and
- the Geostationary Operational Environmental Satellites (GOES) used so far to provide data on active fires on Earth have limited spatial resolution of

1 km or coarser and a low-temperature saturation of the MIR channels (with the exception of MODIS) leading in some case to false alarms and preventing a quantitative characterisation of larger fires.

High-resolution multi-spectral sensors like Thematic Mapper (TM), Enhanced Thematic Mapper (ETM) on Landsat 5 and 7, respectively, or the Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) on the EOS satellite Terra do not have a 3–4  $\mu\text{m}$  channel, the principal channel for daytime fire recognition. Their 2.3  $\mu\text{m}$  channels are less sensitive to smouldering fires and more affected by solar reflections.

### The BIRD objectives and its main sensors

The BIRD small satellite mission is a technology demonstrator of new infrared push-broom sensors dedicated to recognition and quantitative characterisation of thermal processes on the Earth surface (BRIESS et al. 2002).

Fig. 1 shows the BIRD satellite during the test cycle at the DLR Institute of Space Sensor Technology and Planetary Exploration in Berlin. The BIRD sensors – covered mainly by multi-layer isolation, except the optical sensor entrances – are visible in the upper compartment of the satellite (the two IR sensor entrances – on top right hand site – are closed by the multi-layer-isolation covered back sides of the calibration units.)

The BIRD main sensor payload consists of:

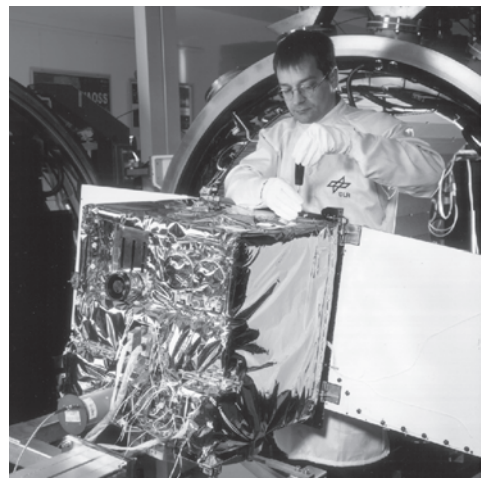
- a two-channel infrared Hot Spot Recognition System (HSRS),
- a Wide-Angle Optoelectronic Stereo Scanner (WAOSS-B).

HSRS is a two-channel push-broom scanner with spectral bands in the mid-infrared (MIR) and thermal infrared (TIR) spectral ranges. The sensitive devices are two Cadmium Mercury Telluride (CdHgTe) photodiode lines. The lines – with identical layout in the MIR and TIR – comprise  $2 \times 512$  elements each in a staggered structure. HSRS

sensor head components of both spectral channels are based on identical technologies to provide good pixel co-alignment. Both spectral channels have the same optical layout but with different wavelength-adapted lens coatings (SKRBEK & LORENZ 1998).

The detector arrays are cooled to 100 K in the MIR and to 80 K in the TIR. The cooling is conducted by small Stirling cooling engines. The maximal TIR photodiode cut-off wavelength of about 10.5  $\mu\text{m}$ , which can be achieved at 80 K, on one hand and the atmospheric ozone band at 9.6  $\mu\text{m}$  on the other hand require to use the 8.5–9.3  $\mu\text{m}$  band for TIR channel of the HSRS instead of the usual 10.5–11.7  $\mu\text{m}$  band. The HSRS sensor data are read out continuously with a sampling interval that is exactly one half of the pixel dwell time. This time-controlled “double sampling” and the staggered line array structure provide a on-ground sampling step of 185 m that is a factor of 2 smaller than the HRSR pixel size, coinciding with the sampling step of the WAOSS nadir channel.

Radiometric investigations of thermal anomalies require (a) a large dynamic range not to be saturated by HTE occupying the entire pixel and (b) a high signal to noise ratio to be able to observe small thermal anomalies at normal temperatures and de-



**Fig. 1:** The BIRD satellite during the test cycle at DLR Institute of Space Sensor Technology and Planetary Exploration in Berlin.

tect small sub-pixel HTE. To fulfil these requirements, a second scene exposure is performed with a reduced integration time (within the same sampling interval) if the real-time processing of the first exposure indicates that detector elements are saturated or close to saturation. As a result, the efficient HSRS radiometric dynamic range is significantly expanded keeping a very good temperature resolution at normal temperatures (LORENZ & SKRBEK 2001).

WAOSS-B is a modified version of a scanner that was originally developed for the Mars-96 mission. It is a three-line stereo scanner operating in the push-broom mode. All three detector lines are located in the focal plane of a single wide angle lens. The forward- and backward-looking lines have a visible (VIS) and near-infrared (NIR) filters, respectively, while the nadir-looking line has a NIR filter.

Due to a higher resolution of the BIRD MIR and TIR channels in comparison to AVHRR and MODIS, it allows to achieve an order of magnitude smaller minimal detectable fire area. A possibility to observe fires and other HTE without sensor saturation provides: (a) an improved false alarm rejection capability and (b) a possibility of a quantitative estimation of HTE parameters (temperature, area, energy release) unrestricted by sensor saturation.

### Hot spot detection and quantitative characterisation

The BIRD hot spot detection algorithm (ZHUKOV & OERTEL 2001) includes the following tests:

- adaptive MIR thresholding to detect potential hot pixels,
- NIR thresholding to reject strong sun glints,
- adaptive MIR/NIR radiance ratio thresholding to reject weaker sun glints, clouds and other high-reflective objects,
- adaptive MIR/TIR radiance ratio thresholding to reject warm surfaces,
- consolidation of the adjacent hot pixels in hot spots and estimation of hot spots cha-

racteristics (the equivalent fire temperature and area, energy release, and – for resolved fire fronts – front length and strength).

The equivalent fire temperature  $T_F$  and area  $A_F$  are the temperature and area of a homogeneous fire at a uniform background that would produce the same MIR and TIR radiances as the actual non-homogeneous fire. They are estimated using the Bi-spectral technique (DOZIER 1981). In contrast to the usual application of the Bi-spectral technique, we apply it not to separate hot pixels but to clusters of adjacent hot pixels (hot spots). The advantages of the cluster-level retrievals are:

- the equivalent fire area  $A_F$  does not depend on the point spread function (PSF) of the MIR and TIR channels,
- the estimations of  $T_F$  and  $A_F$  are low-sensitive to small inter-channel MIR/TIR geometric co-registration errors and MIR/TIR PSF difference.

In order to account for sub-pixel co-registration errors of the MIR and TIR channels and PSF ‘wings’, the pixels located within a distance of 1 sampling step from the detected hot pixels are also included in the corresponding hot cluster.

$T_F$  and  $A_F$  are found by solving the system of two equations:

$$\begin{aligned}\bar{I}_{MIR} &= \bar{q}_F B_{MIR}(T_F) + (1 - \bar{q}_F) I_{MIR,bg}, \\ \bar{I}_{TIR} &= \bar{q}_F B_{TIR}(T_F) + (1 - \bar{q}_F) I_{TIR,bg},\end{aligned}\quad (1)$$

where  $\bar{I}_{MIR}$  and  $\bar{I}_{TIR}$  are the atmospherically-corrected mean MIR and TIR pixel radiances in a hot cluster,  $B_{MIR}(T_F)$  and  $B_{TIR}(T_F)$  are the band-integrated Planck function for the BIRD MIR and TIR channels,  $\bar{q}_F$  is the mean fire proportion in the signal of cluster pixels that is related to the equivalent fire area as  $\bar{q}_F = A_F / (A_{sampler} n_{pix})$ , where  $n_{pix}$  is the number of pixels in a hot cluster,  $A_{sampler} = 3.42 \cdot 10^4 \text{ m}^2$  is the BIRD sampling area that is defined as the square of the BIRD sampling step of 185 m. The BIRD sampling area is a factor of 4 smaller than the pixel

area of its MIR and TIR channels due to the double sampling in the along-track and cross-track directions.

The MIR and TIR radiances of the background within a hot cluster  $I_{MIR,bg}$  and  $I_{TIR,bg}$  are estimated as the mean radiances  $\bar{I}_{MIR,bg}$  and  $\bar{I}_{TIR,bg}$  of background pixels in the vicinity of the hot cluster. However, since the TIR channel is relatively low sensitive to small sub-pixel fires, errors in the estimated TIR background radiance may lead to large errors in  $T_F$  and  $A_F$ . The effect of the MIR background errors is much smaller and can be neglected. In order to characterise the stability of the Bi-spectral retrievals to the TIR background radiance error,  $\bar{I}_{TIR,bg}$  was varied in the range of  $\pm \sigma_{TIR,bg}$  around its nominal value of  $\bar{I}_{TIR,bg}$ , where  $\sigma_{TIR,bg}$  is the standard deviation of the TIR background radiance in the vicinity of the hot cluster. As a result, error intervals for  $T_F$  and  $A_F$  are obtained along with their nominal values that correspond to  $I_{TIR,bg} = \bar{I}_{TIR,bg}$ . The width of these error intervals depends on the fire temperature, on the fire proportion in the cluster and on background variability.

When the TIR background radiance is overestimated, it may lead to unrealistically large values of  $T_F$  for small fires that have the TIR pixel radiance close to the background. In order to account for this effect, the upper limit of 1200 K was accepted for the equivalent fire temperature. If this limit is exceeded during the nominal estimation of  $T_F$ , the retrievals are considered as failed. If it is exceeded during the estimation of the upper bound for  $T_F$ , the upper bound is set to 1200 K and the corresponding lower bound for  $A_F$  is adjusted to this temperature. However, a possibility is also left to analyse objects with a temperature higher than 1200 K in the case when the Bi-spectral retrievals are relatively stable. For this purpose, the temperature limitation is not used if the mean TIR radiance of a hot cluster  $\bar{I}_{TIR}$  exceeds  $\bar{I}_{TIR,bg} + 3\sigma_{TIR,bg}$ .

A more stable parameter for a quantitative characterisation of fires is their radiative energy release. It is useful for a parameterisation of the amount of burning vegetation,

as well as for practical fire fighting purposes where the energy release per a unit length of a fire front characterises the front strength.

We compared two methods of radiative energy release estimation: the Bi-spectral technique and the MODIS method (KAUFMAN et al. 1998).

The Bi-spectral technique, which provides the equivalent fire temperature  $T_F$  and area  $A_F$ , allows an estimation of the energy release of a hot cluster relative to the background level as:

$$P_{BS} = \sigma(T_F^4 - T_{bg}^4)A_F, \quad (2)$$

where  $\sigma$  is the Stefan-Boltzmann constant,  $T_{bg}$  is the background temperature that is assumed to be equal to the mean at-surface TIR temperature in the vicinity of the hot cluster. The error intervals for  $T_F$  and  $A_F$  define also the error interval for the fire energy release. The errors in  $T_F$  and  $A_F$ , which originate from the TIR background uncertainty, partly compensate each other. As a result, an acceptable error interval for the energy release can often be obtained if the error intervals for  $T_F$  and  $A_F$  are too large for a quantitative analysis.

The original MODIS method relates the radiative energy release of a fire pixel to its brightness temperature in the MODIS MIR channel at 3.9  $\mu\text{m}$ . The method was adapted to energy release estimation of hot clusters in BIRD images as:

$$P_{MODIS} = k \cdot 4.34 \cdot 10^{-19} A_{\text{sampl}} \sum (T_{MIR}^8 - T_{MIR,bg}^8) [\text{W}], \quad (3)$$

where  $T_{MIR}$  and  $T_{MIR,bg}$  are the atmospherically corrected BIRD MIR temperatures of a hot pixel and of the background in Kelvin,  $A_{\text{sampl}}$  is the BIRD sampling area and the sum is taken over all pixels in a hot cluster. The constant factor of  $4.34 \cdot 10^{-19}$  was obtained in (KAUFMAN et al 1998) from simulations of typical fire scenes. In order to be able to apply the MODIS method to the BIRD MIR band, a correction factor  $k = 0.605$  was introduced in relation (3). It was defined from the regression of the clus-



ter energy release as obtained by the Bi-spectral and MODIS methods

An advantage of the Bi-spectral method of energy release estimation is that it accounts for the fire temperature. The advantage of the MODIS method is its better stability for small fires.

### Sydney Bush fire detection

Bush fires in the area of Sydney, Australia were imaged by BIRD and MODIS on 5 January 2002 with the time interval of only 12 min. Fig. 2 shows the MODIS and BIRD imaging stripes in their MIR bands. In order to represent a high dynamic range of the images, MIR pixel temperatures below 330 K are coded as grey levels while a colour coding is used for higher MIR pixel temperatures (as discussed below, these are only fire pixels). The image reveals catastrophic bush fires with extended fire fronts, especially in the northern part of the scene.

Enlarged fragments of the MODIS and BIRD MIR images are shown in Fig. 3 together with the corresponding fire maps. The MODIS fire map was obtained from the standard MODIS fire product. The BIRD fire map was obtained with the BIRD hot spot detection algorithm and colour-coded using the equivalent fire temperature (in cases when the Bi-spectral retrievals failed, the fire clusters are shown as white). As a result of the BIRD hot spot detection, all 'colour-coded' pixels with the MIR temperature above 330 K are recognised as fires in this fragment (as well as in the entire

scenes in Fig. 2). Some of the pixels with a lower MIR temperature down to 322 K are also recognised as fires, what is confirmed by their location at the fire fronts. On the other hand, several white spots with the MIR pixel temperature of up to 328 K, which are seen in lower right part of the MIR image in Fig. 3, are rejected as false alarms due to their relatively low MIR/TIR radiance ratio. These areas have a relatively high TIR temperature and a low NIR radiance and thus evidently correspond to fire scars heated by the sun (but probably not to cooling fire scars since they look colder on the previous day). This type of objects could produce false alarms if data from sensors with a MIR channel saturation at  $\sim 320$  K (like AVHRR) is used for fire detection.

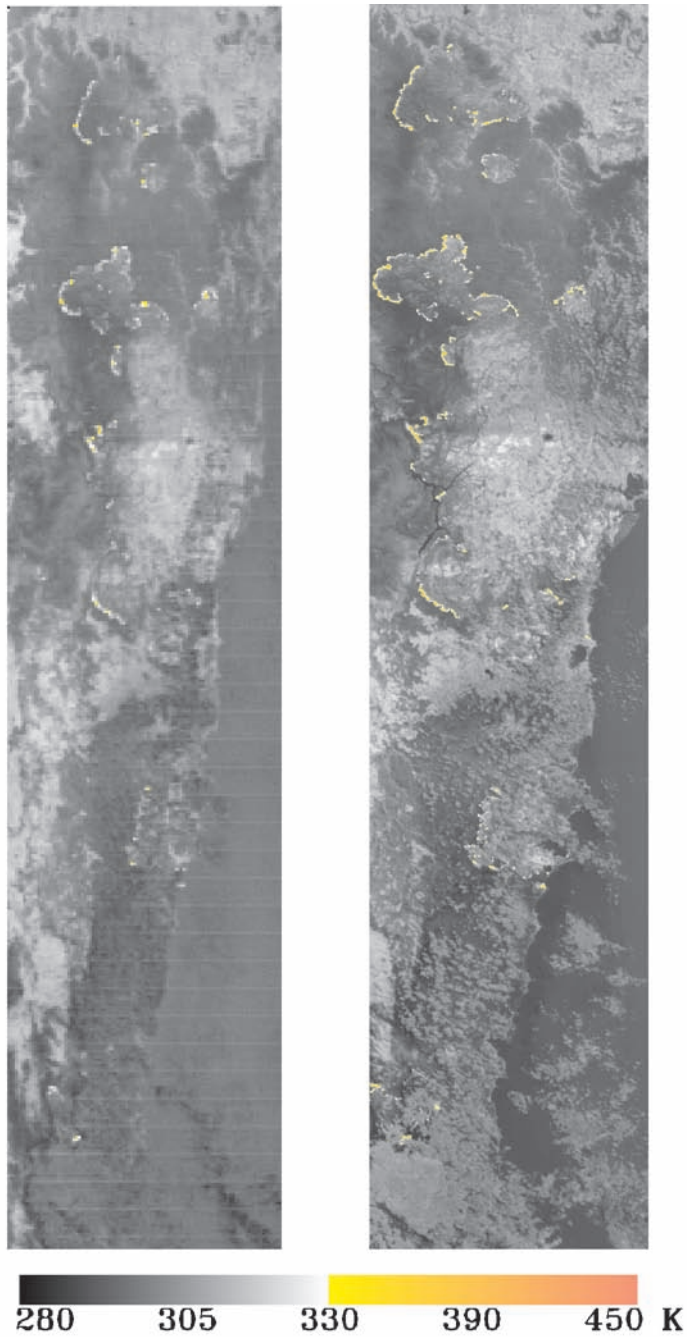
Due to a higher resolution of BIRD, it allows recognition of fire fronts (fire lines) whereas only separate hot pixels are detected in the MODIS fire product. By comparing the BIRD and MODIS images, one can visually identify fire fronts also in the MODIS MIR image since they look brighter than the immediate background. Characteristics of some fire fronts in the BIRD data are given in Tab. 1.

The equivalent fire temperature for the indicated fire fronts was in the range of 800–970 K. In two cases (fire fronts 4 and 6), when the Bi-spectral retrievals failed, the lower bound for the equivalent fire temperature exceeded 760 K.

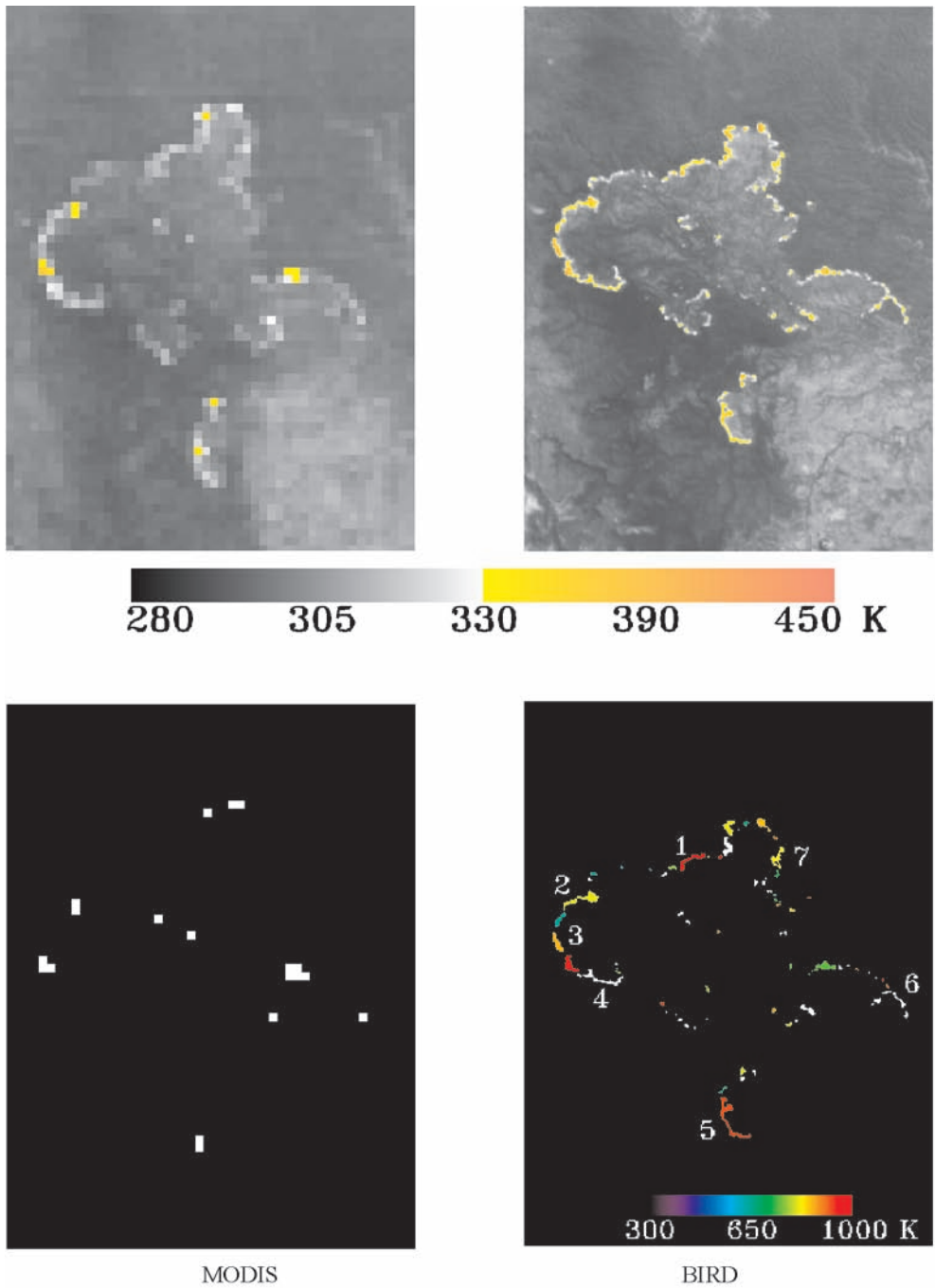
The equivalent front depth can be estimated as the ratio of the equivalent fire area

**Tab. 1:** Characteristics of fire fronts in the fragment of the BIRD image of 5 January 2002 (please see Fig. 3).

No.	Equivalent fire temperature [K]	Equivalent fire area [ha]	Front length [km]	Radiative energy release [MW]	Front strength [kW/m]
1	966	0.20	~ 4	100	~ 30
2	803	0.91	~ 7.5	210	~ 30
3	846	0.70	~ 3	199	~ 70
4	> 760	< 0.73	~ 5	127	~ 30
5	908	0.65	~ 10	246	~ 30
6	> 730	< 0.24	~ 4	34	~ 90
7	814	0.33	~ 3	81	~ 30



**Fig. 2:** Images of bush fires in the area of Sydney obtained by MODIS in channel 21 (left) and by BIRD in the MIR spectral band (right) on 5 January 2002.



**Fig. 3:** Fragments of MODIS and BIRD images (upper row) and fire detection results (lower row).

to the front length. Its nominal values range from 1 to 3 m that is an order of magnitude smaller than a typical visible front depth of bush fires. Probably, it can be explained by non-homogeneity of the fire fronts where the actual high-temperature burning occupies only  $\sim 10\%$  of the visible fire front area.

In spite of the uncertainty in the equivalent fire temperature and area, the Bi-spectral technique provides a fire energy release estimation that agrees well with the MODIS method. After an additional rough estimation of the front lengths, the average energy release per 1 m of the front length (front strength) was obtained. It varied in the range of 30–90 kW/m for the selected fronts.

The radiative fire energy release in the entire MODIS and BIRD image fragments in Fig. 3 was estimated as 1.3 and 2.5 GW respectively. The radiative energy release in the entire MODIS and BIRD scenes in Fig. 2 was 4.0 GW and 6.5 GW respectively. Thus, MODIS underestimates significantly the radiative energy release in comparison to BIRD due to missing of small fires. Though the energy release of small fires is also small, it is compensated by their large number.

### Coal fire recognition in the North China Province Ningxia

Starting from January 2002, BIRD performs coal fire imaging on a number of test sites in China. Fig. 4 shows BIRD images of the Gulaben/Rujugou test site in the NIR, MIR and TIR spectral bands that were obtained on 31 January and 6 February 2002. Despite the observation time interval of 7 days and the varying viewing angles, these hot spots can be seen on both dates in the MIR channel. Some of these hot spots can also be recognised in the TIR images but there they appear much weaker.

Using the MIR and TIR images, the equivalent fire temperature and area of the detected hot spots were estimated. The equivalent fire temperatures was in the range of 350–450 K. The equivalent fire area varied from 0.1 to 1.1 ha. The values of the

equivalent fire temperature obtained on different dates differed for most of the hot spots not more than  $\sim 20$  K.

Using the equivalent temperature and area of the detected hot spots, values of their energy release was estimated ranging from 1 to 11 MW.

### Conclusion

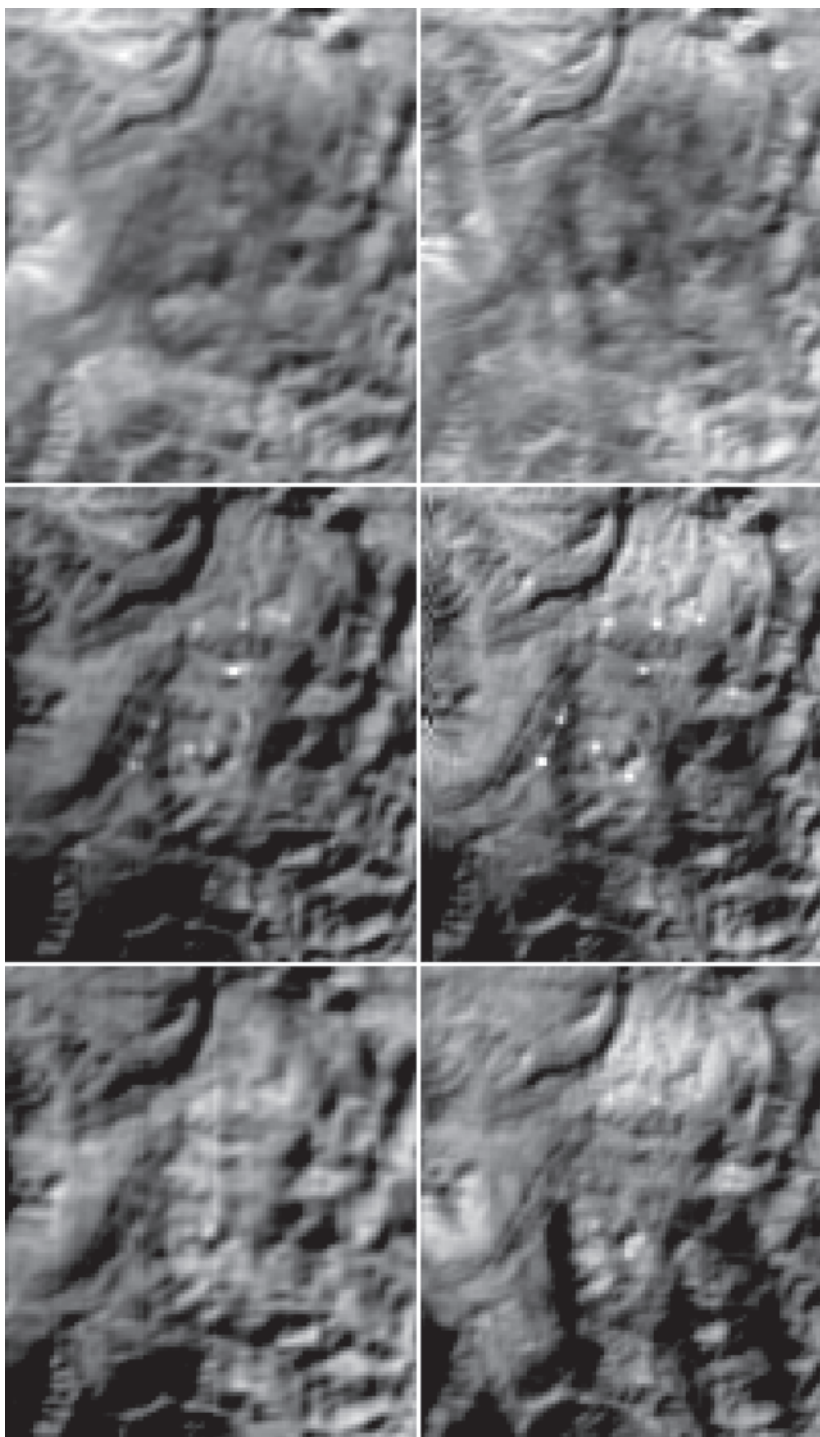
Multispectral infrared data of BIRD are used as input for a new hot spot recognition algorithm which has been successfully tested.

A unique feature of the mid infrared and thermal channels of the BIRD Hot Spot Recognition System (HSRS) is the real-time control of their dynamic range. That allows the observation of hot events without sensor saturation, preserving at the same time a good radiometric resolution of  $\sim 0.2$  K at ambient temperatures of about 300 K.

Due to that and its higher spatial resolution, BIRD can detect fires with the area an order of magnitude smaller than operational polar orbiting systems such as the Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) or the Moderate Resolution Imaging Spectro-radiometer (MODIS).

The remote measurement of fire radiative energy release has been proposed by the MODIS fire team (KAUFMAN et al. 1998) as a novel method for providing information on variations in the amount of biomass consumed per unit time in vegetation fires, theoretically allowing the total amount of biomass combusted to be derived. Until recently only the MODIS sensor of the EOS Terra satellite possessed the necessary spectral and radiometric characteristics suitable for providing fire energy release observations from low-Earth orbit. The HSRS sensor of the new experimental BIRD satellite now allows fire energy release derivation at high spatial resolution and for fires of a smaller size and intensity than does MODIS, albeit at a much lower revisit time. This is also a unique feature for space borne remote sensing of coal seam fires.

BIRD successful demonstrates new small satellite fire recognition technologies, allow-



**Fig. 4:** BIRD images of Gulaben/Rujugou test site on 31 January 2002 (left) and 6 February 2002 (right); row 1 – NIR band; row 2 – MIR band; row 3 – TIR band.

ing the estimation of five quantitative characteristics of vegetation fires, such as temperature, area, radiative energy release, front length and front strength.

## References

- AHERN, F.J., GOLDAMMER, J.G. & JUSTICE, C.O. (eds.), 2001: Global and regional vegetation fire monitoring from space: Planning a co-ordinated international effort. – SPB Academic Publishing bv., The Hague, The Netherlands.
- BRIESS, K., JAHN, H. & ROESER, H.-P., 1996: A DLR Small Satellite Mission for the Investigation of Hot Spots, Vegetation and Clouds. – *Acta Astronautica*, **39**: 899–908.
- BRIESS, K., BÄRWALD, W., LURA, F., MONTE-NEGRO, S., OERTEL, D., STUEMUND, H. & SCHLOTZHAUER, G., 2002: The BIRD MISSION is completed for Launch with the PSLV-C in 2001. – *Photogrammetrie, Fernerkundung, Geoinformation (PFG)*, **2002** (1): 55–58.
- DOZIER, J. 1981: A method for satellite identification of surface temperature fields of Subpixel Resolution. – *Remote Sensing of Environment*, **11**: 221–229.
- FIRES, 1994: Fire Recognition System for Small Satellites, Phase A Study. – DLR Institute of Space Sensor Technology, Berlin and OHB-System, Bremen, Germany.
- KAUFMAN, Y.J., JUSTICE, C.O., FLYNN, L.P. et al., 1998: Potential global fire monitoring from EOS-MODIS. – *J. Geophys. Res.*, **103**: 32215–32238.
- LORENZ, E. & SKRBK, W., 2001: Calibration of a Bi-spectral Infrared Push-Broom Imager. – Proceedings of SPIE, Infrared Spaceborne Remote Sensing IX, San Diego, 29 July – 3 August 2001, in press.
- PRINS, E.M. & MENZEL, W.P., 1994: Trends in South American biomass burning detected with the GOES VAS from 1983–1991. – *J. Geophys. Res.*, **99**: 16719–16735.
- SKRBK, W. & LORENZ, E., 1998: HSRS – An infrared sensor for hot spot detection. – Proceedings of SPIE, Infrared spaceborne remote sensing VI, Vol. **3437**: 167–176.
- ZHUKOV, B. & OERTEL, D., 2001: Hot Spot Detection and Analysis Algorithm for the BIRD Mission. – Algorithm Theoretical Basic Document (ATBD), DLR-Berlin.

### Address of the authors:

Prof. DIETER OERTEL, Dr.-Ing. KLAUS BRIESS, Dr. rer. nat. ECHEHARDT LORENZ, Dr.-Ing. WOLFGANG SKRBK, Dr. BORIS ZHUKOV, Institute of Space Sensor Technology and Planetary Exploration of the German Aerospace Center (DLR), Rutherfordstrasse 2, D-12489 Berlin, Germany. Tel.: +49-30-67055 523, Fax: +49-30-67055 565, e-mail: dieter.oertel@dlr.de

Manuskript eingereicht: Juni 2002

Angenommen: Juni 2002

## Hochgenaue digitale Geländemodelle für die Belange des Hochwasserschutzes und des Vermessungswesens an der Oder

MEIKE GIERK & ECKHARDT SEYFERT, Potsdam

**Zusammenfassung:** Vor dem Hintergrund des Hochwassers an der Oder im Sommer 1997 besteht Entwicklungsbedarf für Maßnahmen zum Schutz vor Hochwasser sowohl aus wissenschaftlicher Sicht als auch auf politischer Ebene. Dazu zählen, insbesondere bei grenzüberschreitenden Flusseinzugsgebieten, die Schaffung wissenschaftlich-technischer Grundlagen wie z. B. die Unterhaltung von Messnetzen zur Erfassung von Daten für die Hochwasservorhersage und die Kopplung meteorologischer und hydrologischer Modelle zur Hochwasservorhersage. Durch die Verknüpfung beider Maßnahmen kann maßgeblich die Entscheidungsfindung der fachlich und politisch Verantwortlichen unterstützt und beschleunigt werden.

Hochwasser und Hochwasserschäden sind in den letzten Jahren von Gesellschaft und Politik zunehmend als wichtige Themenfelder erkannt worden. Die Diskussion über Hochwasser, ihre Ursachen und die Beeinflussungsmöglichkeiten, stehen dabei überwiegend im Vordergrund. Der anthropogene Eingriff durch wasserbauliche Maßnahmen, intensive Bebauung und ausgiebige Nutzung gewässernaher Bereiche verschärfte nachweislich die Hochwassergefahr und die Hochwassersituation der Flüsse und ihrer Einzugsgebiete an sich. Darüber hinaus zeigen neue Erkenntnisse der Klimafolgenforschung, dass zukünftig generell erhöhte Hochwasserrisiken sehr wahrscheinlich sind. Eine verbesserte Hochwasservorhersage ist weiterhin unverzichtbar und mehr denn je gefragt.

**Abstract:** *High accurate digital terrain models at the river Oder for flood protection and surveying.* The flood event on the river Oder in Summer 1997 has demonstrated that requirements for flood protection-measures are needed on the political level and also from a scientific point of view. This means, for instance for cross-border catchments, the creation of a scientific-technical bring networks to collect data for flood-forecasting purposes, and on the coupling of meteorological and hydrological models for flood-forecasting. The combination of ackground, e.g. on the maintenance of measuthese two measures would support and accelerate the decision-making process of the political and professional responsible experts.

Over the recent years, society and politics have attached increasing importance to floods and flood-damage issues. Floods, their causes and their possible influence are the predominant topics of the discussions. Anthropogenic influence through hydraulic engineering measures, building density and in addition the intensive utilization of areas nearby rivers and lakes increase the flood danger and the flood situation on rivers and their catchments. In addition, results of recent climate studies show, that generally an increase in flood risk is more likely in the future. Therefore improved flood-forecasting is indispensable and essential for river basin management.

### 1 Einleitung und Problemstellung

Im Juli und August 1997 wurden die Medien von den Nachrichten über den Verlauf des Hochwassers an der Oder beherrscht (Abb. 1). Die örtlichen Krisenstäbe in den

Landkreisen und der Zentrale Krisenstab des Innenministeriums im Land Brandenburg benötigten ständig zeitnahe Informationen zur Einschätzung der aktuellen Situation, zur Planung und Durchführung von Sicherungsmaßnahmen an den Deichen und



**Abb. 1:** Ziltendorfer Niederung bei Wiesenau (Anfang August 1997).

zur Vorbereitung von eventuell notwendig werdenden Evakuierungen in Gebieten, in denen Deichbrüche zu befürchten waren.

Die **Oder** gehört im östlichen Mitteleuropa zum Einzugsgebiet der Ostsee und besitzt von der Quelle bis zur Mündung in das Stettiner Haff ein Einzugsgebiet von 118.861 km<sup>2</sup>. 89% des Einzugsgebietes liegen in der Republik Polen, 6% in der Tschechischen Republik und 5% in der Bundesrepublik Deutschland. Mit einer Länge von 854 km und einer mittleren Jahresabflussmenge von 16,5 Mrd. m<sup>3</sup> am Pegel Hohen- saaten-Finow ist die Oder der sechstgrößte Süßwasserzufluss der Ostsee. Die Oder entspringt in einer Höhe von 634 m über dem Meeresspiegel am 25 km östlich von Olmütz gelegenen Lieselberg im Odergebirge der östlichen tschechischen Sudeten.

In ihrem Verlauf bilden ca. 197 km der Lausitzer Neiße, ca. 161 km der Oder und ca. 17 km der Westoder die Staatsgrenze zwischen der Bundesrepublik Deutschland und der Republik Polen. Darüber hinaus bildet die Lausitzer Neiße auf 1,4 km Länge die Grenze zwischen der Bundesrepublik und der Tschechischen Republik.

Das **Abflussregime** der Oder ist einerseits durch eine hohe Wasserführung bei Schneeschmelze, andererseits durch geringe Abflüsse im Sommer geprägt. Starke Niederschläge im Sommer führen in der Regel zu

kurzen steilen Hochwasserwellen, die insbesondere im Oberlauf des Flusses starke Überschwemmungen hervorrufen. Im Winter dagegen entstehen durch Vereisungen besondere Abflussverhältnisse und Gefahrenquellen für die ausgedehnten Deichanlagen und deichgeschützten Gebiete im Mittel- und Unterlauf der Oder. Im letzten Drittel der Lauflänge nimmt die Oder bei Stromkilometer 617,5 rechtsseitig ihren größten Nebenfluss, die Warthe, auf. Diese beeinflusst als typischer Flachlandfluss das Abflussgeschehen des Unterlaufes erheblich.

**Ursache** für die Entstehung des Hochwassers an der Oder im Sommer 1997 waren zwei Starkniederschlagsereignisse, die durch eine zweimal hintereinander aufgetretene Vb-Wetterlage hervorgerufen wurden und die in polnischen und tschechischen Teilen des Einzugsgebietes der Oder niedergingen. Dabei bildete sich infolge eines Kaltlufteinbruchs über Westeuropa zunächst ein Tief über Oberitalien. Dieses verlagerte sich dann nord- oder nordostwärts und führte dabei feuchtwarme Meeresluft aus dem Mittelmeerraum heran, die am Rande der Kaltfront zum Aufgleiten gezwungen wurde. Im Grenzbereich beider Luftmassen entwickelten sich dabei ausgedehnte Niederschlagsfelder. Diese außergewöhnlichen Starkniederschläge führten in den Hochwasserentstehungsgebieten zu starken Was-



serstandsanstiegen und zu großflächigen, teilweise katastrophalen Überschwemmungen. Die Hochwasserwelle überstieg deutlich alle bisherigen Höchstwasserstände an allen tschechischen und polnischen Pegeln, bevor sie überhaupt den Bereich der Grenzober erreichte. Es kam auf polnischer Seite zu zahlreichen Deichbrüchen, die die Hochwasserwelle in ihrer Scheitelausbildung, Scheitelhöhe und -laufzeit stark verformten, so dass eine Vorhersage zu den zu erwartenden Scheitelwasserständen und der Eintrittswahrscheinlichkeit nur schwer möglich war.

In dieser für den Katastrophenschutz komplizierten Situation wurde das Landesvermessungsamt verstärkt in die Arbeiten der Katastrophenstäbe einbezogen. Dabei hatte die Bereitstellung von aktuellen Luftbildaufnahmen (nicht älter als 20 h), die Auswertung von multispektralen Aufzeichnungen der Deiche zur Ermittlung von Vernässungsstellen und die Bereitstellung von Höhenangaben zu Siedlungsgebieten und Verkehrswegen besonders hohe Bedeutung.

Schon während des Hochwassers zeigte sich, dass die in den Landes- und Kommunalbehörden vorliegenden topographischen Unterlagen und Informationen bezüglich des topographischen Inhaltes, der Aktualität und der Genauigkeit sich sehr heterogen darstellten. Nur mit zusätzlichem Aufwand wäre es gelungen, die Unterlagen so aufzubereiten, dass sie für ein Katastrophenmanagement geeignet gewesen wären. Vom gesamten Einzugsgebiet der Oder existierten von der deutschen Seite flächendeckend aktuelle Topographische Karten im Maßstab 1:10000 und die Luftbildkarte 1:10000, was sich in dieser Krisensituation als sehr positiv erwies. Die in den Topographischen Karten enthaltenen Höheninformationen oder das vorliegende Digitale Geländemodell DGM25 konnten dagegen den Bedarf an differenzierteren Höhenangaben (Böschungsverläufe, Höhenangaben auf Dezimetergenauigkeit) nicht befriedigen. Ebenso waren die Daten des ATKIS-DLM für die Aufgaben des Krisenmanagements nicht hinreichend geeignet, da sie entsprechend des Bearbeitungsprogramms nur den Inhalt

der ersten Aufbaustufe (DLM25/1) enthielten. Während die Unterlagen des LVermA in einem einheitlichen Raumbezugssystem, dem ETRS89 mit UTM-Abbildung bereitgestellt werden konnten, lagen die fachbezogenen Informationen der anderen Verwaltungen, Hilfsorganisationen und Einsatzkräfte in unterschiedlichen Koordinaten- und Höhensystemen vor.

## 2 Projektvorbereitung

Eine Erkenntnis aus dem Hochwasser vom Sommer 1997 war, dass für das Management solcher Ereignisse die Bereitstellung von homogenen digitalen topographischen und fachbezogenen Daten notwendig ist und der Aufbau solcher Datenbestände nur in Zusammenarbeit zwischen den betroffenen Landes- und Bundesbehörden erfolgen kann. Das erste zwischen den Behörden initiierte Projekt war der Aufbau eines hochauflösenden digitalen Geländemodells für den überwiegenden Teil des Einzugsgebietes der Oder auf deutscher Seite sowie für Teile des Einzugsgebietes der Lausitzer Neiße. Die Projektinhalte, die fachlichen Interessen sowie die finanziellen und personellen Möglichkeiten wurden gemeinsam zwischen

- dem Landesumweltamt Brandenburg (LUA),
- dem Landesvermessungsamt Brandenburg (LVermA) und
- der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG)

abgestimmt und schließlich in gemeinsamen Verwaltungsvereinbarungen dokumentiert.

Für das Landesumweltamt und die Bundesanstalt für Gewässerkunde war es wichtig, Daten für den Aufbau eines Wasserstandsvorhersagemodells und für die BfG insbesondere Unterlagen für die Aktualisierung der Buhnenbestandsunterlagen und der Flussvorlanddaten zu erhalten.

Ziel des Landesvermessungsamtes war es, mit den gewonnenen Laserscannerdaten ein Digitales Geländemodell zu erzeugen, das sowohl die Grundlage für die oben genannten Aufgaben bildet als auch der Lösung weitergehender Aufgaben anderer Landesbehörden und privaten Nutzer dienen kann.

Darüber hinaus hatte das LVerMA die Absicht, die gewonnenen Daten für die digitale Ableitung der Topographischen Karten 1:10000 mit zu verwenden.

Während des Verlaufes des Hochwassers an der Oder im Sommer 1997 wurde oft die Frage gestellt, bei welchem Wasserstand der Oder und bei welchem Zustand der Deiche oder Bauwerke, welches Siedlungsgebiet im Katastrophenfall – z. B. durch Deichbruch oder Überschwemmung – und in welchem Ausmaß es betroffen sein könnte.

Für die Gesamtlösung dieser Hochwasserproblematik ist die Klärung folgender wasserwirtschaftlicher Fragestellungen von grundsätzlicher Bedeutung:

- Erarbeitung hydraulischer Grundlagen zur Dokumentation des Ist-Zustandes am Gewässer als Ausgangsbasis für das Abbilden von Planungsmaßnahmen am Gewässer und in den Flussauen,
- Unterstützen der Gewässerunterhaltung durch Modellierung und Parametrisierung des Entwicklungsstandes der Vegetation,
- Bestimmung von Überflutungshöhen in den Niederungen als Auswirkung verschiedener Abflussbereiche – Berechnung von Wasserspiegellagen (z. B. HQ<sub>50</sub>, HQ<sub>100</sub> etc.),
- Simulation von Strömungs- und Retentionsdynamik,
- Nutzung allgemein verfügbarer, möglichst hochgenauer digitaler Datenbestände in Lage und Höhe zur Berechnung und Ausweisung von Überschwemmungsgebieten sowie die
- Berechnung von Wasserrücklaufszenarien überfluteter Flächen und Niederungen unter Berücksichtigung des natürlichen Abflusses bzw. durch den Einsatz technischer Mittel (z. B. Schöpfwerke, etc.) unter Beachtung der verschiedenen Zielstellungen wie z. B. dem Zeitpunkt einer möglichen Wiederbesiedelung, landwirtschaftlichen Bewirtschaftung der Flächen usw.

Um diese Fragen im Komplex beantworten zu können, ist die genaue Kenntnis des raumzeitlichen Verhaltens der einzelnen

Komponenten, wie z. B. Wasserstände, Strömungsrichtung und -geschwindigkeit, notwendig. Sowohl ein Hochwasservorhersagemodell (z. B. Gerinnemodell) als auch ein hydraulisches Modell (z. B. Simulationsmodell zur Berechnung von Flutungsszenarien bzw. rechnerische Ausweisung von Überschwemmungsgebieten) setzen sowohl die genaue Kenntnis des Gewässerprofils (einschl. Deichanlagen und Buhnebereiche) als auch die Informationen und Daten der sich daran anschließenden Landflächen (Deichhinterland) voraus. Das heißt, das Geländere Relief, insbesondere in den Niederungen und Poldern, muss mit einer hohen Auflösung bekannt sein. Voraussetzung dafür ist die Erstellung eines digitalen Geländemodells mit einer Höhengenaugigkeit im Dezimeterbereich. Um die oben beschriebenen Aussagen treffen zu können, muss eine Verknüpfung der Modellkomponenten Hydraulik und geographisches Informationssystem (GIS) realisiert werden. Diese Verfahren zur Darstellung von Überschwemmungsflächen in topographischen Karten ermöglichen eine wesentliche Verbesserung der Präsentation von hydraulischen Modellergebnissen. Die Berechnung von Überschwemmungsflächen und deren automatische Übertragung in topographische Karten ermöglicht eine schnelle und verständliche Interpretation auch für „Nicht-Wasserwirtschaftler“. Dadurch entfällt die bisher übliche und sehr zeitaufwändige manuelle Übertragung der berechneten Wasserstandshöhen und die Ausweisung von Überschwemmungsflächen in topographischen Karten. Im Endeffekt wird durch die Kombination verschiedener Modelltechniken mit hochgenauen digitalen Geländedaten ein Instrumentarium entwickelt, mit dem die Auswirkungen von Maßnahmen des vorbeugenden Hochwasserschutzes rechnerisch überprüft werden können. Diese Kopplung ermöglicht eine weit bessere Qualität in der Visualisierung als bei bisher angewandten Methoden. Mit den verschiedenen methodischen Ansätzen können sowohl Aussagen für allgemeine Planungsvorhaben als auch für konkrete Gewässerunterhaltungsmaßnahmen gewonnen bzw. vorab

simuliert werden. Darüber hinaus gewährleistet die Erhebung der Daten auf digitaler Basis, insbesondere für den Fall eines Hochwassers, die Anwendung einer einheitlichen Datenbasis bei jedem Nutzer sowie bei den zuständigen Wasserwirtschafts- und Katastrophenschutz-Behörden. Allerdings entsteht beim Arbeiten mit den hochaufgelösten digitalen Geländedaten ein relativ hoher Zeitaufwand, der von Anfang an berücksichtigt werden muss. Durch den Einsatz moderner Computertechnik können diese Probleme entsprechend minimiert werden.

Die aus diesem Prozess entstehenden Gefahren- und Risikokarten sollen den verantwortlichen Behörden und selbstverständlich den Betroffenen vor Ort aufzeigen, wo welche Gefahren bestehen. Die Überschwemmungsgefährdung kann durch die Eintrittswahrscheinlichkeit und die Intensität der Einwirkung (z. B. durch Wassertiefe, Strömungsdynamik oder Erosion) beschrieben werden. Daraus können dann in einem weiteren Schritt so genannte Gefahrenstufen abgeleitet werden. Der Maßstab, der jeweilige Inhalt und der Detaillierungsgrad der einzelnen Karten richten sich nach den Bedürfnissen der einzelnen Anwender (Politiker, Behörden, Planer, Eigentümer, etc.).

### 3 Datenerfassung

Im Frühjahr 1998 begannen das LVermA Brandenburg, das Landesumweltamt Brandenburg und die Bundesanstalt für Gewässerkunde mit der Vorbereitung eines gemeinsamen Projektes.

**Tab. 1:** Angaben zum Projektgebiet.

	Oder	Lausitzer Neiße (Brandenburg)
Fläche des gesamten Projektes	3075 km <sup>2</sup>	315 km <sup>2</sup>
davon Fläche zwischen den Deichen	273 km <sup>2</sup>	–
Anzahl der Lose	4	1
Anzahl d. Kbl.	99	10

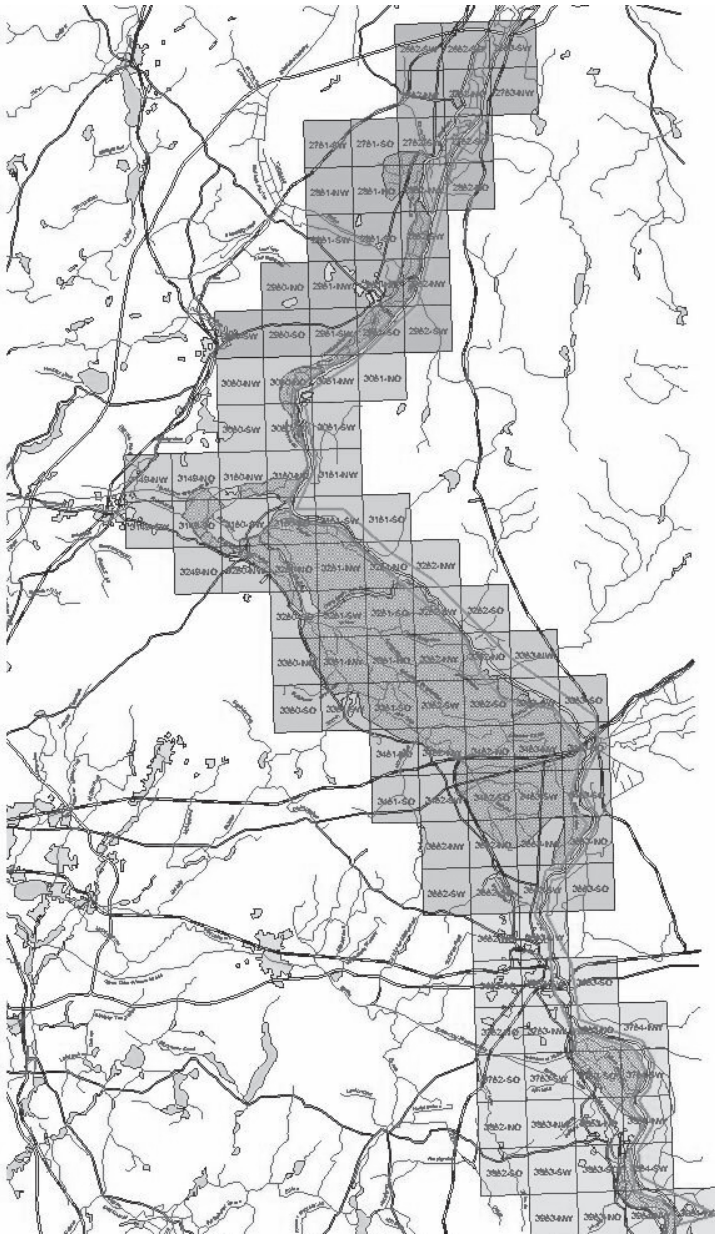
Die Festlegung des Projektgebietes (Abb. 2, Tab. 1) und der technischen Parameter (Tab. 2) erfolgte entsprechend der oben genannten Aufgabenstellungen und den damit verbundenen Anforderungen. Da die Laserscannerdaten später für die Ableitung von Höhenlinien der Digitalen Karte 1:10 000 (DTK10) genutzt werden sollen, wurde die Begrenzung des Projektgebietes an den Blattschnitt vollständiger Kartenblätter der DTK10 angepasst.

Das gesamte Projektgebiet wurde in mehrere Lose unterteilt. Bei der Einteilung der Lose ging man davon aus, dass innerhalb der Lose einheitliche Kriterien für die Flugfreigabe vorlagen. Das waren z. B. die mit dichteren Punktabständen zu befliegenden Bereiche des Flusslaufes (zwischen den Deichen) oder die mit besonderer Priorität zu befliegenden Bereiche entlang der Westoder. Weiterhin wurden solche Losgrößen angestrebt, die eine zusammenhängende Befliegung erlaubten.

Die Projektpartner hatten sich mit der Befliegungsfirma darüber verständigt, die Freigabe zur Befliegung los- bzw. flussabschnittsweise durch das LVermA erteilen zu lassen. Das war aus zwei Gründen notwendig. Um die wasserwirtschaftlich-fachlich-

**Tab. 2:** Technische Anforderungen.

Anforderung	Deich- hinterland	Deich- vorland
DGM-Gitterweite	5 m × 5 m	2 m × 2 m
Bodenpunktabstand	3,5 m × 3,5 m	2 m × 2 m
Höhengenauigkeit in Kontrollflächen	≤ 20 cm	≤ 20 cm
Raumbezug – Lage	ETRS89, UTM (42/83, GK-3°)	ETRS89, UTM (42/83, GK-3°)
– Höhe:	DHHN92 (HN76)	DHHN92 (HN76)
Witterungsverhältnisse	Schnee- und Eisfreiheit	
Vegetationszustand	ohne Belaubung	
Aufnahmezeitraum	November 98–März 99	
Wasserstände	(nicht geflutet)	Niedrigwasser



**Abb. 2:** Projektgebiet mit Darstellung der hochwassergefährdeten Bereiche.

chen Anforderung, nur bei Niedrigwasser zu fliegen, optimal umsetzen zu können, erhielt das LVerMA aller zwei bis drei Tage die aktuellen Wasserstände für bestimmte Pegel-

standorte und die zu erwartenden Wasserstandsentwicklung für die einzelnen Flussabschnitte vom Landesumweltamt. Weiterhin bestand die Anforderung, die Landflä-

chen im Bereich der Westoder noch vor dem Fluten der Polderflächen zu befliegen. Je nach Bewirtschaftungsrichtlinie für bewirtschaftete Polder werden jährlich ca. ab Mitte November die Polder geflutet. In Absprache mit den zuständigen Gewässerunterhaltungsverbänden wurde ausnahmsweise von diesem Bewirtschaftungsregime zu Gunsten einer hochauflösenden Datenerhebung abgewichen. Der Befliegungsfirma wurden pro Befliegungslos die Koordinaten von zwei Referenzpunkten des Amtlichen Festpunktfeldes und zwei Referenzflächen zur Beurteilung der berechneten Höhendaten übergeben. Die Firma erhielt vom LVermA zusätzlich die Geoidundulationen, berechnet in einem  $1\text{ km} \times 1\text{ km}$  Gitterabstand, zur Berechnung der Laserpunkthöhen und der Ableitung der DGM-Daten in den beiden geforderten Höhensystemen.

Schon bei der Projektvorbereitung wurden für die spätere unabhängige Kontrolle des DGM zusätzliche Testflächen und Profile tachymetrisch aufgenommen, die der Firma nicht bekannt waren.

#### 4 Datenaufbereitung

Im Ergebnis der Datenaufbereitung erhielt das LVermA die Daten von zwei, sich in der Punktdichte unterscheidender DGM's. Das DGM des Flusslaufes, mit einer Gitterweite von  $2,5\text{ m} \times 2,5\text{ m}$ , umfasste beiderseits des Flusses den landseitigen Deichfuß, den Deich und das Deichvorland bis zum Flusslauf. Dieser Datenbestand wurde mittels der tachymetrisch bestimmten Profilmessungen kontrolliert. Das DGM des Deichhinterlandes begann am landseitigen Deichfuß und deckte alle hochwassergefährdeten Landflächen auf der Brandenburger Seite der Oder ab. Diese Bereiche wurden durch die zusätzlichen Kontrollflächen stichprobenartig geprüft.

Die Daten beider DGMs wurden abgenommen. Über die erreichten Genauigkeiten wird in SEYFERT & GIERK (2002) berichtet.

Für die Realisierung aller oben genannten Aufgabenstellungen war ein DGM gefor-

dert, welches neben der Modellierung der Landflächen auch die Beschreibung des Flussbettes einschließt. Aus diesem Grunde wurden Flussquerprofile, die in einem Abstand von 50, 100 bzw. 200 m aus Echolotmessungen abgeleitet wurden, in die Berechnung des DGM vom Flusslauf integriert. Über die einzelnen Bearbeitungsschritte haben bereits BROCKMANN & MANDELBURGER (2001 a, b) informiert. Das so entstandene DGM des Wasserlaufes wurde anschließend noch mit dem DGM des Deichhinterlandes verschnitten. Da die beiden DGMs an dem landseitigen Deichfuß einen Überlappungsbereich hatten, konnte dort eine Verbindung geschaffen werden. Die einzelnen Bearbeitungsschritte sind ebenfalls in SEYFERT & GIERK (2002) beschrieben.

Es ist gelungen innerhalb von drei Jahren, beginnend von den ersten Kontakten zwischen den Behörden bis zur Fertigstellung des Projektes, vordergründig für die Fragen des Hochwasserschutzes ein hochgenaues DGM aufzubauen. Bedingt durch den hohen Zeitdruck, dieses Modell kurzfristig aufzubauen, war es nicht möglich, die parallel stattfindenden baulichen Veränderungen an den Deichen schon zu berücksichtigen. Ebenso kann das Modell noch weiter verfeinert werden, indem in einem ersten Schritt stereophotogrammetrisch ausgewertete, später automatisch selektierte, Geländeformlinien eingearbeitet werden.

Das hochaufgelöste DGM wird bereits in praxi in zwei Modellanwendungen des Landesumweltamtes eingesetzt. Von den Modellentwicklern wird die Qualität des hochaufgelösten DGM als sehr gut eingeschätzt.

#### 5 Datennutzung

Mit Datum 21.07.1998 wurde zwischen den o.g. Behörden eine „Verwaltungsvereinbarung über den Aufbau, die Aktualisierung und das Recht auf Nutzung eines Digitalen Geländemodells für die Oder (Grenzoder) als Datengrundlage für die Umsetzung des Hochwasserschutzes“ geschlossen.

Der Aufbau des DGM-HW-Oder erfolgte hinsichtlich des geodätischen Raumbezuges nach den Richtlinien der Arbeitsgemein-

schaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland (AdV) und ihrer Umsetzung im Land Brandenburg – hinsichtlich der Genauigkeitsanforderungen und des Detaillierungsgrades nach den Anforderungen der Wasserwirtschaft zur Erfüllung der Aufgaben gemäß Wasserhaushaltsgesetz des Bundes (WHG) und des Brandenburgischen Wassergesetzes (BbgWG) unter Berücksichtigung der jeweiligen technischen und finanziellen Möglichkeiten.

Die Einrichtung, Führung und Pflege der DGM-HW-Oder-Datenbank und die Gewährleistung der Datenbereitstellung übernimmt das LVermA und bestimmt dafür die technischen Parameter im Einvernehmen mit dem LUA. Die Anwendung der Daten für die Lösung behörden- bzw. fachspezifischer Aufgaben wird durch das jeweils zuständige Amt selbst realisiert.

Das LUA und das LVermA sind berechtigt, die Daten innerhalb ihres Geschäftsbereiches zur Erfüllung hoheitlicher Aufgaben für eigene Zwecke kostenlos zu nutzen. Behörden und Ämtern unterhalb der Landesebene stehen die Daten ebenfalls zu diesem Zweck zur Verfügung, jedoch gegen Entgeltzahlung gemäß der geltenden Kostenrichtlinie für digitale topographische Daten des LVermA. Das Entgelt wird vom LVermA erhoben, eingezogen und nachgewiesen. Die Datenabgabe an so genannte Dritte erfolgt über das Geodatenzentrum des LVermA.

Die Kosten für die Datenerfassung und -aufbereitung zum Aufbau des DGM-HW-Oder tragen beide Ämter entsprechend der auf sie entfallenden Aufgaben.

Die Kosten für den Aufbau und das Betreiben der DGM-HW-Oder-Datenbank trägt das LVermA.

Die Entscheidung über die Notwendigkeit der Aktualisierung, die technischen Parameter und die Höhe der finanziellen Anteile richtet sich nach den fachlichen Erfordernissen im jeweiligen Aufgabenbereich und der zur Verfügung stehenden Haushaltsmittel.

Eine vergleichbare Verwaltungsvereinbarung unterzeichneten 1998 die BfG und das LVermA. In ihr sind ebenfalls die Bedingun-

gen für die gemeinsame Datennutzung, -aktualisierung und -weitergabe geregelt.

## Ausblick

Die konstruktive Zusammenarbeit zwischen den drei Behörden und der erfolgreiche Abschluss des gemeinsamen Projektes stärkte die Überzeugung der drei Partner, aber auch weiterer Einrichtungen des Landes Brandenburg, dass durch die Abstimmung gleicher oder ähnlicher Aufgabenstellungen, die gemeinsame Nutzung der behördenspezifischen Informations- und Steuerungsmöglichkeiten sowie die Verschmelzung der finanziellen Möglichkeiten in gemeinsamen Projekten die Grundlage für weitere Projekte ist.

Ausgehend von einer Übersicht des LUA über die hochwassergefährdeten Gebiete im Land Brandenburg ist mit dem zielgerichteten Aufbau weiterer genauer Geländemodelle in diesen Bereichen begonnen worden. Dabei wurden die Anforderungen an die Aufnahmepunktdichten, die zu berechnenden Gitterweiten des DGM und die Selektion von Geländekanten den technischen Möglichkeiten der sich weiterentwickelnden Laser-Aufnahmetechnik angepasst. Gegenwärtig bearbeiten die BfG, das Land Brandenburg (LVermA, LUA) und Landesanstalt für Großschutzgebiete) und verschiedene Behörden des Landes Sachsen-Anhalt Flussabschnitte der Elbe, einschließlich der Zuflüsse Schwarze Elster, Saale und Havel.

## Literatur

- BROCKMANN, H. & MANDELBURGER, G., 2001a: Aufbau eines Digitalen Geländemodells vom Wasserlauf der Grenzoder. – Publikationen der DGPF, 10: 199–208.
- BROCKMANN, H. & MANDELBURGER, G., 2001b: Modelling a watercourse DTM based on airborne laser-scanner data – using the example of the River Oder along the German/Polish Border. – Proceedings of OEEPE workshop on Airborne Laserscanning and Interferometric SAR for Detailed Digital Elevation Models 1–3 March 2001, Stockholm.
- LVermA BRANDENBURG, 1998: Bereitstellung von Luftbildunterlagen durch das LVermA.

SEYFERT, E., 2000: Datenbereitstellung für ein Oder-GIS. in Vermessung ..., Sonderdruck zur INTERGEO 2000.

SEYFERT, E. & GIERK, M., 2002: Publikationen der DGPF, Band 11 – Jahrestagung Neubrandenburg (in Vorb.)

Studien und Tagungsberichte, Schriftenreihe des Landesumweltamtes Brandenburg, Band 16: „Das Sommerhochwasser an der Oder 1997“, März 1998

Dr.-Ing. ECKHARDT SEYFERT, Landesvermessung und Geobasisinformation Brandenburg, Abteilung Topographisch-Kartographische Basisinformationen, Heinrich-Mann-Allee 103, D-14473 Potsdam

Tel.: 0331-8844-113, Fax: 0331-8844-126

e-mail:

eckhardt.seyfert@lvermap.brandenburg.de

Anschriften der Verfasser:

Dipl.-Ing. MEIKE GIERK, Landesumweltamt Brandenburg, Abteilung Gewässerschutz und Wasserwirtschaft, Postfach 601061, D-14410 Potsdam,

Tel.: 0331-2323-258, Fax: 0331-2323-223,

e-mail: meike.gierk@lua.brandenburg.de

Manuskript eingereicht: Mai 2002

Angenommen: Juni 2002





## Photogrammetrische Erfassung der Klüftigkeit des Gebirges und Zugänge zur weitgehend automatisierten Bereitstellung der Ergebnisse\*

JOACHIM MENZ, THOMAS MARTIENBEN & VAN DIEN NGUYEN, Freiberg

**Zusammenfassung:** Das Forschungskonzept von Prof. Rüger, der bis 1968 an der Bergakademie Freiberg als Direktor des Instituts für Geodäsie und Photogrammetrie gearbeitet hat, war auf die Anwendung der Photogrammetrie in den Geo- und Montanwissenschaften ausgerichtet. Dazu gehörte auch die photogrammetrische Erfassung der Klüftigkeit des Gebirges, die eine Alternative zur traditionellen Kluftkartierung mit dem Geologenkompass darstellt, vor allem dann, wenn die Gebirgsformationen schwer zugänglich sind.

Nach einer Einführung in die Kluftmessung wird der analytisch – photogrammetrische Zugang zur Kluftkartierung und richtungsstatistischen Auswertung im SCHMIDT'schen Netz behandelt. Bei diesem Zugang ist die Auswertung der Stereobilder am Komparator sehr zeitintensiv. Deshalb wird im zweiten Teil des Beitrages gezeigt, wie durch die Nutzung der digitalen Photogrammetrie die Detailauswertung der Stereobilder automatisiert werden kann. Dazu genutzt wird die PCI-Software zur automatischen DEM-Generierung. Zur Erkennung und Auswertung der in den automatisch abgeleiteten digitalen Oberflächenmodellen enthaltenen Kluftebenen sind eigene Softwarelösungen entwickelt worden. An Anwendungsbeispielen wird gezeigt, dass die so automatisierte photogrammetrische Kluftkartierung zu praktisch brauchbaren statistischen Auswertergebnissen führen kann.

**Summary:** *Photogrammetric jointing determination of rock body an digital approach to the further automated solution.* Professor Rüger was the head of the department of geodesy and photogrammetry at the Freiberg University of Mining and Technology and has worked here until 1968. His work focussed on the application of photogrammetry in geosciences as well as mining sciences. This includes also the photogrammetric measurement of the joints of the mountains. The photogrammetric method represents an alternative to the traditional measurement using the compass. It has advantages particularly if the mountains difficult to get to.

In the first part of this paper an introduction into the classical joint measurement is given. The joint exploration is described by using the analytically-photogrammetric method, and the direction statistics is applied for the data analysis. The results are represented in a SCHMIDT's grid. Measurements of stereopair takes much time. That's why we use the automatic digital photogrammetric method described in the second part of the paper. For this we use the PCI Geomatics software. Digital surface models (DOM) are calculated automatically from stereopairs. The self generated software DKA (digital joint analysis) realizes the detection and analysis of the joints in thoses DOM's. The results of the automated photogrammetric joint mapping are of practical use and statistically provable. The problems we knows will be touched. At the end of the paper first results of examples of use are shown.

---

### 1 Einführung

Prof. Rüger hat bis 1968 als Direktor des Instituts für Geodäsie und Photogrammetrie an der Bergakademie Freiberg gearbeitet. Sein Forschungskonzept war auf die Anwendung der Photogrammetrie in den an

der Bergakademie Freiberg vertretenen Geo- und Montanwissenschaften ausgerichtet. Mit dem Namen von Prof. Rüger ist die

---

\* Vortrag zum Ehrenkolloquium aus Anlass des 90. Geburtstages von Prof. Dr.-Ing. WERNER RÜGER, TU Dresden 18. 1. 2002

Einführung der Photogrammetrie in den ostdeutschen Braunkohlenbergbau eng verbunden. Auch nach der Berufung von Prof. Rüger an die TU Dresden ist in Freiberg die von ihm eingeschlagene Forschungsrichtung durch seine Schüler weiter verfolgt worden. Auf eine der vielen an der Bergakademie bearbeiteten Sonderanwendungen der Photogrammetrie soll im Folgenden eingegangen werden. Es ist ein Beispiel aus der Gebirgs- und Lagerstättegeometrie, und zwar die photogrammetrische Erfassung der Klüftigkeit des Gebirges.

In dem Beitrag wird gezeigt, dass die photogrammetrische Klufkartierung eine Alternative zur traditionellen Klufkartierung mit dem Geologenkompass darstellt, insbesondere dann, wenn die Gebirgsformationen schwer zugänglich sind. Die dafür konzipierten analytisch – photogrammetrischen Verfahren haben allerdings den Nachteil, dass der Zeitaufwand für die Erfassung der Klüfte an einem Stereokomparator relativ hoch ist. Deshalb wird im zweiten Teil der Arbeit gezeigt, wie durch die Nutzung der digitalen Photogrammetrie die Auswertung der Kluftaufnahmen weitestgehend automatisiert werden kann, und zwar über automatisch generierte digitale Oberflächenmodelle und über Algorithmen zur Erkennung der darin vorhandenen Kluftebenen.

## 2 Der Gebirgsparameter Klüftigkeit

### *Bedeutung dieses Gebirgsparameters*

Die Klüftigkeit des Gebirgskörpers ist ein entscheidendes Merkmal zur Beurteilung der Standfestigkeit von Böschungen. Sie ist ausschlaggebend für die Gewinnbarkeit der Festgesteine. Sie beeinträchtigt die Qualität abzubauen der Natursteine. Oft ist die Verzerrung an die Ausbildung gewisser Klufscharen gebunden. Sie ist schließlich maßgebend für die Beurteilung der Durchströmungseigenschaften des Gebirgskörpers, die bei vielen Aufgaben untersucht werden müssen, wie z.B. bei der Anlage von Depo-

nien, bei der Ausbreitung von Schadstoffen, bei der Erdöl- und Erdgasgewinnung.

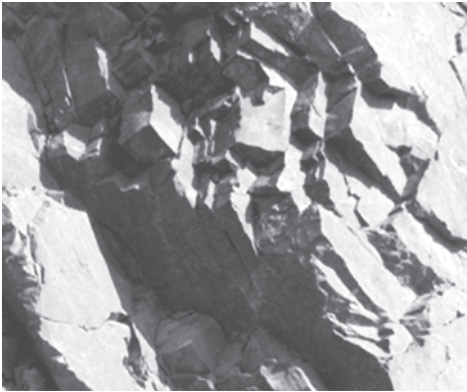
### *Entstehung der Klüfte*

Die bei der Gebirgsbildung wirkenden Kräfte haben die Gesteinskörper deformiert und dabei Falten und Klüfte erzeugt. Trennflächen, Klüfte im Gebirge, sind nach MÖBUS (1989) als Elemente der Bruchtektonik der Ausdruck vorhanden gewesener elastischer Spannungen, die bei Überschreiten der Bruchfestigkeit des Gesteins zur Auslösung gelangten. Dabei konnte die Beanspruchung des Gesteins durch Druck, Zug, Schub, Biegung oder Torsion verursacht worden sein. Dementsprechend ist z.B. zwischen Zerr- und Scherklüften zu unterscheiden. Darüber hinaus können auch schichtbedingte Trennflächen die Ausbildung der Klüfte begünstigt haben.

Der Gebirgskörper setzt sich somit aus Gesteinskörpern zusammen, die durch Diskontinuitäten, wie Klüfte und Trennfläche, voneinander abgegrenzt sind. Dabei ist meist eine gewisse Regelung der Klüfte zu beobachten. Annähernd parallel zueinander verlaufende Klüfte bilden eine so genannte Klufscharen. Je nachdem wie unterschiedlich das Gestein in den verschiedenen Phasen der Gebirgsbildung beansprucht worden ist, unterscheidet sich die Anzahl und Ausrichtung der Klufscharen.

### *Traditionelle Klufkartierung*

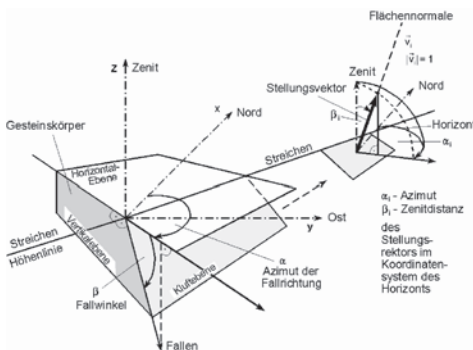
In Abb.1 wird eine Felsböschung aus dem Porphyrtagebau Petersberg gezeigt. In dem Messbildausschnitt sind die Klufflächen deutlich zu sehen. Die Klufflächen werden als Ebenen aufgefasst, deren Raumstellung in der traditionellen Arbeitsweise mit dem Geologenkompass gemessen wird. Erfasst werden die Fallrichtungen  $\alpha_i$  und Fallwinkel  $\beta_i$  von  $i = 1$  bis  $N$  Klufflächen aus jedem interessierten Homogenitätsbereich. Dabei sollte der für statistisch gesicherte Angaben notwendige Stichprobenumfang  $N$  bei ca. 300 vermessenen Klufflächen liegen.



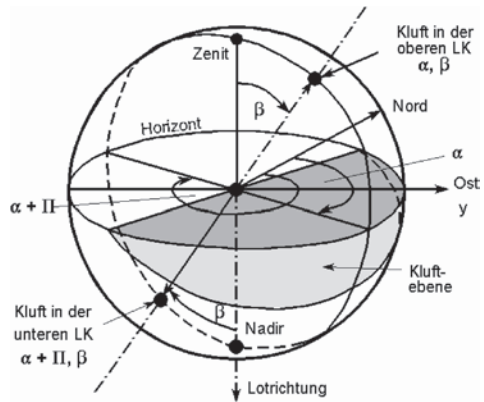
**Abb. 1:** Festgesteinsböschung im Porphyrtagebau Petersberg, Ausschnitt aus einem Messbild.

In Abb. 2 wird ein Gesteinskörper mit einer nach vorn einfallenden Kluftebene gezeigt. Eine Horizontalebene schneidet die Kluftebene. Die Schnittgerade, eine Höhenlinie, gibt das Streichen der Kluft an. Dazu senkrecht verläuft das Fallen. Das Azimut  $\alpha$  der Fallrichtung und der Fallwinkel  $\beta$ , der Winkel zwischen Horizontal- und Kluftebene, definieren die Raumstellung einer Kluft, deren Ortskoordinaten bei der sich anschließenden richtungsstatistischen Auswertung innerhalb eines Homogenitätsbereiches vernachlässigt werden.

Wie in Abb. 2 gezeigt, können die Klüfte unter Beibehaltung ihrer Raumstellung, die der Stellungsvektor  $\vec{v}_i$  repräsentiert, im Ho-



**Abb. 2:** Streichen und Fallen einer Kluftebene und die Benutzung des Stellungsvektors zur Darstellung ihrer Raumlage.



**Abb. 3:** Flächennormale bzw. oberer und unterer Stellungsvektor einer Kluftebene in der Lagekugel, dem sphärischen Koordinatensystem des Horizonts.

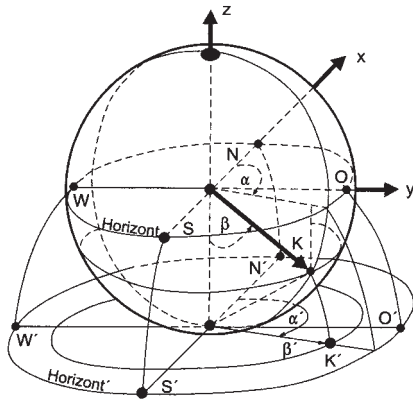
mogenitätsbereich verschoben werden. Der Stellungsvektor ist ein bipolarer Einheitsvektor, der die Richtung der Klufflächennormale angibt. Zur Darstellung der Klüfte benutzt der Geologe die Lagekugel. In der Geodäsie ist sie das sphärische Koordinatensystem des Horizonts (Abb. 3).

Der Stellungsvektor  $\vec{v}_i$  wird mit seinem Ansatzpunkt in den Mittelpunkt der Lagekugel verschoben. Die Spitze des Vektors  $\vec{v}_i$  gibt die Lage der Kluft  $i$  auf der Lagekugel durch einen Punkt an, der auf der oberen Lagekugel die Koordinaten  $\alpha_i$  und  $\beta_i$  hat, wobei  $\beta_i$  die Zenitdistanz dieses Punktes ist und  $\alpha_i$  sein Azimut. In der unteren Lagekugel, die der Geologe benutzt, hat die Kluft  $-\vec{v}_i$  die Koordinaten  $\alpha_i + \pi$  und  $\beta_i$ , wobei  $\beta_i$  ihre Nadirdistanz ist.

### Richtungsstatistische Auswertung

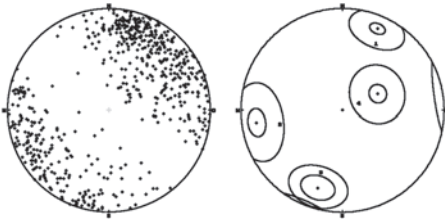
Bei der geologischen Klüftkartierung bildet der Geologe unter Benutzung des LAMBERTSchen flächentreuen Azimalentwurfs die untere Lagekugel in die Ebene ab (Abb. 4). Die Abbildung heißt in der Geologie SCHMIDTSches Netz und die Kartierung der vermessenen Klufflächen im SCHMIDTSchen Netz wird als Gefügepunktdiagramm bezeichnet.

Im Folgenden werden aus unseren Untersuchungen derartige Gefügepunktdiagramm-



**Abb. 4:** Flächentreue Abbildung der unteren Lagekugel mit der Kluff K, Erzeugung des Gefügepunktdiagramms im SCHMIDT'schen Netz.

me gezeigt, wie z.B. in Abb. 5 (links) vom Steinbruch Petersberg, der in Abb. 1 zu sehen war.



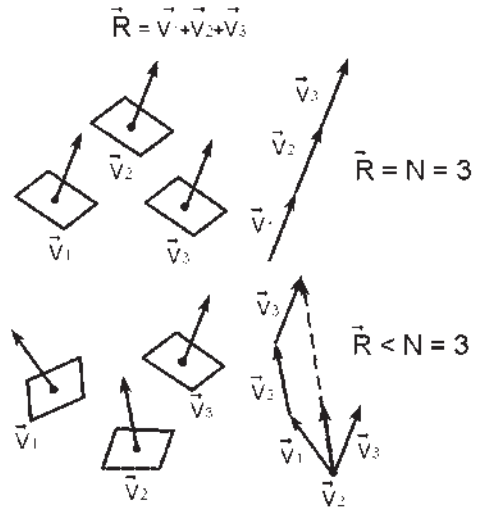
**Abb. 5:** Gefügepunktdiagramm (links) und daraus abgeleitete Kluffscharen mit ihren Streu- und Konfidenzkegeln (rechts) im SCHMIDT'schen Netz.

Bei der richtungsstatistischen Auswertung werden die vermessenen Klüfte nach Kluffscharen geordnet. Aus den N Klüften einer Schar wird der Regelvektor  $\vec{R}$  über die Summe der Stellungsvektoren  $\vec{v}_i$  berechnet:

$$\vec{r} = \sum_{i=1}^N \vec{v}_i \tag{1}$$

Wie aus Abb. 6 ersichtlich, zeigt der Regelvektor in die Richtung  $\vec{r}_i$  der Achse dieser Schar:

$$\vec{r}_i = \frac{\vec{R}}{R} \quad \text{mit} \quad R = |\vec{R}| \tag{2}$$



**Abb. 6:** Regelung der Kluffscharen, oben: strenge Regelung – keine Streuung (Parallelorientierung), unten: schwache Regelung – Streuung der Klüfte innerhalb der Schar.

Darüber hinaus ist sein Betrag R ein Maß für die Regelung der Klüfte in der Schar:

$$[N/2 \leq R \leq N] \tag{3}$$

Bei strenger Regelung, Parallelorientierung der Klüfte, ist R gleich N (Abb. 6) und bei völliger Unordnung (Gleichverteilung über die untere Lagekugel) ist R gleich N/2.

Die Abhängigkeit von N wird beim Vergleich der Regelvektoren als störend empfunden. Deshalb wird (3) in das Intervall

$$[0 \leq RG \leq 1] \tag{4}$$

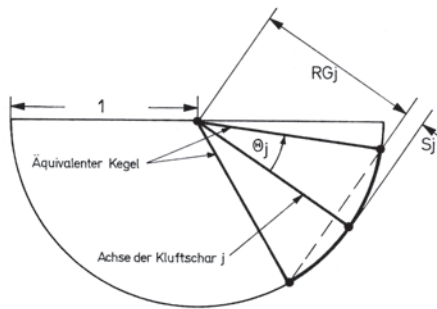
durch die Transformation

$$\frac{(2R - N)}{N} = RG \tag{5}$$

abgebildet. Die nach (5) aus R und N abgeleitete Vergleichsgröße RG heißt Regelungsgrad. Die komplementäre Größe S ist der Streuungsgrad, der sich aus

$$S = 1 - RG \quad \text{mit} \quad [1 \geq S \geq 0] \tag{6}$$

ergibt.



**Abb. 7:** Vertikalschnitt durch die Lagekugel in Richtung der Achse einer Klufschär  $j$  mit der Darstellung des Streukegels.

In Abb. 7 wird der Vertikalschnitt durch die Lagekugel in Richtung der Achse einer Klufschär  $j$  gezeigt. Mit der Pfeilhöhe  $S_j$ , dem Streuungsgrad der Klüfte dieser Schar, wird eine Kugelkappe abgeschnitten. Die Spur ist ein Kreis, dem der so genannte Streukegel mit dem Öffnungswinkel

$$\Theta_j = \arccos(1 - S_j) \quad (7)$$

zugeordnet ist. Er wird in MENZ (1988) auch als äquivalenter Kegel bezeichnet. Denn wären die Klüfte dieser Schar  $j$  unter Beibehaltung des aus den Messungen abgeleiteten Regelungsgrades  $RG_j$  zentralsymmetrisch gleichverteilt, dann würden alle Klüfte dieser Schar  $j$  innerhalb des Streukegels liegen. Unter der Annahme zentralsymmetrischer Normalverteilung lassen sich darüber hinaus für vorgegebene statistische Sicherheiten (hier z. B. 95 %) die Öffnungswinkel der Konfidenzkegel zur Beurteilung der Genauigkeit der Raumstellung der Achsen der Klufscharen bestimmen.

Die Ergebnisse der richtungsstatistischen Auswertung, die Achsen der festgestellten Klufscharen und ihre zugehörigen Streu- und Konfidenzkegel, werden ebenfalls im SCHMIDT'schen Netz dargestellt. In Abb. 5 (rechts) werden z. B. die Ergebnisse für das in Abb. 5 (links) gezeigte Gefügekpunktdiagramm wiedergegeben. Anhand solcher Darstellungen sollen im Folgenden die photogrammetrischen Auswertergebnisse präsentiert und diskutiert werden. Auf das Ver-

fahren zur Klassifizierung der Klüfte und ihrer richtungsstatistischen Auswertung wird in MENZ (1988) näher eingegangen.

### 3 Analytisch – photogrammetrische Klufkartierung

#### Aufgabenstellung

Die direkte Vermessung der Klüfte mit dem Geologenkompass wird dann riskant, wenn die Festgesteinsböschungen schwer zugänglich sind. In solchen Fällen stellt die stereophotogrammetrische Aufnahme der Felswände eine Alternative dar. Bei der analytisch-photogrammetrischen Klufkartierung werden die Stereobilder an einem Stereokomparator ausgemessen. Dabei muss jede interessierende Kluftebene durch mindestens 3 nicht auf einer Geraden liegende Messpunkte erfasst werden.

In einem Computer-Programm werden aus den Bildkoordinaten der Messpunkte ihre Landeskoordinaten in einem nach Nord ausgerichteten System berechnet. Aus diesem Grund muss bei den Stereoaufnahmen auch das Azimut der Aufnahmeachsen mit einer Bussole bestimmt werden. Durch die im Landeskoordinatensystem vorliegenden Messpunkte jeder Klufte wird eine ausgleichende Ebene gelegt und deren Stellungsvektor bestimmt (MARTIENBEN 1994). Anhand dieser Stellungsvektoren wird das Gefügekpunktdiagramm der vermessenen Klüfte erzeugt und nach MENZ (1988) richtungsstatistisch ausgewertet.

#### Genauigkeit und Messaufwand

Kurz nach dem Weggang von Prof. Rüger, der die Tür für die folgende Anwendung der Photogrammetrie geöffnet hat, wurde im Jahre 1969 an der Bergakademie Freiberg die erste photogrammetrische Kluftaufnahme durchgeführt, und zwar die Aufnahme des Bastei-Massivs bei Rathen. Die Aufnahme wurde für ein geologisches Standsicherheitsgutachten gebraucht.

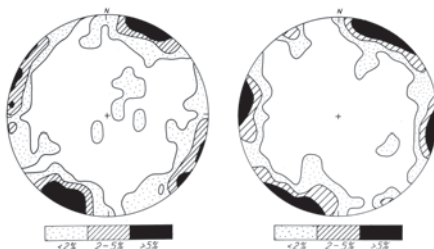
Die Abb. 8 zeigt in einem Messbild das Basteimassiv. Die vermessenen Klüfte sind durch weiße Punkte markiert und die aus-



**Abb. 8:** Elbseitige Ansicht des Basteimassivs in der Sächsischen Schweiz, Messbild mit Markierung der vermessenen Klüfte, Profil- und Höhenlinien.

gewerteten Höhen- und Profillinien perspektivisch eingezeichnet worden (MENZ & HEISE 1970).

Die richtungsstatistische Auswertung im SCHMIDT'schen Netz zeigt eine gute Übereinstimmung der Ergebnisse aus Photogrammetrie und Kompassmessung, die im oberen zugänglichen Bereich möglich war (Abb. 9). Das bestätigte die Brauchbarkeit der Methode, die bereits in LINKWITZ (1963) empfohlen und danach u. a. in ADLER (1969), ADLER et al. (1972) und KLEINSTÄUBER (1977) erfolgreich angewandt worden ist. Nach diesen und unseren weiterführenden Untersuchungen können bei der analytisch-photogrammetrischen Kluftkartierung die Genauigkeiten der Kompassmessung erreicht werden.



**Abb. 9:** Gegenüberstellung der Auswertergebnisse vom Basteimassiv, links – photogrammetrische Bestimmung und rechts – Kompassmessung.

In den von uns erstellten Programmen zur analytisch-photogrammetrischen Kluftkartierung werden in Abhängigkeit von der Form und Größe der vermessenen Klufflächen Genauigkeitsmaße berechnet, über welche die Genauigkeit der richtungsstatistischen Auswertung gesteuert werden kann. Außerdem liefern die Programme im Rahmen der richtungsstatistischen Auswertung auch Angaben zur Kluffkörpergrößenverteilung und zum mittleren Kluffkörper (MENZ (1988). Kluffkörper sind Gesteinskörper, in die z. B. das Festgestein bei der sprengtechnischen Gewinnung zerfällt.

Bei der Bewertung der analytisch-photogrammetrischen Auswertverfahren tritt der relativ hohe Zeitaufwand für die Vermessung der Klüfte am Stereokomparator als ein entscheidender Nachteil auf. Aus diesem Grund wurde nach Möglichkeiten zur Reduzierung dieses Arbeitsaufwandes gesucht und ein Konzept zur weiteren Automatisierung des Verfahrens entwickelt, das Gegenstand der folgenden Ausführungen sein soll.

#### 4 Digitale photogrammetrische Kluftkartierung

##### *Konzept zur weiteren Automatisierung der photogrammetrischen Kluftkartierung*

Das von uns verfolgte Konzept nutzt die Möglichkeiten der digitalen Photogrammetrie. Softwarepakete zur Luftbildauswertung wie beispielsweise PHODIS, ERDAS, EASI/PACE und digitale photogrammetrische Workstation verfügen über Module zur automatischen Generierung digitaler Höhenmodelle (DHM). An unserem Institut steht das Programmsystem GEOMATICA von der kanadischen Firma PCI zur Verfügung, das für die DHM-Generierung die Software APEX bereitstellt.

APEX ist eine PC-Version der von Helava für digitale photogrammetrische Workstation entwickelten Software SOCET SET. Es ist ein leistungsfähiges Instrument zur automatischen Ableitung digitaler Höhenmodelle aus Luftbildern.

Durch die Anschaffung dieser Software waren für die weitere Automatisierung der photogrammetrischen Klufkartierung günstige Voraussetzungen gegeben. Deshalb entstand die Idee, in weiterführenden Forschungsarbeiten die drei grundlegenden Fragestellungen zu untersuchen.

1. Kann die für die Aerophotogrammetrie konzipierte Software APEX auch zur automatischen Ableitung brauchbarer digitaler Oberflächenmodelle (DOM) in der terrestrischen Stereophotogrammetrie eingesetzt werden, und zwar dann, wenn die Aufnahmeobjekte Felsböschungen sind?

2. Wenn ja, können Algorithmen und Verfahren zur automatischen Wiedererkennung und Auswertung der Klufflächen in den DOM entwickelt werden, die brauchbare Daten für die richtungsstatistische Auswertung mit den bereits von uns entwickelten Programmen liefern?

3. Wie kann die Klufflächenerkennung in den DOM durch weitere Varianten zur Auswertung der Grauwertinformationen noch verbessert werden?

In Voruntersuchungen konnte festgestellt werden, dass sich mit APEX brauchbare DOM von Felsböschungen aus Festgesteinstagebauten ableiten lassen. Die Untersuchungen wurden auf der Basis von bereits vorhandenen Stereobildern durchgeführt, die mit dem Phototheodolit 19/1813 von Zeiss JENA in Normal- oder Schwenkungsfall aufgenommen worden waren. Die positive Beantwortung der 1. Frage war der erste Schritt zur weiteren Automatisierung der photogrammetrischen Klufkartierung.

Die Beantwortung der 2. Frage, ob sich die Klüfte in den DOM wiedererkennen und auswerten lassen, war unter anderem Gegenstand der Untersuchungen in dem DFG geförderten Forschungsprojekt DFG II D2-Me 1111/3-2, in dem NGUYEN, VAN DIEN diese Fragestellung bearbeitet hat und in dem auch die 3. Frage nach weiteren Varianten zur Auswertung der Grauwertinformation mit beantwortet werden sollte. Der Abschlussbericht zu dieser Forschung wurde im März 2001 an die DFG übergeben. Über die Ergebnisse dieser Forschung soll im Folgenden berichtet werden.

## 5 Ergebnisse der durchgeführten Forschungsarbeiten

### *Zur Ableitung digitaler Oberflächenmodelle (DOM)*

Nach ZHANG & MILLER (1997) sind Verfahren zur adaptiven automatischen Gelände-Extraktion (AATE) entwickelt worden, die die Informationen aus allen im Überdeckungsbereich liegenden Bildern und Spektralbereichen nutzen können. In Verbindung mit einem wissensbasierten Regelsystem werden über merkmalsorientierte Methoden homologe Bereiche gesucht, in denen über intensitätsbasierte Verfahren (Bildkorrelation, kombiniert mit MKQ-Matching) schließlich die optimale Zuordnung gefunden wird. Die Nutzung dieses Methodenspektrums wird über Strategie-Files gesteuert, auf die der Anwender Einfluss nehmen kann. In unseren Voruntersuchungen zur automatisierten Ableitung der DOM wurden bisher nur die in APEX vordefinierten Strategien genutzt.

Bei der Durchführung der Steinbruchaufnahmen müssen die von APEX geforderten Bedingungen, die sonst für die Orientierung der Luftbilder über Bündelblockausgleichung notwendig sind, entsprechend nachgestellt werden. Über die Aufnahmedisposition kann die Genauigkeit der aus den Stereobildern abgeleiteten DOM gesteuert werden.

Für Genauigkeitsvoranschläge wird die Parallaxenmessgenauigkeit benötigt, die APEX bei der automatischen Bildzuordnung der vorliegenden Aufnahmeobjekte erreichen kann. Nach unseren Untersuchungen liegt diese Genauigkeit bei  $\pm 0,02$  mm oder  $\pm 1,4$  Pixel. Das bedeutet, dass eine Kluft von ca. 0,4 m Ausdehnung in der Aufnahmeentfernung von 30 m beim Basisverhältnis 1 : 5 mit einer Genauigkeit  $d\gamma = \pm 3^\circ$  erfasst werden kann, wobei  $d\gamma$  der Öffnungswinkel des Streukegels des Stellungsvektors ist. Diese Genauigkeit ist für richtungsstatistische Auswertungen völlig ausreichend.

Für die Ermittlung der Parallaxenmessgenauigkeit sind Kontrollmessungen herange-

zogen worden. Sie wird durch viele Faktoren beeinflusst, auf die hier nicht näher eingegangen werden soll. Der oben angegebene Wert ist im Mittel erreichbar.

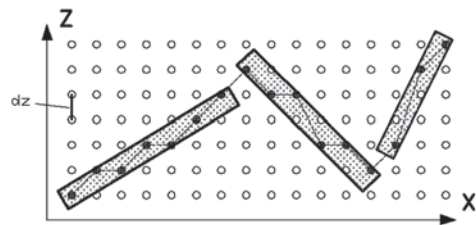
### Zur digitalen Klufftauswertung (DKA)

Im Rahmen der von der DFG geförderten Forschungsarbeit wurde die Software DKA entwickelt, welche die im DOM abgebildeten Klüfte wiedererkennen und auswerten kann. Dabei wird angenommen, dass die Klüfte Ebenen sind. Die Aufgabe bestand deshalb darin, Algorithmen zur Anpassung von Ebenen an die Punkte des DOM zu entwickeln.

Der in NGUYEN (2001) implementierte Algorithmus zur Ebenenerkennung arbeitet mit digitalen Bildern. Die Maschen des  $x$ ,  $y$  Rasters vom DOM sind die Pixel des digitalen Bildes, denen ganzzahlige  $z$ -Werte aus dem Intervall  $[0,255]$  durch Digitalisierung der in APEX abgeleiteten reellen  $z$ -Werte zugeordnet werden. Dabei ist die Wahl des Digitalisierungselementes  $dz$  eine wichtige Stellgröße, wie gleich noch gezeigt wird.

Zur Ebenenerkennung werden im Wesentlichen die ersten beiden partiellen Ableitungen von  $z$  nach  $x$  und  $y$  benutzt, d. h. Informationen über das Anstiegs- und Krümmungsverhalten in den Zeilen und Spalten der digitalen Bilder. Vereinfacht gesprochen, arbeitet der Algorithmus mit einer planparallelen Scheibe, deren maximal zulässige Dicke  $dz_{\max}$  vorgegeben werden muss. Die Scheibe kann über zwei Rotationen und drei Translationen im Raum gedreht und verschoben werden, so dass sie sich damit in jede gewünschte Raumstellung bewegen lässt. Innerhalb dieser Scheibe müssen stets alle Punkte einer vom Programm erkannten Kluft liegen. Die Kluftflächengrenze in der Zeile bzw. Spalte ist erreicht, sobald der erste Punkt außerhalb der Scheibe angetroffen wird.

In Abb. 10 wird in einem nach  $X$  ausgerichteten Vertikalschnitt gezeigt, wie die Klufftebenen mit einer planparallelen Scheibe der angepassten Dicke  $dz$  festgestellt werden können. In den  $X$ - bzw.  $Y$ -Schnitten ist die Scheibe dabei nur als Streifen zu sehen.



**Abb. 10:** Klufftebenerkennung im DOM mit Hilfe einer planparallelen Scheibe der Dicke  $dz$  ( $X$ -Schnitt).

Die Lage einer mit der Scheibe festgestellten Kluftfläche wird durch die Raumstellung der in Scheibenmitte liegenden Parallelebene ausgewiesen. Man erkennt, dass damit  $dz/2$  gleichzeitig ein Maß für die Genauigkeit der Ebenenerkennung ist, wobei die Bedingung:

$$dz < dz_{\max} \quad (8)$$

eingehalten wird. In der praktischen Arbeit muss deshalb bei der Vorgabe des Digitalisierungsintervalls  $dz_{\max}$  berücksichtigt werden,

1. mit welcher Genauigkeit  $S_z$  die Aufnahmeentfernungen  $Z$  in APEX ermittelt werden können und
2. wie groß die Abweichung der Klüfte von der Ebenengestalt ist.

Mit  $S_z$  wird die Standardabweichung der  $Z$ -Werte bezeichnet, die sich aus der oben genannten Parallaxenmessgenauigkeit ergibt. Der Algorithmus zur Klufftebenerkennung mit Hilfe einer planparallelen Scheibe sucht die Polyederanpassung an das DOM mit der minimalen Anzahl von Klufftebenen. Das heißt, in den Zeilen und Spalten wird jeweils diejenige Polygonanpassung als die Beste angesehen, die über die Bestimmung maximal großer Teilebenen (Klüfte) ermittelt worden ist. Bei der Auswahl der Klufftebenen in den Zeilen und Spalten des DOM wird mit dem Streifenoperator minimaler Dicke  $dz$  gearbeitet, der die Bedingung (8) erfüllt. Zu Beginn der Klassifizierung wird ein Algorithmus abgearbeitet, in dem die zur Bezugsebene des DOM steil



oder senkrecht stehenden Klüfte unter Vorgabe einer Steilanstiegsschwelle erkannt und ausgewählt werden.

## 6 Auswertebeispiele

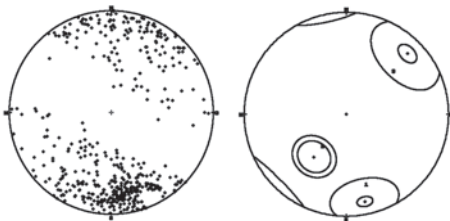
### Fallstudie Berbersdorf

Die ersten Versuchsauswertungen nach dem neuen Verfahren wurden im Steinbruch Berbersdorf durchgeführt. Die Abb. 11 zeigt einen Ausschnitt aus einem Messbild vom Biotit/Granit Steinbruch Berbersdorf.



**Abb. 11:** Ausschnitt aus einem Messbild vom Biotit/Granit Steinbruch Berbersdorf.

In Abb.12 sind die Gefügekpunktdiagramme (links) zu sehen, die aus der automatischen DOM-Generierung und DKA-Auswertung hervorgegangen sind. Rechts wird die zugehörige richtungsstatistische Auswertung gezeigt, die zu den Ergebnissen

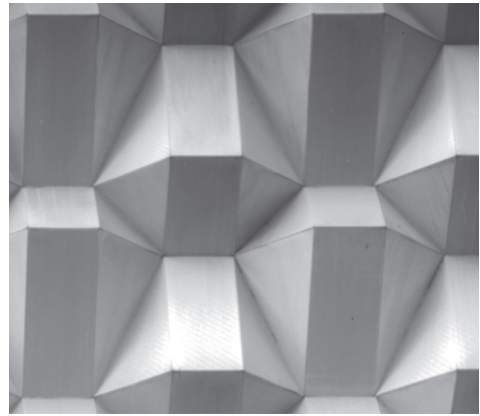


**Abb. 12:** Gefügekpunktdiagramm (links) und Richtungsstatistik (rechts) für Biotit/Granit im Steinbruch Berbersdorf, Ergebnisse der automatisierten digitalen photogrammetrischen Klüftkartierung.

der analytisch-photogrammetrischen Klüftkartierung passt.

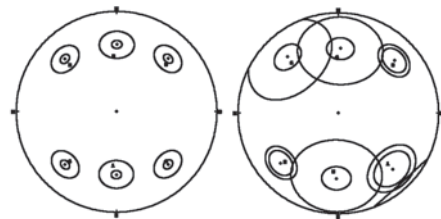
### Fallstudie Hertie-Kaufhaus Dresden

Als ein von der Geometrie her ideales Testobjekt sollte die Fassade des Hertie Kaufhauses Dresden dienen (Abb. 13). Die im all-



**Abb. 13:** Fassade des Hertie Kaufhauses Dresden, die als ein Testobjekt für die DKA-Erkennung genutzt worden ist.

gemeinen an Felsböschungen vorhandene Textur auf der Gesteinsoberfläche fehlt in diesem Beispiel. Dadurch bedingt, kam es bei der automatischen DOM-Generierung zu Ausreißern, die eliminiert werden mussten. In Abb. 14 werden (links) die Ergebnisse der Stecometerauswertung und (rechts) die aus der DOM-Generierung mit DKA-Auswertung gezeigt. Die Übereinstimmung der



**Abb. 14:** Gegenüberstellung der richtungsstatistischen Auswertung aus der manuellen Stecometermessung (links) und aus der DOM-Generierung mit DKA-Klüfterkennung (rechts).

richtungsstatistischen Auswertergebnisse spricht für die Brauchbarkeit des DKA-Programmes, dass an analytisch abgeleiteten und mit Störgrößen verfälschten DOMs von geometrisch bekannten Polyederflächen getestet worden ist.

## 7 Aufgaben für weiterführende Forschungsarbeiten

In weiterführenden Forschungsarbeiten soll der Einsatz digitaler Kameras für die Aufnahme der Gebirgsformation untersucht werden.

Es soll festgestellt werden, ob sich durch die Erhöhung der Anzahl der Aufnahmen und durch die Auswertung mehrerer Spektralbereiche die Qualität der DOM verbessern lässt. Nutzerdefinierte Strategie-Files sind zu konzipieren.

Wenn ein Gebirgskörper durch Stereoaufnahmen aus den drei um  $90^\circ$  versetzten Koordinatenrichtungen aufgenommen werden kann, können an Hand der den drei Koordinatenrichtungen zugeordneten DOM alle vertretenen Kluftrichtungen statistisch gleichwertig erfasst werden. Es soll gezeigt werden, wie durch Stereoaufnahmen aus unterschiedlichen Richtungen die Genauigkeit erhöht werden kann.

Im Zusammenhang mit der Auswertung der DOM durch das DKA-Programm sind weiterführende Untersuchungen zur richtigen Auswahl der Stellgrößen durchzuführen. An der gleichwertigen Erfassung der in Aufnahme richtung streichenden Klüfte muss weiter gearbeitet werden. Bei der DKA-Klufterkennung fallen die Ergebnisse unterschiedlich aus je nachdem, ob die Erkennung mit Zeilen- oder Spaltenpriorität durchgeführt worden ist.

Zur DKA-Erkennung der Klüfte aus Grauwerten kann zunächst der gleiche Algorithmus benutzt werden, allerdings mit einer stets horizontal gelagerten „Scheibe“, deren Dicke  $dz$  nun das Digitalisierungsintervall  $dg$  der Grauwerte ist, das wieder variiert werden kann. Auch hier ergeben sich Unterschiede in Abhängigkeit von der Klassifizierung nach  $x$  oder  $y$ .

Zur richtungsstatistischen Auswertung sollen nur die Kluftflächen herangezogen werden, die in allen Klassifizierungsvarianten erkannt worden sind und eine bestimmte Größe haben.

Die Verfahren zur automatisierten Erkennung der Korngrößen- und Kornformenverteilung von Haufwerk, die aufbauend auf MENZ & OHSER (1988) abgeleitet worden sind, können auch zur Erkennung der Kluftkörpergrößen- und -formenverteilung des Festgesteins eingesetzt werden. Sie bieten sich zur Identifikation der in Aufnahme richtung streichenden Klüfte an und sollen zum weiteren Ausbau des Verfahrens herangezogen werden.

## Literatur

- ADLER, R. E., 1969: Moderne Daten- und Informationsgewinnung und -verarbeitung in der Tektonik. – Zentralblatt für Geologie und Paläontologie. Teil I, **1969** (6): 1053–1079.
- ADLER, R. E., BODECHTEL, J. & HAYDN, R., 1972: Automation der photogeologisch-tektonischen Datenbearbeitung und -auswertung. – Bildmessung u. Luftbildwesen, **40** (4): 194–197.
- KLEINSTÄUBER, G., 1977: Photogrammetrisch-geologische Verfahren zur Kluftmessung an Felswänden und zur Analyse gesprengter Felsmassen. – Wissenschaftliche Zeitschrift der Technischen Universität Dresden, **26** (6): 1271–1276.
- LINKWITZ, K., 1963: Terrestrisch-photogrammetrische Kluftkartierung. – Felsmechanik und Ingenieur-Geologie, **28** (3): 152–159.
- MARTIENßEN, T., 1994: Entwicklung und Anwendung eines Verfahrens zur Bestimmung einer ausgleichenden Ebene. – Das Marscheidewesen, **101** (1): 5–9.
- MENZ, J., 1988: Photogeologische Strukturanalyse, ein BASIC-Programmsystem für Bürocomputer. – Zeitschrift für angewandte Geologie, **34** (1): 19–23.
- MENZ, J. & HEISE, G., 1970: Photogeologische Aufnahme des Basteigebietes westlich von Niederrathen. – Bergakademie, **22** (12): 709–713.
- MENZ, J. & OHSER, J., 1988: Rationelle Haufwerkanalyse durch digitale Bildverarbeitung. – Zeitschrift für angewandte Geologie, **34** (1): 24–26.
- MÖBUS, G., 1989: Tektonik. – 1. Aufl., 472 S., Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig.

NGUYEN, V., 2001: Kluftanalyse durch digitale Bildverarbeitung. – Forschungsbericht DFG II D2-Me 1111/3-2, 18 S., TU Bergakademie Freiberg.

ZHANG, B. & MILLER, S., 1997: Adaptive Automatic Terrain Extraction. – In: MC KEOWN, D.M. & MCGLONE, J.CH. (ed): Integrating Photogrammetric Techniques with Scene Analysis and Machine Vision. – III. SPIE Proceedings, **3072**: 27–36.

Anschrift der Autoren:

Prof. Dr.-Ing. JOACHIM MENZ,  
Dipl.-Ing. THOMAS MARTIENBEN,  
Dipl.-Math. VAN DIEN NGYUEN,  
TU Bergakademie Freiberg,  
Institut für Markscheidewesen und Geodäsie,  
Agricolastr. 1, D-09599 Freiberg  
e-mail: Joachim.Menz@mabb.tu-freiberg.de  
Thomas.Martienssen@mabb.tu-freiberg.de  
nvandien@yahoo.de

Manuskript eingereicht: Mai 2002

Angenommen: Mai 2002



## Berichte

### Festakt zum 50-jährigen Bestehen des BKG

In einer Festveranstaltung am 4. Juli 2002 in Frankfurt am Main wurde die Gründung des *Instituts für Angewandte Geodäsie (IfAG)* vor 50 Jahren und das erfolgreiche Wirken des Instituts, das 1997 nach einer Reorganisation in *Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG)* umbenannt wurde, gewürdigt. In dem großzügig gestalteten Gelände des Amtes an der Richard-Strauss-Allee trafen sich Vertreter aus Politik, Wissenschaft, den Fachverbänden des Geoinformationswesens und nationaler sowie internationaler Vermessungsverwaltungen.

Nach einer musikalischen Einleitung begrüßte der Präsident des BKG, Univ.-Prof. Dr.-Ing. DIETMAR GRÜNREICH, die zahlreich erschienen Gäste und Mitarbeiter. Er erläuterte die Geschichte und die gegenwärtigen Hauptaufgaben des BKG.

Die Festansprache hielt Frau BRIGITTE ZYPRIS, Staatssekretärin im Bundesministerium des Innern. Sie betonte u.a., dass in dieser Zeit des sehr rasch wachsenden Geodatenmarktes eine der Hauptaufgaben des BKG in der „nutzergerechten Bereitstellung von Geodaten“ bestehe.

Es folgten Grußworte des Vorsitzenden der Deutschen Geodätischen Kommission (DGK), Univ.-Prof. Dr. HANS-PETER BÄHR. Er hob besonders hervor, dass die Kompatibilität der geodätischen Grundlagen in Europa durch zentrale Maßnahmen gesichert werden muss. Die Erfassung und Laufendhaltung von Geodaten liegt in der Verantwortung der Länder.

Für die Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland (AdV) sprach deren Vorsitzender, der Leitende Ministerialrat Dipl.-Ing. FRIEDRICH VOGEL. Er hob hervor, dass auf der Grundlage des Abkommens von 1963 die Zusammenarbeit zwischen Bund und Ländern geregelt ist und eine ein-

heitliche Lösung für Geobasisdaten bewahrt werden muss.

Die Grüße von EuroGeographics überbrachte Präsident RICHARD KIRWAN, Irland.

Für den Deutschen Dachverband für Geoinformation e. V. (DDGI) sprach dessen Präsident, Dr. JOACHIM WÄCHTER.

Stadtrat FRANZ ZIMMERMANN überbrachte die Glückwünsche der Stadt Frankfurt am Main und

ENGELBERT SCHULZ sprach als Vorsitzender für den Gesamtpersonalrat im BKG.

Den Festvortrag „*Orientierung im Lebensraum – Geoinformationen in Bildern und Karten*“ hielt Univ.-Prof. Dr.-Ing. JÖRG ALBERTZ von der Technischen Universität Berlin. Mit seinen unkonventionellen Betrachtungen über die Orientierung von Mensch und Tier im Raum unterhielt er nicht nur die Zuhörer, sondern regte zum Nachdenken in vielfältiger Weise an. Seine Thesen „Das Revierverhalten der Tiere ist der Ursprung des Katasters“ oder „Der Mensch bevorzugt die Horizontale“ u. v. a. belegte er mit Worten und Bildern in anschaulicher Weise.

Die Festveranstaltung wurde umrahmt von Ausstellungen über Produkte und Entwicklungsarbeiten des BKG, von Demonstrationen geodätischer und kartographischer Geräte und Erzeugnisse und von einem Empfang für die Teilnehmer.

Es gab vielfältige Gelegenheiten, sich über die aktuelle Situation in Geodäsie, Kartographie und Photogrammetrie zu informieren und Kontakte anzuknüpfen.

KLAUS SZANGOLIES, Jena

### OEEPE Education services

Die Europäische Organisation für experimentelle Photogrammetrie (OEEPE) beginnt mit einem Ausbildungsprogramm über ihre Forschungsprojekte. Der Unter-

richt erfolgt in Form eines Fernkurses mit einem Einführungsseminar.

Das erste Seminar wird vom 10. bis 12. Oktober 2002 an der Aalborg Universität in Dänemark durchgeführt. Daran schließen sich folgende Kurse an:

- A: Integrierte Sensor Orientierung (21. 10. – 1. 11. 02)
- B: Automatische Orientierung von Luftbildern mittels Datenbanken (4.–15. 11. 02)
- C: Laser Scanning vom Flugzeug und Interferometrisches SAR (18.–29. 11. 02)

Jeder dieser Kurse hat einen Umfang von 2 Wochen und zwar nach der Methode „*Learning by doing*“ via Internet.

OEEPE „Education services“ wurden vorbereitet von einer Arbeitsgruppe, bestehend aus Prof. J. HÖHLE, Aalborg, Prof. C. HEIPKE, Hannover, Prof. K. TEMPFLI und Dozent J. NELSON, KTH Stockholm.

Weitere Informationen: <http://www.i4.auc.dk/jh/eduserv/homepage> oder mit e-mail: [jh@i4.auc.dk](mailto:jh@i4.auc.dk) oder über Tel.: +45-96-35 83 61, Fax: +45-98-15 57 75

### Neue Mitglieder der DGPF

Als neue Mitglieder begrüßen wir:

Dr. ARPAD BARSZ, H-1111 Budapest  
 Dipl.-Inform. JAN BÖHM, 70174 Stuttgart  
 Dr.-Ing. ANKO BÖRNER, 12489 Berlin  
 Dr. RUDOLF H. DITTEL, 86343 Königsbrunn  
 Dipl.-Ing. ADELHEID ELMHORST, 30655 Hannover  
 Dipl.-Ing. STEPHAN GEHRKE, 10557 Berlin  
 Dipl.-Ing. HEIDI HASTEDT, 26127 Oldenburg  
 STEFAN HINZ, 81669 München  
 Dipl.-Ing. RALF JANTOS, 27809 Lemwerder  
 ANDREAS KAHLE, 04910 Elsterwerda  
 Dipl.-Ing. ROBERT W. KUHN, 39016 Magdeburg  
 Dipl.-Ing. KARSTEN RAGUSE, 30167 Hannover  
 Dr.-Ing. ANDREAS REIGBER, 10623 Berlin  
 GOTTFRIED M. REIMANN, 44329 Dortmund  
 Dipl.-Ing. MATTHIAS RENTSCH, 82234 Weßling  
 Dipl.-Ing. FOLKE SANTEL, 30161 Hannover  
 GÜNTER SAUR, 76131 Karlsruhe

Prof. Dr.-Ing. MICHAEL SCHERER, 44141 Dortmund  
 Dipl.-Ing. SILKE SCHMIDT, 09125 Chemnitz  
 DANILO SCHNEIDER, 01062 Dresden  
 VITHOONE SYSAVATH, 09599 Freiberg  
 DIANA WALTER, 09599 Freiberg  
 Dipl.-Geogr. MICHAEL WEISMEIER, 81669 München  
 Dipl.-Ing. AXEL WENDT, 26129 Oldenburg

Neue korporative Mitglieder:

FH Hamburg, Hochschule für Angewandte Wissenschaften, Fachbereich Geomatik, 22297 Hamburg  
 TU Wien, Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung, A-1040 Wien  
 Universität Hannover, Institut für Kartographie und Geoinformatik, 30167 Hannover  
 con terra – Gesellschaft für Angewandte Informationstechnologie mbH, 48155 Münster

## Persönliches

### Professor KENNERT TORLEGÅRD zum 65. Geburtstag



Die meisten Photogrammeter und Fernerkunder in Deutschland werden den Schweden KENNERT TORLEGÅRD kennen, denn er hat bei uns in Deutschland viele Vorträge und Vorlesungen gehalten, an Konferenzen teilgenommen, wissenschaftlich gearbeitet, publiziert und dabei viele Freunde gewonnen. In diesem Jahr ist er 65 Jahre alt geworden und von der Königlich Technischen Hochschule Stockholm emeritiert (siehe auch PFG 4/2002, S. 300–302).

ANDERS KENNERT INGEMAR TORLEGÅRD wurde am 21. Januar 1937 in Vetland, Schweden geboren. Er studierte von 1957 bis 1961 an der KTH Stockholm Vermessung und erwarb damit das Diplom (MSc). Bis 1967 blieb er als Assistent von Prof. BERTIL HALLERT am Institut. Mit einer Arbeit „Bestimmung der inneren Orientierung von Nahbereichskammern unter praktischen Arbeitsbedingungen mittels dreidimensionaler Testobjekte“ erwarb er den PhD-Grad. 1971 wurde er Dozent und 1974 Ordentlicher Professor für Photogram-

metrie an der KTH. Forschung und Lehre waren fortan seine Hauptaufgaben bis zu seiner Emeritierung im Jahre 2002.

In seiner Forschungsarbeit widmete er sich zunächst der Nahbereichsphotogrammetrie, der Röntgen-Photogrammetrie, der Mikro- und Makro-Photogrammetrie, der Anwendung dieser Technik in der Medizin und in der Zahnheilkunde. Es folgten Arbeiten zur Analytischen Photogrammetrie, Ingenieurvermessung, zu Digitalen Geländemodellen und zur Computergestützten Kartographie. Ab 1974 bearbeitete er Themen wie Photogrammetrische Datengewinnung für großmaßstäbliche Datenbanken, Ausgleichung von Beobachtungen, Fehlertheorie, Digitale Höhenmodelle und ihre Genauigkeit. Seit einigen Jahren und noch heute forscht er an dem großen Aufgabengebiet „Integrierte Sensoren für Fernerkundung und Photogrammetrie“.

Bei uns wurde KENNERT TORLEGÅRD aber vor allem durch seine Tätigkeiten in der ISPRS und der OEEPE bekannt.

In der Internationalen Gesellschaft für Photogrammetrie und Fernerkundung war er von 1976 bis 1980 Präsident der Kommission V (Nicht-Topographische Photogrammetrie). Von 1984 bis 1988 war er Generalsekretär der ISPRS, von 1988 bis 1992 Präsident und von 1992 bis 1996 1. Vizepräsident. In dieser Zeit wurden zahlreiche Neuerungen in der Struktur und der Arbeitsweise der Gremien der ISPRS eingeführt. KENNERT TORLEGÅRD hat sich große Verdienste um die Effektivität der Arbeit der Gesellschaft erworben.

In der OEEPE, der Europäischen Organisation für experimentelle Photogrammetrie, war er von 1977 bis 2001 Schwedens Delegierter im Steering Committee. Mit seinem Institut der KTH hat er sich persönlich an vielen experimentellen Arbeiten beteiligt. Zahlreiche Publikationen der OEEPE belegen diese Initiativen. Seit 1993 ist KENNERT TORLEGÅRD Leiter der Arbeitsgruppe „GPS – gestützte Blocktriangulation“. Von 1996

bis 2000 war er Präsident des Science Committee der OEEPE.

Diese drei Hauptfelder des Wirkens von KENNERT TORLEGÅRD sind charakteristisch für ihn. Darüber hinaus könnte man leicht zehn weitere Gebiete nennen, auf denen er erfolgreich tätig war und ist. Dazu gehören die Gastprofessuren und Forschungsaufenthalte in vielen Ländern und an vielen Hochschulen und Forschungsinstituten. In Deutschland gehören dazu die Hochschule der Bundeswehr in München, die TU München, die Bayerische Akademie der Wissenschaften, deren Korrespondierendes Mitglied er seit 1986 ist, die Universität Stuttgart u. a.

In Schweden hatte er neben seiner Lehrtätigkeit viele zusätzliche Funktionen an der KTH übernommen bis zum Dekan und Vizepräsidenten. Seit 1983 ist er Mitglied der Royal Swedish Academy of Engineering Sciences.

Bei all seiner akademischen und hochwissenschaftlichen Tätigkeit ist KENNERT TORLEGÅRD ein liebenwürdiger, kooperativer, stets aufmerksam zuhörender, angenehmer Kollege geblieben.

Der Vorstand der DGPF gratuliert KENNERT TORLEGÅRD nachträglich zu seinem 65. Geburtstag und zu seiner Emeritierung. Wir hoffen und wünschen, ihn noch lange auf Fachveranstaltungen für Photogrammetrie und Fernerkundung in Deutschland begrüßen zu können.

KLAUS SZANGOLIES, Jena

### **Prof. Dr.-Ing. WANG ZHIZHUO †**

Am 18. Mai 2002 verstarb im Alter von 92 Jahren mit WANG ZHIZHUO ein in der photogrammetrischen Welt und insbesondere auch in Deutschland bekannter und verehrter Senior des Fachgebietes.

WANG ZHIZHUO hatte 1939 bei Prof. OTTO LACMAN an der TH Berlin promoviert und 1989 dort auch die goldene Doktorurkunde verliehen bekommen.

WANG ZHIZHUO kehrte 1939 über Paris nach China zurück. Er war 1956 Gründungsmitglied und Professor für Photogrammetrie des Wuhan College für Vermessungswesen, das später in Universität für Vermessungswesen umbenannt wurde. Nach der Kulturrevolution in China bereitete er den chinesischen Anschluss an die internationale Photogrammetrie vor, wobei er insbesondere sehr intensive Kontakte zu Deutschland pflegte. 1988 verlieh ihm die ISPRS die Ehrenmitgliedschaft. Aus seiner Feder stammen zwei beachtete Lehrbücher und eine lange Reihe von Publikationen.

Am 15.12.1998 veranstaltete die Wuhan Technical University for Surveying and Mapping WTUSM in China ein Internationales Symposium zur Feier des 90. Geburtstages von WANG ZHIZHUO. Die DGPF war bei dieser Veranstaltung repräsentativ vertreten und konnte dem Jubilar die Wünsche des Vorstandes und der Mitglieder überbringen (PFG berichtete darüber 3/1999, S. 207).

Die Deutsche Gesellschaft für Photogrammetrie und Fernerkundung trauert um Prof. Dr.-Ing. WANG ZHIZHUO; sie verliert mit ihm einen engagierten Fachmann und großartigen Menschen.

GOTTFRIED KONECNY, Hannover



## Hochschulnachrichten

### Ruhr-Universität Bochum

Am 29. Juni 2001 wurde Frau Diplom-Geographin CHRISTIANE LECHTENBÖRGER an der Fakultät für Geowissenschaften der Ruhr-Universität Bochum zum Dr. rer. nat. promoviert. Das Thema ihrer Dissertation lautet: *Rechnergestützte Bilddatenanalyse im Umweltmonitoring. Zum Einsatz wissenschaftlicher Klassifikationen und Veränderungsanalysen mit handelsüblicher Fernerkundungssoftware.*

Gutachter waren die Professoren Dr. JÜRGEN DODT und Dr. HANS-JÜRGEN KLINK. Die Dissertation ist zugänglich unter <http://www.ub.ruhr-uni-bochum.de/DigiBib/DissListen/Geow.html>.

**Autorinreferat:** Die einleitenden Kapitel der Arbeit widmen sich der Definition grundlegender Begriffe, der Diskussion von Verfahrensweisen des Umweltmonitoring sowie der bisherigen Nutzung von Fernerkundungsdaten und fernerkundlichen Analysetechniken für Aufgaben des Umweltmonitoring. Aus den hier ermittelten Defiziten leitete sich die Aufgabenstellung der vorliegenden Untersuchung ab. Zu ihrer Bearbeitung wurden Satellitenbilddaten (Landsat TM, MSS, SPOT pan) sowie digitalisierte Luftbilddaten (CIR- und Colorluftbilder aus Reihenmessbefliegungen) genutzt. Vorhandene Fernerkundungsdaten in ihren spezifischen Eigenschaften und Informationsgehalten auszuschöpfen und deren maximale Leistungsfähigkeit für Umweltmonitoringverfahren zu prüfen war eines der vordringlichen Ziele der Arbeit. Zu den entscheidenden Vorteilen dieser Daten gehört, dass sie i. d. R. preiswert angeboten werden und dass Erfahrungen sowie standardisierte Lösungsmöglichkeiten für Probleme im Datenhandling vorliegen (z.B. via Internet). Dadurch sind diese Daten für Büros und Kommunen erschwinglich und in besonderem Maße praxisrelevant.

Diese vorhandenen Datenbestände wurden mit Hilfe einer handelsüblichen und so-

mit allseits bekannten Software bearbeitet (ERDAS Imagine Version 8.4). Damit ist – anders als bei manchen institutsspezifischen Entwicklungen zur Lösung spezieller Problemstellungen – gesichert, dass jeder Zugang zu der Software hat.

Die Untersuchungen wurden am Beispiel „Haard und Umgebung“ in der nördlichen Ballungsrandzone des Ruhrgebietes durchgeführt, da dieses Gebiet einer hohen Nutzungsvielfalt und so auch einem hohen, differenzierten Nutzungsdruck unterliegt. So sind viele Umweltproblematiken dieses Raumes durchaus repräsentativ für andere Räume. Die entwickelten Verfahren und Methoden können somit vielfältig genutzt werden.

Die vermeintlich geringe Bodenauflösung vor allem der Satellitenbilddaten ist für viele Fragestellungen irrelevant und konnte zudem durch spezielle Vorprozessierungen der Daten aufgefangen werden; im Mittelpunkt standen die spektralen Informationen der Daten.

Auf Grund der angestrebten Praxisrelevanz der Arbeit war die Nachvollziehbarkeit der entwickelten Verfahren, die im Folgenden sukzessive beleuchtet werden, ein weiterer Schwerpunkt. Die Datenvorprozessierungen sowie die Datenanalysen werden für die Luftbild- und die Satellitenbilddaten jeweils separat vorgestellt.

Zunächst wurden die digitalen Luftbilddaten mit Hilfe eines Trommelscanners (Fa. Howtek) generiert. Eine kritische Bewertung der damit einhergehenden Datenverluste diente der Einschätzung der Qualität der digitalen Daten. Im Rahmen der Vorprozessierung wurden die digitalen Luftbilddaten geocodiert und mosaikiert. Die entsprechenden Arbeitsschritte sind in einem detaillierten Organigramm dokumentiert worden. Im Zuge der Analyse der Gesamtmosaik kamen verschiedene Indizes, so z.B. der Rot-Grün-Index, zum Einsatz. Auf Basis der Index-Bilder sowie weiterer Kollateraldaten, wie z.B. Landnutzungs-

klassifikationen, wurden die Designs der wissensbasierten Klassifikatoren entwickelt. Hierzu erfolgte eine Diskussion und Bewertung verschiedener gängiger Klassifikationsverfahren. Aufbauend auf den Einzelbildklassifikationen wurden die Veränderungsanalysen mit Hilfe des modifizierten „Change-Detection-Modul“ in ERDAS Imagine durchgeführt.

Da die Satellitenbilder unterschiedliche Aufnahmedaten aufweisen, war eine Atmosphärenkorrektur im Rahmen der Vorprozessierung geboten (ATCOR2 für ERDAS Imagine), hierzu fand eine Diskussion und Bewertung konkurrierender Ansätze statt. Die Optimierung der Detailschärfe war Teil der Geocodierung. Für die Analyse der Satellitenbilddaten wurden ebenfalls wissensbasierte Klassifikatordesigns entwickelt, in die u.a. Indexbilder (mNDVI) und ATKIS-Daten einfließen. Die Einzelbildklassifikationen stellten auch hier Eingangsdaten für die Veränderungsanalysen dar (modifiziertes „Change-Detection-Modul“). Als Ergebnis können somit Fernerkundungsdaten unterschiedlicher spektraler und räumlicher Auflösung (CIR- und Color-Luftbilder z.B.) sequentiell-vergleichend für Monitoringaufgaben analysiert werden. Hervorzuheben sind hierbei vor allem die Vorteile der wissensbasierten Klassifikationen. Sie ermöglichen datensatzübergreifend die Erfassung und Kartierung gleicher Kategorien und erlauben raumbezogene Quantifizierungen sowie Vergleiche der Datensätze untereinander, obwohl die Klassifikationsdesigns individuell auf den jeweiligen Datensatz zugeschnitten sind. Dadurch können die Ergebnisse für Veränderungsanalysen quantifiziert und im Raum verortet werden. Hierin liegt ein entscheidender Vorteil der entwickelten Verfahren.

Die erprobten Verfahren wurden abschließend in Handlungsempfehlungen zusammengefasst. Es folgte eine Diskussion möglicher Fehler, um dem potenziellen Nutzer eine Einschätzung der benutzten Verfahren zu erleichtern. Schließlich wurden die Kosten, die im Rahmen eines fernerkundlich gestützten Monitorings entstehen können, exemplarisch berechnet (EDV-

Ausstattung, Hard- und Software, Daten, Arbeitszeiten), um dem Praktiker auch hier eine Hilfestellung anbieten zu können.

Anschrift der Autorin: Dr. rer. nat. CHRISTIANE LECHTENBÖRGER, Rutgerweg 14, 44894 Bochum, Tel.: 0234-23 00 00, e-mail: c-lechtenboerger@web.de

### **Fachhochschule Karlsruhe** Internationaler Masterstudiengang Geomatics

Im Fachbereich Geoinformationswesen an der Fachhochschule Karlsruhe wurde zum Wintersemester 2001 der Internationale Masterstudiengang Geomatics eingeführt.

Einzigartig in Deutschland bietet der Studiengang die Kombination aus kartographischen und geodätischen Inhalten mit der Konzentration auf folgende Kernkompetenzen:

- Rechnergestützte Visualisierung, Kommunikation und Nutzung raumbezogener Information
- Räumliche Analyse im Kontext der Informations- und Kommunikationstechnologie
- Erfassung, mathematisch-statistische Modellierung und Georeferenzierung hybrider Daten.

Obwohl eine Reihe von Studiengängen in Geographie, Kartographie, Geodäsie, Geologie, Umweltwissenschaften etc. Lehrveranstaltungen zur Verarbeitung und graphischen Präsentation von Geoinformationen (GI) anbieten, beklagen Unternehmen und Einrichtungen der GI-Branche immer wieder das Fehlen geoinformatischer Querschnittskompetenz, wie sie in dem neuen Masterstudiengang vermittelt wird. Die Nachfrage nach derart qualifizierten GI-Spezialisten bietet den Absolventen national und international anspruchsvolle und zukunftssträchtige Arbeitsplätze beispielsweise in den Bereichen Umweltmonitoring, Location Based Services, Satellitennavigation oder auch Telekommunikation.

Das Studium gliedert sich in drei Studienabschnitte von jeweils einem Semester. Im Anschluss daran wird das Studium im 4. Semester durch eine Blockvertiefungsver-

anstellung abgerundet und mit der Masterarbeit abgeschlossen. Der zeitliche Gesamtumfang des Studiums beträgt 96 Semesterwochenstunden und wird mit Kreditpunkten nach dem European Credit Transform System (ECTS) bewertet.

Die Lehrinhalte sind in einem dreischaligen Modell integriert. Im Zentrum steht die raumbezogene Visualisierung. Das Grundwissen wird in Zusammenarbeit mit der Staatlichen Hochschule für Gestaltung (HfG) im Zentrum für Kunst- und Medientechnologie (ZKM) Karlsruhe gelehrt. Die mittlere Schale steht für Kompetenz im Bereich der Geoinformationssysteme mit ihrer engen Beziehung zur Raumanalytik innerhalb der Geowissenschaften. Hier werden die Studierenden für ein Semester vor allem an den ausländischen Partnerhochschulen ausgebildet. Auf der äußeren Schale liegen die Schnittstellen zu den Informations- und Kommunikationswissenschaften, zu den Navigationstechnologien und zu den verschiedenen Diffusionskanälen. Innerhalb dieses Modells können die Studenten mit der Vertiefungsrichtung „Raumbezogene Visualisierung“ und „Angewandte Geodäsie“ Schwerpunkte setzen.

Der Internationale Masterstudiengang wird vom Deutschen Akademischen Austauschdienst (DAAD) gefördert. Er ist speziell auf ausländische und international orientierte deutsche Studierende ausgerichtet. Den Studierenden wird dabei die Möglichkeit geboten, durch englischsprachige Vorlesungen und Studienaufenthalte im Ausland Erfahrungen und Qualifikationen auf internationaler Ebene zu erwerben.

Der Studiengang richtet sich an Absolventen/innen mit einem Bachelor-Abschluss oder einem gleichwertigen Hochschulabschluss, zum Beispiel in Geomatik, Kartographie, Geographie, Geoökologie, Geodäsie oder Vermessungswesen.

Kontakte: Prof. Dr. PETER FRECKMANN und Prof. Dr.-Ing. HEINZ SALER  
 Fachhochschule Karlsruhe – Hochschule für Technik, Fachbereich Geoinformationssysteme  
 Moltkestraße 30, 76133 Karlsruhe  
 Tel.: +49-721-925-2595, Fax: +49-721-925-2597, e-mail: [geomatics@fh-karlsruhe.de](mailto:geomatics@fh-karlsruhe.de)

## Universität Regensburg



### 4. INTERNATIONALES SYMPOSIUM „REMOTE SENSING OF URBAN AREAS“, Regensburg, 27.–29. Juni 2003

Zahlreiche technische Verbesserungen im Bereich der Bildaquisition und Bildverarbeitung ermöglichen neue Anwendungen der Fernerkundung im urbanen und suburbanen Raum. Vor dem Hintergrund anhaltender und sogar zunehmender Urbanisierung und Suburbanisierung bieten Bilddaten der Fernerkundung eine Möglichkeit zur effizienten Informationsbeschaffung und unterstützen damit viele Anwendungen, die dem Wohle der städtischen Bevölkerung dienen. Nach großer Resonanz auf die ersten drei Symposien zu diesem Thema wird vom 27. bis 29. Juni 2003 das vierte internationale Symposium in Regensburg veranstaltet. Die Veranstaltung wird von nationalen und internationalen Verbänden unterstützt (DGPF, EARSeL, ISPRS). Das Symposium bietet die Gelegenheit, den während der früheren Symposien begonnen Dialog fortzusetzen und weitere Erfahrungen auszutauschen.

Interessierte sind herzlich eingeladen sich zu informieren bzw. aktiv teilzunehmen. Für Firmen besteht die Möglichkeit, sich in einer begleitenden Messe zu präsentieren.

Alle weiteren Informationen zu diesem Symposium finden Sie unter: [www.urs2003.uni-r.de](http://www.urs2003.uni-r.de)

CARSTEN JÜRGENS, Regensburg

## ETH – Hoenggerberg Zürich

### Nachdiplomkurs „Räumliche Informationssysteme“

An der ETH Zürich (Departement Bau, Umwelt und Geomatik) findet im Wintersemester 2002/2003 zum wiederholten Mal der Nachdiplomkurs über räumliche Informationssysteme (RIS) statt. Der Kurs richtet sich an Fachleute, die sich in ihrem Berufsfeld vorwiegend mit Geodaten befassen. Vermittelt wir das erforderliche Wissen über eine effiziente und moderne Erfassung, Verwaltung, Analyse und Darstellung raumbezogener Daten. Die Teilnehmer erhalten einen Überblick über verschiedene Datenakquisitions- und Informationssysteme und lernen ihre Grundfunktionen und Einsatzmöglichkeiten kennen.

Der Unterricht wird in Form von Vorlesungen, Übungen, Demonstrationen und

Fallstudien erteilt. In der letzten Kurswoche ermöglichen Wahlmodule eine gezielte Vertiefung aktueller RIS-Themen. Diese Module können auch losgelöst vom Nachdiplomkurs besucht werden.

Der Nachdiplomkurs dauert insgesamt fünf Wochen (200 Stunden). Es ist eine gestaffelte Ausbildung von einer Kurswoche (40 Stunden) pro Monat. Die genauen Termine sind:

11.–15. Nov. 2002, 9.–13. Dez. 2002, 13.–17. Jan. 2003, 10.–14. Feb. 2003, 10.–14. März 2003. Anmeldeschluss ist der 16. Sep. 2002. Die Kursgebühr beträgt 2900.– Fr.

Detaillierte Informationen finden sich unter: [www.photogrammetry.ethz.ch/ndk](http://www.photogrammetry.ethz.ch/ndk). Auskünfte erteilt das NDK-Sekretariat, Institut für Geodäsie und Photogrammetrie, ETH Hönggerberg, 8093 Zürich (Frau S. Sebestyen, 01 633 31 57, [sebestyen@geod.baug.ethz.ch](mailto:sebestyen@geod.baug.ethz.ch); Frau K. Wolff, 01 633 30 54, [kirsten.wolff@geod.baug.ethz.ch](mailto:kirsten.wolff@geod.baug.ethz.ch)).

## Vorankündigungen

### 2002

8./9. November: The 10<sup>th</sup> ACM International Symposium on **Advances in Geographic Information Systems (ACM-GIS 2002)** in **McLean, VA, USA**. Auskünfte durch: Shu-Ching Chen, Tel.: +1-305-348-3480, Fax: +1-305-348-3549, e-mail: [chens@cs.fiu.edu](mailto:chens@cs.fiu.edu), [www.cs.fiu.edu/ACM\\_GIS2002/](http://www.cs.fiu.edu/ACM_GIS2002/)

10.–15. November: ISPRS Symposium Com. I, **Integrating Remote Sensing at the Global, Regional and Local Scale**. Joint meeting with 15<sup>th</sup> William T. Pecora **Memorial Remote Sensing Symposium in Denver, CO, USA**. Auskünfte durch: Pres. Prof. Stanley A. Morain, e-mail: [smorain@spock.unm.edu](mailto:smorain@spock.unm.edu) und: Amy Budge, Tel.: +1-505-277-36 22 ext.231, Fax: + 1-505-277-3614, e-mail: [abudge@spock.unm.edu](mailto:abudge@spock.unm.edu), [\[commission1.unm.edu/symposium.htm\]\(http://commission1.unm.edu/symposium.htm\),  
\[www.commission1.isprs.org/\]\(http://www.commission1.isprs.org/\),  
\[www.asprs.org/Pecora-ISPRS-2002/\]\(http://www.asprs.org/Pecora-ISPRS-2002/\)](http://isprs</a></p>
</div>
<div data-bbox=)

12.–14. November 2002: **1. Leica Geosystems GIS & Mapping User Group Meeting in Fürstenfeldbruck** bei München nach der im April 2001 erfolgten Integration von ERDAS und LH Systems in die Leica Geosystems GIS & Mapping Division. Auskünfte durch: Heike Weigand, GEOSYSTEMS GmbH, Riesstraße 10, 82110 Germering, Tel.: +49-89-89 43 43 11, e-mail: [h.weigand@geosystems.de](mailto:h.weigand@geosystems.de)

3.–6. Dezember: ISPRS Symposium Com. VII, **Resource and Environmental Monitoring in Hyderabad**, Indien. Auskünfte durch: Pres. Dr. Rangnath Navalgund, Tel.: +91-

79-676 88 62, Fax: +91-79-676272735, e-mail: rangnath@ad1.vsnl.net.in, Symposium Secretariat, Tel.: + 91-40-387 89 62 oder 387 83 60, Fax: +91-40-387 72 10, e-mail: isprstcvii@nrsgov.in, www.impel-india.com/isprs/symp.html oder www.commission7.isprs.org/

12. Dezember: Second International Workshop on **Web and Wireless Geographical Information Systems (W2GIS 2002)** and 3<sup>rd</sup> International Conference on **Web Information Systems Engineering (WISE 2002)** in **Singapur**. Auskünfte durch: Prof. Christophe Claramunt, Tel.: +33-2-9823-4206, Fax: +33-2-9823-3857, e-mail: iclaramunt@ecole-navale.fr oder: Dr. Bo Huang, e-mail: icvehb@nus.edu.sg, www.eng.nus.edu.sg/civil/conf/wgis2002/pipe.cais.ntu.edu.sg: 8000/wise2002/

## 2003

20.–24. Januar: ISPRS Workshop WG V/2 „**Videometrics**“ **SPIE Electronics Imaging Symposium** in **St. Clara, CA, USA**. Auskünfte durch: Sabry El-Hakim, Tel.: +1-613-991-6381, Fax: +1-613-952-0215, e-mail: sabry.el-hakim@nrc.ca

16.–19. Februar: The Australien Society of Exploration Geophysicists **16<sup>th</sup> Geophysical Conference and Exhibition Growth Through Innovation** in **Adelaide, Australien**. Auskünfte durch: Anna Dutkiewicz, Tel.: +30-610-99 78 77, e-mail: ase2003@aseg.org.au, www.aseg.org.au/conference/Adelaide

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

16.–22. Februar: **12. Internationale Geodätische Woche** in **Obergurgl, Tirol, Österreich**. Veranstalter: Institut für Geodäsie der Leopold-Franzens-Universität Innsbruck.

Auskünfte durch Tel.: 43-512-507-6757 oder 67 55, Fax: 43-512-507-29 10, Mobiltel.: 43-699-11 04 15 03, e-mail: geodaetischeweche@uibk.ac.at, URL: [http://geodaesie.uibk.ac.at/geod\\_wo.html](http://geodaesie.uibk.ac.at/geod_wo.html)

12.–14. März: **8. Münchner Fortbildungseminar Geoinformationssysteme** des „Runder Tisch GIS e.V.“ in **München**. Auskünfte durch: Frau Eva Horvath, TU München, e-mail: eva.horvath@bv.tum.de

3.–9. Mai: **ASPRS 2003 Annual Conference** in **Anchorage, AK, USA**. Auskünfte durch: <http://www.asprs.org/alaska2003>

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

3.–6. Juni: **23<sup>rd</sup> EARSeL Symposium** in **Gent, Belgien**. Auskünfte durch: Prof. Rudi Goossens, University of Gent, e-mail: rudi.goossens@rug.ac.be und earsel@meteo.fr

27.–29. Juni: ISPRS, WG VII/4, 4<sup>th</sup> International Symposium **Remote Sensing of urban Areas 2003** in **Regensburg**. Auskünfte durch: Dr. Carsten Jürgens, Co-chair WG VII/4, Tel.: +49-941-943-3630/3613, Fax: +49-941-943-4933, e-mail: carsten.juergens@geographie.uni-regensburg.de [www.urs2003.uni-r.de](http://www.urs2003.uni-r.de) und Dr. Gabor Remetey-Fulopp, Chair WG VII/4, Tel.: +36-1-301-4052, Fax: +36-1-301-4719, e-mail: gabor.remetey@fvm.hu

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

1.–3. Juli: ISPRS WG V/4 Workshop **Vision Techniques for Digital Architectural and Archaeological Archives** in **Ancona, Italien**. Auskünfte durch: Hirofumi Chikatsu (Chair

WG V/4), e-mail: chikatsu@g.dendai.ac.jp und Gabriele Fangi (Co-Chair WG V/4), Tel.: +39-71-220 47 42, Fax: +39-71-220 47 29, e-mail: fangi@popcsi.unian.it und fangi@mta01.unian.it

21.–25. Juli: **IEEE/IGARSS 2003** in **Toulouse**, Frankreich. Auskünfte durch: Dr. Bill Emery, e-mail: Emery@frodo.colorado.edu, www.ewh.ieee.org/soc/grss/igarss.html

13.–15. August: The 4<sup>th</sup> International Symposium on **Mobile Mapping Technology** „**MMT 2003**“ in **Kunming**, China. Auskünfte durch: Prof. Vincent Tao, Tel.: +1-403-220-58 26, Fax: +1-403-284-19 80, e-mail: ctao@ucalgary.ca, www.ucalgary.ca/~ctao

1.–5. September: **49. Photogrammetrische Woche** im Institut für Photogrammetrie der Universität **Stuttgart**. Auskünfte durch: Konferenzsekretärin Martina Kroma, Geschwister-Scholl-Str. 24 D, D-70174 Stuttgart, Tel.: +49-711-121-3386, Fax: +49-711-121-3297, www.ifp.uni-stuttgart.de e-mail: martina.kroma@ifp.uni-stuttgart.de

17.–19. September: **INTERGEO 2003** in **Hamburg**. Auskünfte durch: www.dvw.de und www.hinte-messe.de

17.–19. September: ISPRS Joint Conference of WG II/IV, III/4, III/5, III/6 „**Photogrammetric Image Analysis**“ in **München**. Auskünfte durch: Prof. Helmut Mayer, Tel.: 089-6004-3429/3455, Fax: 089-6004-4090, e-mail: Helmut.Mayer@UniBw-Muenchen.de

22.–25. September: **Optical 3D Measurement Techniques Conference** in **Zürich**. Auskünfte durch: Dr. Manos Baltsavias, Tel.: +41-1-633-3042, Fax: +41-1-633-1101, e-mail: manos@geod.baug.eth

30. September–4. Oktober: **CIPA Symposium „New Perspectives to Save Cultural Heritage“** in **Antalya**, Türkei. Auskünfte durch: Symposium-Direktor Prof. Dr. Orhan Altan, Tel.: +90-212-285 38 10, Fax: +90-212-285 65 87, e-mail: oaltan@itu.edu.tr, www.cipa2003-antalya.com/

Oktober: ISPRS WG VII/6 **Monitoring and Modelling of Global Environmental Change – How to link Local with Global?** in **Tokyo**. Auskünfte durch: Prof. Yoshifumi Yasioka, Tel.: +81-3-5452-6409, Fax: +81-3-5452-6408, e-mail: yyasuoka@iis.u-tokyo.ac.jp

## 2004

12.–23. Juli: **XX<sup>th</sup> ISPRS Congress – Geo Imagery Bridging Continents** in **Istanbul**, Türkei. Auskünfte durch: Kongressdirektor Prof. Dr. Orhan Altan, Tel.: +90-212-285-3810, Fax: +90-212-285-6587, e-mail: oaltan@srv.ins.itu.edu.tr, www.isprs2004-istanbul.com

20.–24. September: **IEEE/IGARSS 2004** in **Anchorage**, USA. Auskünfte durch: Dr. Bill Emery, e-mail: Emery@frodo.colorado.edu, www.ewh.ieee.org/soc/grss/igarss.html

## Zum Titelbild

### Digitale Höhenmodelle und Farborthobilder aus einer Hand – HRSC-AX, Genf



Das Titelbild zeigt eine Collage aus einem Farborthobildmosaik (oberer Bildbereich) und der Schummerungsdarstellung eines digitalen Oberflächenmodells (DOM, unterer Bildbereich). Beide Produkte wurden aus Stereo- und Multispektraldaten der High Resolution Stereo Camera-AX (HRSC-AX) abgeleitet und entstammen ein und derselben Befliegung. Zu sehen ist die Stadt Genf mit dem Süden des Genfer Sees und den Flussläufen von Rhone und Arve.

HRSC ist eine digitale Mehrzeilenkamera, die neun geometrisch und radiometrisch kalibrierte CCD-Zeilendetektoren zur Bildaufnahme im Pushbroomscanner-Verfahren verwendet. Mit Hilfe der Vorwärtsbewegung des Flugzeugs entstehen während der Befliegung gleichzeitig 5 panchromatische Stereobildstreifen (Along-Track Stereo) und 4 weitere Bildstreifen in den Farbkanälen Blau, Grün, Rot und Infrarot.

Eckdaten des Bildfluges:

Datum	01.04.2002
Flughöhe	ca. 5000 m über Grund
Bodenauflösung	ca.22 cm panchromatisch ca. 44cm Farbe

Produkteigenschaften:

DOM-Raster	100 cm
Auflösung IHS-Farborthomosaik	25 cm

Das Bild zeigt einen Ausschnitt des insgesamt ca. 110 km<sup>2</sup> großen Befliegungsgebiets, das mit insgesamt 10 Bildstreifen erfasst wurde. Die Daten wurden für die SWISSPHOTO AG prozessiert.

Die Erstellung der genannten photogrammetrischen Produkte (Digitales Oberflächenmodell und Orthobildmosaik) setzt die pixelgenaue Georeferenzierung der hochauflösenden Sensordaten voraus und stellt unter anderem hohe Anforderungen an die geometrische Kalibration des Kamerasystems. Für die effiziente Bearbeitung entsprechend großer Projektgebiete sind ein automatisierter Verarbeitungsprozess und direkte Georeferenzierung entscheidend.

Das flugzeuggetragene HRSC-System ist eine spin-off-Entwicklung aus der Planetenfernerkundung. HRSC wurde vom Institut für Planetenerkundung des DLR ursprünglich für die Mission Mars 94/96 entwickelt und wird ab 2003 bei der Mission Mars Express der ESA zum Einsatz kommen.

Seit 1997 wird HRSC operationell als digitaler photogrammetrischer Luftbildsensor eingesetzt und diente seither zur Erstellung hochauflösender DOM und Orthobildmosaiken für eine Gesamtfläche von mehreren Zehntausend km<sup>2</sup> weltweit. Seit 2001 befindet sich eine neue Kameraversion, HRSC-AX, die auch beim Bildflug Genf eingesetzt wurde, im operationellen Betrieb. Sie weist eine vergrößerte Schwadbreite auf und gestattet höhere Auslesefrequenzen, so dass sowohl höhere Bodenauflösungen als auch größere Bodenabdeckungen ermöglicht werden. Die photogrammetrische Prozessierung der Daten, für die ein automatisiertes Verarbeitungssystem entwickelt wurde, stützt sich auf während des Fluges kontinuierlich aufgezeichnete GPS/INS-Navigationsdaten.

Weitere Informationen zum aktuellen HRSC-System und den Entwicklungen der vergangenen Jahre finden sich im Beitrag SCHOLTEN et al.: Angewandte digitale Photo-

grammetrie mit der HRSC, PFG 5/2002, S. 317 (dieses Heft).

KLAUS GWINNER, Berlin

## Neuerscheinungen

ANDERS BOBERG (Hrsg.), 2002: Bildtechnik/ Image Science Nr. 2002:1, Photogrammetry meets Geoinformatics. Journal of the Swedish Society for Photogrammetry and Remote Sensing. Festschrift zur Emeritierung von Prof. Kennert Torlegård. 238 S., kartoniert. Druck: Universitetsservice USAB, Stockholm. ISSN 1104-5825. e-mail: abg@geomatics.kth.se

ELISABETH LICHTENBERGER, 2002: Die Stadt. Von der Polis zur Metropolis. 304 S. mit 252 s/w Abb., gebunden. PRIMUS Verlag GmbH, PF 101153, 64211 Darmstadt. ISBN 3-896 78-414-5. € 39,90

GERARD BEGNI, 2002: Observing our Environment from Space – New Solutions for a New Millennium. Proceedings of the 21<sup>st</sup> EARSeL Symposium, Paris, France, 14–16 May 2001. 448 S., gebunden. A.A. Balkema Publication, P.O. Box 1675, NL-3000 BR Rotterdam, e-mail: orders@swets.nl. ISBN 90 5809 254 2. € 119,-

NORBERT DE LANGE, 2002: Geoinformatik in Theorie und Praxis. XIV, 438 S., 175 Abb., 59 Tab., gebunden. Springer-Verlag, Tiergartenstraße 17, 69121 Heidelberg, Fax: +49-6221-487-8141. ISBN 3-540-43286-8. € 69,95

GEROLD OLBRICH, MICHAEL QUICK & JÜRGEN SCHWEIKART, 2002: Desktop Mapping. Grundlagen und Praxis in Kartographie und GIS. 3. überarb. u. erw. Auflage. IX, 309 S., 153 Abb., 25 Tab., mit CD-ROM, gebunden. Springer-Verlag, Tiergartenstraße 17, 69121 Heidelberg, Fax: +49-6221-487-8141. ISBN 3-540-64890-9. € 44,95

JOSEF STROBL, THOMAS BLASCHKE & GERALD GRIESEBNER (Hrsg.), 2002: Angewandte Geographische Informationsverarbeitung XIV. Beiträge zum AGIT-Symposium Salzburg 2002. XII, 624 S., kartoniert. Hüthig Fachverlage, Im Weiher 10, 69121 Heidelberg, e-mail: kundenservice@huethig.de. ISBN 3-87907-372-4. € 87,-

ALFRED STEIN, FREEK D. VAN DER MEER & BEN GORTE, (Edit.), 2002: Spatial Statistics for Remote Sensing. 300 S., Paperback. Kluwer academic publishers. Order Dept., P.O. Box 322, NL-3300 AH Dordrecht, e-mail: orderdept@wkap.nl. ISBN 1-4020-0551-2. € 45,-

A. I. KOZLOV, L. P. LIGTHART & A. I. LOGVIN, Dez. 2001: Mathematical and Physical Modelling of Microwave Scattering and Polarimetric Remote Sensing. Monitoring the Earth's Environment Using Polarimetric Radar. Formulation and Potential Applications. 260 S., Hardbound. Kluwer academic publishers. Order Dept., P.O. Box 322, NL-3300 AH Dordrecht, e-mail: orderdept@wkap.nl. ISBN 1-4020-0122-3. € 95,-

FREEK D. VAN DER MEER & STEVEN M. DE JONG, (Edit.), 2002: Image Spectrometry: Basic Principles and Prospective Applications. 425 S., mit CD-ROM, Hardbound. Kluwer academic publishers. Order Dept., P.O. Box 322, NL-3300 AH Dordrecht, e-mail: orderdept@wkap.nl. ISBN 1-4020-0194-0. € 125,-