

# PRG

# Photogrammetrie Fernerkundung Geoinformation

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

Jahrgang 2007, Heft 2

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

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

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



E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung  
(Nägele u. Obermiller) Stuttgart 2007



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

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



International Society  
for Photogrammetry  
and Remote Sensing

**DAGM**

Deutsche Arbeits-  
gemeinschaft für  
Mustererkennung e.V.



Herausgeber:

© 2007 Deutsche Gesellschaft für Photogrammetrie, Fernerkundung und Geoinformation (DGPF) e.V.  
Präsident: Prof. Dr.-Ing. Thomas Luhmann, Fachhochschule Oldenburg Ostfriesland Wilhelmshaven, Institut für Angewandte Photogrammetrie und Geoinformatik, Ofener Str. 16, D-26121 Oldenburg, Tel.: +49-441-7708-3172, e-mail: Praesident@dgpf.de, www.dgpf.de  
Geschäftsstelle: Dr. Klaus-Ulrich Komp, c/o EFTAS Fernerkundung Technologietransfer GmbH, Ostmarkstraße 92, D-48145 Münster, e-mail: klaus.komp@eftas.com

Published by:

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

© Gedruckt auf alterungsbeständigem Papier nach ISO 9706-1994

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

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

Verantwortlich für den Inhalt der Beiträge sind die Autoren.

ISSN 1432-8364

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

Schriftleiter: Prof. Dr. rer. nat. Carsten Jürgens, Ruhr-Universität Bochum, Geographisches Institut, Gebäude NA 7/133, D-44780 Bochum, e-mail: carsten.juergens@rub.de und Dr.-Ing. Eckhardt Seyfert, Landesvermessung und Geobasisinformation Brandenburg, Heinrich-Mann-Allee 107, D-14473 Potsdam, e-mail: eckhardt.seyfert@geobasis-bb.de

Erscheinungsweise: 7 Hefte pro Jahrgang.

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

Anzeigenverwaltung: Dr. E. Nägele, E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele u. Obermiller), Johannesstraße 3A, D-70176 Stuttgart, Tel.: 0711/35 14 56-0; Fax: 0711/35 14 56-99.  
e-mail: mail@schweizerbart.de, Internet: <http://www.schweizerbart.de>

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

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

## PFG – Jahrgang 2007, Heft 2

### Inhaltsverzeichnis

---

#### Originalbeiträge

KLEINSCHMIT, B., FÖRSTER, M., FRICK, A. & OEHMICHEN, K.: QuickBird Data – experiences with ordering, quality and pan sharpening .....	73
THEILEN-WILLIGE, B., MATTHES, L. & TRÖGER, U.: Remote Sensing and GIS Contribution to Natural Hazard Assessment in Yucatan, Mexico .....	85
REDWEIK, P. & JACOBSEN, K.: Handling Uncalibrated GPS/IMU Data for Medium Scale Mapping .....	99
ITZEROTT, S. & KADEN, K.: Gütebewertung für die Klassifizierung landwirtschaftlicher Fruchtarten aus spektralen Normkurven .....	109

#### Aus Wissenschaft und Technik

CARLS, H.-G. & MÜLLER, W.: Die Aktualität der Vergangenheit – der Kriegsflugbildbestand „JARIC“ in der modernen Kampfmittelbeseitigung .....	121
Anlage zum Beitrag CARLS & MÜLLER .....	128

---

#### Berichte

##### Berichte

ISPRS Kommission IV Symposium, 27.-30. September 2006 in Goa, Indien „Geospatial Databases for Sustainable Development“ .....	131
--	-----

##### Hochschulnachrichten

Universität Hannover, Dissertationen	
F. SANTEL .....	132
A. KOCH .....	133
M. GERKE .....	134
Technische Universität Wien, Dissertationen	
M. HOLLAUS .....	136

##### Persönliches

Prof. Dr. rer. nat. SIGFRID SCHNEIDER † .....	138
---	-----

##### Mitteilungen der DGPF

Neuer Hauptschriftleiter .....	139
PFG-Autorenhinweise .....	140
Vorlage für Manuskripte .....	142

Vorankündigungen .....	144
------------------------	-----

Zum Titelbild .....	148
---------------------	-----

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

# GEMEINSAME JAHRESTAGUNG von SGPBF, DGPF und OVG

19.– 21. Juni 2007 in Muttenz / Basel

Von der Medizintechnik bis zur Planetenforschung –  
Photogrammetrie und Fernerkundung für das 21. Jahrhundert



## 80. Hauptversammlung

Schweizerische Gesellschaft für Photogrammetrie,  
Bildanalyse und Fernerkundung (SGPBF)



## 27. Wissenschaftlich-Technische Jahrestagung

Deutsche Gesellschaft für Photogrammetrie,  
Fernerkundung und Geoinformation (DGPF)



## Jahrestagung 2007

Österreichische Gesellschaft für Vermessung und  
Geoinformation (OVG)

Organisation:



Fachhochschule Nordwestschweiz FHNW  
Hochschule für Architektur Bau und Geomatik  
Institut Vermessung und Geoinformation

Willkommen in Basel, der Kulturstadt am Rheinknie im Dreiländereck  
Deutschland-Frankreich-Schweiz!

**Basel**+

*Culture Unlimited.*

## QuickBird Data – experiences with ordering, quality and pan sharpening

BIRGIT KLEINSCHMIT & MICHAEL FÖRSTER, Berlin; ANNETT FRICK, Potsdam & KATJA OEHMICHEN, Hamburg

**Keywords:** QuickBird, VHR, ordering, pan sharpening, quality, remote sensing

**Summary:** The QuickBird sensor is one of the first commercial satellites that provides a submeter resolution. This article presents experiences with the ordering, the quality and pan sharpening of QuickBird data, which were acquired for different purposes in various regions of Germany and Asia.

The ordering process and the characteristics of the four offered products are described. The image characteristics depend mainly on the off-nadir view angle. The influence of slant effects and inclination are shown. Other data quality characteristics of QuickBird images are an induced overcharge in the sensor's charge-coupled devices (CCD) for highly reflective materials like metal or glass and "rainbow" pixels which occur along objects with high contrast. A big advantage of the available 11-bit data range is the possibility to differentiate further details in areas overthrown by shadow. Another challenging effect is the high and artificial texturing of areas with low reflection that should be very homogeneous.

Moreover, the quality of seven different pan-sharpening algorithms of three software products was tested. The study introduces the pan-sharpening accuracy assessment, which considers the spectral reliability of the fused data in comparison to the original image and the desired higher spatial frequency of the merged data. The Enhanced IHS fusion proved to be the most successful in pan sharpening QuickBird images.

**Zusammenfassung:** *QuickBird-Daten – Erfahrungen zu Datenbestellung, Qualität und pan sharpening.* Die Daten des Satelliten QuickBird sind eines der ersten kommerziell verfügbaren Produkte, welche eine geometrische Auflösung im Submeter-Bereich liefern. Der vorliegende Artikel gibt Erfahrungen zur Bestellung, Qualität und Auflösungsverbesserung durch pan sharpening der Daten wieder, die für verschiedene Auswertungen in unterschiedlichen Regionen Deutschlands und Asiens aufgenommen wurden.

Zunächst werden der Bestellprozess und die Charakteristika der vier angebotenen Produkte vorgestellt. Dabei hängt die Bildcharakteristik hauptsächlich vom Aufnahmewinkel (off-nadir) ab. Verzerrungseffekte können die Qualität der Daten erheblich mindern. Auch so genannte „Regenbogen“-Pixel, die an Objekten mit großem Kontrast auftreten, beeinträchtigen die Qualität der Daten. Weitere Artefakte entstehen durch stark reflektierende Materialien, wie Metall oder Glas, die eine Überladung in den lichtempfindlichen Halbleiterdetektoren (CCDs) des Sensors erzeugen. Ein Vorteil der Daten ist die hohe radiometrische Auflösung von 11-bit. Dadurch ist die Möglichkeit der Unterscheidung von Objekten in beschatteten Bereichen gegeben. Problematisch ist hingegen das Auftreten von künstlichen Texturen bei homogenen Gebieten mit geringer Reflektion.

Weiterhin wurde die Qualität von sieben verschiedenen pan sharpening Algorithmen dreier Software-Pakete getestet. Dafür wird eine Methode zur Prüfung der Genauigkeit der pan sharpening Resultate vorgestellt, welche sowohl die spektrale Ähnlichkeit der fusionierten Daten zum Ausgangsbild, als auch die gewünschte höhere räumliche Frequenz des Ergebnisses in die Analyse der Qualität einbezieht. Die Enhanced IHS fusion erwies sich dabei als erfolgreichste pan sharpening Methode für QuickBird Daten.

## 1 Introduction

The specification “very high resolution” (VHR) is not well-defined but commonly used for a geometric resolution of multispectral sensors with a ground sampling distance (GSD) of up to 4 m (EHLERS 2002). Examples for panchromatic and multispectral sensors operating as VHR systems are QuickBird, OrbView 3, Ikonos 2 or Eros A1 (see Tab. 1). Among these QuickBird, which was launched in October 2001, is one of the first commercial satellites that provides sub-meter resolution imagery. Its panchromatic band collects data with a 61 cm resolution at nadir while the multispectral ground sampling distance is 2,4 m at nadir. The company DigitalGlobe (Longmont, Colorado, US) offers different types of QuickBird’s high resolution imagery products supporting a wide range of applications such as

mapping purposes, monitoring of environmental aspects (floods, earthquakes, oil spills), land management forecasting and fire-risk assessment.

WorldView I, the successor of QuickBird, is scheduled for 2007 and will provide a panchromatic resolution of 46 cm at nadir. In 2008 WorldView II is anticipated to launch. It has a multispectral resolution of 1,84 m together with four additional colour bands. (DigitalGlobe 2006a).

## 2 Ordering data

The distribution of QuickBird satellite data is organised by a world wide network of international resellers. The master distributor for Europe and North Africa is Eurimage, headquartered in Rome, Italy, but there are also several local resellers (Eurimage 2006a).

**Tab. 1:** Examples for VHR systems (JACOBSEN 2006, modified).

System	Launch date	GSD [m] pan/MS	Radiometric Resolution	Swath [km]
IKONOS 2 USA	1999	0,82/3,24	11	11
EROS A1 Israel	2000	1,8 pan	11	12,6
QuickBird-2 USA	2002	0,61/2,44	11	16,5
OrbView 3 USA	2003	1/4	11	8
FORMOSAT-2 Taiwan	2004	2/8	12	24
Cartosat 1 India (stereo)	2005	2,5 pan	10	30
TopSat UK	2005	2,5/5	n. s.	15/10
ALOS Japan (stereo)	2006	2,5/10	8	35
EROS-B1 Israel	2006	0,82 pan	10	7
ResourceSat DK-1 Russia	2006	1/3	n. s.	28
KOMPSAT-2 South Korea	2006	1/4	8	15
WorldView I USA	2007	0,46 pan	11	16
OrbView 5 USA	2007	0,41/1,64	n. s.	n. s.
Pleiades France	2008	0,7/2,8	n. s.	n. s.
WorldView II USA	2008	0,46/1,84	11	16
EROS-C Israel	2009	0,7/2,8	n. s.	n. s.

The period of time between the initial data order and the actual delivery can vary greatly and depends on several factors. The first step in the ordering process is the decision for one of the available QuickBird products. These products mainly differ in the amount of pre-processing that is done prior to delivery. At the moment DigitalGlobe offers the following products (Eurimage 2006b):

- Basic imagery
- Standard and standard ortho-ready imagery  
Ortho-rectified imagery
- DigitalGlobe Digital Ortho Quarter Quad (DG DOQQ: only available for the United States).

Basic imagery is the least processed of the QuickBird Imagery Products. It is radiometrically and sensor corrected, but only geometrically corrected by inner orientation and not mapped to a cartographic projection and ellipsoid. This “quasi” raw data is delivered together with image support data files that provide information about attitude, ephemeris, geometric calibration, camera model, rational polynomial coefficients etc. allowing the customer to perform sophisticated photogrammetric processing such as ortho-rectification and three-dimensional feature extraction.

Standard imagery is delivered with radiometric and sensor corrections. Additionally, it is mapped to a cartographic projection using a coarse digital elevation model (DEM). According to the European data distributor Eurimage it is not suited for producing ortho-images, since the distortion introduced by the coarse DEM cannot be removed later on (VOLPE 2003). However, some advances were made in accurate ortho-image generation from QuickBird data (EISENBEISS et al. 2004). For customers intending to produce ortho-images, a Standard Ortho-ready product can be ordered, which does not use the coarse DEM for geometric correction. In this case further processing with rational polynomial coefficients (RPC) and detailed elevation information is possible in order to achieve good accuracies

comparable to those obtained from Basic imagery.

Ortho-rectified imagery is equivalent to the standard imagery, but uses a DEM and ground-control points (GCP) provided by the customer for geometric correction. Therefore the accuracy depends on the number and quality of the provided auxiliary data (DEM and GCPs).

According to the project objectives (e. g. ortho-images, stereo analysis, classifications), the available auxiliary data and the intended data processing steps, the best suited product level and its related options should be chosen. If there is no additional data, the standard product delivering a positional accuracy of 23 m (CE 90 %, RMSE 14 m, excluding terrain distortions) is recommended (DigitalGlobe 2006b). Otherwise the amount and quality of the customer delivered data defines the achievable accuracy level.

QuickBird data can be ordered either out of the comprehensive DigitalGlobe archive or by submitting a new collection request. When ordering out of archive, there is a rush option available. Otherwise there are three different tasking options, namely standard, priority and rush, which differ in multiple acquisition opportunities (including minimal/maximal order sizes), customer defined tasking parameters and prices.

Data turnaround times depend particularly on the chosen tasking option and product level, e. g. ortho-rectified imagery will need more time than the basic product. The delivery of the data can potentially be delayed for weeks or even months (DigitalGlobe 2006c). For certain applications there may be additional constraints, such as data acquisition during the vegetation period for forestry mapping and agricultural purposes. Furthermore the acceptable cloudiness, off-nadir angle and the size of area and other restrictions will influence the time until delivery as well. So the QuickBird revisit time depends on the latitude of the area of interest and the selected maximum off-nadir angle (see Tab. 2). Orders specifying large areas with a small off-nadir angle range will require multiple passes and several revisits.

**Tab. 2:** QuickBird revisit time in days as function of geographic latitude and nadir angle (Digital Globe 2005).

Latitude	Nadir angle			
		0° to 15°	0° to 25°	0° to 45°
0		11	6	3
10		11	6	3
20		9	5	3
30		9	5	2
40		8	5	2
50		7	4	2
60		7	4	1
70		5	3	1
80		3	2	1

Since there are quite a few applications for QuickBird satellite imagery, unexpected events such as natural disasters or military interests may result in a sudden increasing demand for up-to-date QuickBird data that can further prolong the delivery time. In such a situation where the demand exceeds the acquisition capacity, it seems that smaller orders tend to get less priority than bigger ones. To circumvent the delay for research projects intensive communication is neces-

ary, which may be easier when working with a local reseller.

### 3 Image Quality

The image quality depends mainly on the off-nadir view angle. Larger nadir angles are increasing the pixel size on ground and a longer path through the atmosphere. Scenes captured close to the nadir have a better quality. As soon as the view angle exceeds 15° slant effects occur, which can also affect the classification or interpretation processes.

In Fig. 1 the differences in two subsets from scenes with 5,6° and 20,5° off-nadir are shown, the subsets have the same scale. In urban areas with very high buildings the inclination is another negative effect (see Fig. 4).

Because of the sensors' very high radiometric resolution there is no over-saturation of large areas. Nevertheless, highly reflective materials like metal or glass can induce an over-charge in the sensor's CCDs resulting in white cones (see Fig. 2).

A big advantage of the 11-bit data-range is the possibility to differentiate further details in areas overthrown by shadow. In Fig. 3 trees in a house-shadow can be interpreted after a histogram stretch. It depends of course on the kind of urban structure, in areas with very dense and high buildings no scatter light falls into the shadowed areas



**Fig. 1:** Subset of a QuickBird-scene with 5,6° off-nadir view angle on the left (Potsdam) and 20,5° on the right (Lieberose), pan-sharpened image (RGB: 4,3,2).



**Fig. 2:** Over-charged areas, pan-sharpened image (Schwedt, RGB: 4,3,2).



**Fig. 4:** Problem of shadow and inclination of buildings in very high and dense areas (Seoul, RGB: 3,2,1).



**Fig. 3:** Shadow-area after a histogram stretch, pan-sharpened image (Potsdam, RGB: 4,3,2).

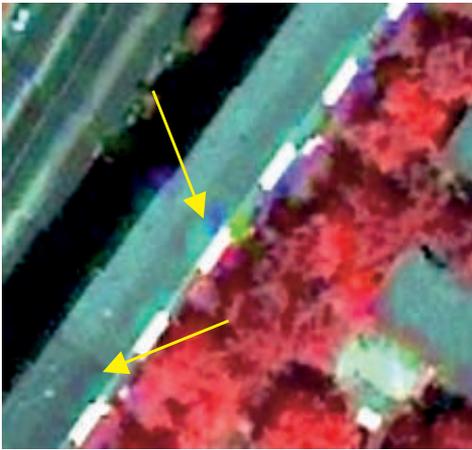
and no further information can be extracted (see Fig. 4).

A negative characteristic of QuickBird imagery are ‘rainbow’ pixels that occur along objects with high contrast. This effect is due to the separate processing of the single multispectral bands, slight shifts among the bands lead to the assignment of wrong neighbours during the resampling process<sup>1</sup>. DigitalGlobe suggests the use of other con-

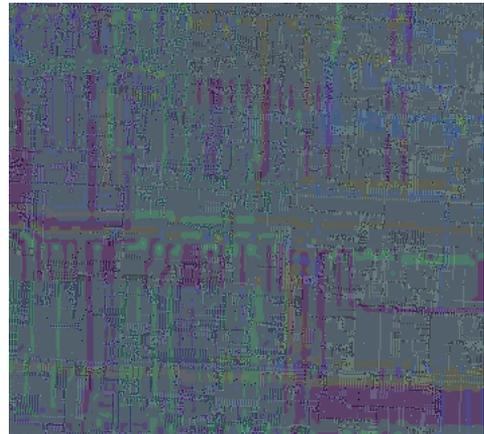
volution kernels for resampling, but with cubic convolution, for instance, almost every image error can be smoothed over. So this is no solution for imagery that is to be used in digital classification.

Another negative effect is the high and artificial texturing of areas with low reflection that should be very homogeneous. In Fig. 6 a strangely textured water body is shown. DigitalGlobe finds the source of this error in the downlink process from sensor to earth<sup>1</sup>.

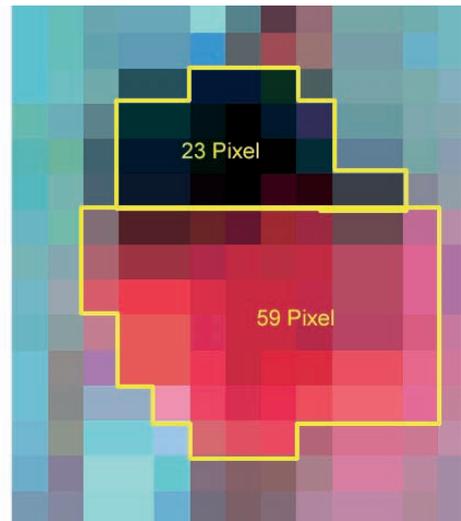
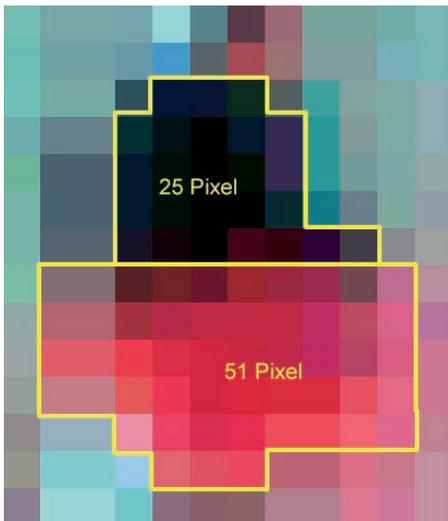
<sup>1</sup> internal technical Memo, Eurimage



**Fig. 5:** 'Rainbow' pixels along edges with high contrast, pan-sharpened image (Potsdam, RGB: 4,3,2).



**Fig. 6:** Artificial texturing in a water body, pan-sharpened image (Falkensee, RGB: 4,3,2).



**Fig. 7:** Differences in the resampling process, left: resampled 2004, right: resampled 2005, multi-spectral image (LIEBEROSE, RGB: 4,3,2).

Since the resampling process and the applied kernels are object of constant research and change within DigitalGlobe it can result in different standard imagery, though captured on the same day, but processed at a later time. This can lead to serious consequences when additional data is ordered. In Fig. 7a subset is shown where the source of both sides is the same scene (captured in September 2004), the left part was ordered

in 2004 whereas the right part was ordered in 2005. Both subsets were processed as standard imagery with nearest neighbour resampling. Both shadow area and tree area are not only shifted but also differently sized. This can affect the extraction of quantitative parameters.

One of the big disadvantages is the fact, that up to 20% of cloud coverage have to be accepted. Under certain circumstances

this can render an image useless if the most interesting part of the ordered area is covered by clouds or their shadow.

#### 4 Pan-sharpening algorithms for data fusion

Commercial image-analysis software packages provide standardised algorithms to fuse panchromatic images of high spatial resolution with multispectral images of lower resolution. In some cases, these algorithms are adapted to certain sensor types, such as QuickBird. There are different quality parameters, depending on the purpose of the image analysis. In this study, the aim of the merging tools is defined to preserve the spectral information, while enhancing the spatial variability. Therefore, additive pan-sharpening algorithms, such as the Brovey transform (VRABEL 1996) were not considered here. The pan-sharpening tests were examined on a QuickBird image of a pre-alpine area in Bavaria.

To test the quality of the information fusion the image was separately pan sharpened with seven different merging algorithms of three software packages:

ERDAS IMAGINE 8.7 (Service Pack 2):

- Principal component resolution merge (PCA)
- Wavelet PCA resolution merge

- Modified IHS resolution merge (SIDDIQUI 2003)

PCI 9:

- Enhanced IHS fusion (ZHANG 2002, ZHANG & HONG 2005)

ENVI 4.2

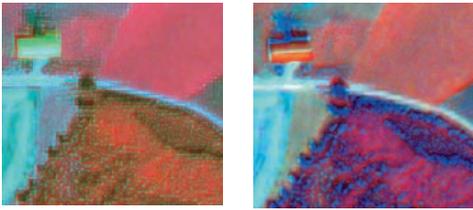
- Gram-Schmidt spectral sharpening (LABEN 2000)
- Principal component spectral sharpening (ENVI PC)
- Colour normalized spectral sharpening (ENVI CN)

To examine the dependency of the pan sharpening algorithms on different spectral and textural materials, the analysis was carried out for subsets of three different land-use types (agricultural, forest, urban).

In a first step, the statistical features (average, median, minimum, maximum) of these algorithms were compared to the original QuickBird image. For two merging tools, PCA and ENVI CN, the average grey values for the subset differ significantly from the multispectral values of the original image, especially in Band 4 (see Tab. 3). If these standard statistical parameters are not adapted to the spectral behaviour of the original scene, a later interpretation is likely to produce misclassifications. Therefore, these algorithms were not used for further investigations.

**Tab. 3:** Exemplary analysis of average grey values of the test area with predominantly agricultural usage. Similar results were found for other land-use types.

	Band 1	Band 2	Band 3	Band 4
PCA	44,77	40,60	31,41	95,57
Wavelet PCA	44,03	39,90	29,71	101,02
Modified IHS	44,46	40,35	30,08	101,64
Enhanced IHS fusion	44,56	40,43	30,26	101,33
Gram-Schmidt	44,57	40,43	30,26	101,29
ENVI PC	44,57	40,44	30,26	101,36
ENVI CN	56,27	51,04	37,38	132,80
Original	44,57	40,44	30,26	101,28



**Fig. 8:** Pan-sharpening results (Angelberger Forst, Bavaria, RGB 4,2,1) with colour distortions of the Wavelet PCA merge (left) and the ENVI PC merge (right).

The statistical parameters of the ENVI PC and the Wavelet PCA resolution merges achieved statistical results, which were close to the original multispectral image. However, these algorithms had visible colour distortions, which are described especially for

wavelet transforms (ZHANG 2002). A possible reason for this effect is a poor co-registration of the pan and the multispectral bands, which have a slightly different view angle and recording time when receiving the data (TERHALLE 2005). These colour distortions could lead to misclassification in further analyses of the data (see Fig. 8). Consequently, these pan-sharpening tools were not further examined.

The remaining three pan-sharpening tools showed visually and statistically reasonable results (see Fig. 9). Since an objective visual comparison is only possible to a limited degree, an assessment of the pan-sharpening quality had to be found.

Therefore this study introduces the **pan-sharpening accuracy assessment**, which considers the spectral reliability of the fused



Gram-Schmidt



Modified IHS



Original multispectral QuickBird image

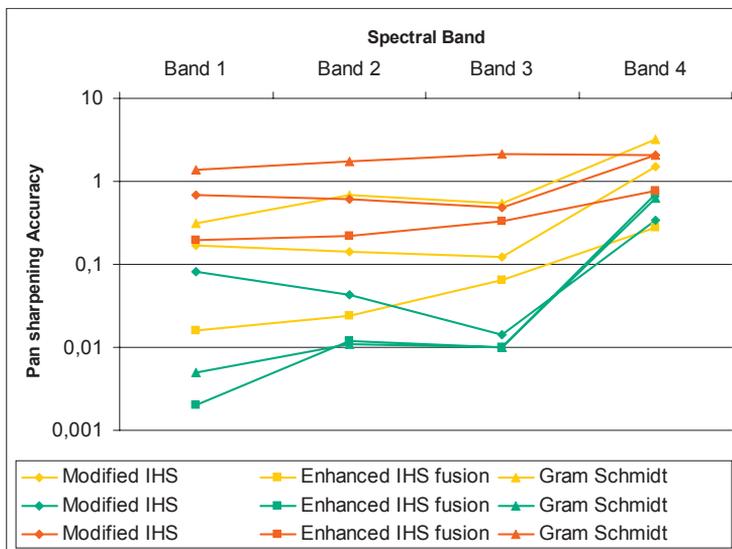


Enhanced IHS fusion

**Fig. 9:** Pan-sharpening results of the enhanced IHS fusion, the modified IHS and the Gram-Schmidt method for an agricultural subset of the image (pre-Alpine agricultural area, Bavaria, RGB 4,2,1).



**Fig. 10:** Pan-sharpening accuracy assessment of band 4 of the Gram-Schmidt algorithm (left) and the Enhanced IHS fusion (middle) of an urban area (original image of Weyarn, Bavaria, right – RGB 3,2,1). The Enhanced IHS fusion shows significantly lower values, which indicates a better fusion result.



**Fig. 11:** Average values of the pan-sharpening accuracy assessment of three subsets of different land-use (orange = agriculture, red = urban, green = forest) for the three pan sharpening algorithms under investigation. Lower values indicate a better fusion result.

data in comparison to the original image and the desired higher spatial frequency of the merged data.

Firstly, the pan-sharpened image will be subtracted from the original multispectral image. If a fused pixel has the same value as the original value, the result is zero. Averaged over a scene, a low value shows high spectral reliability.

In a second step, the higher spatial frequency is taken into account. The result of the subtraction is additionally processed with a focal minimum filter (Kernel  $5 \times 5$ ).

This process is necessary because – although the spectral behaviour of the scene should be constant – a spatial variability of grey values is necessary for a higher resolution image. Therefore, in a surrounding of 5 by 5 pixels the minimum difference value of the pan sharpened and the original image was calculated.

With these two easily processed steps, the pan-sharpening accuracy assessment supplies valuable information on the fusion quality. Additionally, areas of spectral deviation can be visualised. In Fig. 10, two re-

sults of the pan-sharpening accuracy assessment are shown. The areas of the image with high differences to the original multispectral image have higher values (shown in brighter tones), and indicate a lower pan-sharpening accuracy. The Gram-Schmidt algorithm shows differences in areas with very high reflectance values as can be seen with sealed surfaces in Fig. 10.

The pan-sharpening accuracy was statistically analysed for average values of different land uses (see Fig. 11). Of the three chosen land covers, forested areas are best pan sharpened with all three algorithms, while urban areas are the most difficult sites to process (see Fig. 11). Nevertheless, for all subsets the Enhanced IHS fusion proved to be the most successful in pan sharpening QuickBird images. Especially in agricultural and urban areas, the average values of the spatial accuracy for all spectral bands had smaller differences compared to the original multispectral image. In spatial terms, high reflectance areas, such as sealed surfaces or fully vegetated areas seem to be constantly overestimated by the Gram-Schmidt and the Modified IHS algorithm.

The analysis of pan-sharpening algorithms can only be an intermediate result. New algorithms are already announced (EHLERS & KLONUS 2004, TERHALLE 2005) or in a scientific development phase (SU et al. 2004, TU et al. 2005).

## 5 References

- BREUER, M. & VOLLMAR, M., 2005: Product level of satellite data and their processing in LPS and Erdas Imagine. – Geosystems User Group Meeting, Fürstfeldbruck (Germany).
- DigitalGlobe, 2005: QuickBird Imagery Products, FAQ, [http://www.digitalglobe.com/product/product\\_docs.shtml](http://www.digitalglobe.com/product/product_docs.shtml) (March 2006).
- DigitalGlobe, 2006a: product information, imaging systems, ordering and pricing. <http://www.digitalglobe.com> (March 2006).
- DigitalGlobe, 2006b: [http://www.digitalglobe.com/product/standard\\_imagery.shtml](http://www.digitalglobe.com/product/standard_imagery.shtml) (March 2006).
- DigitalGlobe, 2006c: [http://www.digitalglobe.com/press/FAQ\\_press.shtml#t11](http://www.digitalglobe.com/press/FAQ_press.shtml#t11), (June 2006).
- EHLERS, M., 2002: Fernerkundung für GIS-Anwender – Sensoren und Methoden zwischen Anspruch und Wirklichkeit. – In: BLASCHKE, T. (eds.): Fernerkundung und GIS – Neue Sensoren – innovative Methoden, 10–23, Wichmann, Heidelberg.
- EHLERS, M. & KLONUS, S., 2004: Erhalt der spektralen Charakteristika bei der Bildfusion durch FFT basierte Filterung. – PFG 2004(6): 495–506.
- EISENBEISS, H., BALTSAVIAS, E., PATERAKI, M. & ZHANG, L., 2004: Potential of Ikonos and Quickbird imagery for accurate 3D point positioning, orthoimage and DSM generation. – Proc. 20th ISPRS Congress, Istanbul, Turkey, 12–23 July, In: International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XXXV, Part 3, pp. 522–528.
- Eurimage, 2006a: <http://www.eurimage.com/reseller/area/germany.html> (March 2006).
- Eurimage, 2006b: products and services; prices. <http://www.eurimage.com> (March 2006).
- JACOBSEN, K., 2006: Very High Resolution Optical Space Sensors – Overview, Accuracy and Information contents. – GORS 15<sup>th</sup> International Symposium, 2006 Damascus, on CD.
- LABEN, E. A., 2000: Process for Enhancing the Spatial Resolution of Multispectral Imagery Using Pan-Sharpener (Gram-Schmidt). Eastman Kodak Company, US Patent.
- ROSSI, L., 2003: New High-Resolution Satellite Applications: QuickBird, proceedings, EFITA2003 Conference Papers, Debrecen-Budapest (Hungary).
- SIDDIQUI, Y., 2003: The modified IHS method for fusing satellite imagery ASPRS 2003 – Annual conference. p. 1–9, Anchorage, Alaska.
- SU, Y., HUANG, P.S., LIN, C.F., LIN, C.F. & TU, T.M., 2004: Approach to maximize increased details and minimize color distortion for IKONOS and QuickBird image fusion. – Optical Engineering 43(12): 3029–3037.
- TERHALLE, U., 2005: Sensor-Merge in ERDAS IMAGINE “unplugged”. – Geosystems, Fürstfeldbruck.
- TU, T.M., LEE, Y.C., CHANG, C.P. & HUANG, P.S., 2005: Adjustable intensity-hue-saturation and Brovey transform fusion technique for IKONOS/QuickBird imagery. – Optical Engineering 44(11).
- VOLPE, F., 2003: Geometrical Processing of QuickBird High Resolution Satellite Data, proceedings, ISPRS/EARSel Workshop “High Resolution Mapping from Space 2003”, Hannover (Germany).

- VRABEL, J., 1996: Multispectral Imagery Band Sharpening Study. – *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* **62**(9): 1075–1083.
- ZHANG, Y., 2002: Problems in the fusion of commercial high-resolution satellite images as well as Landsat 7 images and initial solutions. – *Int. Arch. Photogram. Remote Sens.* **34**(4).
- ZHANG, Y. & HONG, G., 2005: An IHS and wavelet integrated approach to improve pan-sharpening visual quality of natural colour IKONOS and QuickBird images. – *Information Fusion* **6**(3): 225–234.

Addresses of the authors:

Prof. Dr. BIRGIT KLEINSCHMIT  
Dipl.-Geoök. MICHAEL FÖRSTER  
Institute of Landscape Architecture and Environmental Planning  
Straße des 17. Juni 145 EB5  
D-10623 Berlin  
Tel: +49-(0)30-314-72847/72798  
e-mail: Birgit.Kleinschmit@TU-Berlin.de  
e-mail: Michael.Foerster@TU-Berlin.de

Dipl.-Geoök. ANNETT FRICK  
Luftbild und Planung GmbH  
Große Weinmeisterstraße 3a  
D-14469 Potsdam  
Tel: +49-(0)331-2757760  
e-mail: Annett.Frick@lup-umwelt.de

Dipl.-Forstw. KATJA OEHMICHEN  
University of Hamburg, Department of Woodscience, Institute for World Forestry  
Leuschnerstr. 91  
D-21031 Hamburg  
e-mail: Katja.Oehmichen@online.de

Manuskript eingereicht: Juli 2006  
Angenommen: Oktober 2006



## Remote Sensing and GIS Contribution to Natural Hazard Assessment in Yucatan, Mexico

BARBARA THEILEN-WILLIGE, LARS MATTHES & UWE TRÖGER, Berlin

**Keywords:** Remote sensing, GIS, natural hazards, Yucatan, impact crater, karst, tsunamis, storm surge

**Summary:** LANDSAT ETM and Digital Elevation Model (DEM) data derived by the Shuttle Radar Topography Mission (SRTM 2000) of the Yucatan area in Mexico were investigated in order to detect traces of the structural setting, karst features and of earlier flooding events. Digital image processing methods used to enhance LANDSAT ETM imagery and to produce morphometric maps (such as hillshade, slope, minimum and maximum curvature maps) based on the SRTM DEM data contribute to the detection of morphologic traces that might be related to structural features. Traces of the Chicxulub impact crater can be clearly identified. These maps combined with various geodata such as bathymetric data in a GIS environment allow the delineation of coastal regions with potential flooding risk. The LANDSAT ETM imageries merged with digitally processed and enhanced SRTM data clearly indicate areas that might be prone by flooding in case of catastrophic tsunami events or storm surge. Neotectonic features can be derived by the drainage pattern analysis and the identification of linear tonal anomalies on the imageries.

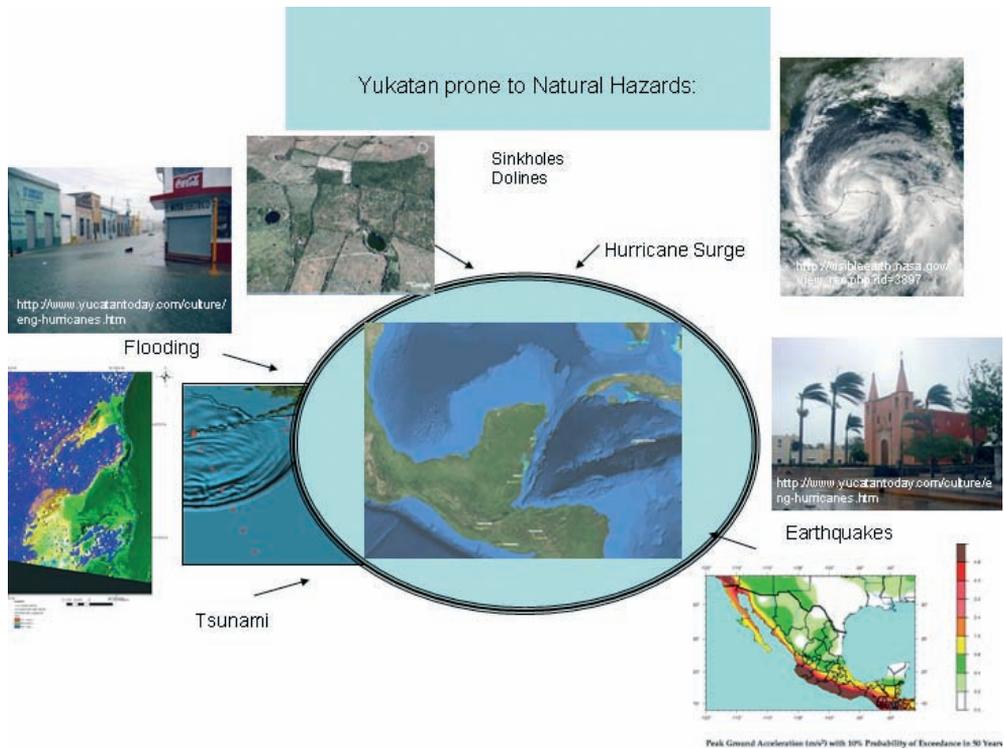
**Zusammenfassung:** Der Beitrag von Fernerkundung und GIS zur Abschätzung der Gefahren von Naturkatastrophen in Yucatan, Mexiko. LANDSAT ETM- und Digitale Höhendaten auf der Basis der Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) von Yucatan, Mexiko wurden mit Methoden der digitalen Bildverarbeitung aufbereitet und zusammen mit seismo-tektonischen, bathymetrischen und anderen Geodaten in ein Geografisches Informationssystem (GIS) integriert. Die Auswertung der verschiedenen Bild- und Kartenprodukte auf der Basis der SRTM-DEM Daten wie simulierte Reliefdarstellungen, Hangneigungskarten, Karten der minimalen und maximalen Geländewölbungen liefern deutliche Hinweise auf den Chicxulub Impaktkrater, neotektonische Bewegungen und auf charakteristische, morphologische Spuren, die wahrscheinlich auf die Einwirkung früherer Tsunami-Ereignisse zurückgeführt werden können. Das Bild- und Kartenmaterial ermöglicht eine Übersicht über potentiell Tsunami gefährdete Küstenbereiche in Yucatan. Zusammenhänge zwischen der Verbreitung von Cenotes und anderen Karstphänomenen und dem strukturgeologischen Aufbau des Gebietes lassen sich mit Hilfe der GIS integrierten Auswertung von Fernerkundungsdaten belegen.

---

### 1 Introduction

The Yucatan peninsula is prone to severe natural disasters such as hurricanes and flooding (Fig. 1). Due to its geotectonic position near active plate boundaries tsunami risk has to be taken into account, too. Especially northern Yucatan is susceptible to flooding due to its lowlands to storm surge and tsunamis.

Therefore this contribution considers the use of remote sensing data for the detection of traces indicating past, catastrophic inundation events as it can be assumed that coastal areas that were hit in the past by catastrophic storm surge and tsunamis might be affected by similar events in the future again. The level of vulnerability of coastal communities in Yucatan for future flooding events exhibits some variations



**Fig. 1:** Yucatan prone to natural hazards.

along the shoreline. Such non-uniform spatial distribution of the degree of destruction and damage to lives and property may be attributed to several factors such as the coastal topography, the type of land use including the density of vegetation and buildings as well as the variations in the storm surge and tsunami height and their velocity owing to the travel path of the waves, the width of the continental shelf, the energy focusing effects and the nearshore bathymetry. However, detailed studies are necessary to understand and determine the way in which the above factors might influence the spatial variations in the distribution of the flooding height, the extent of the overland flow and the degree of consequent damage along the affected coastline.

Storm surges, although not potentially as destructive as a major tsunami, appear more frequent in Mexico. Therefore, inundation maps indicating the extent of the coastal

strip that would be affected by potential events of both tsunamis and storm surges ought to be prepared. Moreover, field information when supplemented with further inundation data from other possible scenarios of coastal flooding would help determine the level of vulnerability of the coastal communities around the country to future events of tsunamis as well as storm surges.

Another problem in northern Yucatan is the water pollution in karst aquifers. The ground water pollution susceptibility is influenced by the tectonic structure of Yucatan to a great deal. Groundwater, in some areas, dissolved the limestone in the Yucatan peninsula. Water-filled sinkholes (solution collapse features) are usual for this area. When collapsing subsurface caves are a potential danger. Fault and fracture pattern control the occurrence of dolines and sinkholes. Therefore a structural analysis of LANDSAT ETM and SRTM data is re-

quired in order to get more detailed information of the subsurface structure's long-term influence on ground water flow.

A circular cosmic impact structure, the Chicxulub crater, on northern Yucatan was discovered based on gravity and magnetic anomalies. Evidence gathered from topographic data, geophysical data, well logs, and drill-core samples indicates that the buried Chicxulub basin is approximately > 200 km in diameter. It is assumed that the subsurface basin continues to deepen (HILDEBRAND, <http://miac.uqac.ca/MIAC/chicxulub.htm>).

It can be derived by the occurrence, distribution and density of dolines and sinkholes that the impact crater related structures have affected the circulation of groundwater on the Yucatan Peninsula. Therefore it is necessary to investigate this relationship as well.

## 2 Methods

The support provided by remote sensing data, including DEM data acquired by Space Shuttle Missions, and a GIS based spatial databases for the delineation of potential risk sites in Yucatan is investigated. A concept of multi-hazard assessment is developed based on remote sensing data and GIS methods. This approach enables to assess the geohazards in respect to their different and complex dependencies. It focuses on hazard maps that might be useful as a base for local and regional planning decisions of local governments and stakeholders of the civil society. The findings can be converted to recommendations for the local governments such as towns and villages in order to plan disaster reducing activities of Yucatan, Mexico.

On a regional scale the areas of flooding risk due to storm surge and tsunamis are determined by an integration of remote sensing data, geologic, seismo-tectonic and topographic data. The coastal areas of Yucatan are investigated more detailed in order to detect typical geomorphologic, geologic and hydrologic features assumed to be related to past flooding or to be of import-

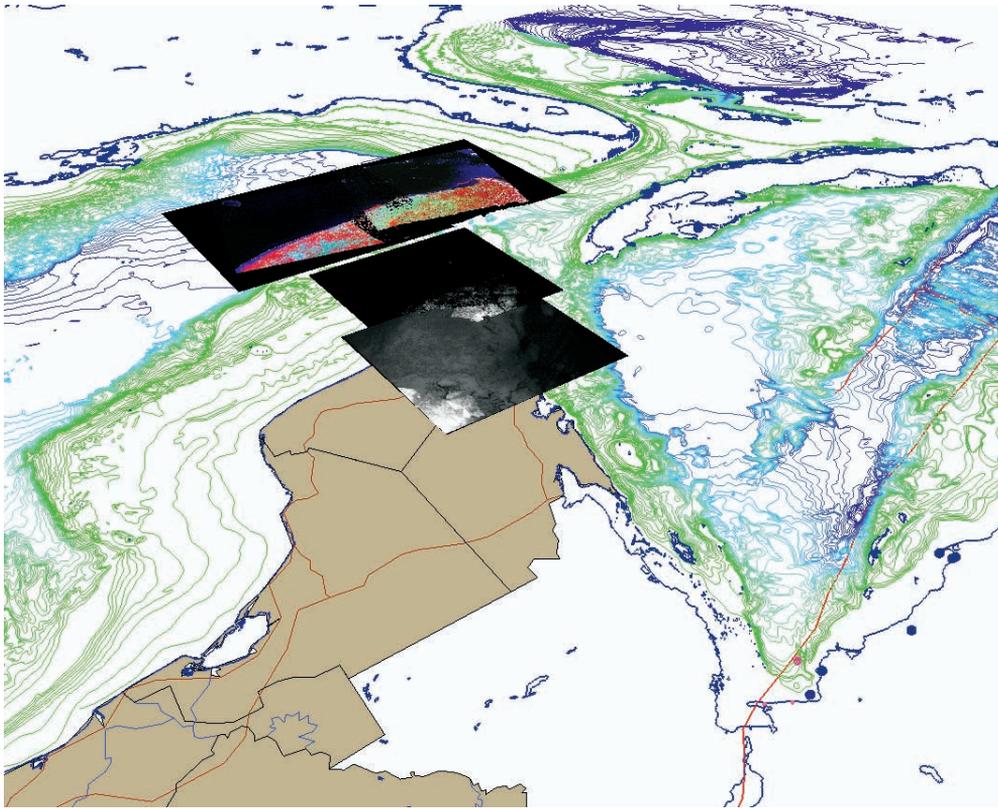
ance regarding future natural hazards. The areas prone to flooding hazard are delineated and mapped.

The evaluation of digital topographic data is of great importance as it contributes to the detection of the specific geomorphologic/topographic settings of tsunami prone areas. LANDSAT ETM and DEM data were used as layers for generating a Tsunami Hazard GIS and combined with different geodata and other thematic maps.

For the objectives of this study digital elevation data have been evaluated: Shuttle Radar Topography Mission – SRTM, 90 m resolution) data provided by the University of Maryland, Global Land Cover Facility (<http://glcfapp.umiacs.umd.edu:8080/esdi/>) and GTOPO30 data provided by USGS (<http://www.diva-gis.org/Data.htm>, 1 km resolution) were used as base maps.

The digital topographic data were merged with LANDSAT ETM data (Band 8: 15 m resolution). For enhancing the LANDSAT ETM data digital image processing procedures have been carried out. Various image tools delivered by ENVI Software/CREASO were tested, for example to find the best suited contrast stretching parameters. With digital image processing techniques maps can be generated to meet specific requirements considering risk mapping. For getting a geomorphologic overview SRTM data terrain parameters were extracted from a DEM as shaded relief, aspect and slope degree, minimum and maximum curvature or plan convexity maps using ENVI and ArcMap software. The various data sets as LANDSAT ETM data, topographic, geological and geophysical data from the study regions were integrated as layers into GIS using the software ArcView GIS 3.3 with the extensions Spatial Analyst und 3D-Analyst of ArcGIS 9.1. Additional geodata as provided by ESRI ArcIMS Server or USGS Natural Hazards Support System were included, e.g. earthquake data or bathymetric maps (Fig. 2).

As a complementary tool Google Earth Software and NASA World Wind were used in order to benefit from the 3D imagery of the study area in Northern Yucatan.



**Fig. 2:** Remote sensing and GIS approach Layers in a Natural Hazard GIS of Yucatan such as topographic and bathymetric data, remote sensing data and administrative data (see shapefiles in the references list).

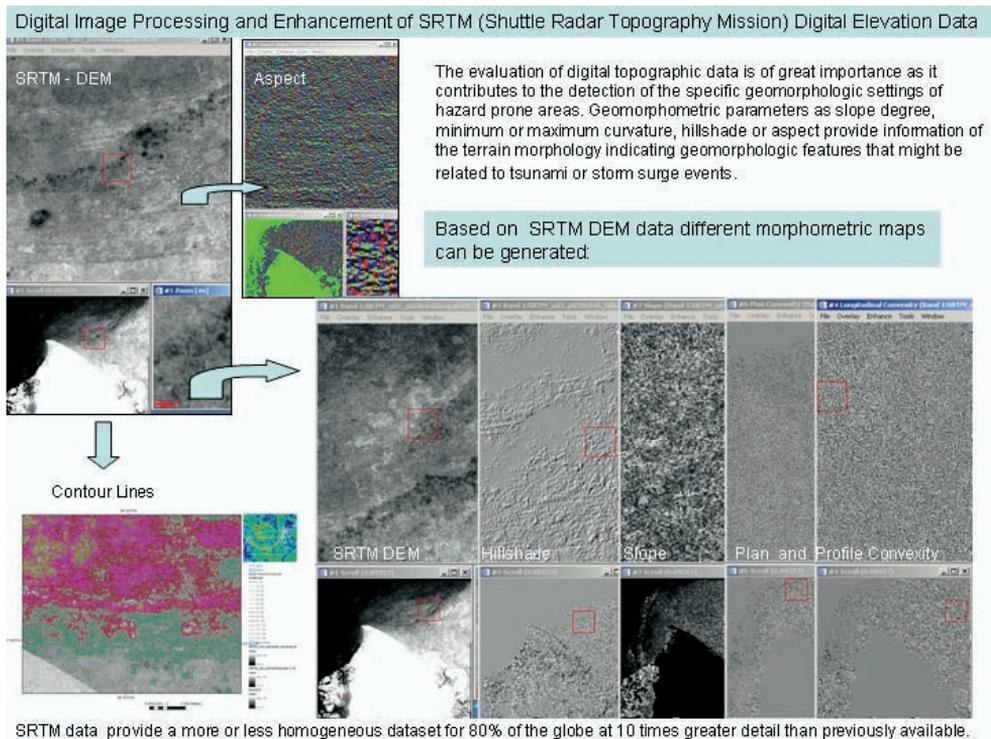
Geomorphometric parameters as slope degree, minimum or maximum curvature provide information of the terrain morphology indicating geomorphologic features (Fig. 3) that might be related to flooding events. These SRTM derived morphometric parameters correspond to groups of 0, 1st and 2nd order differentials, where the 1st and 2nd order functions have components in the XY and orthogonal planes (WOOD 1996). A systematic GIS approach is recommended for natural hazard risk site detection extracting geomorphometric parameters based on the SRTM DEM data as part of a Natural Hazard Information System.

Lineament analysis using space images has been particularly valuable in determining regional fracture patterns that reveal some of the stress history imposed on

lithologic units. As fractures and faults can serve as channelways for circulating and can be instrumental in storing and moving ground water, lineament analysis was carried out based on LANDSAT ETM and SRTM imagery from Yucatan in order to get a more detailed knowledge of the tectonic pattern.

### 3 Geographic and Geologic Setting

The Yucatan peninsula is a 300 km wide carbonate platform that extends northward from Central America and includes the Mexican states of Campeche, Yucatan and Quintana Roo. It is bounded to the west and north by the Gulf of Mexico and to the east by the Caribbean Sea. Rocks along the coast are of Pleistocene and Holocene age, while



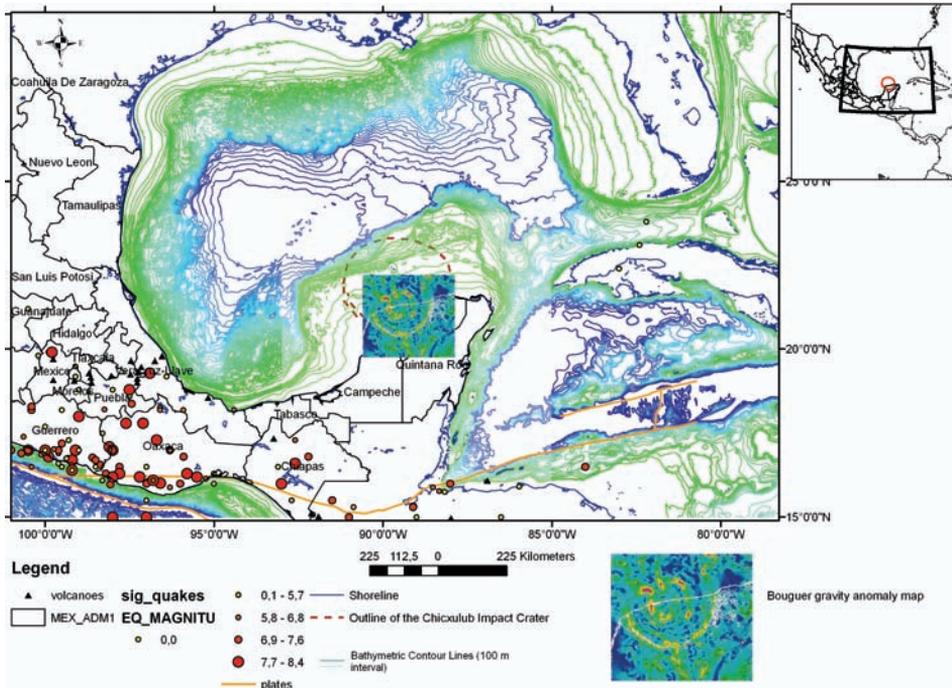
**Fig. 3:** Processing of SRTM data.

older Miocene and Eocene deposits are exposed farther inland. The northern part of Yucatan comprises the typical karst morphology consisting of rolling plains that have few surface streams and often no surface valleys. Caves and karst features are typical in nearly all parts of the Peninsula. The most notable karst feature is the cenote. Cenote is a term used by the Maya for any subterranean chamber containing permanent water. While some cenotes are vertical, water-filled shafts, others are caves that contain pools and underwater passageways in their interior (BACK 1992).

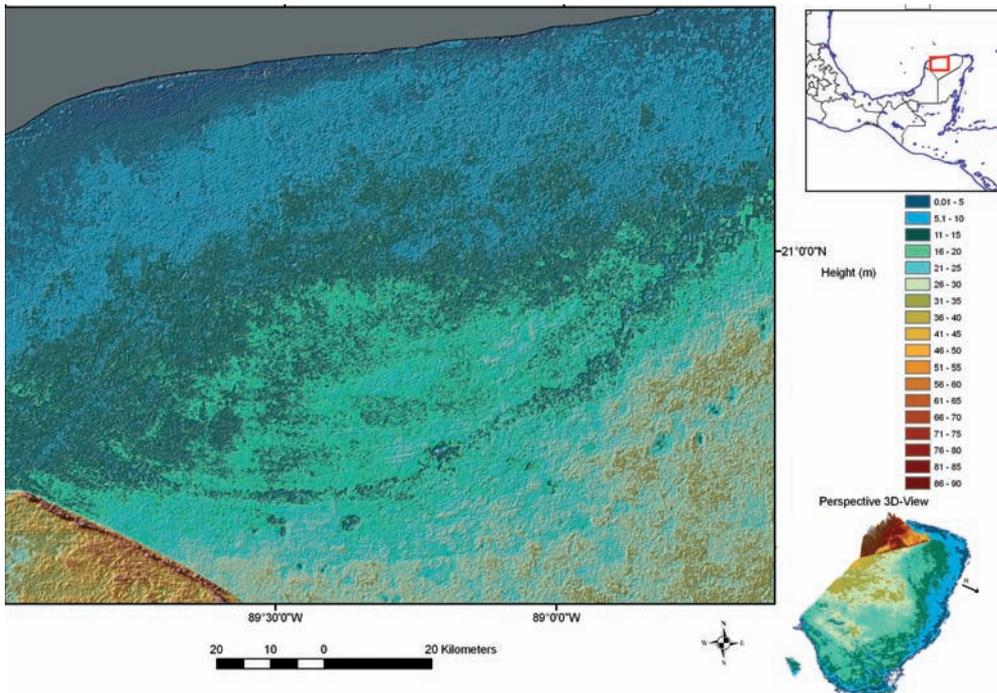
The landscape is characterized by sinkholes, in some areas tens or hundreds of sinkholes per square kilometre. These sinkholes range from barely discernible shallow swales one to two metres in size to depressions hundreds of metres in depth and one or more kilometres in width. As the sinkholes enlarge, they merge to form compound sinks

or valley sinks. Some sinkholes form by the dissolution of bedrock at the intersections of joints or fractures. Others result from the collapse of cave roofs, and still others form entirely within the soil.

About 65 million years ago a large asteroid or comet impacted the northwest coastline of the Yucatan Peninsula, Mexico (Fig. 4a and b). Seismically this Chicxulub impact deposits are characterized by a chaotic or reflection free facies lying beneath the more organized Tertiary sediments. Along the inner flanks of the crater, the impact deposits are 2–4 km or greater in thickness and overlie disturbed and down-dropped blocks of the Mesozoic target rocks at radii of 40–70 km. Along the west, south and east margins of the crater, seismic and wells indicate that the top of the impact deposits shallow to about 300–500 m subsea outside a radius of about 70–80 km. In general, this circular rim appears to control the location



**Fig. 4a:** Overview of the plate boundaries, earthquake occurrence, bathymetry and the position of the Chicxulub crater including a horizontal gradient map of the Bouguer gravity anomaly over the Chicxulub crater (Bouguer gravity anomaly map: <http://miac.uqac.ca/MIAC/chicxulub.htm>, bathymetric data: <http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/ibcca/ibcca.html>).



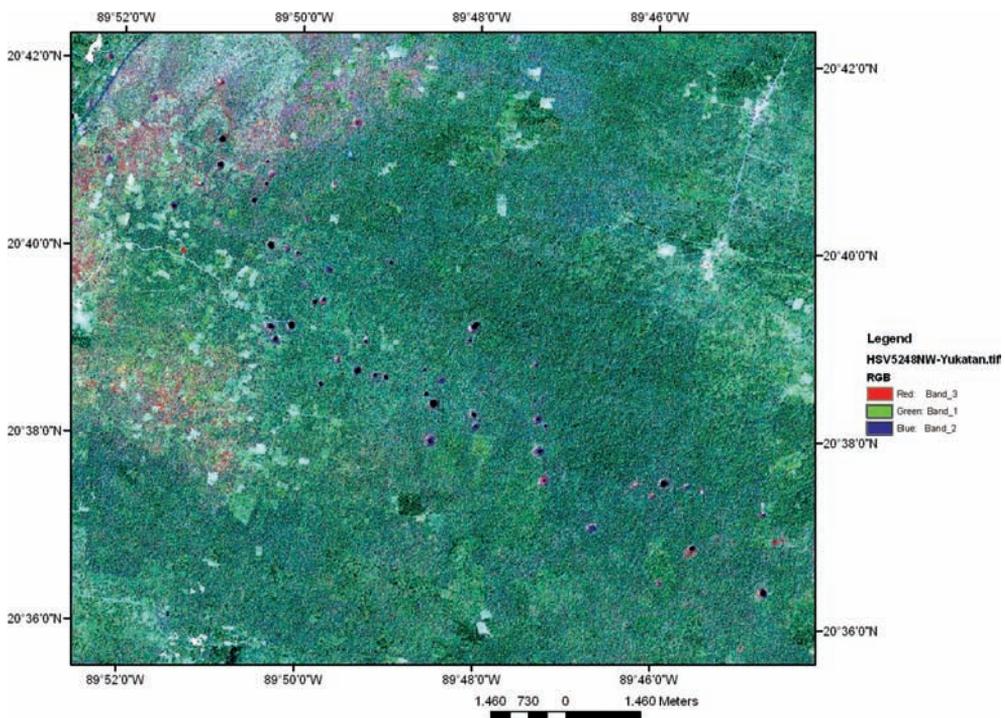
**Fig. 4b:** SRTM Height/Hillshade overlay of the Chicxulub impact crater.

of the initial margins of the Tertiary basin, which is outlined by a circular gravity gradient and a cenote (sinkhole) ring onshore. Somehow the crater is able to reach up through several hundred metres of sediment, and tens of millions of years of time, to influence groundwater flow. Some form of subsidence controlled by peripheral structure of the crater may have induced fracturing in the much younger rocks that cover the crater. The fracturing could then initiate the groundwater flow that caused the cenotes to form. This subsidence might be continuing. The edges of the crater correspond to a notch in the coastline in the east, and to a sharp bend southwards in the west. Also, the cenote ring corresponds to a topographic low depression of up to 5 metres along much of its length (HILDEBRAND, <http://miac.uqac.ca/MIAC/chicxulub.htm>, KINSLAND et al. 2005).

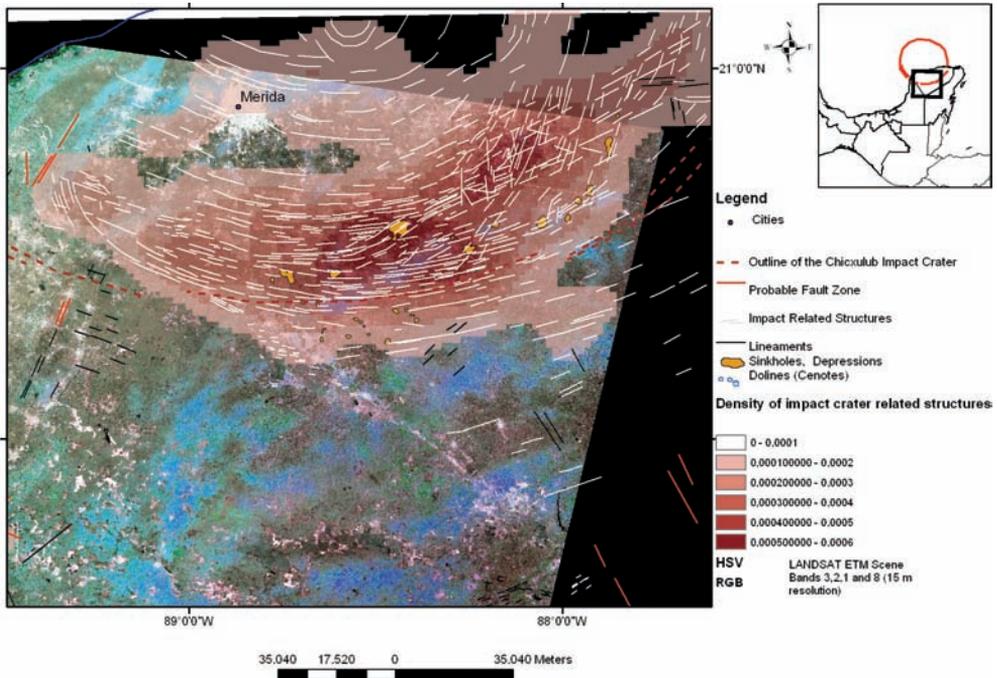
#### 4 Structural Evaluations of SRTM Data and LANDSAT ETM of Yucatan

##### 4.1 Mapping of Traces of the Cosmic Impact

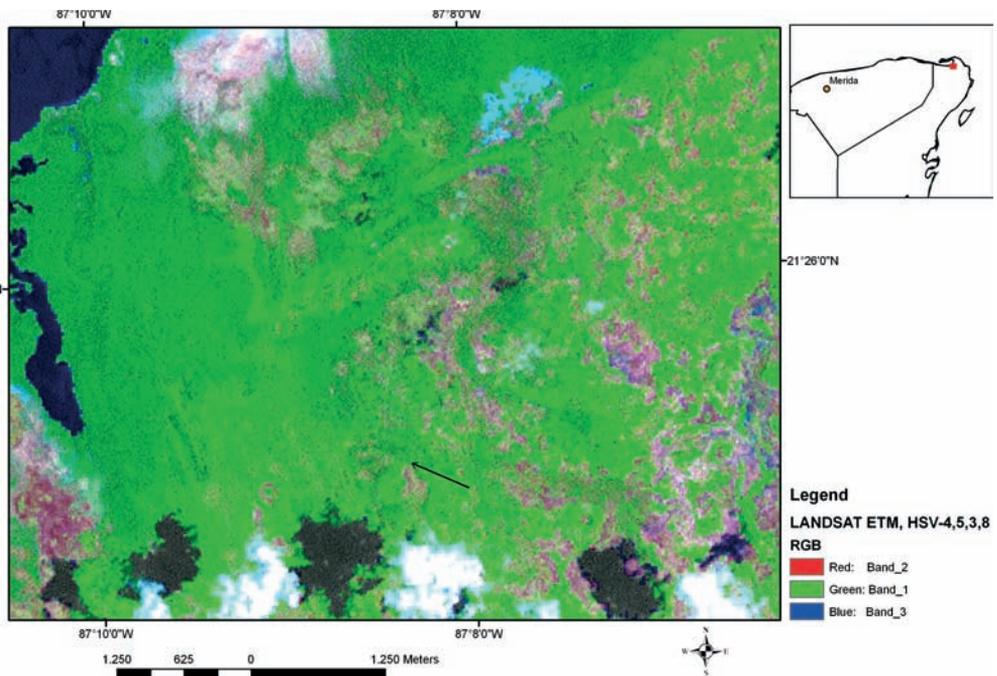
So far the Chicxulub impact crater was mainly detected by geophysical and mineralogic investigations and the flat morphology shows little evidence of the ring structure (z. B. KELLER et al. 2003, 2004). The SRTM DEM data and morphometric maps clearly show the outline of the Chicxulub impact crater. The multi-ringed structure becomes visible by colour-coding and on hillshade and slope maps. Contour lines enhance a topographic ring depression (3 to 5 meters depth and 5 kilometers diameter) and the multi-ring structure influencing ground water flow and as a consequence the distribution of karst features. The crater



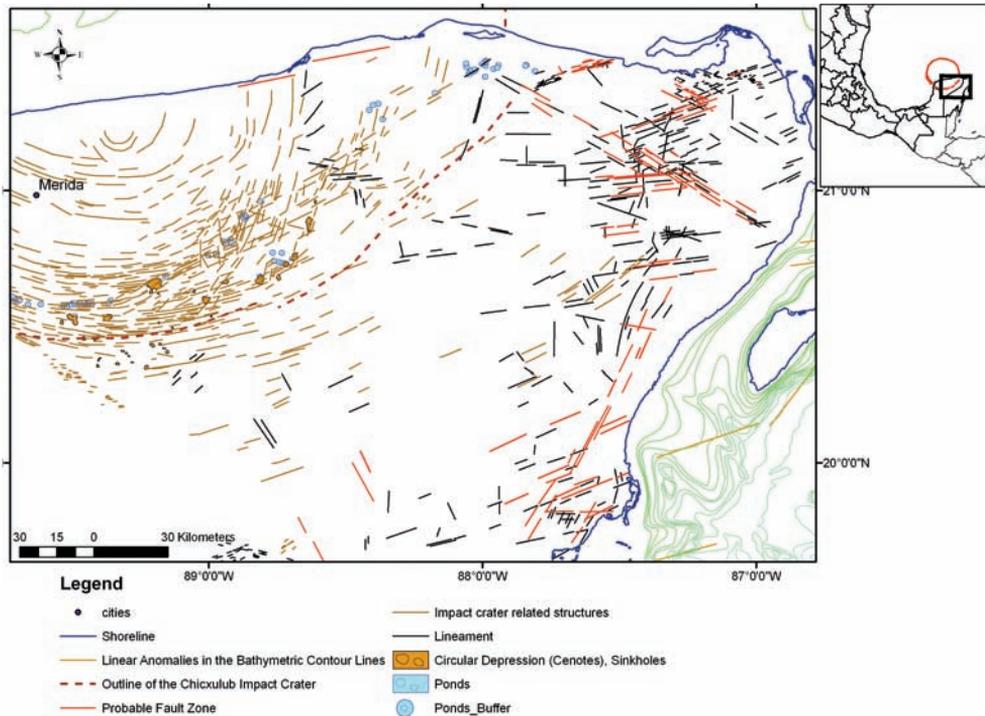
**Fig. 5:** LANDSAT ETM scene showing cenotes in the SW part of the impact crater (blue spots). A cenote is a partly water-filled, wall-sided doline. It is formed by the collapse of a cave often filled with water.



**Fig. 6:** Density of impact related structural features in the area of the Chicxulub impact crater. The southeastern part seems to display the highest density of lineaments and structural features visible on LANDSAT ETM and SRTM data.



**Fig. 7:** Lineaments visible on the LANDSAT ETM scene from NE-Yucatan that are assumed to trace neotectonic features.



**Fig. 8:** Correlation of lineament analysis with the occurrence of cenotes and sinkholes. The outline of the cenotes ring is nearly coincident with the rim of the impact structure. In the northeastern part of Yucatan cenotes and sinkholes are concentrated where fault and fracture zones are intersecting each other. Some cenotes could not be mapped due to cloud cover of the LANDSAT data.

rim's instability caused the limestone to fracture along the rim, forming the trough.

Fig. 5 gives an impression of the cenotes as visible on a LANDSAT ETM scene.

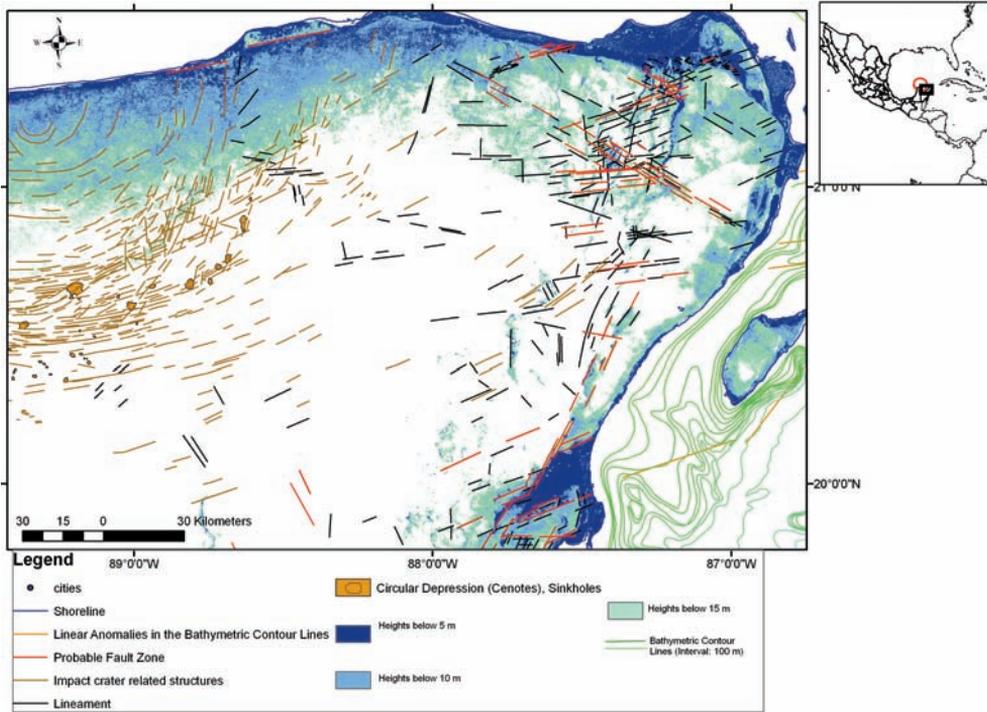
Fig. 6 shows the results of lineament analysis and structural evaluation. Linear and curvi-linear features visible on the remote sensing data that are assumed to be related to the impact crater were mapped. The intensity of mechanical deformation of the subsurface can be visualized as far as possible by means of remote sensing (visible in LANDSAT ETM and SRTM data) by a density map calculated based on the linear and curvi-linear features assumed to be related to the impact crater (Fig. 6).

The influence of the multi-ringed structure on groundwater flow and karst features is visualized in Fig. 8, showing the concentration of cenotes and sinkholes in a ring-depression.

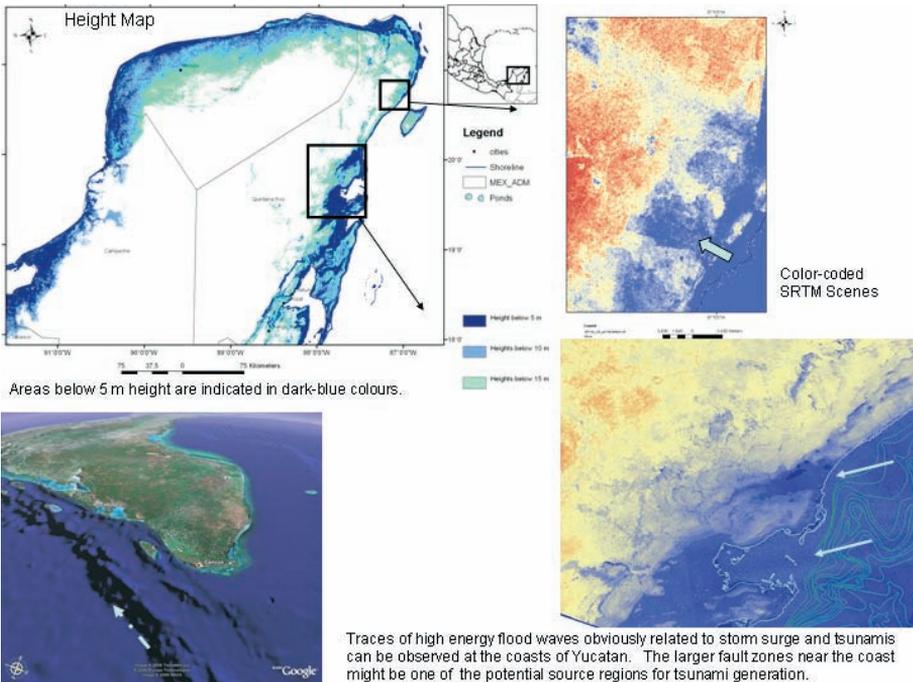
## 4.2 Lineament Analysis

Based on the different map products derived from SRTM data linear, morphologic features were mapped. These linear anomalies of morphologic units as abrupt linear changes in the drainage pattern, slope orientation and curvature or linear scarps help to detect structural features in the subsurface. Evidence for neotectonism is indicated by geomorphologic features, especially by the drainage pattern (bending and off-setting of rivers), or alignment of cenotes and sinkholes. LANDSAT data provide additional tectonic information by tonal anomalies on the imagery. The evaluation of LANDSAT ETM and SRTM data, provides hints of neotectonic activity.

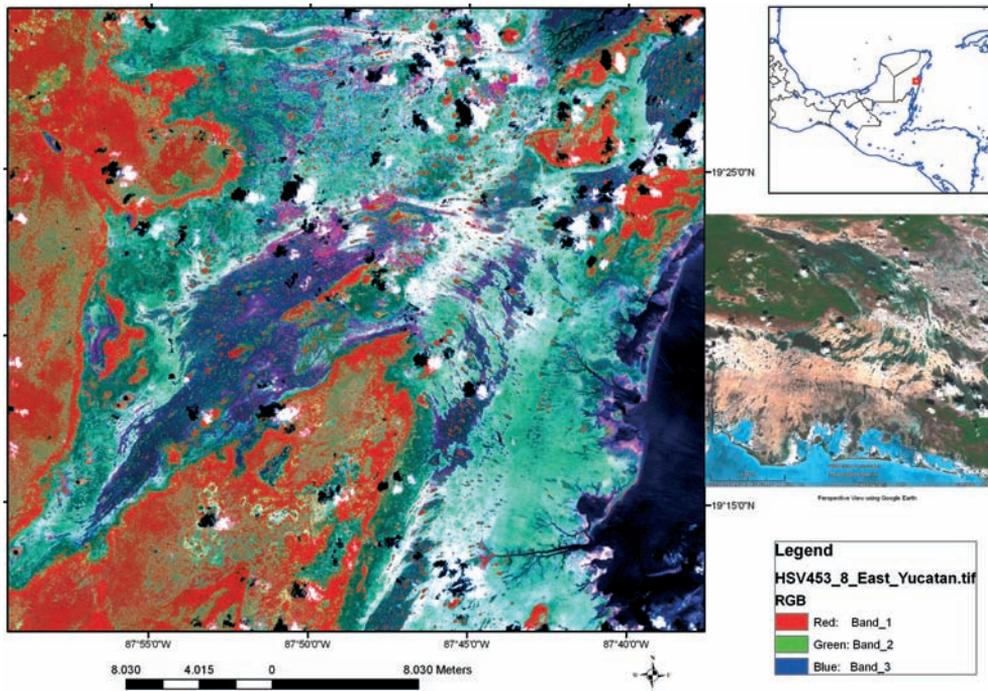
Groundwater flow and the distribution of cenotes and sinkholes are obviously also influenced by younger tectonic features, be-



**Fig. 9:** Structural influence on flooding susceptibility. The dark-blue areas are placed below 5 m height above sea level and are almost susceptible to flooding.



**Fig. 10:** Traces of high energetic flood waves.



**Fig. 11:** Traces of flooding events as assumed based on the evaluations of LANDSAT ETM imageries.

cause the cenotes are concentrated in those areas where distinct lineaments intersect each other.

Combining the remote sensing based lineaments with the analysis of linear anomalies in the bathymetric contour lines it seems to be obvious, that lineaments detected in northern Yucatan show the same principal orientations as the linear bathymetric anomalies do.

#### 4.3 Delineation of Areas prone to Flooding Risk

By extracting the lowest areas from the SRTM DEM data flooding susceptible areas can be documented. The influence of subsurface structures on flooding susceptibility can be visualized by the GIS integrated overlay of lowlands and lineament analysis (Fig. 9). Distinct visible lineaments near the coast can be correlated in relation to their position with lowlands. Traces of earlier catastrophic flooding events can be detected

on SRTM and LANDSAT data as shown in Figs. 10 and 11.

These visible traces of flooding are in coincidence with field observations of WARD & BRADY (1979) describing storm deposits in the shoreline section of Northeast Yucatan composed of material derived both from offshore and from the shoreline.

## 5 Summary

- Evaluations of LANDSAT ETM and SRTM data show evidence that catastrophic flooding events have happened in the past at the coasts of Yucatan. This should be considered in the emergency planning and measurements of disaster preparation. Traces of earlier flooding events can be detected especially at the northeastern coast of Yucatan.
- The structures of the cosmic Chicxulub impact crater are clearly visible on SRTM and LANDSAT data. A close relationship between the impact related structural pat-

tern and the occurrence of cenotes and other karst features can be stated.

- Traces of neotectonic movements are visible due to abrupt, parallel changes in the drainage pattern in NE Yucatan.
- Linear anomalies in the course of bathymetric contour lines can be correlated considering their orientation and position with lineaments that were mapped based on LANDSAT ETM imagery and on SRTM derived morphometric maps.

The main objective of this study was a contribution to the implementation of a Natural Hazard – GIS relating and integrating results from different remote sensing data and ground data to provide a classified risk map that may be used by non-specialist on-site.

The design of a common GIS database structure – always open to new data – can greatly contribute to the homogenisation of methodologies and procedures of natural hazard risk management in Yucatan.

These components of a GIS are recommended:

- extracting morphometric parameters based on DEM data and
- combining the resulting maps with satellite and other geodata.

Free-GIS software provides the basic GIS requirements:

DIVA-GIS, MapWindow GIS, SAGA GIS, etc. can be used without costs.

Additional Free-GIS software is available also for the spatial analysis of DEM data.

Basic LANDSAT ETM and SRTM data are provided free of charge for scientific research purposes for example by the University of Maryland/USA.

Therefore the use of the remote sensing and GIS technology for natural hazard site assessment and for the elaboration of hazard maps according to the presented approach can be recommended as a low cost approach that could be achieved by local communities in Yucatan and other affected counties as contribution to a GIS data base.

## Acknowledgements

Dr. ENNO SEELE, Hochschule Vechta is kindly acknowledged for contributing his studies.

## References

- BACK, W., 1992: Coastal Karst formed by Groundwater Discharge, Yucatan, Mexico. – *Internat. Contr. Hydrogeol.* **13**: 461–466, Verlag Heinz Heise, Hannover, FRG.
- HILDEBRAND, A.: Chicxulub Crater, Mexico, and the Cretaceous – Tertiary boundary. – <http://miac.uqac.ca/MIAC/chicxulub.htm>
- KINSLAND, G. L. et al., 2005: Topography over the Chicxulub impact crater from Shuttle Radar Topography Mission data. – *Geol. Soc. Amer. Spec. Pap.* 384: Large Meteorite Impacts III: pp. 141–146.
- KELLER, G., 2004: Chicxulub impact predates the K-T boundary mass extinction. – *PNAS* **101** (11): 3753–3758.
- KELLER, G., ADATTE, T., STINNESBECK, W., STUBEN, D., BERNER, Z., KRAMAR, U. & HARTING, M., 2004: More evidence that the Chicxulub impact predates the K/T mass extinction. – *Meteoritics & Planetary Science* **39** (2004): 1127–1144.
- KELLER, G., STINNESBECK, W., ADATTE, T., HOLLAND, B., STUBEN, D., HARTING, M., DE LEON, C. & DE LA CRUZ, J., 2003: Spherule deposits in Cretaceous-Tertiary boundary sediments in Belize and Guatemala. – *Journal of the Geological Society, London*, Vol. **160**: 783–795.
- KELLER, G., STINNESBECK, W., ADATTE, T. & STUBEN, D., 2003: Multiple impacts across the Cretaceous-Tertiary boundary. – *Earth-Science Reviews* **62**: 327–363.
- KRING, D.: Chicxulub Impact Event. – [http://www.lpl.arizona.edu/SIC/impact\\_cratering/Chicxulub/Chicx\\_title.html](http://www.lpl.arizona.edu/SIC/impact_cratering/Chicxulub/Chicx_title.html), [http://www.lpl.arizona.edu/SIC/impact\\_cratering/Chicxulub/Drilling\\_Project.html](http://www.lpl.arizona.edu/SIC/impact_cratering/Chicxulub/Drilling_Project.html)
- NASA: PIA03379: Shaded Relief with Height as Color, Yucatan Peninsula, Mexico. – <http://photojournal.jpl.nasa.gov/catalog/PIA03379>
- PARARAS-CARAYANNIS, G., 2004: Volcanic Tsunami Generation Source Mechanisms in the Eastern Caribbean Region. – *Science of Tsunami Hazards* **22** (2): 74–114 (2004), <http://library.lanl.gov/tsunami/ts222.pdf>
- SEELE, S.E., 1993: *Geografia y Desarrollo*, Vol. III No. 8–9.
- SHARPTON, V.L., 1995: Chicxulub Impact Crater Provides Clues to Earth's History. – *Earth in*

- Space 8 (4), December 1995, p. 7, [http://www.agu.org/sci\\_soc/sharpton.html](http://www.agu.org/sci_soc/sharpton.html)
- THEILEN-WILLIGE, B., 1981: The Araguainha Impact Structure/Central Brazil. – *Revista Bras. Geociencias* **11**: 91–97, Sao Paulo/S.P., Brasilien.
- THEILEN-WILLIGE, B., 1982: The Araguainha Astrobleme/Central Brazil. – *Geol. Rdsch.* **71** (1): 318–327, Stuttgart.
- THEILEN-WILLIGE, B., 1986: Satelliten-Radaraufnahmen als Hilfsmittel bei der Erfassung von Entwässerungssystemen in Nord-Afrika und Vorderasien. – *Zeitschr. Dt. Geol. Ges.* **137**: 363–377, Hannover.
- THEILEN-WILLIGE, B., 1987: The Use of Airborne and Spaceborne Radar Images for the Detection and Investigation of Impact Structures. – In: POHL, J. (Ed.): *Research in Terrestrial Impact Structures*. – 115130, Vieweg-Verlag, Braunschweig.
- THEILEN-WILLIGE, B., 2006a: Tsunami Risk Site Detection in Greece based on Remotes Sensing and GIS Methods. – *Science of Tsunami Hazards* **24** (1): 35–48, <http://www.sthjourn.org/241/willige.pdf>
- THEILEN-WILLIGE, B. & TAYMAZ, T., 2006: Remote Sensing and GIS Contribution to Tsunami Risk Sites Detection of Coastal Areas in the Mediterranean. – [http://www.ewc3.org/upload/downloads/Symposium\\_MegaEvents\\_05\\_Theilen-Willige\\_057.pdf](http://www.ewc3.org/upload/downloads/Symposium_MegaEvents_05_Theilen-Willige_057.pdf)
- THEILEN-WILLIGE, B., 2006b: Emergency Planning in Northern Algeria based on Remote Sensing Data in Respect of Tsunami Hazard Preparedness. – *Science of Tsunami Hazards* **25**: 3–18, <http://sthjournal.org/251/willige1.pdf> <http://sthjournal.org/251/willige2.pdf>
- THEILEN-WILLIGE, B., 2006c: Remote Sensing and GIS Contribution to Tsunami Risk Sites Detection in Southern Italy. – *PFG* **2006** (2): 103–114.
- THEILEN-WILLIGE, B., 2006d: Tsunami Hazard in Northern Venezuela. – *Science of Tsunami Hazards* **25** (3): 144–159. <http://www.sthjourn.org/253/willige.pdf>
- TRÖGER, U. & THEILEN-WILLIGE, B., 2006: Nach der Flutkatastrophe ist vor der Flutkatastrophe – Die Nutzung von Fernerkundungsdaten. – TU International, „Schutz vor Katastrophen“ **58**: 26–27, TU Berlin, Juni 2006, [http://www.tu-berlin.de/foreignrelations/archiv/tui\\_58/troeger.pdf](http://www.tu-berlin.de/foreignrelations/archiv/tui_58/troeger.pdf)
- WARD, W.C. & BRADY, M.J., 1979: Strandline Sedimentation of Carbonate Grainstones, Upper Pleistocene, Yucatan, Mexico. – *AAPG Bulletin*, 1979, **63** (3): 362–369.
- WOOD, J.D., 1996: The geomorphological characterisation of digital elevation models. – PhD Thesis, University of Leicester, UK, <http://www.soi.city.ac.uk/~jwo/phd>
- Internet Addresses:  
Shapefiles:  
1. [http://map.ngdc.noaa.gov/website/seg/hazard\\_s\\_pacific/viewer.htm](http://map.ngdc.noaa.gov/website/seg/hazard_s_pacific/viewer.htm): *Earthquake data, plate boundaries*,  
2. <http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/ibcca/ibcca.html>: *Topographic and bathymetric data*  
3. <http://www.diva-gis.org/data/DataServer.htm>  
Satellite Data:  
4. <http://glcfapp.umiacs.umd.edu:8080/esdi/index.jsp>  
5. <http://srtm.csi.cgiar.org/SELECTION/inputCoord.asp>  
6. <http://earth.google.com/>  
7. <http://worldwind.arc.nasa.gov/download.html>  
8. <http://nhss.cr.usgs.gov/aboutUs.htm>
- Addresses of the authors:  
PD Dr. BARBARA THEILEN-WILLIGE  
e-mail: [Barbara.Theilen-Willige@t-online.de](mailto:Barbara.Theilen-Willige@t-online.de)  
Dipl.-Ing. LARS MATTHES  
e-mail: [Lars.Matthes@tu-Berlin.de](mailto:Lars.Matthes@tu-Berlin.de),  
Prof. Dr. UWE TRÖGER  
e-mail: [uwe.troeger@tu-berlin.de](mailto:uwe.troeger@tu-berlin.de)
- Technische Universität Berlin  
Institut für Angewandte Geowissenschaften,  
Fachgebiet Hydrogeologie  
Ackerstr. 71–76, D-13355 Berlin
- Manuskript eingereicht: Juli 2006  
Angenommen: September 2006



## Handling Uncalibrated GPS/IMU Data for Medium Scale Mapping

PAULA REDWEIK, Lisboa & KARSTEN JACOBSEN, Hannover

**Keywords:** Photogrammetry, GPS/IMU calibration, combined aerotriangulation

**Summary:** The use of GPS/IMU is simplifying aerial photogrammetry and extends the applications, since it generates the exterior orientation directly. Nevertheless, some traditional geoinformation vendors still resist using GPS/IMU data in their projects, since the system is more complex than standard photogrammetry and it has to be calibrated. The special calibration flight, the ground control and the necessary computation of the calibration data, seem to restrict the promised flexibility. Some small flight companies deliver the photos together with GPS/IMU data not improved and validated by calibration. A solution for handling uncalibrated GPS/IMU data is presented, leading to results fulfilling the accuracy requirements for mapping in medium scales, without additional costs.

**Zusammenfassung:** Zur Verwendung von nicht kalibrierten GPS/IMU-Daten bei der Kartenherstellung in mittleren Maßstäben. Der Einsatz von GPS/IMU-Daten vereinfacht die Luftbildphotogrammetrie und erweitert ihre Anwendungsmöglichkeiten, weil die Parameter der äußeren Orientierung direkt bestimmt werden. Dennoch hat sich dieses Verfahren in der Praxis noch nicht überall durchgesetzt, weil es komplexer als die traditionelle Standardphotogrammetrie ist und außerdem eine Kalibrierung benötigt. Der Kalibrierungsflug, die Bestimmung von Passpunkten im Kalibrierungsgebiet und die notwendige Berechnung der Kalibrierungsdaten scheinen die Flexibilität des Verfahrens einzuschränken. Einige Bildfluggesellschaften liefern Bilder in Kombination mit GPS/IMU-Daten, die nicht durch Kalibrierung verbessert und validiert wurden. Dieser Artikel stellt ein Verfahren für die Verarbeitung von unkalibrierten GPS/IMU-Daten vor, welches die Genauigkeitsanforderungen für Kartierungen in mittleren Maßstäben erfüllt und keine zusätzlichen Kosten verursacht.

### 1 Introduction

Nowadays, mapping by photogrammetry means data acquisition for a geoinformation system. For the required geometric accuracy it involves a sequence of preliminary operations mainly depending upon the representation scale. The image orientation plays the most important role. In aerial photogrammetry for mapping purposes such orientation is traditionally determined by means of aerial triangulation of a block of nearly vertical photos. Based on a set of well distributed ground control points and

sufficient number of tie points, the aerial triangulation is an indirect method of determining the position of the projection centres and the attitudes.

The determination of a sufficient number of ground control points in the required location is time consuming, expensive and sometimes not possible.

The late developments in photogrammetry were driven by simplifying the sensor orientation. Since the availability of algorithms and commercial software for the automatic determination of homologous points in aerial photos, the acquisition of

tie points is, in the most cases, no longer a critical issue. The use of relative kinematic GPS-positioning allowed a reduction of the number of control points. In this method the coordinates of the projection centres are interpolated, for the moment of each exposure, from a GPS determined flight trajectory. Several years of experience confirmed that GPS data included in a combined adjustment, with tie points and some additional crossing flight lines, lead to a relevant reduction in the number of necessary ground control points (JACOBSEN 2002). By fixing an Inertial Measuring Unit (IMU) to the sensor and combining this system with the GPS unit, not only the position of the projection centres but also the sensor attitudes can be determined at the instant of exposure. In other words, the exterior orientation can be directly available (and not over ground control points) for every photo of a GPS/IMU supported flight.

The GPS/IMU based sensor orientation, due to its flexibility and independence from block configuration and ground control, expands the fields of application of aerial photogrammetry. For example coastal areas, remote or dangerous regions and also areas of poor contrast like deserts or forests, where the automatic aerial triangulation is not able to provide enough tie points, can be oriented without problems by means of GPS/IMU. So, also photo flights containing just one stripe and those coming from small format cameras can be handled in an economic manner.

Nevertheless, the system composed by the camera/sensor, the IMU and the GPS unit has to be calibrated. That means, the space relation between the three units must be known. Usually, this calibration is done by comparison of indirect and direct determined orientation parameters for the same set of photos. The indirect determination, as mentioned above, is done by means of aerial triangulation with ground control points. That means, GPS/IMU does also need some ground information. Fortunately, this fact doesn't restrict too much the flexibility of the technique, because the reference area with ground control for the cali-

bration doesn't have to be located in the project area, as long as certain aspects are considered. For instance, the influence of the map projection and the Geoid undulation differ from calibration site to project site and that must be taken into account. In case of different flying heights, the effects on the focal length shall also be considered (JACOBSEN 2004a, YASTIKLI & JACOBSEN 2005).

Summarizing, the use of GPS/IMU offers, theoretically, a lot of advantages: full sensor orientation for every photo without aerial triangulation and without ground control points (except for the system calibration), saving of time and therefore reduction of the global data acquisition costs. What about the practical results? Assuming that the conditions for a good operation of the GPS/IMU system on the plane are guaranteed, including an initialization of the system before the photo acquisition by flying an eight shaped curve and avoiding extremely long stripes without further initializations (JACOBSEN 2004a), the quality of the results depends mainly on the system calibration.

Furthermore, other aspects must be considered. Handling GPS/IMU data requires experience and education (JACOBSEN 2004a). Unfortunately, not every user is immediately able to handle the data that some flight companies deliver. Several map producing companies are not ready to pay the additional costs of such data since they do not know how to handle it to get reasonable results. The most frequent problem is that the necessary system calibration is sometimes incomplete or missing. On the other hand, small flight companies are also not ready to fly extra stripes and to acquire ground control points, when it is not guaranteed that the customer buys the data at a price that covers the extra expenses. Besides, in small countries, flight companies seldom have the structure and the necessary know-how for carrying out a calibration beyond the flight. Although both parts know that a calibration is absolutely necessary, each part alleges that it is a task for the other one. Uncalibrated photo flights with GPS/IMU data are not as rare as one might suppose. So, how

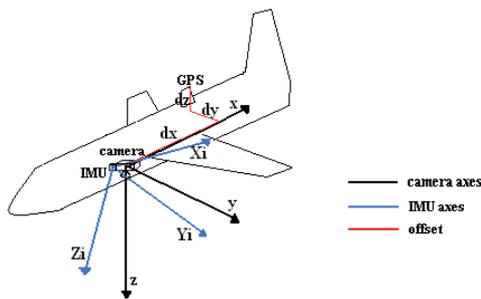


Fig. 1: Offset and Misalignment.

to recover the calibration data? A method how to handle not calibrated GPS/IMU flight data is shown in the following chapters.

## 2 Calibration Data

Exterior orientation parameters consist on the projection centre coordinates and three attitude angles defining the rotation of the camera coordinate system in relation to the object coordinate system. The relative kinematic GPS positioning yields the object coordinates of the centre of the GPS antenna. Projection centre and antenna centre are separated in space by the offset vector (Fig. 1). Usually, this vector can be measured and its components are available in the camera coordinate system. The effect of this offset on the object coordinates of the projection centre differs from photo to photo, depending on the attitude of the camera. The antenna offset has to be considered as a part of the calibration data.

On the other hand, the Inertial Measuring Unit is fixed to the camera and yields, based on the accelerometers and gyroscopes, three attitude angles and the position of the IMU. Usually IMU origin and camera projection centre are not coincident and the system axes of the IMU are not parallel to the camera coordinate axes (Fig. 1). That means, for getting the exterior orientation parameters of the camera from IMU data, the shift between IMU axes origin and projection centre, as well as the misalignment of the axes must be considered. Unlike antenna offset and IMU shift, the misalignment can't

be measured. It has to be determined indirectly by comparison between IMU data and exterior orientations coming from a reliable source. In addition, this so called boresight misalignment may not be stable in time, so that for projects with high accuracy level it is advisable to determine it at the day of the flight. Shift of the coordinates and misalignment of the axes are elements of the calibration data.

The inner orientation of a camera usually is determined under laboratory conditions. Under flight conditions it can change (JACOBSEN & WEGMANN 2001). As far as stereo models are oriented by means of control points, the discrepancies between the laboratory values and the real ones have only a limited influence on the derived ground coordinates because the ground point determination is mainly an interpolation in relation to the control points.

When GPS/IMU data is used for direct georeferencing, the ground coordinates of a new point are determined by extrapolation from the projection centre coordinates. Discrepancies of the inner orientation parameters have here a stronger influence in the derived ground coordinates as in the previous case. If the calibration is determined in a different flying height as the project flight, we will have different inner orientations for each flight. So, it is advisable to determine how the inner orientation changes with the height to be able to correct it for the project flying height.

## 3 Requirements for the calibration flight

The calibration flight must cover an area with a sufficient distribution of well determined ground control points. The control point distribution can be like for a conventional aerial triangulation with a distance of 3 to 4 base length from each other. At least two stripes flown in opposite directions are required for the boresight calibration when the IMU shift and the misalignment are intended to be determined. If the calibration and the project flights do have the same

scale, the mentioned configuration is sufficient. Otherwise it is also necessary to adjust the actual focal length for the project flight and that requires one more stripe in a different flying height (JACOBSEN 2001).

#### 4 Project Southeast

The project "Southeast" is located in the southern part of Portugal. The photo flight was part of an extensive coverage for mapping purposes in 1 : 25000 and consists of four stripes with a north-south orientation, covering an extension of about 10 km × 55 km with in total 112 aerial photos with an average scale of 1 : 22700, 60% end lap and 30% side lap. The analogue colour photos were scanned with 14 µm pixel size.

GPS/IMU data from an Applanix POS/AV 410 unit were supplied for all four strips with a set of UTM coordinates, height, geographic coordinates, attitude angles as omega, phi, kappa and GPS time for each photo. The accuracy of the unit is given by the producer as being 0,008 degrees (roll and nick) to 0,015 degrees (heading) for the angles and 5 to 30 cm for the projection centres (SANDAU 2005).

The initial assumption that the supplied GPS/IMU data corresponds to the exterior orientation parameters of the photos soon revealed to be wrong. To worsen the situation, neither calibration values, nor signalised ground control points were available.

#### 5 Recovering calibration information

To correct the available GPS/IMU data it was necessary to process a calibration. That means, part of the block should be triangulated based on ground control points. From the so achieved exterior orientations and the GPS/IMU data for that part of the block, we could obtain corrections for the rest of the data.

According to the requirements for a calibration flight having the same scale as the project flight, the two central strips of the

block "Southeast" with 55 photos were chosen as reference area (Fig. 2).

As the area is densely covered by ground triangulation points (Fig.3), it would be an economic solution to use them as ground control, avoiding additional field work. The disadvantage of those points is that they are marked by monuments built to be seen from the earth and not necessarily from the air. Consequently the identification in the photos was difficult and in most of them the floating mark couldn't be set to the ground.

An automatic aerial-triangulation was made for the whole block. The 19 triangulation points in the reference sub-block were handled as ground control in a national coordinate system.

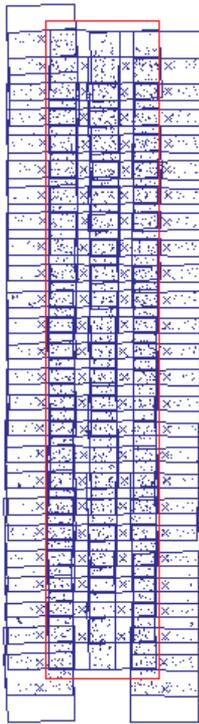
##### 5.1 Object coordinates

An analysis of the delivered GPS/IMU data and the available ground control data revealed that several steps had to be done before any calibration elements could be determined.

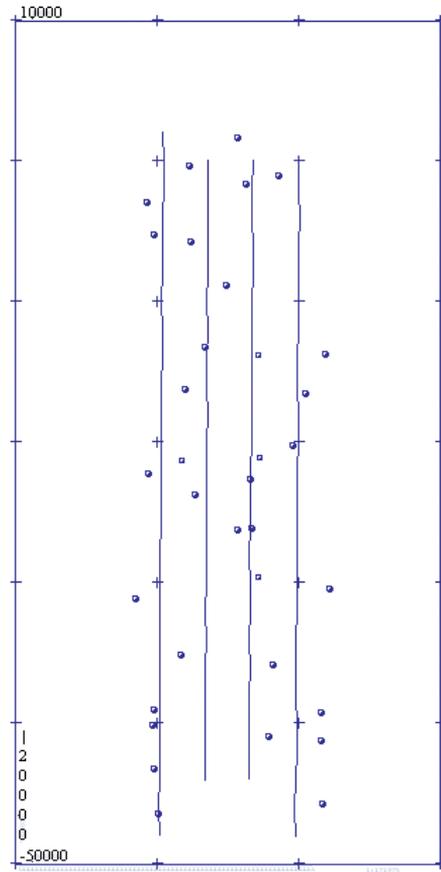
As a matter of fact (see Tab. 1), only the reference ellipsoid was common to both data sets. First of all, the heights must be transformed to a common reference level.

**Tab. 1:** Coordinate definitions of used data sets.

Data set	GPS/IMU	Ground control
Coordinate System	national coordinates 1/ Geographic	national coordinates 2
Map Projection	UTM	TM Local
Ellipsoid	WGS84	WGS84
Height Reference	Ellipsoid	Geoid
Central meridian	$\lambda = 351^\circ$ ( $9^\circ$ W Gr.) X = 500 000 m	$\lambda =$ 351,86689139° X = 200 000 m
Equator	Y = 0 m	Y = - 4092695,273 m
Scale at central meridian	1 : 0,9996	1 : 1,000



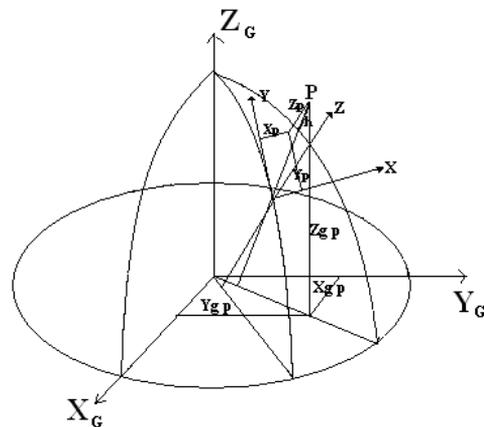
**Fig. 2:** Project "Southeast": Footprints and reference sub-block.



**Fig. 3:** Stripe lines and ground net points in the project area.

Using the module UNDULE of the Hannover Program System BLUH and a Geoid data set covering Europe, the heights of the control points have been corrected by the Geoid undulation to ellipsoidal heights.

The objective of determining the calibration data by differences between exterior orientations obtained, on one hand, from GPS/IMU and, on the other hand, from a ground controlled aerial triangulation gives rise to some problems. So, a block adjustment based on control points leads to flying heights that are affected by the same scale factor as the national coordinates of the ground control, while the heights from GPS/IMU data have the scale factor 1.0 (JACOBSEN 2004a). In addition, the



**Fig. 4:** Tangential orthogonal ( $X,Y,Z$ ) and geocentric ( $X_G,Y_G,Z_G$ ) coordinate systems.

used map projections have different central meridians, so the directions of grid north in both map projections are not parallel.

A method to avoid the effects caused by different map projections is a transformation to a common tangential coordinate system (HEIPKE et al. 2001). Opposite to the national coordinate systems this is a Cartesian system (Fig. 4). The Y axis is coincident with the geographic north direction at the tangential point and the scale is homogeneous along all three axes.

### 5.2 Determining the Antenna Offset

Before the boresight misalignment and IMU shift can be determined, the GPS/IMU data has to be corrected from the offset of the GPS antenna. In the present project no reliable information was available about measured offset components or whether the data was already corrected from offset. So it had to be checked.

Therefore, a combined aerial triangulation was processed with program BLUH, with ground control points and projection centres coming from the GPS/IMU together with the photo coordinates set of the chosen calibration strips.

Since the existence of antenna offset is reflecting in a flight direction dependent systematic influence, the additional parameters that reveal corrections in the position of the projection centres were separately calculated for each strip, so that this influence and its amount could be detected.

The results (Tab. 2) showed that a not considered offset was causing significantly different shifts in the projection centres from strip to strip, being similar within each strip (indicated by similar standard deviation). Of course an offset in the flight direction may not be just caused by the distance between GPS-antenna and the projection centre.

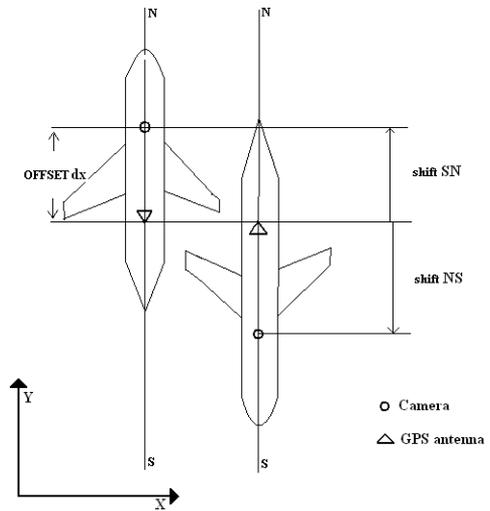


Fig. 5: Effect of dx-offset.

Constant synchronisation errors have a similar effect. Nevertheless, for the practical handling of the data the cause of the offset is less important than its detection.

To determine the offset vector components in the camera coordinate system (dx,dy,dz), it was necessary to analyse how the camera axes were oriented in the XYZ object space, during the flight (Fig. 5). A shift in Y, for instance, is caused by an dx-offset (x is located in the flight direction – in this case in North-South direction).

The intention of this first step was to get approximate values for the dx and dy components of the offset vector so that the whole GPS/IMU data set could be corrected from the biggest part of its influence. Unlike dx and dy, the dz offset only influences the Z-shift of the coordinates and can be included also later in the computation of the general Z-shift between IMU and object coordinate systems. So, the size of dx was assumed to be about half of the Y-shift differences between the stripes ( $[-2,7 + 1,0]/2 = -1,7/$

Tab. 2: Shift in projection centres (mean values). GPS data minus result of bundle adjustment.

	Projection centre shift [m]			standard deviation [m]		
	X	Y	Z	SX	SY	SZ
STRIP 1	-6.315	-2.728	-1.364	0.058	0.154	0.082
STRIP 2	-6.476	-0.998	-0.382	0.061	0.143	0.080

2 = 0.75 m), as far as they exceeded the a priori standard deviation for the GPS coordinates ( $\pm 30$  cm). The dy component was assumed to be 0. An approximate offset of  $x = -0.75$  m,  $y = 0$  m,  $z = 0$  m was then used for a flight direction dependent correction of the whole GPS/IMU data set.

### 5.3 Reference orientation

For computing the exterior orientation by bundle block adjustment well distributed and well defined ground control points shall be used. Because the accuracy of the available control points in this project could not be guaranteed, the computed exterior orientations could not be assumed as a reference. As a solution for this problem, a two step adjustment was applied as follows.

Since the GPS projection centre coordinates were more accurate than the existing ground control (Tab. 3), a combined adjustment was computed in the first step, in the reference sub-block. Self calibration with additional parameters was considered in the adjustment including shift parameters for the projection centres. On the second step, the object coordinates resulting from the previous adjustment (over 2000 points) were considered as ground control for a conventional aero triangulation (without GPS). So, a set of orientation parameters has been estimated that was not so much dependent upon the GPS projection centre coordinates.

The use of this strategy has advantages when the quality of the ground control is poor (JACOBSEN 2004b). The resulting exterior orientation parameters were finally used as reference orientation data set.

### 5.4 Boresight Misalignment

To assure that the angles of both data sets coming from IMU and from block adjustment were comparable, particular attention was paid to the rotation sequence in each data set. The IMU angles, which were delivered in the  $\omega, \varphi, \kappa$  sequence, have been first transformed to the  $\varphi, \omega, \kappa$  rotation sequence used by BLUH and then analysed with the Hannover program GPSPL.

Since the Inertial Measuring Unit originally delivers the attitude of the sensor in terms of pitch, roll and yaw (Fig. 6), with yaw as primary rotation and referred to geographic north, the boresight misalignment has also to be determined in this angle definition, corresponding to the physical rotation that may be affected by systematic errors (JACOBSEN 2002).

Therefore, the angles of both data sets are at first converted to pitch, roll and yaw and then compared with each other. The results (Tab. 4) include corrections to these angles and not to  $\varphi, \omega, \kappa$ . The convergence of the meridians must be computed for each projection centre and used for the angle conversion.

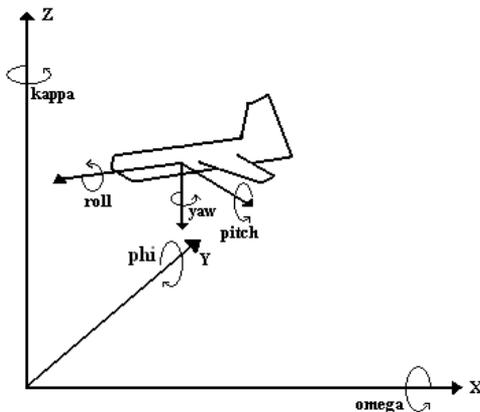
The first line of Tab. 4 includes the mean values of the differences between both data

**Tab. 3:** Results of adjustment steps 1 and 2.

	ground points	GPS points	$\sigma_0$ [ $\mu\text{m}$ ]	RMS X [m]		RMS Y [m]		RMS Z [m]	
				ground	GPS	ground	GPS	ground	GPS
1. AT(GPS)	19	46	5.06	0.447	0.080	0.528	0.198	0.690	0.053
2. AT	2216	–	5.59	0.069	–	0.103	–	0.187	–

**Tab. 4:** Angle and coordinate differences.

	pitch[grads]	roll[grads]	yaw[grads]	X [m]	Y [m]	Z [m]
misalignment	– 0.00952	– 0.08722	– 0.02018	7.248	1.714	0.984
square mean of differences after bias correction	0.0042	0.0058	0.0042	0.169	0.221	0.082



**Fig. 6:** Rotation angles: Kappa origin = grid north, Yaw origin = geographic north.

sets. Not only the misalignment of the axes is computed but also the shift of the GPS/IMU coordinates to the camera projection centre coordinates.

The last line shows the root mean square of the differences after bias correction. It is in the range of 4 to 6 milligrads for the attitudes and  $\pm 20$  cm for the projection centres. Consequently, the first line can be assumed as the estimated boresight misalignment and the XYZ values indicate a datum shift between IMU and local coordinate systems (not just a shift between IMU and camera systems). These values will be used to correct the data of the project flight.

## 6 Evaluating the results

Using GPSPL once again, the misalignment angles were transformed back to the photogrammetric  $\phi$ ,  $\omega$ ,  $\kappa$  and the corrections were

applied to the whole GPS/IMU data set already corrected from the antenna offset. Because the applied method wasn't based on reliable ground control, it is more reasonable to name it corrected GPS/IMU data instead of "calibrated data".

In order to evaluate the quality of the so achieved orientation data, several approaches were done with the complete block.

A set of check points was composed of the whole set of 29 ground net points. Their standard deviation is in the range of 0.6 m. Another set consisted of the object coordinates derived from a combined adjustment with GPS projection centres in the whole block. This adjustment was independent from the attitude data.

At first the object coordinates have been determined by spatial intersection based on the direct sensor orientation (corrected GPS/IMU data). This was followed by an Integrated Sensor Orientation where the orientation parameters have been adjusted based on the photo coordinates and including the direct sensor orientation as observation, in order to reduce y-parallaxes in the stereo models. No ground control was used.

As expected (Tab. 5) the discrepancies at the ground control points are in the range of the estimated control point accuracy. Better results are achieved in relation to the ground coordinates of the combined adjustment. The integrated sensor orientation has improved the results only slightly.

Recalling the objective of the project, the mapping in scale 1 : 25000, requiring in planimetry  $0,1 \text{ mm} \times 25000 = 2,5 \text{ m}$  and in altimetry  $1/3$  of contour interval = 10 m/3

**Tab. 5:** Results from the spatial intersection and from the integrated sensor orientation.

root mean square differences (+/-) at check points	spatial intersection ( $\sigma_o = 13.2 \mu\text{m}$ )			integrated sensor orientation ( $\sigma_o = 7.1 \mu\text{m}$ )		
	SX	SY	SZ [m]	SX	SY	SZ [m]
ground control points (29 points)	0.645	0.721	0.839	0.640	0.754	0.785
ground points of the combined adjustment (2761 points)	0.438	0.279	0.441	0.419	0.262	0.398

**Tab. 6:** Discrepancies of attitude data.

Square mean of differences [grad] (97 projection centres)	$S\phi$	$S\omega$	$S\kappa$
Corrected GPS/IMU – Comb. Adjustment	0.0077	0.0049	0.0058
Integrated Sensor Orientation – Comb. Adjustment	0.0084	0.0058	0.0025
Integrated Sensor Orientation – Corrected GPS/IMU	0.0057	0.0057	0.0045

= 3,3 m, it can be concluded that the improved GPS/IMU data assures the geometric accuracy requirements.

Assuming the worst value in Tab. 5 as the geometric accuracy for an orthophoto, the corrected GPS/IMU data could be also used for the production of orthophotos up to the scale of 1 : 9600. Considering that the data based on the combined adjustment with GPS projection centres are more reliable, even a scale of 1 : 5000 could be produced (0,1 mm in the ortho = 0,5 m on the ground).

As for the attitudes, the values shown in Tab. 6 for the square mean of the differences existing between the orientation angles yield by each method are within the measuring accuracy of the GPS/IMU system. The Integrated Sensor Orientation is mainly improving the  $\kappa$ -value. This has an influence to the model orientation sensitive for  $\kappa$ . Although y-parallaxes are irrelevant for automatic DEM generation, it disturbs the human operator if their values are exceeding 20 microns. Near this value vanishes, in general, the stereo perception (JACOBSEN & WEGMANN 2001, YASTIKLI & JACOBSEN 2002). So, also the y-parallaxes have been checked by intersection model by model.

**Tab. 7:** Frequency of points per model.

Points/Model	10–30	31–50	51–70	> 70
Number of Models	15	45	33	2

**Tab. 8:** Number of models with RMS y-parallaxes exceeding given limits.

Coordinate system	Origin of orientation parameters	Remaining Y-parallax (RMS)	
		> 10 $\mu\text{m}$	> 20 $\mu\text{m}$
Tangential system	Corrected GPS/IMU	7	0
Tangential system	Integrated Sensor Orientation	0	0
National system	Corrected GPS/IMU	48	0
National system	Integrated Sensor Orientation	37	0

Usually the mapping will be made in the national coordinate system. That means, the corrected orientation data have to be back transformed from the tangential to the national coordinate system of the ground net points. By this reason, the analysis of remaining y-parallaxes in the models was done in both coordinate systems (Tab.7 and 8).

As already mentioned, the Integrated Sensor Orientation reduces the y-parallaxes in the models, usually caused by the  $\kappa$ -values (JACOBSEN 2004a). Consequently there are fewer models with remaining y-parallax over 10 microns when the improved exterior orientations are used (lines 4 and 6 in Tab. 8). The results are significantly better in the tangential coordinate system than in the national system. Nevertheless, both approaches guarantee that there are no models in this block with remaining RMS y-parallaxes exceeding 20 microns. Therefore, every model can be handled by human operators without parallax problems.

## 7 Conclusion

Although GPS/IMU supported photo flights allow a great flexibility to photogrammetric projects, they usually require an additional system calibration. This causes some resistance from the user side.

In the present project, the orientation of a block for mapping in the scale 1 : 25000, supported by GPS/IMU was achieved without calibration data or well defined ground control points.

By means of the Hannover Program System BLUH it was possible to combine several observation sets in order to determine the offset and boresight misalignment. The ground information came from several not well defined net points existing in the covered area.

The results of the used strategy show that not only the required geometric accuracy for the pretended mapping scale but also the requirements for a parallax free stereo plotting were fulfilled. Using the so achieved exterior orientation data even orthophotos up to the scale 1 : 5000 could be produced.

### Acknowledgements

Thanks are going to the Instituto Geográfico do Exército in Lisbon, Portugal for making the data set available and for the fruitful cooperation.

### References

- HEIPKE, C., JACOBSEN, K. & WEGMANN, H., 2001: The OEEPE-Test on Integrated Sensor Orientation – Results of Phase I. – Photogrammetric Week '01, FRITSCH, D., SPILLER, R.(Eds.), Wichmann, Heidelberg: 195–204.
- JACOBSEN, K., 2001: Overview of System Calibration – ASPRS Annual Convention 2001, St. Louis.
- JACOBSEN, K., 2002: From Block Adjustment to Direct Sensor Orientation – handout for Workshop Applanix during ASPRS congress 2002, Washington.
- JACOBSEN, K., 2004a: Direct/Integrated Sensor Orientation – Pros and Cons. – International Archives for Photogrammetry and Remote Sensing (35), part B3, Istanbul: 829–835.
- JACOBSEN, K., 2004b: Combined adjustment with kinematic GPS-data and/or IMU-data IMU misalignment – Manual of Program System BLUH.
- JACOBSEN, K. & WEGMANN, H., 2001: Direkte Sensororientierung – Probleme und Lösungen. – Publikationen der Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie und Fernerkundung, (10), ECKHARDT SEYFERT (Hrsg.): 155–163.
- SANDAUF, R. (Hrsg.), 2005: Digitale Luftbildkamera – Einführung und Grundlagen. – 342 S., Wichmann, Heidelberg.
- YASTIKLI, N. & JACOBSEN, K., 2002: Investigation of Direct Sensor Orientation for DEM Generation – International Archives for Photogrammetry and Remote Sensing **34** (1) Com I, Denver: 298–304.
- YASTIKLI, N. & JACOBSEN, K., 2005: Influence of System Calibration to Direct Sensor Orientation – Photogrammetric Engineering and Remote Sensing **71** (5): 629–633.

#### Addresses of the authors:

Prof. Dr.-Ing. PAULA REDWEIK  
 Universidade de Lisboa  
 Faculdade de Ciências  
 Dep. Matemática, Edifício C6  
 Campo Grande, 1749-016 Lisboa, Portugal  
 Tel.: + +351-217500843  
 Fax: + +351-217500072  
 e-mail: predweik@fc.ul.pt

Dr.-Ing. KARSTEN JACOBSEN  
 Leibniz Universität Hannover  
 Inst. f. Photogrammetrie und GeoInformation  
 Nienburger Str. 1, D-30167 Hannover  
 Tel.: + +49(0)511-762-2485  
 Fax: + +49(0)511-762-2485  
 e-mail: Jacobsen@ipi.uni-hannover.de

Manuskript eingereicht: August 2006  
 Angenommen: September 2006

## Gütebewertung für die Klassifizierung landwirtschaftlicher Fruchtarten aus spektralen Normkurven

SIBYLLE ITZEROTT & KLAUS KADEN, Potsdam

**Keywords:** Accuracy assessment, satellite data, spectral standard curve, crop classification, multi-temporal

**Zusammenfassung:** Die Notwendigkeit der Einbindung der Flächennutzungsdynamik in prozessorientierte geowissenschaftliche Untersuchungen ist unumstritten. In ITZEROTT & KADEN 2006 wurde gezeigt, dass der Einsatz spektraler Normkurven in einem hierarchisch strukturierten Klassifikationsalgorithmus das Potenzial der Fernerkundungsdaten diesbezüglich erheblich erweitert. Der folgende Beitrag verdeutlicht die Anwendung der neuen Entscheidungsvorschrift bei der Erkennung der typischen Feldkulturen des Landes Brandenburg. Am Beispiel der 1600 ha umfassenden Anbaufläche eines Agrarbetriebes wird die Tragfähigkeit der Verwendung dieses neuen Ansatzes im Vergleich mit einer herkömmlichen Maximum Likelihood Klassifizierung demonstriert. Der Landwirtschaftsbetrieb besitzt ein für das Land Brandenburg typisches Anbauspektrum und stellte die notwendigen Daten zur Validierung der Klassifizierungsergebnisse bereit. Die Ergebnisse beider Verfahren weisen nach einer Bewertung mittels Konfusionsmatrizen eine vergleichbare Güte auf. Daraus kann gefolgert werden, dass ohne Qualitätseinbuße das durch mehr Effizienz und Objektivität gekennzeichnete neue Verfahren bei der Ableitung der landwirtschaftlichen Flächennutzung aus Fernerkundungsdaten eingesetzt werden kann.

**Summary:** *Accuracy assessment for the classification of agricultural crops with spectral standard curves.* The necessity of the integration of land use dynamics into process oriented geoscientific investigations is beyond all questions. In ITZEROTT & KADEN 2006 was shown that the implementation of spectral standard curves in a hierarchically structured classification algorithm allow a higher degree of utilization of the remote sensing potentials in those purposes. This paper presents the application of the new decision rule for the detection of typical agricultural crops in the federal state Brandenburg. Using the example of the cultivated lots (1600 hectares) of an agrarian cooperative the operability of its use and the comparison to a conventional Maximum Likelihood classification are shown. This company possesses a cultivation spectrum typical for Brandenburg and provided the ground truth data to validate the classification results. The results of both procedures have a comparable accuracy assessed by error matrices. From this it can be concluded that without quality loss the new more efficient and objective procedure can be used for the detection of the agricultural land use from remote sensing data.

### 1 Problemstellung

Zahlreiche Aufgaben des Umweltmonitorings sind eng mit der Kenntnis der Flächennutzung verbunden (OENEMA et al. 1998, MARTINEZ-CASASNOVAS et al. 2005). So bedarf die Erfassung von Wasser- und Stoffflüssen in Flusseinzugsgebieten und ihre realitätsnahe Abbildung in Modellen der Be-

rücksichtigung der Dynamik der landwirtschaftlichen Flächennutzung und der damit verbundenen zeitlichen und räumlichen Variation diffuser Nährstoffeinträge. Das erfordert die Kenntnis der jährlichen schlaggenauen Verteilung der Fruchtarten. Diesen Anspruch können Fernerkundungsdaten erfüllen, da sie die Kulturen durch ihre spektrale Charakteristik sowohl in der räumli-

chen Anordnung als auch in ihrer zeitlichen Dynamik abbilden. Aus zahlreichen Messungen und Veröffentlichungen ist bekannt, dass die spektralen Signaturen für einen bestimmten phänologischen Entwicklungszustand ein und derselben Kultur sehr unterschiedlich ausfallen können (GUERIF et al. 1996). Der in ITZEROTT & KADEN 2006 vorgestellte Ansatz über die Verwendung von spektralen Normkurven ist eine Möglichkeit, diese Varianzen kalkulierbar zu machen. Gleichzeitig können die zur Zeit vorzugsweise genutzten überwachten Klassifizierungsverfahren auf Basis von Trainingsflächen durch objektivere Algorithmen abgelöst werden. Damit wird die Grundforderung der Übertragbarkeit der Klassifizierungsvorschrift in der operationellen Verwendung von multitemporalen Fernerkundungsdaten erfüllt (BRUZZONE & PRIETO 2002). Das vorgestellte Prinzip fand mehrfache Anwendung im vom BMBF geförderten Projekt „Bewirtschaftungsmöglichkeiten im Einzugsgebiet der Havel“ (BRONSTERT & ITZEROTT 2005). Das dort verwendete räumlich genestete Modellsystem verlangt die Bereitstellung schlaggenauer Nutzungsinformation der Landwirtschaft für verschiedene Skalenbereiche, von der Betriebsebene (ca. 1500 ha) bis zur Ebene des Gesamteinzugsgebietes der Havel (ca. 14000 km<sup>2</sup>). Gleichzeitig musste der Forderung nach Bereitstellung längerer Zeitreihen nachgekommen werden. Da herkömmliche Klassifizierungsverfahren diesen Ansprüchen an wechselnden Raum- und Zeitbezug wegen der Nichtübertragbarkeit des Klassifikators nicht gerecht werden können, musste ein neues Verfahren entwickelt werden. Der nachfolgende Beitrag zeigt exemplarisch die Anwendung des Algorithmus und vergleicht die Güte des Ergebnisses mit der einer Maximum Likelihood Klassifizierung der gleichen Datenbasis.

## 2 Anwendung des Klassifizierungsalgorithmus

Wie in ITZEROTT & KADEN 2006b dargestellt wurde, ist bei der schlaggenauen Differen-

zierung von Feldkulturen eine hierarchisch strukturierte Herangehensweise angebracht. Sie greift die in den Normkurven abgebildete Differenziertheit in der Phänologie der Kulturen auf und setzt sie um. Der Algorithmus umfasst drei Bearbeitungskomplexe. In der Vorverarbeitung werden die zur Verfügung stehenden Landsat-Daten eines Anbaujahres normiert, maskiert und zu einem multitemporalen NDVI-Datensatz der Ackerschläge zusammengefügt. Zur Erstellung des Klassifikators müssen für die Aufnahme Termine die kulturbeschreibenden Parameter aus den Normkurven extrahiert werden. Die eigentliche Klassifizierung umfasst vier pixelbasierten Bildanalysen nach dem Parallelepipedprinzip und eine abschließende Majoritätsanalyse der Schläge.

Der Klassifikationsalgorithmus wurde im vorliegenden Beispiel für das Anbaujahr 1995 angewendet. Für diesen Zeitraum standen vier Satellitenszenen zur Verfügung. Folglich werden die Winterkulturen des Jahres 1995 durch vier (25.10.94, 05.05.95, 08.07.95 und 09.08.95) die Sommerkulturen hingegen nur durch drei (05.05.95, 08.07.95 und 09.08.95) Informationen charakterisiert. Die Herbstinformation aus dem vorangegangenen Jahr ist wegen ihrer Relevanz für die Winterkulturen dem Gesamtzyklus zuzuordnen. Das Problem, eine Differenzierung von Fruchtarten auf Basis dieser wenigen, zum Teil ähnlichen Spektralmerkmale vorzunehmen, zeigt sich offensichtlich. Wie beschrieben, setzt eine genaue Trennung der einzelnen Kulturen eine große Anzahl zeitgenau platzierter Satellitenszenen voraus.

Referenzbetrieb ist die Agrargenossenschaft Hohennauen. Die zur Verfügung gestellten Informationen betreffen 1620 ha Anbaufläche auf 144 Schlägen. Diese Daten konnten zur Validierung des erzielten Klassifizierungsergebnisses verwendet werden. Aus den Normkurven wurden nach kulturspezifischer agrarmeteorologischer Bewertung für die Aufnahmetage folgende Informationen in den Klassifikator geschrieben (Tab. 1).

Für das Vergleichsjahr lässt sich der Klassifikator wie folgt bewerten. Die Anzahl von

**Tab. 1:** Phänologische Datierung der Aufnahmetermine des Anbaujahres 1995.

Aufnahmedatum der Satellitenszene	Tag im Jahr laut Datum (julianischer Tag)	Verwendeter phänologischer Tag laut Entwicklungszustand der Kultur auf Basis agrarmeteorologischer Daten											
		Brache	Winterroggen	Winterweizen	Wintergerste	Winterraps	Feldgras (mehrjährig)	Sommergetreide	Zuckerrüben	Silomais	Ölfrüchte/Leguminosen	Kartoffeln	Feldgras (Neuansaat)
25.10.1994	298	293	298	293	298	298	293						
05.05.1995	125	132	128	132	15	135	132	125	128	128	125	128	125
08.07.1995	189	184	193	14	189	183	184	183	191	189	183	191	183
09.08.1995	221	226	221	26	221	221	226	225	224	218	225	224	225

**Tab. 2:** Phänologische Beschreibung der Aufnahmetermine für Winterroggen.

Phänologischer Tag	Phänologische Phase	Aufnahmedatum
298	Auflaufen/Bestockung	25.10.1994
128	Schossen	05.05.1995
193	Ende der Milchreife	08.07.1995
221	Kurz nach der Ernte, Stoppelreste	09.08.1995

vier (drei) Fernerkundungsszenen entspricht dem Durchschnitt der momentan pro Jahr im mitteleuropäischen Raum zur Verfügung stehenden Szenen. Ihre Verteilung im phänologischen Jahr ist zufällig. Sie reflektiert jedoch verschiedene Entwicklungszustände und weist auf gute Interpretierbarkeit hin. Betrachtet man exemplarisch die Kultur Winterroggen, bilden die Daten die in Tab. 2 genannten phänologischen Phasen ab.

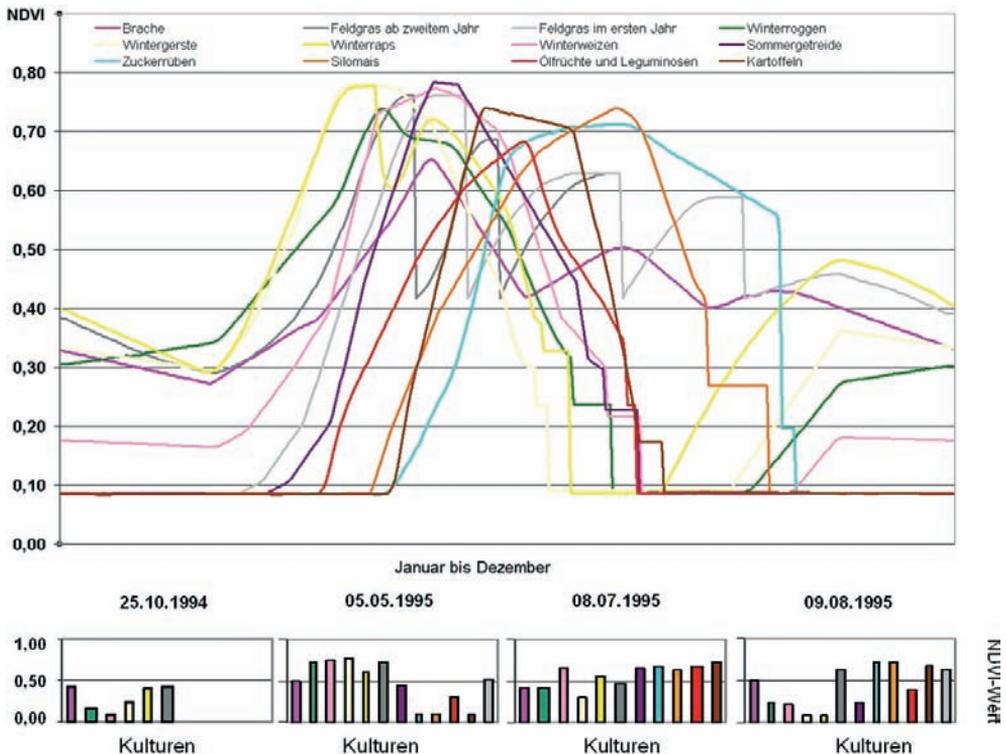
Für die anderen Winterkulturen stellt sich die Situation ähnlich dar. Damit kann ihre Phänologie relativ gut erfasst werden. Außerdem zeigen sich durchaus Möglichkeiten der Differenzierung zwischen den einzelnen Kulturen zu diesen Zeitpunkten. Die Situation für die Unterscheidbarkeit der Sommerkulturen ist weitaus ungünstiger zu bewerten. Während der erste Termin noch vor dem Saataufgang der meisten Sommerfrüchte liegt und damit kaum zur Differen-

zierung innerhalb dieser Gruppe beiträgt, bringen die beiden anderen Termine nur geringe Trennmöglichkeiten, da sie einen geringen Zeitabstand besitzen und quasi denselben Entwicklungszustand abbilden (Abb. 1).

Bei der Betrachtung der Kulturen im Einzelnen fällt Folgendes auf:

**Brache** trennt sich anhand der vier Termine deutlich. Es ist vor allem der vierte Wert (221ster Tag), der die Unterscheidung ermöglicht. Die größte Ähnlichkeit besteht zu den Klassen Feldgras und Ölfrüchten/Leguminosen.

Mehrjähriges **Feldgras** besitzt eine ähnliche Charakteristik wie Brache. Unterschiede bestehen im zweiten Termin, wo deutlich höhere Werte des NDVI auf eine intensivere Begrünung hinweisen. Auch für die beiden folgenden Termine liegen die Werte über denen der Brache.



**Abb. 1:** Normkurven des NDVI der Kulturen und Gegenüberstellung der NDVI-Normwerte an den ermittelten phänologischen Tagen der Aufnahmedaten.

**Winterroggen** lässt sich im Aufwuchsstadium und während des Reifens gut von den restlichen Wintergetreidearten unterscheiden. Die NDVI-Werte fallen bei Roggen während des Reifens langsamer. Die beiden Aufnahmetermine an den Tagen 193 und 221 erfassen diese Tatsache gut.

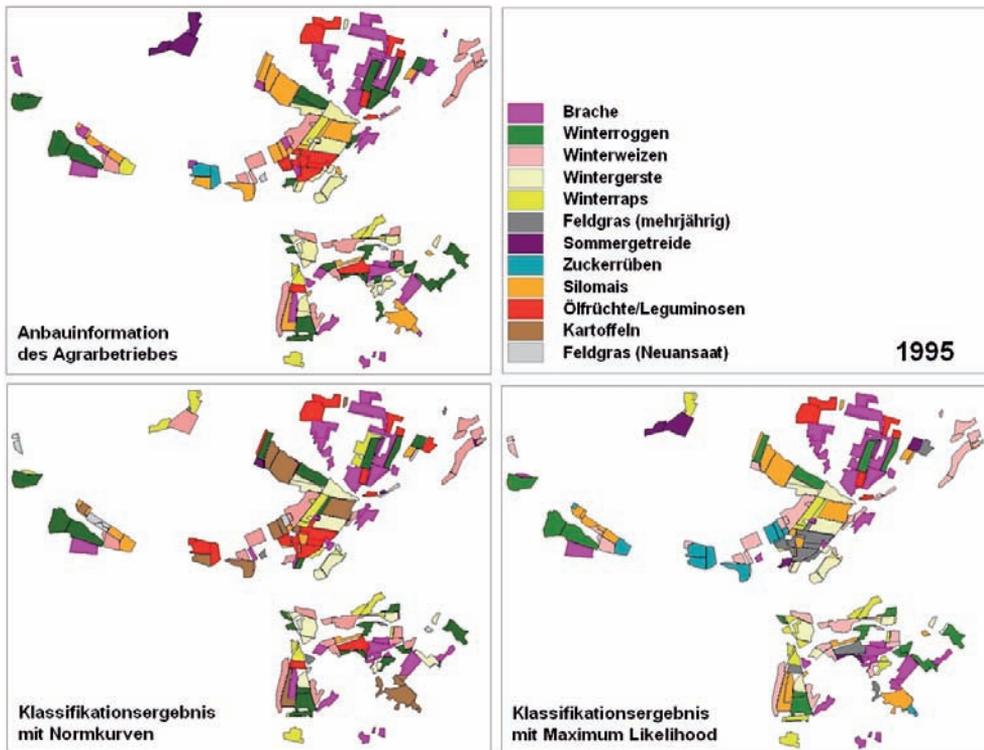
**Winterweizen** besitzt eine sehr gute Erkennungsgenauigkeit zum ersten und dritten Termin. Zu diesen Zeitpunkten hat er die auffälligsten Entwicklungsdifferenzen zu den anderen Wintergetreidearten. Im Herbst liegt der Termin zu Beginn des Auflaufens. Im Sommer (Anfang Juli) beginnt der Reifeprozess beim Weizen gerade, während er bei den restlichen Wintergetreidearten bereits fortgeschritten ist, wodurch deutlich niedrigere NDVI-Werte entstehen.

**Wintergerste** kann mit hoher Wahrscheinlichkeit durch den Wert am Anfang Juli

(dritter Termin) von den anderen Wintergetreidearten getrennt werden. Sie ist im Abreifen am schnellsten.

**Winterraps** besitzt zum zweiten Aufnahmetermin die maximale Unterscheidbarkeit. Entscheidend dafür ist der durch die Rapsblüte verursachte vergleichsweise geringere NDVI-Wert Anfang Mai.

**Sommergetreide** besitzt zu den drei zur Verfügung stehenden Zeitpunkten kaum Unterschiede zu den anderen Getreidearten. Da im Frühjahr erst am 5. Mai ein Satellitenbild zur Verfügung steht, kann zu dieser Zeit (kurz vor dem Schossen) nicht mehr vom gerade schossenen Winterweizen unterschieden werden. Zu den beiden späteren Terminen ähnelt das Sommergetreide bezüglich der NDVI-Normkurve dem Winterweizen noch stärker, da die anfänglichen Entwicklungsunterschiede insbesondere



**Abb. 2:** Vergleich der Klassifizierungsergebnisse beider Verfahren mit der Anbauinformation.

zum Winterweizen immer mehr ausgeglichen werden.

**Zuckerrüben** sind in der Ausprägung der NDVI-Werte nur schwer von einigen anderen Sommerkulturen zu unterscheiden. Die größte Ähnlichkeit wird zum Mais sichtbar, der sich lediglich in den Juli-Werten geringfügig niedriger zeigt.

**Silomais** besitzt zu den zur Verfügung stehenden Zeitpunkten geringe Unterschiede in den Werten zu Kartoffeln. Die NDVI-Werte sind sehr ähnlich. Eine Unterscheidungsmöglichkeit besteht im August. Hier nimmt die Kartoffel geringfügig niedrigere NDVI-Werte im Vergleich zum Mais an.

**Ölfrüchte/Leguminosen** heben sich durch ihren relativ schnell ablaufenden Zyklus von den anderen Sommerkulturen deutlich ab. Im Aufgang (Mai) liegen die Werte sichtbar über denen der Hackfrüchte bzw. von Mais

und unter den Werten von Sommergetreide und Feldgras (Neuansaat). Im August liegen die Werte merklich niedriger als die der Hackfrüchte, des Mais und des Feldgrases.

**Kartoffeln** sind von Mais und Zuckerrüben zu den zur Verfügung stehenden Terminen kaum zu unterscheiden. Lediglich im Augusttermin liegen die Werte durch die beginnende Abtrocknung bereits etwas niedriger.

**Feldgras in Neuansaat** ist zu den ersten beiden relevanten Terminen (Mai, Juli) dem Sommergetreide in den Werteausprägungen nahe, unterscheidet sich von diesem aber im Augustwert klar. Auch zu den anderen Sommerkulturen sind zu diesem Zeitpunkt Differenzierungsmöglichkeiten gegeben. Allerdings sind die NDVI-Werte zwischen einjährigem und mehrjährigem Feldgras hier bereits ausgeglichen.

Zieht man für eine erste Bewertung des Klassifizierungsergebnisses einen visuellen Vergleich zu den Anbauinformationen (Abb. 2, links oben und unten), so kann für viele Schläge eine Übereinstimmung beider Datensätze festgestellt werden. Das trifft insbesondere für die Winterkulturen zu, deren Zuweisung nur vereinzelt fehlerhaft erfolgt ist und diese keine Regelmäßigkeit zeigt. Auffällig ist die Überrepräsentanz von Kartoffeln im Klassifizierungsergebnis. Das kündigte sich bereits in der Bewertung des Klassifikators an und bestätigt den in der Anzahl der verwendeten Datensätze liegenden Informationsnachteil der Sommer- gegenüber den Winterkulturen.

### 3 Gütebewertung des Ergebnisses

Genauere Bewertungsmöglichkeiten eröffnen eine Konfusionsmatrix (Tab. 3). Sie wurde in Bezug zur Anbaufläche erstellt und ermöglicht somit eine flächenbezogene Bewertung des Klassifizierungsergebnisses anhand der Kontrolldaten (STEHMAN 1997, FOODY 2002, FOODY 2004). Abweichend zu pixelbezogenen Bewertungen ist zu beachten, dass der Algorithmus ein schlagbezogenes Ergebnis liefert. Die Unterschiede in der Schlaggröße bilden sich in der Gütebewertung ab. Die Matrix erfasst die richtig klassifizierte Flächenanteile (%) in ihrer Diagonalen. Alle Werte außerhalb der Diagonalen sind Fehlzuweisungen (%). Bewertet wird dabei der Omissionsfehler (Unterlassungsfehler) und der Commissionsfehler (Einschlussfehler). Der Omissionsfehler ist der Anteil einer Klasse (hier angegeben in Hektar und Prozent), der bezogen auf die Validierungsdaten durch die Klassifizierung nicht erfasst wurde. Der Commissionsfehler erfasst die Anteile (in Hektar und Prozent), die fälschlicherweise einer Klasse zugeordnet wurden. Die overall accuracy ist der Anteil der richtig klassifizierten Fläche, bezogen zur Fläche der Anbauinformationen. Er kann als ein komplexes Bewertungsmaß angesehen werden. Die Klassifizierung erreicht eine overall accuracy von 65,7%. Dies kann unter den Voraussetzungen, das kein interaktiver bildbezogener Klassifikator einge-

setzt wurde, als ein respektables Ergebnis betrachtet werden.

Betrachtet man das Ergebnis genauer, so verweist die Konfusionsmatrix auf die Probleme. Sehr gut erkannt werden Wintererbsen, Winterweizen und Ölfrüchte/Leguminosen. Zufrieden kann man auch mit dem Erkennen von Winterroggen, Wintergerste und Brache sein. Alle anderen Kulturen erzielen dagegen eher unbefriedigende Ergebnisse. Bewertet man auf anderer Generalisierungsebene zunächst die Anbaugruppen, so sind die Winter- und Dauerkulturen zufriedenstellend, die Sommerkulturen nur schlecht erkannt worden. Fehlzuweisungen zwischen diesen Gruppen sind eher selten. Hauptsächlich werden die Sommerkulturen in sich falsch zugeordnet. Zwei Schwerpunktfehler werden deutlich. Einerseits werden Sommergetreide, Feldgras in Neuansaat und Zuckerrüben nicht erkannt und falsch zugeordnet. Andererseits erfolgt eine teilweise Fehlzuweisung von Mais zu Kartoffeln. Dementsprechend treten für diese Kulturen hohe Omissionsfehler auf. Abschwächend dabei wirken die oftmals geringen Flächenanteile bezogen auf die Gesamtfläche dieser Kulturen. So wurden Sommergetreide nur auf 54,0 ha (3,3% der Gesamtfläche), Zuckerrüben auf 27,7 ha (1,7%) und Feldgras (Neuansaat) auf 3,7 ha (0,2%) angebaut. Lediglich bei Mais werden 231,5 ha von 271,0 ha fälschlicherweise anderen Kulturen, primär der Kartoffel zugeordnet. Dies stellt das wesentliche Problem dar, das hinsichtlich der Omission besteht.

Der Commissionsfehler liegt bei Feldgras (sowohl mehr- als auch einjährig), Sommergetreide und Kartoffel bei 100%. Aber auch hier schwächt sich die Bewertung der Fehlzuweisungen durch die geringen Flächenanteile der Fehlzuweisungen für mehrjähriges Feldgras (9,1 ha), Sommergetreide (8,4 ha) und Feldgras in Neuansaat (34,2 ha) ab. Wiederum problematisch zeigt sich der bedeutende Flächenanteil (206,8 ha = 12,9% der Anbaufläche) der fälschlicherweise als Kartoffeln klassifiziert wurde. Meist handelt es sich laut Anbauinformation um Flächen, die mit Silomais bestellt waren. Etwas höhere Commissionsfehler treten auch bei

Tab. 3: Konfusionsmatrix der Klassifizierung mit Normkurven.

		Klassifizierungsergebnis														
		Brache	Feldgras (mehrjährig)	Winterroggen	Winterweizen	Wintergerste	Winterraps	Sommergetreide	Zuckerrüben	Silomais	Ölfrüchte/ Leguminosen	Kartoffeln	Feldgras (Neuansaat)	Anbaufläche in ha	richtig klassif. Anteil an Anbaufläche in ha	Omissions- fehler ha %
Referenzdaten	Brache	76,6	1,6	0,4			6,7	1,6		0,4	4,4	3,2	5,1	328,6	251,7	76,9 23,4
	Feldgras (mehrjährig)													0	0	0
	Winterroggen	10,1		71,1	8,8	6,1	1,6				0,4	1,9		299,0	214,1	84,9 28,9
	Winterweizen	1,6		2,9	91,7		1,5	0,7					1,6	214,0	196,2	17,8 8,3
	Wintergerste	5,3		10,8		76,9	3,9				2,0	1,1		186,4	143,3	43,1 23,1
	Winterraps	1,2			1,5		97,3							67,5	65,7	1,8 6,7
	Sommergetreide				52,4		47,6							54,0	0	54,0 100
	Zuckerrüben										100,0			27,7	0	27,7 100
	Silomais	0,4		6,2	1,4		1,3	0,6		14,5	1,8	68,5	5,2	271,0	39,5	231,5 85,5
	Ölfrüchte/ Leguminosen	2,1					1,0			3,1	92,1	1,7		167,5	154,3	13,2 7,9
	Kartoffeln													0	0	0
	Feldgras (Neuansaat)		100,0											3,7	0	3,7 100
	Fläche der Klassen in ha	300,9	9,1	257,4	255,6	161,6	133,6	8,4	0	45,5	206,2	206,8	34,2	∑ 1619,4*	1064,7	
	richtig klassif. Anteil an Anbaufläche in ha	251,7	0	214,1	196,2	143,3	65,7	0	0	39,3	154,3	0	0	1064,7		Overall Accuracy
	Commissionsfehler ha %	49,2 16,4	9,1 100	43,3 16,8	59,4 23,2	18,3 11,3	67,9 50,8	8,4 100	0	6,2 13,2	51,9 25,2	206,8 100	34,2 100			65,7%

\* Validierungsfläche

Raps (50,8%), Öllein/Leguminosen (25,2%) und Winterweizen (23,2%) auf. Diese Klassen sind somit ebenfalls im Klassifizierungsergebnis etwas überpräsentiert.

Als Begründung für die oben erwähnten Probleme lassen sich folgende Argumente anführen. Die deutlichen Unterschiede in der Klassifizierungsgüte zwischen den Winterkulturen (besser) und Sommerkulturen (schlechter) ergeben sich zwangsläufig zu-

nächst aus der unterschiedlichen Anzahl der in die Klassifizierung eingegangenen Szenen. Wenn für die Winterkulturen vier Szenen berücksichtigt werden konnten, für die Sommerkulturen dagegen nur drei, so ergibt sich a priori 25% weniger Informationsmöglichkeit. Bezieht man außerdem den interpretatorischen Wert der einzelnen Szenen hinsichtlich der Beschreibung der Phänologie der Kulturen ein, so besitzen die beiden

Szenen vom 08.07. und 09.08. einen stark ähnlichen Informationsgehalt.

**Zuckerrüben** werden nicht erkannt. Sie werden der Gruppe Ölfrüchte/Leguminosen zugeordnet. Das ist ein Zeichen dafür, dass Anfang August der Zustand der Zuckerrübenflächen schlecht gewesen sein muss, wenn sie den zu dieser Zeit schon abreifenden Ölfrüchten ähneln. Trockenheit ist die Ursache dafür.

Die agrarmeteorologischen Berichte für das Jahr 1995 stellen fest:

*Temperatur:*

- liegt **über Normalwerten** vom: 01.04.–07.04., 30.04.–05.05., **06.07.–25.08.**, 07.09.–13.09., 03.10.–20.10.
- kalte Abschnitte lagen im Zeitraum: 09.05.–22.05., 01.06.–08.06., 27.08.–06.09.
- **das Jahr 1995 war eher zu warm**, jedoch herrschten Fröste bis Ende Mai

*Niederschlag:*

- niederschlagsreiche Abschnitte: 1. Aprildekade, 07.05.–18.05., 26.05.–28.05., 23.08.–20.09.
- **niederschlagsarm:** 04.03.–14.03., 21.4.–06.05., 25.06.–01.07., **23.07.–12.08.**, 09.10.–17.10., 21.10.–30.10.
- verbreitet zu nass: im Januar, Februar, Juni, September; **zu trocken: im Juli**, Oktober, Dezember
- **klimatische Wasserbilanz:** 3. April- und 1. Maidekade sowie **Ende Juni bis 2. Augustdekade spürbar negativ**

Das bedeutet, dass für **Zuckerrüben** durch verstärkten Wasserstress in dieser Phase die NDVI-Werte gesunken waren und auf das Niveau der Ölfrüchte/Leguminosen fielen. Das ist keinen Entwicklungsverzug, sondern eine Stresssituation, in der der Blattapparat verwelkt und anschließend neu gebildet werden muss. Dieser außergewöhnliche Effekt kann mit der Zeitkorrektur der Normkurve nicht ausgeglichen werden. Die in der Normkurve für den korrigierten Zeitpunkt festgelegten, dennoch hohen NDVI-Werte können mit einem zerstörten oder im Neuaufbau befindlichen Blattapparat nicht erreicht werden. Hieraus erklärt sich der Omissionsfehler für Zuckerrüben (100%)

und der Commissionsfehler für Ölfrüchte/Leguminosen (25,2%).

**Mais** stellt den Schwachpunkt innerhalb der Klassifizierung dar. Er wird den tatsächlichen Anbauflächen nur teilweise richtig zugeordnet. Häufig werden mit Mais bestellte Flächen als Kartoffeln klassifiziert. Ausdruck dafür ist ein Omissionsfehler für Mais von 85,5% und ein Commissionsfehler für Kartoffeln von 100%. Die Ursachen zeichnen sich bereits a priori im Klassifikator ab. So sind die Werte für Mais und Kartoffeln für die verwendeten Termine ähnlich. Anfang Mai sind beide Kulturen kaum aufgegangen. Die trockene Periode wirkte verzögernd für beide Kulturen zu diesem Zeitpunkt. Zum zweiten Termin (Anfang Juli) konnten die Rückstände durch die positive klimatische Wasserbilanz in der zweiten Maihälfte und im Juni etwas aufgeholt werden. Sie fällt aber im Juli/August wieder negativ aus, so dass Welkeerscheinungen vor allem auf grundwasserfernen Standorten für den Augusttermin auftreten. Steht Mais auf oberen Talsandterrassen oder anderen sandigen grundwasserfernen Standorten, setzt Wasserstress ein. Im spektralen Erscheinungsbild entspricht das dem langsam einsetzenden Welkeprozess des Kartoffelkrautes zu diesem Zeitpunkt. Der Mais nimmt demzufolge die für Kartoffeln im August geringfügig niedrigeren NDVI-Werte der Normkurve an und wird als Kartoffel klassifiziert. Mais, der im Gegensatz dazu in der Niederung angebaut wird und daher in der Regel gut grundwasserversorgt ist, zeigt die Welkeerscheinungen nicht. Er wird richtigerweise als Mais erkannt.

**Sommergetreide** wird nicht als solches erkannt und zu Winterweizen und Winterraps (Omissionsfehler Sommergetreide 100%, Commissionsfehler Winterweizen 23,2% bzw. Winterraps 50,8%) zugeordnet. Dieser Fehler entsteht auf einer weiter vorn platzierten Stufe des Algorithmus, dort, wo die Trennung der Winter- von den Sommerkulturen stattfindet. Bereits hier erfolgt die Fehlzuweisung. Die Ursache liegt im Fehlen einer echten Frühjahrsszene (März/April), so dass das Beräumen der Winterzwischenfrucht bildlich nicht erfasst und auf den un-

unterbrochenen Vegetationszyklus von Winterfrüchten geschlussfolgert wird.

Dass **Feldgras** (Erstansaat) als Feldgras (mehrjährig) klassifiziert wird, sollte zunächst vernachlässigt werden dürfen. Die für die Validierung zur Verfügung stehenden Flächen sind klein (3,7 ha). Damit ist eine Gütebewertung kaum möglich. Andererseits muss festgehalten werden, dass beide Kulturen schnell ineinander übergehen und nur zwischen der Saat und dem ersten Schnitt tatsächlich signifikante Unterschiede zu erwarten sind. Ebenso erschwert eine gewisse Beliebigkeit in Anzahl und Zeitpunkten der Mahd eine präzise Zuordnung zur Klasse.

#### 4 Gütevergleich des Ergebnisses mit einer Maximum Likelihood Klassifizierung

Abschließend wurde ein Vergleich mit einer herkömmlichen überwachten Klassifizierung derselben Daten für dieses Gebiet vorgenommen. Es wurde nach der üblichen Vorgehensweise für den analogen maskierten multitemporalen NDVI-Datensatz ein Klassifikator erstellt und nach dem Maximum Likelihood Algorithmus klassifiziert (ML-Klassifikation). Nach dem Majoritätsprinzip wurde jeder Fläche die prägende Nutzung zugewiesen. Das Ergebnis zeigt die Abb. 2 (rechts). Auf den ersten Blick stellt man eine gute Übereinstimmung zwischen dem Klassifizierungsergebnis und den Anbauinformationen fest. Wesentliche Flächen werden richtig erkannt. Feldgras fällt sofort als überpräsentiert auf. Eine detailliertere Bewertung des Ergebnisses soll wiederum auf der Basis einer Konfusionsmatrix erfolgen (vgl. Tab. 4). Gleichzeitig wird das Ergebnis mit dem durch Verwendung des Normklassifikators erzielten verglichen.

Mit einer overall accuracy von 72,8% liegt das Gesamtergebnis höher als bei der Klassifizierung auf Basis der Normkurven. Das war zwingend zu erwarten, da ein datensatzspezifischer Klassifikator die Bildstatistik genauer abbildet. So werden durch den interaktiven Ansatz a priori Kenntnisse über

spezifische Situationen genutzt (Ausschluss spezieller Kulturen auf Grund der Anbauangaben, Wichtung der Informationsgehalte der einzelnen Szenen, Nutzung der räumlichen Anordnung der Spektralwerte bei der Klassenabgrenzung). Damit entsteht ein speziell angepasster Klassifikator, der den Qualitätszuwachs im Ergebnis erzeugen muss. Ein letztendlicher Gütezuwachs von 7,1% (Anstieg der Overall Accuracy von 65,7% auf 72,8%) kann jedoch durchaus als ein vertretbarer Unterschied angesehen werden, der den Einsatz eines Normklassifikators rechtfertigt, da der Qualitätsverlust nicht wesentlich ist. Bei der Betrachtung der Commissions- bzw. Omissionsfehler der beiden Matrizen gibt es große Ähnlichkeiten in den wesentlichen Teilen. Das heißt, dass in beiden Fällen die Datenstruktur in gleicher Weise in ihren Grundsätzen erkannt wurde. Auch das spricht für die Verwendung des Normklassifikators.

Verfolgt man die Veränderungen in den Omissions- bzw. Commissionsfehlern der Einzelkulturen (vgl. Tab. 5) so treten die auffallendsten Unterschiede bei den Sommerkulturen auf. Während bei den Winterkulturen die Beträge der Abweichungen niedrig bleiben und sich Verbesserungen und Verschlechterungen in etwa die Waage halten, werden hier fast überall deutliche Bewertungsunterschiede sichtbar.

Da a priori bekannt ist, dass Kartoffel und Feldgras (ab zweitem Jahr) im betrachteten Jahr nicht angebaut wurden, und dieses Wissen in die interaktive Gestaltung des ML-Klassifikators eingehen kann, wurden beide Klassen wesentlich nicht gebildet, da keine entsprechenden Beispielflächen zu Verfügung standen. Dadurch erklärt sich die Abweichung in den Commissionsfehlern für diese beiden Kulturen. Zwangsläufig führt dies zu Veränderungen in der Zuweisung der restlichen Sommerkulturen, was einerseits eine verbesserte Identifizierung (Sommergetreide, Zuckerrüben, Mais) aber auch durchaus eine Verschlechterung (Öllein/Leguminosen) zur Folge haben kann. Auch hier wirken die unzureichenden Informationsgehalte der zur Verfügung stehenden Bilder.

Tab. 4: Konfusionsmatrix der Maximum Likelihood Klassifizierung.

		Klassifizierungsergebnis														
		Brache	Feldgras (mehrjährig)	Winterroggen	Winterweizen	Wintergerste	Winterraps	Sommergetreide	Zuckerrüben	Silomais	Ölfrüchte/ Leguminosen	Kartoffeln	Feldgras (Neuansaat)	Anbaufläche in ha	richtig klassif. Anteil an Anbaufläche in ha	Omissions- fehler ha %
Referenzdaten	Brache	78,6	3,5	0,4	8,7	1,8			0,3	6,6				328,6	258,3	70,3 21,4
	Feldgras (mehrjährig)													0	0	0
	Winterroggen	11,0		2,3	68,2	5,2	2,5	3,9	6,3					299,0	203,8	95,2 31,8
	Winterweizen			2,9	95,5		0,9			0,7				214,0	204,5	9,5 4,5
	Wintergerste	2,0	4,2	5,0	3,7	71,7	12,3			1,1				186,4	133,6	52,8 28,3
	Winterraps				5,2		94,8							67,5	64,0	3,5 5,2
	Sommergetreide						27,8	72,2						54,0	39,0	15,0 27,8
	Zuckerrüben								100,0					27,7	27,7	0,0 0,0
	Silomais	1,8		4,4	2,1		3,2		23,8	64,6				271,0	175,1	95,5 35,4
	Ölfrüchte/ Leguminosen	1,4	47,7		1,0		1,0		1,0	4,7	43,2			167,5	72,3	95,2 56,8
	Kartoffeln													0	0	0
	Feldgras (Neuansaat)		67,6			32,4								3,7	0,0	3,7 100
	Fläche der Klassen in ha	305,7	57,9	232,9	268,3	147,1	125,9	106,1	94,8	208,2	72,3	0	0	∑ 1619,4*	1178,3	
	richtig klassif. Anteil an Anbaufläche in ha	258,3	0	203,8	204,5	133,6	64,0	39,0	27,7	175,1	72,3	0	0	1178,3		Overall Accuracy
Commissionsfehler ha %	47,4 15,5	57,9 100	28,1 11,1	63,8 23,8	13,5 10,1	61,9 53,3	67,1 63,2	67,1 70,8	33,1 15,9	0,0 0,0	0	0			72,8%	

\* Validierungsfläche

Wertet man die Konfusionsmatrix für die ML-Klassifizierung in sich, so fallen insbesondere die relativ hohen Omissionsfehler für die Wintergetreide Roggen und Gerste, sowie für Sommergetreide, Silomais, Öllein/Leguminosen und Feldgras (Neuansaat) auf. Während das für die Kulturen Silomais und Sommergetreide zwar eine deutliche Verbesserung im Vergleich zur Normklassifikatoranwendung darstellt, verweist es den-

noch auf weiterhin bestehende Unsicherheiten. Die anderen Omissionsfehler sind eher mit Verschlechterungen verbunden, was für die Qualität der Klassifizierung mit dem Normklassifikator spricht. Speziell für die Klasse Öllein/Leguminosen ist eine deutliche Erhöhung festzustellen. Die Commissionsfehler sind bei den Ergebnissen der ML-Klassifikation außerdem bei den Kulturen Feldgras (mehrjährig), Winterraps,

**Tab. 5:** Vergleich der Fehlerwerte beider Klassifizierungen (eine graue Hinterlegung stellt eine negative Abweichung des Ergebnisses der Normklassifizierung von der herkömmlichen ML-Klassifizierung dar).

Kultur	Differenz Omission	Differenz Commission
Brache	2,0	0,9
Feldgras (mehrjährig)	0	0
Winterroggen	2,9	5,7
Winterweizen	3,8	0,6
Wintergerste	5,2	1,2
Winterraps	1,5	2,5
Sommergetreide	72,2	36,8
Zuckerrüben	100	70,8
Silomais	50,1	2,7
Ölfrüchte/ Leguminosen	48,9	25,2
Kartoffeln	0	100
Feldgras (Neuansaat)	0	100

Sommergetreide und Zuckerrüben hoch. Das heißt, dass diese Klassen im Ergebnis überrepräsentiert sind. Probleme treten jeweils in der Trennung von Sommergetreide und Winterroggen (Winterroggen wird als Sommergetreide identifiziert), von Zuckerrüben und Silomais (Silomais wird den Zuckerrüben zugeordnet) sowie von Feldgras (mehrjährig) und Öllein/Leguminosen (Öllein wird als Feldgras erkannt) auf. Sowohl die letztgenannte Klasse als auch die Klasse Winterraps nehmen auch andere Kulturen auf, das ist ein Zeichen ihrer Unschärfe.

Bewertet man auf dieser Basis die Güte eines Klassifikationsansatzes auf der Grundlage eines normierten Klassifikators, so kann festgestellt werden, dass eine zur herkömmlichen Bildklassifikation durchaus vergleichbare Güte erreicht wird. Die Bildinformationen sind in annähernd gleicher Weise herauszufiltern. Zwar wird durch die fehlende individuelle Bilderschließung bei der Klassifikatorerstellung zunächst nicht das optimale Ergebnis erreicht, der Vorteil der Übertragbarkeit (damit verbunden der Vergleichbarkeit und Objektivität) gleicht jedoch für viele Aufgabenstellungen die ge-

genwärtigen Gütenachteile aus. Zudem ist davon auszugehen, dass durch die Integration weiterer Informationen zur Vervollkommnung der Normkurven und durch Präzisierungen am Klassifikationsalgorithmus diese Nachteile weiter ausgeglichen werden.

## 5 Fazit

Die Gegenüberstellung der Ergebnisse beider Verfahren hat gezeigt, dass der neue hierarchisch strukturierte Ansatz auf der Basis von Normkurven Resultate ähnlicher Güte erzielt und seine Verwendung gerechtfertigt ist. Auch in vergleichenden Tests (BRENNING et al. 2006) weiterer überwachter Klassifikationsverfahren sind ähnliche Fehlerraten (20–35%) aufgetreten. Der entscheidende Vorteil besteht jedoch in der Existenz eines abrufbaren Klassifikators in Form einer Normkurve. Es bedarf lediglich der Einpassung der Aufnahmezeitpunkte in das Normjahr der phänologischen Entwicklung der Kultur, um daraus die Entscheidungsvorschrift zu erstellen. Dieser Schritt ist wesentlich effizienter als die jeweils erneute Gewinnung von Spektralsignaturen aus dem Bild in herkömmlichen Verfahren. Erst der damit verbundene Zeitgewinn bringt Aufwand und Nutzen in Monitoringansätzen in ein vertretbares Verhältnis. Grundlage dieser Einschätzung sind die im Rahmen des Projektes durchgeführten 20 Anwendungen des Ansatzes auf verschiedene Anbaujahre und -gebiete. Limitierungen zeigten sich hauptsächlich, wenn die Anzahl und die Zeitpunkte der Aufnahmen eine adäquate Abbildung der Phänologie im Anbaujahr nicht zuließen.

Überdies wird die Güte eines Klassifizierungsergebnisses prinzipiell von der Güte des Klassifikators beeinflusst. Im vorliegenden Fall betrifft das wesentlich die in die Normkurve eingegangenen Informationen. Derzeit muss für einzelne Datensätze vermerkt werden, dass bei manchen Rahmenbedingungen (ungünstige Lage der Aufnahmezeitpunkte, sehr starke Abweichung der phänologischen Entwicklung vom langjährigen Mittel) die spektrale Variabilität inner-

halb einer Klasse größer ist als die Unterschiede zwischen den Kulturen. Durch das Hinzufügen neuer Daten sollte sich dieses Problem abschwächen und der „Informationsspeicher Normkurve“ vervollkommen werden. Das kann bei Bedarf dazu führen, dass eine stärkere Berücksichtigung von naturräumlichen Faktoren (Boden mit Nährstoffversorgung, Wasserversorgung und Wasserspeicherfähigkeit) und Bewirtschaftungsfaktoren (Düngung, Sorte) erfolgt. Diese Einbeziehung erlaubte z. B., die Kultur unabhängig von den sich durchprägenden Bodenverhältnissen sicher zu erkennen.

### Danksagung

Diese Arbeit wurde im Forschungsprojekt „*Bewirtschaftungsmöglichkeiten im Einzugsgebiet der Havel*“ durchgeführt und vom BMBF unter dem Kennzeichen 0330227 gefördert.

### Literatur

- BRENNING, A., ITZEROTT, S. & KADEN, K., 2006: Comparing classifiers for crop identification based on multitemporal LANDSAT TM/ETM data. – Second Workshop of the EARSeL SIG on Remote sensing of Land Use and Land Cover, Bonn.
- BRONSTERT, A. & ITZEROTT, S., 2006: Bewirtschaftungsmöglichkeiten im Einzugsgebiet der Havel – Abschlussbericht zum BMBF-Projekt. Brandenburgische Umweltberichte, Band 18, Potsdam.
- BRUZZONE, L. & PRIETO, D.F., 2002: A partially unsupervised cascade classifier for the analysis of multitemporal remote-sensing images. – Pattern Recognition Letters **23**: 1063–1071.
- FOODY, G.M., 2002: Status of land cover classification accuracy assessment. – Remote Sens. Environ. **80**: 185–201.
- FOODY, G.M., 2004: Thematic map comparison: Evaluating the statistical significance of differences in classification accuracy. – Photogrammetric Engineering and Remote Sensing **70**: 627–633.
- GUERIF, M., BLÖSER, B., ATZBERGER, C., CLASTRE, P., GUINOT, J.-P. & DELECOLLE, R., 1996: Identification de parcelles agricoles a partir de la forme de leur evolution radiometrique au cours de la saison de culture. – Photo-Interpretation, pp. 12–22
- ITZEROTT, S., MÜLLER, D. & KADEN, K., 2004: Klassifikation agrarischer Nutzungen unter Verwendung spektraler Normkurven. – Halle-sches Jahrbuch Geowissenschaften, **A26**: 93–110.
- ITZEROTT, S. & KADEN, K., 2005: Erfassung von Modellbezugsflächen und Bereitstellung von flächenbezogenen Parametern aus Fernerkundungsdaten – Abschlussbericht des Teilprojektes 6 im Rahmen des BMBF-Projektes „Bewirtschaftungsmöglichkeiten im Einzugsgebiet der Havel. unveröffentlicht, Potsdam.
- ITZEROTT, S. & KADEN, K., 2006a: Spektrale Normkurven – eine notwendige Voraussetzung für die Klassifizierung der Fruchtartenverteilung aus Fernerkundungsdaten. – Photogrammetrie, Fernerkundung, Geoinformation **2006** (3): 205–216.
- ITZEROTT, S. & KADEN, K., 2006b: Ein neuer Algorithmus zur Klassifizierung landwirtschaftlicher Fruchtarten auf Basis spektraler Normkurven. – Photogrammetrie, Fernerkundung, Geoinformation **2006** (6): 509–518.
- MARTINEZ-CASASNOVAS, J.A., MARTIN-MONTERO, A. & CASTERAD, M.A., 2005: Mapping multi-year cropping pattern in small irrigation districts from time-series analysis of Landsat TM images. – European Journal of Agronomy **23**: 159–169.
- OENEMA, O., BOERS, P.C.M., VAN EERDT, M.M., FRATERS, B., VAN DER MEER, H.G., ROEST, C.W.J., SCHRÖDER, J.J. & WILLEMS, W.J., 1998: Leaching of nitrate from agriculture to groundwater: the effect of policies and measures in the Netherlands. – Environmental Pollution **102** (S1): 471–478.
- STEHMAN, S.V., 1997: Selecting and interpreting measures of thematic classification accuracy. – Remote Sens. Environ. **62**: 77–89.

### Anschriften der Autoren:

Dr. SIBYLLE ITZEROTT  
GeoForschungszentrum Potsdam  
Sektion Fernerkundung  
Telegraphenberg A 17, D-14473 Potsdam  
Tel.: 0331-2881107, Fax: 0331-2881192,  
e-mail: itzerott@gfz-potsdam.de

Dr. KLAUS KADEN  
Universität Potsdam, Institut für Geoökologie,  
Karl-Liebknecht-Str. 24–25, D-14476 Potsdam  
Tel.: 0331-9772107, Fax: 0331-9772092,  
e-mail: kkaden@rz.uni-potsdam.de

Manuskript eingereicht: März 2006  
Angenommen: Oktober 2006

## Die Aktualität der Vergangenheit – der Kriegsluftbildbestand „JARIC“ in der modernen Kampfmittelbeseitigung

HANS-GEORG CARLS & WOLFGANG MÜLLER, Estenfeld

**Keywords:** Remote Sensing, JARIC, bomb disposal, Air photography, WWII, photo interpretation

**Summary:** *Actuality of the past – WWII aerial photographs “JARIC” for modern bomb disposal.* For the evaluation of aerial photographs for reconnaissance of explosive ordnance in Germany there were two primary stocks of images available until now. Since 2004, another one is disposable and can be consulted for removal of explosive ordnance: the so-called JARIC stock, which is filed at the University of Keele (U.K.) at present. The approx. 5 million images of the JARIC stock, which were taken from the Royal Air Force in the years 1938 to 1974 worldwide, are currently processed to be suitable for users.

**Zusammenfassung:** Für die Luftbildauswertung zur Kampfmittelerkundung in Deutschland standen bisher im Wesentlichen zwei große Kriegsluftbildbestände zur Verfügung. Seit 2004 ist ein weiterer verfügbar und kann in der Kampfmittelbeseitigung als Bewertungsgrundlage herangezogen werden: der so genannte JARIC-Bestand. Die darin enthaltenen ca. 5 Millionen Bilder, die von 1938 bis 1974 weltweit aufgenommen wurden, werden zurzeit aufgearbeitet.

---

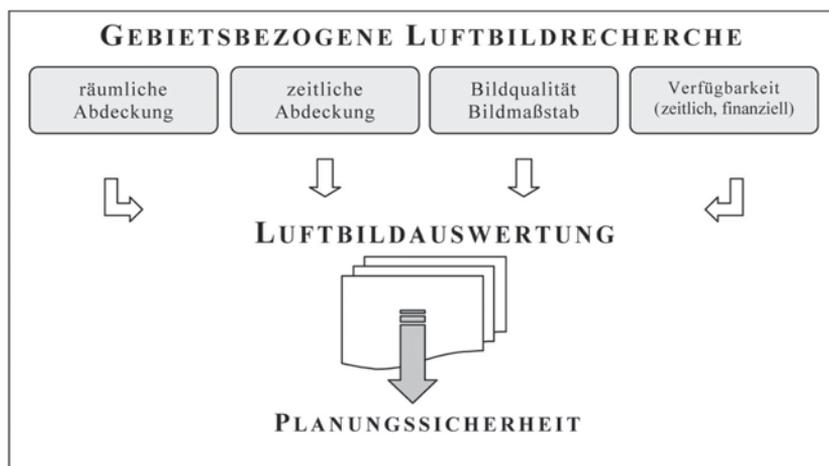
### 1 Einleitung

Ursprünglich gedacht zur Vorbereitung und zur Erfolgskontrolle von alliierten Luftangriffen, entstanden in den Jahren 1939 bis 1945 Millionen von Senkrechtluftbildern über deutschem Boden.

Heute haben sich diese Aufnahmen längst als unverzichtbare Planungshilfe in der modernen Kampfmittel- und Altlastenbeseitigung etabliert (CARLS & GLASER 1990). Zur Risikominimierung und um den Einsatz kostspieliger geophysikalischer Maßnahmen einzuschränken, verfügen nahezu alle deutschen Kampfmittelräumdienste über eine eigene Luftbildauswertung, andere beauftragen hierfür externe Kräfte (DAUCH 2003).

Auf der Suche nach kontaminationsverdächtigen Arealen, möglichen Entsorgungs-

flächen und vor allem, um Kampfmittelverdachtsflächen zu lokalisieren und abzugrenzen, die bei Tiefbauarbeiten eine erhebliche Gefahr darstellen, werden die historischen Aufnahmen mittels modernster Verfahren der Fernerkundung ausgewertet (BREUER 2004). Eine möglichst lückenlose Interpretation der Kriegsgeschehnisse anhand heute verfügbarer Bild- und Textarchivalien setzt eine sowohl räumlich als auch zeitlich möglichst optimale Luftbildabdeckung des Untersuchungsgebiets voraus. Vor allem, um fundierte Aussagen bei der Suche nach Blindgängerverdachtspunkten treffen zu können, ist eine vollständige Auswertungsgrundlage unverzichtbar. Besonders der Vergleich mehrerer Zeitschnitte und die Verfügbarkeit von Flügen, die während und direkt nach Luftangriffen aufgenommen wurden, ist hervorzuheben (vgl. Abb. 1, CARLS 1992).



**Abb. 1:** Kriterien einer aussagekräftigen Luftbildauswertung.

## 2 Primäre Quellen historischer Luftbilder aus der Zeit des 2. Weltkriegs

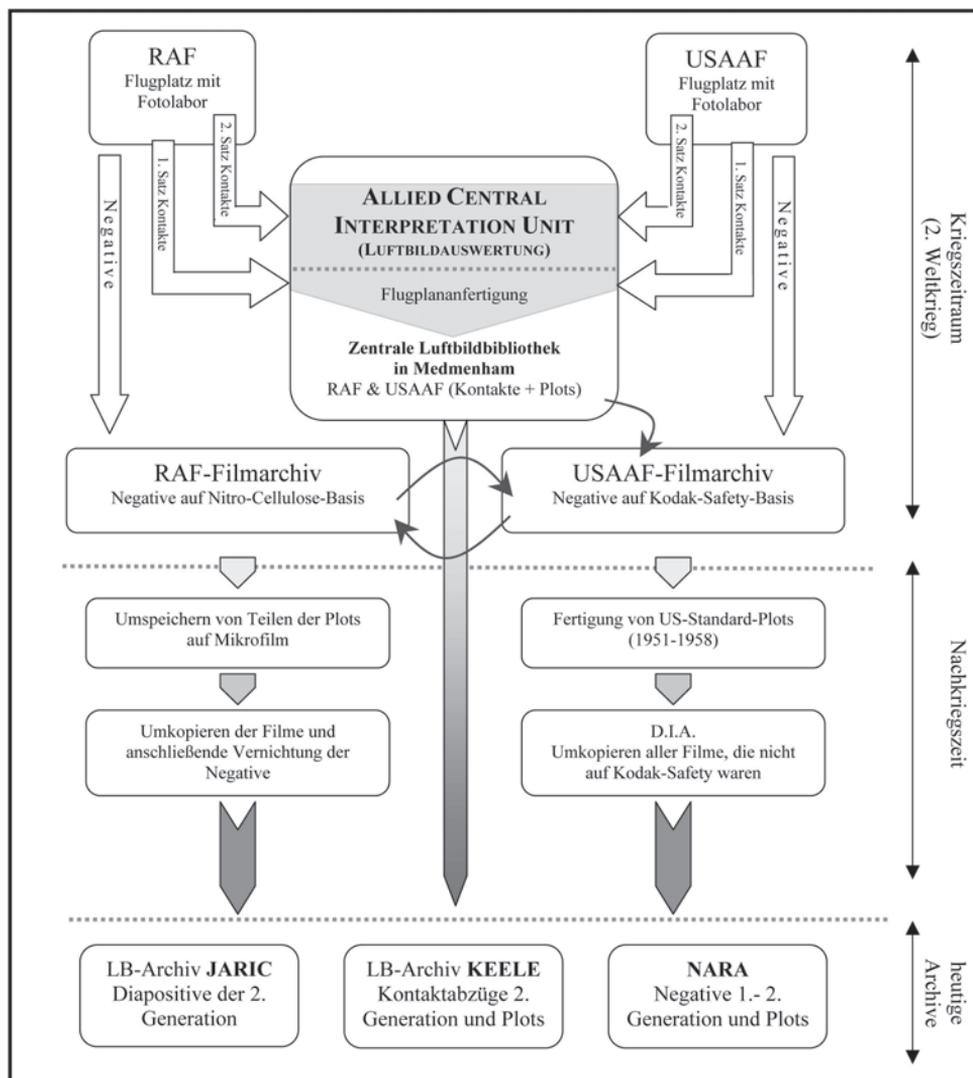
Bisher beschränkte sich die Akquisition des Kriegsluftbildbestands, der heute in den Archiven der Bundesländer, der Landesvermessungsämter und der staatlichen Kampfmittelbeseitigungsdienste (KBD) vorliegt, im Wesentlichen auf zwei große Archive: auf das US-Nationalarchiv in College Park MD (US National Archives and Records Administration, im Folgenden „NARA“) und auf die Luftbibliothek der University of Keele in England (im Folgenden „KEELE“); letztere ging aus der ACIU (Allied Central Interpretation Unit) in Medmenham hervor (WALTON). Die Primärarchive „NARA“ und „KEELE“ wurden bereits ausführlich besprochen (u. a. CARLS 1999, DODT 2006). Im Folgenden wird ein weiterer Bestand vorgestellt, dessen Bilder seit 2004 ebenfalls im Luftbildarchiv der University of Keele archiviert sind, zuvor jedoch nur eingeschränkt verfügbar waren (Kap. 3 und 4). Aufgrund der Lagerung bei einer militärischen Einrichtung der Royal Air Force (RAF) waren unter anderem Vor-Ort-Recherchen vollkommen ausgeschlossen (vgl. Mitteilungsblatt der Royal Air Force Brampton, 1999). Dieser sog. **JARIC**-Be-

stand (Joint Air Reconnaissance Intelligence Center) wird nun vor allem für die Belange der Kampfmittelbeseitigung erschlossen (Kap. 5).

## 3 Aufklärung – Auswertung – Archivierung in der Kriegs- und frühen Nachkriegszeit

Ab 1943 erfolgte die strategische Luftaufklärung von RAF und USAAF (US Army Air Force) in sehr enger Zusammenarbeit (vgl. Abb. 2; INFIELD 1970). Nach einer Befliegung wurden zu Auswerte- und Archivierungszwecken vom Negativ mehrere Sätze Kontaktabzüge gefertigt, die zum einen der Luftbildauswertung und zum anderen der Flugplananfertigung zugeteilt wurden. Ein Satz Kontakte und die dazugehörigen Plots (Flugpläne) wurden im Anschluss in der zentralen Luftbibliothek in Medmenham archiviert. Um 1965 wurden daraus ausgewählte Bildflüge (Sorties) zusammen mit den Flugplänen an die University of Keele abgegeben. Sie bilden heute den sog. KEELE-Bestand (vgl. Abb. 2 und Tab. 1 sowie WALTON).

Die Originalnegative verblieben in der Kriegszeit bei dem jeweiligen Beflieger – der RAF bzw. der USAAF. Teilweise wurden sie



**Abb. 2:** Schematische Darstellung der Luftaufklärung und -bildarchivierung der in England stationierten strategischen Einheiten von RAF (Flugplatz Benson) und USAAF (Flugplatz Mount-Farm); (LB = Luftbild).

vervielfältigt und untereinander ausgetauscht, weshalb sich heute Duplikate in allen großen Archiven („NARA“ und „KEELE“ bzw. „JARIC“) befinden (vgl. Abb. 2).

In der Nachkriegszeit verfahren Engländer und Amerikaner mit ihren Originalnegativen unterschiedlich: Die USAAF hat bereits ab 1941 vom bislang gebräuchlichen

Filmmaterial auf Nitro-Cellulose-Basis auf Kodak-Safety-Film umgestellt. Alle Filme auf Nitro-Basis wurden auf den Sicherheitsfilm umkopiert. Ferner wurden in den späten 50er-Jahren systematisch die Plots aus der Kriegszeit auf US-Standard-Format umgezeichnet. Heute befinden sich diese Kriegsluftbilder und Flugpläne für Nutzer verfügbar im US-National Archiv.

Da die Briten aus Kostengründen bis in die späten 40er-Jahre den leicht entflammbaren Nitro-Cellulose-Film verwendeten, ergab sich in den frühen 50er Jahren aus Sicherheitsgründen die Notwendigkeit, einen Großteil der Originalnegative des RAF-Archivs auf Safetyfilm (Diapositiv) umzukopieren. Die Originale wurden vernichtet (NESBIT 2003). Die zum „JARIC“ gehörenden Plots wurden auf Mikrofilm gesichert, sind derzeit aber nicht verfügbar.

Nach der Abgabe durch das Militär wurden die Originalfilmrollen sowohl in den USA (1975–1995) als auch in England (2004) an das jeweilige öffentliche National Archiv übergeben.

Die zuvor beschriebene und in Abb. 2 schematisch dargestellte Vorgehensweise bei der alliierten Luftaufklärung, von der Bildentstehung bis zur heutigen Archivierung, gibt wertvolle Hilfestellungen bei der Aufarbeitung des „JARIC“, denn sie liefert die Erklärung für die Zusammensetzung der einzelnen Bildbestände (CARLS, GLASER & HECK 1996).

Unterschiedliche Bildqualitäten in den drei Beständen/Archiven gehen auch auf die jeweilige Bildgeneration, Lagerung und Handhabung zurück. Vor allem die Kriegsflugbildbestände „NARA“ und „KEELE“ zeigen teilweise erhebliche Abnutzungserscheinungen in Form von Rissen, Fingerabdrücken, Vergilbungen etc. Die Filmrollen des JARIC-Luftbildarchivs hingegen waren nach dem Umkopieren auf Diapositivfilm größtenteils ungeöffnet archiviert, weshalb von derartigen Ge-

brauchsspuren nicht auszugehen ist (vgl. Tab. 1).

Neben den bislang genannten Quellen von Kriegsflugbildern sind bis heute auch zahllose Kontaktabzüge in den historischen Akten zu finden, die während des Kriegs angefertigt wurden. Meist liegen solchen Berichten neben den so genannten „Strike Attack Views“ (SAV-Bilder) auch Aufnahmen vor und kurz nach einem Luftangriff bei. Hierbei handelt es sich jedoch oft um Einzelaufnahmen, seltener um Stereopaare, aber nie um ganze Sorties.

#### 4 Das JARIC als Teil des TARA

Seit etwa 2003 werden die Luftbildbestände an der University of Keele unter dem Begriff „TARA“ zusammengefasst. Das „TARA“ (The Aerial Reconnaissance Archive) lässt sich in mehrere größere Bestände historischer Luftbilder untergliedern (vgl. Tab. 2).

Während der KEELE-Bestand in der Vergangenheit weitgehend aufgearbeitet werden konnte, ist die Erschließung des JARIC-Bestandes die aktuelle Herausforderung.

Das „JARIC“ beinhaltet auf ca. 25.000 Filmrollen etwa 5 Mio. Luftbilder weltweit, wovon schätzungsweise ca. 1 Mio. Deutschland zur Zeit des 2. Weltkriegs abdecken. Angesichts dieser enormen Menge besteht der erste Schritt vor allem darin, diejenigen Sorties zu extrahieren, die für die potenziellen Einsatzbereiche wie die Kampfmittel- und Altlastenerkundung oder die Landschaftsplanung relevant sind (BORRIES 1992, DODT 2006).

**Tab. 1:** Kriegsflugbildbestände des „NARA“ (USA), „KEELE“ (GB) und des „JARIC“ (GB) hinsichtlich Bildgeneration und Qualität.

Archiv	USAAF-Flüge	RAF-Flüge	Qualität/Bemerkung
NARA	Negative: 1. Generation teils 2. Generation	Negative: 2. Generation	teils deutliche Nutzungsspuren
KEELE	Kontaktabzüge: 2. Generation	Kontaktabzüge: 2. Generation	deutliche Nutzungsspuren
JARIC	Diapositive: 2. Generation	Diapositive: 2. Generation	kaum Nutzungsspuren

**Tab. 2:** Bildbestände der Air Photo Library (University of Keele bzw. TARA) und deren Bedeutung für die Kampfmittelbeseitigung.

Bildbestand	Bildanzahl	Zeitraum	Bedeutung für die KBD	Bezeichnung
ACIU-Bestand (Allied Central Interpretation Unit)	ca. 5,5 Mio.	1939–1945	<b>Wichtig</b> klassischer Bestand der alten Bundesländer, ca. 1 Mio. Luftbilder zu Deutschland	„KEELE“
MAPRW-Bestand (Mediterranean Allied Photographic Reconnaissance Wing)	ca. 100.000	1944–1945	<b>nur teilweise interessant</b> ca. 5.000 Bilder zu Süddeutschland	„MAPRW“
GX-Bestand (Kriegsbeute der Deutschen Luftwaffe)	ca. 1 Mio.	1939–1945	<b>nur teilweise interessant</b> wenig Deutschland	„GX-Bestand“
JARIC-Bestand (Joint Air Reconnaissance Intelligence Center – Royal Air Force Brompton)	ca. 5 Mio.	1938–1974	<b>Wichtig</b> ca. 1 Mio. Luftbilder zu Deutschland (1939–1945)	„JARIC“

T  
A  
R  
A

Nach heutigem Kenntnisstand sind die meisten dieser Bilder auf Duplikatdiafilm verfügbar (ca. 98% auf Diapositiv und ca. 2% als historische Kontaktabzüge, jeweils 2. Bildgeneration, vgl. Abb. 2). Im Gegensatz zu den Flügen des „KEELE“ (vgl. Tab. 2) sind zum JARIC zurzeit nur wenige Findhilfen in Form von Flugplänen verfügbar, was eine geographische Zuordnung der einzelnen Sorties erheblich erschwert. Man kann von einer räumlichen und zeitlichen Lückenschließung zum bislang verfügbaren Archivmaterial und somit von einer Vervollständigung der bestehenden Arbeitsgrundlage ausgehen. Mehrere Vor-Ort-Recherchen in den Jahren 2004–2006 lassen den Schluss zu, dass besonders die Luftbildbestände der Neuen Bundesländer, die im „KEELE“ unterrepräsentiert sind, durch das „JARIC“ aufgewertet und ergänzt werden. Begründen lässt sich dies vor dem Hintergrund, dass die RAF zu Zeiten des Kalten Krieges den überwiegenden Anteil an Befliegungen jenseits des Eisernen Vorhangs zurückgehalten und damit der zivilen Nutzung vorerst entzogen hat (WALTON). Neben der Erwartung von hochwertigem Bildmaterial und der Schließung von bis dato vorhandenen räumlichen und zeitlichen Lücken, wer-

den im „JARIC“ auch viele Duplikate zu Flügen aus dem „NARA“ und dem „KEELE“ zu finden sein (vgl. Kap. 3).

## 5 Aufarbeitung des JARIC-Bestands

Zurzeit ist noch nicht sicher, wann die Flugpläne zum „JARIC“ verfügbar sein werden. Um dennoch bereits heute gezielten Zugriff auf zumindest einen Teil dieses Bildbestandes zu bekommen, wird der Bestand über verschiedene Arbeitsschritte bearbeitet. Zunächst gilt es, diejenigen Sorties zu extrahieren, die z. B. Deutschland abdecken, um anschließend eine genaue geographische Verortung der Flüge vornehmen zu können. Eine arbeitsintensive Aufgabe angesichts der mindestens 25.000 Filmrollen mit Bildflügen weltweit.

Zur Bewältigung dieser Herausforderung gibt es mehrere Ansatzpunkte, die in sinnvoller Kombination zielführend sind:

- Archivalien:
  - systematische Aufarbeitung historischer Akten und Fachliteratur
  - Extraktion bestimmter Sorties mit deren Hauptbefliegungsgebieten

**Tab. 3:** Beispiel von Bildflügen der **RAF (106. Group)** und deren Verteilung auf die verschiedenen Archive.

Datum	RAF-Sortie	NARA (2. Bildgeneration) Negative	KEELE (2. Bildgeneration) Kontakte	JARIC (2. Bildgeneration) Dia-Positive
04.04.45	106G-5172		×	
04.04.45	106G-5173			×
04.04.45	106G-5174			×
04.04.45	106G-5175		×	
04.04.45	106G-5176	×		×
04.04.45	106G-5177			×
04.04.45	106G-5178			×
05.04.45	106G-5180		×	
05.04.45	106G-5182			×
05.04.45	106G-5184	×	×	
05.04.45	106G-5187			×
07.04.45	106G-5198	×		×
07.04.45	106G-5199	×		×
07.04.45	106G-5200		×	

- **Vorortrecherche:**

- Dokumentation der einzelnen Sorties

- **Datenverknüpfung:**

- Verknüpfung der Datenbanken zwischen „NARA“ und „KEELE“ mit den JARIC-Bestandsdaten
  - Ergebnis: z. B. Liste aller Duplikate
  - Selektion von bislang unbekanntem Sorties
- komfortable Möglichkeit, viele der Sorties zuzuordnen und damit zumindest einen Teil des JARIC aufzuarbeiten.

Am Beispiel der oben stehenden Tabelle (Tab. 3) wird exemplarisch an einigen britischen Flugnummern verdeutlicht, dass Bildflüge der RAF sowohl in den Beständen „NARA“, „KEELE“ als auch im „JARIC“ archiviert wurden. Außerdem zeigt sich, dass teilweise Befliegungen ausschließlich im „JARIC“ archiviert wurden.

In vielen Fällen ist die Erschließung des „JARIC“ ein Gewinn an Luftbildabdeckun-

gen, wodurch Lücken in der räumlichen (vor allem in den neuen Bundesländern) und auch in der zeitlichen Abdeckung geschlossen werden können (z. B. bei den Flugnummern 106G-5174, 106G-5177 usw.). Auf Basis der bisherigen Recherchen sind etwa 40% der im JARIC befindlichen Sorties unbekannt. Die übrigen Flüge sind bereits aus dem „NARA“ bzw. dem „KEELE“ bekannt. Das Herausfiltern von Duplikaten bietet die Möglichkeit Bildbeschaffungen nach Bildgeneration und zu erwartender Bildqualität aufzuschlüsseln.

## 6 Ausblick

Die Vervollständigung der Krieglufbildbestände Deutschlands und der ständige Datenabgleich der drei bedeutendsten Archive mit historischen Luftbildern erweitert die Möglichkeiten der Recherche, Beschaffung und Auswertung erheblich.

Mit der Aufarbeitung des „JARIC“ wird es künftig zunehmend möglich werden, die

qualitativ Besten zu beschaffen: zum einen durch die steigende Anzahl an Duplikaten, zum anderen durch die steigende Anzahl an Bildern überhaupt. Da die Kosten bei Bildbestellungen aus den USA und aus England in etwa vergleichbar sind, können wirtschaftliche Gesichtspunkte vernachlässigt werden. Neben der Erfassung der Flugnummern zusammen mit den technischen Parametern muss es nun auch die Aufgabe der systematischen Bestandskatalogisierung sein, die jeweilige Bildgeneration zu dokumentieren.

Sobald die Findhilfen verfügbar sind (der Zeitpunkt ist derzeit unklar) wird die Aufarbeitung des „JARIC“ wesentlich schneller und einfacher voranschreiten. Die digitale Überführung der Flugpläne in ein Geographisches Informationssystem wird den Bestand weiter aufwerten und den Zugriff beschleunigen. Für die Kampfmittelbeseitigung in Deutschland bedeutet dies ein Mehr an Planungssicherheit, da die Interpretationsgrundlagen nicht nur quantitativ, sondern insgesamt auch qualitativ ganz entscheidend verbessert werden.

## 7 Literatur

- BORRIES, H.-W., 1992: Altlastenerfassung und -erstbewertung durch multitemporale Karten- und Luftbildauswertung. – 1. Aufl., 365 S., Vogel-Verlag, Würzburg.
- BREUER, M. & WEIGAND, H., 2004: Blindgänger gesucht. Auswertung historischer Luftbilder in der Kampfmittelbeseitigung. – W+S Sicherheitsmagazin für Trends, Technik und Dienstleistung, **2004** (8/9): 42–43.
- CARLS, H.-G., 1992: Luftbildrecherchen zu militärisch genutzten Standorten. Voraussetzungen, Ziele, Möglichkeiten und Grenzen. – In: PFAFF-SCHLEY, H. & SCHIMMELPFENG, L. (Hrsg.): Rüstungsaltlasten '92. – Erich-Schmidt-Verlag, Berlin, S. 63–68.
- CARLS, H.-G. & GLASER, R., 1990: Anwendungsmöglichkeiten von Kriegsluftbildern 1940 bis 1945 in der Umweltplanung und Altlastenerkundung. – *Landschaft und Stadt* **22**: 11–16.
- CARLS, H.-G., GLASER, R. & HECK, H.-G., 1996: Erschließung alliierter Luftbildarchive für die Untersuchung von Altlastenverdachtsflächen. – Umweltbundesamt: Möglichkeiten und Grenzen der luftbildgestützten Erfassung und Erstbewertung von Altlastverdachtsflächen, S. 76–138.
- CARLS, H.-G., GLASER, R. & HECK, H.-G., 1999: Luftbilder 1938–1958 zur Bundesrepublik Deutschland, Archive, Charakteristika, Nutzungspotentiale und digitale Auswertemöglichkeiten. – *PFG* **2000** (1): 33–48.
- DAUCH, W., 2003: Leistungssteigerung bei der Kampfmittelbeseitigung, insbesondere auf dem Gebiet der Detektion. – Dissertation im Fachbereich Maschinenbau der Universität der Bundeswehr Hamburg, 433 S.
- DODT, J., 2006: Digitale Kriegsluftbilder NRW. Hinweise zur Nutzung bei der Altlastenerfassung. Materialien zur Altlastensanierung und zum Bodenschutz. – Essen.
- FREEMANN, R. A., 1987: Reconnaissance. Photographic Reconnaissance. – In: *Mighty Eighth War Manual*. – 4. Aufl., 1987, S. 84–89, Jane's Publishing Company Ltd.
- INFIELD, G. B., 1970: *Unarmed and Unafraid. The first complete history of the men, missions, training and techniques of aerial reconnaissance*. – 1. Aufl., 368 S., The Macmillan Company, London.
- LEAF, E., 1997: *Above All Unseen. – The Royal Air Force's Photographic Reconnaissance Units 1939–1945*. – 1. Aufl., 192 S., Patrick Stephens Ltd.
- Mitteilungsblatt der Royal Air Force Brampton, 1999: *Joint Air Reconnaissance Intelligence Center*. – 5 S.
- NESBIT, R. C., 2003: *Eyes of the RAF, A History of Photo-Reconnaissance*. – 2. Aufl., 342 S., Haynes & Co. Ltd, Sparkford.
- WALTON, A. D., ohne Jahr: *Europe from a high level*. – *The Geographical Magazine*, London.
- Anschrift der Verfasser:
- Dr. HANS-GEORG CARLS, LUFTBILDDATENBANK, Ing.-Büro Dr. Carls, St. Mauritiusstr. 30, 97230 Estenfeld, Tel.: 09305-90 0020, Fax: 09305-90 0023, e-mail: carls@luftbilddatenbank.de
- Dipl.-Geogr. WOLFGANG MÜLLER, LUFTBILDDATENBANK, Ing.-Büro Dr. Carls, e-mail: mueller@luftbilddatenbank.de
- Archive:
- [www.archives.gov](http://www.archives.gov)
  - [www.evidenceincamera.co.uk](http://www.evidenceincamera.co.uk)
- Manuskript eingereicht: September 2006  
Angenommen: November 2006

Anlage zum Beitrag  
**CARLS & MÜLLER, Die Aktualität der Vergangenheit –  
der Kriegluftebildbestand „JARIC“ in der modernen Kampf-  
mittelbeseitigung**



In diesem Bild wird eine Ausschnittsvergrößerung nordwestlich des Stadtzentrums Szczecin (Stettin) gezeigt, aufgenommen am 25. März 1945 von einem britischen Fotoaufklärer (Sortie/Flugnummer: 106G-5120; Bildnummer: 3108).

Das Kriegsschadensbild zeigt sowohl die Folgen massiver Brandbombenabwürfe als

auch, insbesondere am östlichen Bildrand, die Folgen von Sprengbomben, die gut als hell reflektierende Flächen erkennbar sind. Die bereits fast vollständig vom Schutt geräumten Straßen und fehlende Bombenrichter in den Straßenzügen sprechen dafür, dass der letzte Luftangriff bereits längere Zeit vor dem 25.03.1945 erfolgte.

Obwohl 106G-5120 nach 1960 in den USA vernichtet wurden, überlebte im dortigen National Archive ein Flugplan des Sorties auf dem ein Teil des Aufklärungsfluges verzeichnet ist. Mit dessen Hilfe konnten im Jahre 2006 die Filmrollen beider Kameras zum Bildflug 106G-5120 in Form von Diapositiven im JARIC Luftbildbestand in Keele (GB) unter der Archivnummer BP-28009 recherchiert werden. Die Luftbilder dieses Bildfluges sind bisher ausschließlich im JARIC-Luftbildbestand verfügbar.

Zu diesem Flug existieren im „JARIC“ ca. 500 weitere Bilder im Bildformat 7,5 × 8 inch (Maßstab ca. 1 : 9 500).

Zum Zeitpunkt der Aufnahme, am 25. 03. 1945, standen die russischen Panzerspitzen bereits unmittelbar vor der Stadt Stettin. Da amerikanische und englische Fotoaufklärer nur selten in Gebiete vordrangen, die am Boden bereits von russischen Truppen erobert waren, fehlen der heutigen Kampfmittelbeseitigung in derartigen Fällen meist Luftbilder zum Endschadensbild. Diese Befliegung von Stettin hat somit einen gewissen Seltenheitswert.

Dieser Flug ist ein erstes Recherchenergebnis der zurzeit laufenden Arbeiten zur Aufarbeitung des JARIC-Luftbildbestandes. Aufgrund der hervorragenden Qualität und des günstigen Aufnahmezeitpunktes kann diese Befliegung als exemplarisch für den „JARIC“-Bestand angesehen werden.

Bei einer Brennweite von 36 inch und einer mittleren Flughöhe von 29.000 Fuß ergibt sich ein mittlerer Bildmaßstab von 1 : 9 500. Durch die so genannte Splitvertical Konfiguration zweier Kameras (LSV- und RSV-Kamera) entstanden zwei parallel verlaufende Flugstreifen, die sich um ca. 2% überschneiden. Innerhalb jedes Flugstreifens überlappen sich die Bilder um ca. 60%, was eine stereoskopische Auswertung ermöglicht. Zusätzlich wurden mit einer dritten, so genannten VV-Kamera (vertical view, Brennweite: 6 inch) Übersichtsbilder im Maßstab von ca. 1 : 59 000 und mit einem Bildformat von 9 × 9 inch aufgenommen.

Zwischen Herbst 1940 und dem Frühjahr 1945 wurde Stettin zahllose Male von den Briten aufgeklärt. Die ersten Luftangriffe datieren aus dem Herbst 1940. Zwei weitere folgten im Herbst 1941, während das Jahr 1942 für die Stettiner Bevölkerung relativ ruhig verlief. Zum ersten Großangriff der RAF kam es am 20./21. April 1943. Es folgten drei weitere schwere Luftangriffe des britischen Bomber Command im Januar und August 1944 (2 mal), sowie zwei Luftangriffe der USAAF im April und Mai 1944. Zur Zeit der im Bild gezeigten Luftaufnahme (25. 03. 1945) war der strategische Luftkrieg über Stettin so gut wie abgeschlossen. Zu diesem Zeitpunkt hatten die russischen Bodentruppen das Ostufer der Oder im Raum Stettin bereits erreicht. Am 20. 04. 1945 begann eine Großoffensive der russischen Truppen, wobei das Stadtgebiet Stettins heftigstem Artillerie- und Panzerbeschuss ausgesetzt war. Am 26. 04. 1945 wird die brennende Stadt von den noch verbliebenen deutschen Truppen verlassen.

Aus strategischer Sicht war Stettin Ende April 1945 so gut wie bedeutungslos. Das Schadensbild, das sich im Luftbild vom 25. 03. zeigt, entspricht somit bei weitem nicht dem Zerstörungszustand zu Kriegsende. Dementsprechend fehlen der heutigen Kampfmittelbeseitigung in derartigen Fällen meist Luftbilder zum Endschadensbild.

Weitere Informationen mit ausführlicher Erläuterung des Luftbildausschnittes Stettin sind zu erhalten unter [www.luftbilddatenbank.de](http://www.luftbilddatenbank.de).

Bildquelle: Das Luftbild wurde freundlicherweise zur Verfügung gestellt von TARA (The Aerial Reconnaissance Archives), Keele University, Staffordshire, ST5 5BG, United Kingdom), Tel.: +44(0) 1782 584501, Fax: +44(0)1782 583335, <http://www.evidenceincamera.co.uk>.

HANS-GEORG CARLS & WOLFGANG MÜLLER,  
Estenfeld

## Berichte

### ISPRS Kommission IV Symposium „Geospatial Databases for Sustainable Development“

27.–30. September 2006 in Goa, Indien

Das ISPRS Symposium der Kommission IV war das letzte Zwischensymposium in diesem Jahr mit einem Tag Überlappung zum vorletzten Symposium der Kommission V in Dresden. Die Veranstaltung fand im Marriott-Hotel in Goa, Indien statt, welches ein sehr attraktiver Tagungsort ist, und wurde von der Indian Society of Remote Sensing (ISRS) organisiert und vom Space Applications Centre ausgerichtet. Als Sponsor trat die Indian Space Research Organisation auf.

Zusätzlich zum eigentlichen Symposium fanden einige weitere Veranstaltungen statt. Dies war zum einen das zweitägige Symposium „Geo-Information for Disaster Management“ (Gi4DM) vom 25.–26. September und zum anderen ein eintägiger ISRO-ISPRS-IEEE-GEOSS Workshop am 26. September über *GEOSS-Architekturen* (Global Earth Observing System of Systems) und deren Anwendungen im Bereich des öffentlichen Gesundheitswesens in der Region Indischer Ozean. An diesem Workshop nahmen ca. 40 Personen teil und am zweitägigen Symposium ungefähr 60 Teilnehmer. Zusätzlich wurden zwei Tutorien zu den Themen „Urban Planning and Infrastructure Development“ sowie „Extraction of Features from High Resolution Data“ durchgeführt.

Am eigentlichen Symposium der ISPRS Kommission IV nahmen insgesamt 325 Wissenschaftler teil. Die Mehrheit der Teilnehmer kam dabei aus Indien. Für junge Wissenschaftler aus Indien ist ein Symposium im eigenen Land sicherlich eine erschwingerliche Gelegenheit an einer internationalen Konferenz teilzunehmen. Es fand sich jedoch auch ein breites internationales Publikum mit insgesamt 125 Teilnehmern aus 23 verschiedenen Ländern ein.

Dr. NAVALGUND, Direktor des Space Application Centre, begrüßte die Teilnehmer und sprach die Eröffnungsworte. Danach präsentierte der Präsident der Kommission IV, Dr. NAYAK, die aktuellen Aktivitäten innerhalb der Kommission. Anschließend stellte Dr. RADHAKRISHNAN, Präsident der Indian Society of Remote Sensing, die Tätigkeiten der ISRS in Indien vor. Prof. JOHN TRINDER, Vizepräsident der ISPRS, eröffnete die Ausstellung und Dr. SAHA, Sekretär des ISRS, übergab in einer Zeremonie verschiedene ISRS- und ISPRS-Auszeichnungen an exzellente Studenten und Wissenschaftler. Das Eröffnungsprogramm wurde mit einem Vortrag des Ministers für Geowissenschaften abgerundet. Anschließend wurde das Motto der Konferenz „*Geospatial Data for Sustainable Development*“ in drei Plenarsitzungen mit insgesamt zehn eingeladenen Vorträgen von unterschiedlichen Standpunkten aus beleuchtet.

An den folgenden drei Tagen fanden, parallel in drei Tagungsräumen, insgesamt 24 technische Vortragssitzungen, zwei Posterveranstaltungen sowie eine Sondersitzung zum Thema „*Digital Asia*“ statt. Alle technischen Sitzungen wurden mit einem Einführungsvortrag des jeweiligen Chairman eingeleitet. Insgesamt waren 182 Vorträge und 104 Poster angekündigt. Allerdings ist eine ganze Reihe von Vorträgen und Postern ausgefallen, da die entsprechenden Vortragenden nicht bei der Konferenz anwesend waren. Dies hätte durch eine sorgfältigere Organisation im Vorfeld berücksichtigt werden sollen. Stattdessen wurden jedoch auch solche Redner im Programm aufgeführt, die zwar einen Beitrag angekündigt, sich jedoch weder an der Konferenz als Teilnehmer angemeldet noch einen endgültigen Beitrag eingereicht hatten. Dadurch kam es zu sehr stark unterschiedlich besetzten Sitzungen. Während in manchen Sitzungen bis zu neun Redner einen Vortrag hielten, waren in anderen Sitzungen gerade mal drei Redner erschienen. Die eigentliche Or-

ganisation vor Ort war jedoch sehr gut, so dass ansonsten die Konferenz problemlos ablief.

Die Beiträge wurden in zwei Tagungsbänden veröffentlicht. Jeder Teilnehmer erhielt eine CD mit allen Beiträgen sowie einen ausgedruckten Band mit den Kurzfassungen der Vorträge.

Auf einzelne Vorträge soll hier nicht näher eingegangen werden. Im Wesentlichen deckten sie das Spektrum der Aufgabenbereiche der Kommission IV ab. Als Schwerpunkt stellte sich jedoch eindeutig die CARTOSAT-1 Mission dar. Hierbei handelt es sich um einen hoch aufgelösten indischen Fernerkundungssatelliten mit zwei panchromatischen Kameras, die auch im Stereo-Modus eingesetzt werden können. Der Satellit wurde am 5. Mai 2005 in den Orbit gebracht. Da die Mission von der „Indian Space

Research Organisation“ entwickelt und betrieben wird, ergibt sich natürlicherweise auf einer indischen ISPRS Konferenz ein Schwerpunkt der Vorträge aus diesem Bereich. Insgesamt beschäftigten sich über 30 Beiträge mit Aspekten dieser Mission.

Alles in allem war das Symposium eine sehr gute Möglichkeit zum gegenseitigen Informationsaustausch und zeichnete sich durch eine sehr gute Organisation vor Ort aus. Dazu trug auch ein geselliger Abend auf einer Flussfahrt auf der „Prince De Goa“ mit Musik und Tanzvorführungen bei. Erwähnenswert ist sicherlich auch die vortreffliche kulinarische Versorgung zum Mittagessen und während der Kaffeepausen. Vielen Dank an die Organisatoren für die Ausrichtung des Symposiums.

VOLKER WALTER, Stuttgart

## Hochschulnachrichten

### Universität Hannover

Frau Dipl.-Ing. **FOLKE SANTEL** promovierte am 21. 2. 2006 an der Leibniz Universität Hannover, Fakultät für Bauingenieurwesen und Geodäsie, mit der Arbeit: *Automatische Bestimmung von Wasseroberflächen in der Brandungszone aus Bildsequenzen mittels digitaler Bildzuordnung* zum Dr.-Ing.

Hauptreferent: Univ.-Prof. Dr.-Ing. **CHRISTIAN HEIPKE**, Leibniz Universität Hannover.

Korreferenten: Univ.-Prof. Dr.-Ing. **HANS-JÖRG KUTTERER**, Leibniz Universität Hannover, Univ.-Prof. Dr. rer. nat. **RALF REULKE**, Humboldt-Universität zu Berlin.

Die Arbeit ist erschienen in »Wissenschaftliche Arbeiten der Fachrichtung Geodäsie und Geoinformatik« der Universität Hannover, Nr. 259.

### Zusammenfassung

In der Dissertation wird ein neues Verfahren zur automatischen, dreidimensionalen und zeitlich kontinuierlichen Bestimmung von Wasseroberflächen in der Brandungszone aus Bildsequenzen vorgestellt. Die wichtigsten Grundlagen, die zur Entwicklung des Verfahrens geführt haben, werden detailliert beschrieben. Das Verfahren beruht auf der Verwendung synchron erfasster photogrammetrischer Stereobildsequenzen und digitaler Bildzuordnung im Objektraum. Die Verifizierung des Verfahrens erfolgt über praktische Versuchsreihen in einem Bühnenfeld vor Norderney, bei denen vier synchronisierte digitale Videokameras zur Datenerfassung eingesetzt wurden.

Neben den Bildsequenzen selbst sind die Parameter der inneren und äußeren Orientierung und gegebene Startpunkte für das

erste Stereomodell als Eingangsinformationen notwendig. Die Orientierungen der Bilddaten werden für die Dauer der Aufnahme der Bildsequenz als konstant angenommen. Die grundlegende Strategie basiert auf der punktwisen Zuordnung, der flächenhaften Ausbreitung und der Bildsequenzauswertung.

Die zuerst durchgeführte sukzessive punktweise Zuordnung erfolgt unter Verwendung des Kreuzkorrelationskoeffizienten und einer Variante des Vertical Line Locus. Durch die flächenhafte Ausbreitung dieses Prozesses mittels eines verfeinerten Region-Growing-Verfahrens unter Berücksichtigung der gegebenen Startpunkte wird eine dreidimensionale Punktwolke generiert. Das digitale Oberflächenmodell (DOM) entsteht durch anschließende Interpolation.

Die Grundidee der Bildsequenzauswertung ist, dass die Änderung der Höhe des DOMs in aufeinander folgenden Bildern einer Bildsequenz sehr gering ist. Die Größenordnung dieses Werts ist abhängig von der Aufnahmefrequenz, der Wellenfortschrittsgeschwindigkeit und der Wellenform. Der Prozess der Bildzuordnung wird durch die gegebenen Startpunkte initialisiert. Eine weitere Interaktion des Anwenders ist nicht notwendig, da das Verfahren für die folgenden Zeitpunkte die benötigten Startpunkte eigenständig aus den Ergebnissen der Auswertung des vorangegangenen Zeitpunkts ermittelt.

Die Bildzuordnung einer Sequenz von  $14\frac{1}{2}$  min, aufgenommen mit einer Frequenz von 8 Hz, konnte mit dem entwickelten Verfahren erfolgreich durchgeführt werden. Die Ergebnisse der automatischen Auswertung werden zur Verifizierung manuellen Kontrollmessungen und Seegangsmessungen gegenüber gestellt. Für einen flächenhaften Vergleich werden manuelle Kontrollmessungen zu einzelnen stichprobenartig ausgewählten Zeitpunkten durchgeführt. Ein Vergleich über die Zeit erfolgt zu punktwisen Messungen eines Wellenmessdrahts und einer Geschwindigkeits-Druck-Sonde.

Die Ergebnisse der digitalen Bildzuordnung und die erzielte Genauigkeit im Be-

reich weniger Dezimeter zeigen, dass das vorgestellte Verfahren zur automatischen Bestimmung von Wasseroberflächen in der Brandungszone aus Bildsequenzen geeignet ist.

---

Dipl.-Ing. **ANDREAS KOCH** promovierte am 19. 4. 2006 an der Leibniz Universität Hannover, Fakultät für Bauingenieurwesen und Geodäsie, mit der Arbeit: *Semantische Integration von zweidimensionalen GIS-Daten und Digitalen Geländemodellen* zum Dr.-Ing. Hauptreferent: Univ.-Prof. Dr.-Ing. **CHRISTIAN HEIPKE**, Leibniz Universität Hannover.

Korreferenten: Univ.-Prof. Dr. rer. nat. **LUTZ PLÜMER**, Universität Bonn, und Frau Univ.-Prof. Dr.-Ing. **MONIKA SESTER**, Leibniz Universität Hannover.

Die Arbeit ist erschienen in »Deutsche Geodätische Kommission«, Reihe C, Nr. 601 und »Wissenschaftliche Arbeiten der Fachrichtung Geodäsie und Geoinformatik« der Universität Hannover, Nr. 262.

### **Zusammenfassung**

In dieser Arbeit wird ein neues Verfahren zur semantischen Integration von zweidimensionalen Daten eines Geographischen Informationssystems (GIS) und Digitalen Geländemodellen (DGM) vorgestellt. Das Verfahren besteht aus zwei Teilen: Zuerst werden mit Hilfe eines mathematischen Optimierungsverfahrens die Daten korrigiert. Dieses ist notwendig, weil die Daten häufig inkonsistent zueinander sind und objektspezifische, die Semantik der Objekte repräsentierende, geometrische Bedingungen durch eine rein geometrische Integration der Datensätze nicht erfüllt werden. In einem zweiten Schritt werden die Daten geometrisch integriert. Es werden zwei Varianten des Verfahrens vorgestellt. Die erste Variante verändert ausschließlich die Höhenwerte der Daten innerhalb der Optimierung. In dieser Form ist das Problem immer lösbar, die Korrektheit des Ergebnisses hängt von den zu spezifizierenden Parametern ab. Die zweite Variante berücksichtigt auch die Position und Form einzelner Objektpunkte

bzw. ganzer Objektteile. Deren Lösbarkeit ist abhängig von den Daten und von den in die Optimierung eingehenden Parametern. Ein Vorteil der zweiten Variante gegenüber der ersten besteht darin, die Genauigkeit der Lagekoordinaten der zweidimensionalen GIS-Objekte zu berücksichtigen.

Unter semantischer Integration von zweidimensionalen GIS-Daten und DGM wird die Integration unter Berücksichtigung der in den Objekten des GIS implizit enthaltenen Höheninformation verstanden. Diese Höheninformation existiert nicht in Form von Zahlenwerten; vielmehr ist aus Erfahrungswerten bekannt, wie diese Objekte in Bezug zu anderen Objekten relativ im Raum positioniert sind. Grundlage des Ansatzes ist die 2.5-dimensionale Objektmodellierung. Die Semantik, d. h. die objektspezifischen Regeln und Gesetze, werden mit Hilfe einfacher geometrischer Bedingungen ausgedrückt, die wiederum durch Bedingungs-gleichungen und -ungleichungen formuliert werden. Die Gleichungen sind Pseudobeobachtungen eines Ausgleichsverfahrens, das durch Bedingungsungleichungen ergänzt wird. Das Ausgleichungsproblem mit Bedingungsungleichungen wird in ein Lineares Komplementaritätsproblem überführt, welches mit Hilfe des Lemke-Algorithmus gelöst wird. Die geometrische Integration basiert auf DGM in Form eines Dreiecksnetzes. Durch die geometrische Integration werden die Objektkanten, deren Höhenwerte mit Hilfe der Optimierung geschätzt werden, in das DGM-Dreiecksnetz eingefügt. Ergebnis des Verfahrens ist ein objektstrukturierter Datensatz, der die Objekte semantisch korrekt darstellt.

Zur Einschätzung der Leistungsfähigkeit des Ansatzes werden Untersuchungen mit synthetischen Daten durchgeführt und kleinere Beispielprojekte mit realen Daten unterschiedlichen Szeneninhalts bearbeitet. Die Untersuchungen mit synthetischen Daten dienen der Überprüfung der Sensitivität des Ansatzes und der Übertragbarkeit von Parametern. Die erste Variante des Verfahrens führt immer zu einem Ergebnis, doch hängt die Korrektheit von der Gewichtung der Beobachtungsgleichungen des Ausglei-

chungsverfahrens ab. Niedrige Gewichte führen zu einem semantisch inkorrekten Ergebnis, hohe Gewichte hingegen verursachen große Veränderungen des DGM. In den Untersuchungen werden Parameter ermittelt, die ein korrektes Ergebnis bei geringer Veränderung der Datensätze hervorrufen. Die zweite Variante des Verfahrens ist nicht immer lösbar. Die Lagekoordinaten der Randpunkte von Gewässern führen in Einzelfällen zu Zielfunktionsvariationen, die zu Zyklen im Parametervektor des Ausgleichungsverfahrens führen, sodass das Verfahren nicht konvergiert. Die gewonnenen Erkenntnisse werden bei den Untersuchungen mit realen Daten einbezogen, wobei die Übertragbarkeit der Parameter bestätigt wird. Die Arbeit wird mit einer Bewertung des Ansatzes und Vorschlägen für weitere Entwicklungen abgeschlossen.

---

Dipl.-Ing. **MARKUS GERKE** promovierte am 9. 6. 2006 an der Leibniz Universität Hannover, Fakultät für Bauingenieurwesen und Geodäsie, mit der Arbeit: *Automatic Quality Assessment of Road Databases Using Remotely Sensed Imagery* zum Dr.-Ing.

Hauptreferent: Univ.-Prof. Dr.-Ing. **CHRISTIAN HEIPKE**, Leibniz Universität Hannover.

Korreferenten: Univ.-Prof. Dr.-Ing. **HELMUT MAYER**, Universität der Bundeswehr München, Univ.-Prof. Dr.-Ing. **CLAUSEBERHARD LIEDTKE**, Leibniz Universität Hannover.

Gutachter: Univ.-Prof. Dr.-Ing. **DIETMAR GRÜNREICH**, Bundesamt für Kartographie und Geodäsie, Frankfurt/Main.

Die Arbeit ist erschienen in »Deutsche Geodätische Kommission« Reihe C, Nr. 599 und in: »Wissenschaftliche Arbeiten der Fachrichtung Geodäsie und Geoinformatik« der Universität Hannover, Nr. 261.

### Zusammenfassung

In dieser Arbeit wird ein neuer Ansatz zur automatischen Qualitätsbewertung bestehender räumlicher Vektordaten vorgestellt. Die notwendige Referenzinformation wird

mit Hilfe von Bildanalyseverfahren aus aktuellen Fernerkundungsdaten gewonnen. Der Schwerpunkt liegt auf der Qualitätsbewertung von Straßen, da diese zu den sich am häufigsten verändernden Objekten in der Landschaft zählen. Im Gegensatz zu bereits existierenden Ansätzen zur automatischen Qualitätskontrolle von Straßendaten wird hier eine durchgängige statistische Modellierung und Verarbeitung sowohl der gegebenen Straßenobjekte als auch der automatisch aus Bildern extrahierten Objekte durchgeführt.

Es wird ein geometrisch-topologisches Relationenmodell für Straßen und ihre Umgebung definiert. Die Nachbarschaftsobjekte (Kontextobjekte, z. B. Baumreihen) unterstützen die Qualitätsbewertung der Straßenvektordaten, da sie Lücken in der Straßenextraktion erklären können. Werden beispielsweise Luftbilder im Sommer aufgenommen, erschweren Bäume entlang der Straßen die Straßenextraktion, da die Straßenoberfläche nicht vollständig sichtbar ist. Die Extraktion und explizite Einbeziehung solcher Kontextobjekte tragen zur effizienten Bewertung einer bestehenden Straßendatenbank bei.

Die Modellierung der Relationen und die Konzentration auf statistische Modelle sind von großer Bedeutung für die Qualitätsbewertung von Straßendaten, denn auch den automatisch extrahierten Objekten haften Ungenauigkeiten an. Während der Bewertung werden die existierenden Relationen zwischen den Datenbankobjekten und den extrahierten Objekten mit den modellierten Relationen verglichen. Die Genauigkeitsmaße werden in diesen Vergleich einbezogen.

In der Regel geben mehrere extrahierte Objekte Evidenz für ein Datenbankobjekt. Spricht ein Großteil der Gesamtevidenz bezogen auf ein gegebenes Objekt für dessen Korrektheit, und wird eine Mindestabdeckung des gegebenen Objektes mit extrahierten Objekten erreicht, so wird dieses Datenbankobjekt als richtig angenommen; es wird also akzeptiert, andernfalls wird es als falsch zurückgewiesen. Dieses Verfahren kann in einen halbautomatischen Arbeits-

ablauf eingebracht werden, in dem ein Operateur lediglich die vom System zurückgewiesenen Objekte überprüft.

Das Vorgehen ist in einen zweistufigen graphbasierten Ansatz eingebettet, der die Verbindungsfunktionen von Straßen ausnutzt. Im ersten Schritt erfolgt eine Straßenextraktion mit strengen Parametereinstellungen, die zu einer geringen Anzahl falsch-positiver Extraktionen führt, aber auch zur Zurückweisung von vielen korrekten Objekten. Zur endgültigen Bewertung werden die zurückgewiesenen Objekte hinsichtlich ihrer Verbindungsfunktion im Straßennetzwerk untersucht. Es wird davon ausgegangen, dass die bereits im ersten Schritt bestätigten Objekte über einen möglichst kurzen Weg im Netzwerk verbunden sind. Die erneute Untersuchung von Objekten, die im ersten Schritt verworfen wurden, hängt davon ab, ob sie eine wichtige Verbindungsaufgabe für die bereits akzeptierten Objekte übernehmen.

Es werden Beispiele der Qualitätsbewertung von Straßen in der offenen Landschaft gezeigt. Das genutzte ATKIS BasisDLM verzeichnet in der betrachteten  $2 \times 8 \text{ km}^2$  großen Szene 527 Straßenobjekte. In den genutzten Orthobildern werden 25 % der Straßenobjekte signifikant durch Baumreihen verdeckt. Die Ergebnisse bestätigen die Notwendigkeit einer durchgängigen statistischen Modellierung. Das entwickelte Verfahren ist in der Lage, die Qualität der gegebenen Objekte unter Einbeziehung von automatisch aus Luftbildern extrahierten Straßenobjekten und Baumreihen zu bewerten. Ungefähr 69 % der Objekte wurden richtigerweise akzeptiert, 1 % wurden akzeptiert, obwohl sie nicht korrekt sind. Diese falschen Entscheidungen sind hauptsächlich auf eine fehlende Qualitätskontrolle von Kreuzungsbereichen zurückzuführen. Jedoch zeigen weitere Sensitivitätsuntersuchungen, dass der gewählte zweistufige graphbasierte Ansatz überwiegend zu einer Reduzierung falscher Entscheidungen führt.

## Technische Universität Wien

Dipl.-Ing. **MARKUS HOLLAUS** wurde am 25. Oktober 2006 an der Fakultät für Mathematik und Geoinformation der Technischen Universität Wien mit der Dissertation *Large Scale Applications of Airborne Laser Scanning for Complex Mountainous Environment* zum Doktor der technischen Wissenschaften (Dr.techn.) promoviert.

1. Begutachter: Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. **WOLFGANG WAGNER**, TU Wien

2. Begutachter: Prof. D.Sc. (Tech.) **JUHA HYYPPÄ**, Finnish Geodetic Institute Helsinki.

### Kurzfassung

Im Laufe des letzten Jahrzehnts hat sich das flugzeuggetragene Laserscanning (ALS) als Standardverfahren zur Erfassung topographischer Daten etabliert. Es liefert aber nicht nur wertvolle Informationen zur Erstellung von Geländemodellen, sondern ermöglicht eine detaillierte dreidimensionale Beschreibung von Objekten. Derartige Informationen über Objekthöhen stellen in Kombination mit herkömmlichen zweidimensionalen Fernerkundungsdaten (z. B. Luftbilder oder Satellitenbilder) eine ausgezeichnete Datenquelle für eine detaillierte Ableitung der Landbedeckung dar. Speziell für wasserwirtschaftliche Anwendungen (z. B. hydraulische Abflussmodellierungen) sind Landbedeckungsklassen, welche die Rauigkeit der Geländeoberfläche widerspiegeln, von besonderem Interesse. Ein weiteres viel versprechendes Anwendungsgebiet von ALS Daten liegt in der quantitativen Ableitung von Forstparametern, da mittels ALS sowohl Boden- als auch Vegetationspunkte gemessen werden können und somit die Abschätzung der Baumhöhen ermöglicht wird. Dies führte dazu, dass in skandinavischen Ländern ALS Daten für die Erstellung von operationellen Waldinventuren herangezogen werden. Im alpinen Raum ist der Einsatz von ALS Daten in der Forstwirtschaft derzeit noch auf kleine Pilotprojekte beschränkt.

Ziel dieser Dissertation war es, anhand zweier Anwendungsgebiete (Abfluss rele-

vante Landbedeckungsklassifizierung, Ableitung von quantitativen Forstparametern) die Möglichkeiten einer großflächigen Anwendung unter Verwendung von State-of-the-Art ALS Daten sowie Prozessierungsmethoden zu evaluieren und zu diskutieren. Die durchgeführten Untersuchungen wurden anhand eines 128 km<sup>2</sup> großen, alpinen Testgebietes im südlichen Vorarlberg durchgeführt, von welchem sowohl ALS Daten aus einer kommerziellen Laserscannbefliegung sowie detaillierte Waldinventurdaten einer lokalen Forstverwaltung zur Verfügung stehen.

Im Zuge einer objektorientierten Landbedeckungsklassifizierung konnte der komplementäre Informationsgehalt von ALS Daten (Höheninformationen) und Farb-Infrarot Orthophotos (Spektralinformationen) aufgezeigt werden. Weiter ergaben die Untersuchungen, dass die Einbeziehung der Höheninformation zur Generierung Abfluss relevanter Landbedeckungsklassen zu einer deutlichen Qualitätssteigerung führt.

Für die Abschätzung von Waldparametern aus ALS Daten stellt die Höhendifferenz zwischen dem ersten vom Flugzeug aus sichtbaren reflektierenden Objekt und der Geländeoberfläche eine fundamentale Eingangsgröße dar. Aus diesen Höhendifferenzen können beispielsweise Baumhöhen sowie stammflächengewichtete Mittelhöhen (Loreyhöhen) abgeleitet werden. Um eine qualitative Abschätzung dieser Parameter zu erhalten, wurde zunächst mit Hilfe von ca. 22 000 Boden-Kontrollpunkten die Genauigkeit des Geländemodells überprüft. Die Untersuchungen haben gezeigt, dass die erzielten Genauigkeiten (root mean square error) mit zunehmender Geländeneigung sinken. So wurden für schwach geneigte Geländebereiche (Geländeneigung < 10°) Genauigkeiten von ca. 10 cm und für Geländebereiche mit einer Geländeneigung von mehr als 60° Fehler von mehr als 50 cm festgestellt. Die Genauigkeiten der abgeleiteten Baumhöhen sowie Loreyhöhen wurden mit Hilfe der terrestrischen Waldinventurdaten überprüft, wobei die Höhen sowohl aus den 3D Punktwolken als auch aus dem interpolierten Differenzmodell (Oberflächenmodell

minus Geländemodell) extrahiert wurden. Die aus der 3D Punktwolke beziehungsweise aus dem Differenzmodell extrahierten Baumhöhen weisen Genauigkeiten von  $R^2 = 0.89$  und  $R^2 = 0.79$  auf. Die Loreyhöhen konnten aus der 3D Punktwolke mit einem Bestimmtheitsmaß von  $R^2 = 0.87$  und aus dem interpolierten Differenzmodell mit  $R^2 = 0.70$  abgeschätzt werden. Untersuchungen über die Auswirkung unterschiedlicher ALS Punktdichten auf die abgeleiteten Höhen haben gezeigt, dass sich die flächenbezogenen Loreyhöhen für unterschiedlichste Punktdichten mit vergleichbarer Genauigkeit ermitteln lassen, wohingegen es bei den Baumhöhen mit einer abnehmenden Punktdichte zu einer deutlichen Unterschätzung kommt.

Für die Ermittlung des Holzvorrates wurde einerseits ein in Norwegen weit verbreitetes multiplikatives Regressionsmodell getestet und andererseits ein physikalisch basiertes lineares Schätzmodell entwickelt. Unter Verwendung der Waldinventurstich-

probendaten als Referenzdaten konnte gezeigt werden, dass sowohl mittels multiplikativem Regressionsmodell als auch mittels linearem Schätzmodell der Holzvorrat mit einem Bestimmtheitsmaß von  $R^2 = 0.84$  bzw.  $R^2 = 0.87$  sehr genau ermittelt werden konnte. Untersuchungen hinsichtlich variierender ALS Eigenschaften haben gezeigt, dass sowohl die ALS Punktdichte als auch die Phänologie während der ALS Befliegung auf die erzielbaren Genauigkeiten beider Modelle einen sehr geringen Einfluss haben.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass basierend auf den vorliegenden ALS Daten und State-of-the-Art Algorithmen quantitative Waldparameter operationell abgeschätzt werden können. Da in Österreich ALS Daten bereits für große Gebiete vorliegen bzw. gegenwärtig befliegen werden, können zukünftig die daraus abgeleiteten flächenhaften Waldparameter eine wertvolle Ergänzung zu operationellen terrestrischen Aufnahmeverfahren darstellen.

## Persönliches

### Abschied von Sigfrid Schneider

Einer der Pioniere der Luftbildinterpretation und Fernerkundung, Professor Dr. SIGFRID SCHNEIDER, Ehrenmitglied der DGPF, ist am 1. November 2006 im 92. Lebensjahr verstorben.



SIGFRID SCHNEIDER, am 14. Februar 1915 in Berlin geboren, studierte an der Universität seiner Heimatstadt Geographie und Geschichte und promovierte 1940 mit einer Arbeit über ein landeskundliches Thema zum Dr. rer. nat. Während des Krieges war er zuerst mit militärgeographischen Aufgaben betraut und kam dann in die „Forschungsstaffel“ der deutschen Wehrmacht. Diese Gruppe hatte die Aufgabe, Geländebeurteilungskarten zu erstellen. Sie entwickelte dazu eine systematische Verfahrensweise, die als „Geographische Methode der Luftbildinterpretation“ bekannt wurde. Dieses interdisziplinäre Vorgehen hat später vor allem im Ausland viel Beachtung gefunden, wo es als „Team Method“ oder als „Associative Method“ zitiert wurde. Die Erfahrungen dieser Zeit, über die SCHNEIDER

selbst später im Rückblick berichtet hat (Bildmessung und Luftbildwesen, 1989, Heft 4, S. 139–148), wurden für seinen beruflichen Lebensweg und für seine wissenschaftlichen Arbeiten bestimmend.

Nach dem Zweiten Weltkrieg kam SIGFRID SCHNEIDER über einige Zwischenstationen nach Bonn-Bad Godesberg zur Bundesforschungsanstalt für Landeskunde und Raumordnung, an der er bis zum Eintritt in den Ruhestand im Jahre 1979 tätig war. Er übernahm zunächst die redaktionelle Leitung des Werkes „Die deutschen Landkreise“ für Nordrhein-Westfalen und Rheinland-Pfalz mit 14 Bänden. Ein anderer Schwerpunkt war die Vorbereitung der ersten Ausgabe der „Karte der Gasversorgung in der Bundesrepublik Deutschland“. Später kam dazu die Redaktion der Schriftenreihe „Landeskundliche Luftbildauswertung im Mitteleuropäischen Raum“. Als Leiter der Arbeitsgruppe für Landeskundliche Forschung und – nach einer Umstrukturierung 1973 – des Umweltreferates stand er vor zahlreichen Aufgaben, die auch in der Forschung voranzutreiben waren. Seit außer den fotografischen Luftbildern auch Bilddaten anderer Fernerkundungssensoren verfügbar wurden, setzte sich SCHNEIDER mit Engagement dafür ein, diese Möglichkeiten der Umweltbeobachtung und -überwachung zu nutzen. Dies machte vielfältige methodische Untersuchungen erforderlich, wobei vor allem die von ihm geleiteten Studien zur Gewässerüberwachung an der Saar und am Oberrhein hervorzuheben sind.

Kaum ein Kollege hatte so reichhaltige Erfahrungen in der geographischen Luftbildforschung gesammelt und sich diesem Bereich auch in der Lehre als Lehrbeauftragter an der Universität Saarbrücken so intensiv gewidmet wie SIGFRID SCHNEIDER. In Würdigung dieser Leistungen hat ihm die Philosophische Fakultät der Universität des Saarlandes 1970 den Titel Honorarprofessor verliehen. Da konnte es nicht überraschen, dass er seinen Erfahrungsschatz in

das umfangreiche Lehrbuch „Luftbild und Luftbildinterpretation“ einmünden ließ. Es ist 1974 als Band XI in der Reihe „Lehrbuch der Allgemeinen Geographie“ erschienen. Von ganz anderer Art sind die beiden von ihm herausgegebenen Bildbände „Deutschland neu entdeckt“ (1972) und „Die Erde neu entdeckt“ (1975). Sie haben mit ihren wissenschaftlich interpretierten Luft- und Satellitenbildern weite Verbreitung gefunden. Neben vielen anderen Veröffentlichungen ist aber auch noch die Herausgabe des vielseitigen Sammelbandes „Angewandte Fernerkundung – Methoden und Beispiele“ hervorzuheben. Der 1984 erschienene Band dokumentiert die vom Arbeitskreis „Anwendung der Fernerkundung in der räumlichen Planung“ der Akademie für Raumforschung und Landesplanung unter seiner Leitung erarbeiteten Anwendungsbeispiele zur Fernerkundung.

Seine vielfältigen Aktivitäten führten fast zwangsläufig dazu, dass SIGFRID SCHNEIDER von zahlreichen Organisationen, Kommissionen und Arbeitsgruppen um seine Mitwirkung gebeten wurde. Auch der Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie hat er sich in verschiedenen Funktionen zur Verfügung gestellt, so als Kassenwart bzw. Schriftführer im Vorstand (1964 bis 1968)

und als Landesberichterstatter für die Kommission VII der internationalen Gesellschaft. Besondere Verdienste hat er sich aber ab 1968 als Gründer und erster Leiter des Arbeitskreises „Luftbildinterpretation“ der Gesellschaft erworben. Diese Initiative war insbesondere durch die Förderung interdisziplinärer Kontakte für die Entwicklung der Gesellschaft sehr wertvoll, hat sie über die traditionelle Photogrammetrie hinaus einem neuen Interessentenkreis geöffnet und ihr viele neue Mitglieder zugeführt. Den fachlichen Entwicklungen folgend hat der Arbeitskreis – ähnlich wie auch die Gesellschaft – seinen Titel weiterentwickelt: Jetzt ist es der Arbeitskreis „Interpretation von Fernerkundungsdaten“ in der „Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie, Fernerkundung und Geoinformation (DGPF)“.

Die wissenschaftlichen und organisatorischen Leistungen von SIGFRID SCHNEIDER hat die DGPF schon 1974 mit der Verleihung der Ehrenmitgliedschaft gewürdigt. Sein Kollegen- und Freundeskreis wird ihn aber auch wegen seiner menschlich liebenswerten Art, die ihn als außergewöhnliche Persönlichkeit kennzeichnete, in dankbarer Erinnerung behalten.

JÖRG ALBERTZ, Berlin

## Mitteilungen der DGPF

### Neuer Hauptschriftleiter

für die Zeitschrift *Photogrammetrie • Fernerkundung • Geoinformation* (PFG)

Mit Heft 5/2007 übernimmt Prof. HELMUT MAYER, München, die Hauptschriftleitung der PFG.

Sein Vorgänger Prof. KLAUS SZANGOLIES, Jena, scheidet auf eigenen Wunsch mit Heft 4/2007 nach 10-jähriger Tätigkeit in dieser Position aus Altersgründen aus (siehe Bericht von der Mitgliederversammlung der DGPF am 12.9. 2006 in Berlin in PFG 7/2006, S. 550).

Mit dem Wechsel verbunden sind einige Veränderungen in den „PFG-Autorenhinweisen“, insbesondere bei den Anschriften, an die neue Beiträge für die Zeitschrift eingereicht werden können. Außerdem gibt es eine neue „Vorlage für die Abfassung von Manuskripten“ als Bestandteil der PFG-Autorenhinweise (siehe nachfolgende Seiten 140–144).

THOMAS LUHMANN, Oldenburg  
Präsident der DGPF

## PFG-Autorenhinweise

### 1. Originalbeiträge

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

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

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

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

– Prof. HELMUT MAYER (Originalbeiträge)  
Universität der Bundeswehr München,  
Institut für Photogrammetrie und  
Kartographie, D-85577 Neubiberg,  
e-mail: Helmut.Mayer@unibw.de

– Prof. THOMAS P. KERSTEN (Berichte)  
HafenCity Universität Hamburg,  
Department Geomatik, Hebebrandstrasse  
1, D-22297 Hamburg,  
e-mail: thomas.kersten@hcu-hamburg.de

### 2. Manuskripte

Die Manuskripte sollen einen Umfang von 10 Druckseiten nicht überschreiten und der Deutschen Norm für Photogrammetrie und Fernerkundung DIN 18716 entsprechen. Sie können in deutscher Sprache (Neue Deutsche Rechtschreibung) oder in englischer Sprache verfasst sein.

Vor der Bestätigung und Drucklegung von Originalbeiträgen erfolgt eine anonyme Begutachtung der Manuskripte im Regelfall durch drei Reviewer.

Die Manuskripte sollen als Microsoft Word Dokumente entsprechend der Vorlage unter [www.dgpf.de/Autorenhinweise](http://www.dgpf.de/Autorenhinweise) erstellt werden.

### 3. Abbildungen

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

### 4. Rechte

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

Die Autoren sind für den Inhalt der eingereichten Arbeiten verantwortlich.

Vereinheitlichungen, formale Änderungen und Verbesserungen erfolgen durch die Schriftleitung.

### 5. Manuskriptgestaltung

#### *Sprache*

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

#### *Aufbau*

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

#### *Abbildungen*

Im Text enthaltene Strichzeichnungen, Diagramme, Fotos und Tafeln sind als Abbildungen (z. B. **Abb. 1:**) zu bezeichnen, Messwerte, Messergebnisse in Tabellen (z. B. **Tab. 1:**) aufzuführen. Buchstaben in Zeichnungen dürfen nicht niedriger als 1 mm sein. Auflösung bei Fotografien: Minimum 300 dpi, bei Strichzeichnungen: 1000 dpi.

## 6. Titelbilder

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

## 7. Literatur

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

Angeführte Schriften werden im alphabetisch und chronologisch geordneten Literaturverzeichnis zusammen aufgeführt. Zeitschriften: Name – Komma – abgekürzter Vorname – Punkt – Komma – Jahreszahl – Doppelpunkt – Titel – Punkt – Gedankenstrich – Zeitschrift (ausgeschrieben) – Jahrgang/Band (**fett**) – Heftnummer in Klammern – Doppelpunkt – Seite, Streckenstrich, Seite – Punkt. Einzelwerke: Name – Komma – abgekürzter Vorname – Punkt – Komma – Erscheinungsjahr – Doppelpunkt – Titel des Werkes – Punkt – Gedankenstrich – Auflage – Zahl der Seiten, Verlag – Komma – Verlagsort.

Beispiele:

FÖRSTNER, W. & GÜLCH, E., 1987: A Fast Operator for Detection and Precise Location of Distinct Points, Corners and Centres of Circular Features. – ISPRS Intercommission Conference on Fast Processing of Photogrammetric Data, Interlaken, Switzerland, 281–305.

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

HARTLEY, R. & ZISSERMAN, A., 2003: Multiple View Geometry in Computer Vision. – Second Edition, Cambridge University Press, Cambridge, UK.

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

## 8. Anschrift

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

## 9. Sonderdrucke

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

## 10. Korrekturversand

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

Die Korrekturabzüge sind bitte

***innerhalb von 7 Tagen***

an den Verlag zurückzusenden:

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

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

*Mayer, 22. 12. 2006*

*Vorlage für die Abfassung von Manuskripten für PFG*

## 3D Reconstruction and Visualization of Urban Scenes from Uncalibrated Wide-Baseline Image Sequences

HELMUT MAYER, Neubiberg

**Keywords:** 3D reconstruction, auto-calibration, markerless orientation, visualization

**Summary:** This paper focuses on the fully automatic generation of basic ingredients for high quality visualizations of urban areas characterized by vertical facade planes. We show that uncalibrated wide-baseline image sequences without using markers or ground control suffice for this task. At the core of our algorithms are least-squares matching, projective geometry based reconstruction, robust estimation based on random sample consensus – RANSAC, direct auto-calibration, projective and Euclidean bundle adjustment, plane to plane homographies, as well as the robust estimation of image mosaics. Results for the Hradschin in Prague, Czechia, Plaza Real in Barcelona, Spain, and the Zwinger in Dresden show the potential and shortcomings of the employed algorithms.

**Zusammenfassung:** *3D Rekonstruktion und Visualisierung von städtischen Szenen auf Grundlage von unkalibrierten Bildsequenzen mit großer Basis.* Dieses Papier zielt auf die vollautomatische Generierung von grundlegenden Bestandteilen für hochqualitative Visualisierungen von städtischen, durch vertikale Fassadenebenen charakterisierte Szenen ab. Es wird gezeigt, dass für diese Aufgabe unkalibrierte Bildsequenzen mit großer Basis ohne Verwendung von Messmarken oder Passpunkten ausreichen. Den Kern der vorgestellten Algorithmen bilden kleinste-Quadrate-Zuordnung, Rekonstruktion auf Grundlage projektiver Geometrie, robuste Schätzung basierend auf random sample consensus – RANSAC, direkte Auto-Kalibrierung, projektive und euklidische Bündelausgleichung, Ebene-zu-Ebene Homographien, sowie die robuste Schätzung von Bildmosaiken. Ergebnisse für den Hradschin in Prag, Tschechien, den Plaza Real in Barcelona, Spanien und den Zwinger in Dresden zeigen die Möglichkeiten aber auch die Defizite der verwendeten Algorithmen.

### 1 Introduction

Microsoft recently announced its Photosynth project (<http://labs.live.com/photosynth/>). Right now users can only view colored Euclidean three-dimensional (3D) point sets and images registered to average planes of 3D scenes.

Recent years have seen a couple of approaches for the fully automatic generation of 3D Euclidean models from uncalibrated image sequences, among the most advanced of which are (POLLEFEYS et al. 2004) and (LHUILLIER & QUAN 2005). The approaches usually consist of the robust estimation of a projective reconstruction and n-fold correspondences followed by auto-calibration and possibly dense depth estimation, all usually restricted to small images with a short baseline.

A mapping by a homography  $H$  between homologous points  $x$  and  $x'$  in homogeneous coordinates on a given plane and the image plane of a camera, respectively, is given by

$$x' = Hx. \quad (1)$$

In the remainder of this paper, we first present our approach for 3D reconstruction from wide-baseline image sequences (cf. Section 2). The obtained 3D Euclidean model is the basis for deriving vertical facade planes. For them facade images at least partly “cleaned” from occlusions are computed by means of median or consensus between the pixels projected onto the planes from different camera positions (cf. Section 3). In Section 4 we present additional results and we end up with conclusions.

## 2 3D Reconstruction

An example is given in Figs. 1 and 2 showing a part of the Hradschin in Prague, Czechia.



**Fig. 1:** Six images of the Hradschin in Prague, Czechia.

### Acknowledgements

### References

- BAILLARD, C. & ZISSERMAN, A., 1999: Automatic Reconstruction of Piecewise Planar Models from Multiple Views. – *Computer Vision and Pattern Recognition*, Volume II: 559–565.
- BÖHM, J., 2004: Multi Image Fusion for Occlusion-Free Façade Texturing. – *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume 35 (B5): 867–872.
- CHUM, O., MATAS, J. & KITTLER, J., 2003: Locally Optimized RANSAC. – *Pattern Recognition – DAGM 2003*, Springer-Verlag, Berlin, Germany, 249–256.
- DEBEVEC, P., TAYLOR, C. & MALIK, J., 1996: Modeling and Rendering Architecture from Photographs: A Hybrid Geometry- and Image-Based Approach. – Technical Report CSD-96-893, Computer Science Division, University of California at Berkeley, Berkeley, USA.
- FISCHLER, M. & BOLLES, R., 1981: Random Sample Consensus: A Paradigm for Model Fitting with Applications to Image Analysis and Automated Cartography. – *Communications of the ACM* **24** (6): 381–395.
- FÖRSTNER, W. & GÜLCH, E., 1987: A Fast Operator for Detection and Precise Location of Distinct Points, Corners and Centres of Circular Features. – *ISPRS Intercommission Conference on Fast Processing of Photogrammetric Data*, Interlaken, Switzerland, 281–305.
- HARTLEY, R. & ZISSERMAN, A., 2003: *Multiple View Geometry in Computer Vision*. – Second Edition, Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- LHULLIER, M. & QUAN, L., 2005: A Qasi-Dense Approach to Surface Reconstruction from Uncalibrated Images. – *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* **27** (3): 418–433.
- MIKHAIL, E., BETHEL, J. & MCGLONE, J., 2001: *Introduction to Modern Photogrammetry*. – John Wiley & Sons, Inc, New York, USA.
- POLLEFEYS, M., VAN GOOL, L., VERGAUWEN, M., VERBIEST, F., CORNELIS, K. & TOPS, J., 2004: Visual Modeling with a Hand-Held Camera. – *International Journal of Computer Vision* **59** (3): 207–232.
- SCHNABEL, R., WAHL, R. & KLEIN, R., 2006: Shape detection in point clouds. – Technical Report CG-2006-2, Universität Bonn.

Anschrift des Autors:

Prof. Dr.-Ing. HELMUT MAYER, Universität der Bundeswehr München, Institut für Photogrammetrie und Kartographie, D-85577 Neubiberg, Tel.: +49-89-6004-3429, Fax: +49-89-6004-4090, e-mail: Helmut.Mayer@unibw.de

## Vorankündigungen

### 2007

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

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

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

14.–18. Mai: **SSC2007 – Spatial Sciences Institute International Biennial Conference in Hobart**, Australien. Auskünfte durch: Tel.: +61-3-9682 0244, e-mail: [ssc2007@icms.au](mailto:ssc2007@icms.au), [www.ssc2007.com](http://www.ssc2007.com)

16.–18. Mai: **ISPRS WG VII/2 + 7 joint Conference on Information Extraction from SAR & Optical Data in Istanbul**. Auskünfte durch: Dr. Cigdem Goksel, Tel.: +90-212-285 3411, e-mail: [goksel@itu.edu.tr](mailto:goksel@itu.edu.tr), [www.isprs2007ist.itu.edu.tr/](http://www.isprs2007ist.itu.edu.tr/)

23.–25. Mai: Joint **CIG and ISPRS WG IV/8 + 5 3<sup>rd</sup> International Symposium on Geoinformation for Disaster and Risk Management (Gi4DM2007) in Toronto**. Auskünfte durch: Jonathan Li, Tel.: +1-416-979 5000#6469, e-mail: [junli@ryerson.ca](mailto:junli@ryerson.ca), [www.cig-acsg.ca/cig2007/](http://www.cig-acsg.ca/cig2007/)

29.–31. Mai: **ISPRS IC WG I/V + V/I, WG I/2 + 3 5<sup>th</sup> International Symposium on Mobile Mapping Technology (MMT20 07) in Padua**, Italien. Auskünfte durch: Prof. An-

tonio Vettore, CIRGEO, University of Padova, Tel.: +39-049-827 2688, Fax: +39-049-827 2686, e-mail: [antonio.vettore@unipd.it](mailto:antonio.vettore@unipd.it), [www.cirgeo.unipd.it/sitocirgeo/mmt\\_frs\\_t.html](http://www.cirgeo.unipd.it/sitocirgeo/mmt_frs_t.html)

29. Mai–1. Juni: **ISPRS WG I/5, IV/3 Workshop “High Resolution Earth Imaging for Geospatial Information” in Hannover**. Auskünfte durch: Karsten Jacobsen, e-mail: [karsten@ipi.uni-hannover.de](mailto:karsten@ipi.uni-hannover.de) oder Christian Heipke, e-mail: [heipke@ipi.uni-hannover.de](mailto:heipke@ipi.uni-hannover.de), [http://www.ipi.uni-hannover.de/ISPRS\\_workshop\\_07](http://www.ipi.uni-hannover.de/ISPRS_workshop_07)

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

7./8. Juni: **3 GIS-Ausbildungstagung 2007 am GFZ in Potsdam**. Auskünfte: Prof. Jochen Schiewe, e-mail: [jschiewe@igf.uni-osnabrueck.de](mailto:jschiewe@igf.uni-osnabrueck.de), <http://gis.gfz-potsdam.de>

13.–15. Juni: **ISPRS WG II/7 Spatial Data Quality 2007 – 5<sup>th</sup> International Symposium in Enschede**, Niederlande. Auskünfte durch: Wenzhong SHI, Tel.: +852-2766-5975 oder +31-53-4874 333, e-mail: [lswzshi@polyu.edu.hk](mailto:lswzshi@polyu.edu.hk) oder [issdq2007@itc.nl](mailto:issdq2007@itc.nl), [www.itc.nl/issdq2007](http://www.itc.nl/issdq2007)

14.–16. Juni: **3<sup>rd</sup> International Conference on Recent Advances in Space Technologies – “Space for a More Secure World” (RAST 2007) in Istanbul**. Auskünfte durch: RAST2007 Secretariat, e-mail: [rast2007@rast.org.tr](mailto:rast2007@rast.org.tr), [www.rast.org.tr/](http://www.rast.org.tr/)

19.–21. Juni: **Gemeinsame Jahrestagung 2007 von SGPBF, DGPF und OVG in Müttenz/Schweiz** unter dem Motto »*Von der Medizintechnik bis zur Planetenforschung*«. – 80. Hauptversammlung der Schweizerischen Gesellschaft für Photogrammetrie, Bildanalyse und Fernerkundung SGPBF ([www.sgpbf.ch/content/view/9/16/](http://www.sgpbf.ch/content/view/9/16/)).

– 27. Wissenschaftlich-Technische Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie, Fernerkundung und Geoinformation DGPF ([www.dgpf.de](http://www.dgpf.de)).

– Jahrestagung der Österreichischen Gesellschaft für Vermessung und Geoinformation OVG ([www.ovg.at](http://www.ovg.at)).

Organisation: Fachhochschule Nordwestschweiz FHNW, Hochschule für Architektur, Bau und Geomatik, Institut Vermessung und Geoinformation, Gründenstrasse 40, CH-4132 Muttenz, Prof. Stephan Nebiker, Tel.: +41-61-467-4336, Fax: +41-61-467-44 60, e-mail: [stephan.nebiker@fhnw.ch](mailto:stephan.nebiker@fhnw.ch)

20.–22. Juni: **Geoinformation Forum Japan 2007** in Pacifico **Yokohama**, Japan. Auskünfte durch: Tel.: +81-3-5684 3356, e-mail: [geoforum@jsurvey.jp](mailto:geoforum@jsurvey.jp), [www.jsurvey.jp/eng-geoforum2006.htm](http://www.jsurvey.jp/eng-geoforum2006.htm)

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

25.–29. Juni: 32<sup>nd</sup> International Symposium on Remote Sensing of Environment: **Sustainable Development through Global Earth Observation** with **ISPRS WG VII/6** special session in **San Jose**, Costa Rica. Auskünfte durch: Chiyo Yamashita-Gill, Tel.: +520-621-8567, Fax: +520-621-7834, e-mail: [chio@ag.arizona.edu](mailto:chio@ag.arizona.edu) oder Jie Shan (Co-Chair WG VII/6), e-mail: [jshan@ecn.purdue.edu](mailto:jshan@ecn.purdue.edu), [www.symposia.org](http://www.symposia.org)

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

3.–6. Juli: **GI\_FORUM – Symposium and Exhibit for Applied Geoinformatics in Salzburg**. “We solicit papers on emerging topics and research outcomes related to Geoinformatics methodology”. Conference Chair: Josef Strobl, Programme Chair: Adrijana Car. Auskünfte: [www.gi-forum.org](http://www.gi-forum.org)

4.–6. Juli: **AGIT 2007 – Symposium und Fachmesse für Angewandte GeoInformatik in Salzburg**. Themen: Naturraum und Landschaft, Klima und Hydrologie, Health GIS: Gesundheit, Medizin und Umwelt, geoGovernment u. a. Auskünfte durch: Dr. Stefan Lang, Z—GIS Centre for Geoinformatics, Universität Salzburg, Hellbrunnerstr. 34, A-5020 Salzburg, Tel.: +43-662-8044 5262, Fax: +43-662-8044 5260, e-mail: [stefan.lang@sbg.ac.at](mailto:stefan.lang@sbg.ac.at), Thomas Blaschke, e-mail: [Thomas.Blaschke@sbg.ac.at](mailto:Thomas.Blaschke@sbg.ac.at), [www.uni-salzburg.at/zgis/lang](http://www.uni-salzburg.at/zgis/lang), [www.agit.at/obia](http://www.agit.at/obia)

12./13. Juli: 2<sup>nd</sup> **ICA Workshop on Geospatial Analysis & Modeling** “Spatial Structure & Dynamics of Urban Environments” in **Atlanta**, GA, USA. Auskünfte durch: Dr. Xiaobai Angela Yao, e-mail: [xyao@uga.edu](mailto:xyao@uga.edu), Dr. Bin Jiang, e-mail: [bin.jiang@polyu.edu.hk](mailto:bin.jiang@polyu.edu.hk), [www.ggy.uga.edu](http://www.ggy.uga.edu)

18.–20. Juli: 4<sup>th</sup> Bi-annual **International Workshop on the Analysis of Multi-temporal Remote Sensing Data (MULTI TEMP-2007)** in **Leuven**, Belgien. Auskünfte durch: Dr. Pol Coppin, Tel.: +32-16-32 1622, Fax: +32-16-32 1999, e-mail: [multitemp-2007@biw.kuleuven.be](mailto:multitemp-2007@biw.kuleuven.be), [www.biw.kuleuven.be/multitemp2007](http://www.biw.kuleuven.be/multitemp2007)

23.–27. Juli: **IEEE/IGARSS 2007** with **ISPRS WG VII/4 joint session in Barcelona**. Auskünfte durch: Conference Secretariat, Tel.: +34-93-401-7441, e-mail: [igarss07@cimne.upc.es](mailto:igarss07@cimne.upc.es), Roman Arbiol, e-mail: [arbiol@icc.es](mailto:arbiol@icc.es), [www.igarss07.org](http://www.igarss07.org)

4.–10. August: **XXIII ICA International Cartographic Conference** in **Moskau**. Auskünfte durch: ICC2007 Secretary, Tel./ Fax: +7-95-124-3535, e-mail: [info@icc2007.com](mailto:info@icc2007.com), [www.icc2007.com/](http://www.icc2007.com/)

- 13.–15. August: 8<sup>th</sup> **Conference on Optical 3D Measurement Techniques in Zürich**. Auskünfte durch: Liliane Steinbruckner, e-mail: stein@geod.baug.ethz.ch, Prof. A. Gruen, e-mail: agruen@geod.baug.ethz.ch, www.photogrammetry.ethz.ch/optical3d
- 15./16. August: 2<sup>th</sup> **ISPRS 3D-Arch Conference “3D Virtual Reconstruction and Visualization of Complex Architectures” in Zürich**. Auskünfte durch: Fabio Remondino, e-mail: Fabio@geod.baug.ethz.ch, www.3d-arch.org
- 20.–23. August: 45<sup>th</sup> **URISA (Urban and Regional Information Systems Association) Annual Conference and Exposition in Washington, DC**. Auskünfte durch: Tel.: +1-847-824 6300, e-mail: info@urisa.org, www.urisa.org/
- 20.–24. August: **IPY GeoNorth 2007 – First International Circumpolar Conference on Geospatial Sciences and Applications in Yellowknife, NW Territories Canada**. Auskünfte: e-mail: ipyGeoNorth2007@NRcan.gc.ca, www.IPYGeoNorth.org
- 28./29. August: **ISPRS Workshop on „Updating Geospatial Databases with Imagery“ & the 5<sup>th</sup> ISPRS Workshop on DMGIS in Urumchi, China**. Auskünfte durch: Jie Jiang, Tel.: +86-10-6848 3218, e-mail: jiangjie\_263@263.net, http://www.isprs-wg41.nsd.gov.cn/xinjiang/urumqi.htm
- 3.–7. September: **51. Photogrammetrische Woche 2007 in Stuttgart**. Auskünfte durch: Martina Kroma, Tel.: +49-711-121 3386, Fax: +49-711-121 3297, e-mail: martina.kroma@ifp.uni-stuttgart.de, www.ifp.uni-stuttgart.de/aktuelles/veranstaltungen.html
- 10.–12. September: **10. AGIS-Seminar „GIS & Internet“ der Arbeitsgemeinschaft Geoinformationssysteme GIS (AGIS) der Universität der Bundeswehr München in Neuburg**. Auskünfte: http://www.unibw.de/bauv11/geoinformatik/weiterbildung
- 12.–14. September: **ISPRS WG I/4, IV/9 Workshop & Annual Conference of the Remote Sensing and Photogrammetry Society (RSPSoc) 2007** „Challenges for earth observation – scientific, technical and commercial“ in **Newcastle upon Tyne, UK**. Auskünfte durch: Jon Mills, e-mail: j.p.mills@ncl.ac.uk, David Holland, e-mail: david.holland@ordnancesurvey.co.uk und rspsoc@nottingham.ac.uk, Tel.: +44-115-951 5435 www.rpsoc2007.org/
- 12.–14. September: **ISPRS WG III/3, III/4, V/3 Workshop on Laser Scanning – LS2007 and SilviLaser 2007 in Espoo, Finnland**. Auskünfte durch: Juha Hyyppä, Tel.: +358-9-2955-5305, Fax: +358-9-2955-5200, e-mail: juha.hyyppa@fgi.fi, www.foto.hut.fi/l2007/l2007.html
- 12.–15. September: **45. Wissenschaftliche Tagung des Deutschen Markscheider-Vereins „Wir geben die Richtung vor“ in Leipzig**. Auskünfte durch: Carsten Wedekind, e-mail: c.wedekind@wismut.de oder geschaeftsstelle@dmv-ev.de, www.dmv-ev.de („Aktivitäten“)
- 19.–21. September: **ISPRS WG III/4+5, IV/3 Workshop “Photogrammetric Image Analysis” (PIA07) in München**. Auskünfte durch: Uwe Stilla, Tel.: +49-89-289-22671, Fax: +49-89-280-9573, e-mail: stilla@bv.tum.de, www.ipk.bv.tum.de/isprs/pia07
- 19.–23. September: **Conference on Spatial Information Theory (COSIT) in Melbourne, Australien**. Auskünfte durch: Stephan Winter, Tel.: +61-3-8344-7875, Fax: +61-3-9347-2916, e-mail: winter@unimelb.edu.au, http://www.cosit.info
- 24.–26. September: 8<sup>th</sup> Conference **Optical 3D Measurement Techniques in Zürich**. Auskünfte durch: Liliane Steinbruckner, e-mail: stein@geod.baug.ethz.ch oder Prof. A. Grün, e-mail: agruen@geod.baug.ethz.ch
- 24.–28. September: **XIII ISM (International Society for Mine Surveying) Congress in Budapest**. Auskünfte durch: Tel.: +36-1-

301-2945, e-mail: kalman\_baratosi@mbh.hu, www.ism.rwth-aachen.de

25.–27. September: **ISPRS WG II/1, VII/6 + 7 joint Conference on Techniques & Applications of Optical & SAR Imagery Fusion “Mapping without the Sun”** in Chengdu, China. Auskünfte durch: Secretariat, Tel.: +86-10-6824 7205, e-mail: imagefusion07@cas.ac.cn, www.commission7.isprs.org/wg6

25.–27. September: **13. INTERGEO 2007** „Wissen und Handeln für die Erde“ und **55. Deutscher Kartographentag in Leipzig**, Messegelände. Auskünfte: www.intergeo.de, www.kartographentag.net und www.hintemesse.de

29. September–5. Oktober: **56. Deutscher Geographentag – Kongress für Wissenschaft, Schule und Praxis in Bayreuth**. Auskünfte: www.geographie.de/

1.–6. Oktober: **ISPRS XXI CIPA International Symposium in Athen**. Auskünfte durch Organizing Committee, e-mail: cipa\_thens\_2007@survey.ntua.gr, Congress Secretariat, e-mail: Cipa07\_secr@triaenatours.gr, www.survey.ntua.gr/hosted/cipathens\_2007/

13.–16. November: **ISPRS WG I/6 Workshop on Earth Observation Small Satellites**

**for Remote Sensing Applications in Kuala Lumpur**, Malaysia. Auskünfte durch: Mazlan Hashim, Tel.: +60-7-553 0873, Fax: +60-7-55 6163, e-mail: mazlan@fkg.utm.my, www.commission1.isprs.org/wg6

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

4.–6. Dezember: **3<sup>rd</sup> International Conference „Earth from Space – the most Effective Solution“** in Moskau. Auskünfte durch: Tel.: +7-495-939-5640, e-mail: conference@scanex.ru, www.transparentworld.ru/conference

#### **2008**

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

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

## Zum Titelbild

### Reliefdarstellung der Schweiz



Im Februar des Jahres 2000 erfasste das Radarsystem des Space Shuttle während der *Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)* die Topographie der Erde fast flächendeckend in einer bis dahin nicht gekannten Auflösung. Diese 3D-Radaransichten dienen neben ihrer Verwendung in den Bereichen Geologie, Gletscherkunde, Klimaforschung, etc. auch der kartographischen Visualisierung der Erdoberfläche. Mit Ihnen lässt sich das Relief der Erde in eindrucksvoller Weise plastisch darstellen.

Der SRTM-Datensatz ist auch Grundlage des aktuellen Titelbildes der Zeitschrift PFG. Es zeigt das Relief der Schweiz in einer grandiosen Detailgenauigkeit, die Oberflächendetails bis zu einer Größe von 90 m erkennen lässt. Für die graphische Gestaltung wurde das Geländemodell in 25 Höhenschichten unterteilt, denen verschiedene Farbwerte zugewiesen wurden (hypsometrische Farbgestaltung). Die Farbwerte der Höhenschichten sind an die Regionalfarben der Atlaskarten angelehnt

(Tiefeland = Grün, Hügelland = Gelb, Gelbbraun, Gebirge = Braun, Weiß). Durch den Einsatz einer analytischen Reliefschummerung werden zudem die Geländeformen sichtbar. Für die Beleuchtungsposition (Position der Lichtquelle) wurde ein Azimutwert von  $330^\circ$  und ein Höhenwert von  $65^\circ$  gewählt, was einer Beleuchtungsrichtung aus Nordwest entspricht. Seen, Fluss- und Grenzverläufe dienen der Orientierung im Kartenbild.

Eine derartige kartographische Aufbereitung wird ebenfalls für echt-dreidimensionale Landkarten der Firma mbmSystems GmbH verwendet. Diese Karten vermitteln einen unmittelbar räumlich-plastischen Eindruck des dargestellten Geländes und können im Unterschied zu anderen Verfahren der 3D-Visualisierung – ohne jegliche Hilfsmittel wie die Rot-Grün-Brille beim Anaglyphenverfahren – betrachtet werden. Ermöglicht wird dies durch eine über der Bildinformation liegenden Linsenfolie, die jedem Auge eine unterschiedliche Perspektive darbietet. Die weniger als 1 mm flachen Karten besitzen dabei eine Tiefenwirkung von mehreren Zentimetern. Die Verbindung zwischen einem ansprechenden Kartenbild und der echten räumlichen Darstellung des Geländes ermöglicht zudem eine intuitive Erfassung der Landschaftsformen. Somit können Höhenrelationen und Reliefstrukturen direkt aus dem Raumbild herausgelesen und interpretiert werden.

Weitere Informationen zur Technik echt-dreidimensionaler Landkarten finden Sie im PFG-Heft 1/2005 und 5/2005 sowie auf der Homepage von mbmSystems ([www.mbmSystems.de](http://www.mbmSystems.de)) oder wenden Sie sich direkt an:

THOMAS GRÜNDEMANN, Dresden, e-mail: [Thomas.Gruendemann@mbmSystems.de](mailto:Thomas.Gruendemann@mbmSystems.de)