

# PFG

# Photogrammetrie Fernerkundung Geoinformation

Jahrgang 2010  
Heft 1

Organ der Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie, Fernerkundung und Geoinformation (DGPF) e.V.  
Indexed in Science Citation Index Expanded (SciSearch®)  
Journal Citation Reports / Science Edition



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

# PRG

# Photogrammetrie Fernerkundung Geoinformation

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

Jahrgang 2010, Heft 1

Hauptschriftleiter:  
Prof. Dr.-Ing. Helmut Mayer

Schriftleiter:  
Prof. Dr. rer.nat. Carsten Jürgens, Prof. Dipl.-Ing. Thomas P. Kersten,  
Prof. Dr. rer.nat. Lutz Plümer und Dr.-Ing. Eckhardt Seyfert

**Redaktionsbeirat** (Editorial Board): Clement Atzberger, Andrew Frank,  
Christian Heipke, Joachim Hill, Patrick Hostert, Hans-Gerd Maas, Wolfgang  
Reinhardt, Franz Rottensteiner, Jochen Schiewe



E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung  
(Nägele u. Obermiller) Stuttgart 2010



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:

© 2010 Deutsche Gesellschaft für Photogrammetrie, Fernerkundung und Geoinformation (DGPF) e.V.  
Präsidentin: Prof. Dr. Cornelia Gläßer, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Institut für Geo-  
wissenschaften, Von-Seckendorff-Platz 4, D-06120 Halle, Tel.: +49(0)345 55-26020  
Geschäftsstelle: Dr. Klaus-Ulrich Komp, c/o EFTAS Fernerkundung Technologietransfer GmbH,  
Oststraße 2–18, D-48145 Münster, e-mail: klaus.komp@eftas.com

Published by:

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

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

© 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

Science Citation Index Expanded (also known as SciSearch®) Journal Citation Reports/Science Edition  
Hauptschriftleiter: Prof. Dr.-Ing. Helmut Mayer, Institut für Angewandte Informatik, Universität der  
Bundeswehr München, D-85577 Neubiberg, e-mail: Helmut.Mayer@unibw.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, Prof. Dipl.-Ing. Thomas  
P. Kersten, HafenCity Universität Hamburg, Department Geomatik, Hebebrandstr.1, D-22297 Ham-  
burg, e-mail: thomas.kersten@hcu-hamburg.de, Prof. Dr. rer.nat. Lutz Plümer, Universität Bonn,  
Institut für Geodäsie und Geoinformation, Meckenheimer Allee 172, D-53115 Bonn, e-mail:  
Lutz.Pluemmer@ikg.uni-bonn.de und Dr.-Ing. Eckhardt Seyfert, Landesvermessung und Geobasis-  
information Brandenburg, Heinrich-Mann-Allee 107, D-14473 Potsdam, e-mail: eckhardt.seyfert@geo  
basis-bb.de

Erscheinungsweise: 6 Hefte pro Jahrgang.

Bezugspreis im Abonnement: €185,- pro Jahrgang. Mitglieder der DGPF erhalten die Zeitschrift kosten-  
los. Der Online-Zugang ist im Abonnement-Preis enthalten, Mitglieder der DGPF erhalten ihn kostenlos.

Anzeigenverwaltung: Dr. E. Nägele, E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele u. Obermiller),  
Johannesstraße 3A, D-70176 Stuttgart, Tel.: 0711 351456-0; Fax: 0711 351456-99.

e-mail: [mail@schweizerbart.de](mailto:mail@schweizerbart.de), Internet: <http://www.schweizerbart.de>

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

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

# PFG – Jahrgang 2010, Heft 1

## Inhaltsverzeichnis

---

### Originalbeiträge

FREY, D., ULRICH, M. & HINZ, S.: Evaluierung effizienter Methoden zur Berechnung des optischen Flusses .....	5
PRADHAN, B., LEE, S. & BUCHROITHNER, M.F.: Remote Sensing and GIS-based Landslide Susceptibility Analysis and its Cross-validation in Three Test Areas Using a Frequency Ratio Model .....	17
ZEUG, G. & KRANZ, O.: Fernerkundungsbasierte Ermittlung der Bevölkerungsverteilung für den Einsatz in humanitären Krisenregionen .....	33

---

### Berichte und Mitteilungen

#### Berichte von Veranstaltungen

ISPRS Workshop „CMRT09 – City Models, Roads, and Traffic“ vom 3.–4. September 2009 in Paris, Frankreich .....	47
46. Tagung der Arbeitsgruppe „Automation in Kartographie, Photogrammetrie und GIS“ (AgA) vom 5.–6. Oktober 2009 in Frankfurt am Main .....	49
9 <sup>th</sup> International Conference „From Imagery to Map: Digital Photogrammetric Technologies“ by RACURS vom 5.–8. Oktober 2009 in Attica, Griechenland .....	51
CIPA 2009 XXII International Symposium „Digital Documentation, Interpretation & Presentation of Cultural Heritage“ vom 11.–15. Oktober 2009 in Kyoto, Japan ...	53

#### Hochschulnachrichten

Universität Zürich: Dissertation ACHILLEAS PSOMAS .....	55
---	----

#### Persönliches

Prof. Dr. HANS KNOOP † .....	57
------------------------------	----

#### Buchbesprechung

RICHTER, CH. & TEICHERT, B. (Einführung in die Digitale Bildverarbeitung – Lehrbuch für ingenieurwissenschaftliche Studiengänge) .....	58
--	----

Veranstaltungskalender .....	59
------------------------------	----

Neuerscheinungen .....	60
------------------------	----

Zum Titelbild .....	61
---------------------	----

Korporative Mitglieder .....	62
------------------------------	----

Zusammenfassungen der „Originalbeiträge“ und der Beiträge „Aus Wissenschaft und Technik“ (deutsch und englisch) sind auch verfügbar unter [www.dgpf.de/neu/pfg/ausgaben.htm](http://www.dgpf.de/neu/pfg/ausgaben.htm)



# Evaluierung effizienter Methoden zur Berechnung des optischen Flusses

DANIEL FREY & MARKUS ULRICH, München; STEFAN HINZ, Karlsruhe

**Keywords:** Optischer Fluss, Wavelets, Mehrgitterverfahren, Evaluierung

**Summary:** *Evaluation of Efficient Methods for Optical Flow Computation.* The efficient computation of optical flow is a prerequisite for a large number of applications, which led to the development of various different optical flow algorithms in the past years. Optical flow describes for each pixel in the first image its position in the second image. Hence, it provides the basis to analyze ego-motion or motion of objects between two images in a pixel-wise fashion. Despite of the fact that many efficient solutions to calculate the optical flow have been developed in the past, there is a lack of research simultaneously comparing the accuracy and the run-time efficiency of these algorithms systematically.

After the mathematical definition of the optical flow, the basic principles of four selected methods of optical flow computation are explained. The main contribution of this article is the evaluation of these algorithms. The studied algorithms are on the one hand so called multigrid methods and on the other hand approaches that are based on wavelet decomposition. All algorithms have in common that they prospect high performance. The motivation of the evaluation is to help the reader to find the most suitable algorithm for his task.

**Zusammenfassung:** Die effiziente Berechnung des optischen Flusses zwischen zwei Bildern ist Voraussetzung für eine Vielzahl von Anwendungen und daher in der Bildverarbeitung weiterhin aktuelles Forschungsthema. Der optische Fluss beschreibt für jeden Bildpunkt in einem Bild einer Bildfolge dessen Position im darauffolgenden Bild der Bildfolge. Damit lassen sich z. B. Bewegungsabläufe innerhalb einer Bildsequenz analysieren. In den letzten Jahren wurden verschiedene effiziente Lösungsmöglichkeiten entwickelt. Jedoch mangelt es an Arbeiten, die die Laufzeiteffizienzen dieser Algorithmen deren Genauigkeiten systematisch gegenüberstellen.

Nach einer mathematischen Definition des optischen Flusses werden in diesem Artikel die Grundprinzipien von vier ausgewählten Algorithmen erläutert. Der Hauptbeitrag des Artikels ist die Evaluierung dieser Lösungsansätze. Bei den untersuchten Algorithmen handelt es sich um so genannte Mehrgitterverfahren sowie um Verfahren, die auf Wavelets beruhen. Allen gemeinsam ist, dass sie eine hohe Laufzeiteffizienz versprechen. Ziel der Evaluierung ist dabei auch, dem Leser eine Hilfestellung bei der Algorithmenwahl für seine spezielle Anwendung zu geben.

## 1 Einleitung

Die automatische Bestimmung von Objekt- oder Eigenbewegungen aus Bildsequenzen ist schon seit den frühen 1980er Jahren ein intensives Forschungsgebiet der Bildanalyse (HORN & SCHUNCK 1981, DRESCHLER & NAGEL 1982). Typische Anwendungsbeispiele sind die Verkehrsüberwachung, Personenverfolgung, autonome Navigation, sowie medizinische oder industrielle Bildverarbeitung. Die klassischen photogrammetrischen Verfahren gehen dabei typischerweise punktbasiert vor, indem mit

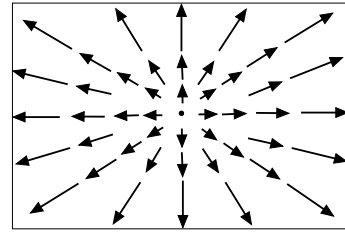
Interest-Operatoren auffällige Punktmerkmale aus den Bildern extrahiert und dann mittels Matching-Verfahren über die Bildsequenz hinweg getrackt werden (HARTLEY & ZISSERMAN 2004). Als Ergebnis erhält man Punkttrajektorien, aus denen ggf. ein lückenloses Bewegungsvektorfeld mittels Interpolationsverfahren abgeleitet wird. Während die Bewegungsvektoren in den homologen Punkten hohe Genauigkeiten aufweisen (bis in den Subpixel-Bereich), verschlechtert sich natürlich die Genauigkeit an interpolierten Positionen.

Komplementiert werden diese Verfahren durch flächenbasierte Methoden, wie z. B. den optischen Fluss. Der Vorteil solcher Verfahren liegt darin, dass die gesamte Bildinformation inklusive der lokalen Nachbarschaftsbeziehungen von Bildpunkten zur Ableitung des Bewegungsvektorfeldes genutzt wird. Als Ergebnis erhält man ein dichtes Bewegungsvektorfeld. Voraussetzung ist allerdings, dass die Bewegungsvektoren nicht größer als der Einzugsbereich der im Verfahren genutzten Filtermasken sind – eine Einschränkung, die bei o.g. Matching-Verfahren nicht gegeben ist – was meist eine hohe Bildwiederholrate bedingt. Daher wird der optische Fluss meist zur Auswertung von Videosequenzen eingesetzt, da hier die Voraussetzung kleiner Bewegungsvektoren oft erfüllt ist.

Eine wesentliche Komponente bei der Bewegungsbestimmung ist heutzutage die Echtzeitfähigkeit. Dies gilt v.a. für industrielle Anwendungen der Bildverarbeitung wie zum Beispiel bei der Qualitätskontrolle. Deshalb wurde in den letzten Jahren das Augenmerk neben der Genauigkeit auch auf die Effizienz der Algorithmen gerichtet. Die fundierte Analyse und vergleichende Evaluierung solcher Verfahren ist Ziel dieses Artikels. Nach einer mathematischen Definition des optischen Flusses werden die Grundprinzipien von vier ausgewählten Algorithmen erläutert und anhand von Testszenen vergleichend numerisch evaluiert. Bei den untersuchten Algorithmen handelt es sich um so genannte Mehrgitterverfahren sowie um Verfahren, die auf Basis von Wavelets beruhen. Allen gemeinsam ist, dass sie eine hohe Laufzeiteffizienz versprechen. Die Evaluierung stellt die Laufzeiteffizienz und die Genauigkeit des resultierenden optischen Flusses der einzelnen Verfahren gegenüber.

## 2 Optischer Fluss

Der optische Fluss wird in den meisten Fällen durch ein Vektorfeld dargestellt. In diesem Flussfeld sieht man sowohl die 2D-Bewegungsrichtung (Orientierung des Vektors) als auch die Geschwindigkeiten (Betrag des Vektors). Um diese Größen zu bestimmen, werden die Grauwerte der beiden hintereinander auf-



**Abb. 1:** Flussfeld einer Vorwärtseigenbewegung.

genommenen Bilder betrachtet. Für jedes Pixel im ersten Bild wird versucht, das korrespondierende Pixel im zweiten Bild zu finden. Der sich daraus ergebende Differenzvektor beinhaltet die Bewegung zwischen den beiden Bildpunkten im Bildraum. In Abb. 1 ist exemplarisch ein Vektorfeld des optischen Flusses für eine Vorwärtseigenbewegung abgebildet.

Im Folgenden wird das bekannte mathematische Modell für den optischen Fluss hergeleitet, das zur so genannten Flussgleichung führt. Ein Bild, das zu einer bestimmten Zeit aufgenommen wurde, kann als eine Funktion  $I(x,y,t)$  von Intensitätswerten aufgefasst werden, wobei die Bildkoordinaten  $x(t)$  und  $y(t)$  eines abgebildeten Objektpunktes wiederum von der Zeit abhängig sind. Ein Bild, das zum Zeitpunkt  $t+dt$  aufgenommen wird, kann demnach mit der Funktion  $I(x+dx,y+dy,t+dt)$  beschrieben werden. Aus der Verschiebung der Pixel ergibt sich der zweidimensionale optische Fluss  $u = dx/dt$  und  $v = dy/dt$ . Setzt man (ohne Beschränkung der Allgemeinheit) den zeitlichen Abstand zwischen zwei Aufnahmen auf  $dt = 1$ , ergibt sich  $u = dx$  und  $v = dy$ . Um zur Flussgleichung zu gelangen, wird (zunächst) die grundlegende Annahme gemacht, dass sich die Intensitätswerte von Objekten zwischen zwei Bildern nicht ändern.

$$I(x + dx, y + dy, t + dt) = I(x, y, t) \quad (1)$$

Nach einer Taylerentwicklung ersten Grades an der Stelle  $(x,y,t)$  und einigen Umformungen erhält man die von Horn und Schunk (HORN & SCHUNCK 1981) entwickelte Flussgleichung:

$$I_x u + I_y v + I_t = 0 \quad (2)$$

Hierbei bezeichnen  $I_x$ ,  $I_y$  und  $I_t$  die Ableitung der Intensitätswerte nach  $x$ ,  $y$  und  $t$ . Das Ziel

ist, die beiden Komponenten des optischen Flusses  $u$  und  $v$  so zu schätzen, dass diese Gleichung erfüllt ist. Die Annahme der konstanten Intensitätswerte in realen Szenen ist jedoch so gut wie nie erfüllt. Die Ursachen für Helligkeits- bzw. Intensitätsvariationen zwischen zwei Bildern können vielseitig sein. Zum Beispiel führen Verdeckungen von Objekten, Beleuchtungsveränderungen, Blickrichtungsänderung durch Bewegung des Aufnahmeapparates oder Helligkeitsvariation des Objektes selbst (z. B. durch Wolken) zu einer Verletzung der Annahme. Zudem ist die Flussgleichung (2) für einen einzigen Bildpunkt unterbestimmt, also ein schlecht-gestelltes Problem. Zur Lösung müssen zusätzliche Bedingungen eingeführt werden, die im folgenden Abschnitt vorgestellt werden.

### 3 Lösungsansätze für den optischen Fluss

In den vergangenen Jahren wurde eine Reihe von Lösungsmöglichkeiten für den optischen Fluss entwickelt. Eine Möglichkeit zur Gruppierung der Ansätze wurde in (BARRON et al. 1994) durchgeführt. Einer der bekanntesten und grundlegendsten Ansätze, der ein 100% dichtes Flussfeld erzeugt, stammt von HORN & SCHUNCK (1981). Sie führen als weitere Bedingung einen so genannten Glattheitsterm ein. Dieser Term beruht auf der Annahme, dass die Bewegungen benachbarter Pixel voneinander abhängig sind und das gleiche Geschwindigkeitsmuster aufweisen. Die Änderung des Vektorfeldes in der Umgebung des jeweils betrachteten Punktes soll möglichst gering sein. Diese Bedingung dient zur Regularisierung des schlecht-gestellten Problems, weshalb an dieser Stelle auch häufig von Regularisierern gesprochen wird. Mathematisch kann die von HORN und SCHUNCK aufgestellte Glattheitsbedingung wie folgt dargestellt werden:

$$E_s(u, v) = |\nabla u|^2 + |\nabla v|^2 \rightarrow \min \quad (3)$$

Neben der unterbestimmten Flussbedingung

$$E_d(u, v) = I_x u + I_y v + I_t \rightarrow \min \quad (4)$$

besitzt man mit dieser Glattheitsbedingung eine zweite Gleichung, die erfüllt werden soll. Um eine optimale Lösung für beide Gleichungen zu erlangen, werden sie in einem Energiefunktional zusammengefasst.

$$E(u, v) = \iint_{x, y} (E_d + \alpha \cdot E_s) dy dx \quad (5)$$

Diese zu minimierende Gleichung ist die Grundstruktur vieler Lösungsansätze, wobei  $E(u, v)$  aus dem Datenterm  $E_d$  (d für "data") und dem Glattheitsterm  $E_s$  (s für smoothness) besteht. Alle folgenden Ansätze können in diese zwei Terme aufgeteilt werden. Im Falle der Methode von HORN und SCHUNCK ergibt sich das Energiefunktional:

$$E_{HS}(u, v) = \iint_{x, y} (I_x u + I_y v + I_t)^2 + \alpha \cdot (|\nabla u|^2 + |\nabla v|^2) dy dx \quad (6)$$

Die Variable  $\alpha$  ist ein Gewichtungsfaktor, mit dem der Einfluss der beiden Bedingungen auf das Minimierungsproblem reguliert werden kann. Hierbei muss beachtet werden, dass die partiellen Ableitungen der Flussbedingung  $I_x$ ,  $I_y$  und  $I_t$  auch negativ werden können. Dies ist der Grund, weshalb dieser Term quadriert wird. Das Minimierungsproblem kann mit Hilfe der Variationsrechnung gelöst werden (LEITMANN 1981).

#### 3.1 FDRIG-Methode

Die von BROX et al. (2004) entwickelte Methode FDRIG ist nach ihren Charakteristiken *flussgetrieben (flow-driven)*, *robust*, *isotrop*, *gradientenkonstant* benannt und unterscheidet sich von HORN und SCHUNCKS Methode im Wesentlichen durch einen modifizierten Datenterm. Der Datenterm kann in zwei Einheiten  $E_{d1}$  und  $E_{d2}$  zerlegt werden,

$$E_{FDRIG, d} = E_{FDRIG, d1} + E_{FDRIG, d2} \quad (7)$$

wobei  $E_{FDRIG, d1}$  dem nicht linearisierten Datenterm von HORN und SCHUNCK entspricht. Da die alleinige Annahme von konstanten Intensitätswerten, wie sie in Gleichung (1) impliziert ist, aber sehr stark anfällig gegen Helligkeits-



variationen zwischen den Szenen ist, führt Brox eine zusätzliche Bedingung ein. Ein Kriterium, das additive Veränderungen in den Grauwerten zulässt, ist die Konstanz des Grauwertgradienten. Somit ergibt sich die zweite Annahme, die invariant gegenüber monotonen Grauwertvariationen ist, zu:

$$\nabla I(x + dx, y + dy, t + dt) = \nabla I(x, y, t) \quad (8)$$

Für den zweiten Teil des Datenterms ergibt sich in nicht linearisierter Vektorschreibweise, wenn  $\mathbf{x} := (x, y, t)^T$  und  $\mathbf{v} := (u, v, l)^T$  ist und quadriert wird:

$$E_{FDRIG,d2} = |\nabla I(\mathbf{x} + \mathbf{v}) - \nabla I(\mathbf{x})| \quad (9)$$

Der gesamte Datenterm in Vektorschreibweise ist schließlich

$$E_{FDRIG,d} = \Psi \left( |I(\mathbf{x} + \mathbf{v}) - I(\mathbf{x})|^2 + \gamma |\nabla I(\mathbf{x} + \mathbf{v}) - \nabla I(\mathbf{x})|^2 \right) \quad (10)$$

Dabei wird zum einen wieder ein Gewichtungsfaktor  $\gamma$  eingeführt, der den Einfluss der beiden Datenterme reguliert und zum anderen wird auf den gesamten Ausdruck eine Straffheitsfunktion  $\Psi$  angewandt. Diese von HUBER (1981) vorgeschlagene Funktion  $\Psi(s^2) = \sqrt{s^2 + \varepsilon^2}$  mit  $\varepsilon = 0.001$  reduziert den Einfluss von Ausreißern, die die Konstanzannahmen in (1) und (8) stark verletzen. Sie beschreibt eine lineare Bestrafung der Ausreißer und führt so zu einem robusteren Ergebnis. PAPANBERG et al. (2006) untersuchen neben den Annahmen der Konstanz der Grauwerte und der Konstanz der zugehörigen Gradienten auch die Konstanz höherer Ordnung, wie die der Hesse-Matrix oder der Laplace-Matrix. Je höher jedoch die Ordnung wird, desto schwieriger und komplexer wird es, das Energiefunktional zu lösen und desto größer wird die Anfälligkeit gegenüber Bildrauschen. Der Glattheitsterm  $E_s$  ist mit dem von Horn und Schunk entwickelten Term bis auf die Multiplikation mit der schon oben erwähnten Funktion  $\Psi$ , die für die Erhaltung von Diskontinuitäten im Flussfeld verantwortlich ist, identisch (RUDIN et al. 1992, ACAR & VOGEL 1994). Diese

Art von Glattheitsterm wird auch flussgetrieben und isotrop genannt. Somit ergibt sich abschließend das Energiefunktional zu:

$$E_{FDRIG}(\mathbf{v}) = \iint_{x,y} \Psi \left( |I(\mathbf{x} + \mathbf{v}) - I(\mathbf{x})|^2 + \gamma |\nabla I(\mathbf{x} + \mathbf{v}) - \nabla I(\mathbf{x})|^2 \right) + \alpha \cdot \Psi \left( |\nabla u|^2 + |\nabla v|^2 \right) dy dx \quad (11)$$

Die Minimierung dieses Funktionals kann mit Hilfe von Euler-Lagrange-Gleichungen durchgeführt werden. Damit diese Methode auch für größere Pixelbewegungen korrekte Ergebnisse liefert, wird eine grob-zu-fein Strategie bei der Berechnung der optischen Flusskomponenten auf Basis von Bildpyramiden durchgeführt.

### 3.2 CLG-Methode

Die von BRUHN et al. (2005b) entwickelte CLG-Methode ("Combined-Local-Global") ist eine Kombination der schon beschriebenen globalen Methode von HORN und SCHUNK und des lokalen Ansatzes von LUCAS & KANADE (1981). Die meisten lokalen Methoden zeichnen sich durch ein hohes Maß an Robustheit aus. Jedoch haben sie den großen Nachteil, dass sie keine dichten optischen Flussfelder liefern. Globale Methoden, wie diejenigen von HORN und SCHUNK, erzeugen dagegen ein 100% dichtes Flussfeld, sind aber anfälliger gegenüber Rauschen. Aus diesem Grund wird bei der CLG-Methode versucht, die jeweiligen Vorteile der Methoden zu kombinieren. Durch eine Einbettung der lokalen Methode von LUCAS und KANADE in die globale Methode von HORN und SCHUNK wird ein Ergebnis erzielt, das sowohl robust gegenüber Rauschen ist, als auch eine Dichte von 100% aufweist. Die Kombination der Methoden lässt sich durch Einführung von  $\mathbf{v} = (u, v, l)^T$  und  $|\nabla \mathbf{v}|^2 = |\nabla u|^2 + |\nabla v|^2$  und folgende Notation in Matrixschreibweise herleiten:

$$\nabla_3 I = (I_x, I_y, I_t)^T \quad (12)$$

$$J_\rho(\nabla_3 I) = K_\rho * (\nabla_3 I \nabla_3 I^T) \quad (13)$$

Hierbei bezeichnet  $K_\rho$  einen Glättungsfilter, der auf die Flussgleichung angewendet wird. Die von LUCAS und KANADE zu minimierende Funktion in quadratischer Form ergibt sich dann zu

$$E_{LK}(\mathbf{v}) = \mathbf{v}^T J_\rho(\nabla_3 I) \mathbf{v}. \quad (14)$$

Hier wird angenommen, dass der unbekannte optische Flussvektor innerhalb einer Umgebung der Größe  $\rho$  konstant ist. Wird der Glättungsterm  $K_\rho$  weggelassen, werden lediglich die Komponenten parallel zu den Bildgradienten bestimmt. Analog wird aus dem Energiefunktional von HORN und SCHUNK:

$$E_{HS}(\mathbf{v}) = \iint_{x \ y} \left( \mathbf{v}^T J_0(\nabla_3 I) \mathbf{v} + \alpha |\nabla \mathbf{v}|^2 \right) dy dx \quad (15)$$

Um daraus das kombinierte Energiefunktional abzuleiten, wird die Matrix  $J_0(\nabla_3 I)$  durch den Strukturtenor  $J_\rho(\nabla_3 I)$  mit  $\rho > 0$  ersetzt. Dadurch erhält man das Energiefunktional der CLG-Methode:

$$E_{CLG}(\mathbf{v}) = \iint_{x \ y} \left( \mathbf{v}^T J_\rho(\nabla_3 I) \mathbf{v} + \alpha |\nabla \mathbf{v}|^2 \right) dy dx \quad (16)$$

Die Minimierung dieses Funktionals wird – wie im Falle der FDRIG-Methode – mit Euler-Lagrange-Gleichungen durchgeführt. In (BRUHN et al. 2005a) wird beschrieben, wie die aus der CLG-Methode entstehenden Gleichungssysteme mit Hilfe von bidirektionalen Mehrgitterverfahren gelöst werden können. Diese numerischen Verfahren zählen zu den schnellsten Algorithmen zur Lösung von linearen und nicht linearen Gleichungssystemen. Ein Nachteil der CLG-Methode ist jedoch, dass nur kleine Bewegungen in der Größenordnung weniger Pixel detektiert werden können.

### 3.3 DDRAW-Methode

Die dritte hier vorgestellte Methode DDRAW wurde von NAGEL & ENKELMANN (1986) entwickelt. Wiederum beinhaltet das Akronym die wichtigsten Eigenschaften: *datengetrieben (data-driven)*, *robust*, *anisotrop*, *fortlaufende Kompensation (warping)*. Wie die vorangegangenen Ansätze unterscheidet auch dieser

einen Daten- und einen Glattheitsterm. Der Datenterm ist dem Term von HORN und SCHUNK sehr ähnlich. Zum einen aber ist der Datenterm nicht linearisiert, damit auch größere Bewegungen detektiert werden können, und zum anderen wird wieder eine Straffheitsfunktion eingeführt, wie sie bereits in der FDRIG-Methode beschrieben wurde. Der Datenterm ist:

$$E_{DDRAW,d} = \Psi \left( |I(\mathbf{x} + \mathbf{v}) - I(\mathbf{x})|^2 \right) \quad (17)$$

Gegenüber dem einfachen Datenterm ist hier der Glattheitsterm komplexer. Wie auch beim FDRIG-Algorithmus sollen Diskontinuitäten erhalten bleiben. Allerdings wird hier nur parallel zur Kantenrichtung geglättet, während senkrecht zu den Kanten keine Glättung erfolgt. Diese Art von Glattheitsterm wird auch datengetrieben oder anisotrop genannt:

$$E_{DDRAW,s} = \nabla u^T P_{NE} \nabla I \nabla u + \nabla v^T P_{NE} \nabla I \nabla v \quad (18)$$

Die normalisierte Projektionsmatrix orthogonal zu  $\nabla I$  ist hierbei  $P_{NE} \nabla I$

$$P_{NE} \nabla I = \frac{1}{|\nabla I|^2 + \varepsilon_s^2} \begin{pmatrix} I_x^2 + \varepsilon_s^2 & -I_x I_y \\ -I_x I_y & I_y^2 + \varepsilon_s^2 \end{pmatrix} \quad (19)$$

Diese Matrix beschreibt die richtungsabhängige Glättung. Dies hat zur Folge, dass Diskontinuitäten erhalten bleiben. Die Konstante  $\varepsilon_s$  wird wiederum mit 0,001 angegeben. Dieser Regulierungsparameter verhindert, dass die Projektionsmatrix singularär wird. Das gesamte Energiefunktional dieser Methode ergibt sich schließlich zu:

$$E_{DDRAW} = \iint_{x \ y} \Psi \left( |I(\mathbf{x} + \mathbf{v}) - I(\mathbf{x})|^2 \right) + \alpha \left( \nabla u^T P_{NE} \nabla I \nabla u + \nabla v^T P_{NE} \nabla I \nabla v \right) dy dx \quad (20)$$

Wiederum kann mit Hilfe des Parameters  $\alpha$  der Einfluss des Glattheitsterms auf das Minimierungsproblem gesteuert werden. Auch bei dieser Methode wird auf eine grob-zu-fein Strategie zurückgegriffen, wobei eine fortlaufende Verfeinerung der Komponenten des optischen Flusses durchgeführt wird.

### 3.4 WAVE-Methode

Als letzte Methode wird der in (BERNARD 2001) beschriebene Algorithmus (WAVE) betrachtet. Dieser Ansatz beruht auf der Verwendung von Waveletfunktionen, die für den Aufbau einer pyramidalen Struktur geeignet sind. Diese Repräsentation kann sehr effizient berechnet werden (STRANG 1996, MALLAT 1999). Ausgangspunkt ist wiederum die in Abschnitt 2 hergeleitete Flussgleichung (2). Diese Gleichung ist eine partielle Differentialgleichung erster Ordnung mit zwei Unbekannten. Eine oft angewandte Methode, um partielle Differentialgleichungen zu lösen, ist das Ergebnis als Linearkombination von Basisfunktionen auszudrücken. Typische Basisfunktionen sind harmonische Schwingungen oder finite Elemente. Nach der Diskretisierung der partiellen Differentialgleichung mittels solcher Funktionen, kann eine numerische Lösung gewonnen werden. In WAVE werden als Basisfunktionen zweidimensionale Waveletfunktionen verwendet. Sie besitzen gegenüber anderen gängigen Basisfunktionen eine Reihe von Vorteilen. Der größte Vorteil besteht in der Möglichkeit, verschiedene Auflösungen an unterschiedlichen Orten darzustellen. Somit kann die Auflösung des resultierenden Vektorfeldes an die Auflösung der jeweilig vorhandenen Bildinformation angepasst werden. Ein weiterer Vorteil besteht in der Erweiterbarkeit der Gleichung durch die Verwendung weiterer Waveletfunktionen. Die daraus entstehenden Gleichungen sind zwar untereinander korreliert, trotzdem steigt die Genauigkeit mit jeder hinzugefügten Gleichung an, ohne numerische Instabilitäten zu erzeugen. Dieser Vorteil gegenüber anderen Basisfunktionen und eine ausführliche Diskussion über die Lösung von partiellen Differentialgleichungen mit Hilfe von Wavelets als Basisfunktionen kann in (GOEDECKER & IVANOV 1998) nachgelesen werden. Werden 2D-Waveletfunktionen  $\Psi_{s,k_1,k_2}^n(x,y)$  – z. B. die wohlbekannten Haar-Wavelets – mit verschiedenen Richtungen  $n$  auf die optische Flussgleichung angewendet, ergibt sich ein Gleichungssystem mit  $n$  Gleichungen. Hierbei bezeichnet  $s$  den Skalierungsparameter und  $k_1, k_2$  die Translationsparameter in  $x$ - und  $y$ -Rich-

tung. Durch die Redundanz ist es möglich, die zwei Unbekannten  $u$  und  $v$  zu bestimmen.

$$\begin{aligned} \iint_{x,y} \left( \frac{\partial I}{\partial x} u(x,y) + \frac{\partial I}{\partial y} v(x,y) + \frac{\partial I}{\partial t} \right) \Psi_{s,k_1,k_2}^1(x,y) dx dy &= 0 \\ \iint_{x,y} \left( \frac{\partial I}{\partial x} u(x,y) + \frac{\partial I}{\partial y} v(x,y) + \frac{\partial I}{\partial t} \right) \Psi_{s,k_1,k_2}^2(x,y) dx dy &= 0 \\ &\vdots \\ \iint_{x,y} \left( \frac{\partial I}{\partial x} u(x,y) + \frac{\partial I}{\partial y} v(x,y) + \frac{\partial I}{\partial t} \right) \Psi_{s,k_1,k_2}^n(x,y) dx dy &= 0 \end{aligned} \quad (21)$$

Formel (21) lässt sich in kompakter Schreibweise zusammenfassen zu:

$$\iint_{x,y} \left( \frac{\partial I}{\partial x} u(\mathbf{x}) + \frac{\partial I}{\partial y} v(\mathbf{x}) + \frac{\partial I}{\partial t} \right) \Psi_{s,\mathbf{k}}^n(\mathbf{x}) dx dy = 0 \quad \forall n = 1, \dots, N \quad (22)$$

Unter Beachtung, dass die Wavelet-Funktionen limitierten und symmetrischen Support (Bereich einer Funktion, der von 0 verschieden ist) haben, folgt:

$$\begin{aligned} \iint_{x,y} \frac{\partial I}{\partial x} u(2^s \mathbf{k}) \Psi_{s,\mathbf{k}}^n(\mathbf{x}) dx dy \\ + \iint_{x,y} \frac{\partial I}{\partial y} v(2^s \mathbf{k}) \Psi_{s,\mathbf{k}}^n(\mathbf{x}) dx dy \\ + \iint_{x,y} \frac{\partial I}{\partial t} \Psi_{s,\mathbf{k}}^n(\mathbf{x}) dx dy = 0 \quad \forall n = 1, \dots, N \end{aligned} \quad (23)$$

Zieht man die von  $x$  und  $y$  unabhängigen Teile ( $u, v, t$ ) aus dem Intergral heraus und schreibt das Integral als inneres Produkt

$$\int f(t) g^*(t) = \langle f, g \rangle \quad (24)$$

ergibt sich daraus:

$$\begin{aligned} \left\langle I, \frac{\Psi_{s,\mathbf{k}}^n}{\partial x} \right\rangle u(2^s \mathbf{k}) + \left\langle I, \frac{\Psi_{s,\mathbf{k}}^n}{\partial y} \right\rangle v(2^s \mathbf{k}) \\ + \frac{\partial}{\partial t} \langle I, \Psi_{s,\mathbf{k}}^n \rangle = 0 \end{aligned} \quad \forall n = 1, \dots, N. \quad (25)$$

In diskreter Schreibweise mit  $dt = 1$  entsteht das folgende Gleichungssystem:

$$\begin{aligned} & \left\langle \frac{I(t+1)+I(t)}{2}, \frac{\Psi_{s,k}^n}{\partial x} \right\rangle u(2^s \mathbf{k}) \\ & + \left\langle \frac{I(t+1)+I(t)}{2}, \frac{\Psi_{s,k}^n}{\partial y} \right\rangle v(2^s \mathbf{k}) \\ & + (I(t+1) - I(t), \Psi_{s,k}^n) = 0 \quad \forall n=1, \dots, N. \end{aligned} \quad (26)$$

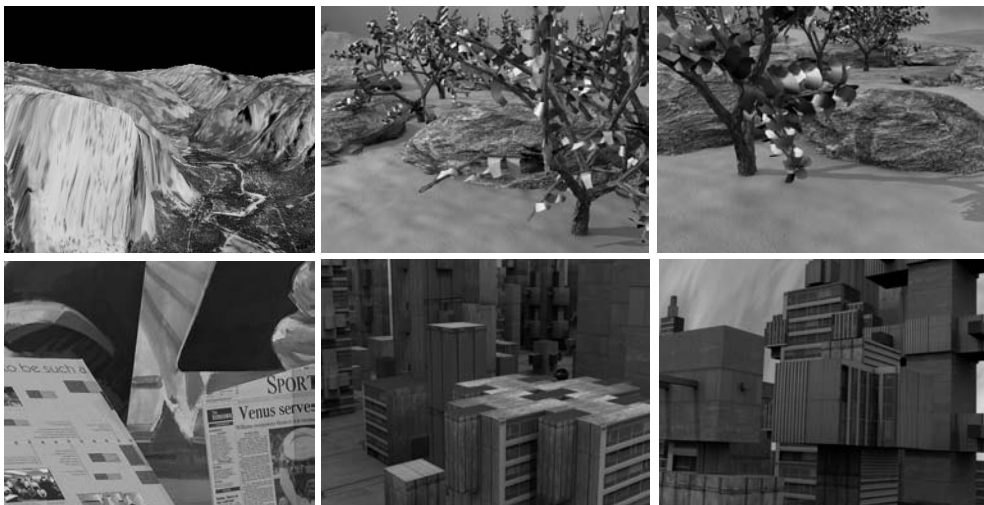
Dieses Gleichungssystem lässt sich nach dem Unbekanntenpaar  $(u, v)$  auflösen. Details zu Herleitung und Lösung des optischen Flusses mittels Wavelets finden sich in (BERNARD 1999). Als Wavelet-Kerne wurden sowohl Deslaurier-Dubuc-Filterkerne (DESLAURIERS & DUBUC 1989) als auch Haarfilterkerne untersucht. Ähnliche Wavelet-basierte Ansätze werden auch bei (MAGAREY & KINGSBURY 1998) aufgezeigt.

## 4 Evaluation

Die Implementierung der Methoden FDRIG, DDRAW und CLG sind Bestandteil der HALCON-Bibliothek (MVTec 2009). Die WAVE-Methode wurde im Rahmen einer Diplomarbeit als Extension-Package für HALCON implementiert.

Um ein Urteil über die Ergebnisse abgeben zu können, benötigt man ein Maß für die Genauigkeit bezüglich Referenzdaten. Für die Bewertung des optischen Flusses hat sich das Maß des Winkelfehlers fest etabliert (FLEET & JEPSON 1990). Dieser Fehler beschreibt die Richtungsabweichung des geschätzten optischen Flusses vom wahren Fluss. Voraussetzung hierfür ist, dass der wahre optische Fluss bekannt ist. Aus diesem Grund wurden für die Genauigkeitsuntersuchungen die in Abb. 2 dargestellten Szenen verwendet. Neben der Yosemite-Sequenz, die auf der Homepage von M.J. Black ([www.cs.brown.edu/people/black/](http://www.cs.brown.edu/people/black/)) zur Verfügung steht, wurden die Methoden an fünf weiteren Szenen getestet, die aus der Middlebury-Datenbank entnommen wurden ([vision.middlebury.edu/flow/](http://vision.middlebury.edu/flow/) – BAKER et al. 2007).

Der Winkelfehler eines Bildes ergibt sich über die Mittelbildung aller Winkelfehler zwischen den geschätzten Flussvektoren  $v_c$  und den wahren Flussvektoren  $v_t$ . Diese Vektoren werden als raumzeitliche Vektoren  $v = (u, v, I)$  dargestellt, wobei die zeitliche Komponente zu Eins (1 Frame) gesetzt wird. Durch die Einführung dieser dritten Komponente werden auch Vektorbeträge, die voneinander abweichen, bestraft. Zunächst werden die Vektoren normiert:



**Abb. 2:** Verwendete Test-Sequenzen von links oben nach rechts unten (Yosemite, Grove2, Grove3, Venus, Urban2, Urban3).

$$\mathbf{v}_e = \frac{1}{\sqrt{u_e^2 + v_e^2 + 1}} \begin{bmatrix} u_e \\ v_e \\ 1 \end{bmatrix} \quad (27)$$

$$\mathbf{v}_i = \frac{1}{\sqrt{u_i^2 + v_i^2 + 1}} \begin{bmatrix} u_i \\ v_i \\ 1 \end{bmatrix} \quad (28)$$

Der Winkelfehler  $\varepsilon$  ergibt sich dann zu:

$$\varepsilon = \arccos(\mathbf{v}_e \cdot \mathbf{v}_i) \quad (29)$$

Eine ausführlich Beschreibung und Bewertung des Winkelfehlers kann in (FLEET 1992) nachgelesen werden. Neben der Evaluation der Genauigkeit wird auch die Laufzeit der einzelnen Algorithmen untersucht. Im Vordergrund steht der relative Vergleich und somit das Verhältnis zwischen den Algorithmen, wohingegen die unten angegebenen absoluten Laufzeiten eine untergeordnete Rolle spielen.

Die Messungen wurden mit Hilfe der Software HALCON durchgeführt. Die verwendete Hardware bestand aus einem AMD Athlon(tm) X2 Dual mit 2,21 GHz. Bei allen Algorithmen gibt es die Möglichkeit eine Vielzahl von Parametern einzustellen. Aus diesem Grund wurden für jeden Algorithmus Beispielparametersätze ausgewählt, die den Zusammenhang zwischen Geschwindigkeit und Genauigkeit deutlich machen sollen. Untersuchungen zu den einzelnen Parametern und deren exakten Einfluss auf die Berechnung des Flussfeldes, kann für die FDRIG Methode in (BROX et al. 2004) und für die CLG Methode in (BRUHN et al. 2005b) nachgelesen werden. In den Beispielparametersätzen weisen die Zusätze (Va = Very accurate, A = Accurate, Fa = Fast accurate, F = Fast) zur Bezeichnung des Algorithmus auf verschiedene Parametereinstellungen hin. Die Unterschiede dieser Parametersätze werden im Folgenden für jeden Algorithmus kurz erläutert:

- Bei der WAVE-Methode wurden für „Va“ und „A“ Deslaurier-Dubuc-Filter verwendet. Für „Fa“ und „F“ kamen die kompakteren Haarfilter zum Einsatz. Bei den Parametersätzen „Va“ und „Fa“ wurde aufgrund des nicht vorhandenen Regularisierungsterms zusätzlich eine Glättung der Kompo-

nenten des optischen Flusses mit einem 4x4-Medianfilter durchgeführt.

- Bei der FDRIG-Methode wurde der Regularisierungsparameter  $\alpha$  und der Gewichtungsfaktor  $\gamma$ , der den Einfluss der beiden Datenterme steuert, bei allen Parametersätzen identisch gewählt ( $\alpha=20$ ,  $\gamma=5$ ). Der Unterschied der Parametersätze liegt in der Coarse-to-Fine-Warping-Strategie. Das Unterscheidungsmerkmal zwischen „Va“ bzw. „A“ auf der einen und „Fa“ bzw. „F“ auf der anderen Seite ist die AuflösungsEbene, bis zu der das Warping durchgeführt wird. Bei „Va“ und „A“ wird im Gegensatz zu „Fa“ und „F“ die feinste Auflösung berechnet. Die Parametersätze „Va“ und „A“ bzw. „Fa“ und „F“ unterscheiden sich bezüglich der verwendeten Zyklen und der in den Zyklen durchgeführten Iterationen. Während in „Va“ und „Fa“ W-Zyklen verwendet werden, kommen bei „A“ und „F“ V-Zyklen zum Einsatz. W-Zyklen versprechen bei einer höheren Berechnungsdauer eine höhere Genauigkeit im Vergleich zu V-Zyklen.
- Auf die gleiche Weise wie bei der FDRIG-Methode werden auch die Parametersätze der DDRAW-Methode unterschieden. Der einzige Unterschied stellt der Regularisierungsparameter  $\alpha$  dar, der auf 1000 gesetzt wurde.
- Auch bei der CLG-Methode ist das Unterscheidungsmerkmal zwischen „Va“ und „A“ identisch wie bei der FDRIG-Methode. Die Ziffern 1 bzw. 2 geben bei der CLG-Methode folgende unterschiedliche Parameter an: Für „Va1“ und „A1“ wurde  $\rho = 1$  gewählt, während für „Va2“ und „A2“  $\rho = 1.8$  gewählt wurde.

In Abb. 3 wird die Relation zwischen der Geschwindigkeit und der Genauigkeit verschiedener Algorithmen grafisch veranschaulicht. Mit Hilfe der ID-Nummer ist der entsprechende Algorithmus in Tab. 1 referenzierbar. Zusätzlich sind in Tab. 1 neben den absoluten Genauigkeits- und Laufzeitmessungen auch relative Angaben aufgelistet. Um die Vergleichbarkeit der Algorithmen zu erleichtern wurde dem schnellsten bzw. genauesten Algorithmus der Wert 1,0 zugewiesen und alle weiteren Algorithmen als Faktoren dargestellt. In

**Tab. 1:** Evaluation verschiedener Algorithmen mit unterschiedlichen Parametersätzen.

ID	Algorithmus + Parametersätze	Yosemite				Venus			
		Winkelfehler		Laufzeit		Winkelfehler		Laufzeit	
		$\varepsilon$ in Grad	rel.	in ms	rel.	$\varepsilon$ in Grad	rel.	in ms	rel.
1	WAVE - Va	5,01°	1,4	780	13,0	12,05°	1,5	1337	11,5
2	WAVE - A	8,31°	2,3	610	10,2	16,62°	2,0	1076	9,3
3	WAVE - Fa	8,20°	2,3	398	6,6	10,70°	1,3	646	5,6
4	WAVE - F	12,87°	3,6	249	4,2	17,91°	2,2	399	3,4
5	FDRIG - Va	3,54°	1,0	308	5,1	8,15°	1,0	653	5,6
6	FDRIG - A	3,54°	1,0	154	2,6	9,70°	1,2	315	2,7
7	FDRIG - Fa	4,94°	1,4	98	1,6	8,99°	1,1	213	1,8
8	FDRIG - F	4,91°	1,4	60	1,0	10,75°	1,3	116	1,0
9	DDRAW - Va	9,94°	2,8	744	12,4	10,28°	1,3	1665	14,4
10	DDRAW - A	9,41°	2,7	281	4,7	11,08°	1,4	605	5,2
11	DDRAW - Fa	17,52°	5,0	191	3,2	11,07°	1,4	433	3,7
12	DDRAW - F	15,98°	4,5	83	1,4	12,24°	1,5	182	1,6
13	CLG - Va1	7,37°	2,1	110	1,8	20,42°	2,5	230	2,0
14	CLG - A1	7,94°	2,2	75	1,3	26,59°	3,3	151	1,3
15	CLG - Va2	3,73°	1,1	119	2,0	13,44°	1,6	249	2,1
16	CLG - A2	3,76°	1,1	85	1,4	18,96°	2,3	168	1,4

ID	Algorithmus + Parametersätze	Grove2		Grove3		Grove2/Grove3	
		Winkelfehler		Winkelfehler		Laufzeit	
		$\varepsilon$ in Grad	rel.	$\varepsilon$ in Grad	rel.	in ms	rel.
1	WAVE - Va	8,28°	3,1	13,62°	2,0	2413	10,4
2	WAVE - A	11,44°	4,3	17,09°	2,5	2086	9,0
3	WAVE - Fa	9,08°	3,4	14,35°	2,1	1218	5,3
4	WAVE - F	19,29°	7,3	19,62°	2,9	789	3,4
5	FDRIG - Va	2,65°	1,0	6,73°	1,0	1238	5,4
6	FDRIG - A	3,01°	1,1	7,65°	1,1	646	2,8
7	FDRIG - Fa	4,16°	1,6	8,07°	1,2	389	1,7
8	FDRIG - F	4,62°	1,7	9,07°	1,3	231	1,0
9	DDRAW - Va	3,61°	1,4	8,72°	1,3	3461	15,0
10	DDRAW - A	3,89°	1,5	9,21°	1,4	1345	5,8
11	DDRAW - Fa	4,94°	1,9	10,11°	1,5	812	3,5
12	DDRAW - F	5,25°	2,0	10,55°	1,6	347	1,5
13	CLG - Va1	21,25°	8,0	22,18°	3,3	427	1,8
14	CLG - A1	23,26°	8,8	23,56°	3,5	295	1,3
15	CLG - Va2	6,07°	2,3	12,07°	1,8	472	2,0
16	CLG - A2	6,10°	2,3	13,10°	1,9	332	1,4

ID	Algorithmus + Parametersätze	Urban2		Urban3		Urban2/Urban3	
		Winkelfehler		Winkelfehler		Laufzeit	
		$\varepsilon$ in Grad	rel.	$\varepsilon$ in Grad	rel.	in ms	rel.
1	WAVE - Va	12,91°	3,5	19,79°	2,4	2413	10,4
2	WAVE - A	17,08°	4,7	23,78°	2,9	2086	9,0
3	WAVE - Fa	12,93°	3,6	12,35°	1,5	1218	5,3
4	WAVE - F	19,22°	5,3	17,70°	2,2	789	3,4
5	FDRIG - Va	3,64°	1,0	8,23°	1,0	1238	5,4
6	FDRIG - A	4,55°	1,3	14,40°	1,7	646	2,8
7	FDRIG - Fa	5,12°	1,4	9,70°	1,2	389	1,7
8	FDRIG - F	6,13°	1,7	15,58°	1,9	231	1,0
9	DDRAW - Va	5,92°	1,6	18,13°	2,2	3461	15,0
10	DDRAW - A	6,43°	1,8	17,48°	2,1	1345	5,8
11	DDRAW - Fa	7,62°	2,1	19,51°	2,4	812	3,5
12	DDRAW - F	8,16°	2,2	18,53°	2,3	347	1,5
13	CLG - Va1	30,56°	8,4	36,70°	4,5	427	1,8
14	CLG - A1	31,78°	8,7	38,25°	4,6	295	1,3
15	CLG - Va2	19,45°	5,3	26,49°	3,2	472	2,0
16	CLG - A2	20,16°	5,5	27,53°	3,3	332	1,4

Abb. 3 ist deutlich zu erkennen, dass einige Algorithmen eine diagonale Struktur aufweisen, die von links oben nach rechts unten führt, wie die schematisch in Abb. 3 eingezeichneten Ellipsen zeigen. Dies bestätigt das zu erwartende Verhalten, dass mit steigender

Genauigkeit gleichzeitig die Rechenzeit zunimmt.

Insgesamt betrachtet erzielt der FDRIG-Algorithmus die besten Ergebnisse. Er liefert in allen Test-Sequenzen sowohl die schnellsten, als auch die genauesten Ergebnisse. Der

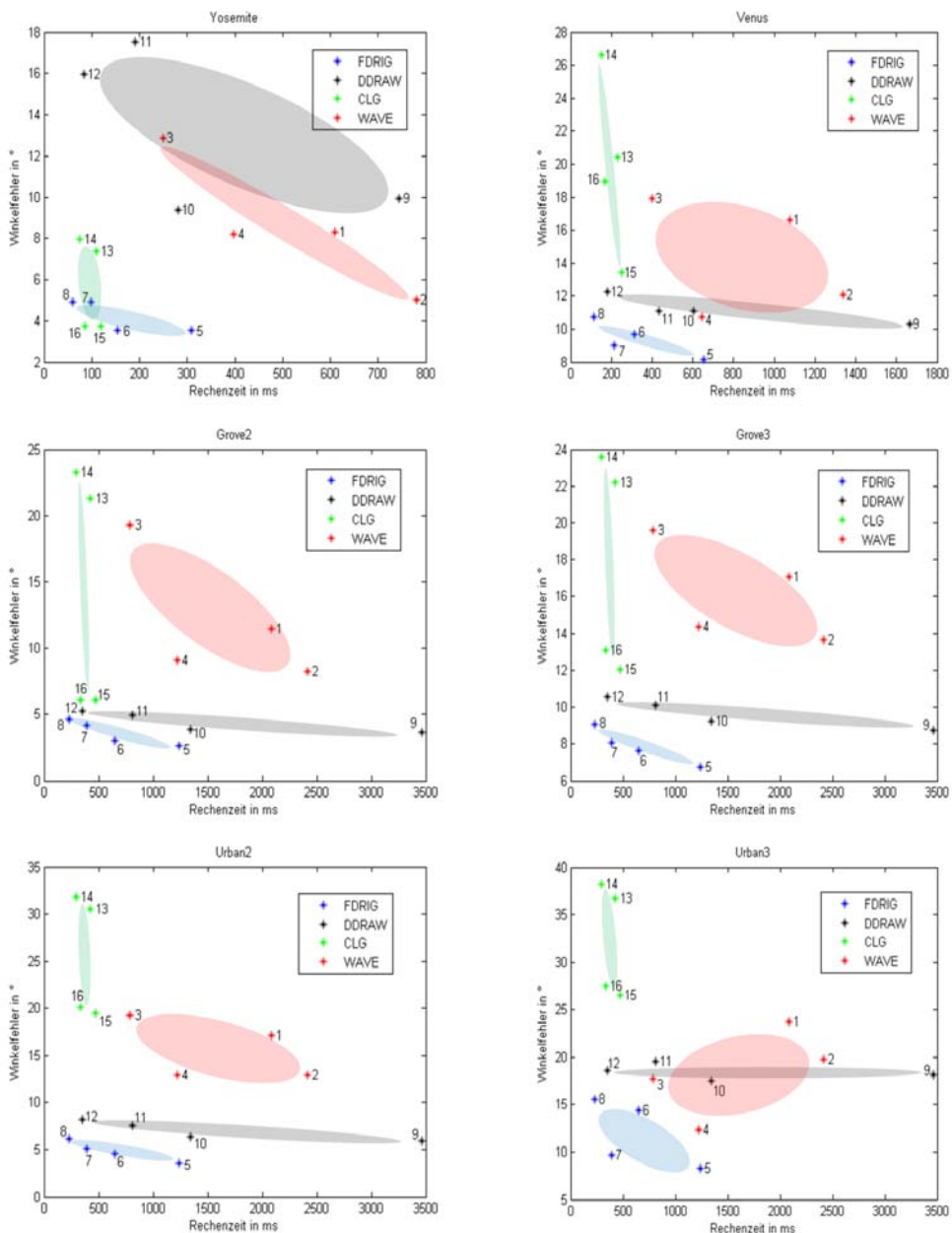


Abb. 3: Relation zwischen Rechenzeit und Winkelfehler verschiedener Algorithmen.

DDRAW-Algorithmus erzielt sowohl in der Genauigkeit als auch in der Geschwindigkeit geringfügig schlechtere Resultate. Bemerkenswert ist, dass sich die Genauigkeit bei längerer Rechenzeit kaum steigert, wobei jedoch auffällt, dass der DDRAW-Algorithmus in der Yosemite-Sequenz bezüglich der Genauigkeit recht schlecht abschneidet. Ein Grund für die deutlich unterschiedlichen Ergebnisse zwischen der Yosemite-Sequenz und den restlichen untersuchten Sequenzen liegt in der Glattheit des optischen Flusses. Im Gegensatz zu dem kontinuierlichen Verlauf des Flusses in der Yosemite-Sequenz, treten im Flussfeld der anderen Szenen häufig Diskontinuitäten auf. Diese szenenspezifische Eigenschaft führt auch dazu, dass der CLG-Algorithmus in der Yosemite-Sequenz eine höhere Genauigkeit aufweist als in den restlichen Szenen. In allen weiteren Szenen erreicht der CLG-Algorithmus, dessen Rechenzeiten immer sehr gering sind, jedoch niemals die Genauigkeit des FDRIG- bzw. DDRAW-Algorithmus.

Weiterhin ist zu bemerken, dass die Größe des Glättungskerns  $\rho$  eine größere Auswirkung auf die Genauigkeit hat als die verwendete Auflösungsebene bis zu der das Warping durchgeführt wird. Dies spiegelt sich in dem Ergebnis, dass der Parametersatz CLG-A2 eine höhere Genauigkeit als der Parametersatz CLG-Va1 erreicht. Ähnliche Effekte sind auch bei anderen Parametersätzen zu beobachten. Der WAVE-Algorithmus schneidet unter Ausnahme der Urban3-Sequenz, in der die zweitbeste Genauigkeit erreicht wurde, im Vergleich am schlechtesten ab. Abschließend sollte darauf hingewiesen werden, dass die Parametersätze nicht auf die Szenen optimiert wurden, sondern Standardparameter gewählt wurden, die erfahrungsgemäß gute Ergebnisse für unterschiedliche Sequenzen liefern. Dies bedeutet, dass durch Anpassung der Parameter auf einzelne Szenen durchaus bessere Genauigkeiten erzielt werden können.

## 5 Zusammenfassung

In diesem Artikel wurden nach einer Beschreibung der grundlegenden Prinzipien vier verschiedene Methoden zur Berechnung des

optischen Flusses miteinander verglichen. Alle Ansätze zeichnen sich durch ihre Effizienz aus. Jedoch konnte anhand verschiedener Testszene gezeigt werden, dass sich die untersuchten Methoden hinsichtlich Genauigkeit, Geschwindigkeit und Auflösung deutlich voneinander unterscheiden. Am besten schnitten die Multigridverfahren FDRIG und CLG ab.

## Danksagung

Diese Arbeit wurde von der MVTec Software GmbH im Rahmen einer Diplomarbeit unterstützt, wofür sich der Erstautor herzlich bedanken möchte.

## Referenzen

- ACAR, R. & VOGEL, C., 1994: Analysis of Bounded Variation Penalty Methods for Ill-Posed Problems. – *Inverse Problems* **10** (6): 1217–1229.
- BAKER, S., SCHARSTEIN, D., LEWIS, J.P., ROTH, S., BLACK, M.J. & SZELISKI, R., 2007: A Database and Evaluation Methodology for Optical Flow. – 11th IEEE International Conference on Computer Vision **5**: 1–8.
- BARRON, J.L., FLEET, D.J. & BEAUCHEMIN, S.S., 1994: Performance of Optical Flow Techniques. – *International Journal of Computer Vision* **12** (1): 43–77.
- BERNARD, C.P., 2001: Discrete Wavelet Analysis for Fast Optic Flow Computation. – *Applied and Computational Harmonic Analysis* **11** (1): 32–63.
- BERNARD, C.P., 1999: Wavelets and Ill Posed Problems: Optic Flow and Scattered Data Interpolation. – PhD Thesis, Ecole Polytechnique.
- BROX, T., BRUHN, A., PAPPENBERG, A. & WEICKERT, J., 2004: High Accuracy Optical Flow Estimation Based on a Theory for Warping. – 8th European Conference on Computer Vision **4**: 25–36.
- BRUHN, A., WEICKERT, J., FEDDERN, C., KOHLBERGER, T. & SCHNÖRR, C., 2005a: Variational Optical Flow Computation in Real Time. – *IEEE Transactions on Image Processing* **14** (5): 608–615.
- BRUHN, A., WEICKERT, J. & SCHNÖRR, C., 2005b: Lucas/Kanade Meets Horn/Schunck: Combining Local and Global Optic Flow Methods. – *International Journal of Computer Vision* **61** (3): 211–231.



- DESLAURIERS, G. & DUBUC, S., 1989: Symmetric Iterative Interpolation Processes. – *Constructive Approximation* **5** (1): 49–68.
- DRESCHLER, L. & NAGEL, H.H., 1982: Volumetric model and trajectory of a moving car derived from monocular TV frame sequence of a street scene. – *Computer Graphics and Image Processing* **20**: 199–228.
- FLEET, D.J., 1992: Measurement of Image Velocity. – Kluwer, Norwell, MA, USA.
- FLEET, D.J. & JEPSON, A., 1990: Computation of Component Image Velocity from Local Phase Information. – *International Journal of Computer Vision* **5** (1): 77–104.
- GOEDECKER, S. & IVANOV, O., 1998: The Solution of Multi-Scale Partial Differential Equations using Wavelets. – *Computers in Physics* **12** (6): 548–555.
- HARTLEY, R. & ZISSERMAN, A., 2004: *Multiple View Geometry in Computer Vision*. – Cambridge University Press, 2. Edition.
- HORN, B.K.P. & SCHUNCK, B., 1981: Determining Optical Flow. – *Artificial Intelligence* **17** (1–3): 185–203.
- HUBER, P.J., 1981: *Robust statistics*. – Wiley, New York, USA.
- LUCAS, B.D. & KANADE T., 1981: An Iterative Image Registration Technique with an Application to Stereo Vision. – 7th International Joint Conference on Artificial Intelligence: 674–679.
- MAGAREY, J. & KINGSBURY, N., 1998: Motion Estimation using a Complex-Valued Wavelet Transform. – *IEEE Transactions on Signal Processing* **46** (4): 1069–1084.
- MALLAT, S., 1999: *A Wavelet Tour of Signal Processing*. – Academic Press.
- MVTec, 2009: HALCON 9.0.1 –Reference Manual, MVTec Software GmbH.
- LEITMANN, G., 1981: *The Calculus of Variations and Optimal Control. – Mathematical Concepts and Methods in Science and Engineering* (24). – Plenum Press, New York, USA.
- NAGEL, H.H. & ENKELMANN, W., 1986: An Investigation of Smoothness Constraints for the Estimation of Displacement Vectorfields from Image Sequences. – *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* **8** (5): 565–593.
- PAPENBERG, N., BRUHN A., BROX, T., DIDAS S. & WEICKERT J., 2006: Highly Accurate Optic Flow Computation with Theoretically Justified Warping. – *International Journal of Computer Vision* **67** (2): 141–158.
- RUDIN, L., OSHER S. & FATEMI E., 1992: Nonlinear Total Variation Based Noise Removal Algorithms. – *Physica D: Nonlinear Phenomena* **60** (1–4): 259–268.
- STRANG, G., 1996: *Wavelets and Filter Banks*. – Wellesley Cambridge Press.

#### Anschriften der Autoren:

Dipl.-Ing. DANIEL FREY, Technische Universität München, Lehrstuhl für Methodik der Fernerkundung, D-80333 München, Tel.: +49-89-289-22673, e-mail: Daniel.Frey@bv.tu-muenchen.de  
 Dr.-Ing. MARKUS ULRICH, MVTec Software GmbH, Neherstr.1, D-81675 München, Tel.: +49-89-4576950, e-mail: ulrich@mvtec.com  
 Prof. Dr.-Ing. STEFAN HINZ, Universität Karlsruhe, Lehrstuhl für Fernerkundung und Bildverarbeitung, D-76131 Karlsruhe, Tel.: +49-721-608-2314, e-mail: Stefan.Hinz@ipf.uni-karlsruhe.de

Manuskript eingereicht: März 2009  
 Angenommen: November 2009



## Remote Sensing and GIS-based Landslide Susceptibility Analysis and its Cross-validation in Three Test Areas Using a Frequency Ratio Model

BISWAJEET PRADHAN, Dresden; SARO LEE, Daejon, Korea & MANFRED F. BUCHROITHNER, Dresden

**Keywords:** Landslide Susceptibility, Cross Validation, Remote Sensing, GIS, Frequency Ratio, Malaysia

**Summary:** The paper presents the results of the cross-validation of a frequency ratio model using remote sensing data and GIS for landslide susceptibility analysis in the Penang, Cameron, and Selangor areas in Malaysia. Landslide locations in the study areas were identified by interpreting aerial photographs and satellite images, supported by field surveys. SPOT 5 and Landsat TM satellite imagery were used to map landcover and vegetation index respectively. Maps of topography, soil type, lineaments and land cover were constructed from the spatial datasets. Nine factors which influence landslide occurrence, i. e. slope, aspect, curvature, distance from drainage, lithology, distance from lineaments, soil type, landcover, and NDVI, were extracted from the spatial database and the frequency ratio of each factor was computed. For all three areas the landslide susceptibility was analysed using the frequency ratios derived not only from the data for the respective area but also using the frequency ratios calculated from each of the other two areas (nine susceptibility maps in all) as a cross-validation of the model. For verification, the results of the analyses were then compared with the field-verified landslide locations. Among the nine cases, the case of Cameron based on the Cameron frequency ratio showed the highest accuracy (83%), and the case of Selangor based on the Penang frequency ratio showed the lowest accuracy (70%). Qualitatively, the model yields reasonable results which can be used for preliminary landslide hazard mapping.

**Zusammenfassung:** *Räumlich basierte Analyse von Erdrutschgefährdung und ihre Kreuzvalidierung in drei Untersuchungsgebieten auf Grundlage eines Frequenzquotienten-Modells.* Der Artikel präsentiert die Ergebnisse der Anwendung eines probabilistischen Modells unter Verwendung von Fernerkundungsdaten und GIS für Erdrutschgefährdungsanalysen in den Gebieten Penang, Cameron und Selangor in Malaysia. Die Erdrutsche wurden durch die Interpretation von Luft- und Satellitenbildern, gestützt auf Geländekartierungen, identifiziert. Zur Kartierung von Landbedeckung und Vegetationsindex wurden LANDSAT TM-Satellitenbilder verwendet. Von diesen raumbezogenen Datensätzen wurden digitale Karten von Topographie, Bodentypen, Lineamenten und Landbedeckung hergestellt. Neun Erdrutschbestimmende Faktoren, und zwar Hangneigung, Exposition, Hangkrümmung, Abstand zu Entwässerungslinien, Lithologie, Abstand zu Lineamenten, Bodentyp, Landbedeckung und NDVI, wurden aus der raumbezogenen Datenbank extrahiert und die Häufigkeitsquotienten für jeden Faktor berechnet. In Summe neun Karten der Erdrutschgefährdung wurden nicht nur auf der Basis der Daten der betreffenden Gebiete, sondern als Gegenprobe für die Validität der Methode auch mittels der Frequenzquotienten der jeweils anderen beiden Gebiete, erstellt. Zur Verifikation wurden die Analyseergebnisse jedes Untersuchungsgebietes mit den tatsächlichen Erdrutschlokalitäten verglichen. Von den neun Fällen zeigte das Cameron-Gebiet auf der Basis des Cameron-Häufigkeitsquotienten die höchste Genauigkeit (83%), wohingegen das Selangor-Gebiet auf der Basis des Penang-Frequenzquotienten die geringste (70%) aufwies. Das Modell zeitigt sinnvolle qualitative Ergebnisse, die für Hangrutschungsrisiko-Kartierung verwendet werden können.

## 1 Introduction

Landslides, are a recurrent problem throughout most of Malaysia. According to local newspaper reports (The Star 2008) in the years 2006 to 2008 but also in 2009 heavy rainfalls triggered landslides and mud flows along east coast highways in Peninsular Malaysia, in Sabah (East Malaysia) as well as in the island state of Penang. The areas hit hardest are along the Cameron Highland, in the mountainous state of Pahang on Peninsular Malaysia. These landslides cost millions of dollars of property loss and even lives. The extent of the damages could be minimized if a long-term early warning system predicting the mass movements in the landslide-prone areas would have been in place.

The landslides that occurred along the New Klang Valley Express Highways (NKVE) Region in the year 2003 have alerted the highway authorities and other governmental organizations towards the seriousness of landslide management and prevention. The October 2002 landslide in Kuala Lumpur which completely destroyed few houses and killed six members of a family is still in the public's memory. Landslides in Malaysia are mainly triggered by tropical rainfall and flash floods causing failure of the rock surface along fracture, joint and cleavage planes. The geology of the country is quite stable but continuous development and urbanization lead to deforestation and erosion of the covering soil layers, thus causing serious threats to the slopes.

In the past Penang Island, Cameron Highland and the area of Selangor faced numerous landslide and mudflow events, and much damage was caused in these areas. Most of these landslides have been triggered by heavy rainfall. However, only little effort has been made to assess or predict these events which caused serious damages. Through scientific analyses of these landslides, one can assess and predict landslide-susceptible areas and even the events as such, and thus reduce landslide damages through proper preparation and/or mitigation. Therefore, understanding the landslides and preventing them is one of the serious challenges, not only for Malaysia. To achieve this objective, techniques of landslide susceptibility analysis were validated and subsequently

cross-validated in the three study areas using a frequency ratio model.

## 2 Previous Work

Many studies have been carried out on landslide hazard evaluation using GIS and Geoinformation-related techniques. GUZZETTI et al. (1999) conducted GIS-based studies in the Umbria and Marches regions of Central Italy and also summarized many case studies of landslide hazard evaluation along the Apennines Mountains. Reports of landslide analyses using GIS and probabilistic models were also published (TEMESGEN et al. 2001; DAI et al. 2001; PISTOCHI et al. 2002; AKGUN et al. 2008; CLERICI et al. 2006; PRADHAN et al. 2006; LEE et al. 2004a; LEE 2005; LEE & LEE 2006; PRADHAN & LEE 2009). Most of the above studies have been conducted using the regional landslide inventories derived from aerial photographs. GUZZETTI et al. (1999) developed statistical models using logistic regression for landslide hazard mapping (TUNUSLOUGLU et al. 2008; LAMELAS et al. 2008; WANG & SASA 2005; SUZEN & DOYURAN 2004; LEE 2005; LEE & PRADHAN 2006, 2007; PRADHAN et al. 2008, PRADHAN 2010). The geotechnical and the safety factor models are also good tools to spatialize landslide hazard analysis, and they have the potential to develop scenarios by changing the input parameters (SHOU & WANG 2003). All these models provide solutions for integrating information levels and mapping the outputs. Recently, other new methods have been applied for landslide hazard evaluation using data mining, fuzzy logic, safety factor and artificial neural network models (ERCANOGLU & GOKCEOGLU 2002; TANGESTANI 2004; LEE et al. 2003, 2004b; PRADHAN & LEE 2008a; PRADHAN et al. 2009a, 2009b, 2009c 2009d, 2010). The spatial results of these approaches are generally appealing, and they give rise to qualitatively and quantitatively map the landslide-susceptible and hazard areas.

The main difference between this study and the approaches described in the aforementioned publications is that the frequency ratio model was validated and also cross-validated in three study areas.

The landslide occurrences in the study areas were detected by interpretation of aerial

photographs and by field survey. A map showing the most recent landslide inventory was developed based on aerial photographs in combination with GIS for Penang Island, Cameron Highland and Selangor. Remote sensing methods, using aerial photographs and satellite images were employed to obtain significant and cost-effective information on landslides. In this study aerial photographs at scales of 1:10 000 – 1:50 000, taken between 1981 and 2005, were used to map the landslide locations. The inventory maps were prepared by a structural geologist with a profound knowledge in airphoto interpretation. These landslides can be seen in aerial photographs by interpreting breaks in the forest canopy, bare soil, and other typical geomorphic characteristics of landslide scars. Nine landslide-related factors, namely slope, aspect, curvature, distance from drainage, lithology, distance from lineaments, landcover, soil types and normalised difference vegetation index (NDVI) were either directly extracted or calculated from the spatial database or the Landsat TM and SPOT 5 satellite images. Using the detected landslide locations and factors, a landslide analysis method based on a frequency ratio model was applied and validated. To achieve this, the calculated and extracted factors were put into a  $10 \times 10$  m grid (Arc/Info GRID type), and then converted into ASCII data for use with the frequency ratio model. Subsequently, frequency ratio values of each factor were determined and landslides susceptibility maps constructed. Then the ratio values were applied to the other two study areas. Finally, the landslide susceptibility analysis results were validated and cross-validated using the landslide locations of all three study areas. The validation was performed by comparing all existing landslides and landslide susceptibility analysis results for the study areas.

### 3 Study Areas and Spatial Datasets

Three study areas, which have been badly affected in recent years, Penang Island, Cameron Highland and Selangor, were selected as suitable study areas for the present research.

Penang Island lies between  $35^{\circ}15' N$  and  $5^{\circ}30' N$ , and  $100^{\circ}10' E$  and  $100^{\circ}20' E$ , and covers an area of 285 km<sup>2</sup> (Fig. 1). The bedrock geology of the study area consists mainly of granite. Cameron Highland lies between  $4^{\circ} 32' N$  and  $4^{\circ} 23' N$ , and  $101^{\circ} 22' E$  and  $101^{\circ} 31' E$ , and covers an area of 660 km<sup>2</sup>. The geology of the Cameron Highland consists of mostly two types of litho types: igneous and metamorphic rocks. The third study area, Selangor, lies between  $3^{\circ} 23' 53.6'' E$  and  $3^{\circ} 45' 18.05'' E$ , and  $101^{\circ} 30' 55.33'' N$  and  $101^{\circ} 3' 36.3'' N$ , and covers an area of 8,179.28 km<sup>2</sup>. The bedrock geology of the study area consists of granite and gneiss. In all the three study areas landslides occurred when the maximum daily rainfall was 208 mm.

Maps relevant to landslide occurrence in the study areas were constructed in spatial vector datasets using the ARCInfo version 9.0 GIS software. These included topographic maps at a scale of 1:25,000, soil maps at 1:25,000 and geology maps at 1:63,300. A land-use map was extracted from Landsat TM satellite images with a resolution of 30 m. Data layers and overall methodology used in the analysis are shown in Fig. 2. Contour lines and spot heights were extracted from the topographic map and subsequently Digital Elevation Models (DEMs) were constructed for all study areas. Using the DEMs, slope, aspect and curvature were calculated. Soil types, litho types and distance from drainage were acquired from soil, geology and topographic maps respectively. The location of lineaments was extracted from structural map and further refined using up-to-date SPOT 5 satellite images. Then the distance from the lineaments was calculated in ArcGIS with 100 m increments based on the Euclidean distance method. The lithology map was prepared from the geological map. The lineament buffer was calculated in 100 m intervals and classified into 10 equal area classes. SPOT 5 scenes of 5 January 2005 (Penang Island and Cameron Highland), and 19 April 2005 (Selangor) were classified to map the different landcover classes. The landcover maps were prepared using SPOT 5 images (2.5 m spatial resolution) applying a supervised classification supplemented with field survey. An overall classification accuracy of up to 89% was achieved. Finally,

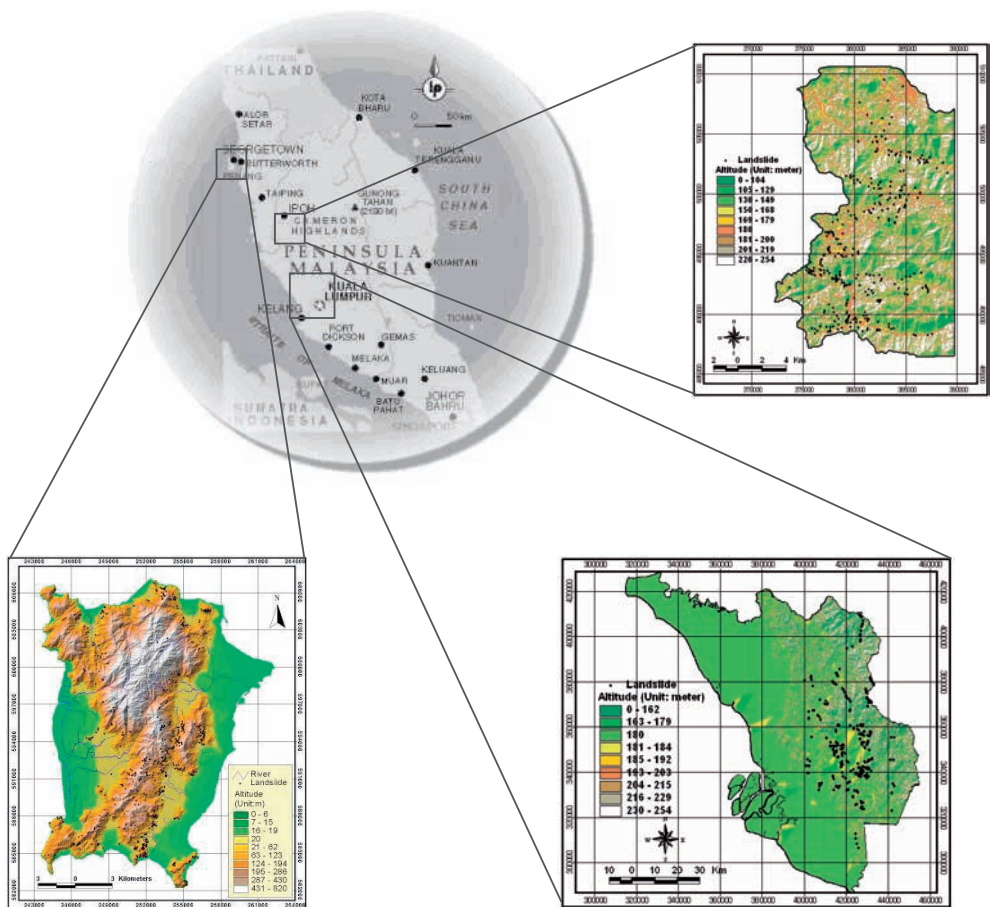
the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) maps were generated from LANDSAT TM satellite images acquired 25 January 2005, 7 March 2005, and 15 September 2005. The NDVI value was calculated using the formula  $NDVI = (IR - R) / (IR + R)$ , where IR is the energy reflected in the infrared portion of the electromagnetic spectrum, and R is the energy reflected in the red portion of the electromagnetic spectrum.

For all three study areas the datasets were divided into grids with  $10 \times 10$  m cells. The Penang Island dataset resulted in 2493 rows and 1887 columns, and the cell number being 4704,291. In 463 of them landslides had occurred. The Cameron dataset was composed

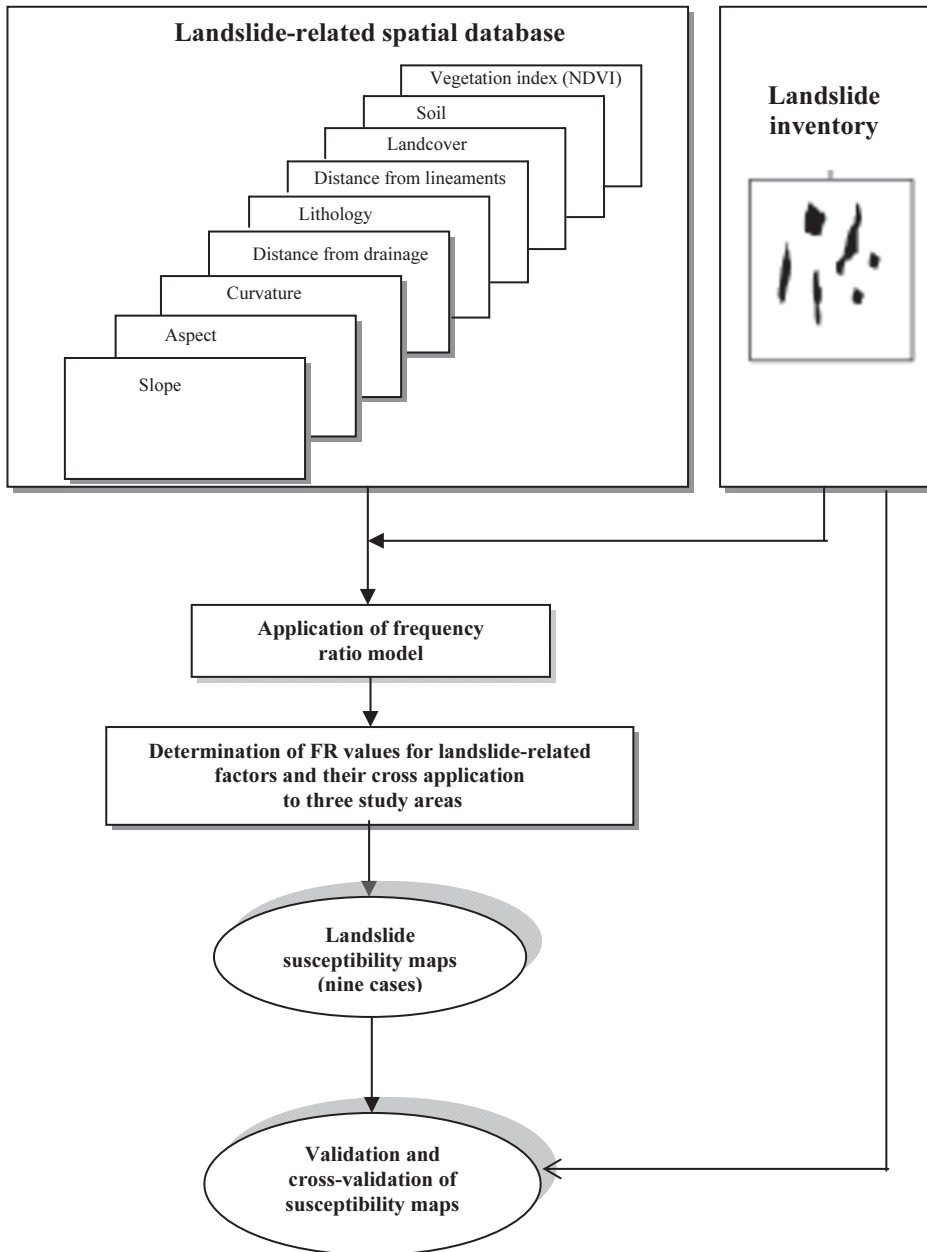
of 2418 rows and 1490 columns with 3602,820 cells, landslides occurring in 324 of them. The Selangor dataset was composed of 1088 rows and 992 columns (total 1079,296 cells). Landslides occurred in 327 cells.

#### 4 Frequency Ratio Model

Frequency ratio approaches are based on the observed relationship between the distribution of landslides and each landslide-related factor in order to reveal the correlation between landslide locations and the geo-factors determining the study areas (LEE & PRADHAN 2007b). Using the frequency ratio model, the spatial



**Fig. 1:** Study areas Penang Island, Cameron Highland and Selangor on the Malaysian Peninsula. Black dots indicate field-verified landslide locations.



**Fig. 2:** Data layers and flow diagram showing the overall methodology.

relationships between landslide occurrence location and each of the factors contributing to the occurrence of landslides (slope, aspect, curvature, distance from drainage, lithology, distance from lineaments, soil, landcover, and

NDVI) were derived. The frequency ratios of each factor’s type or range were calculated from their relationship with landslide events for three study areas. They are listed in Tab. 1. The frequency ratio denotes a ratio between

**Tab. 1:** Frequency ratio of landslide-related factors for Penang Island, Cameron Highland and Selangor.

Factors/class	Penang area						Cameron area						Selangor area					
	No. of total pixels	% of total pixels	No. of landside pixels	% of landside pixels	Ratio ⑥/④		No. of total pixels	% of total pixels	No. of landside pixels	% of landside pixels	Ratio ⑥/④		No. of total pixels	% of total pixels	No. of landside pixels	% of landside pixels	Ratio ⑥/④	
	①	②	③	⑤	⑦	⑧	①	②	③	⑤	⑦	⑧	①	②	③	⑤	⑦	⑧
Slope	1709800	57.87	53	11.45	0.20		113257	38	44	13.58	0.35		67777334	82.86	115	35.17	0.42	
16 ~ 25°	765189	25.90	152	32.83	1.27		114813	39	100	30.86	0.79		8426979	10.30	87	26.61	2.58	
26 ~ 35°	360229	12.19	157	33.91	2.78		55949	19	12.5	38.58	2.03		4648328	5.68	68	20.80	3.66	
> 35°	119564	4.05	101	21.81	5.39		10826	4	55	16.97	4.62		940212	1.15	57	17.43	15.16	
Aspect	1199400	40.59	13	2.80	0.07		0	0	0	0	0		32746440	40.04	0	0.00	0.00	
Flat	206629	6.99	41	8.85	1.27		487967	18.38	43	13.27	0.72		5541254	6.77	55	16.82	2.48	
North	207860	7.03	51	11.01	1.57		317441	11.96	70	21.60	1.81		6678670	8.17	45	13.76	1.69	
Northeast	228674	7.74	60	12.95	1.67		304579	11.47	50	15.43	1.34		6077711	7.43	27	8.26	1.11	
East	236988	8.02	82	17.71	2.21		307210	11.57	62	19.14	1.65		6181783	7.56	28	8.56	1.13	
Southeast	205108	6.94	58	12.53	1.80		305365	11.50	28	8.64	0.75		5564596	6.80	29	8.87	1.30	
South	206970	7.01	52	11.23	1.60		318819	12.01	22	6.79	0.57		6721149	8.22	35	10.70	1.30	
Southwest	228117	7.72	54	11.66	1.51		305257	11.50	15	4.63	0.40		6105258	7.46	46	14.07	1.88	
West	235036	7.95	52	11.23	1.41		307938	11.60	34	10.49	0.90		6175992	7.55	62	18.96	2.51	
Northwest	770757	26.09	50	10.80	0.41		1234845	46.52	50	15.43	0.33		13288765	16.25	66	20.18	1.24	
Curvature	1419529	48.04	45	9.72	0.20		242494	9.13	0	0.00	0.00		55283859	67.59	15	4.59	0.07	
Flat	764496	25.87	368	79.48	3.07		1177237	44.35	274	84.57	1.91		13220229	16.16	246	75.23	4.65	
Convex	919481	31.11	117	25.26	0.81		121747	45.86	148	45.67	1.00		25436680	31.09	122	37.30	1.20	
Distance from drainage	648322	21.94	114	24.62	1.12		787380	29.65	95	29.32	0.99		17379195	21.24	101	30.88	1.45	
101-150m	453610	15.35	80	17.27	1.13		409687	15.43	48	14.81	0.96		11097910	13.57	43	13.14	0.97	
151-200m	299500	10.13	53	11.44	1.13		160484	6.04	24	7.40	1.23		6568267	8.03	35	10.70	1.33	
201-250m	189645	6.41	41	8.85	1.38		50232	1.89	6	1.85	0.98		3790284	4.63	14	4.28	0.92	
251-300m	120824	4.08	14	3.02	0.74		15235	0.57	1	0.30	0.54		2455628	3.01	8	2.44	0.81	
> 301m	323400	10.94	44	9.50	0.87		14206	0.53	2	0.61	1.15		15064893	18.42	4	1.22	0.07	
Lithology	2195706	76.65	461	99.56	1.30		1900435	71.58	216	66.66	0.93		52626677	64.88	203	62.07	0.96	
Igneous rock	668834	23.34	2	0.43	0.02		-	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-
Alluvium	-	-	-	-	-		754263	28.41	108	33.33	1.17		28127205	34.67	122	37.30	1.08	
Metamorphic rock-	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-
Sedimentary rock -	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-		52626677	64.88	203	62.07	0.96	

Distance from lineament	0-200m	341528	11.55	62	13.39	1.16	73338	24.86	122	37.65	1.51	2766801	3.38	17	5.19	1.54	
	201-500m	490760	16.60	117	25.26	1.52	85885	29.11	98	30.24	1.04	4066326	4.97	41	12.53	2.52	
	501-1000m	667520	22.59	118	25.48	1.13	73054	24.76	52	16.04	0.65	6532091	7.99	43	13.14	1.65	
	1001-2000m	670438	22.68	90	19.43	0.86	46175	15.65	38	11.72	0.75	11288943	13.80	54	16.51	1.20	
	2001-4000m	641690	21.71	68	14.68	0.68	16487	5.58	14	4.32	0.77	16185017	19.78	91	27.82	1.41	
	>4001m	142846	4.83	8	1.72	0.36	8	0.00	0	0	0.00	40953679	50.07	81	24.77	0.49	
Soil	KNJ	363486	12.64	15	3.23	0.26	-	-	-	-	-	4913270	6.032	0	0	0	
	SLR-KGG	5691	0.19	0	0	0	-	-	-	-	-	14262446	17.51	0	0	0	
	TMG-AKB-LAA	257476	8.95	26	5.61	0.63	-	-	-	-	-	2852442	3.50	18	5.50	1.58	
	RGM-BTG	202745	7.05	65	14.03	2.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	STP	1486944	51.71	313	67.60	1.31	2604027	98.09	297	91.66	0.93	15366929	18.86	82	25.07	1.33	
	ULD	558937	19.43	42	9.07	0.47	50671	1.90	27	8.33	4.37	5957934	7.31	123	37.61	5.14	
	BRH-OCM	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	823554	1.01	0	0	0	
	PET	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	17371280	21.33	0	0	0	
	MCA-TVY-GMI	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	46951	0.06	0	0	0	
	MUN-SBN	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1816066	2.23	20	6.11	2.74	
	SDG-BGR-MUN	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8738739	10.73	24	7.33	0.68	
	RGM-JRA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3146337	3.86	34	10.39	2.71	
	PRG	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	236370	0.29	0	0	0	
	SDG-KDH	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2999777	3.68	16	4.89	1.33	
	MLD	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2927283	3.59	10	3.05	0.86	
Land cover	CLEAR LAND	75815	2.47	4	0.86	0.35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	MANGROVE	144557	4.72	13	2.80	0.59	-	-	-	-	-	35366176	43.24	127	38.83	0.9	
	ROCK	10256	0.33	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	PRI_FOREST	1587492	51.87	364	78.61	1.52	1972384	74.66	125	38.58	0.52	-	-	-	-	-	
	GRASS	269083	8.79	15	3.23	0.37	110259	4.17	26	8.02	1.92	-	-	-	-	-	
	COCONUT	88328	2.88	2	0.43	0.15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	RUBBER	674704	22.04	53	11.44	0.52	137986	5.22	30	9.25	1.78	6981927	8.54	4	1.22	0.14	
	TIN MINE	2168	0.07	5	1.07	15.25	-	-	-	-	-	4465198	5.45	47	14.37	2.63	
	MUD	83739	2.73	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	SEC_FOREST	27618	0.90	4	0.86	0.96	358942	13.58	121	37.34	2.75	2956866	3.61	1	0.30	0.08	
	CULTIVATED	93632	3.05	1	0.21	0.08	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	PALM OIL	2960	0.09	0	0	0	-	-	-	-	-	6394776	7.81	17	5.19	0.66	
	WATER BODY	63	0.00	0	0	0	2174	0.08	0	0	0	39539	0.04	0	0	0	
	CUTTING	-	-	-	-	-	30434	1.15	13	4.01	3.49	-	-	-	-	-	
	SETTLEMENT	-	-	-	-	-	29310	1.10	9	2.77	2.50	25588370	31.28	131	40.06	1.28	
	NDVI	100~-50	12873	0.44	1	0.21	0.49	234	0.07	0	0	0.00	31960	0.039	0	0	0.00
		-50~-0	563909	19.47	62	13.39	0.69	2505	0.84	3	0.92	1.09	3738742	4.57	32	9.78	2.14
0~-50		224249	77.42	380	82.07	1.06	59506	20.17	116	35.80	1.77	42440711	51.88	212	64.83	1.25	
500~-100		76911	2.65	20	4.31	1.63	232702	78.89	205	63.27	0.80	35581439	43.50	83	25.38	0.58	



occurrence and absence of landslides in each cell. In the relation analysis, the ratio is that of the area where landslides occurred in the entire area, so that a value of 1 represents an average value. If the value is bigger than 1, this implies a higher correlation, and values lower than 1 stand for lower correlations.

For the sake of simplicity only the frequency ratio of the Penang dataset is discussed here (Tab. 1, column 2). In the case of slope, the relationship between landslide occurrence and slope gradient shows that steeper slopes have a higher landslide probability. For slopes of  $15^\circ$  and less the frequency ratio was 0.2 which indicates a very low probability of landslide occurrence. For slopes above  $26^\circ$  the ratio was  $> 2$ , thus indicating a high probability of landslide occurrence. As the slope angle increases, the shear stress in the soil or other unconsolidated material generally increases, too. Gentle slopes are expected to have a low frequency of landslides because of the generally lower shear stresses associated with low gradients. Steep natural slopes resulting from outcropping bedrock, however, may not be susceptible to shallow landslides. In the case of the aspect (Tab. 1), landslides were most abundant on south- and southwest-facing slopes. The frequency of landslides was lowest on west-, northwest-, and northwest-facing slopes, except in flat areas. The curvature values represent the morphology of the relief. A positive curvature indicates that the surface is upwardly convex at that pixel. A negative curvature indicates that the surface is upwardly concave at that pixel. A value of zero indicates that the surface is flat. As shown in Tab. 1, the higher a positive or negative curvature value, the higher is the probability of landslide occurrences. Flat areas had a frequency ratio of 0. Concave areas had a frequency ratio of 0.41. The reason for this is that subsequent to heavy rainfall, a concave slope contains more water and retains this water for a longer period which could lead to a slope failure triggering a landslide.

Convex areas had a frequency ratio of 3.07. The reason for this is that a convex rounded hilltop slope could expose to heavy rainfall causing repeated dilation and contraction of loose debris on an inclined surface that might induce a creeping or mudslide. Analyses were carried out to assess the influence of drainage

lines on landslide occurrence. For this purpose, the proximity of landslides to drainage lines was identified by buffering (Tab. 1). It can be seen that as the distance from a drainage line increases, the landslide frequency generally decreases. At a distance of  $< 250$  m, the ratio was  $> 1$ , indicating a high probability of landslide occurrence, and at distances  $> 251$  m, the ratio was  $< 1$ , indicating very less probability. This can be attributed to the fact that terrain modification caused by gully erosion may influence the initiation of landslides. However, at a distance of  $< 50$  m, the frequency ratio is 0.81 which is due to the lower number of previously triggered landslides. In the case of lithology it was found that the frequency ratio was lower (0.97) in alluvium types of rocks, and higher (1.30) in igneous areas. In the case of the distance from lineaments, the closer the distance to a lineament was, the greater was the landslide-occurrence probability. For distances of  $< 100$  m, the ratio was  $> 1$ , indicating a high probability of landslide occurrence, and for distances of  $> 1000$  m, the ratio was  $< 1$ , thus indicating a low probability. As the distance from lineament decreases, the fracturing of the rock increases, and the degree of weathering increases, thus resulting in greater chances of landslides.

As for the soil type (Tab. 1), the frequency ratio was comparatively higher for RGM-BTG series (2.01) and STP (1.31). This indicates that the landslide probability increases with steeper land. In the case of landuse (Tab. 1), the landslide-occurrence values were higher in tin mine areas (15.25) and primary woods (1.52) but lower in hard rock areas and dense forest. Regarding the vegetation index, for NDVI values above 0 the frequency ratio was  $> 1$ , which indicates a high landslide-occurrence probability, and for NDVI values below 0 the frequency ratio was  $< 1$ , indicating a low landslide-occurrence probability. This result implies that the landslide probability decreases with the increase of the vegetation index value. This appears in the first instance unusual but can be explained by the fact that more vegetation develops along tectonic zones of weakness. Similar findings and explanations can be given for the Cameron and Selangor areas (Tab. 2, column 3 and 4).

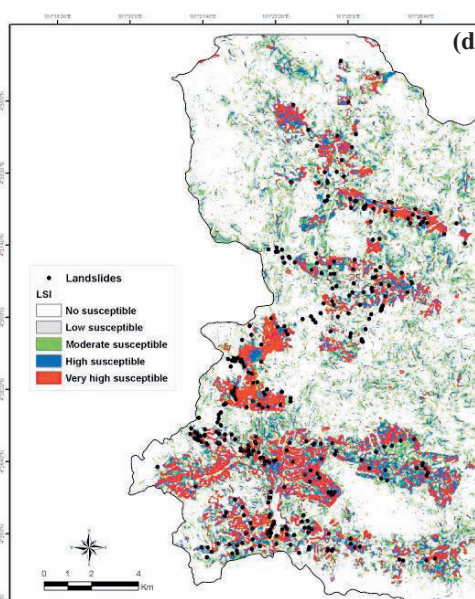
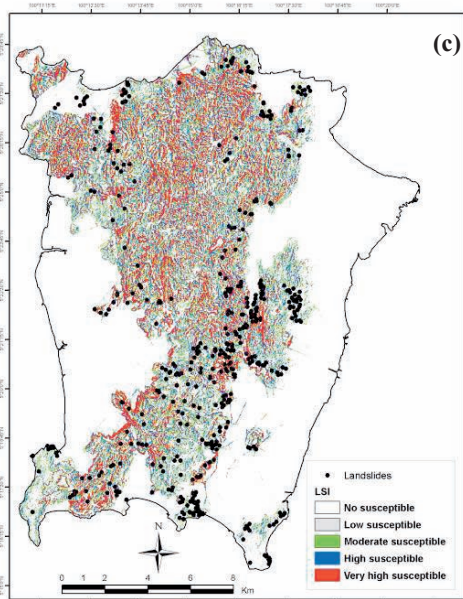
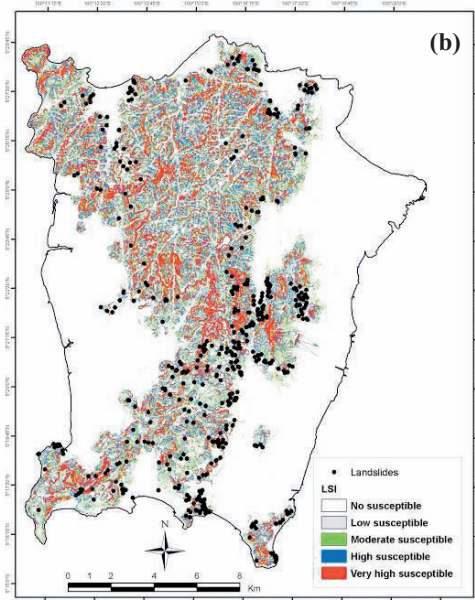
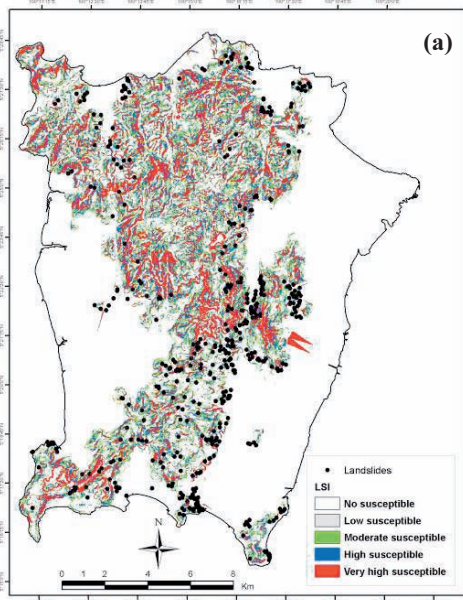
### 5 Application of Frequency Ratio Model for Landslide Susceptibility Analysis

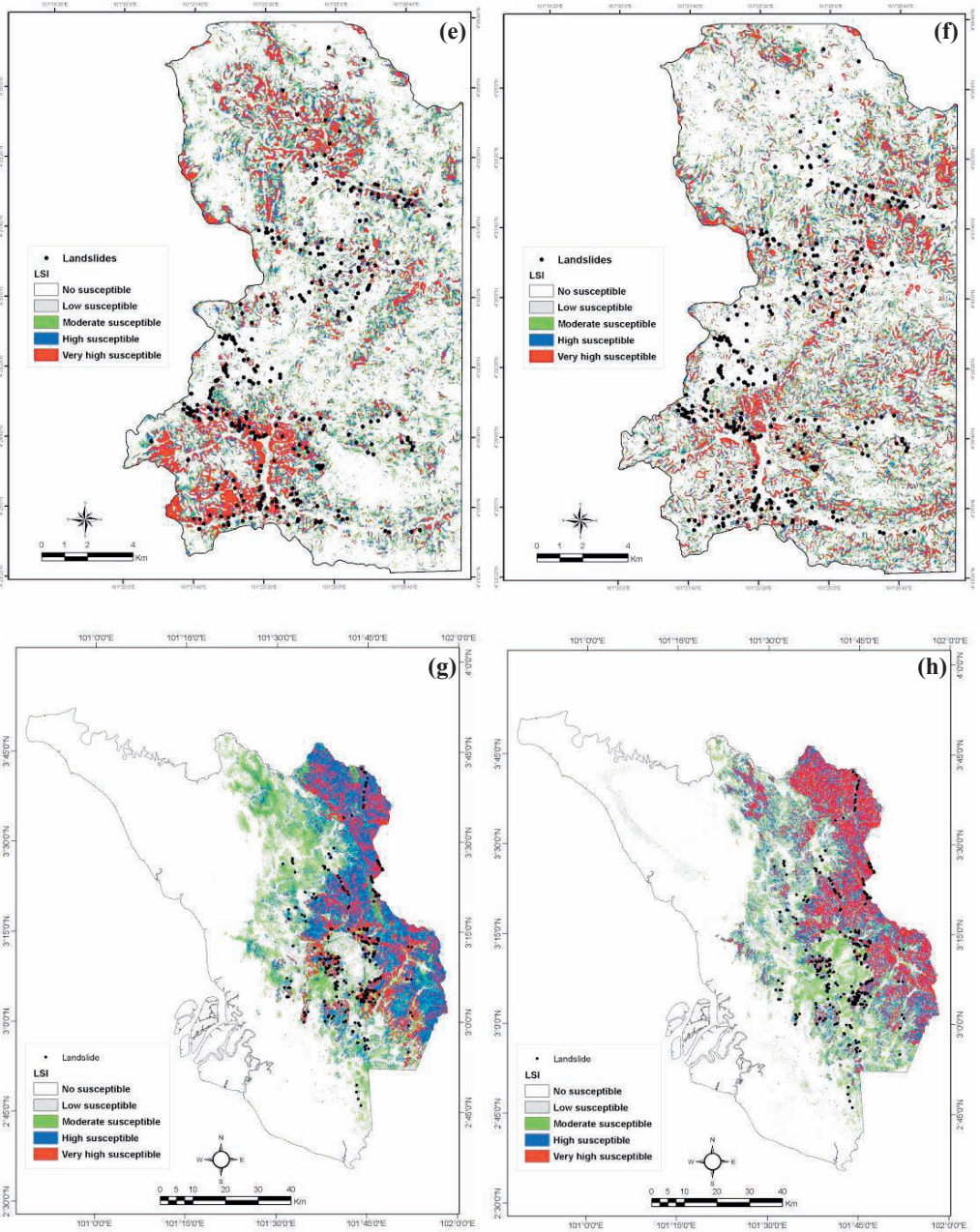
The frequency ratio values were used for calculating the landslide susceptibility index and mapping. The ratios of each factor type or

range were summed to calculate the landslide susceptibility index, as shown in Eq. (1).

$$LSI = \sum Fr \tag{1}$$

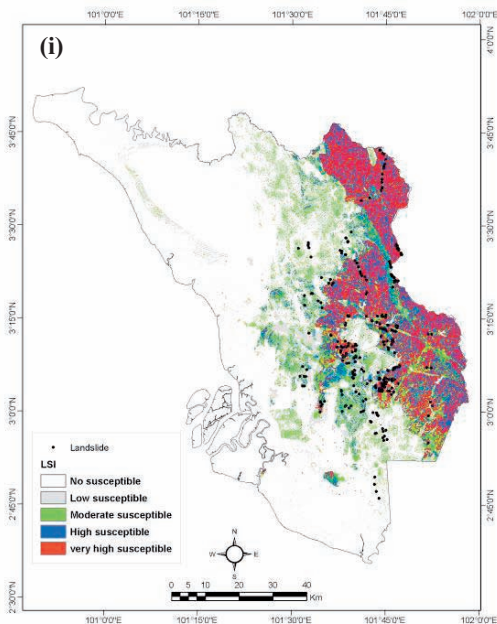
Where  $Fr$  is the frequency ratio of each factor type or range.





For landslide susceptibility mapping, the frequency ratios were applied to the study area from which they were derived, as well as to the other two areas. That is, the calculated frequency ratios from each dataset (for Penang, Cameron, and Selangor) were applied to all

datasets (Penang, Cameron and Selangor). Overall, there were nine cases for mapping. Thus, the calculated ratings from the Penang datasets were applied to Penang, Cameron and Selangor. Similarly, the calculated ratings from the Cameron datasets were applied to



**Fig. 3:** The nine calculated landslide susceptibility maps of the study areas using the frequency ratio model. (a) Landslide susceptibility map of Penang based on frequency ratio of the Penang datasets; (b) Landslide susceptibility map of Penang based on frequency ratio of the Cameron datasets; (c) Landslide susceptibility map of Penang based on frequency ratio of the Selangor datasets; (d) Landslide susceptibility map of Cameron based on frequency ratio of the Cameron datasets; (e) Landslide susceptibility map of Cameron based on frequency ratio of the Penang datasets; (f) Landslide susceptibility map of Cameron based on frequency ratio of the Selangor datasets; (g) Landslide susceptibility map of Selangor based on frequency ratio of the Selangor datasets; (h) Landslide susceptibility map of Selangor based on frequency ratio of the Penang datasets; and (i) Landslide susceptibility map of Selangor based on frequency ratio of Cameron datasets.

Penang, Cameron and Selangor, and those from the Selangor datasets were applied to Penang, Cameron and Selangor, giving nine sets to be mapped. Using the frequency ratio (Tab. 1) and Eq. (1), the *LSI* values were computed for the nine cases. If no ratio was available for a certain class, the average value (i. e., 1) was used.

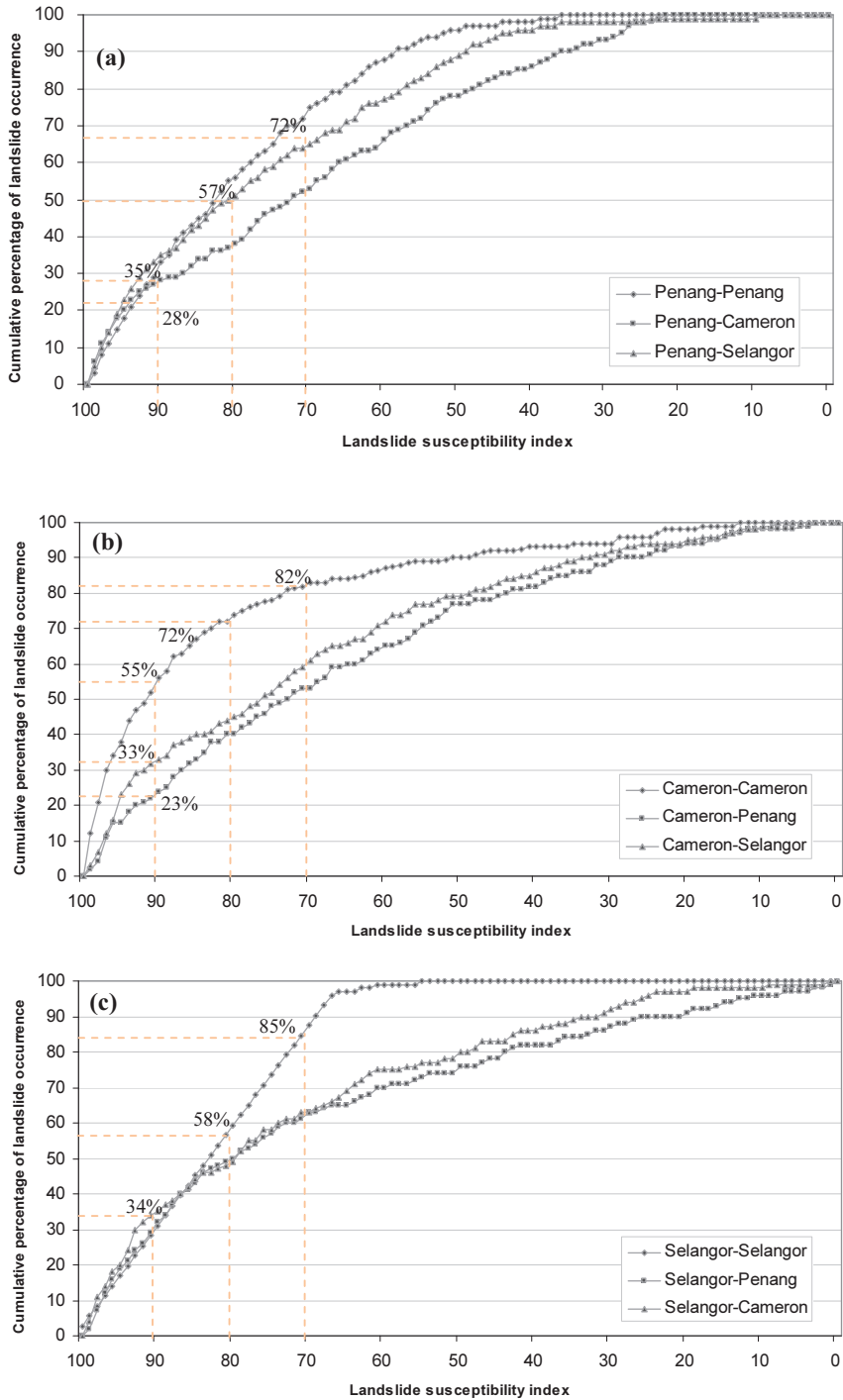
Hence, as presented in Fig. 3, nine landslide susceptibility maps were calculated. Fig. 3a presents Penang based on the Penang ratings, Fig. 3b the same area based on the Cameron ratings, and Fig. 3c, on the Selangor ratings. Then the calculated landslide susceptibility indices (*LSI*) were grouped into four groups by equal area classification (highest 10%, second-highest 10%, third-highest 20% and remaining 60%) for easy visual interpretation of the landslide susceptibility. The landslide susceptibility increases with the height of the *LSI* value. The patterns of the identical study areas proved to be very similar, but there were some differences in the distribution of the index values. Fig. 2 (a), for example, represents a landslide susceptibility map of Penang calculated by using frequency ratios from the Penang datasets. Here the minimum, mean and maximum values of each *LSI* are 1.6, 9.15

and 20.38, respectively. Similarly, Fig. 2 (b) shows a landslide susceptibility map of Penang calculated on the basis of frequency ratios from the Cameron datasets. In this case, the minimum, mean and maximum *LSI* are 4.96, 11.77 and 19.33.

## 6 Validation of the Susceptibility Maps

To validate the applied landslide susceptibility calculation method, two basic assumptions are required. One is that landslides can be related to spatial information (such as topography, soil, lithology, lineaments, drainage, land cover and NDVI) and the other one is that future landslides will be triggered by a specific impact factor, such as rainfall. In this study, these two assumptions are reasonably fulfilled because the landslides are related to spatial information and all the landslides were caused by heavy rainfall in Penang, Cameron and Selangor (PRADHAN & LEE 2008).

The results of the landslide susceptibility analysis were displayed in the maps of Penang, Cameron, and Selangor which were separately computed on the basis of each of the



**Fig. 4:** Illustration of cumulative frequency diagrams showing the landslide susceptibility index ranking (x-axis) in cumulative percents of landslide occurrence (y-axis). (a) Validation result of Penang based on three areas; (b) Validation result of Cameron based on three areas; and (c) Validation result of Selangor based on three areas.

**Tab. 2:** Values of “areas under the curve” approach depicted in Fig. 4.

Casea	Penang- Penang	Penang- Cameron	Penang- Selangor	Cameron- Cameron	Cameron- Penang	Cameron- Selangor	Selangor- Selangor	Selangor- Penang	Selangor- Cameron
Area	0.0835	0.7058	0.7708	0.8399	0.7109	0.7215	0.8361	0.7030	0.7369
Area ratio	80.35%	70.58%	77.08%	83.99%	71.09%	72.15%	83.61%	70.30%	73.69%

<sup>a</sup> The frequency ratio of the second area was applied to the first area

Penang, Cameron and Selangor factors and subsequently validated and cross-validated using all landslide locations in these areas. The maps of Penang, calculated by means of the Penang, Cameron and Selangor ratings, were validated using the entire landslide locations in Penang, Cameron and Selangor. Also, the maps of Cameron, calculated on the basis of the Penang, Cameron and Selangor parameters, were validated using landslide locations in Penang, Cameron and Selangor. Likewise, for the study area of Selangor the corresponding procedure was applied. Therefore, overall validations were performed in nine cases.

A comparative depiction of the results like the one given in Fig. 4 illustrates how well the nine landslide susceptibility maps match reality. To obtain Fig. 4, the relative ranks of landslide susceptibility maps and landslide occurrence were calculated for each case, and the validation results were divided into classes of accumulated area ratios according to the percentage of the landslide susceptibility indices.

The above procedure was applied to each of the study areas. In the case of the application of the Penang frequency ratio to the study area of Penang (Fig. 4a), the 90 – 100% class with the highest 10% of probability of a landslide contains 35% of the landslides in that area. The 0 – 20% class contains 57%, and the 0 – 30% class contains 72% of all landslides in Penang. As for the application of the Cameron frequency ratio to Cameron (Fig. 4b), the 90 – 100% class with the highest possibility (10%) of a landslide contains 55% of the landslides in Cameron. The 0 – 20% class contains 72% and the 0 – 30% class contains 82% of the landslides in Cameron. For Selangor (Fig. 4c), the corresponding figures read 34%, 55% and 85% of all landslides occurring in Selangor.

The above procedure was also adapted for the other two study areas. When applying the

Cameron and Selangor frequency ratios to Penang (Fig. 4a), the 90 – 100% class with the highest 10% possibility of landslides contains 28% of the landslides occurring in Cameron and 31% of the landslides of Selangor. In the case of the application of the Penang and Selangor frequency ratios to Cameron (Fig. 4b), the 90 – 100% class with the highest possibility of landslides contains 23% of the landslides of Penang area and 33% of the landslides of Selangor. When applying the Penang and Cameron frequency ratio to Selangor (Fig. 4c), the 90 – 100% class with the highest possibility of landslides contains 31% of the landslides occurring in Penang and 31% of those of Cameron.

To compare the result quantitatively, the areas under the curves were recalculated. If the total area is found to be 1 which means a perfect prediction accuracy. Hence, the areas under curves can be used to assess the prediction accuracy qualitatively. They are shown in Tab. 2. In the case of Penang based on Penang frequency ratio value, the area ratio was 0.8035, thus implying a prediction accuracy of 80.35%. In the case of Penang based on Cameron frequency ratio, the area ratio was 0.7058 and the prediction accuracy 70.58%. When applying the Selangor frequency ratio to Penang, the area ratio was 0.7708, and the prediction accuracy 77.08%. In the case of Cameron based on Cameron frequency ratio, the area ratio was 0.8399, and the prediction accuracy is 83.99%. In the case of Cameron based on Penang frequency ratio, the area ratio was 0.7109 and the prediction accuracy is 71.09%. Further “under the curve” values and the corresponding prediction accuracies can be retrieved from Tab. 2.

## 7 Conclusions and Discussion

The frequency ratio-based cross application approach was successfully used for the three study regions Penang Island, Cameron Highland, and Selangor. The frequency ratio model permitted to determine the ratings for the input layers and produce nine sets of landslide susceptibility maps after the cross application of the ratings to the three study areas. This allows drawing the following conclusions from the experience gained in these study areas with different geological and geomorphological environment.

For the landslide susceptibility analysis and the establishment of a landslide-related GIS database of all three study areas landslide locations were mapped using aerial photographs. For the landslide susceptibility analysis, the frequency ratio model was applied, validated, and cross-validated for the three study areas using the landslide database. Then, the results were validated by calculating the correlation between actual landslide locations and probable occurrences.

The calculated ratings based on the frequency ratio showed a similar trend for each study area. Among the nine generated landslide susceptibility maps, case of Cameron based on the "Cameron weight" showed the highest accuracy (83.99%), and Selangor based on the "Penang Island weight" the lowest (70.30%). Generally, however, the validation results showed a satisfying agreement between the susceptibility map and the landslide locations verified in the field.

In the present study only a susceptibility analysis based on the described nine parameters was performed. The spatial distribution of precipitations, especially of rainfall intensities, is very difficult to map and to model accurately. Intensive tropical monsoon rainfalls in the form of very local storms or torrential precipitation are the most frequent triggering factor. They seriously hamper to determine the rainfall distribution. The rain-gauge network in study areas is not dense enough to adequately record the precipitation. Therefore the classical relationship between the topographic parameters, landslides and total rainfall could not be assessed. If, however, data on landslide-causing parameters such as rainfall,

earthquake shaking, or slope cutting exist, then a probability analysis including these values could also be made. Similarly, if factors relevant to the vulnerability of buildings and other property were available, a risk analysis could also be performed.

Landslides are among the most hazardous natural disasters in Malaysia. The Government and research institutions are trying to analyze the landslide hazard and risk and to show its spatial distribution over the regions. The use of multi temporal radar data such as TerraSAR for observing the landslides and residues in the research phase could be one of the prominent future directions. In the same line, there is a lot of work to be done to investigate the landslide causative parameters and their direct relationship between the triggering of future landslides.

Landslide susceptibility maps are of great help for planners and engineers to identify suitable locations for development. These results can be used as basic data to assist slope management and land-use planning.

## Acknowledgements

The first author would like to thank the Alexander von Humboldt Foundation, Germany, for awarding a visiting scientist position at the Dresden University of Technology, Germany. The authors gratefully acknowledge two anonymous reviewers for their constructive comments which significantly improved the quality of the paper.

## References

- AKGUN, A., DAG, S. & BULUT, F., 2008: Landslide susceptibility mapping for a landslide-prone area (Findikli, NE of Turkey) by likelihood-frequency ratio and weighted linear combination models. – *Environmental Geology* **54** (6): 1127–1143.
- CLERICI, A., PEREGO, S., TELLINI, C. & VESCOVI, P., 2006: A GIS-based automated procedure for landslide susceptibility mapping by the Conditional Analysis method: the Baganza valley case study (Italian Northern Apennines). – *Environmental Geology* **50**: 941–961.
- DAI, F.C., LEE, C.F., LI, J. & XU, Z.W., 2001: Assessment of landslide susceptibility on the natural terrain of Lantau Island, Hong Kong. – *Environmental Geology* **40**: 381–391.

- ERCANOGLU, M. & GOKCEOGLU, C., 2002: Assessment of landslide susceptibility for a landslide-prone area (north of Yenice, NW Turkey) by fuzzy approach. – *Environmental Geology* **41**: 720–730.
- GUZZETTI, F., CARRARRA, A., CARDINALI, M. & REICHENBACH, P., 1999: Landslide hazard evaluation: a review of current techniques and their application in a multi-scale study, Central Italy. – *Geomorphology* **31**: 181–216.
- LAMELAS, M.T., MARINONI, O., HOPPE, A. & RIVA, J., 2008: Doline probability map using logistic regression and GIS technology in the central Ebro Basin (Spain). – *Environmental Geology* **54**: 963–977.
- LEE, S., RYU, J.H., LEE, M.J. & WON, J.S., 2003: Landslide susceptibility analysis using artificial neural network at Boeun, Korea. *Environmental Geology* **44**: 820–833.
- LEE, S., CHOI, J. & MIN, K., 2004a: Probabilistic Landslide Hazard Mapping using GIS and Remote Sensing Data at Boeun, Korea. – *International Journal of Remote Sensing* **25**: 2037–2052.
- LEE, S., RYU, J.H., WON, J.S. & PARK, H.J., 2004b: Determination and application of the weights for landslide susceptibility mapping using an artificial neural network. – *Engineering Geology* **71**: 289–302.
- LEE, S., 2005: Application of logistic regression model and its validation for landslide susceptibility mapping using GIS and remote sensing data. – *International Journal of Remote Sensing* **26**: 1477–1491.
- LEE, S. & LEE, M.J., 2006: Detecting landslide location using KOMPSAT 1 and its application to landslide-susceptibility mapping at the Gangneung area, Korea. – *Advances in Space Research* **38**: 2261–2271.
- LEE, S. & PRADHAN, B., 2006: Probabilistic Landslide Risk Mapping at Penang Island, Malaysia. – *Journal of Earth System Science* **115** (6): 661–672.
- LEE, S. & PRADHAN, B., 2007: Landslide hazard mapping at Selangor, Malaysia using frequency ratio and logistic regression models. – *Landslides* **4**: 33–41.
- PISTOCCHI, A., LUZI, L. & NAPOLITANO, P., 2002: The use of predictive modeling techniques for optimal exploitation of spatial databases: a case study in landslide hazard mapping with expert system-like methods. – *Environmental Geology* **41**: 765–775.
- PRADHAN, B., 2010: Remote sensing and GIS-based landslide hazard analysis and cross-validation using multivariate logistic regression model on three test areas in Malaysia. – *Advances in Space Research*; doi: 10.1016/j.asr.2010.01.006 (on-line first).
- PRADHAN, B., LEE, S. & BUCHROITHNER, M.F., 2009: Use of geospatial data for the development of fuzzy algebraic operators to landslide hazard mapping: a case study in Malaysia. – *Applied Geomatics* **1**: 3–15.
- PRADHAN, B., LEE, S., MANSOR, S., BUCHROITHNER, M.F. & JALLALUDDIN, N., 2008: Utilization of optical remote sensing data and geographic information system tools for regional landslide hazard analysis by using binomial logistic regression model. – *Journal of Applied Remote Sensing* **2**: 1–11.
- PRADHAN, B. & LEE, S., 2008a: Utilization of optical remote sensing data and GIS tools for regional landslide hazard analysis by using an artificial neural network model at Selangor, Malaysia. – *Earth Science Frontiers* **14** (6): 143–152.
- PRADHAN, B. & LEE, S., 2009a: Landslide risk analysis using artificial neural network model focusing on different training sites. – *International Journal of Physical Sciences* **3** (11): 1–9.
- PRADHAN, B. & LEE, S., 2009b: Delineation of landslide hazard areas on Penang Island, Malaysia, by using frequency ratio, logistic regression, and artificial neural network models. – *Environmental Earth Sciences*; doi: 10.1007/S12665-009-0245-8 (on-line first).
- PRADHAN, B. & LEE, S., 2009c: Landslide susceptibility assessment and factor effect analysis: backpropagation artificial neural networks and their comparison with frequency ratio and bivariate logistic regression modelling. – *Environmental Modelling & Software*; doi: 10.1016/j.envsoft.2009.10.016 (on-line first).
- PRADHAN, B. & LEE, S., 2009d: Regional landslide susceptibility analysis using backpropagation neural network model at Cameron Highland, Malaysia. – *Landslides*; doi: 10.1007/S10346-009-0183-2 (on-line first).
- PRADHAN, B., LEE, S. & BUCHROITHNER, M., 2010: A GIS-based back-propagation neural network model and its cross-application and validation for landslide susceptibility analyses. – *Computers, Environment and Urban Systems*; doi: 10.1016/j.compenvurbsys.2009.12.004 (on-line first).
- PRADHAN, B., SINGH, R.P. & BUCHROITHNER, M.F., 2006: Estimation of Stress and Its Use in Evaluation of Landslide Prone Regions Using Remote Sensing Data. – *Advances in Space Research* **37**: 698–709.
- SHOU, K.J. & WANG, C.F., 2003: Analysis of the Chiufengershan landslide triggered by the 1999 Chi-Chi earthquake in Taiwan. – *Engineering Geology* **68**: 237–250.



- SUZEN, M.L. & DOYURAN, V., 2004: A comparison of the GIS based landslide susceptibility assessment methods: multivariate versus bivariate. – *Environmental Geology* **45**: 665–679.
- TANGESTANI, M.H., 2004: Landslide susceptibility mapping using the fuzzy gamma approach in a GIS, Kakan catchment area, southwest Iran. – *Australian Journal of Earth Sciences* **51**: 439–450.
- TEMESGEN, B., MOHAMMED, M.U. & KORME, T., 2001: Natural Hazard Assessment Using GIS and Remote Sensing Methods, with Particular Reference to the Landslides in the Wondogenet Area, Ethiopia. – *Phys. Chem. Earth (C)* **26**: 665–615.
- TUNUSLUOGLU, M.C., GOKCEOGLU, C., NEFESLIOGLU, H.A. & SONMEZ, H., 2008: Extraction of potential debris source areas by logistic regression technique: a case study from Barla, Besparmak and Kapi mountains (NW Taurids, Turkey). – *Environmental Geology* **54** (1): 9–22.
- WANG, H.B. & SASSA, K., 2005: Comparative evaluation of landslide susceptibility in Minamata area, Japan. – *Environmental Geology* **47**: 956–966.

Address of the Authors:

Dr. BISWAJEET PRADHAN, SARO LEE & Prof. Dr. MANFRED BUCHROITHNER, Technische Universität Dresden, Institut für Kartographie, D-01062 Dresden, Tel.: +49-351-463-33099, Fax: +49-351-463-37028, e-mail: Biswajeet.Pradhan@mailbox.tu-dresden.de; biswajeet@mailcity.com

Manuskript eingereicht: April 2009

Angenommen: November 2009



# Fernerkundungsbasierte Ermittlung der Bevölkerungsverteilung für den Einsatz in humanitären Krisenregionen

GUNTER ZEUG, Ispra, Italien & OLAF KRANZ, Oberpfaffenhofen

**Keywords:** Bevölkerungskartografie, Katastrophenhilfe, Fernerkundung, GIS

**Summary:** *Remote Sensing Based Population Maps for Crisis Response.* Population numbers are important information in the aftermath of a natural disaster. They directly influence national and international relief planning. However, information and accurate figures on where people live and population characteristics are not always available especially in developing countries. A methodology is developed to rapidly estimate population distribution and density in disaster affected areas. It is based on high resolution earth observation satellite imagery and the classification of the built-up areas therein conducting a textural analysis. Census data is interpolated on the built-up land applying binary dasymetric mapping. Inferring population densities from road densities improved the results in a further step. Result is a population density estimation per built-up area presenting a better picture than known from global datasets. The presented methodology is restricted by the requirement of a road layer which is not available for certain areas in the world.

**Zusammenfassung:** Katastrophenhilfe zielt auf die direkte Unterstützung der betroffenen Bevölkerung zur Milderung der Auswirkungen eines Extremereignisses. Nicht nur in Entwicklungsländern sind Bevölkerungszahlen und Informationen zur Lage von Siedlungen nicht immer verfügbar. Die vorliegende Studie beschreibt eine Methode, welche die kurzfristige Erstellung von Bevölkerungskarten ermöglicht. Das Verfahren orientiert sich am „binary dasymetric mapping“. Hierbei wird zunächst anhand des Kontrast-Texturparameters eine Siedlungsklasse „bebautes Gebiet“ abgeleitet. Bevölkerungsdaten werden nachfolgend auf die resultierende Siedlungsklasse interpoliert. Unter Annahme, dass die Straßendichte Rückschlüsse auf die Bevölkerungsdichte zulässt, werden die Ergebnisse verfeinert. Endergebnis ist eine Abschätzung zu Bevölkerungsverteilung und -dichte, die eine höhere Aussagekraft aufweist, als herkömmliche global verfügbare Datensätze. Eingeschränkt wird die Methoden durch die Notwendigkeit von Straßendaten, die für bestimmte Regionen der Erde nicht oder nur eingeschränkt verfügbar sind.

## 1 Einleitung

Humanitäre Hilfsmaßnahmen in unmittelbarer Folge von Naturkatastrophen zielen auf die direkte Unterstützung der betroffenen Bevölkerung, deren Erstversorgung und die Abwendung unmittelbarer weiterer Gefahren. Wesentliche Planungsgrundlage zum Umfang nationaler sowie internationaler Hilfe sind Angaben und Schätzungen zur Größe der betroffenen Bevölkerung. Informationen zu Einwohnerzahlen, Lage von Siedlungen und Abschätzungen von Toten und Verletzten beeinflussen die Planung für benötigte Ausrüstung

wie Zelte, Wasseraufbereitung und Nahrungsmittel (KAISER et al. 2003).

Bevölkerungszahlen stammen meist aus offiziellen Statistiken, die gewöhnlich zehnjährig auf Basis räumlicher Einheiten wie Haushalt, Gemeinde oder Distrikt von nationalen Ämtern für Statistik erhoben werden. Aus Gründen des Persönlichkeitsschutzes erfolgt die Veröffentlichung immer in aggregierter Form und aufgrund der umfangreichen Daten und dem damit verbundenen Aufwand der statistischen Auswertung mit großer zeitlicher Verzögerung (EHRlich 2003). Für Jahre ohne offizielle Volkszählungsdaten werden Bevöl-

kerungsangaben mittels demografischer Modelle statistisch modelliert. In weniger entwickelten Regionen der Erde, die häufig durch hohes Bevölkerungswachstum, Stadt-Land-Migration und/oder Konflikte gekennzeichnet sind, sind veraltete und ungenaue Abschätzungen nicht ungewöhnlich. Im Katastrophenfall stehen somit häufig nur unzureichende Informationen über Zahlen der betroffenen Bevölkerung zur Verfügung (WFP 2006).

Betrachtet man die Bevölkerung als Raumeinheit wird deutlich, dass sich Aussagen zur Lage von betroffenen Siedlungen, deren Größe und deren Zugänglichkeit nur schwer treffen lassen. Auf Basis topografischer Karten können Siedlungen verortet werden, geografische Ortsverzeichnisse (Gazetteer) bieten Koordinaten zur Lokalisierung, darauf basierende Angaben zur Bevölkerung existieren aber nicht oder nur für große und bedeutende Siedlungen oder Städte. Bevölkerungsdaten werden gewöhnlich auf Basis administrativer Einheiten wie Gemeinde oder Kreis gleichmäßig verteilt visualisiert. Damit einhergehende Aussagen zur Bevölkerungsdichte, welche die Anzahl der Bevölkerung pro Flächeneinheit ausdrückt, berücksichtigen dabei nicht die jeweiligen naturräumlichen Gegebenheiten. Wald, landwirtschaftliche Flächen und Gewässer reduzieren den potentiellen Wohnraum. Aus diesem Grund kommen Angaben zur physiologischen Bevölkerungsdichte, wel-

che die Einwohnerzahl pro tatsächlich besiedeltem und genutztem Gebiet berücksichtigt, der Realität näher, als Informationen zur klassischen Bevölkerungsdichte.

Der vorliegende Beitrag präsentiert eine Methode, mittels derer im Krisenfall, bei geringem Zeitaufwand, Bevölkerungskarten erstellt werden können. Sie wird damit auch den hohen zeitlichen Anforderungen einer Vorbereitung von Katastropheneinsätzen gerecht. Die vorgestellte Methode basiert auf dem Ansatz des *Binary Dasymetric Mapping*, einer Form der dasymetrischen Darstellung, deren Ergebnis durch Informationen zur Straßendichte zusätzlich verfeinert wird. Zur Umsetzung werden räumlich hochaufgelöste Satellitenbilddaten herangezogen, auf deren Basis mittels Texturanalyse eine Siedlungsmaske abgeleitet wird. In einem weiteren Schritt werden auf Basis von vektorisierten Straßendaten Dichtezonen ermittelt und verfügbare Zensusdaten empirisch auf die resultierende Klasse verteilt. Als Ergebnisse werden Siedlungsdichtekarten erstellt, deren räumliche Auflösung höher ist, als die vorhandener globaler Datensätze.

## 2 Projekthintergrund und Lage des Untersuchungsgebietes

Die Untersuchung wurde im Rahmen des LIMES Projekts (6. Rahmenprogramm der Eu-



**Abb. 1:** Lage des Untersuchungsgebietes (rot), Stichproben zur Ermittlung der Verteilungswichtung der Bevölkerung (orange) und Stichproben zur Evaluierung der Klassifikation (blau).

ropäischen Kommission) durchgeführt. LIMES (Land and Sea Integrated Monitoring for European Security) entwickelt präoperationelle Dienste in den Bereichen der maritimen und terrestrischen Sicherheit sowie der humanitären Hilfe. Die Studie erfolgte in Zusammenhang mit dem regelmäßig innerhalb des Europäischen Gemeinschaftsverfahrens (European Community Mechanism) stattfindenden Assessment Mission Course (AMC). Der AMC hat zum Ziel Mitarbeiter des europäischen Zivilschutzes sowie der Vereinten Nationen gemeinsam in der Durchführung von ‚Situation assessments‘ zu trainieren (European Virtual Academy 2006). Die Übung erfolgt im Auftrag der Europäischen Kommission und wird derzeit von Technischem Hilfswerk (THW) und Johanniter Unfallhilfe (JUH) organisiert und durchgeführt. Sie findet mehrfach im Jahr im südlichen Teil der Insel Zypern (Republik Zypern) statt. Der Übung liegt ein Erdbebenszenario mit anschließender Tsunamiwelle aus südöstlicher Richtung zugrunde. Das LIMES Cluster für Humanitäre Hilfe & Wiederaufbau, koordiniert vom Zentrum für satellitengestützte Kriseninformation am DLR (ZKI), unterstützt die Übung mit Kartenprodukten. Im Rahmen des AMC im Juni 2008 erstellte das Joint Research Center der Europäischen Kommission als Clusterpartner die im Folgenden näher beschriebenen Bevölkerungskarten. Das Untersuchungsgebiet erstreckt sich von Paphos aus südlich-östlich etwa 35 km entlang der Küste Zyperns und reicht ungefähr 10 km landeinwärts (vgl. Abb. 1).

### 3 Räumliche Modellierung von Bevölkerungszahlen

Bis heute existieren nur wenige sofort verfügbare Bevölkerungskarten. Auf globalem Maßstab ist der Datensatz der Gridded Population of the World (GPW), der unter der Leitung des Center for International Earth Science Information Network (CIESIN) der Columbia Universität in New York erstellt wird (CIESIN 2008), zu nennen. Die räumliche Auflösung beträgt 2,5 Bogenminuten (~ 4,5 km) (DEICHMANN et al. 2001). Basierend auf den Karten von GPW existieren weitere kontinentale Datensätze für Afrika und Asien.

Ein zweiter globaler Datensatz steht mit Landsat™ (Landsat 2008) des Oak Ridge National Laboratory zur Verfügung. Während ein Datensatz für die USA mit etwa 90 m vorliegt, existiert ein globaler Datensatz mit räumlicher Auflösung von 30 Bogensekunden (~ 1 km).

Die Erstellung beider Produkte basiert, wie unten beschrieben, auf unterschiedlichen Ansätzen. Trotz ihrer räumlichen Unschärfe sind beide Datensätze bis heute Hauptquellen für Krisenkartierungen (Rapid Mapping), welche in unmittelbarer Folge von katastrophalen Ereignissen Basisinformationen über die betroffene Region sowie erste Abschätzungen zu Ausmaß und Umfang geben. Es ist augenscheinlich, dass in diesem Zusammenhang, nicht nur in Entwicklungsländern, großer Bedarf an Karten mit genauen Angaben zur räumlichen Verteilung der Bevölkerung herrscht.

Eine traditionelle Form der Bevölkerungskartografie ist die Choroplethendarstellung. Die aus einer amtlichen Statistik hervorgehende Bevölkerungszahl wird homogen verteilt auf Basis einer administrativen Einheit wiedergegeben, ohne dabei naturräumliche Einflüsse zu berücksichtigen. Dieser Darstellungsansatz widerspricht der realen Situation. Aus diesem Grund wurden zahlreiche Methoden entwickelt, um Bevölkerungszahlen räumlich zu interpolieren und zu disaggregieren, um eine genauere Darstellung zu erreichen. Eine Übersicht geben zum Beispiel EICHER & BREWER (2001), WU et al. (2005) und LI et al. (2007).

Die Methoden lassen sich generell in die zwei Hauptgruppen räumliche Interpolation (Areal Interpolation) und statistische Modellierung (Statistical Modelling) unterteilen. Bei der statistischen Modellierung wird die potentielle Bevölkerung für jede Rasterzelle anhand verschiedener, die Bewohnbarkeit dieser Zelle beeinflussender Faktoren ermittelt. Diese Faktoren können zum Beispiel die Nähe einer Siedlung zu Straßen und Wasserflächen oder eine entsprechende Landnutzungsclassse sein (DEICHMANN 1996). Landsat™ folgt diesem Ansatz. Die genaue Erstellungsmethode ist nicht dokumentiert und patentrechtlich geschützt. Aus wissenschaftlichen Veröffentlichungen geht hervor, dass Zensusangaben

mittels statistischer Wahrscheinlichkeitskoeffizienten, wie beispielsweise der Nähe zu Straßen, Hangneigung und Lichtquellen zur Nachtzeit (Nighttime lights), disaggregiert werden (DOBSON et al. 2000).

Methoden der räumlichen Interpolation bezeichnen Verfahren, vorhandene Daten aus Volkszählungen aus einer räumlichen Einheit (z. B. administrative Grenzen) in eine andere zu überführen (z. B. Landnutzungs-kategorie „Siedlung“) und damit zu verfeinern. GPW folgt dieser Methode. Mittels sogenanntem Areal weighting erfolgt die Transformation von Bevölkerungsdaten unter Berücksichtigung von administrativen Einheiten in eine Grid-Form, bei gleichzeitiger Annahme einer gleichmäßigen Bevölkerungsverteilung innerhalb jeder Gridzelle.

Bei der Berücksichtigung und Integration ergänzender Informationen, wie zum Beispiel Landnutzung, Topografie oder Infrastruktur, spricht man auch vom dasymetric mapping. Beim Binary dasymetric mapping (LANGFORD & UNWINN 1994, MENNIS 2003, HOLT 2004) wird eine binäre Landnutzungs-klassifikation (besiedelter – nicht besiedelter Raum) erstellt und die Bevölkerungszahlen entsprechend allokiert.

Erweiterungen zum binären Ansatz stellen das three-class dasymetric mapping sowie die limiting variable Methode dar (EICHER & BREWER 2001, MENNIS 2003). Beim three-class dasymetric mapping werden die Bevölkerungszahlen entsprechend vorher festgelegter Gewichtungen auf die verschiedenen Landnutzungs-klassen verteilt. Bei der limiting variable Methode werden maximale Bevölkerungsdichten für jede Landnutzungs-kategorie vordefiniert (EICHER & BREWER 2001). Werden nach Verteilung der Bevölkerungszahlen einzelne Dichtewerte überschritten, wird für die Klasse der zuvor definierte Wert festgelegt. Die überschüssigen Werte werden gleichmäßig auf alle verbleibenden Landnutzungs-klassen verteilt. Nachteil beider Verfahren ist, dass Gewichtungen und vordefinierte Bevölkerungsdichten auf Expertenwissen basieren und damit subjektiv sind. Verschiedene Studien beschäftigen sich mit der Ermittlung von Genauigkeiten und Vergleichen der einzelnen Methoden (LI et al. 2007, EICHER & BREWER 2001, MENNIS & HULTGREN 2006). Dabei werden unterschiedliche Ergebnisse erzielt.

Für alle genannten Methoden ist die Fernerkundung eine wichtige Quelle zur Ableitung relevanter Parameter. So verwendet MENNIS (2003) aus Fernerkundung ermittelte Bebauungsdichten zur gewichteten Verteilung der Bevölkerungszahlen. HOLT et al. (2004) bestimmen urbanisierte Räume mittels Landnutzungs-klassifikation und verwenden diese als Zusatzinformation beim dasymetric mapping. Hangneigung und Landnutzung sind bei SCHNEIDERBAUER & EHRLICH (2005) sowie MUBAREKA et al. (2008) Parameter zur Wichtung der Bevölkerungszahlen. SUTTON et al. (1997) analysieren den Zusammenhang von Lichtquellen zur Nachtzeit und der Bevölkerungsdichte in den USA. CHEN (1998) analysiert die Korrelation von Zensus und Wohngebietsdichten, welche er aus einer kombinierten Texturanalyse und Landnutzungs-klassifikation ableitet. Anhand eines Regressionsmodells untersucht HARVEY (2002) den Zusammenhang von Spektralwerten einzelner Pixel und Bevölkerungszahlen.

Die in dieser Studie entwickelte Methode basiert auf dem Ansatz des Binary dasymetric mapping. Die im ersten Bearbeitungsschritt ermittelten Ergebnisse werden iterativ verfeinert, dem Ansatz des three-class dasymetric mapping folgend. Dabei wird jedoch auf eine Landnutzungs-klassifizierung als Eingangsparemeter verzichtet und stattdessen auf Straßendaten zurückgegriffen, einer Methode, die bereits von XIE (1995) und REIBEL & BUFALINO (2005) untersucht wurde.

## 4 Daten und Methoden

Von der Internetseite des Statistischen Service‘ Zyperns wurde ein Bericht mit Angaben zur Bevölkerung pro Gemeinde im Jahr 2001 heruntergeladen (Statistical Service of the Republic of Cyprus 2001). Es wurden keine weiteren Projektionen durchgeführt, um Bevölkerungszahlen für das Jahr 2008 zu ermitteln. Die NUTS Datenbank (Nomenclature of Territorial Units for Statistics) bietet einen Datensatz mit administrativen Grenzen (mit unterschiedlicher Detailschärfe der Länder) der EU-Mitgliedsstaaten an (Eurostat 2008). Für Zypern liegen jedoch nur Grenzen auf Distriktebene vor. Innerhalb des begrenzt zur Ver-

fügung stehenden Zeitraums während der AMC Übung konnte keine Karte mit Gemeindegrenzen generiert werden, so dass auf eine im Internet recherchierte, aber nicht georeferenzierte Kartendarstellung mit Grenzlinien zurückgegriffen wurde. Für die weitere Prozessierung kamen Daten des GEOnet Names Server (GNS) der US National Geospatial-Intelligence Agency's (NGA) zum Einsatz (NGA 2008). Grundlage zur Ableitung einer Maske der bebauten Fläche war eine multispektrale sowie pachchromatische Quickbird Szene von 2008, die zur Erstellung detaillierter Kriseninformationsprodukte im Kontext des AMC akquiriert wurde. Quickbird verfügt über eine räumliche Auflösung von 0,61 m im

Pan-Kanal und 2,44 m in den vier multispektralen Kanälen (R-G-B-NIR). Zur weiteren iterativen Interpolation stand ein Straßenlayer aus OpenStreetmap (OSM) zur Verfügung.

Die Datenprozessierung erfolgte in vier Hauptschritten (siehe Abb. 2):

- Erstellung einer Maske ‚bebaute Fläche‘
- Erstellung des Vektorlayers ‚Gemeindegrenzen‘ und Integration der Bevölkerungsdaten
- Räumliche Interpolation zur Übertragung der Bevölkerungsdaten in die Bebauungsmaske
- Iterative Verbesserung der Bevölkerungsdaten mittels Straßendaten

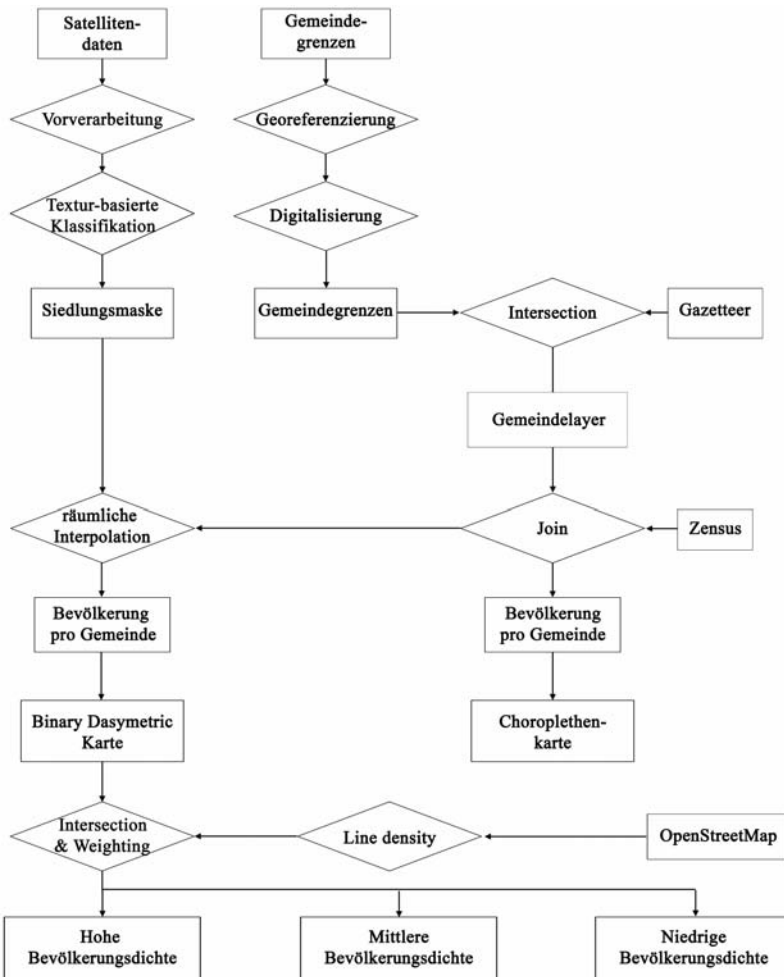
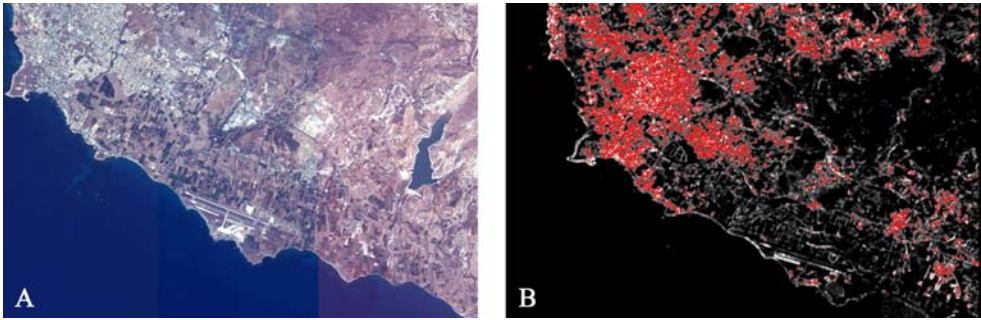


Abb. 2: Abfolge der Prozessierungsschritte.



**Abb. 3:** Quickbird Bildausschnitt von Paphos und Umgebung (A) (QuickBird Imagery © DigitalGlobe, Inc., 2008. Distributed by Eurimage. (B) Abgeleitete Siedlungsmaske basierend auf dem Texturparameter Kontrast. In Graustufen das Texturbild überlagert mit der Siedlungsmaske, dargestellt als rote Konturen.

Zur Ermittlung einer Maske der bebauten Landfläche wurde das sogenannte Pantex-Verfahren von PESARESI et al. (2008) angewandt. Das Ziel der Methode ist die Ermittlung einer Landnutzungsklasse ‚bebautes Gebiet‘ anhand des Textursignals. Wie in vorangegangenen Studien ermittelt, gilt der Kontrast als effektivster Texturparameter für die Unterscheidung zwischen bebauten und unbebauten Flächen (PESARESI 2000), da Gebäude durch Schattenwurf einen hohen Kontrast zum Umland aufweisen. Das Verfahren ist unabhängig von der Ausrichtung der Gebäude, da die Textur in alle Richtungen um ein Pixel ermittelt und die Resultate in einem Datensatz integriert werden. Daneben ist die Methode auf optische wie auch SAR Daten anwendbar (PESARESI et al. 2008 & GAMBA et al. 2008). In früheren Studien wurde festgestellt, dass die Methode bei Satellitendaten mit einer räumlichen Auflösung von 5 m bereits sehr genaue Ergebnisse liefert (PESARESI 2000).

Nach Vorverarbeitung der Bilddaten (Orthokorrektur) und Anwendung des Algorithmus wurde ein Texturbild erstellt, welches in einem weiteren Schritt mittels Schwellenwertbildung interaktiv angepasst wurde. Die Schwellenwerte wurden dabei so gewählt, dass die resultierende Bebauungsmaske möglichst genau den Siedlungsgebieten im Satellitenbild entsprach. Das resultierende Binärbild repräsentiert die beiden Klassen bebautes und unbebautes Gebiet (vgl. Abb. 3). Darauf folgte eine visuelle Kontrolle der Ergebnisse.

Die aus dem Internet heruntergeladene Karte mit Gemeindegrenzen wurde mittels Google Earth georeferenziert und auf dieser Basis die dargestellten Gemeindegrenzen digitalisiert. Da die Karte keinerlei Gemeindegrenzen oder Indizes aufwies erfolgte eine Verschneidung mit Punktdaten des GNS. Durch Vergleich mit Gemeindegrenzen im Zensus konnten die entsprechenden Gemeindegebiete lokalisiert werden. Die Verknüpfung der Tabellen von Gemeindegrenzen und Zensusdaten mittels JOIN ermöglichte die Ermittlung von Bevölkerungszahlen pro Gemeinde. Das Ergebnis war eine Choroplethenkarte mit Anzahl der Bevölkerung pro Gemeinde (siehe Abb. 4 A).

Für den Prozess des dasymmetric mapping wurden die Bevölkerungszahlen auf die Maske der bebauten Flächen interpoliert. Dies erfolgt auf Basis folgender Gleichung (LI et al. 2007):

$$P_t = \sum_{s=1}^s \frac{A_{tsp} \times P_s}{A_p} \quad (1)$$

wobei  $P_t$  die geschätzte Bevölkerungsgröße innerhalb der Bebauungsmaske darstellt,

$A_{tsp}$  ist der Überlappungsbereich zwischen Ausgangszone (Gemeindegrenzen) und der Bebauungsmaske,

$A_{sp}$  stellt die Fläche der Ausgangszone dar (Gemeindegrenzen),

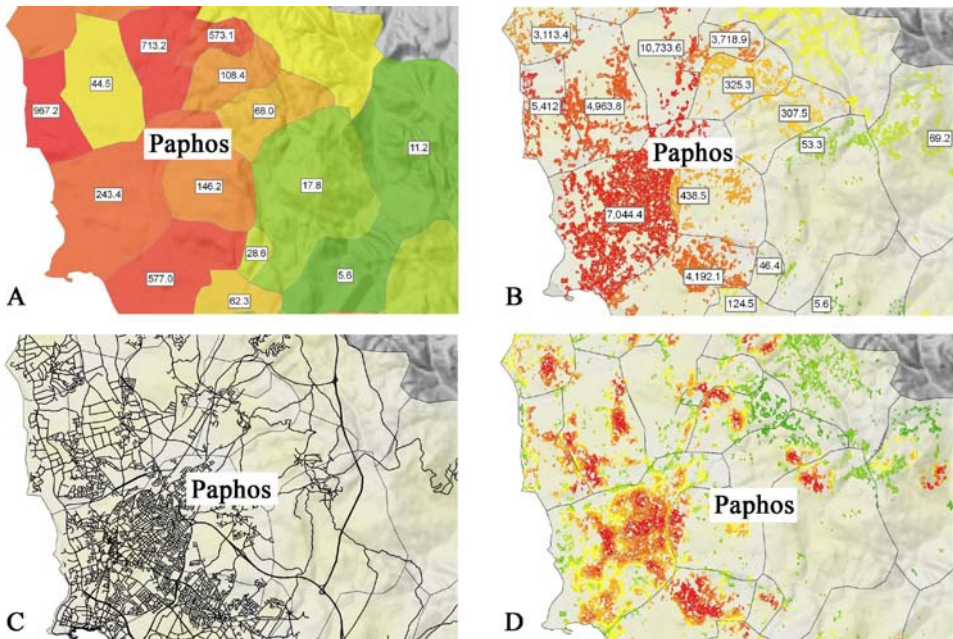
$P_s$  ist die Anzahl der Bevölkerung in der Ausgangszone.

Das Ergebnis des binary dasymetric mapping ergibt eine, im Vergleich zu Choroplethenkarten, verbesserte Darstellung der Bevölkerungsverteilung, da der besiedelbare Raum auf die tatsächlich bebaute Fläche eingeschränkt wird (vgl. Abb. 4 A und 4 B). Dennoch erfolgt die Verteilung von Bevölkerungszahlen auch beim binary dasymetric mapping homogen auf die vorhandene Fläche. Regionen mit unterschiedlichen Bebauungsdichten werden nicht berücksichtigt.

Wie oben erwähnt, erfolgt beim three-class dasymetric mapping eine gewichtete Verteilung der Bevölkerungszahlen abhängig von der Landnutzungsklasse. Die Erstellung einer genauen Landnutzungsklassifikation ist zeitaufwendig und erfordert Geländeinformationen. Im Kontext der Katastrophenhilfe sind dies einschränkende Faktoren. Aus diesem Grund erfolgte eine gewichtete Verteilung der Bevölkerungszahlen anhand von Straßendaten. In Anlehnung an die Wichtung nach Landnutzung wurde davon ausgegangen, dass Zonen hoher Straßendichte, Gebieten mit ho-

her Besiedlungsdichte und damit auch Bevölkerungsdichte entsprechen (Xie 1995; Reibel & Bufalino 2005; Xuegang et al. 2007). Nach Analyse des Straßenlayers wurden Fahrrad- und Feldwege, Fußpfade und Autobahnen von der Berechnung ausgenommen.

Die Dichteberechnung der Straßenvektoren erfolgte in ArcGIS, getrennt für jede Gemeinde. Dabei werden die Linien und Liniensegmente in einem Radius um jede Rasterzelle ermittelt, addiert und durch die Kreisfläche dividiert. Die ermittelten Dichtelayer wurden für jede Gemeinde bei einheitlicher Klassenbreite in fünf Klassen geteilt und ins Vektorformat transformiert. Die Verknüpfung der Straßendichteklassen mit der Bebauungsmaske erfolgte in einem weiteren Schritt durch geometrische Verschneidung. Für die Wichtung der Bevölkerungszahlen pro Dichteklasse stehen unterschiedliche Methoden zur Verfügung. EICHER & BREWER (2001) wenden beim three-class dasymetric mapping einen rein subjektiven Verteilungsschlüssel an. XIE (1995) erstellt eine Wichtungsmatrix basie-



**Abb. 4:** Ausschnitte der Ergebniskarten (13 km × 9 km). A: Choroplethkarte mit Bevölkerungsdichte; B: Dasymetrische Karte mit Bevölkerungsdichte; C: OpenStreetMap Karte; D: Qualitative Darstellung – wie B mit gewichteten Bevölkerungsdichten entsprechend abgeleiteter Straßendichten aus C. Für A, B, und D gilt: grün: niedrige Bevölkerungsdichte, gelb: mittlere Bevölkerungsdichte, rot: hohe Bevölkerungsdichte.



**Tab. 1:** Verteilungsschlüssel der Bevölkerungszahlen.

Straßendichte	Anzahl der Wohngebäude										Gesamt	
	niedrig		mittel – niedrig		mittel		hoch – mittel		hoch			
	Σ	%	Σ	%	Σ	%	Σ	%	Σ	%	Σ	%
Zone 1 / ländlich	11	3,37	60	18,4	56	17,18	92	28,22	102	32,82	362	100
Zone 2 / ländlich – urban	–	–	85	10,64	87	10,89	211	26,41	416	52,07	799	100
Zone 3 / urban	34	5,29	53	8,24	60	9,33	152	23,64	344	53,3	643	100
Mittelwerte	15	2,88	66	12,4	67,6	12,5	151,6	26,09	289	46,1	589,3	100
Finale Verteilung [%]	3		12		15		25		45		100	

rend auf Straßenklassen (Hauptstraße, Nebenstraße, Feldweg, etc.). Im vorliegenden Fall wurde der Verteilungsschlüssel anhand der Anzahl von Wohngebäuden pro Dichtezone ermittelt. Dafür wurden in drei Testgebieten (urbane Zone, Übergangszone urban-ländlich, ländliche Zone) von 1 km<sup>2</sup> Größe (siehe Abb. 1) alle Gebäude visuell interpretiert und im GIS mittels Punkt markiert. Häuser, die offensichtlich in industrieller oder wirtschaftlicher Nutzung sind, wurden nicht erfasst. In einem weiteren Schritt wurde die Anzahl der Gebäude pro Straßendichteklasse festgestellt und daraus deren prozentualer Anteil an der Gesamtfläche errechnet. Aus den Ergebnissen der drei Testgebiete wurde ein gerundeter Mittelwert als finaler Verteilungsschlüssel angewandt. Daraufhin erfolgte die erneute Berechnung der Bevölkerungszahlen. Tab. 1 zeigt den gewählten Verteilungsschlüssel von Bevölkerungszahlen zu Straßendichten. Aufgelistet werden die Anzahl der Wohngebäude pro Straßendichtezone in den drei Testgebieten sowie deren prozentualer Anteil an der Gesamtfläche. Die resultierenden Mittelwerte wurden gerundet.

## 5 Ergebnisse

Als Ergebnis wurde eine Karte der Bevölkerungsverteilung an der Südwestküste Zyperns erstellt. Durch Anwendung einer Texturanalyse konnte die Landnutzungsklasse „bebautes

Gebiet“ abgeleitet werden (vgl. Abb. 3 B). In einem weiteren Schritt wurde ein Vektordatensatz mit Gemeindegrenzen generiert und über eine Verschneidung mit den Gazetteer-Daten des GNS den entsprechenden Gemeinden zugeordnet. Mit Ausnahme von drei Gemeinden konnte allen Orten erfolgreich eine entsprechende Bevölkerungszahl zugewiesen werden, welche anschließend auf die Landnutzungsklasse „bebautes Gebiet“ interpoliert wurde. Anhand von Straßendaten wurden Dichteklassen errechnet, die als Basis für eine weitere, gewichtete Verteilung der Bevölkerungszahlen dienen (vgl. Abb. 4 C und 4 D). Der Verteilungsschlüssel für die Bevölkerungszahlen erfolgte durch die Ermittlung des prozentualen Anteils von Wohngebäuden je Straßendichteklasse.

### 5.1 Genauigkeitsanalyse der Siedlungsklassifikation

Eine visuelle Kontrolle der Bebauungsmaske ergab, dass aufgrund ihres hohen Kontrastes einige landwirtschaftlich genutzte Flächen der Siedlungsklasse zugeordnet wurden. Diese wurden manuell korrigiert. Anhand von drei Stichproben wurde die Klassifikationsgenauigkeit der texturbasierten Bebauungsmasken evaluiert (siehe Abb. 1).

Dazu wurden auf Basis des Satellitenbildes alle Gebäudegrundrisse digitalisiert. Da das

**Tab. 2:** Fehler der texturbasierten Siedlungsklassifikation für drei Kontrollgebiete (BB – bebautes Gebiet, UB – unbebautes Gebiet).

Fehler	BB		UB	
	Commission (%)	Omission (%)	Commission (%)	Omission (%)
ländlich	10,25	29,85	5,3	1,48
ländlich/ urban	17,5	27,59	5,04	2,87
urban	23,01	3,28	4,3	28,36
gesamt	20,38	13,15	5,01	8,2

**Tab. 3:** Klassifikationsgenauigkeit für drei Kontrollgebiete (BB – bebautes Gebiet, UB – unbebautes Gebiet).

Genauigkeit	BB		UB	
	Producer (%)	Consumer (%)	Producer (%)	Consumer (%)
ländlich	70,15	89,75	94,7	98,52
ländlich/ urban	72,41	82,5	97,13	94,96
urban	96,72	76,99	71,64	95,7
gesamt	86,85	79,62	91,8	94,99

Texturbild auch Straßen und offene Plätze beinhaltet, wurden die Gebäudegrenzen im GIS mit einem Puffer von 5 m, der empirisch anhand des Satellitenbildes definiert wurde, versehen, um auch diese versiegelten Flächen im Referenzlayer zu erfassen. Zwei der drei jeweils 1 km<sup>2</sup> großen Referenzgebiete liegen im ländlichen und urbanen Raum. Eine weitere im urban-ländlichen Übergangsraum. Tab. 2 und 3 zeigen die Ergebnisse der Genauigkeitsanalyse.

Die Tab. 2 und 3 geben einen detaillierten Überblick über Omission- und Commissionsfehler sowie über die Produzenten- und Konsumentengenauigkeit. Die Genauigkeit der texturbasierten Siedlungsklassifikation steigt vom ländlichen zum urban Gebiet. Während im ländlichen und urban-ländlichen Bereich 70,15% und 72,41% des bebauten Gebietes richtig klassifiziert wurden, steigt der Wert im urbanen Raum auf 96,72% an. Die Konsumentengenauigkeit sinkt gleichzeitig von 89,75% auf 76,99%. Die Ergebnisse spiegeln sich auch in den Werten von Commission- und Omissionsfehlern wieder. Während im ländlichen Bereich 10,25% fehlerhaft als bebautes Gebiet erfasst wurde, steigt der Fehler auf 17,5% im urban-ländlichen beziehungsweise

23,01% im urbanen Gebiet an. Der Omissionsfehler sinkt gleichzeitig von 29,85% (ländlich) und 27,59% (urban-ländlich) auf 3,28% im urbanen Gebiet an. Die Fehler und Genauigkeiten der unbebauten Flächen verhalten sich entsprechend gegenläufig.

Wie oben beschrieben erfasst die Pantex-Methode Bildbereiche mit hohem Kontrast. Dabei werden auch versiegelte Flächen wie Straßen und offene Plätze erfasst. Der Referenzlayer hingegen repräsentiert zunächst nur die Gebäudeumrisse. Obwohl diese gepuffert wurden, um auch Flächen um die Gebäude herum zu erfassen, scheint der Puffer vor allem in ländlichen Gebieten nicht ausreichend. Dies drückt sich in einem erhöhten Omissionsfehler aus. Gleichzeitig werden im urbanen Bereich 23,01% des Gebietes zu viel klassifiziert. Eine Evaluierung verschiedener Puffergrößen erscheint in diesem Zusammenhang angebracht.

Die Gesamtgenauigkeit (Overall accuracy) aller drei Stichproben beträgt 90,46% bei einem Kappakoeffizienten von 0,76. Die aufgeführten Fehlerwerte und Genauigkeiten müssen bei der Evaluierung der Bevölkerungsdichten berücksichtigt werden. Während ein hoher Omissionsfehler im ländlichen Gebiet

die Bevölkerungsdichte erhöht, bewirkt ein hoher Commission-Fehler im urbanen Raum eine niedrigere Bevölkerungsdichte.

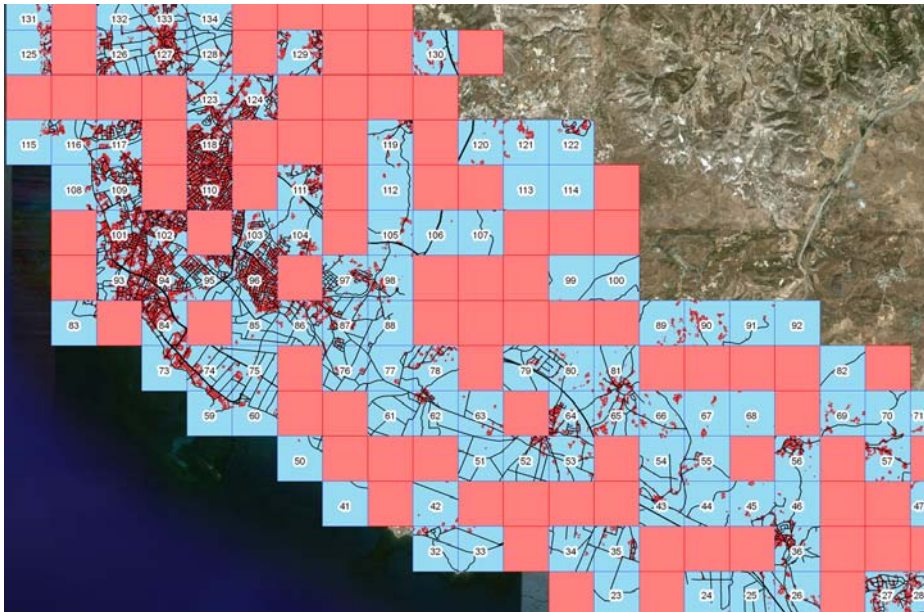
## 5.2 Genauigkeitsanalyse der Bevölkerungsverteilung

Zur Validierung der gewichteten Bevölkerungsverteilung sind Bevölkerungszahlen auf Ebene von Stadtvierteln oder Gebäudeblocks notwendig, die für diese Studie nicht verfügbar waren. Auch in hoch entwickelten Ländern sind diese nicht ohne weiteres von öffentlicher Hand erhältlich, denn Volkszählungen werden grundsätzlich aggregiert veröffentlicht.

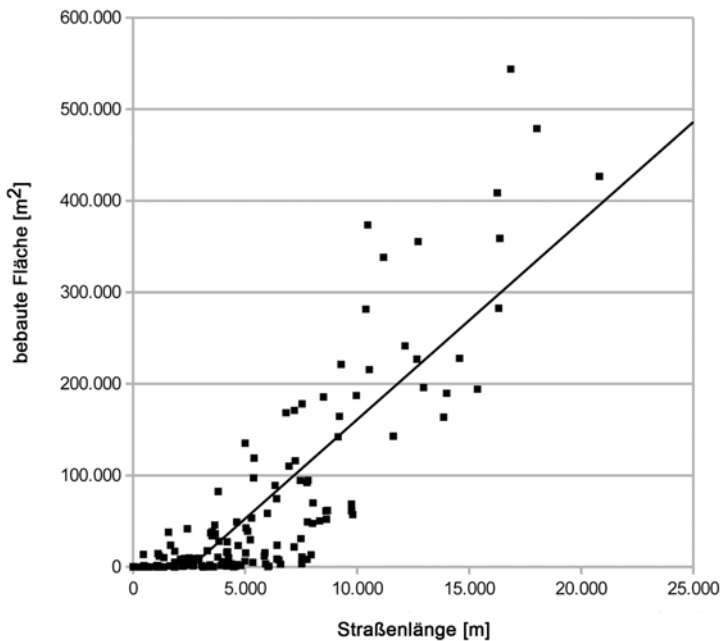
Ein Versuch, die Bevölkerungsverteilung anhand der Anzahl der Gebäude pro Straßendichteklasse und der durchschnittlichen Haushaltsgröße zu ermitteln, welche als statistische Größe veröffentlicht wird (Distrikt Paphos im Jahr 2007: 3,13 Personen in urbanen Gebieten, 2,7 in ländlichen Gebieten; Statistical Service of the Republic of Cyprus 2009), scheitert an der fehlenden Information über Anzahl der Haushalte pro Gebäude. Diese zusammen mit Informationen zur Gebäudenutzung sowie der

Gebäudehöhe, welche aus Stereo-Satellitendaten abgeleitet werden kann, ermöglichte eine entsprechende Abschätzung (ECKERT & ZEUG 2009).

Aus diesem Grund erfolgte zunächst eine visuelle Kontrolle der Straßendichtezonen mit den Siedlungsstrukturen im Satellitenbild. Diese zeigt, dass dicht bebaute Gebiete auch eine erhöhte Straßendichte aufweisen. Lässt man die unterschiedliche Gebäudenutzung außer Acht, wird damit die Annahme gestützt, dass eine hohe Straßendichte Gebieten mit hoher Bevölkerungsdichte entsprechen (XIE 1995; REIBEL & BUFALINO 2005). Zur Stützung dieser Aussage wurde eine quantitative Analyse durchgeführt. Dafür wurde das gesamte Untersuchungsgebiet in 277, je 1 km × 1 km große Quadrate unterteilt. Für 150 dieser Quadrate wurden dann sowohl die bebaute Fläche als auch die Länge der Straßensegmente ermittelt und miteinander korreliert. Mit einem *Pearson R<sup>2</sup>* von 0,83 wird eine hohe positive Korrelation erreicht. Abb. 5 zeigt einen Ausschnitt des selektierten 1 km × 1 km Gitters, überlagert mit Straßenabschnitten und den bebauten Flächen. Abb. 6 zeigt den zugehörigen Scatterplot mit der Straßenlänge als Abszisse



**Abb. 5:** Korrelation von bebauter Fläche und Straßenlänge. Rose: 1 km × 1 km Grid des Untersuchungsgebietes (Ausschnitt), blau: 150 zufällig ausgewählte Teilflächen des Grid. dunkelrot: bebautes Gebiet, schwarz: Straßenabschnitte.



**Abb. 6:** Scatterplot der korrelierten Straßenlängen (Abszisse) und Flächen der bebauten Gebiete (Ordinate).

und der Fläche der bebauten Gebiete als Ordinate.

## 6 Diskussion

Im Zusammenhang mit Krisenkartierungen stehen für zahlreiche Regionen der Erde nur globale Datensätze mit groben räumlichen Auflösungen zur Verfügung. Die vorgestellte Methode bietet die Möglichkeit, hoch aufgelöste Bevölkerungskarten zu erstellen. Dafür kommen Satellitenbilddaten und Straßendaten zum Einsatz. In einem ersten Schritt werden Bevölkerungskarten mittels binary dasymetric mapping erstellt. Dafür werden durch Texturanalyse die bebauten Flächen aus dem Satellitenbild abgeleitet. Die Bevölkerungsdaten des Zensus werden unter Zuhilfenahme von administrativen Grenzen auf die ermittelten Siedlungsflächen interpoliert. In einem zweiten Schritt werden, basierend auf Straßenvektoren, mehrere Straßendichtezonen ermittelt. Anhand eines empirischen Verteilungsschlüssels erfolgt eine erneute Interpolation der Bevölkerungsdaten.

Das vorgestellte Verfahren zur Ableitung der Siedlungsmaske benötigt hochauflösende Satellitenbilddaten von mindestens 5 m Bodenauflösung (PESARESI 2000). Der Einsatz von Fernerkundungsdaten im Krisenmanagement ist heute keine Seltenheit mehr. Zahlreiche Initiativen und Projekte existieren, in deren Rahmen hochauflösende Satellitenbilder zur Erstellung von Krisenkartierungen verfügbar gemacht und eingesetzt werden. Als Beispiele sind zu nennen die International Charter for Major Disasters, einem Zusammenschluss nationaler und internationaler Raumfahrtbehörden, die sich zum Ziel gesetzt haben, Fernerkundungsdaten zur Unterstützung des Krisenmanagements nach Katastrophenereignissen verfügbar zu machen. Daneben existieren Projekte (z. B. ESA-GSE *Respond* und EU-FP7 *Safer*) im Rahmen des Global Monitoring for Environment and Security Projektes der Europäischen Union (GMES), die alle Phasen des Krisenmanagements mit Karten und Satellitenbildmaterial unterstützen.

Neben der räumlichen Auflösung besteht die Anforderung, dass die Satellitenbilder möglichst zeitnah zum Katastrophenereignis

aufgenommen wurden. Dies ist jedoch nicht immer möglich und oftmals kann nur auf ältere Archivdaten zurückgegriffen werden. In diesem Zusammenhang ist auch zu erwähnen, dass das Aufnahmedatum des Bildmaterials und das Erhebungsdatum des Zensus' möglichst zeitnah beieinander liegen sollten. Da Volkszählungen jedoch gewöhnlich nur zehnjährig durchgeführt werden, müssen bei weit zurückliegenden Erhebungen interpolierte Bevölkerungsschätzungen herangezogen werden.

Die Verfügbarkeit eines detaillierten Straßenlayers stellt einen limitierenden Faktor, vor allem für den Einsatz in Entwicklungsländern, dar. Kommerzielle Datenprovider bieten für zahlreiche Länder Straßendaten an. Auf weniger entwickelte Länder trifft dies allerdings nur sehr bedingt zu. Die Verfügbarkeit ist dabei nicht nur für ländliche Gebiete, sondern z. B. auch für Slums in Städten und Megacities eingeschränkt. Initiativen wie OpenStreetMap, in welcher Geodaten von Freiwilligen erhoben und frei verfügbar gemacht werden, sind für Entwicklungsländer ebenfalls nur limitiert vorhanden. Daneben kann die Qualität der Daten nicht garantiert werden. Die Wiki-typische Erfassung von OpenStreetMap gewährleistet jedoch eine Kontrolle und Korrektur durch die Nutzergemeinde. Für Regionen ohne Straßendaten könnte der im ersten Bearbeitungsschritt vorgestellte binary dasymmetric mapping Ansatz eine Alternative darstellen (ZEUG et al. 2009).

Neben der mangelnden Verfügbarkeit von Straßendaten müssen auch Unterschiede in den Siedlungsstrukturen berücksichtigt werden. In ländlichen Gebieten existieren oft wenig zusammenhängende Streusiedlungen. In einer zukünftigen Studie müsste deshalb untersucht werden, ob die vorgeschlagene Texturanalyse die bebauten Gebiete zufriedenstellend ermitteln kann.

Der Vorschlag Straßendichten als Zusatzinformation zur Interpolation von Bevölkerungsdaten zu verwenden ist nicht neu. Bei deren Verwendung ist zu berücksichtigen, dass hohe Straßendichten zum Beispiel auch durch kurve Straßen hervorgerufen werden können, da durch einen solchen Straßenverlauf die Länge der Liniensegmente im Suchradius um die Rasterzelle erhöht wird. Diese

Einschränkung wird dadurch gemildert, dass die vorgestellte Methode nur Straßendichtezonen berücksichtigt, die mit der Klasse ‚bebautes Gebiet‘ zusammenfallen.

Ein spezifisches Problem der vorliegenden Studie war, dass keine Informationen zur Validierung der gewichteten Bevölkerungsverteilung verfügbar waren. Dafür wären Bevölkerungszahlen auf Ebene von Stadtvierteln oder Gemarkungen notwendig. Diese Zahlen sind auch in entwickelten Ländern nicht ohne weiteres erhältlich. In Deutschland könnten Quellen für solche Information zum Beispiel private Adressanbieter sein, die über hoch genaue Bevölkerungsprofile verfügen und diese kommerziell vertreiben. Für die vorliegende Studie waren solche Daten nicht vorhanden. Der vorgeschlagene Verteilungsschlüssel basiert auf der Anzahl von Gebäuden pro Dichteklasse und deren prozentualer Anteil an der betrachteten Gesamtfläche. Dabei ist die unterschiedliche Gebäudenutzung zu berücksichtigen. Industriell und wirtschaftlich genutzte Gebäude scheiden als Wohngebiet aus und müssen von der Erstellung des Verteilungsschlüssels ausgeschlossen werden. Eine Landnutzungsklassifizierung kann hier Abhilfe schaffen. Daneben beeinflussen die Gebäudegröße und Gebäudehöhe den möglichen Wohnraum und die Anzahl der möglichen Haushalte pro Wohngebäude. Für eine Optimierung des Verteilungsschlüssels müsste auch diese Information berücksichtigt werden. Eine Ableitung beider Parameter wäre auf Basis von Stereo-Satellitendaten möglich. Durch deren aufwendige Prozessierung und deren geringe Verfügbarkeit im Zusammenhang mit Krisenkartierungen wird dies jedoch auch in Zukunft einen limitierenden Faktor darstellen. Dennoch konnte gezeigt werden, dass Straßenlängen und bebaute Flächen eine hohe Korrelation aufweisen. Es muss auch festgehalten werden, dass sich bei Änderungen der Bevölkerungsverteilung die Gesamtzahl der Bevölkerung innerhalb der kleinsten untersuchten administrativen Einheit nicht ändert, sondern immer der Größe des Zensus entspricht.

Neben den oben bereits genannten Faktoren wie Landnutzungsklassifizierung und Gebäudehöhen muss in einem erweiterten Ansatz die Entwicklung der Bevölkerungszahlen seit

ihrer Erhebung berücksichtigt werden. Daneben kann der Faktor Zeit weitere wichtige Informationen zur Verteilung der Bevölkerung geben. Diese ist stark abhängig von Tages- und Nachtzeit, denn Menschen pendeln gewöhnlich zwischen Wohn- und Arbeitsplatz. Auch die unterschiedliche Jahreszeit kann von Bedeutung sein. So enthält der Zensusbericht für Zypern Angaben zur Bevölkerung mit permanentem und temporärem Wohnsitz. In einer stark touristisch orientierten Region wie die Südwestküste Zyperns kann dies im Krisenfall wertvolle Zusatzinformation sein, denn in der touristischen Hauptsaison ist mit mehr Menschen zu rechnen, als in der Nebensaison.

Mit der vorliegenden Studie konnte gezeigt werden, dass auch unter den zeitlich engen Rahmenbedingungen der AMC Übung von einer Woche, Bevölkerungskarten kurzfristig erstellt werden können. Die neu entwickelte Methode, basierend auf höchst aufgelösten Satelliten- und Straßendaten und unter Anwendung und in Anlehnung an verschiedene dasy-metric mapping Methoden, zeichnet sich durch höhere Genauigkeit aus, als gängige globale Datensätze. Die aufgeführten globalen Datensätze GPW und Landscan™ sowie der hier vorgestellte Ansatz basieren auf unterschiedlichen Erstellungsmethoden. Eine höhere Genauigkeit wird durch die höhere räumliche Auflösung erreicht, die in erster Linie von den eingesetzten Satellitendaten abhängig ist. Während beim GPW-Produkt die Bevölkerungszahlen räumlich in Gridzellen transformiert werden und dabei keinerlei Zusatzinformation wie zum Beispiel der Landnutzung berücksichtigt werden, reduziert die vorgestellte Methode den möglichen Siedlungsraum nur auf bebaute Gebiete. Dadurch wird die Aussagekraft der errechneten Bevölkerungsdichten erhöht. Der statistische Modellierungsansatz von Landscan™ basiert auf unveröffentlichten Regelsätzen, welche die Bevölkerungsverteilung an naturräumliche und sozioökonomische Faktoren binden, ohne dass deren Allgemeingültigkeit bewiesen ist. Im Vergleich zu globalen Datensätzen bietet die Methode auch die Möglichkeit, die Bevölkerungskarten schnell upzudaten und dabei jeweils die letzten verfügbaren Bevölkerungsdaten der nationalen statistischen Behörden

einzusetzen. Damit bietet sie die Möglichkeit, Katastrophenhilfe besser zu planen und den betroffenen Menschen geeignete Hilfe gezielter zukommen zu lassen.

## Literatur

- CENTER FOR INTERNATIONAL EARTH SCIENCE INFORMATION NETWORK (CIESIN), COLUMBIA UNIVERSITY & CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL (CIAT), 2005: Gridded Population of the World Version 3 (GPWv3). – Palisades, NY: Socioeconomic Data and Applications Center (SEDAC), Columbia University. [sedac.ciesin.columbia.edu/gpw](http://sedac.ciesin.columbia.edu/gpw) – 11.08.2009.
- CHEN, K., 1998: Correlation between census dwelling data and remotely sensed data. – 10th Annual Colloquium of the Spatial Information Research Center, University of Otago, Dunedin, New Zealand.
- DEICHMANN, U., 1996: A review of spatial population database design and modeling. – Technical Report 96-3. National Center for Geographic Information and Analysis. Santa Barbara.
- DEICHMANN, U., BALK, D. & YETMAN, G., 2001: Transforming population data for interdisciplinary usages: from census to grid. – Documentation for GPW Version 2. [sedac.ciesin.columbia.edu/plue/gpw/GPWdocumentation.pdf](http://sedac.ciesin.columbia.edu/plue/gpw/GPWdocumentation.pdf) – 23.12.2008.
- DOBSON, J.E., BRIGHT, E.A., COLEMAN, P.R., DURFEE, R.C. & WORLEY, B.A., 2000: LandScan: a global population database for estimating populations at risk. – Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 66 (7): 849–857.
- ECKERT, S. & ZEUG, G., 2009: Assessing Tsunami Vulnerability in Alexandria, Egypt by using optical VHR satellite data. – 33rd ISPRS Conference, Stresa, Italy.
- EHRlich, D., 2003: Population density and dynamics. Population issues and datasets of significance to aid and development policies of the European Union. – European Commission Joint Research Center. Technical Note. I.03.121.
- EICHER, C.L. & BREWER, C.A., 2001: Dasy-metric mapping and areal interpolation: Implementation and evaluation. – Cartography and Geographic Information Science 28 (2): 125–138.
- EUROPEAN VIRTUAL ACADEMY, 2006: Basic Information on the Assessment Mission Course (AMC). – Republic of Cyprus. [www.evane-network.net/download/documents/brochures/Info\\_AMC.pdf](http://www.evane-network.net/download/documents/brochures/Info_AMC.pdf) – 27.12.2008.
- EUROSTAT GISCO, Geographic Information System of the European Commission. – [epp.eurostat](http://epp.eurostat).

- ec.europa.eu/portal/page\_pageid=2254,6214887\_6,2254\_62153824&\_dad=portal&\_schema=PORTAL – 28.12.2008.
- GAMBA, P., PESARESI, M., MOLCH K., GERHARDINGER, A., LISINI, G., 2008: Anisotropic rotation invariant built-up present index: applications to SAR data. – IEEE International Geoscience & Remote Sensing Symposium.
- HARVEY, J.T., 2002: Population estimation models based on individual TM pixels. – Photogrammetric Engineering and Remote Sensing **68** (11): 1181–1192.
- HOLT, J., LO, C.P. & HODLER, T.W., 2004: Dasy-metric estimation of population density and areal interpolation of census data. – Cartography and Geographic Information Science **31**: 103–121.
- KAISER, R., SPIEGEL, P.B., HENDERSON, A.K. & GERBER, M.L., 2003: The Application of Geographical Information Systems and Global Positioning Systems in Humanitarian Emergencies: Lessons Learned, Programme Implications and Future Research. – Disasters **27** (7): 127–140.
- LANDSCAN™, GLOBAL POPULATION DATABASE. OAK RIDGE, TN: Oak Ridge National Laboratory. – www.ornl.gov/sci/landscan – 19.12.2008.
- LANGFORD, M. & UNWIN, D.J., 1994: Generating and mapping population density surfaces within a geographical information system. – Cartographic Journal **31** (1): 21–26.
- LI, T., PULLAR, D., CORCORAN, J. & STIMSON, R., 2007: A comparison of spatial disaggregation techniques as applied to population estimation for south East Queensland (SEQ), Australia. – Applied GIS **3** (9): 1–16.
- MENNIS, J., 2003: Generating surface models of population using dasy-metric mapping. – The Professional Geographer **55**: 31–42.
- MENNIS, J. & HULTGREN, T., 2006: Intelligent dasy-metric mapping and its application to areal interpolation. – Cartography and Geographic Information Science **33** (3): 179–194.
- MUBAREKA, S., EHRLICH, D., BONN, F., & KAYITAKIRE, F., 2008: Settlement location and population density estimation in rugged terrain using information derived from Landsat ETM and SRTM data. – International Journal of Remote Sensing **29** (8): 2339–2357.
- NGA Geonet Names Server: earth-info.nga.mil/gns/html/index.html/ – 10.05.2008.
- OPENSTREETMAP: www.openstreetmap.org/ – 19.12.2008.
- PESARESI, M., 2000: Texture analysis for urban pattern recognition using fine-resolution panchromatic satellite imagery. – Geographical & Environmental Modeling **4** (1): 47–67.
- PESARESI, M., GERHARDINGER, A. & KAYITAKIRE, F., 2008: A robust built-up area presence index by anisotropic rotation-invariant textural measure. – IEEE JSTARS **1** (3): 180–192.
- REIBEL, M., & BUFALINO, M.E., 2005: Street-weighted interpolation techniques for demographic count estimation in incompatible zone systems. – Environment and Planning A **37**: 127–139.
- SCHNEIDERBAUER, S., & EHRLICH, D., 2005: Population density estimations for disaster management. Case study rural Zimbabwe. – Geoinformation for Disaster Management. Springer. Berlin.
- STATISTICAL SERVICE OF THE REPUBLIC OF CYPRUS CENSUS, 2001: Population per Municipality. –www.mof.gov.cy – 10.06.2008.
- STATISTICAL SERVICE OF THE REPUBLIC OF CYPRUS CENSUS, 2007: Demographic Report. – www.mof.gov.cy – 21.08.2009.
- SUTTON, P., ROBERTS, D., ELVIDGE, C., & BAUGH, K., 2001: Census from Heaven: an estimate of the global human population using night-time satellite imagery. – International Journal of Remote Sensing **22** (16): 3061–3076.
- WFP – WORLD FOOD PROGRAMME, 2006: Estimating Population Size in Emergencies. – Emergency Needs Assessment Branch.
- WU, S., QIU, X., & WANG, L., 2005: Population estimation methods in GIS and remote sensing: a review. – GIScience & Remote Sensing **42** (1): 58–74.
- XIE, Y., 1995: The overlaid network algorithms for areal interpolation problem. – Computers, Environment and Urban Systems **19** (4): 287–306.
- XUEGANG, C., ZHAOPING, Y. & XIAOLEI, Z., 2007: Study on simulating spatial distribution and varying patterns of Urumqi's population. – Chinese Journal of Population, Resources and Environment **5** (3): 31–36.
- ZEUG, G., KRANZ, O. & ECKERT, S., 2009: Rapid Population Maps for Crisis Response. – Cartography and Geoinformatics for Early Warning and Emergency Management.
- Adressen der Autoren:  
 GUNTER ZEUG, European Commission Joint Research Center (JRC), Institute for the Protection and Security of the Citizen, Global Security and Crisis Management Unit, TP 267, 21027 Ispra (VA), Italien, Tel.: +39-0332-78-6550, Fax: -5154, e-mail: gunter.zeug@jrc.ec.europa.eu  
 OLAF KRANZ, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), Deutsches Fernerkundungsdatentezernum (DFD), Umwelt und Sicherheit (US), Oberpfaffenhofen, 82234 Wessling, Tel.: +49-8153-28-3308, Fax: -1445, e-mail: olaf.kranz@dlr.de
- Manuskript eingereicht: Juni 2009  
 Angenommen: Oktober 2009

## Berichte von Veranstaltungen

### ISPRS Workshop „CMRT09 – City Models, Roads, and Traffic“ vom 3.–4. September 2009 in Paris, Frankreich

Vom 3.–4. September 2009 fand in Paris, Frankreich, der ISPRS Workshop „CMRT09 – Object Extraction for 3D City Models, Road Databases and Traffic Monitoring – Concepts, Algorithms and Evaluation“ statt. Wie bereits bei der gleichnamigen vor vier Jahren in Wien durchgeführten Konferenz (CMRT05) handelte es sich um eine gemeinsame Veranstaltung der ISPRS-Arbeitsgruppen III/4 und III/5. Die Veranstalter U. STILLA (Technische Universität München), F. ROTTENSTEINER (Leibniz Universität Hannover) und N. PAPARODITIS (IGN/MATIS, St. Mandé) hatten zum Einreichen von wissenschaftlichen Beiträgen aufgerufen, die thematisch in das Gebiet der beiden Arbeitsgruppen fallen. Im Einzelnen sind dies „Complex Scene Analysis and 3D Reconstruction“ (WG III/4) sowie „Image Sequence Analysis“ (WG III/5). Wie bei den thematisch verwandten Konferenzen „Photogrammetric Computer Vision“ (PCV02, PCV06) und „Photogrammetric Image Analysis“ (PIA03, PIA07) waren vollständige Manuskripte (full paper) nach ISPRS-Richtlinien einzusenden. Die 60 eingereichten Beiträge

aus 20 Ländern wurden von jeweils zwei bis drei Mitgliedern des Programmkomitees in einer „Double blind“-Begutachtung bewertet. Insgesamt wurden 38 Beiträge von Autoren aus 14 Ländern angenommen, was einer Rückweisungsquote von 37% entspricht. Diese Auswahl trug nicht zuletzt auch zur hohen wissenschaftlichen Qualität der Konferenz bei. Die akzeptierten Beiträge wurden in den *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences (IAPRS), Volume 38, Part 3/W4* veröffentlicht und lagen zur Konferenz sowohl in gedruckter Form als auch auf CD vor. Außerdem sind die Proceedings im Internet unter [www.pf.bv.tum.de/isprs/cmrt09/](http://www.pf.bv.tum.de/isprs/cmrt09/) verfügbar.

Die CMRT09 wurde direkt im Anschluss an den ISPRS Workshop „Laserscanning 2009“ (1.–2. September 2009) am gleichen Ort veranstaltet und bot für die gemeinsame Teilnahme eine attraktive Vergünstigung an. Die lokale Organisation der Konferenz übernahm das Laboratoire Matis (IGN – Institut Géographique National) und die Société Française de Photogrammétrie et de Télédétection (SFPT). Nach Angaben der lokalen Organisatoren besuchten von den 115 Teilnehmern der CMRT09 75 Teilnehmer beide Veranstaltungen.

Bei der Veranstaltung wurde auf Parallelvorträge verzichtet und pro Vortrag ein zeitli-



CMRT09 Teilnehmer vor dem Konferenzgebäude.





Interessierte Zuhörerschaft.

cher Rahmen von 25 Minuten gewährt. Dadurch wurde den Vortragenden ermöglicht, ihren Beitrag in einer gewissen Tiefe vorzustellen. Auch war genügend Inhalt und Raum gegeben, die Beiträge zu diskutieren – was auch vom Auditorium intensiv genutzt wurde. Dadurch konnte in den zwei Tagen nur ein Teil der Beiträge (22) vor dem Plenum präsentiert werden. Der andere Teil der Beiträge (16) wurde in einer fast zweistündigen gut besuchten interaktiven Poster-Session vorgestellt und intensiv diskutiert.

Der inhaltliche Schwerpunkt der Konferenz lag in der automatischen Extraktion topographischer Objekte aus Fernerkundungsdaten mit Methoden aus Photogrammetrie und Computer Vision. Es wurden aktuelle Entwicklungen diskutiert, wobei neue Verfahren der Datenverarbeitung, aber auch Fortschritte in der Sensortechnik zur Sprache kamen.

Den Auftakt des Programms bildete der eingeladene Vortrag von J. ZERUBIA (INRIA Sophia Antipolis Mediterranee). Anhand einer Reihe von interessanten Beispielen stellte sie das Konzept der „*Marked point*“-Prozesse zur Objektextraktion in hoch aufgelösten Bilddaten vor. Die weitere Konferenz unterteilte sich in sechs thematisch geordnete Blöcke mit je drei bis fünf Vorträgen.

Die erste technische Sitzung trug den Titel „*Roads*“ (Moderator: M. GERKE) und befasste sich mit der automatischen Extraktion von Straßen und Straßennetzen aus verschiedenen Datenquellen. Dies beinhaltete auch bodengebundene Anwendungen, etwa die semiautomatische Erkennung fehlender Straßenmarkierungen und Straßendefekten in Videodaten. Die weiteren Vorträge befassten sich mit der Verwendung verschiedener Datenquellen zur Oberflächenmodellierung und zur automatischen Straßenextraktion, etwa aus LiDAR-Daten und Multispektral-Luftbildern.

Die Sitzungen „*Buildings I*“ und „*Buildings II*“, moderiert von F. ROTTENSTEINER bzw. C. BAILLARD, waren auf beide Konferenztage verteilt und befassten sich mit verschiedenen Fragestellungen, die im Zusammenhang mit Gebäuden in urbanem Gebiet bestehen. Dazu gehörten im ersten Teil die Gebäudeextraktion aus 3D-Daten und die Verfeinerung sowie Aktualisierung bestehender Grundriss-Datenbanken anhand unterschiedlicher Informationen (Luftbilder, Katasterdaten, DHM, LiDAR). Der Vortrag von M. DRAUSCHKE zum Einstieg in den zweiten Teil der Gebäude-„*Session*“ befasste sich zunächst mit einem eher grundlegenden Thema, nämlich der Verbesserung der Bildsegmentierung durch die Hinzunahme einer dichten Punktwolke aus verschiedenen Ansichten. Anwendungen finden sich bei der Luftbilddauswertung urbaner Gebiete und der Segmentierung von Fassaden. Auch die weiteren Beiträge in diesem Konferenzteil beschäftigten sich mit dem Thema „*Fassaden*“, etwa der verbesserten Texturierung von Gebäudemodellen und der Segmentierung einzelner Fassadenbestandteile mittels detektierter Bildkanten. Der eigentlich als Abschluss zu diesem Themenblock geplante Vortrag war aus organisatorischen Gründen einen Tag vorverlegt worden: S. BECKER behandelte darin die Fassadenrekonstruktion anhand mobil erfasster terrestrischer Laserdaten.

U. STILLA moderierte die vier Vorträge im Themenblock „*SAR*“. Schwerpunktmäßig wurden hier Daten von TerraSAR-X besprochen und theoretische Grundlagen angesichts der bevorstehenden TanDEM-X Erweiterung geschaffen. Es wurden Beiträge zur SAR-Bildverbesserung und Änderungserkennung (A. SCHMITT), zur Gebäudehöhenabschätzung mit SAR-Interferometrie (S. HINZ) und zur Fusion von Bild- und InSAR-Merkmalen zur Gebäudeerkennung (J.D. WEGNER) vorgestellt. S. AUER berichtete über Arbeiten zur SAR-Simulation mit Ray-Tracing an 3D-Modellen, wobei sein Beispiel „*Eiffelturm*“ angesichts des Veranstaltungsortes besonderes Interesse fand.

Die von M. BUTENUTH moderierte Sitzung „*Traffic & Navigation*“ enthielt zwei Vorträge zum Thema Fahrzeugerkennung und Geschwindigkeitsabschätzung aus Luftbildern (K. KOZEMPEL) mit besonderem Augenmerk



Vorsitzende („Chairs“) der ISPRS-Arbeitsgruppen III/4 und III/5 bei der CMRT09.

auf der Reduktion der Anzahl falsch detektierter Fahrzeuge (S. HINZ). M. HEBEL stellte einen Ansatz der Online-Analyse und Registrierung von in Schrägsicht aufgenommenen LiDAR-Daten zur Navigation dar.

Die nachfolgende Sitzung „Street Scenes“ leitete S. HINZ. Die dort behandelten Themen sind dem Gebiet „Computer Vision“ zuzuordnen. Im Einzelnen wurde über Positionsbestimmung in Stadtgebieten anhand zugeordneter Bildinhalte, über Texterkennung in Straßenszenen und über Extraktion von Straßenschildern aus Bilddaten referiert.

Zeit zum fachlichen Austausch und für Gespräche fand sich nicht nur bei den neben dem Vortragsraum organisierten Konferenzpausen, sondern auch bei den gemeinsamen Mittagessen, die in der Konferenzgebühr enthalten waren. Die CMRT09 wird vielen Teilnehmern sicher auch kulinarisch in guter Erinnerung bleiben. In diesem Zusammenhang ist auch besonders der „Social event“ am ersten Abend hervorzuheben. Während einer zweistündigen Bootsfahrt auf der Seine konnten die Teilnehmer zum einen die Haute Cuisine genießen, zum anderen aber auch bekannte Sehenswürdigkeiten der französischen Hauptstadt (Notre Dame, Pont Neuf, Tour Eiffel) im Abendlicht bewundern.

Der technische Ablauf der Konferenz wie auch das Rahmenprogramm wurden von den Veranstaltern hervorragend organisiert. Dies bezieht sich auch auf die bereits im Vorfeld termingerecht durchgeführte Koordinierung

des Review-Prozesses, die Bereitstellung ausführlicher und aktueller Informationen auf den Internetseiten und die Erstellung der Proceedings. Unter den internationalen Besuchern konnten viele neue Verbindungen geknüpft und bestehende Kontakte intensiviert werden. Die Konferenz hatte ein ausgezeichnetes fachliches Niveau, was auch für die kommenden Konferenzen PCV 2010 (Photogrammetric Computer Vision) im September 2010 in Paris und PIA11 (Photogrammetric Image Analysis) im September 2011 in München zu erwarten ist.

MARCUS HEBEL, Ettlingen

#### **46. Tagung der Arbeitsgruppe „Automation in Kartographie, Photogrammetrie und GIS“ (AgA) vom 5.–6. Oktober 2009 in Frankfurt am Main**

Die diesjährige Sitzung der Arbeitsgruppe „Automation in Kartographie, Photogrammetrie und GIS“ (AgA) fand auf Einladung des Präsidenten des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie – Prof. Dr. GRÜNREICH – erneut in den Räumlichkeiten des BKG statt. Die Tagung wurde wieder vom Team um Dr. BOBRICH organisiert. Die Teilnehmer wurden von Dr. WEICHEL im Namen von Prof. Dr. GRÜNREICH begrüßt. Die thematisch sehr breit

gefächerten Vorträge wurden in fünf Blöcken gruppiert: „*Navigation, Open Source*“, „*Geobasisdaten – Analyse und Nutzung*“, „*Standards und Anwendungen*“, „*Algorithmen und 3D*“ und „*Kartographie: Generalisierung und Visualisierung*“. Die ersten drei Blöcke fanden am ersten Tag statt. Die geplante Diskussion der Tätigkeitsberichte teilnehmender Behörden und Institutionen sowie die Kurzberichte aus dem Firmenbereich mussten wegen Zeitmangel leider entfallen. In den Pausen zwischen den Vortragsblöcken bestand aber reichlich Möglichkeit, fachliche Kontakte zu knüpfen und zu diskutieren. Am Abend trafen sich die Teilnehmer in einer traditionellen „Äppelwoiwirtschaft“ für weiteren Austausch. Nach den zwei Vortragsblöcken am zweiten Tag konnten bei verschiedenen Führungen Einblicke in die Arbeiten des BKG gewonnen werden.

### *Navigation, Open Source*

JOCHEN TOPF (Geofabrik GmbH) eröffnete die Tagung mit einem Vortrag zum OpenStreetMap-Projekt. ARNULF CHRISTL (Open Source Geospatial Foundation) knüpfte daran an und erläuterte das Prinzip von Open Source Software im Hinblick auf Geodaten. Den Einsatz von CityGML im Gebäudemanagement stellte ROSINA BLEIFUSS (TU München) vor. JULIANE MONDZECH (Leibniz Universität Hannover) referierte über Fußgängernavigation.

### *Geobasisdaten – Analyse und Nutzung*

Der zweite Vortragsblock wurde von ANNELIE PRENDEL (Staatsbetrieb Geobasisinformation und Vermessung Sachsen) mit einem Vortrag zur Homogenisierung grenzüberschreitender Daten im Grenzgebiet des Freistaats Sachsen und der Tschechischen Republik eröffnet. STEPHAN ARNOLD (BKG) stellte Methoden zur Erfassung von Landbedeckungsinformationen für das DLM-DE vor. Erfahrungen im Umgang mit automatisierter Verifikation von topographischen Vektordaten schilderte CAROLA BRAUN (Amt für Geoinformationswesen der Bundeswehr). Über die Veränderungen in der Schweizer topographischen Landesaufnahme informierte JEAN-CHRISTOPHE GUÉLAT (Bun-

desamt für Landestopografie, Wabern). Einen Einblick in den Stand der Arbeiten zum AAA-Projekt gewährte LOTHAR PLÖTNER (BKG). JENS GÖPFERT (Leibniz Universität Hannover) stellte die Anwendung von aktiven Konturen, so genannten Snakes, bei der Integration von DLM-Daten vor.

### *Standards und Anwendungen*

Der dritte Vortragsblock wurde von JÖRG BLANKENBACH (TU Darmstadt) eingeleitet. Er stellte ein Projekt zu mobilen Geoinformationen anhand eines Skulpturen-LBS vor. RENÉ THIELE (CPA Systems GmbH) sprach über BPEL-gestützte Modellierung der ISO 19135 Register-Prozesse. Erfahrungen mit dem GDI-DE Modellprojekt Schutzgebietsinformationen schilderte SEBASTIAN SCHMITZ (BKG). MARKUS SCHAFFERT (TU Darmstadt) stellte ein GIS-basiertes Leerstandsmanagement und seine Bedeutung für den Umgang mit dem demographischen Wandel vor. HORST KREMERS (CODATA Germany) schloss den ersten Sitzungstag mit seinem Vortrag zur Rolle der Kartographie im Katastrophenschutz ab.

### *Algorithmen und 3D*

SARAH TAUSCHER (TU Braunschweig) eröffnete den zweiten Tag mit einem Vortrag zur Polygonverschneidung in SQL. DOROTA IWASZCZUK (TU München) stellte eine Methode zur Modellierung von Oberflächenstrukturen auf Gebäuden in CityGML vor. Skriptbasiertes Geoprozessieren mit PostgreSQL/PostGIS erläuterte HARALD SCHWENK (Agentur geoinfo). Die Modellierung und Anwendung von thematischen 3D-Stadtmodellen wurde von ANJA MATATKO (Universität Trier) vorgestellt. GEORG GARTNER (TU Wien) sprach über semantische Aspekte der Fußgängernavigation.

### *Kartographie: Generalisierung und Visualisierung*

Der fünfte Block wurde von ANNETTE HEY (Universität Rostock) mit einem Beitrag zur Automatisierung der Punktstreueungskarte eröffnet. DIRK BURGHARDT (TU Dresden) stellte Ergebnisse aus einem Vergleich verfügbarer ‚out-of-the-box‘ Generalisierungssoftware

vor. FRANK THIEMANN (Leibniz Universität Hannover) sprach über die Generalisierung von Landnutzungsdaten. Ein Web Service zur personalisierten Farbdarstellung in Karten wurde von JÖRG STEINRÜCKEN (Universität Bonn) präsentiert. Der Vortragsreigen wurde geschlossen durch ERICH WILMERSDORF (TU Wien) mit einem Vortrag zur Rolle der Echtzeitkartographie in raumbezogenen Informationsprozessen.

Die Vorträge der Sitzung werden auf der AgA-Webseite ([www.ikg.uni-hannover.de/aga](http://www.ikg.uni-hannover.de/aga)) veröffentlicht. Die ausgearbeiteten Beiträge werden in einem Band der „Mitteilungen des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie“ abgedruckt. Die nächste Sitzung der AgA wird Ende September 2010 in Dresden stattfinden.

ANNETTE HEY, Rostock

### **9th International Conference „From Imagery to Map: Digital Photogrammetric Technologies“ by RACURS vom 5.–8. Oktober 2009 in Attica, Griechenland**

For the 9th time the Russian photogrammetric hardware and software company RACURS held an international conference from October 5 to 8, 2009, in the resort hotel “Mare Nostrum” close to the Athens International Airport. There were about 100 participants, 23 were directors, 35 were chiefs, and 42 other professionals. Most of the participants came from the Russian Federation and its neighbouring countries, but there was also a significant number of other European and non-European attending the conference.

The conference provided simultaneous translation in English and Russian, and this presented a unique opportunity for intensive professional exchanges with the Russian colleagues. The excellent program, the submitted papers, and even the power point presentations can all be downloaded from the website [www.racurs.ru](http://www.racurs.ru).

The program was organized in three blocks: Photogrammetric mapping, mapping from space, and Racurs software developments, the

latter in form of a master class. The conference ended with a gala dinner at the foot of the Acropolis in Athens. On Thursday an excursion to Cape Sounion took place.

With regard to the papers presented the following highlights should be mentioned:

#### *Block 1, Photogrammetric Mapping*

Dr. VICTOR ADROV gave an account of Racurs as an independent, fully European owned photogrammetric system producer, tracing its history over a decade. YANNIS YANNIRIS gave an overview of the mapping history of Greece: 1889 the first geodetic mission began. The first photogrammetric project took place in 1937. The first systematic photogrammetric mapping of Greece at the scale 1:5000 started in 1962. In 1995 the Greek Cadastre was introduced. There are 387 map sheets 1:50 000, 11 500 sheets 1:5000, and 4000 square km are covered by 1:1000 maps. A DTM is available at 40 or 20 m posting for all of Greece. HEPOS is a network of 95 permanent GPS CORS stations for RTK use. The Military Geographic Service is responsible for topographic mapping and the Hellenic Mapping and Cadastral Organization (HEMCO) Ktimatologio S.A. is responsible for the Cadastre.

GOTTFRIED KONECNY outlined the technological challenges to establish and to maintain a cadastral system. SATHEESH KUMAR KAKAMANI reported on the progress to establish an Intranet Geoportal for the region of Delhi in India. It includes a 3D urban model with texturing of buildings. The data volume is 152 TB. YURI NIKOLAYEV of GIS Sofia described the use of Photomod for the large scale mapping of Sofia, Bulgaria.

SERGEJ MILLER, the president of the magazine “GIS Market”, gave an outlook over the challenges of the market, half of which is non-governmental. The global GIS market was 2.701B \$ in 2008 with an increase of 30% in 2009. In Russia alone 2 to 3B Roubles are spent in support of cadastral activities. With respect to Russian Space Technology, the support of GLONASS and of Remote Sensing systems has not been cut off. For urban documentation an amount of 40B Roubles has been foreseen. For base mapping of the cadastre tenders for the year 2010 have been placed for

the amount of 5B Roubles. (30 Roubles equal about 1 \$).

GOTTFRIED KONECNY reported on his experiences as an external examiner at the University of Nairobi, where annually about 30 graduating students have to compile a GIS report on different applications (slum conditions, refugee camp conditions, crime occurrence, property tax evasion, etc.). Due to non-availability of up-to-date maps, the students use Google Earth for mapping, they utilize handheld GPS receivers for quick attribute data collection, and create a personal ArcGIS database for a most interesting analysis. This highly motivates the students not only for technology, but also for public concerns.

PETER SCHREIBER, Leica Heerbrugg presented details on the ADS80, ALS60 and RCD105 developments. MIKHAIL PETUKHOV, Intergraph Moscow presented the development of the DMC and RMK105. YURI RAIZMAN, Vision Map, Israel described the fully automatic digital panoramic scanning orthophoto mapping system Vision Map A3. An accuracy of  $\pm 20$  cm has been reached using GPS-PPP for absolute positioning. YANA RAZUMOVA, Surgutneftegaz reported on a cooperation with IGI Germany using the AS350 digital camera. GORDON PETRIE, University of Glasgow, gave a brilliant review of airborne laser scanning technology, which is worth to download.

ANDREJ SECHIN, Racurs, presented a history of the Photomod development from model 1 to 5, which ran in parallel with computer development. ALEKSANDER MIKHAYLOV, MIIGAiK, demonstrated the Photomod use of oblique terrestrial images obtained in architectural surveys. These oblique images had to be made due to obstructions, but they could be digitally rectified to normal views before restitution in Photomod.

ANDREAS GEORGOPOULOS, National Technical University Athens described the facilities of the photogrammetric laboratory established in 1917 and the current projects (close range photogrammetry in Cyprus and plotting of the Marathon course). YULIA NIKOLAYEVA, GIS-Sofia discussed the orthophoto mapping project for Sofia, covering 1470 square km at 10 cm GSD in the urban and 20 cm GSD in the rural area.

ANDREJ SECHIN, Racurs, analysed three algorithms for automatic matching of tie points

in aerial triangulation (area based cross correlation, feature based matching and a new robust approach).

### *Block 2, Mapping from Space and Remote Sensing*

Images of the recently available space sensors are available through a variety of vendors: OLGA KOLESNIKOVA, Sovzond provides GeoEye 1&2, WorldView 1&2, Quickbird and Ikonos images through the geoportals service "Image Connect" from a large archive. Sovzond will hold a special Conference from April 14 to 16, 2010. ANDREJ SHUMAKOV, GeoEye, USA offers three types of image products: Basic, ortho and stereo. **Geocoding without control** is possible to 4 m in position and 5 m in height.

BRUNE BERTOLINI, Spot Image discussed the future plans for Pleiades, which expects images of 2 m GSD in colour and 0.5 m GSD in panchromatic with an image size of 20 km x 20 km. PAVEL ZIEMBA, Digital Globe, reported, that Quickbird, WorldView 1&2 will fly in a constellation permitting cloud restricted overflights twice a day. ELENA KOBZEVA, Uralgeoinform, collaborates with RapidEye for land cover monitoring. ROBERT LANZL, Infoterra, presented the capabilities of TerraSAR-X for repeat pass interferometry, strip mapping, and DSM generation as well as the use of persistent scatterers for subsidence monitoring. TanDEM-X to be launched later in 2009 will give additional capabilities.

The remainder of the papers in block 2 presented Remote Sensing applications with the described sensors: DMITRI FEDOTIN, ScanEx, offered facilities for the processing of archived space images. SVETLANA LYUBINTCEVA, Sovzond, offered rapid delivery services for RapidEye images. ANDREJ ZHELEZNIAKOV, Panorama, offered thematic mapping services. ANNA BERGOVSKIKH, Grad, Omsk, offered remote sensing data for urban planning projects. GORDON PETRIE, University of Glasgow, gave an overview paper for remote sensing applications in disaster monitoring. MARINA SINKOVA, Zemlemer, presented uses of Resurs DK1 images with Photomod. VERONICA CHULKOVA, VIS-HAGI, reported on the use of high resolution space images for the cadastre. ALEKSANDER CHIKURIN, Racurs, demonstrated Racurs soft-

ware for the geometric processing of space images using rigorous models or RPCs. IRINA DANILOVA, Institute of Forests, Krasnojarsk, discussed forest applications. ALEXANDER VASILEISKY, NIIAS, showed mudflow monitoring by radar images for the Transcaucasian Railway. VICTORIA TRISHKINA, Kazakstan, discussed TerraSar-X and Radarsat uses in her country.

There were three papers by GAZPROM: YURI BORISOVICH on the monitoring of oil slicks and of subsidence after gas exploitation using radar and laser; ELENA DENISOVICH on the monitoring of permafrost areas; SERGEJ KULAPOV on database issues including remote sensing and geophysical data.

### *Block 3, Racurs Masterclass*

The Racurs Masterclass started with a presentation by Dr. VICTOR ADROV on the new Photomod 5.0 features: Photomod 5.0 can be used for aerial and satellite images. It permits aerial triangulation and its adjustment for large blocks, DTM and orthophoto generation including mosaicking, as well as manual collection of features in 3D in the formats dgn, shp, Autocad, and MapInfo. New is the capability of distributed processing. The usability of space images is provided for 21 satellite systems. It has a geo-calculator for coordinate transformations for most reference systems. Any digital camera image type (Canon EOS50, DMC, ADS80, UltraCam, nonmetric) is processable. DMITRY KOCHERGYN gave a live demonstration of these capabilities.

MIKHAIL DRAKIN discussed the adaptation of Photomod to process huge amounts of data (thousands of images): a revised data storage structure, the use of TIFF and xml standards, redesigned distributive processing, the use of images of unlimited size and an unlimited number of channels. The future developments will be directed to provide: 64 bit capability alongside with 32 bit images, automatic modes for processing of digital camera images, partial automation of feature extraction in cooperation with MGU and Moscow State Lomonosov University, 3D modelling, advanced visualization and true orthophoto generation, new matching algorithms will be implemented, as well as fully automated radiometric

corrections, the restitution of close range images, and the use of a high end graphics cards.

IGOR ELIZAVETIN presented the two new radar processing modules: For change detection a coherence detection module was added, reflecting changes in the phase component and the Insar processing module permits automatic overlays for TerraSar-X and Radarsat images.

Racurs is to be congratulated in organizing a perfect high level modern photogrammetric conference, which covered all relevant aspects of the discipline. All this was presented in a cordial and friendly environment, which not only gave an insight to us Westerners into the professional excellence prevalent in the Russian Federation, but by which our Russian colleagues won many friends in the West. More Westerners should make use of this opportunity in future Racurs conferences.

In Stuttgart we recently celebrated the 100<sup>th</sup> Anniversary of the Photogrammetric Week serving the world for generations. Even though only a decade old, the Racurs Conferences are becoming a fresh equivalent to these traditional meetings in the West.

GOTTFRIED KONECNY, Hannover

### **CIPA 2009 XXII International Symposium „Digital Documentation, Interpretation & Presentation of Cultural Heritage“ vom 11.–15. Oktober 2009 in Kyoto, Japan**

In zweijährlichem Rhythmus treffen sich die Mitglieder von CIPA, um Erfahrungen auszutauschen, Anregungen zu sammeln und Beziehungen zu knüpfen. Im Herbst 2009 fand das Symposium erstmalig in Asien statt, in Kyoto, der heimlichen Hauptstadt Japans, der ehemaligen Kaiserstadt. CIPA (ursprünglich Comité International de Photogrammétrie Architecturale, heute International Scientific Committee for Documentation of Cultural Heritage) verfolgt das Ziel, Fachleute aus zwei ganz unterschiedlichen Bereichen zusammenzuführen, nämlich einerseits Experten aus Baudokumentation, Bauforschung und Restaurierung und andererseits Anbieter der Aufnahmetechnik wie Photogrammetrie und La-

erscanning. Dies spiegelt sich in der Struktur von CIPA wider, nämlich zum einen als Abkömmling von ISPRS (International Society for Photogrammetry and Remote Sensing) und zum andern von ICOMOS (International Council on Monuments and Sites), einer der UNESCO nahe stehenden Organisation, welche die Pflege und den Erhalt des Kulturerbes zur Aufgabe hat. Auf diese Besonderheit zweier Wurzeln, wie man dies so ausgeprägt nicht bei vielen Organisationen findet, berief sich der Präsident von CIPA, CLIFF OGLEBY, Department of Geomatics, University of Melbourne, Australien, in seiner Eingangsansprache. Er beschwor die Notwendigkeit, die Einheit von Geometrieerfassung und Restaurierung immer wieder neu anzustreben. Dies unterstützt z. B. auch die CIPA-Broschüre „Best Practise“, die den Experten aus dem nicht-technischen Bereich als Handreichung verfügbar ist und auf deren Neuauflage, die demnächst erscheinen wird, er hinwies. In seinem Grußwort im Namen der ISPRS erinnerte der Präsident, Prof. Dr. ORHAN ALTAN an die Ergebnisse vorangegangener Symposien und an die beispielhafte langjährige Förderung der Kernziele von CIPA durch die verstorbenen Mitglieder ROBIN LETELLIER (Kanada) und Prof. Dr. KARL KRAUS (Österreich). Besonders lud er ein, dem Festakt zum 100-jährigen Bestehen der ISPRS, gegründet 1910 unter Prof. EDUARD DOLEZAL, am 4. Juli 2010 in Wien bei-zuwohnen. Eine Kurzschau über die Arbeit der vergangenen Jahre bot ein Video mit dem Titel „Venus-Venus“, das unterschiedlichste technische Dokumentationen und restauratorische Arbeiten behandelte. Prof. em. SHUNJI MURAI, Präsident der japanischen Gesellschaft für Photogrammetrie und Fernerkundung JSPRS stellte in einem humorvollen Vortrag die Entwicklung des Kyoto heute prägenden Lebensstils dar. Zum Beweis für die 1200-jährige Tradition führten zwei typische japanische Maiko-San-Tänzerinnen in farbenprächtigen Gewändern ihr Können vor und ließen sich anschließend ausführlich zum Hintergrund ihrer Berufswahl befragen. Bei kleinen Kostproben der japanischen Esskultur konnten die Teilnehmer schließlich erste persönliche Gespräche führen.

Die Sitzungstage wurden eingeläutet durch zwei Grundsatzreferate. Prof. OGLEBY forderte

die Mitglieder von CIPA eindringlich auf, sich für eine weltweite Dokumentation des Kulturerbes einzusetzen. Unter dem Stichwort „Heritage at Risk“ (ICOMOS) zeigte er auf, welche vielfältigen Gefahren unserem Kulturerbe gerade heute drohen. Die Notwendigkeit gründlicher, umfassender und vor allem rascher Dokumentation des Kulturerbes machte er anhand drastischer Beispiele für die akute Bedrohung von verschiedener Seite überdeutlich: Klimawandel, Überbevölkerung, Tourismus, Kommerzialisierung und Verlust akademischer Disziplin, um nur einige Einflussbereiche zu nennen. Dabei kommt der Aufnahme mit einfacher Kamera und der Entzerrung unter Einhaltung der 3 x 3 – Regel hohe Bedeutung zu. Auch kommerzielle Software, Internetplattformen und private Initiativen könnten zu einer derartigen Erfassung beitragen. Es ist nötig, eine breite Öffentlichkeit – Regierungen und Organisationen – von der hohen Bedeutung der Dokumentation zu überzeugen. Prof. Dr. A. GRÜN, ETH Zürich, sprach zum Thema „Von der Architektur-Photogrammetrie zur Modellierung des Kulturerbes – ein Paradigmenwechsel“. Er knüpfte bei dem tiefgreifenden Wandel an, der sich in den 80er Jahren von der analytischen hin zur digitalen Photogrammetrie vollzog, und zeigte auf, dass nicht die Technologie der Aufnahmemethodik das heutige Problem darstellt, sondern dass es auf Seiten der Datenbehandlung stockt. Da sind z. B. die Problematik, Primitive automatisch zu extrahieren, das Problem der realitätsnahen Modelle, des 4D-Modellierens, d.h. den Zeitfaktor sichtbar zu machen, und die Notwendigkeit Multi-Sensor-Technologien einzubinden. Anzustreben ist die Erstellung des hoch detaillierten 3D-Modells als Grundlage für daraus abzuleitende Arbeiten unterschiedlicher Disziplinen.

Die Arbeitssitzungen fanden im Allgemeinen in Parallelveranstaltungen statt, mit 15 Blöcken zu je vier Vorträgen. Insgesamt waren 122 Beiträge zum Vortrag angenommen worden. Sie berührten die Bereiche 3D-Modellierung & Visualisierung, Techniken zum Scannen – dabei vorwiegend terrestrisches Laserscanning –, Multi-Sensor-Systeme, Remote Sensing, World Heritage, Monitoring & Restaurierung, Photogrammetrie, Informati-onstechnologie & Standards, digitale Doku-

mentation, GIS, Risiko- & Gefahrenabschätzung, Schulung & Kommunikation sowie Kyoto in Virtual Reality. Zusätzlich gab es zwei Poster-Sessions mit etwa 60 Beiträgen. Hier stand, ebenso wie bei den Vorträgen und wie bereits in den vergangenen Jahren, was die Aufnahmetechnik betrifft, das terrestrische Laserscanning im Focus. Allerdings zeichnet sich die Einbindung anderer Techniken, wie z. B. Wärme-Sensor, X-Ray und eine stärkere Integration photogrammetrischer Methoden ab. In den Poster-Sessions lag der Schwerpunkt bei der praktischen Anwendung von Scan-Techniken und auf Methoden der Darstellung und der Dokumentierung.

Während der gesamten Dauer des Symposiums hatten die Teilnehmer Gelegenheit, eine kleine Ausstellung von etwa 20 Anbietern geodätischer Messtechnik zu besuchen. Sie umfasste sowohl bekannte Firmen, insbesondere aus dem Bereich des terrestrischen Laserscannings, als auch Dienstleister und Spezialisten aus dem asiatischen Raum für die konkrete Objektdokumentation sowie staatliche japanische Organisationen, die ihr Tätigkeitsfeld vorstellten. Um den zahlreichen ausländischen Teilnehmern die geschichtliche und kunsthistorische Bedeutung der Stadt Kyoto zu verdeutlichen, wurden im Rahmen der technischen Exkursion verschiedenartige historische Stätten des zivilen wie auch des religiösen Lebens besucht: u.a. der ehemalige Kaiserpalast, verschiedene buddhistische Tempel und hinduistische Schreine aus der Zeit von 800 bis 1600.

In der Abschlussveranstaltung zog Prof. YUTAKA TAKASE (Ritsumeikan Universität, Kyoto) als Symposiumsdirektor und Vorsitzender des örtlichen Organisationskomitees eine positive Bilanz. 178 Teilnehmer aus 26 Ländern – davon viele aus Japan – hatten die Tagung besucht. Die 66 europäischen Teilnehmer kamen aus 15 Ländern. Prof. OGLEBY dankte Prof. TAKASE für seinen Einsatz und die hervorragende Organisation des Symposiums. Alle Tagungsbeiträge erhielten die Teilnehmer bereits zu Beginn auf einem USB-Stick, eine mediale Form, die symptomatisch für die rasche technische Weiterentwicklung steht. Prof. OGLEBY wies auf einige Änderungen in den Statuten von CIPA hin, insbesondere darauf, dass eine neue Kategorie der Mitgliedschaft möglich ist: CIPA ist offen für alle Expert Members gemäß den Eger-Xi'an Prinzipien für internationale Komitees von ICOS. Er lud ein zur nächsten CIPA-Arbeits-sitzung im Rahmen des ISPRS-Commission V-Symposiums in Newcastle upon Tyne, Großbritannien, im Juni 2010. Abschließend wurde der Tagungsort des nächsten CIPA-Symposiums in Prag, Tschechien, 2011, durch Herrn Prof. Dr. K. PAVELKA (Universität Prag) in Form eines Videofilms vorgestellt. Alle an der Erhaltung des Weltkulturerbes und seiner messtechnischen Erfassung, Dokumentation und Darstellung Interessierten sind hierzu herzlich eingeladen.

MICHAEL SCHERER, Bochum

## Hochschulnachrichten

Dipl.-Ing. für Forstwissenschaften ACHILLEAS PSOMAS promovierte am 17.7.2008 am Geographischen Institut (Fernerkundung/RSL) der Universität Zürich mit der Arbeit „*Hyperspectral remote sensing for ecological analyses of grasslands ecosystems: Spectral separability and derivation of NPP related biophysical and biochemical parameters*“ zum Dr. sc. nat.

Promotionskomitee: Prof. Dr. KLAUS I. ITTEN; Dr. NIKLAUS E. ZIMMERMANN; Dr. MATHIAS KNEUBÜHLER; Dr. TOBIAS KELLENBERGER.

Kurzfassung:

Natürliche und vom Menschen geschaffene Grasländer bedecken fast 20% der Erdoberfläche und stellen eine einzigartige Vielfalt an Farben, Strukturen und Biodiversität dar. Gerade für die Biodiversitätserhaltung sind diese natürlichen und halbnatürlichen Habitate von großer ökologischer Bedeutung. Denn Grasländer beinhalten eine Vielzahl von Habitaten für Pflanzen und Tiere, von welchen viele als gefährdet oder bedroht klassiert sind. Zudem



spielen Grasländer eine entscheidende Rolle im globalen Kohlenstoffkreislauf. Mindestens 10% des globalen Kohlenstoffvorrats werden nämlich Grasländern zugeschrieben. Zusätzlich schätzt man, dass bis zu 20% der gesamten terrestrischen Nettoprimärproduktion (NPP) von Grasländern geleistet wird. Angesichts des globalen Klimawandels und der zunehmenden Forderung nach einer produktiveren Landwirtschaft wird sich der Druck auf Graslandökosysteme wohl erhöhen. Darum ist die Entwicklung von Bewirtschaftungsstrategien zum Schutz der Biodiversität besonders wichtig. Speziell in Bezug auf gegenwärtige und zukünftige Klimabedingungen ist dabei ein vertieftes Wissen über den Kohlenstoffkreislauf und seine räumliche Verteilung in Grasländern entscheidend.

Diese Dissertation untersucht die synergistische Verwendung von hyperspektraler Fernerkundung und ökosystemarer Prozessmodellierung zur Erhaltung der Biodiversität von Graslandhabitaten und einem verbesserten Verständnis des biogeochemischen Kreislaufes auf lokaler bis regionaler Skala. Die Hauptziele der Untersuchung sind die Abklärung der Möglichkeiten von hyperspektraler Fernerkundung zur Kartierung von artenreichen Graslandhabitaten und für Ökosystemproduktivität relevante Vegetationseigenschaften. Die Dissertation gliedert sich darum in drei Forschungsteile. Der erste Teil untersucht die Verwendung von intra- und interannuellen Spektralmessungen mit einem Feldspektroradiometer zur saisonalen und spektralen Unterscheidung verschiedener Graslandhabitats. Der zweite Dissertationsteil konzentriert sich auf die Entwicklung von statistischen Modellen zur Schätzung von oberirdischer Biomasse von Grasländern auf Grund von spektralen Messungen mit einem Feldspektroradiometer. Gleichzeitig wird damit das Potential abgeschätzt, diese Modelle auch für satellitengestützte Hyperspektraldaten (Hyperion) zu verwenden. Schließlich wird im dritten Dissertationsteil die Erfassung von quantitativen Informationen zu biochemischen Blattkonzentrationen (Stickstoff) mittels flugzeuggestützter hyperspektraler Fernerkundung (HyMap) und neuartiger Statistik untersucht. Anschließend wird die aus HyMap-Daten erfasste biochemische Blattkon-

zentration weiterverwendet, um ein ökosystemares Prozessmodell (Biome-BGC) zur Schätzung der NPP von Graslandökosystemen zu initialisieren und räumlich-explicit umzusetzen.

Resultate des ersten Teils der Dissertation zeigten, dass artenreiche Graslandhabitats mittels hyperspektraler Fernerkundung erfolgreich unterschieden werden konnten. Dabei wurden spezifische Bereiche des Spektrums identifiziert, welche am meisten zur Unterscheidung von Graslandtypen innerhalb der Wachstumsperioden beitrugen. Wichtig war dabei die Erkenntnis, dass der Beginn der Wachstumsperiode der beste Zeitraum war, um Graslandhabitats auf Grund von hyperspektralen Fernerkundungsmessungen zu unterscheiden. Resultate des zweiten Teils der Dissertation zeigten, dass robuste statistische Modelle für die Schätzung von Graslandbiomasse auf Grund von hyperspektralen Fernerkundungsdaten möglich sind, jedoch nur unter der Voraussetzung, dass mehrere Stichproben während einer Wachstumsperiode erfasst wurden. Gerade diese saisonale Stichprobenerhebung, speziell am Anfang der Wachstumsperiode, zeigte sich als sehr wichtig, um die vorhandene Variabilität auf Grund des phänologischen Zustandes, räumlichen Musters und Bewirtschaftung einzubeziehen. Zusätzlich zeigten die Resultate, dass statistische Modelle zur Biomassenschätzung basierend auf Felddaten auch auf höhere Skalen übertragen werden konnten, wenn engbandige, NDVI-ähnliche Indizes verwendet wurden. Schlussendlich zeigte der dritte Teil der Dissertation, dass korrekte Schätzungen der biochemischen Blattzusammensetzung möglich sind, jedoch nur unter der Voraussetzung, dass vor der Kalibrierung der statistischen Modelle eine ‚continuum-removal‘ Transformation auf die Reflektanzspektren von HyMap angewendet wurde. Es konnte auch gezeigt werden, dass Biome-BGC räumlich-explicit umgesetzt werden konnte, d.h. dass auch detaillierte NPP Schätzungen für das Untersuchungsgebiet möglich sind. Noch viel wichtiger war aber die Erkenntnis, dass NPP signifikant höher geschätzt wurde auf Grund von räumlich-expliciten C:N Verhältnissen als geschätzt aus weit verbreiteten Literaturwerten oder sogar regional gemittelten C:N Messwerten. Diese Resultate

tate legen nahe, dass die Dynamik der Kohlenstofffixierung in bestimmten Ökosystemen – in unserem Fall bewirtschaftete Graslandhabitate – möglicherweise regional unterschätzt werden mit Standardmethoden, die nicht räumlich-explizite C:N-Werte in die Modellbildung einbeziehen.

Die Untersuchungen dieser Dissertation haben das große Potential der hyperspektralen Fernerkundung aufgezeigt, indem artenreiche Graslandökosysteme spektral unterschieden,

sowie spezifisch Biomasse und Blattstickstoffkonzentration erfasst werden konnte. Zudem zeigte sich die Wichtigkeit von sehr genauen Produkten aus hyperspektraler Fernerkundung als Eingangsgrößen in ökosystemare Prozessmodelle. Eine Verbindung dieser beiden synergistischen Technologien hat große Chancen, unser Verständnis des terrestrischen Kohlenstoffkreislaufes auf lokaler wie auch auf regionaler Skala zu verbessern.

## Persönliches

### Nachruf Prof. Dr. Hans Knoop

Am 8. Oktober 2009 ist unerwartet Prof. Dr. HANS KNOOP im Alter von 74 Jahren in einer Klinik verstorben. Er hinterlässt im beruflichen Umfeld des Vermessungs- und Geoinformationswesens und in seinem vor allem international ausgerichteten Freundeskreis eine schmerzliche Lücke.

HANS KNOOP wurde am 18.1.1935 in Magdeburg geboren. Seine frühe Jugend- und Schulzeit verbrachte er in Celle bei Hannover. Von 1955 bis 1960 war er Student des Vermessungswesens an der seinerzeitigen Technischen Hochschule Hannover. Nach dem Abschluss des Diplomexamens wurde er Referendar im Niedersächsischen Vermessungsdienst. 1964 begann seine Karriere in der Vermessungsverwaltung des Landes Niedersachsen, in der Einführung der EDV, in der Wertermittlung, als Leiter des Katasteramts Hannover von 1972 bis 1988 und danach bis zu seiner Pensionierung im Jahre 2000 im Niedersächsischen Innenministerium.

Dabei verfolgte er gleichzeitig akademische Interessen. 1970 promovierte er bei Prof. HÖPCKE an der TH zum Dr.-Ing. Damals war die bei der Firma Carl Zeiss in Oberkochen entwickelte elektronische Tachymetrie mit dem RegElta eine sehr willkommene neue Technologie für das deutsche und das Niedersächsische Vermessungswesen. Die technische Umsetzung in die Praxis wurde HANS KNOOPS besondere Aufgabe, die er gezielt vorantrieb.



Schon früher als Assessor im Landesdienst half er Prof. JOHANNES NITTINGER in der Lehre an der TH Hannover. Daraus ergab sich bald eine auf die Entwicklungszusammenarbeit ausgerichtete Karriere, die er in seinen beruflichen Etappen in der Niedersächsischen Vermessungsverwaltung beim Katasteramt Hannover sowie im Niedersächsischen Innenministerium und über die Pensionierung hinaus tatkräftig betrieb.

Er selbst wurde Lehrbeauftragter an der Technischen Universität Braunschweig und 1975 Honorarprofessor für die Katastervermessung.

Die Entwicklungszusammenarbeit im Kataster- und Vermessungswesen Niedersachsens, eingeleitet durch JOHANNES NITTINGER,

wurde mit Unterstützung der Deutschen Stiftung für Entwicklungszusammenarbeit DSE (heute INVENT) das große Anliegen von HANS KNOOP, das er auch nach seiner Pensionierung vor neun Jahren tatkräftig weiterverfolgte.

Es waren über die Jahre weit mehr als hundert Fachkräfte aus China und Sri Lanka, die unter der Regie von HANS KNOOP in Niedersachsen fortgebildet wurden. HANS KNOOP wurde häufig nach China eingeladen. Er wurde an der größten Ausbildungsstätte des Landes, der Wuhan University, im Jahre 1988 zum Honorarprofessor ernannt. Das heute in China eingeführte Katastersystem trägt deutliche Züge von HANS KNOOPS Tätigkeit.

Schon früh wurde er Spezialist für Normung im Vermessungs- und Geoinformationswesen: National bei DIN seit 1975, europäisch bei CEN/TC287 seit 1992 und internatio-

nal seit Gründung des ISO/TC211 im Jahre 1994. Auch die ISPRS hat er in diesen Gremien vertreten.

Sechs Jahre lang war er als europäischer Experte in einem PHARE-Katasterprojekt in Polen tätig. Dort hat man ihm die Friedensmedaille verliehen. Seine vielen Kontakte in Asien (China, Korea, Malaysia, Vietnam), in Lateinamerika (Kuba und Brasilien), im arabischen Raum (Türkei, UAE und Saudi Arabien) und in Osteuropa (Polen und Russische Föderation) spiegeln sich in den Beileidsbekundungen aus aller Welt wieder.

Sein hohes fachliches und insbesondere persönliches Engagement für die Auslandskollegen war bewundernswert. Wir alle haben einen guten Fachmann und einen liebenswerten Freund verloren.

GOTTFRIED KONECNY, Hannover

## Buchbesprechung

### **CHRISTIANE RICHTER & BERND TEICHERT, 2009: Einführung in die Digitale Bildverarbeitung – Lehrbuch für ingenieurwissenschaftliche Studiengänge. 1. Auflage, Diskurs Verlag Dresden**

Um es vorweg zu nehmen: Das rezensierte Buch hält, was der Titel verspricht. Und zwar eine *Einführung* in die Digitale Bildverarbeitung. Üblicherweise verbindet der erfahrene Leser mit einer „*Einführung in ...*“ ein äußerst umfangreiches Lehrbuch, das eigentlich wenig mit einer Einführung in ein Fachgebiet zu tun hat, sondern versucht, das ganze Thema möglichst breit zu erschlagen.

Das mit 102 Seiten sehr kompakte Büchlein von CHRISTIANE RICHTER und Prof. BERND TEICHERT von der HTW Dresden ist für Studierende der Ingenieur- und Geowissenschaften gedacht, und umfasst stofflich eine Einführungsvorlesung mit Übungen von 2–4 Semesterwochenstunden (SWS). Damit schließt das Buch, insbesondere aus der Perspektive des studentischen Geldbeutels (8,90 €) eine interessante

Lücke, da alternative Lehrbücher, wie schon erwähnt, wesentlich umfangreicher und teurer sind.

Nun, was erwartet den Leser auf diesen rund 100 Seiten? Ein Buch mit sechs Kapiteln, das zuerst kurz einige Begriffe klärt und den Leser über die praktische Relevanz der digitalen Bildverarbeitung in den Geowissenschaften anhand von Beispielen informiert. Auch der Verweis auf die Freeware ImageJ ([rsb.info.nih.gov/ij/](http://rsb.info.nih.gov/ij/)) ist an dieser Stelle für die praktischen Übungen sehr hilfreich. Das zweite Kapitel behandelt die Eigenschaften und Charakteristika digitaler Bilder. Hierbei werden zentrale Begriffe, wie geometrische und radiometrische Auflösung, Nachbarschaften und die statistischen Eigenschaften und Formate digitaler Bilder behandelt. Das dritte Kapitel beschäftigt sich mit der Farbe, Farbraummodellen und LUT in digitalen Bildern. In Kapitel vier wird der Student über Fakten und Hintergründe zu mathematischen Bildoperationen, zu einfachen logischen Operationen und zur Kontrastübertragungsfunktion informiert. Die Fakten und Formeln werden durch anschauliche Graphiken sehr gut untersetzt. Fil-

teroperationen im Ortsraum sind Gegenstand des fünften Kapitels. Neben den „Klassikern“ wie Hoch- und Tiefpassfiltern werden die Kantenoperationen intensiv vorgestellt und in ihrer Wirkung miteinander verglichen. Leider fehlen zu den morphologischen Filtern, mit denen sich in der Praxis einiges anstellen lässt, vernünftige Bildbeispiele, die die Wirkung der Operatoren zeigen. Das Kapitel sechs ist für Geodäten ein Heimspiel, denn es geht um geometrische Transformationen von Bildmat-

rizen einschließlich dem Resampling der Grauwerte. Hier wird nicht mit Formeln geizt, leider trifft das nicht auf illustrierende Graphiken und Bilder zu. An dieser Stelle hätten die Autoren noch etwas drauf legen können. Insgesamt ist das Buch jedoch uneingeschränkt als eine kompakte und preiswerte Einführung in die Thematik der digitalen Bildverarbeitung zu empfehlen.

GÖRRES GRENZDÖRFFER, Rostock

## Veranstaltungskalender

### 2010

27.–29. April: **ESRI 2010 – 16. deutschsprachige Anwenderkonferenz.** [esri2010.esri.de/](http://esri2010.esri.de/)

26.–28. Mai: **ISPRS Commission II Symposium “Theory & Concepts of Spatial Information Science”** in Hong Kong, China. [isgis.isgi.polyu.edu.hk/](http://isgis.isgi.polyu.edu.hk/)

2.–4. Juni: **ISPRS Commission VI Symposium “Education & Outreach”** in Enschede, Niederlande. [www.itc.nl/isprscm6/symposium2010](http://www.itc.nl/isprscm6/symposium2010)

8.–10. Juni: 58. **Deutscher Kartographentag** in Berlin/Potsdam. [dkt2010.dgfk.net/](http://dkt2010.dgfk.net/)

10.–11. Juni: 6. **GIS-Ausbildungstagung 2010** in Potsdam. [gis.gfz-potsdam.de](http://gis.gfz-potsdam.de)

16.–18. Juni: **GIS/SIT 2010** - Schweizer Forum für Geoinformation an der Universität Zürich-Irchel, Schweiz. [www.gis-sit.ch/](http://www.gis-sit.ch/)

16.–18. Juni: **ISPRS Commission I Symposium “Image Data Acquisition – Sensors & Platforms”** in Calgary, Kanada. [sensorweb.geomatics.ucalgary.ca/isprs/symposium](http://sensorweb.geomatics.ucalgary.ca/isprs/symposium)

22.–24. Juni: **ISPRS Commission V Symposium “Close-Range Sensing: Analysis &**

**Applications”** in Newcastle upon Tyne, Großbritannien. [www.isprs-newcastle2010.org/](http://www.isprs-newcastle2010.org/)

1.–3. Juli: 30. **Wissenschaftlich-technische Jahrestagung der DGPF** im Rahmen der Dreiländertagung in Wien, Österreich. [www.dgpf.de/neu/jahrestagung/informationen.htm](http://www.dgpf.de/neu/jahrestagung/informationen.htm)

5.–7. Juli: **ISPRS Commission VII Symposium “100 Years ISPRS – Advancing Remote Sensing Science”** in Wien, Österreich. [www.isprs100vienna.org/](http://www.isprs100vienna.org/)

7.–9. Juli: **AGIT 2010 Symposium und Fachmesse für Angewandte Geoinformatik** in Salzburg, Österreich. [www.agit.at/](http://www.agit.at/)

9.–12. August: **ISPRS Commission VIII Symposium “Remote Sensing Applications & Policies”** in Kyoto, Japan. [www.isprscm8.org](http://www.isprscm8.org)

1.–3. September: **ISPRS Commission III Symposium “Photogrammetric Computer Vision & Image Analysis”** in Paris, Frankreich. [pcv2010.ign.fr/](http://pcv2010.ign.fr/)

1.–5. September: 7<sup>th</sup> **ICA Mountain Cartography Workshop** in Borsa, Rumänien. [mountaincartography.org/activities/workshops/](http://mountaincartography.org/activities/workshops/)

14.–17. September: **GIScience 2010 – 6<sup>th</sup> International Conference on Geographic Information Science** in Zürich, Schweiz. [www.giscience2010.org/](http://www.giscience2010.org/)

5.–7. Oktober: **INTERGEO®** – Kongress und Fachmesse für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement in Köln. [www.intergeo.de/de/deutsch/kongress/kongress.php](http://www.intergeo.de/de/deutsch/kongress/kongress.php)

14.–19. Oktober: **ISPRS WG V/2 Workshop on Advances in Cultural Heritage Measurement Techniques** with International Conference on **“Digital Preservation of Archaeological Heritage”** in Kanpur, Indien. [www.iitk.ac.in/arch3d/](http://www.iitk.ac.in/arch3d/)

16.–18. November: **ISPRS Commission IV Symposium “Geodatabases & Digital Mapping”** in Orlando, USA.

## Neuerscheinungen

ABDUL-RAHMAN, A. & PILOUK, M., 2008. Spatial Data Modelling for 3D GIS. XII, 290 p., hardcover, ISBN: 978-3-540-74166-4, Springer Berlin.

BLASCHKE, TH., LANG, S. & HAY, G. J. (Eds.) 2008. Object-Based Image Analysis - Spatial Concepts for Knowledge-Driven Remote Sensing Applications. Series: Lecture Notes in Geoinformation and Cartography XVIII, 818 p., with CD-ROM, hardcover, ISBN: 978-3-540-77057-2, Springer Berlin.

GOMARASCA, M. A., 2009. Basics of Geomatics. AIT, 2004, XLI, 656 p., hardcover, ISBN: 978-1-4020-9013-4, Springer Netherlands.

GUTIERREZ, J. A. & ARMSTRONG, B. S.R., 2008. Precision Landmark Location for Machine Vision and Photogrammetry – Finding and Achieving the Maximum Possible Accuracy. XII, 162 p., with online files/update, hardcover, ISBN: 978-1-84628-912-5, Springer Berlin.

JASANI, B., PESARESI, M., SCHNEIDERBAUER, S. & ZEUG, G. (Eds.), 2009. Remote Sensing from Space – Supporting International Peace and Security. LII, 297 p., hardcover, ISBN: 978-1-4020-8483-6, Springer Netherlands.

JONES, S. & REINKE, K. (Eds.), 2010. Innovations in Remote Sensing and Photogrammetry. Series: Lecture Notes in Geoinformation and Cartography, 2010, XXXII, 468 p., hardcover, ISBN: 978-3-540-88265-7, Springer Berlin.

KETELAAR, V.B.H., 2009. Satellite Radar Interferometry – Subsidence Monitoring Techniques. Series: Remote Sensing and Digital Image Processing, Vol. 14, X, 270 p., hardcover, ISBN: 978-1-4020-9427-9, Springer Netherlands.

LEE, J. & ZLATANOVA, S. (Eds.), 2009. 3D Geo-Information Sciences. Series: Lecture Notes in Geoinformation and Cartography, XVIII, 436 p., hardcover, ISBN 978-3-540-87394-5, Springer Berlin.

LI, D., SHAN, J. & GONG, J. (Eds.), 2010. Geospatial Technology for Earth Observation. ISBN 978-1-4419-0049-4, Springer New York.

LINDER, W., 2009. Digital Photogrammetry – A Practical Course. 3rd edition, XV, 220 p. with 3D glasses, with CD-ROM, hardcover, ISBN: 978-3-540-92724-2, Springer Berlin.

NEUTENS, T. & DE MAEYER, P. (Eds.), 2010. Developments in 3D Geo-Information Sciences. Series: Lecture Notes in Geoinformation and Cartography. XIII, 219 p., hardcover, ISBN: 978-3-642-04790-9, Springer Berlin.

RICHTER, CH. & TEICHERT, B., 2009: Einführung in die Digitale Bildverarbeitung – Lehrbuch für ingenieurwissenschaftliche Studiengänge. 1. Auflage, ISBN 978-3-9812590-1-8, Diskurs Verlag Dresden.

## Zum Titelbild

### 700 Jahre Leuchtturm Neuwerk

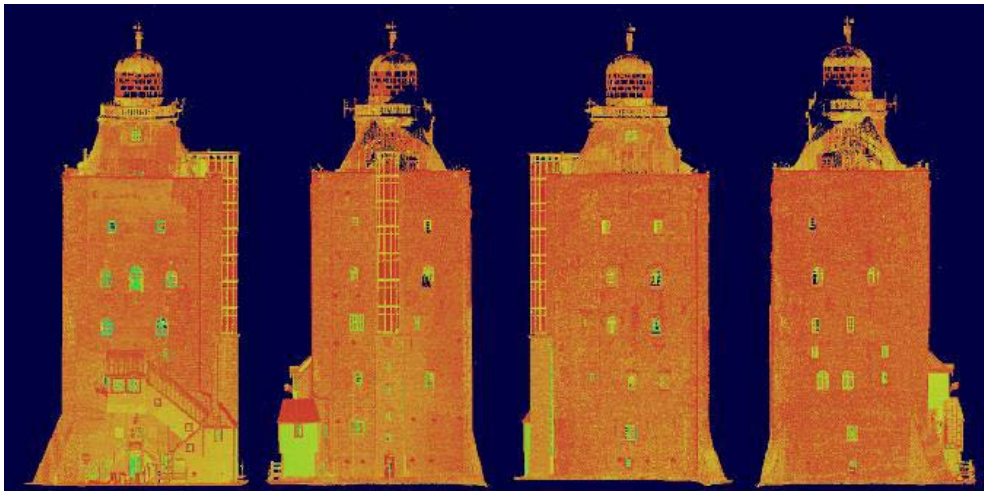
Der Leuchtturm der Insel Neuwerk, ungefähr 13 Kilometer nordwestlich von Cuxhaven im Nationalpark Hamburgisches Wattenmeer an der Elbmündung gelegen, ist das älteste Bauwerk der Stadt Hamburg und zudem Hamburgs letztes Festungsgebäude. Auf dem Titelbild sind die nördliche Front- (links) und die westliche Seitenfassade (rechts) als Darstellung der Intensitätswerte einer Punktwolke vom terrestrischen Laserscanningssystem Mensi GS101 von Trimble abgebildet. Das Bauwerk wurde am 3. und 4. Juni 2009 durch das Labor für Photogrammetrie & Laserscanning der HafenCity Universität Hamburg im Rahmen einer studentischen Messexkursion zwecks 3D-Modellierung photogrammetrisch und mit terrestrischem Laserscanner aufgenommen.

Mit dem Bau des Leuchtturms von Neuwerk wurde im Jahre 1300 begonnen. Vor 700 Jahren (1310) wurde er als Wehrturm fertig gestellt. Die Stadt Hamburg wollte einen Außenposten an der Elbmündung besitzen, der an dieser für den Seehandel überaus wichtigen

Verkehrsader Hamburgs Interessen wahren sollte: Der dort stationierte Trupp Soldaten sollte die Elbmündung vor See- und Strandräubern schützen. Daher war eine militärische Besatzung über Jahrhunderte auf der Insel stationiert. Darüber hinaus war der Turm im Laufe der Jahrhunderte mehrfach Zufluchtsstätte während Sturmfluten. Erst im 19. Jahrhundert wurde der Wachturm zu einem Leuchtturm ausgebaut, d.h. am Abend des 20. September 1814 schien erstmalig das von 21 kreisförmig angeordneten Parabolspiegeln gebündelte Licht des Neuwerker Turms. Anfangs noch mit Öllampen betrieben wurde der Turm 1942 auf elektrischen Strom umgestellt. Der seit 1924 unter Denkmalschutz stehende Leuchtturm ist heute der älteste Feuerträger Deutschlands. Am 10. Juni 2010 erscheint endlich der älteste Leuchtturm auch auf einer Briefmarke der Deutschen Post.

THOMAS KERSTEN

HafenCity Universität Hamburg, Labor für Photogrammetrie & Laserscanning,  
Hebebrandstrasse 1, 22297 Hamburg, Thomas.Kersten@hcu-hamburg.de



Leuchtturm Neuwerk – Darstellung der vier Fassaden des Bauwerkes als Intensitätswert-basierte Laserscanning-Punktwolke des Mensi GS101 von Trimble.

## Korporative Mitglieder

### Firmen

AEROWEST GmbH  
 AICON 3D Systems GmbH  
 aphos Leipzig AG  
 Applanix Corporation  
 Becker GeoInfo GmbH  
 Bernhard Harzer Verlag GmbH  
 Blom Deutschland GmbH  
 Brockmann Consult  
 bsf swissphoto  
 Büro Immekus  
 CGI Systems GmbH  
 con terra GmbH  
 Creaso GmbH  
 DEFINIENS AG  
 DELPHI IMM GmbH  
 Deutsches Bergbau-Museum  
 EFTAS Fernerkundung Technologietransfer GmbH  
 ESG Elektroniksystem- und Logistik-GmbH  
 ESRI Geoinformatik GmbH  
 EUROPEAN SPACE IMAGING  
 Eurosense GmbH  
 fokus GmbH  
 fpi Fuchs Ingenieure GmbH  
 g.on experience gmbh  
 GAF GmbH  
 GeoCad GmbH  
 GeoCart Herten GmbH  
 GeoContent GmbH  
 geoplana Ingenieurgesellschaft mbH  
 Geoinform. & Photogr. Engin. Dr. Kruck & Co. GbR  
 GEOSPACE Beckel GmbH  
 GEOSYSTEMS GmbH  
 GGS - Büro für Geotechnik, Geoinformatik, Service  
 Hansa Luftbild AG  
 IGI - Ingenieur-Gesellschaft für Interfaces mbH  
 ILV Ing.-büro für Luftbildausw. und Vermessung  
 Imetric 3D GmbH  
 INVERS - Industrievermessung & Systeme  
 J. Linsinger ZT-GmbH  
 Jena-Optronik GmbH  
 KAZ Bildmess GmbH  
 Leica Geosystems GmbH  
 Luftbild Brandenburg GmbH  
 Luftbilddatenbank-Würzburg  
 Messbildstelle GmbH  
 Microsoft Photogrammetry  
 MILAN Geoservice GmbH  
 PHOENICS GmbH  
 PMS - Photo Mess Systeme AG  
 RWE Power AG, Geobasisdaten/Photogrammetrie  
 technet GmbH  
 TERRA-Bildmessflug GmbH & Co.  
 TerraVista Umweltdaten GmbH  
 TRIGIS Vermessung + Geoinformatik GmbH  
 Trimble Germany GmbH  
 trimetric 3D Service GmbH, Garbsen  
 Verlaggruppe Hüthig Jehle Rehm GmbH

### Z/I Imaging

### Behörden

Amt für Geoinformationswesen der Bundeswehr  
 Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft  
 Bundesamt für Kartographie und Geodäsie  
 Bundesmin. für Ern., Landw. und Verbraucherschutz  
 DB Netz AG  
 Hess. LA für Bodenmanagement und Geoinformation  
 Innenministerium NRW, Gruppe Vermessungswesen  
 Inst. für Umwelt- und Zukunftsforschung  
 LA f. Geoinformation u. Landentw., Baden-Württem.  
 LA für Vermessung und Geoinformation, Bayern  
 Landesbetrieb Geoinformation und Verm., Hamburg  
 Landesvermessung und Geobasisinformation Nieders.  
 LB f. Küstenschutz, Nationalpark u. Meeresschutz, SH  
 Märkischer Kreis, Vermessungs- und Katasteramt  
 Regierungsprä. Tübingen, Abt. 8 Forstdirektion  
 Regionalverband Ruhr  
 Staatsbetrieb Sachsenforst Pirna  
 Stadt Bocholt, Fachbereich 31  
 Stadt Düsseldorf, Vermessungs- und Katasteramt  
 Stadt Köln, Amt für Liegensch., Verm. und Kataster  
 Stadt Wuppertal, Verm., Katasteramt und Geodaten  
 Thüringer LA für Vermessung und Geoinformation

### Hochschulen

BTU Cottbus, Lehrstuhl für Vermessungskunde  
 FH Frankfurt a.M., FB 1, Studiengang Geoinformation  
 FH Mainz, Inst. f. Raumbez. Inform.- und Messtechn.  
 FH Oldenburg, Inst. für Angew. Photogr. und Geoinf.  
 HCU HafenCity Universität Hamburg, Geomatik  
 HfT Stuttgart, Vermessung und Geoinformatik  
 HS Bochum, FB Vermessung und Geoinformatik  
 HS Karlsruhe, FB Geoinformationswesen  
 HTW Dresden, FB Vermessungswesen/Kartographie  
 LU Hannover, Inst. für Kartogr. und Geoinformatik  
 LU Hannover, Inst. für Photogrammetrie und GeoInf.  
 Ruhr-Uni Bochum, Geographisches Institut  
 RWTH Aachen, Geodätisches Institut  
 TU Berlin, Computer Vision & Remote Sensing  
 TU Braunschweig, Inst. für Geodäsie und Photogr.  
 TU Clausthal, Inst. für Geotechnik und Markscheidew.  
 TU Darmstadt, Inst. für Photogrammetrie und Kartogr.  
 TU Dresden, Inst. für Photogrammetrie und Fernerk.  
 TU Freiberg, Inst. für Geologie, RSG  
 TU Freiberg, Inst. f. Markscheidew. u. Geodäsie  
 TU München, FG Photogrammetrie und Fernerk.  
 TU Wien, Inst. für Photogrammetrie und Fernerk.  
 Uni Bonn, Inst. für Photogrammetrie  
 Uni Göttingen, Inst. für Waldinv. und Waldwachstum  
 Uni Heidelberg, IWR Interdis. Zentr. f. Wiss. Rechnen  
 Uni Karlsruhe, Inst. für Photogrammetrie und Fernerk.  
 Uni Kassel, FB Ökologische Agrarwissenschaften  
 Uni Kiel, Geographisches Institut  
 Uni zu Köln, Geographisches Institut  
 Uni Stuttgart, Inst. für Photogrammetrie  
 Uni Würzburg, Geographisches Institut