

PRG

Photogrammetrie Fernerkundung Geoinformation

Journal for Photogrammetry, Remote Sensing
and Geoinformation Science

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

Jahrgang 2016, Heft 5 – 6

Hauptschriftleiter:
Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Kresse

Schriftleiter:
Prof. Dr.-Ing. Stefan Hinz, Prof. Dr. techn. Franz Rottensteiner,
Prof. Dr. rer. nat. Christopher Conrad, Prof. Dr. rer. nat. Lars
Bernard und Dr.-Ing. Eckhardt Seyfert

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



E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung
(Nägele u. Obermiller) Stuttgart 2016



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.



GeoUnion
Alfred-Wegener-Stiftung

Herausgeber:

© 2016 Deutsche Gesellschaft für Photogrammetrie, Fernerkundung und Geoinformation (DGPF) e.V.
Präsident: Prof. Dr. Uwe Stilla, Technische Universität München, Fachgebiet Photogrammetrie und Fernerkundung, Arcisstraße 21, 80333 München, Germany, Tel.: +49-89-289-22671

Geschäftsstelle: Tanja Nyc, c/o Technische Universität München, Institut für Geodäsie, GIS und Landmanagement, Lehrstuhl für Geoinformatik, Arcisstraße 21, 80333 München, Germany, Tel.: +49-89-289-22578, e-mail: geschaeftsstelle@dgpf.de

Published by: E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele u. Obermiller), Johannesstraße 3A, 70176 Stuttgart, Germany, Tel.: +49-711 351456-0, Fax: +49-711 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 / e-ISSN 2363-7145

Science Citation Index Expanded (also known as SciSearch®) Journal Citation Reports/Science Edition

Hauptschriftleiter: Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Kresse, Hochschule Neubrandenburg, Fachbereich Landschaftswissenschaften und Geomatik, Brodaer Straße 2, 17033 Neubrandenburg, Germany, e-mail: kresse@hs-nb.de

Schriftleiter: Prof. Dr.-Ing. Stefan Hinz, Karlsruher Institut für Technologie – KIT, Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung, Englerstraße 7, 76131 Karlsruhe, Germany, e-mail: stefan.hinz@ipf.uni-karlsruhe.de, Prof. Dr. techn. Franz Rottensteiner, Leibniz Universität Hannover, Institut für Photogrammetrie und GeoInformation, Nienburger Straße 1, 30167 Hannover, Germany, e-mail: rottensteiner@ipi.uni-hannover.de, Prof. Dr. rer. nat. Christopher Conrad, Universität Würzburg, Institut für Geographie und Geologie, Oswald-Külpe-Weg 86, 97074 Würzburg, Germany, e-mail: christopher.conrad@uni-wuerzburg.de, Prof. Dr. rer. nat. Lars Bernard, Technische Universität Dresden, Fachrichtung Geowissenschaften, Helmholtzstraße 10, 01062 Dresden, Germany, e-mail: lars.bernard@tu-dresden.de, und Dr.-Ing. Eckhardt Seyfert, Landesvermessung und Geobasisinformation Brandenburg, Heinrich-Mann-Allee 103, 14473 Potsdam, Germany, e-mail: eckhardt.seyfert@geobasis-bb.de

Erscheinungsweise: 6 Hefte pro Jahrgang.

Bezugspreis im Abonnement: € 262,- pro Jahrgang. Mitglieder der DGPF erhalten die Zeitschrift kostenlos. Der Online-Zugang ist im regulären Subskriptionspreis enthalten.

Anzeigenverwaltung: E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele u. Obermiller), Johannesstraße 3A, 70176 Stuttgart, Germany, Tel.: +49-711 351456-0; Fax: +49-711 351456-99.

e-mail: mail@schweizerbart.de, Internet: <http://www.schweizerbart.de>

Bernhard Harzer Verlag GmbH, Westmarkstraße 59/59a, 76227 Karlsruhe, Germany, Tel.: +49-721 944020, Fax: +49-721 9440230, e-mail: Info@harzer.de, Internet: www.harzer.de

Printed in Germany by Tutte Druckerei & Verlagsservice GmbH, 94121 Salzweg, Germany.

PFG – Jahrgang 2016, Heft 5/6

Inhaltsverzeichnis

Editorial

KRESSE, W.: Abschied vom Schweizerbart-Verlag	269
---	-----

Originalbeiträge

KERSTEN, T.P., PRZYBILLA, H.-J. & LINDSTAEDT, M.: Investigations of the Geometrical Accuracy of Handheld 3D Scanning Systems of a RapidEye Time Series for Modelling Biophysical Parameters of Winter Wheat	271
DAHMS, T., SEISSIGER, S., BORG, E., VAJEN, H., FICHELTMANN, B. & CONRAD, C.: Important Variables of a RapidEye Time Series for Modelling Biophysical Parameters of Winter Wheat	285
AHMADIAN, N., BORG, E., ROTH, A. & ZÖLITZ, R.: Estimating the Leaf Area Index of agricultural crops using multi-temporal dual-polarimetric TerraSAR-X data: A case study on North East Germany	301
TUTZAUER, P., BECKER, S., FRITSCH, D., NIESE, T. & DEUSSEN, O.: A Study of the Human Comprehension of Building Categories Based on Different 3D Building Representations	319

Praxisberichte

CHRIST, I. & LESSING, R.: Erfassung der früheren und aktuellen Siedlungsdynamik von Hanoi auf Basis von heterogenen Satellitenbildern	335
KOMP, K.-U. & MÜTERTHIES, A.: Supporting Management of Refugee Streams by Earth Observation and Geoinformation	347

Mitteilungen

Berichte von Veranstaltungen	
15. Internationales 3D-Forum Lindau, 10. – 11. Mai 2016	359
ISPRS Kongress, 12. – 19. Juli 2016, Prag, Tschechische Republik	
Bericht Kommission I, Sensors and Platforms	361
Bericht Kommission III, Photogrammetric Computer Vision and Image Analysis	362
Bericht Kommission IV, Geospatial Databases and Location Based Services	363
Bericht der DGPF-Arbeitskreise	365
Hochschulnachrichten	
Universität Potsdam, Dissertation Harald Schernthanner	375
Preisträger des Karl-Kraus-Nachwuchsförderpreises	376
Persönliches	
Nachruf auf Gunter Menz	381
Nachruf auf Albert Wiedemann	383
Wechsel bei Schriftleitung und Redaktionsbeirat	384
Neuerscheinung	384

Veranstaltungskalender	385
Korporative Mitglieder	386
Jahresübersicht	388
Jahresinhaltsverzeichnis	392

Zusammenfassungen der „Originalbeiträge“ und der „Beiträge aus Wissenschaft und Praxis“
(deutsch und englisch) sind auch verfügbar unter www.dgpf.de/neu/pfg/ausgaben.htm



Investigations of the Geometrical Accuracy of Handheld 3D Scanning Systems

THOMAS P. KERSTEN, Hamburg, HEINZ-JÜRGEN PRZYBILLA, Bochum & MAREN LINDSTAEDT, Hamburg

Keywords: 3D comparison, point cloud, structured light, VDI/VDE 2634

Summary: An increasing number of handheld scanning systems by different manufacturers is becoming available on the market. However, their geometrical performance is little-known to many users. Therefore, the Laboratory for Photogrammetry & Laser Scanning of the HafenCity University Hamburg has carried out geometrical accuracy tests with the following systems in co-operation with the Bochum University of Applied Sciences (Laboratory for Photogrammetry): DOTProduct DPI-7/DPI-8, Artec Spider, Mantis Vision F5 SR, and Creaform HandySCAN 700. In the framework of these comparative investigations geometrically stable reference bodies were used. The appropriate reference data was acquired by measurements with two structured light projection systems (AICON smartSCAN and GOM ATOS I 2M). The comprehensive test results of the different test scenarios are presented and critically discussed in this contribution.

Zusammenfassung: Untersuchungen zur geometrischen Genauigkeit von handgeführten 3D-Scanningssystemen. Handgeführte Scannersysteme verschiedener Hersteller sind in zunehmendem Maße am Markt verfügbar, jedoch ist über ihre geometrische Leistungsfähigkeit bei vielen Anwendern wenig bekannt. Daher hat das Labor für Photogrammetrie & Laserscanning der HafenCity Universität Hamburg in Zusammenarbeit mit der Hochschule Bochum (Labor für Photogrammetrie) geometrische Genauigkeitsuntersuchungen mit folgenden Systemen durchgeführt: DOTProduct DPI-7/DPI-8, Artec Spider, Mantis Vision F5 SR und Creaform HandySCAN 700. Im Rahmen dieser vergleichenden Untersuchungen wurden geometrisch stabile Referenzkörper eingesetzt. Die zugehörigen Referenzdaten wurden durch Messung mit zwei Streifenprojektionssystemen (AICON smartSCAN und GOM ATOS I 2M) erfasst. Die umfassenden Untersuchungsergebnisse der verschiedenen Testszenarien werden in diesem Beitrag vorgestellt und kritisch diskutiert.

1 Introduction

In recent years the market of optical 3D sensors has been significantly expanded in the lower (500 Euro to 4,900 Euro), middle (5,000 Euro to 20,000 Euro) and high-end (more than 20,000 Euro) price segment through the development of handheld 3D scanners. The typical application fields of these 3D scanners are mostly limited to close range, i.e. for measuring tasks with distances under one metre up to

a few metres. Due to the current technological variety within the area of 3D scanning, it is a challenge to select a suitable scanning system for a specific application. Geometric accuracy investigations of terrestrial laser scanning systems were already published by KERSTEN et al. (2009), while an accuracy analysis of a handheld mobile laser scanning system for cultural heritage documentation was recently published by CHAN et al. (2016).

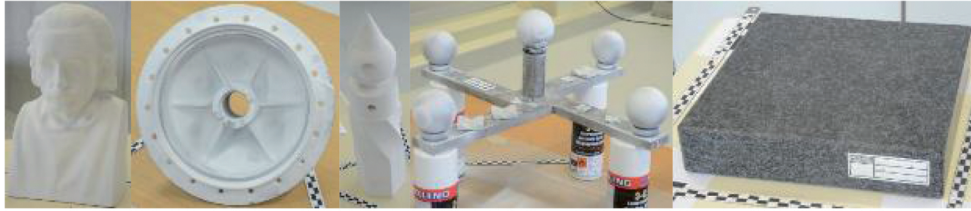


Fig. 1: Reference bodies for the investigations of the handheld scanning systems – from left. Einstein bust, wheel hub, Testys, cross-shaped body HSBO (Bochum) with spheres and granite slab.

Handheld 3D scanners are an optimal supplement to terrestrial laser scanning. However, due to their favourable price and their simple handling these handheld scanners also potentially represent significant competition to the expensive and precise structured light projection systems (also known as fringe projection). Therefore, the question arises, how accurate these 3D scanners are compared to classical structured light systems, e.g. from the manufacturers GOM (2016), STEINBICHLER (Zeiss 2016) or AICON (AICON3D 2016), and what metric quality the user can expect for the acquired 3D data as a price-to-performance ratio. In this area, some results are already available in the literature, e.g. for systems from the gaming industry as well as so-called low-cost systems (structured light system David SLS-1 and Kinect v1/ReconstructMe) for the 3D reconstruction of small objects (HIERONYMUS et al. 2011, WUJANZ et al. 2011, KHOSHSELHAM 2011, BOEHM 2014, KERSTEN et al. 2016a). As expected, these investigations demonstrate that the stability and the metric quality of these systems cannot at present compete with high-end systems.

In the following contribution, geometrical accuracy tests using different handheld 3D scanners (middle price class) will be presented as a continuation of the first tests including low-cost systems such as Structure Sensor, Kinect v1 and v2, and Google's Project Tango (KERSTEN et al. 2016b). For these investigations reference datasets that were derived from measurements with high-end structured light systems (AICON smartSCAN and GOM ATOS I 2M) for different stable bodies were used.

2 Reference Bodies

For the benchmarking test the following reference objects were used (Fig. 1): a gypsum bust of Einstein (height of 160 mm), a wheel hub from cast irons with the dimensions $232 \times 120 \times 232 \text{ mm}^3$ and four so-called "Testys" (height of 380 mm) from the Institute for Computer Science of the Humboldt University in Berlin (REULKE & MISGAISKI 2012). Further examinations took place using the following geometrically-stable reference bodies from the Bochum University of Applied Sciences (HSBO): a cross-shaped body with steel spheres (max. distance 450 mm of five spheres with a diameter of 65 mm) and a planar granite slab (size $300 \times 300 \text{ mm}^2$).

3 Tested Handheld 3D Scanning Systems

The following handheld 3D scanning systems (Fig. 2), with selected technical data summarized in Tab. 1, were available for the tests: two DotProduct DPI-7 (State Office of Criminal Investigations Hamburg (LKA), and Dr. Hesse and Partner Engineers, dhp:i), DotProduct DPI-8 (AllTerra Deutschland GmbH, Schenefeld), Artec Spider (LKA, Hamburg), Mantis Vision F5 Short Range (MexConsult, Bredstedt), Creaform HandySCAN 700 (Hanack und Partner, Hamburg).



Fig. 2: Examined handheld scanner systems (from left): DPI-7, DPI-8, Artec Spider, Mantis Vision F5 SR, and Creafom HandySCAN 700.

3.1 DotProduct DPI-7/DPI-8

A substantial component of the hardware of the DPI-7 (DOTPRODUCT 2016) and DPI-8 scanner (DotProduct, USA) is a PrimeSense sensor (Carminie 1.08/Carminie 1.09), as it is also mounted in the Kinect v1 (NIR projector as well as NIR and RGB cameras). After a cold boot the system needs approximately 20 minutes preheating time. The control of the sensor is carried out by a connected Android tablet using the software Phi.3D. For the registration of the point clouds the sensor data of the internal accelerometers and gyroscopes of the tablet are used. If sufficient overlap is available for the scans (control via visual colour information at the tablet), an ICP algorithm (BESL & MCKAY 1992) performs a pre-registration of scans. After scanning, the registration will be optimized by also eliminating incorrect points, e.g. mixed pixels. The measuring range of the DPI-7 scanner is between 0.6 m and 3.3 m (0.6 m and 5.0 m for DPI-8 according Trimble's specifica-

tion), whereby a short range version with up to 1.2 m range (system of dhp:i) and a long range version with up to 3.3 m (systems of the LKA) are available. The instrument has the dimensions of $20 \times 24 \times 6 \text{ cm}^3$. Investigations of the DPI-7 are presented by JAHRAUS et al. (2015), applications by AHERN & SPRING (2015).

3.2 Artec Spider

Artec Spider (ARTEC3D 2016, Luxembourg) is a handheld 3D scanner, which was developed particularly for CAD users, to scan small items with complex surface structure, sharp edges and thin ribs with 7.5 photos or with 1 million points per second. The system needs a preheating time of approximately 30 minutes and works with a linear field of view between $90 \times 70 \text{ mm}^2$ and $180 \times 140 \text{ mm}^2$. The measuring range is between 0.17 m – 0.35 m. The Artec Spider uses structured light technolo-

Tab. 1: Selected technical data of the examined 3D scanners (manufacturer's data).

System	Measuring procedure (SL = Structured Light)	Range (m)	Precision (mm)	Weight (kg)	Cost (Euro)
DPI-7 (dhp:i)	SL – speckle pattern	0.60 – 1.20	2 (@ 1m)	< 1.00	5,000
DPI-7 (LKA)	SL – speckle pattern	0.60 – 3.30	2 (@ 1m)	< 1.00	5,000
DPI-8	SL – speckle pattern	0.60 – 5.00	2 (@ 1m)	< 1.00	4,700
Artec Spider	SL – speckle pattern	0.17 – 0.35	0.05	< 1.00	15,700
Mantis F5 SR	SL – speckle pattern	0.30 – 0.80	0.05 (@ 50cm)	0.60	15,000
HandySCAN 700	Stereo-Photogrammetry	0.10 – 4.00	up to 0.03	0.85	49,000
ATOS I 2M	SL – Gray code	0.16 – 1.28	0.02	3.50	50,000
smartSCAN	SL – Gray code	0.03 – 1.50	0.009 (plane)	4.00	80,000

gy (speckle pattern) with blue LED as a light source and a colour camera with 1.3 megapixels (24-bit radiometry) for the texture mapping of the objects. For the generation of 3D models the software Artec studio can be used in combination with the measuring system. Sample applications of this system have been published by ADAMS et al. (2015), FRIEDMAN et al. (2015) as well as INZERILLO et al. (2015).

3.3 Mantis Vision F5 Short Range

The Mantis Vision F5 (Israel) is a structured-light handheld scanner with a measuring range of 0.5 m – 4.5 m (MVC F5) respectively 0.3 m – 0.8 m (MV F5 Short Range) (OR3D 2016). The sensor hardware consists of two modules: a video camera and a projector, which is integrated in a grab handle. The projector emits infrared light on the object (proprietary pattern), which is captured as coded light by a video camera. The triangulation algorithm calculates a point cloud with 500,000 points/sec. The point density in XY is 1.6 mm @ 0.5 m distance for each image. The depth of field of the sensor-system is about 0.3 m – 0.8 m. Because of the low sensitivity to the ambient light, the system is usable both in darkness and in daylight. WRONA (2014) and ZHANG et al. (2015) describe diverse applications of the scanner.

3.4 Creaform HandySCAN 700

The HandySCAN 700 (CREAFORM 2016) has been introduced as the newest generation of handheld 3D scanning systems from Creaform in May 2014 as “portable 3D measuring solutions and 3D engineering services” (AMETEK 2016). Creaform was founded in Lévis, Québec, Canada in May 2002 and is now a part of AMETEK Ultra Precision Technologies. The portable 3D scanner is equipped with power supply, USB 3.0 cable, calibration board, USB stick, positioning targets and a notebook computer with the software *VXelements*. The resolution of the sensor is 0.050 mm, while the scanning area is 275 mm × 250 mm with a depth of field of 250 mm. Two principal cameras, integrated at the front of the sensor on top

of each other, acquire 60 images per second. Using seven laser crosses (plus one extra line for difficult accessible areas) as a light source, the system is able to provide 480,000 measurements per second to generate the point cloud for 3D meshing. The sensor position is determined in real-time by spatial resection using retro-reflective targets in object space. OUIMET et al. (2015) present the use of the former system HandySCAN 3D for the documentation of masonry sculptural elements of the Canadian Parliament Buildings. STAROSTA (2016) investigated the operational capability of the 3D scanner HandySCAN 700.

3.5 Reference systems – ATOS I 2M and AICON smartSCAN 3D

The GOM (Company for Optical Measuring Technology) ATOS (Advanced Topometric Sensor) I 2M, Braunschweig, Germany, is a structured light projection system (Gray code/phase shift) consisting of two CCD cameras having 1624 × 1236 pixels each and a structured light projector. Depending on the lenses used the field of view varies between 500 × 400 mm² and 250 × 200 mm². The ATOS I 2M had been employed as a measuring and reference system in different applications (KERSTEN et al. 2012, RAU & YEH 2012, KERSTEN & LINDSTAEDT 2012, KERSTEN et al. 2016a).

The smartSCAN 3D from AICON 3D Systems GmbH, Braunschweig, Germany, is a structured light projection system (white light scanner), which operates with the combined gray-code/phase-shift technology. The cameras (in this case delivering 5 Megapixel) record the structured-light pattern (light source: white LED, alternatively green, blue or red) under a predefined triangulation angle, with a measuring sequence of one second. The scanner works in a measuring range from 30 mm to 1500 mm. Examples of use are presented by SLIZEWSKI et al. (2010) and BATHOW & BREUCKMANN (2011).

4 Data Acquisition

The measurements took place on the 5th and 6th of January and 6th of July 2016 in the Geomat-

ics lab at the HafenCity University Hamburg. At various stations data of the reference bodies had been derived from handheld 3D scanners, cameras and the two reference systems. For the wheel hub and the cross-shaped HSBO test body a coating spray was used to convert the shiny surface into a matt and bright surface.

For data acquisition all handheld scanners have to be moved manually, in a slow and uniform movement, around the whole object in a distance between 20 cm and 50 cm. The collected data is transferred to the connected tablet (DPI-7/DPI-8, Mantis F5) or computer (Artec Spider, HandySCAN 700) in real time and displayed in the software. Normally the instruments are used in one go, after having passed through the usual warm-up phase. No turning off occurred during the measurements of a specified reference body, although some of the sensors, e.g. DotProduct DPI, take a short break (less than 1 minute for an additional warm-up of the camera) when beginning a new imaging session. Fast or abrupt movements should be avoided because they will lead to a loss of the continuous automatic registration. Should such an interruption occur, it can be handled in the software in different ways. For instance, the DPI-7 and the DPI-8 have to be moved again over a part of the object that has already been captured for re-orientation. The Mantis Vision F5 control unit only shows the current video image and not the captured data, so a possible loss of signal can only be repaired by registration of segments in post processing. The experience of the operator influences the speed and quality of data collection significantly. The manual movements of the sensor have to be coordinated with the live-view on the display. The acquisition time is a few minutes for all scanners, depending on the object complexity; two of the systems need a preheating time first (Artec Spider and DPI-7/DPI-8).

For the measurements with the structured light projection systems ATOS I 2M and smartSCAN the objects were placed on turntables. The systems were calibrated before the recording started. The data collection is done in a number of single scans, which are registered to each other by using small targets stuck onto the object (ATOS) or matching aids (small, ex-

PLICIT geometrically structured objects), which are placed in object space (smartSCAN). For the ATOS system the number of scans per object lay between 24 and 120 with the registration accuracy differing between 0.023 mm and 0.041 mm. Generally, the number of scans differs, depending on the size, shape and overall complexity of the object. To measure the HSBO cross-shaped body, 70 scans had to be acquired using the smartSCAN, while the acquisition of the granite slab could be completed with only 10 scans.

5 Evaluation and Results

To evaluate the data from the diverse measurement systems multiple formats had to be processed. Some systems delivered point clouds (DPI-7/DPI-8), some others already generated 3D models on the fly by triangulating meshes using the system software (Mantis F5, Artec Spider, HandySCAN 700, ATOS, smartSCAN).

Three reference bodies (Testy, wheel hub and a bust of Einstein) were measured in detail and at high precision with the fringe projection systems and afterwards the meshing was carried out using Geomagic Studio 2012 (GEOMAGIC 2016). The ATOS system generated the reference datasets for Testy 1, 2 and 3, while Testy 4, the wheel hub and the bust of Einstein were measured with the smartSCAN.

The guideline VDI/VDE 2634, part 2 and 3, is an accredited standard for acceptance tests (verifying the specified accuracy) and re-verification (to ensure long-term compliance) of optical measurement systems based on area scanning (VDI/VDE 2002, 2006). Using the framework of well-defined test scenarios, suitable test objects (artefacts) are employed to determine quality parameters. Following the guidelines, tests were executed using the cross-shaped body HSBO with spheres and the granite slab. The derivable quality parameters are:

- Probing error PS (size): This quality parameter arises from the difference between the measured diameter and the diameter of the calibrated sphere.
- Probing error PF (shape): This quality parameter is the range of the radial dis-

tance between the measured points and a best-fit sphere. The best-fit sphere is determined according to the least-squares method with free radius.

- The sphere-spacing error SD is determined from the difference between the measured and calibrated values of the distance between the centres of two spheres. The measured distance is derived from the measured values obtained from multiple area-based probings. The limit, SD, for the permissible three-dimensional sphere-spacing error is the quality parameter sphere-spacing error. It is determined as a length-independent quantity and shall be observed within the entire measuring volume specified.
- The quality parameter flatness measurement error, RE, is the range of the signed distances of the measurement point from the best-fit plane calculated according to the least-squares method.

To evaluate the datasets and calculate the quality parameters Geomagic Studio was used.

5.1 Cross-shaped Reference Body HSBO with Spheres

Fig. 3 shows the probing errors (PS and PF) determined for the HSBO reference body. The characteristic curves of the reference system smartSCAN refer to a comparative measure-

ment with a laser tracker API T3 (interferometric measurement accuracy: $> \pm 15 \mu\text{m}$ or 1.5 ppm), while the other graphs are referenced to the smartSCAN system. Related to the probing error PS (Fig. 3 left) it is remarkable that some sensors (DPI-7, DPI-8, Mantis F5) point out systematic deviations: measurements are too large or too small. Therefore, it can be assumed that the systems have scale problems from the sensor calibration. Compared to the reference system the probing error PS of these systems is larger by a factor of about 5 – 35. The best results in this test have been achieved by the HandySCAN 700, reaching almost the accuracy of the reference system.

The probing error PF (Fig. 3 right) shows the noise behaviour of the sensors. The results of the two DPI-7 handheld scanners are homogeneous and oscillate around 10 mm, while the DPI-8 as the follow-up system shows a significant improvement possibly due to data filtering. With the Mantis F5 scanner this value is below 2 mm on average. The Creaform HandySCAN 700 shows again the best results, compared to the reference system.

The sphere-spacing errors (Fig. 4) show systematic positive or negative deviations for almost all sensors. These effects are particularly pronounced with the Mantis F5 as well as with the DPI-7 (on the average approx. 1% of the distance). The afore-mentioned scale error is to be assumed as the main reason for this behaviour. The DPI-8 shows a slight im-

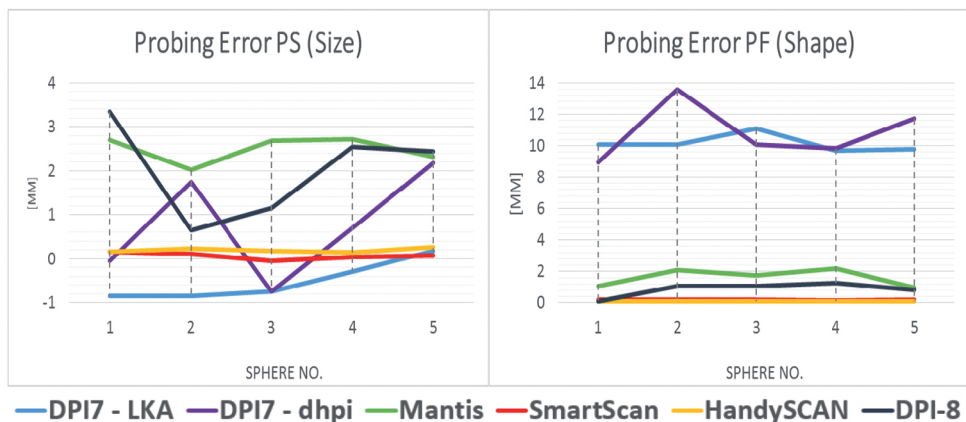


Fig. 3: Quality parameter probing error (PS / PF) equivalent to VDI/VDE 2634, part 3.

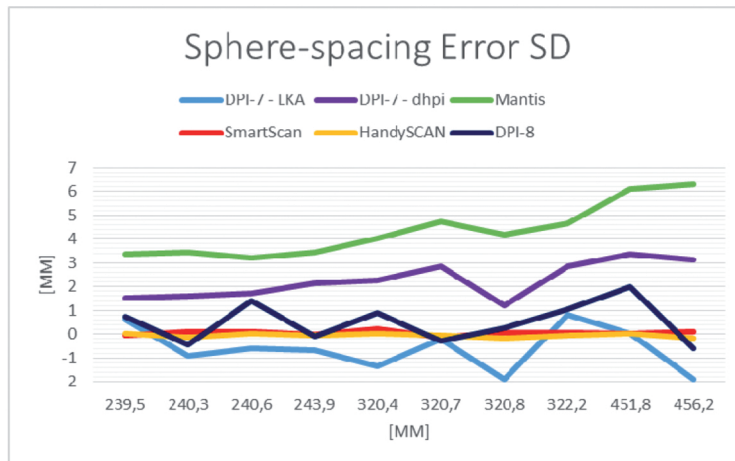


Fig. 4: Quality parameter sphere-spacing error (SD) equivalent to VDI/VDE 2634, part 3 for the distances between the spheres (x-axis).

provement compared to the DPI-7. This test procedure also shows the high quality of the Creafom sensor HandySCAN 700, the results of which are absolute comparable to those achieved by the fringe projection system.

5.2 Reference Body Granite Slab

The charts of Fig. 5 show the results of the flatness measurement error RE for the reference body “granite slab”. A dependence between the arrangement of the object surface (granite slab with a coincidental pattern, consisting of bright and dark areas) and the measurement principle of the particular sensor is also visible here. It is recognizable from the data of the structured light projectors (smartSCAN and ATOS) that both systems are able to measure the surface with a similar quality, although the number of acquired points differs significantly. It might be assumed that one reason for this lies in the different principles of the scanners’ projector units, a current LED lighting with the smartSCAN respectively halogen light with the ATOS, while another reason might be the different resolutions of the cameras.

The granite slabs measured by photo triangulation with the HandySCAN 700 shows a flatness measurement error which is comparable to the results of the structured-light pro-

jectors. The natural texture of the granite slab here surely meets the requirements of stereophotogrammetry. Systems with active projection are disadvantaged in this case. An interesting effect also can be seen with the DPI-7 and DPI-8 scanners: obviously there is no direct dependence between the number of points in the cloud and the surface quality.

5.3 Reference Body Testy

The results of the 3D comparisons between the systems tested and reference system (ATOS) are summarized in Tab. 2 and illustrated in Fig. 6. The 3D comparison of the two reference systems (ATOS and smartSCAN) shows very small average deviations of less than 10 μm , and even the span, which is calculated from the difference between the average negative and positive deviations, is very low (approximately 30 μm). Thus, the good quality of this two structured light projection systems is confirmed as a reference system with superior accuracy. However, the best result has been achieved with the HandySCAN 700, since the deviation to the reference is in the range of the smartSCAN. No other handheld 3D scanner could achieve these accuracies. Furthermore, some other systems (DPI-7, DPI-8 and Artec Spider) could not completely capture the Testy

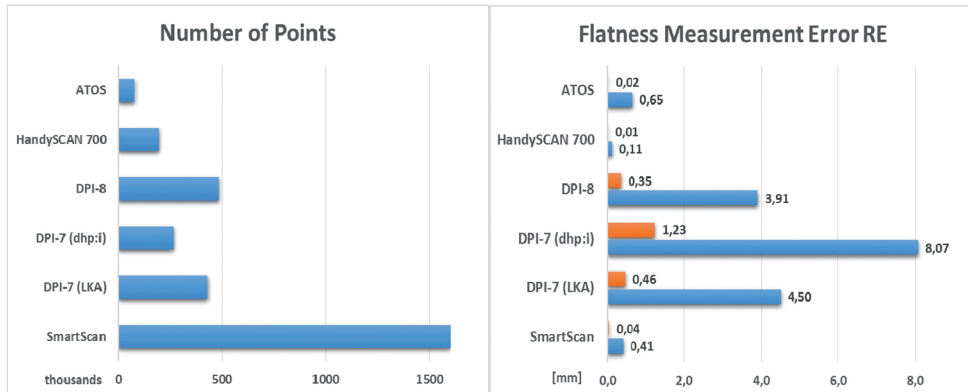


Fig. 5: Quality parameter flatness measurement error (RE) equivalent to VDI/VDE 2634, part 2. Right fig.: BLUE – flatness measurement error, ORANGE: standard deviation (mm).

due to the complex geometry and all handheld structure light systems showed obvious systematic scale differences (Fig. 6).

5.4 Reference Body Einstein Bust

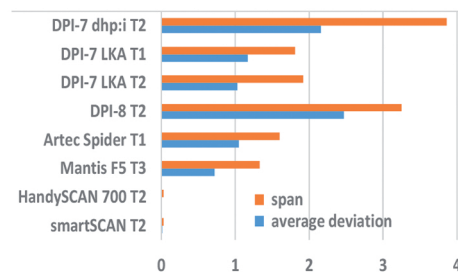
The results of the 3D comparisons with the Einstein bust are summarized in Tab. 3 and presented in Fig. 7 in colour. The best numerical and visual result is reached by the HandySCAN 700. From the DPI 7/DPI-8 and the Artec Spider data, only models containing big holes could be created. The high deviations in the DPI-7/DPI-8 data show that they cannot cope with the homogeneous white surface of the Einstein bust. For this object the two higher-assessed systems, Mantis F5 and Artec Spider, could not achieve the specifications quoted by the manufacturer in these tests.

5.5 Reference Body Wheel Hub

The most complex and difficult reference body concerning this investigation is the wheel hub. Due to its symmetry, it can only be aligned clearly using a few small parts of the object, a grooved profile on the back and some elevated letters inside. If these parts were not visible in the data (e.g. of the DPI-7 LKA) due to low scan resolution, the object could not be aligned and compared to the reference object. With the exception of the HandySCAN 700 none of the investigated systems could generate a complete model if the wheel hub was taken only from one position and not rotated. The 3D models from DPI-7/DPI-8 and from Artec Spider were not useful, since visually unacceptable models were generated. The final 3D models and the colour-coded differences between test data and reference mod-

Tab. 2: Average deviations ($\bar{\sigma}$ dev.) (mm) of the Testys – 3D comparison in Geomagic between reference (ATOS, # of triangles ca. 250.000) and test system, T = Testy, Sp = span.

System	# triangles	$\bar{\sigma}$ dev.	Sp
A: DPI-7 dhp:i T2	588,221	2.16	3.86
B: DPI-7 LKA T1	466,114	1.17	1.81
C: DPI-7 LKA T2	448,993	1.03	1.92
D: DPI-8 T2	452,086	2.47	3.25
E: Artec Spi. T1	2,621,776	-1.05	1.60
F: Mantis F5 T3	4,371,360	0.72	1.33
G: HandySC. T2	1,236,568	0.01	0.03
H: smartSC. T2	1,156,735	-0.01	0.03



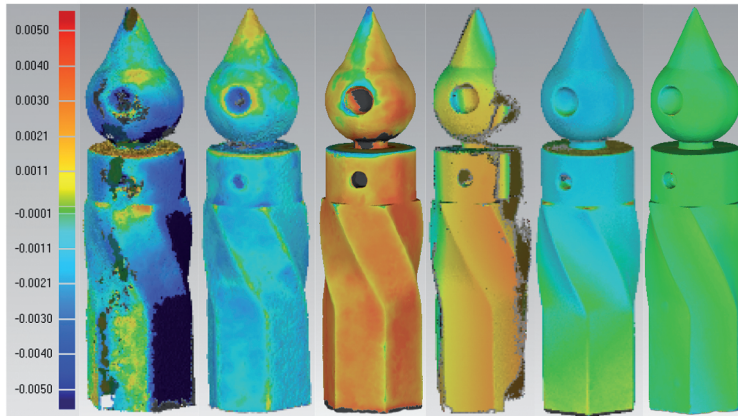


Fig. 6: Deviations (m) of the different Testys (3D comparison in Geomagic test data vs. reference) (from left to right) – DPI-7 dhp:i T2 (A), DPI-7 LKA T1 (B), DPI-8 T2 (D), Artec Spider T1 (E), Mantis F5 T3 (F) and HandySCAN 700 T2 (G).

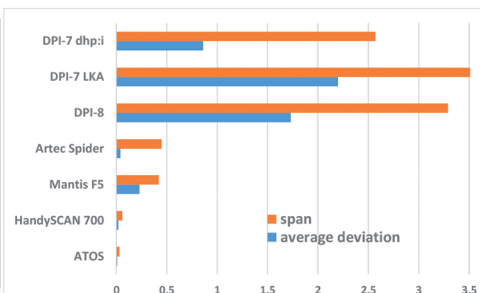
el are shown in Fig. 8. This shows that the HandySCAN 700 delivered the best numerical and optical results. The visual impression is also confirmed by the results in Tab. 4, i.e. the HandySCAN 700 and the structured light projection system ATOS (here used for comparison) have the smallest average deviations. By contrast to this, the Mantis F5 shows significant systematic effects which might be caused by false scaling from system calibration. Mantis F5 and Artec Spider could not achieve the manufacturer’s accuracy specifications. The other systems achieve the specified accuracy, but they are rather unsuitable for this technical application due to the optical quality of the generated model.

6 Conclusion and Outlook

In this contribution the results of the comparative geometrical accuracy tests for different handheld 3D scanners were presented. The tests demonstrated that the evaluated middle class scanning systems currently do not reach the accuracies and the quality of the reference data produced by high-end structured light systems. The Creaform HandySCAN 700 is an exception, since the results of this high-end system are very close to the reference systems, i.e. it is a portable and flexible 3D scanner with almost the same accuracy as static structure light systems. However, it should be noted that not all of the selected reference bodies corresponded optimally to the typical range of applications of the tested 3D scanners. In principle, the handling of these systems is simple.

Tab. 3: Average deviations (\emptyset dev.) (mm) of the Einstein bust – 3D comparison in Geomagic between reference (smartSCAN, # of triangles 1,110,302) and test system, Sp = span.

System	#triangles	\emptyset dev.	Sp
A: DPI-7 dhp:i	175,696	0.86	2.57
B: DPI-7 LKA	167,556	2.20	3.53
C: DPI-8	497,978	1.73	3.29
D: Artec Spider	1,299,298	0.04	0.45
E: Mantis F5	8,089,764	0.23	0.42
F: HandySCAN	1,100,302	0.02	0.06
G: ATOS	769,262	0.01	0.03



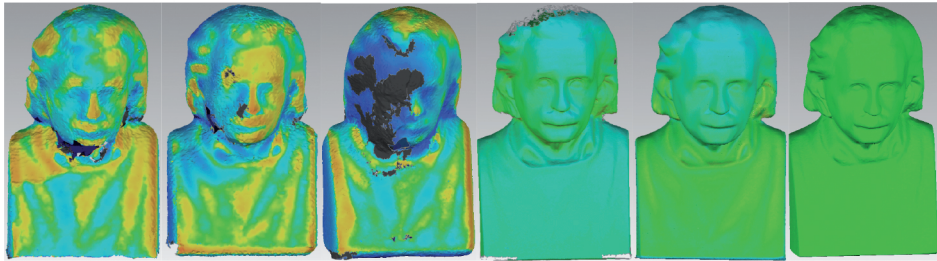


Fig. 7: Deviations (m) of the different Einstein busts (3D comparison in Geomagic test data vs. reference) (from left to right) – DPI-7 dhp:i (A), DPI-7 LKA (B), DPI-8 (C), Artec Spider (D), Mantis F5 (E) and HandySCAN 700 (F). Scale identical to Fig. 6: green 0.1 mm, red +5 mm, blue -5 mm.

However, the scanning by slow, homogeneous movements – around and over the object to be recorded – requires appropriate user experience for keeping a permanent matching between the scanned point clouds. The acquisition speed of a few minutes for each object is quite high for all presented systems.

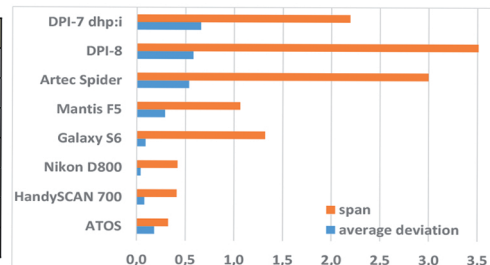
Following the guideline of VDI/VDE 2634, part 2 and 3, the determined quality parameters (probing error and sphere-spacing error) gave a clear indication that the instrument scale was not precisely determined for some handheld scanners and/or that the sensor is possibly not stable due to a mechanically unstable structure. Procedures for the field check and/or simple self-calibration achievable by any user are therefore both meaningful and necessary. The result of the flatness measurement error tests document that the image-based acquisition procedure with the HandySCAN 700 has very small deviations compared to the structured light systems, while the systems with active projection show deviations that are larger than those of the reference sys-

tems by a factor of 8-50. It can be concluded that the signal to noise ratio of the active scanning systems needs significant improvements. Comparing the latest DotProduct systems, the DPI-8 provides an improvement with respect to the DPI-7 only in the tests concerning the guideline VDI/VDE 2634.

The two systems Mantis F5 and Artec Spider settled in the middle price segment could not satisfy the accuracy specifications of their manufacturers in the investigations using the reference bodies Testy, wheel hub and Einstein bust. However, beside the pure accuracy values (average deviation and span), the visual quality and the completeness of the scanned test objects must also be considered as a criterion for the evaluation of the entire quality of an examined system. The visual quality of the models was better with the Mantis F5 than with the other handheld scanners. Using the data of the DPI-7/DPI-8 and the Artec Spider, no satisfying models of the reference bodies could be generated due to many holes in the dataset and noise of the point clouds.

Tab. 4: Average deviations (\emptyset dev.) (mm) of the wheel hub – 3D comparison in Geomagic between reference (smartSCAN, # of triangles 6,352,367) and test system, Sp = span.

System	# triangles	\emptyset dev.	Sp
A: DPI-7 dhp:i	454,234	0.66	2.19
B: DPI-8	436,625	0.58	3.56
C: Artec Spider	1,193,774	0.54	3.00
D: Mantis F5	5,494,803	0.29	1.06
E: HandySCAN	7,257,962	0.08	0.41
F: ATOS	642,677	-0.18	0.33



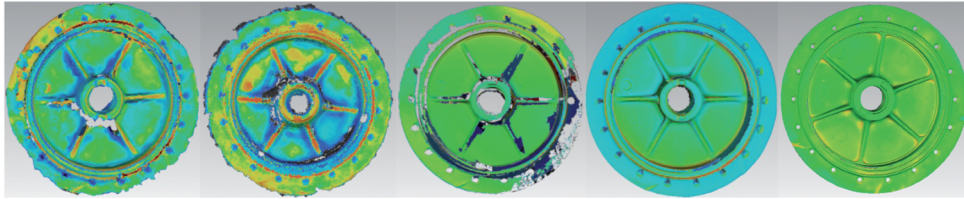


Fig. 8: Deviations (m) of different wheel hubs (3D comparison in Geomagic test data vs. reference) (from left to right) – DPI-7 dhp:i (A), DPI-8 (B), Artec Spider (C), Mantis F5 (D) and Handy-SCAN 700 (E). Scale identical to Fig. 6: green 0.1 mm, red +5 mm, blue -5 mm.

Although it is not documented in these investigations, it was also noticed that the quality of a model generated with a specific system has a strong dependence on the experience of the operator. Future investigations should be carried out in the context of alternative test scenarios, e.g. with larger reference bodies. Moreover, using those reference bodies and a test field a comparison with laser scanner measurements seems to also be meaningful, as generally the handheld systems will be able to fill a gap between high precision structured light systems (in comparison to high-end and middle class handheld 3D scanners) and terrestrial laser scanners (in comparison to low-cost handheld 3D scanners).

Acknowledgements

The authors acknowledge the deployment of the 3D scanning systems by the State Office of Criminal Investigations Hamburg, Dr. Hesse and Partner Engineers (Hamburg), Hanack und Partner (Hamburg), AllTerra Deutschland GmbH (Schenefeld), and MexConsult (Bredstedt). In particular, the energetic support during the data acquisition by the students of the master study program Geomatics of HCU Hamburg, the students of the Bochum University of Applied Sciences and the staff of the State Office of Criminal Investigations Hamburg is gratefully acknowledged. Furthermore, the authors thank MARTIN MISGAISKI-HASS (Humboldt University Berlin) for providing the four test bodies Testy.

References

- ADAMS, J.W., OLAH, A., MCCURRY, M.R. & POTZE, S., 2015: Surface Model and Tomographic Archive of Fossil Primate and Other Mammal Holotype and Paratype Specimens of the Ditsong National Museum of Natural History, Pretoria, South Africa. – *PloS one* **10** (10): e0139800.
- AHERN, C. & SPRING, R., 2015: Handheld 3D Capture. – *GeoInformatics* **18** (2): 18–19.
- AICON3D, 2016: <http://aicon3d.com/products/aicon-scanner.html> (5.11.2016).
- AMETEK, 2016: Creaform announces major design and performance upgrade for its new MetraSCAN 3D laser scanner. – http://www.ametek.com/pressreleases/news/2016/april/creaformannouncemajordesigandperformanceupgrade?news_lang=en (31.10.2016).
- ARTEC3D, 2016: <https://www.artec3d.com/3d-scanner/artec-spider#specifications> (2.11.2016).
- BATHOW, C. & BREUCKMANN, B., 2011: High-definition 3D acquisition of archaeological objects: An overview of various challenging projects all over the world. – 23rd CIPA Symposium: 12–16.
- BESL, P.J. & MCKAY, N.D., 1992: Method for registration of 3-D shapes. – *Robotics-DL tentative*, International Society for Optics and Photonics: 586–606.
- BOEHM, J., 2014 Accuracy Investigation for Structured-light Based Consumer 3D Sensors. – PFG – Photogrammetrie, Fernerkundung, Geoinformation **2014** (2): 117–127.
- CHAN, T.O., LICHTI, D.D., BELTON, D., KLINGEISEN, B. & HELMHOLTZ, P., 2016: Survey Accuracy Analysis of a Hand-held Mobile LiDAR Device for Cultural Heritage Documentation. – PFG – Photogrammetrie, Fernerkundung, Geoinformation **2016** (3): 153–165.
- CREAFORM, 2016: <http://www.creaform3d.com/en/metrology-solutions/portable-3d-scanner-handyscan-3d> (2.11.2016).
- DOTPRODUCT, 2016: https://www.dotproduct3d.com/assets/pdf/dotproduct-brochure_WEB.pdf (2.11.2016).

- FRIEDMAN, C., JOEL, B.W., SCHULT, A.R. & LEFTWICH, M.C., 2015: Noninvasive 3D Geometry Extraction of a Sea Lion Foreflipper. – *Journal of Aero Aqua Bio-Mechanisms* **4** (1): 25–31.
- GEOMAGIC, 2016: <http://www.geomagic.com/en/> (2.11.2016).
- GOM, 2016: <http://www.gom.com/de/messsysteme/atos.html> (2.11.2016).
- HIERONYMUS, J., MISGAISKI, M. & REULKE, R., 2011: Genauigkeitsvergleich von 3D-Sensoren aus dem Freizeit- und Spielmarkt. – LUHMANN, T. & MÜLLER, C. (eds.): *Photogrammetrie, Laserscanning, Optische 3D-Messtechnik, Beiträge der Oldenburger 3D-Tage 2011*: 232–241, Wichmann Verlag, Heidelberg.
- INZERILLO, L., DI MINO, G., DI PAOLA, F. & NOTO, S., 2015: The Diagnostics of Road Surface Distresses Through Image-Based Modeling Techniques. – *Experimental Survey on Laboratory-Rutted Samples. Life Safety and Security* **3** (8): 31–35.
- JAHRAUS, A., LICHTI, D. & DAWSON, P., 2015: Self-Calibration of a Structured Light Based Scanner for Use in Archeological Applications. – *SPIE 9528, Videometrics, Range Imaging, and Applications XIII*: 95280E; doi: 10.1117/12.2184607.
- KERSTEN, T., MECHELKE, K., LINDSTAEDT, M. & STERNBERG, H., 2009: Methods for Geometric Accuracy Investigations of Terrestrial Laser Scanning Systems. – *PFG – Photogrammetrie, Fernerkundung, Geoinformation* **2009** (4): 301–316.
- KERSTEN, T., KELLER, F., SAENGER, J. & SCHIEWE, J., 2012: Automated Generation of an Historic 4D City Model of Hamburg and its Visualisation with the GE Engine. – IOANNIDES, M., FRITSCH, D., LLEISSNER, J., DAVIES, R., REMONDINO, F. & CAFFO, R. (eds.): *EuroMed 2012 – International Conference on Cultural Heritage, Lecture Notes in Computer Science* **7616**: 55–65, Springer, Berlin und Heidelberg.
- KERSTEN, T. & LINDSTAEDT, M., 2012: Image-Based Low Cost Systems for Automatic 3D Recording and Modelling of Archaeological Finds and Objects. – IOANNIDES, M., FRITSCH, D., LLEISSNER, J., DAVIES, R., REMONDINO, F. & CAFFO, R. (eds.): *EuroMed 2012 – International Conference on Cultural Heritage, Lecture Notes in Computer Science* **7616**: 1–10, Springer, Berlin und Heidelberg.
- KERSTEN, T., OMELANOWSKY, D. & LINDSTAEDT, M., 2016a: Investigations of Low-Cost Systems for 3D Reconstruction of Small Objects. – IOANNIDES, M., FINK, E., MOROPOULOU, A., HAGEDORN-SAUPE, M., FRESA, A., LIESTØL, G., RAJCIC, V. & GRUSSENMEYER, P. (eds.): *EuroMed 2016, Part I, Lecture Notes in Computer Science* **10058**: 1–12, Springer International Publishing AG.
- KERSTEN, T., PRZYBILLA, H.-J., LINDSTAEDT, M., TSCHIRSCHWITZ, F. & MISGAISKI-HASS, M., 2016b: Comparative Geometrical Investigations of Handheld Scanning Systems. – *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing, and Spatial Information Sciences* **XLI-B5**: 507–514.
- KHOSHELHAM, K., 2011: Accuracy Analysis of Kinect Depth Data. – *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* **38** (5/W12): 133–138.
- OR3D, 2016: <http://www.or3d.co.uk/wp-content/uploads/2016/09/F5-Short.pdf> (5.11.2016).
- OUMET, C., GREGG, J., KRETZ, S., CHANDLER, C. & HAYES, J., 2015: Documentation and dissemination of the sculptural elements of Canada's Parliamentary Buildings: Methodology development and evolution, a case study. – *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* **40** (5): 347–352.
- RAU, J.Y. & YEH, P.C., 2012: A semi-automatic image-based close range 3D modeling pipeline using a multi-camera configuration. – *Sensors* **12** (8): 11271–11293.
- REULKE, R. & MISGAISKI, M., 2012: Test body “Testy” for Laser Scanning and Optical Systems. – *PFG – Photogrammetrie, Fernerkundung, Geoinformation* **2012** (6): zum Titelbild.
- SLIZEWSKI, A., FRIESS, M. & SEMAL, P., 2010: Surface scanning of anthropological specimens: nominal-actual comparison with low cost laser scanner and high end fringe light projection surface scanning systems. – *Quartär* **57**: 179–187.
- STAROSTA, D., 2016: Untersuchung der Einsatzfähigkeit des 3D-Scanners „HandySCAN 700“. Bachelor thesis, study program Geomatics, HafenCity University Hamburg, March.
- VDI/VDE, 2002: *Optical 3-D Measuring Systems – Optical Systems based on Area Scanning. VDI/VDE Guideline 2634, Part 2*, Beuth Verlag, Berlin.
- VDI/VDE, 2006: *Optical 3-D Measuring Systems – Multiple View Systems based on Area Scanning. VDI/VDE Guideline 2634, Part 3*, Beuth Verlag, Berlin.
- WRONA, M., 2014: Using Optical NIR Handheld Scanner for Close Range 3D Mapping. – *The 9th International Conference on Environmental Engineering 2014, Procedia Engineering*, Vilnius, Lithuania.
- WUJANZ, D., WEISBRICH, S. & NEITZEL, F., 2011: 3D-Mapping mit dem Microsoft® Kinect Sensor – erste Untersuchungsergebnisse. – LUHMANN, T. & MÜLLER, C. (eds.): *Photogrammetrie, Laserscanning, Optische 3D-Messtechnik, Beiträge der Oldenburger 3D-Tage 2011*: 274–283, Wichmann Verlag, Heidelberg.
- ZEISS, 2016: <http://optotechnik.zeiss.com/> (2.11.2016).

ZHANG, W., WANG, C. & XI, X., 2015: 3D Scan of Ornamental Column (huabiao) Using Terrestrial LiDAR and Handheld Imager. – The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences **40** (5/W7): 491–494.

Addresses of the Authors:

THOMAS P. KERSTEN, MAREN LINDSTAEDT, HafenCity Universität Hamburg, Labor für Photogrammetrie & Laserscanning, Überseeallee 16, D-20457 Hamburg, Tel.: +49-40-42827-5343, e-mail: thomas.Kersten, maren.lindstaedt@hcu-hamburg.de

HEINZ-JÜRGEN PRZYBILLA, Hochschule Bochum, Fachbereich Geodäsie, Labor für Photogrammetrie, Lennerhofstraße 140, D-44801 Bochum, e-mail: heinz-juergen.przybilla@hs-bochum.de

Manuskript eingereicht: Oktober 2016

Angenommen: Oktober 2016



Important Variables of a RapidEye Time Series for Modelling Biophysical Parameters of Winter Wheat

THORSTEN DAHMS, SYLVIA SEISSIGER, Würzburg, ERIK BORG, HERMANN VAJEN, BERND FICHELTMANN, Neustrelitz & CHRISTOPHER CONRAD, Würzburg

Keywords: biophysical parameter, RapidEye, vegetation indices, winter wheat, phenology, conditional inference forest

Summary: With the increasing availability of high resolution data, remote sensing is gaining importance for agricultural management. Sensor constellations such as RapidEye or Sentinel-2 have a strong potential for precision agriculture because they provide spectral information throughout the cropping season and at the subfield level. To explore this potential, methods are required that accurately transfer the spectral information into biophysical parameters which in turn permit quantitative assessments of plant growth on the field. Boundary condition for a successful monitoring, e.g., a repeated derivation of the biophysical parameters is to cope with the challenge of enormous data amounts, i.e. to select the input data that is most relevant.

In this study, biophysical parameters of winter wheat, namely the fraction of absorbed photosynthetic active radiation (FPAR), the leaf area index (LAI) and the chlorophyll content (expressed by SPAD), were modelled with RapidEye data in Mecklenburg-West Pomerania, Germany, using Random Forest based on conditional inference trees. Focus was set at the selection of the most important information out of spectral bands and indices for parameter prediction on winter wheat. In-situ and remote sensing observations were grouped into phenological phases in order to examine the importance of single spectral bands or indices for modelling biophysical reality in the several growing stages of winter wheat. The coefficient of determination for FPAR (LAI; SPAD) ranged between 0.19 and 0.83 (0.33 and 0.66; 0.21 and 0.45). Model accuracy was linked with the phenological phase. The results showed that for each biophysical parameter, different spectral variables become important for modelling and the number of important variables depends on the phenological time span. The prediction of biophysical parameters for short phenological groups often depends only on one to

three variables. The results also showed that in the phenological phase of fruit development, the model accuracy is the lowest and the determination of the importance is comparatively vague.

Zusammenfassung: *Wichtige Variablen aus RapidEye-Zeitreihen für die Modellierung biophysikalischer Parameter von Winterweizen.* Hochoaufgelöstes Monitoring agrarwirtschaftlicher Flächen gewinnt immer mehr an Bedeutung. Aus fernerkundlicher Sicht beruht dieses Monitoring auf der robusten Ableitung verschiedener biophysikalischer Parameter aus räumlich und zeitlich hoch aufgelösten Fernerkundungsdaten, z.B. RapidEye oder Sentinel-2. Ziel aktueller Forschung ist es, die biophysikalischen Parameter FPAR (Fraction of Absorbed Photosynthetic Active Radiation), LAI (Leaf Area Index) und den Chlorophyllgehalt aus fernerkundlichen Daten zu ermitteln. Hierbei reizen die großen Datenmengen häufig die Berechnungskapazitäten aus. Somit wird eine umsichtige Reduzierung der zu verarbeitenden Datenmenge die Anwendbarkeit dieser Methode verbessern.

In der vorliegenden Studie wurden conditional inference Random Forests eingesetzt, um zum einen die biophysikalischen Parameter unter Verwendung von RapidEye Szenen zu modellieren, und zum anderen die Bedeutung der einzelnen Eingangsparameter (Spektrale Bänder des RapidEye und Vegetationsindizes) zu quantifizieren. Die direkt auf dem Feld und die fernerkundlich erhobenen Beobachtungen des Winterweizens wurden in unterschiedliche Entwicklungsstadien (phänologische Gruppen) eingeteilt. Bei der Modellierung des FPAR (LAI; SPAD) wurden hierbei Bestimmtheitsmaße zwischen 0.19 und 0.83 (0.33 und 0.66; 0.21 und 0.45) erreicht. Dies zeigt, dass die Genauigkeit der Modellierung der jeweiligen biophysikalischen Parameter stark von der entsprechenden

phänologischen Gruppe abhängt. Darüber hinaus zeigen die Ergebnisse, dass die Bedeutung der unterschiedlichen Eingangsparameter für die unterschiedlichen biophysikalischen Parameter und unterschiedlichen Entwicklungsstadien stark unterschiedlich ist. Häufig sind es nur bis zu drei spek-

trale Variable, die einen Parameter in den kurzen Entwicklungsphasen beschreiben. Die Ergebnisse zeigen auch, dass das Modellieren biophysikalischer Parameter im phänologischen Stadium der Fruchtreife am ungenauesten ist.

1 Introduction

Recently launched and upcoming satellite missions like the Sentinel systems will highly increase the amount of spatiotemporal data provided by remote sensing (BONTEMPS et al. 2015). This kind of high resolution data offers great opportunities among others in agriculture (FRANKE & MENZ 2007). Remote sensing based information of high spatial and temporal resolution can for instance be beneficial for agricultural applications like precision farming and crop yield estimation (HABOUDANE et al. 2004, AHMADIAN et al. 2016). These applications demand accurate and up to date information on the vegetation (JIN et al. 2013), e.g. on the phenological state and on vegetation growth such as biomass production, e.g. expressed by absorbed photosynthetically active radiation (FPAR), the leaf area index (LAI), or chlorophyll content. One example is the study of EITEL et al. (2007), where the nitrogen status of winter wheat was predicted to support farmers with the information whether to apply supplemental fertilizer during the growing period of the crop. However, such applications useful for precision agriculture are still rare.

In order to observe and analyse vegetation using biophysical parameters, several remote sensing approaches were proposed in the past (HALL et al. 1995, MUTANGA & SKIDMORE 2004, LE MAIRE et al. 2011). One option is empirical modelling, i.e. the identification of an optimal statistical relation between spectral measurements, e.g. vegetation indices, and in situ observations. The suitability of empirical approaches varies among the biophysical parameters because they vary in their complexity. Linear statistical approaches may be sufficient for the derivation of FPAR at least for

some crops (MYNENI & WILLIAMS 1994, LEX et al. 2013). However, e.g. for the derivation of LAI, there are strong indications that one vegetation index or spectral band cannot explain the biophysical reality of the vegetation cover over the entire growing season (VIÑA et al. 2011, LEX et al. 2013), because the physical appearance of the crop and, moreover, canopy parameters like cover fraction and plant height vary with the phenological stages of crops. Thus and not exclusively for crops, different univariate and multivariate, linear and non-linear statistical methods have been applied for monitoring biophysical parameters of vegetation with high-resolution data. Machine learning algorithms such as the Random Forest algorithm (BREIMAN 2001) are typically able to cope with a strong non-linearity of the functional dependence between some biophysical parameters and the reflected spectra (BECKSCHAEFER et al. 2014). Differentiation among different phenological stages could also improve empirical estimations of biophysical parameters of vegetation, at least for some growing stages of vegetation, as e.g. shown by TILLACK et al. (2014) or LEX et al. (2015). Nevertheless, little attention has been put on the derivation of biophysical parameters using high resolution remote sensing data in combination with machine learning algorithms for crop monitoring at different stages of the vegetation period.

One challenge to increase the practical use of remote sensing based information products for precision agriculture is the enormous expenditure (e.g. data amount, storage space, processing time), which is necessary for the derivation of the relevant biophysical parameters. To minimize this aspect the reduction of the spectral resolution, e.g. by composing

spectral indices or band selection can be useful and information is required, which indices and spectral bands have the most effect on modelling biophysical parameters at which growing stage. Machine learning methods provide an assessment of the so-called variable importance, which returns the relevance and suitability of certain spectral bands and indices for accurate modelling of biophysical parameters. BECKSCHAEFER et al. (2014) demonstrated the usability of the variable importance when linking remote sensing observations with biophysical parameters for subtropical upland ecosystems.

Different remote sensing applications deal with the extraction of variable importance from Random Forests (MUTANGA et al. 2012, BECKSCHAEFER et al. 2014). However, STROBL et al. (2007) pointed out that an analysis of causal effects using the classical Random Forest approach can be biased in case of having correlated regressors. Against this background, STROBL et al. (2008) introduced the conditional variable importance method to determine the variable importance for correlated regressors. In cause-effect analyses based on Random Forest, in which remote sensing data is utilized, this conditional variable importance method is critical, because spectral bands or e.g. vegetation indices are commonly highly correlated.

The aims of this study are (i) to predict biophysical parameters, namely FPAR, LAI, chlorophyll content of winter wheat during the different growing stages using RapidEye time series and in-situ data, (ii) to identify the most important spectral bands or indices for modelling these biophysical parameters and (iii) to investigate how the indicator importance of these variables changes in the phenological cycle.

2 Study Area

The study area was located near the town Demmin in Mecklenburg-West Pomerania (Mecklenburg-Vorpommern) in Northeast-Germany (Fig. 1). The landscape was formed by glaciers and melting waters during the Weichsel glacial period, approximately 10,000 years ago. The northern part of the study area

is characterized by low topographical variations between 5 m – 20 m a.s.l. whereas the south can be described as hilly to undulating. Due to significant differences in parent substrate material and topography, soils are primarily loamy sands and sandy loams alternating with pure sand patches or clayey areas (GERIGHAUSEN et al. 2009). The climate is moderate, with an average annual temperature of 8–8.5 °C and an average annual rainfall of 550 mm – 600 mm (BORG et al. 2009). The investigated fields were located within the test site DEMMIN (Durable Environmental Multidisciplinary Monitoring Information Network), one of four test areas of the TERENO lowland observatory (BORG et al. 2009, HGF 2015). The test site is an intensively used agricultural ecosystem.

3 Data and Methods

3.1 RapidEye

The RapidEye satellite system is a constellation of five identical earth observation satellites in one orbit with the capability to provide multi-spectral images over large areas with frequent revisits at high resolution (6.5 m at nadir). A detailed description of the RapidEye system can be found in BORG et al. (2013). In addition to the Blue (B) (440 nm – 510 nm), Green (G) (520 nm – 590 nm), Red (R) (630 nm – 685 nm) and Near-Infrared (NIR) (760 nm – 850 nm) bands, the sensor has a RedEdge (RE) (690 nm – 730 nm) band, especially suitable for vegetation analysis (KROSS et al. 2015). The RapidEye level 3A standard product covers an area of 25 km × 25 km, is radiometrically calibrated to spectral radiance, as well as orthorectified and resampled to 5 m spatial resolution (CHANDER et al. 2013). In this study a time series of nine RapidEye images was available. It was recorded within the growing period of winter wheat in 2015. The acquisition dates are given in Fig. 3.

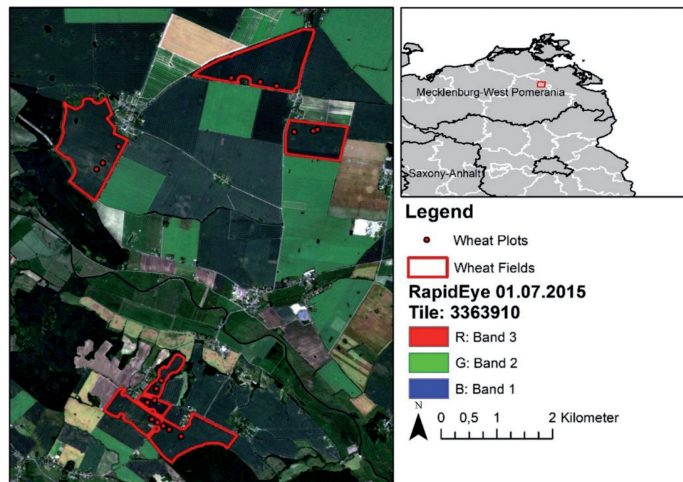


Fig. 1: Study area and location of the Environmental Sampling Units (ESU) in the winter wheat fields.

3.2 *In-situ Observations*

In diverse studies different biophysical key parameter of interest for precision farming applications were identified (MORAN et al. 1997, BARET et al. 2007). Incoming Photosynthetic Active Radiation (PAR) is the primary driving force of photosynthesis and biological production. The Fraction of Photosynthetic Active Radiation (FPAR) resembles the fraction of absorbed incoming Photosynthetic Active Radiation (APAR) in relation to the available PAR and is a key input for light used efficiency modelling (LUE) (SEAQUIST et al. 2003). The LAI characterizes the leaf surface available for energy and mass exchange between surface and atmosphere (CARLSON & RIPLEY 1997). Chlorophyll content can be considered as one of the main inputs in the vegetation models development. Thus, it is considered to be an indicator of the photosynthetic efficiency of the plant (DARVISHZADEH et al. 2008). These three key biophysical variables were investigated in the presented study.

The field survey concept was to gather FPAR, LAI and chlorophyll information in a weekly to bi-weekly recurrence. FPAR and LAI were measured using a SunScan instrument (Delta-T Devices Ltd., Cambridge, England) and SPAD (Soil & Plant Analyzer Development) values were measured using a hand-

held chlorophyll meter (SPAD-502, Minolta Osaka Company, Ltd., Osaka, Japan). The data used in this study was collected on 18 Environmental Sampling Units (ESUs) (BARET et al. 2002) on seven winter wheat fields. The ESUs have an extent of 20 m × 20 m. Within each ESU, twelve measurement points were set within a rectangular cross. The twelve measurements over one ESU were averaged. FPAR and LAI were measured once on each point inside the ESU. The SPAD measurements were taken on each point ten times and averaged. A scheme of an ESU can be found in Fig. 2. The majority of the measurements were taken by the team of the calibration and validation site DEMMIN (BORG et al. 2009).

3.3 *Pre-processing*

An essential aspect, which substantially affects the accuracy of satellite-based remote sensing information, represents the pre-processing like e.g. geo- or atmospheric correction (MANNSSCHATZ et al. 2014). However, comparisons of the geographical coordinates of the ESUs recorded with a GPS during the field campaigns and the RapidEye data showed high accuracy in geolocation which in turn made further geo-corrections unnecessary. The RapidEye scenes were atmospherically

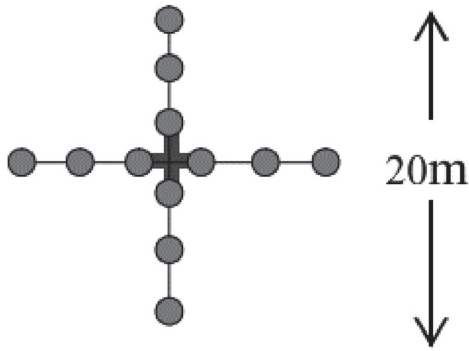


Fig. 2: ESU sampling scheme after GARRIGUES et al. (2002).

corrected and cloud masked using ATCOR2 (RICHTER 2010).

The reflectance spectrum of each RapidEye scene within all 18 ESUs was extracted by averaging RapidEye reflectance in a 20-meter radius around the centre of single ESU. This represents the spatial resolution of the new and upcoming Sentinel-2 Multi Spectral Instrument (MSI) data. Numerous vegetation indices comprising SR, NDVI, SAVI, RE_NDVI, RDVI and EVI were calculated (Tab. 1). In addition, the products of the tasselled cap transformation were included as they represent another important group of spectral indices in agriculture (SCHOENERT et al. 2014). With the additional RedEdge, the RapidEye system has been designed to derive information on the vegetation status (JUNG-ROTHENHÄUSLER et al. 2007). Thus, different vegetation indices, which consider the RedEdge (RE_NDVI, rel-

Length, curve, Length; CONRAD et al. 2012) were also integrated in the feature set.

3.4 Phenological Groups

The second aim of this study was to investigate the variable importance of vegetation indices and single bands for the prediction of FPAR, LAI, and SPAD with respect to different phenological stages. Therefore, each dataset was grouped according to the phenology using the BBCH-characterization (Biologische Bundesanstalt, Bundessortenamt und Chemische Industrie) of the observation field data. The BBCH scale gives numeric information about the morphologic development stage of a plant (LANCASHIRE et al. 1991). The groups were named after the BBCH range they cover. The grouping of the data is illustrated in Fig. 4. This step ensured that the spectral behaviour was associated with the physical appearance of the plant and no longer with the data acquisition date. In other words, data pairs (field measurement and satellite observation at that point) were not analysed per data acquisition period, but within each phenological group.

3.5 Conditional Inference Forest

Random forests (BREIMAN 2001) are ensembles of classification and regression trees that operate on binary partitions of the feature space (drawn by the training samples). Each tree is built from nodes and leaves. Nodes consist of a predictor variable and a split val-

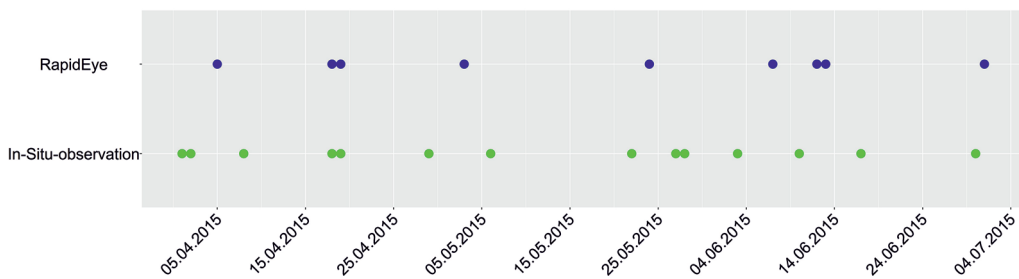


Fig. 3: Overview about the data acquisition times in the field and the available RapidEye observations.

Tab. 1: Overview of calculated vegetation indices. The bands are named according to the part of the spectra they represent. Note that λ refers to the central wavelength of the respective band, e.g. $\lambda_{Red} = 657.5$ nm, $\lambda_{RedEdge} = 710$ nm, $\lambda_{NIR} = 805$ nm.

Index	Equation	Reference
TCT_B	$0.2435 * Blue + 0.3448 * Green + 0.4881 * Red + 0.4930 * RedEdge + 0.5835 * NIR$	SCHOENERT et al. 2014
TCT_G	$(-0.2216) * Blue + (-0.2319 * Green + (-0.4622) * Red + (-0.2154) * RedEdge + 0.7981 * NIR$	
TCT_Y	$(-0.7564) * Blue + (-0.3916) * Green + 0.5049 * Red + 0.1400 * RedEdge + 0.0064 * NIR$	
SR	$\frac{NIR}{Red}$	JORDAN 1969
NDVI	$\frac{(NIR - Red)}{(NIR + Red)}$	ROUSE et al. 1974
SAVI	$(1 + 0.5) * \frac{(NIR - Red)}{(NIR + Red + 0.5)}$	HUETE 1988
RE_NDVI	$\frac{(NIR - RedEdge)}{(NIR + RedEdge)}$	GITELSON & MERZLYAK 1996
RDVI	$\frac{(NIR - Red)}{\sqrt{(NIR + Red)}}$	ROUJEAN & BREON 1995
EVI	$2.5 * \frac{(NIR - Red)}{(1 + NIR + 6 * Red - 7.5 * blue)}$	HUETE et al. 2002
curv	$\frac{(\frac{(NIR - RedEdge)}{(\lambda NIR - \lambda RedEdge)}) - (\frac{(RedEdge - Red)}{(\lambda RedEdge - \lambda Red)})}{(\lambda NIR - \lambda Red)}$	CONRAD et al. 2012
Length	$\frac{\sqrt{(NIR - RedEdge)^2 + (\lambda NIR - \lambda RedEdge)^2} + \sqrt{(RedEdge - Red)^2 + (\lambda RedEdge - \lambda Red)^2}}$	
relLength	$\frac{Length}{\sqrt{(NIR - Red)^2 + (\lambda NIR - \lambda Red)^2}}$	

ue (applied to that variable). Leaves comprise in case of using the regression variant samples of the predicted variable with at best very similar values to minimize the distribution of predicted values within one leaf is the major aim of the algorithm. Within random forest, bootstrapping is applied, i.e. each tree utilizes a subset of samples, and random selection of a limited number of features for generating the nodes that split the data into two groups each. Random forest has shown to be suitable to analyse enormous input datasets like multi-temporal satellite data (RODRIGUEZ-GALIANO et

al. 2012). In this study, a further development of random forest, the so called conditional inference trees (cforest) were utilized. In cforest, the regression tree ensemble is built from conditional inference trees which are able to consider cause-effect relations during variable selection and to reduce bias in case of highly correlated variables (STROBL et al. 2008).

Classification and regression trees (and subsequently the random forest/cforest algorithms) select features which are optimal suited for modelling. The permutation of feature values allows for assessing the so called im-

BBCH 0 - 20	BBCH 21 - 40	BBCH 41 - 70	BBCH 71 - 100	0 - 100 BBCH	All stages
				0 - 40 BBCH	Germination to Booting
BBCH 0 - 40		BBCH 41 - 100		41 - 100 BBCH	Booting to Senescence
				0 - 20 BBCH	Germination to Tillering
BBCH 0 - 100				21 - 40 BBCH	Tillering to Booting
				41 - 70 BBCH	Booting to Development of fruit
				71 - 100 BBCH	Development of fruit to Senescence




Fig. 4: Grouping of the dataset (field sampling and satellite observation at that point) into different classes of phenological appearance according to the BBCH-code.

portance of the feature. The variable importance is expressed using the difference between an internal prediction error of the random forest routine (based on the so called out-of-bag/OOB error; BREIMAN 2001) before and after the permutation of variable values in a predictor variable. If the permutation of variable values is reduced to those samples occurring in the branch of a tree (sub-tree) for which the variable is selected a more unbiased extraction of the variable importance becomes possible (STROBL et al. 2007).

Both, the cforest routine and the conditional variable importance algorithm as implemented in the ‘party’ package (HOTHORN et al. 2010) of the statistic software R (R CORE TEAM 2016) were utilized in this study. There is no effect of the number of trees on the average importance as long as the number of trees is sufficiently large to guarantee a stable estimate of the mean importance (STROBL & ZEILEIS 2008). Thus, and after explorative tests, the number of trees was set to 500.

The accuracy assessment for one cforest model run was conducted by calculating two statistical parameters. The root-mean-square error (RMSE) indicates the mean offset between the observed and the predicted data. The coefficient of determination (R^2) describes the percentage of variance that is explained by the model. In this study, a fivefold 10 times repeated cross validation was applied to calculate those two parameters. In contrast to the

cross validation method using the OOB data, which is executed by the random forest algorithm internally, such an external cross validation is regarded to result in a more objective quality assessment of the model performance (REUNANEN 2003).

The number of variables considered for each split within a single regression tree (mtry) can have great influence on the performance of cforest and the calculation of the variable importance (DÍAZ-URIARTE & DE ANDRES 2006). Thus, each model was optimized. The CAR-ET (Classification And REGression Training) package (KUHN 2008) in the software R was used to tune the cforest models using 10 different mtry values (mtry = 2;3;5;7;8;10;12;13;15;17; note that 17 variables were totally available). Here, only the coefficient of determination (R^2) served as metric to compare the model qualities and hence to identify the optimal mtry value for modeling. The variable importance was calculated for the best performing model only. This procedure, i.e., tuning of cforest followed by the determination of variable importance for the optimal model, was repeated 100 times to assess the stability of the method in terms of absolute error and variable selection.

4 Results

4.1 Prediction Accuracy

Tab. 2 shows the cforest prediction accuracy of FPAR, LAI and SPAD in different phenological phases. The table depicts the average of the 100 best models, except for the mtry value, which represents the most often chosen value over the 100 runs. The highest R^2 value for FPAR ($R^2 = 0.83$) was achieved between 0 and 40 BBCH, while the lowest R^2 refers to the model between 41 and 70 BBCH ($R^2 = 0.19$). The best performance ($R^2 = 0.66$) for modelling LAI was also reached between 0 and 40 BBCH. The lowest accuracies ($R^2 = 0.33$) of the LAI models can be associated with the phenological groups of senescence (41 – 70 and 41 – 100 BBCH). Reduced accuracies were found for the SPAD models. They never outreached an R^2 value of 0.45 (21 – 40 BBCH). Due to limited in-Situ observations ($N = 10$) during the last BBCH stage (71 – 100 BBCH), the SPAD model for that period was not calculated.

4.2 Variable Importance

The cforest based variable importance for modelling the biophysical parameters (FPAR, LAI and SPAD) in every BBCH-based phenological group can be seen in Figs. 5 to 7. The boxplots show the unscaled variable importance for each of the 17 indices or bands received during all 100 model runs for one parameter and phenological group. The boxplots allow for comparing the variable importance of indices or bands used for modelling. High variable importance indicates an increase of the prediction error in cforest when the respective band or index is excluded. On the contrary, small or negative variable importance shows that omitting the tested band or index from cforest has none or negative impact on the model accuracy. The distribution of variable importance scores of the 100 model runs determines the size of the boxes, which in turn puts a light on the stability of the importance level of each index or band during modelling. For instance, a slim box indicates a more stable importance estimation of the respective index or band, a broad box suggest varying importance levels (relevance) of that variable over numerous runs.

Tab. 2: Cforest performance and final settings for FPAR LAI and SPAD according to the phenological groups (expressed by the BBCH-code).

	BBCH	0 – 100	0 – 40	41 – 100	0 – 20	21 – 40	41 – 70	71 – 100
FPAR	RMSE	0.16	0.12	0.04	0.16	0.12	0.04	0.16
	R^2	0.59	0.83	0.21	0.59	0.65	0.19	0.59
	mtry	12	5	17	12	5	17	12
	samples	124	68	56	25	43	36	20
LAI	RMSE	1.56	1.23	1.87	1.56	1.46	1.36	1.28
	R^2	0.41	0.66	0.33	0.41	0.57	0.33	0.41
	mtry	12	10	2	12	8	2	12
	samples	111	62	49	24	38	34	15
SPAD	RMSE	4.98	3.17	6.94	4.1	2.88	5.82	–*
	R^2	0.29	0.42	0.28	0.41	0.45	0.21	–*
	mtry	12	17	2	5	3	5	–*
	samples	161	103	58	34	69	48	–*

* Amount of in-situ data insufficient for modelling

4.2.1 FPAR

Fig. 5 depicts the variable importance of the single vegetation indices and spectral bands used for modelling FPAR. The distribution of the variable importance for the entire growing season (0 – 100 BBCH) in Fig. 5A shows that the most important indicators were the Red-Edge band and the RE_NDVI. The variable importance plots for the phenological group 0 – 40 BBCH (Fig. 5B) indicate the RE_NDVI to be the most important variable followed by SAVI and NDVI. An atypical variable importance distribution occurred for the phenological group 41 – 100 BBCH (Fig. 5C). There, the SR and the EVI are listed as the most important variables. In this distribution nearly all indices associated with the RedEdge band have a negative impact on the model (variable importance below 0). The variable importance distribution of the shorter BBCH groups (0 – 20; 21 – 40; 41 – 70; 71 – 100 BBCH, Fig. 5D–G) resembles that of the longer phenological groups (0 – 40; 41 – 100 BBCH). Only, the boxplot referring to the 41 – 70 BBCH group exhibits an unusual distribution, compared to the other boxplots. This group is also the one with the lowest R² value.

ble importance below 0). The variable importance distribution of the shorter BBCH groups (0 – 20; 21 – 40; 41 – 70; 71 – 100 BBCH, Fig. 5D–G) resembles that of the longer phenological groups (0 – 40; 41 – 100 BBCH). Only, the boxplot referring to the 41 – 70 BBCH group exhibits an unusual distribution, compared to the other boxplots. This group is also the one with the lowest R² value.

4.2.2 LAI

The variable importance plots (Fig. 6) modelling the LAI showed that small groups of one to four indices are most important. For the entire growing season, the EVI showed the highest importance (Fig. 6A). The two most important variables for modelling the LAI in the first phenological group 0 – 40 BBCH (Fig.

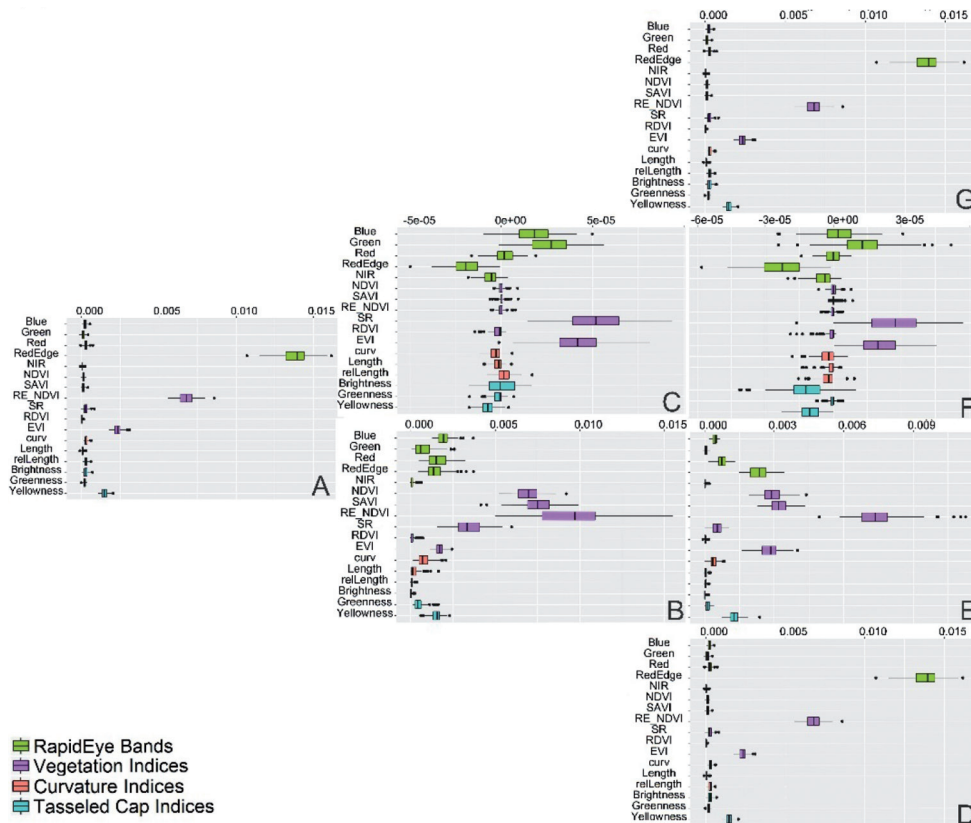


Fig. 5: FPAR variable importance distribution boxplots for different phenological groups (BBCH). A: 0 – 100; B: 0 – 40; C: 41 – 100; D: 0 – 20; E: 21 – 40; F: 41 – 70; G: 71 – 100.

6B) were RE_NDVI and EVI. The distribution of the variable importance for the phenological group 41 – 100 BBCH (Fig. 6C) highlights the TCT_Y index and the blue band as the most important variables. The plots of the shorter groups (Fig. 6D–G) show one to three vegetation indices (mainly EVI and RE_NDVI) to be the most important indices. An unusual variable importance distribution was received for the BBCH group 41 – 70 (similar to the group 41 – 100 BBCH).

tent in the phenological phases between 0 – 40 BBCH. Here, EVI and curv ranked on the second and third places, respectively. For modelling the SPAD value in the phenological group 41 – 70 BBCH (Fig. 6F), the SR index was identified to be the most important variable. The last phenological group (0 – 100 BBCH) could not be investigated, it was impossible to obtain enough field measurements in this group.

4.2.3 SPAD

The RE_NDVI index is the most important variable to explain the SPAD in the 0 – 100 BBCH group (Fig. 7A) followed by the rel.Length. The RE_NDVI was the most important variable modelling the chlorophyll con-

5 Discussion

Highest accuracies for modelling FPAR occurred during the vegetative phase ($R^2= 0.83$), whereas during the stages of the senescence reduced statistical relations were found. The phenological phase of fruit development was

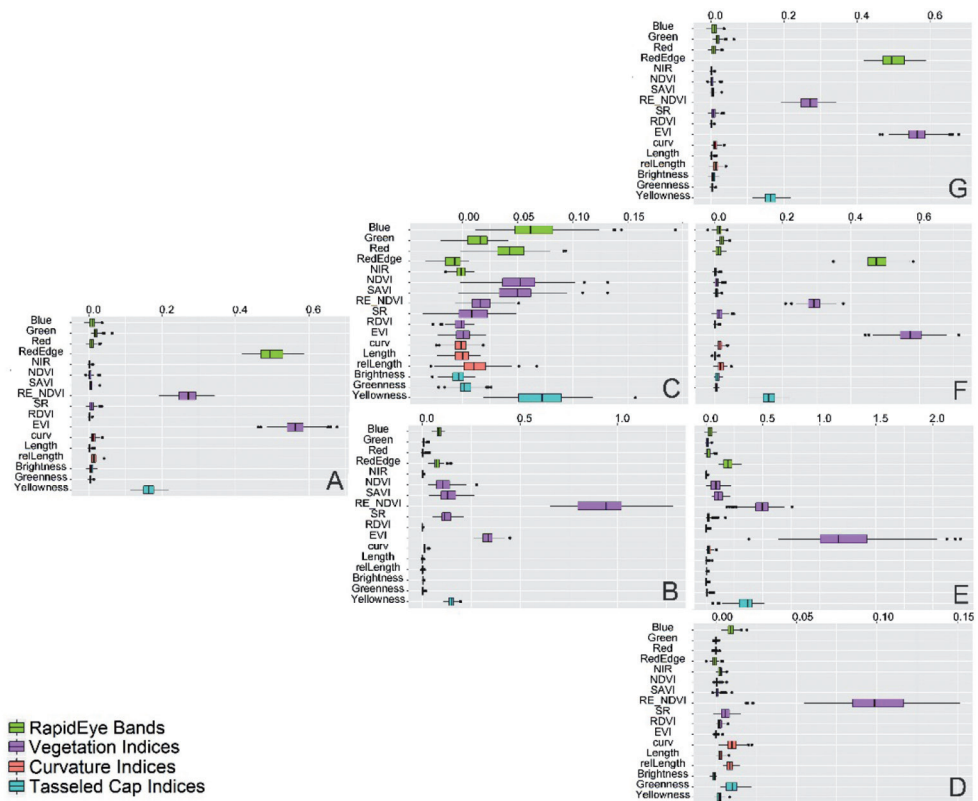


Fig. 6: LAI Variable importance boxplots for the different phenological groups (BBCH). A: 0 – 100; B: 0 – 40; C: 41 – 100; D: 0 – 20; E: 21 – 40; F: 41 – 70; G: 71 – 100.

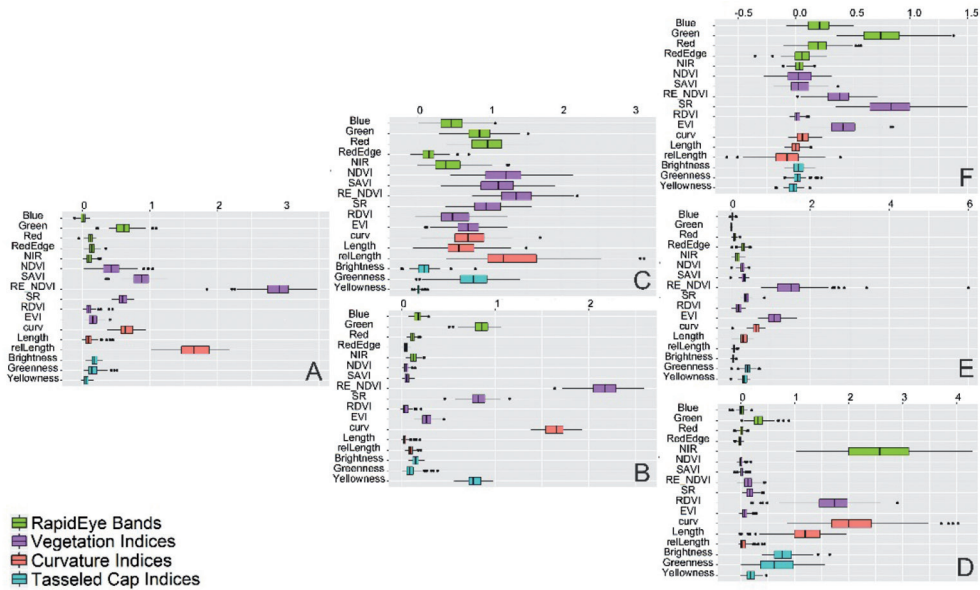


Fig. 7: SPAD variable importance distribution boxplots for the different phenological groups (BBCH). A: 0 – 100; B: 0 – 40; C: 41 – 100; D: 0 – 20; E: 21 – 40; F: 41 – 70.

nearly impossible to model with high accuracy ($R^2 = 0.19$), most likely due to canopy closure in combination with accompanied saturation effects in the RapidEye observations. The challenges modelling FPAR during the saturation or senescence phase is also highlighted by the variable importance distribution: While the variable importance of the initial growing stages shows three indices RE_NDVI, NDVI and SAVI to be the most important ones, the only vague patterns of variable importance were observed during the fruit development and the senescence phases. For the latter, the importance values were generally smaller and no group of important indices with distinct spectral properties emerged during analysis.

In comparison to FPAR only slightly reduced modelling accuracies were found when modelling the LAI. The accuracy levels were comparable with the accuracies ZHAO et al. (2015), who modelled the LAI of wheat using univariate regressions and the HJ-1 sensor system and achieved a R^2 of 0.58 and RMSE values ranging from 0.7 to 0.89. However, in

contrast to the FPAR results the variable importance plots for LAI indicate a more distinct distribution among the detailed phenological groups. There, a group of one to four indices were found to be most important for the cforest model. The observation that EVI is the highest ranked index among the phenological stages of growth, fruit development and senescence can be explained by a higher robustness of that index against saturation effects that occur in these phenological phases due to the closed canopy (HUETE et al. 2002).

The SPAD cforest models reached lowest accuracy levels in this study ($R^2 \leq 0.45$). Again, the models of the phenological groups linked to early growth phases were the statistically best performing. In comparison, SCHOENERT et al. 2014 modelled the chlorophyll content using RapidEye with a R^2 of 0.77 on wheat using tasseled cap transformations. EITEL et al. (2007) used different vegetation indices calculated from spectrometer measurements to model SPAD values and reported R^2 values between 0.01 and 0.77. The comparatively low performance in this study may be explained by

the temporal offset between the in situ observation and the satellite data acquisition of four days which may be too long for modelling a biophysical parameter like chlorophyll content. The RedEdge band and related indices always ranked under the most important variables for the prediction of SPAD values. This confirms the usefulness of analysing chlorophyll content in the RedEdge spectra as demonstrated previously (EITEL et al. 2007). The observation that spectral curvature indices can contribute to successful modelling of chlorophyll content is in line with the results presented by EITEL et al. (2007) based on simulated RapidEye and hyperspectral data for wheat.

6 Conclusion

Remote sensing applications for farmers like precision farming demand up to date information on the crop in specific phenological phases. Several field management methods like the application of fertilizers depend on the phenological phase of the plant. This study addressed the utility of RapidEye data and the use of machine learning for obtaining growth information about winter wheat in different phenological stages and to show how the variable importance changes along with the phenology. Thereby, the cforest was found suitable to model biophysical parameters for the entire growing season and to get an increased understanding about variables useful for predictions. Several vegetation indices were identified to be very important for the derivation of the biophysical parameters FPAR, LAI and chlorophyll content (approximated with the SPAD-value).

The model performance for the entire growing season outreached that for single phenological groups. There, the vegetative phase (0 – 40 BBCH) showed the best performance and more stable variable importance distribution, particular in contrast to the senescence phase (70 – 100 BBCH). Models with a high accuracy relied on a small set of input parameters only. The latter may allow for questioning the use of more complex approaches to model biophysical parameters of winter wheat and crops with similar physical appearance (e.g. other cereal crops).

The variable importance varied among the biophysical parameters and the phenological stages, which in turn indicates a link with the physical appearance of wheat during the cropping season. Nevertheless, altogether, the RE_NDVI or the RDVI were found to be the most important variables which in turns underlines the importance of RedEdge bands for modelling biophysical parameters of crops, at least those of winter wheat.

Cforest was applied to one ensemble of vegetation indices and single bands of the RapidEye system. Even though some features repeatedly showed high variable importance, the results may have varied in case other sensor systems, e.g. Sentinel-2, acquisition dates, or spectral features have been included. Such considerations have to be taken into account in further research and discussions about the transferability of the approach. Nevertheless, indication for the selection of the important features is given, because wheat represents a single plant type with a closed canopy. This information can in turn contribute to reduce the computation efforts, which is of paramount importance with a look on the continuously increasing data amount at the high resolution remote sensing sector.

Acknowledgements

We express our gratitude to the team of the Calibration and Validation Facility DEMMIN of the German Aerospace Center (DLR) who commonly conducted the field observations throughout the vegetation period accompanied by students of the University of Würzburg. The Blackbridge Company (RESA Project 0028) provided the RapidEye data for this study. The Federal Ministry of Economic Affairs and Energy funded this research (FKZ: 50 EE 1353).

References

- AHMADIAN, N., GHASEMI, S., WIGNERON, J.P. & ZOE-LITZ, R., 2016: Comprehensive study of the biophysical parameters of agricultural crops based on assessing Landsat 8 OLI and Landsat 7 ETM+ vegetation indices. – *GIScience & Remote Sensing* 53 (3): 337–359.
- BARET, F., HOULES, V. & GUERIF, M., 2007: Quantification of plant stress using remote sensing observations and crop models: the case of nitrogen management. – *Journal of Experimental Botany* 58 (4): 869–880.
- BECKSCHAEFER, P., FEHRMANN, L., HARRISON, R.D., XU, J. & KLEINN, C., 2014: Mapping Leaf Area Index in subtropical upland ecosystems using RapidEye imagery and the randomForest algorithm. – *iForest-Biogeosciences and Forestry* 7 (1): 1.
- BONTEMPS, S., ARIAS, M., CARA, C., DEDIEU, G., GUZZONATO, E., HAGOLLE, O., INGLADA, J., MATTON, N., MORIN, D., POPESCU, R., RABAUTE, T., SAVINAUD, M., SEPULCRE, G., VALERO, S., AHMAD, I., BÉGUÉ, A., WU, B., ABELLEYRA, D., DIARRA, A., DUPUI, S., FRENCH, A., AKHTAR, I., KUSSUL, N., LEBOURGEOIS, V., LE PAGE, M., NEWBY, T., SAVIN, I., VERÓN, S., KOETZ, B. & DEFOURNY, P., 2015: Building a data set over 12 globally distributed sites to support the development of agriculture monitoring applications with Sentinel-2. – *Remote Sensing* 7 (12): 16062–16090.
- BORG, E., LIPPERT, K., ZABEL, E., LOEPMEIER, F.J., FICHELTMANN, B., JAHNCKE, D. & MAASS, H., 2009: DEMMIN – Teststandort zur Kalibrierung und Validierung von Fernerkundungsmissionen. – REBENSTORF, R.W. (Hrsg.): 15 Jahre Studiengang Vermessungswesen – Geodätisches Fachforum und Festakt, Neubrandenburg, Eigenverlag: 401–419.
- BORG, E., DAEDELLOW, H., MISSLING, K.-D. & APEL, M., 2013: RapidEye Science Archive: Remote Sensing Data for the German Scientific Community. – BORG, E., DAEDELLOW, H. & JOHNSON, R. (eds.): 5th RESA Workshop “Data for Science: From the Basics to the Service”: 5–20, Neustrelitz, 20.–21.3.2012, GITO mbH Verlag, Berlin, ISBN 978-3-95545-002-1.
- BREIMAN, L., 2001: Random forests. – *Machine Learning* 45 (1): 5–32.
- CARLSON, T. & RIPLEY, D., 1997: On the relation between NDVI, fractional vegetation cover, and leaf area index. – *Remote Sensing of Environment* 62 (3): 241–252.
- CHANDER, G., HAQUE, M.O., SAMPATH, A., BRUNN, A., TROSSET, G., HOFFMANN, D. & ANDERSON, C., 2013: Radiometric and geometric assessment of data from the RapidEye constellation of satellites. – *International Journal of Remote Sensing* 34 (16): 5905–5925.
- CONRAD, C., FRITSCH, S., LEX, S., LOEW, F., RUECKER, G., SCHORCHT, G. & LAMERS, J., 2012: Potenziale des Red Edge Kanals von RapidEye zur Unterscheidung und zum Monitoring landwirtschaftlicher Anbaufrüchte am Beispiel des usbekischen wässerungssystems Khorezm. – BORG, E., DAEDELLOW, H. & JOHNSON, R. (eds.): RapidEye Science Archive (RESA) – Vom Algorithmus zum Produkt, 4. RESA Workshop (pp. 203–217). – GITO, Berlin.
- DARVISHZADEH, R., SKIDMORE, A., SCHLERF, M. & ATZBERGER, C., 2008: Inversion of a radiative transfer model for estimating vegetation LAI and chlorophyll in a heterogeneous grassland. – *Remote Sensing of Environment* 112 (5): 2592–2604.
- DÍAZ-ÚRIARTE, R. & DE ANDRES, S.A., 2006: Gene selection and classification of microarray data using random forest. – *BioMed Central Bioinformatics* 7 (1): 1.
- DONG, T., MENG, J. & WU, B., 2012: Overview on methods of deriving fraction of absorbed photosynthetically active radiation (FPAR) using remote sensing. – *Shengtai Xuebao/Acta Ecologica Sinica* 32 (22): 7190–7201.
- EITEL, J.U.H., LONG, D.S., GESSLER, P.E. & SMITH, A.M.S., 2007: Using in-situ measurements to evaluate the new RapidEye satellite series for prediction of wheat nitrogen status. – *International Journal of Remote Sensing* 28 (18): 4183–4190.
- FRANKE, J. & MENZ, G., 2007: Multi-temporal wheat disease detection by multi-spectral remote sensing. – *Precision Agriculture* 8 (3): 161–172.
- GARRIGUES, S., ALLARD, D., WEISS, M. & BARET, F., 2002: Comparing VALERI sampling schemes to better represent high spatial resolution satellite pixel from ground measurements: How to characterize an ESU. – <http://w3.avignon.inra.fr/valeri/methodology/samplingschemes.pdf> (19.10.2016).
- GERIGHAUSEN, H., BORG, E., FICHELTMANN, B., GUENTHER, A., VAJEN, H.H., WLOCZYK, C., MAASS, H., 2009: Validation and calibration of remote sensing data products on test site DEMMIN. – 43. Ziolkowski Conference (pp. 18–33). – Russische Akademie der Wissenschaften.
- GITELSON, A.A. & MERZLYAK, M., 1996: Signature analysis of leaf reflectance spectra: algorithm development for remote sensing of chlorophyll. – *Journal of Plant Physiology* 148 (3): 494–500.
- HABOUDANE, D., MILLER, J.R., PATTEY, E., ZARCO-TEJADA, P.J. & STRACHAN, I.B., 2004: Hyperspectral vegetation indices and novel algorithms for

- predicting green LAI of crop canopies: Modeling and validation in the context of precision agriculture. – *Remote Sensing of Environment* 90 (3): 337–352.
- HALL, F.G., TOWNSEND, J.R. & ENGMAN, E.T., 1995: Status of remote sensing algorithms for estimation of land surface state parameters. – *Remote Sensing of Environment* 51 (1): 138–156.
- HGF, 2015: TERENO Northeastern German Lowland Observatory. – http://teodoor.icg.kfajuelich.de/observatories/GL_Observatory?set_language=en (8.5.2016).
- HOTHORN, T., BUEHLMANN, P., KNEIB, T., SCHMID, M. & HOFNER, B., 2010: Model-based boosting 2.0. – *Journal of Machine Learning Research* 11: 2109–2113.
- HUETE, A., DIDAN, K., MIURA, T., RODRIGUEZ, E.P., GAO, X. & FERREIRA, L.G., 2002: Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. – *Remote Sensing of Environment* 83 (1): 195–213.
- HUETE, A., 1988: A soil-adjusted vegetation index (SAVI). – *Remote Sensing of Environment* 25 (3): 295–309.
- JIN, X.L., DIAO, W.Y., XIAO, C.H., WANG, F.Y., CHEN, B., WANG, K.R. & LI, S.K., 2013: Estimation of wheat agronomic parameters using new spectral indices. – *PLOS ONE* 8: e72736 doi: 10.1371/journal.pone.0072736
- JORDAN, C.F., 1969: Derivation of leaf area index from quality of light on the forest floor. – *Ecology* 50: 663–666.
- JUNG-ROTHENHÄUSLER, F., WEICHEL, H. & PACH, M., 2007: RapidEye. A novel approach to space borne geo-information solutions. – *International Society for Photogrammetry and Remote Sensing, Hanover Workshop*, 29.05. – 01.06.2017.
- KROSS, A., MCNAIRN, H., LAPEN, D., SUNOHARA, M. & CHAMPAGNE, C., 2015: Assessment of RapidEye vegetation indices for estimation of leaf area index and biomass in corn and soybean crops. – *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 34: 235–248.
- KUHN, M., 2008: Building predictive models in R using the caret package. – *Journal of Statistical Software* 28 (5).
- LANCASHIRE, P.D., BLEIHOLDER, H., LANGELUEDDECKE, P., STAUSS, R., VAN DEN BOOM, T., WEBER, E. & WITZENBERGER, A., 1991: An uniform decimal code for growth stages of crops and weeds. – *Annals of Applied Biology* 119: 561–601.
- LE MAIRE, G., MARSDEN, C., VERHOEF, W., PONZONI, F.J., SEEN, D.L., BÉGUÉ, A. & NOUVELLON, Y., 2011: Leaf area index estimation with MODIS reflectance time series and model inversion during full rotations of Eucalyptus plantations. – *Remote Sensing of Environment* 115 (2): 586–599.
- LEX, S., CONRAD, C. & SCHORCHT, G., 2013: Analyzing the seasonal relations between in situ fpar/LAI of cotton and spectral information of RapidEye. – BORG, E., DAEDELLOW, H. & JOHNSON, R. (eds.): *RapidEye Science Archive (RESA) – From the Basics to the Service*. – GITO, Berlin.
- LEX, S., ASAM, S., LÖW, F. & CONRAD, C., 2015: Comparison of two Statistical Methods for the Derivation of the Fraction of Absorbed Photosynthetic Active Radiation for Cotton. – *Photogrammetrie, Fernerkundung, Geoinformation* 2015 (1): 55–67.
- MANNSCHATZ, T., PFLUG, B., BORG, E., FEGER, K.H. & DIETRICH, P., 2014: Uncertainties of LAI estimation from satellite imaging due to atmospheric correction. – *Remote Sensing of Environment* 153: 24–39.
- MORAN, M.S., INOUE, Y. & BARNES, E.M., 1997: Opportunities and limitations for image-based remote sensing in precision crop management. – *Remote sensing of Environment* 61 (3): 319–346.
- MUTANGA, O., ADAM, E. & CHO, M.A., 2012: High density biomass estimation for wetland vegetation using WorldView-2 imagery and random forest regression algorithm. – *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 18: 399–406.
- MUTANGA, O. & SKIDMORE, A.K., 2004: Narrow band vegetation indices overcome the saturation problem in biomass estimation. – *International Journal of Remote Sensing* 25 (19): 3999–4014.
- MYNENI, R.B. & WILLIAMS, D.L., 1994: On the relationship between FAPAR and NDVI. – *Remote Sensing of Environment* 49 (3): 200–211.
- R CORE TEAM (2014). R: A language and environment for statistical computing. – R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org/> (20.10.2016).
- REUNANEN, J., 2003: Overfitting in making comparisons between variable selection methods. – *Journal of Machine Learning Research* 3: 1371–1382.
- RICHTER, R. (2010). *Atmospheric/Topographic Correction for Satellite Imagery (ATCOR-2/3 User Guide, Version 7.1, January 2008)*, 165.
- RODRIGUEZ-GALIANO, V.F., GHIMIRE, B., ROGAN, J., CHICA-OLMO, M. & RIGOL-SANCHEZ, J.P., 2012: An assessment of the effectiveness of a random forest classifier for land-cover classification. – *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 67: 93–104.
- ROUJEAN, J.L. & BREON, F.M., 1995: Estimating PAR absorbed by vegetation from bidirectional reflectance measurements. – *Remote Sensing of Environment* 51 (3): 375–384.
- ROUSE, J.W., HAAS, R.H., SCHELL, J.A., DEERING, D.W. & HARLAN, J.C., 1974: Monitoring the ver-

- nal advancement of retrogradation of natural vegetation. – NASA/GSFC, Type III, Final Report: 371, Greenbelt, MD, USA.
- SCHOENERT, M., WEICHEL, H., ZILLMANN, E. & JUERGENS, C., 2014: Derivation of tasseled cap coefficients for RapidEye data. – SPIE 9245, Earth Resources and Environmental Remote Sensing/GIS Applications V, 92450Q (October 23, 2014); doi: 10.1117/12.2066842.
- SEAQUIST, J.W., OLSSON, L. & ARDOE, J., 2003: A remote sensing-based primary production model for grassland biomes. – *Ecological Modelling* 169 (1): 131–155.
- STROBL, C., BOULESTEIX, A.L., KNEIB, T., AUGUSTIN, T. & ZEILEIS, A., 2008: Conditional variable importance for random forests. – *BioMed Central Bioinformatics* 9 (1): 25; doi: 10.1186/1471-2105-9-307.
- STROBL, C., BOULESTEIX, A.L., ZEILEIS, A. & HOTHORN, T., 2007: Bias in random forest variable importance measures – Illustrations, sources and a solution. – *BioMed Central Bioinformatics* 8 (1): 307; doi: 10.1186/1471-2105-8-25.
- STROBL, C. & ZEILEIS, A., 2008: Danger: high power! – exploring the statistical properties of a test for random forest variable importance. – Technical Report Number 017, 2008, Department of Statistics University of Munich, Munich.
- TILLACK, A., CLASEN, A., KLEINSCHMIT, B. & FOERSTER, M., 2014: Estimation of the seasonal leaf area index in an alluvial forest using high-resolution satellite-based vegetation indices. – *Remote Sensing of Environment* 141: 52–63.
- VINA, A., Gitelson, A.A., Nguy-Robertson, A.L. & Peng, Y., 2011: Comparison of different vegetation indices for the remote assessment of green leaf area index of crops. – *Remote Sensing of Environment* 115 (12): 3468–3478.
- ZHAO, J., LI, J., LIU, Q., FAN, W., ZHONG, B., WU, S. & YIN, G., 2015: Leaf area index retrieval combining HJ1/CCD and Landsat8/OLI data in the Heihe River Basin, China. – *Remote Sensing* 7 (6): 6862–6885.

Addresses of the authors:

THORSTEN DAHMS, SYLVIA SEISSIGER & CHRISTOPHER CONRAD, Julius Maximilians University Würzburg, Institut für Geographie und Geologie, Lehrstuhl für Fernerkundung, Campus Hubland Nord 86, D-97074 Würzburg; e-mail: {thorsten.dahms}{sylvia.seissiger}{christopher.conrad}@uni-wuerzburg.de

ERIK BORG, VAJEN HANS-HERMANN & BERND FICHELTMANN, German Remote Sensing Data Center, National Ground Segment, Kalkhorstweg 53, D-17235 Neustrelitz; e-mail: {erik.borg}{hans-hermann.vajen}{bernd.fichtelmann}@dlr.de

Manuskript eingereicht: September 2016

Angenommen: Oktober 2016



Estimating the Leaf Area Index of Agricultural Crops using multi-temporal dual-polarimetric TerraSAR-X Data: A case study in North-Eastern Germany

NIMA AHMADIAN, Greifswald, ERIK BORG, Neustrelitz, ACHIM ROTH, Weßling & REINHARD ZÖLITZ, Greifswald

Keywords: TerraSAR-X, agricultural crop, leaf area index, stepwise regression, water cloud model

Summary: Leaf area index (LAI) is one of the most important indicators of agricultural variables because of its relation to biophysical and biochemical properties of agricultural crops. Variations in LAI can be related to changes in leaf scattering properties, and these variations in leaf scattering properties can lead to changes in canopy backscattering behaviour. The objective of this study was to explore the potential of estimating LAI using multi-temporal dual polarimetric TerraSAR-X data in three different agricultural field crops, including winter wheat (*Triticum aestivum* L.), barley (*Hordeum vulgare* L.), and canola (*Brassica napus* L.). The relationship between LAI and the scattering coefficient (σ^0) in TerraSAR-X was explored using three different approaches, including univariate regression, i.e., simple linear and nonlinear regression, multivariate regression, i.e., stepwise regression, and a semi-empirical water cloud model (WCM). The multivariate stepwise regression showed its capability to retrieve the LAI without any external input data, such as soil moisture, based solely on the polarization channels, i.e., HH or VV, and polarization variables, e.g. HH/VV or HH+VV. However, unlike the WCM, the stepwise method is not applicable with just one polarization channel. The results indicate that the leaf area index (LAI) was significantly and consistently correlated with σ^0 throughout the growth stages using the stepwise regression and WCM approaches, whereas simple linear and nonlinear regression yielded relatively poor results except with barley.

Zusammenfassung: *Abschätzung des Blattflächenindex von Anbaukulturen mittels dual-polarimetrischer TerraSAR-X Daten: Eine Fallstudie in Nordostdeutschland.* Der Blattflächenindex (LAI) zählt wegen seiner Beziehung zu biophysikalischen und biochemischen Eigenschaften von Anbaufrüchten zu den interessantesten Parametern im Kontext der Landwirtschaft. Unterschiede im LAI können zu Streuungseigenschaften der Blätter in Beziehung gesetzt werden. Die Variationen der Streuungseigenschaften von Blättern können zu Änderungen im Rückstreuverhalten der Vegetationsoberfläche führen. Gegenstand der vorliegenden Studie war es, das Potenzial einer LAI-Abschätzung mit Hilfe von multitemporalen, dual-polarimetrischen TerraSAR-X-Daten zu ermitteln, und zwar für drei verschiedene landwirtschaftliche Anbaufrüchte: Winterweizen (*Triticum aestivum* L.), Gerste (*Hordeum vulgare* L.) und Raps (*Brassica napus* L.). Die Beziehung zwischen LAI und dem Streuungskoeffizienten (σ^0) bei TerraSAR-X wurde mit Hilfe von drei verschiedenen methodischen Ansätzen untersucht: mittels univariater Regression (einfache lineare und nicht-lineare Regression), multivariater Regression (schrittweise Regression) und mit Hilfe eines semi-empirischen Water/Cloud-Modells (WCM). Die multivariate schrittweise Regression erwies ihr großes Potenzial für eine LAI-Abschätzung ohne Hinzunahme weiterer Informationen wie etwa der Bodenfeuchte. Die Abschätzung erfolgte allein auf der Grundlage der Polarisationskanäle (HH und VV) und der Polarisationsvariablen (HH/VV und HH+VV). Im Gegensatz zum WCM ist die schrittweise Methode jedoch bei Verwendung nur eines Polarisationskanals nicht anwendbar. Die Ergebnisse zeigen, dass der Blattflächenindex über die ganze Vegetati-

onsperiode hinweg signifikant und konsistent mit σ^0 korreliert, wenn mit schrittweiser Regression und WCM gearbeitet wird. Dagegen erzielten die

Ansätze mit einfacher linearer und nicht-linearer Regression, außer für Gerste, vergleichsweise schwache Ergebnisse.

1 Introduction

Leaf area index (LAI) measures the amount of leaf material in an ecosystem. The measurement of LAI is of fundamental importance to understanding vegetation photosynthesis, respiration, rain interception, and other processes that link vegetation to different environmental processes for different categories of vegetation, such as agricultural crops (CHEN et al. 2009, JIAO et al. 2011). It is one of the key variables required in primary production and global climate studies (MYNENI et al. 1997) and ecological research, such as global land surface phenology (JONES et al. 2011), because this variable correlates directly with canopy foliage content and crown structure (GOWER & NORMAN 1991, HOSSEINI et al. 2015). LAI can be considered an indicator of plant growth and health (HOSSEINI et al. 2015). LAI directly affects the interception and absorption of light by the canopy and influences heat balance and evaporation from the landscape, which is an important component of vegetation-atmosphere interaction models and crop yield models (HOSSEINI et al. 2015).

Optical satellite imagery faces the problem of illumination conditions that limit the acquisition of high quality remote sensing data, and the availability of remote sensing images from satellite and aerial platforms is often severely limited by frequent cloud cover (MULLA 2013). Multispectral reflectance data have been used to create different vegetation indices (BARET & GUYOT 1991). Sharp contrast in reflectance values between the red and NIR bands of the remote sensing data was the motivation for development of vegetation indices (MULLA 2013). These indices demonstrate a correlation between different vegetation parameters, such as LAI (BARET & GUYOT 1991). However, these indices reach a saturation level asymp-

totically with increasing LAI values, and the sensitivity of these indices to LAI become increasingly weak beyond a particular threshold value (CARLSON & RIPLEY 1997), which is typically between 2 and 4 (AHMADIAN et al. 2016a, MULLA 2013, THENKABAIL et al. 2000), depending on different factors, such as vegetation, crop type, and experimental and environmental factors (BARET & GUYOT 1991). In this situation, the use of radar sensors becomes a feasible means for acquiring remote sensing data in a given period of time. The past decade has seen a significant growth in research activities focused on developing approaches using radar remote sensing to study vegetation characteristics and parameters for ecological, agronomy and meteorological application. Several studies have examined the sensitivity between radar data and LAI at different frequencies and polarizations. Applicability of X-band sensors to LAI estimation was assessed by FONTANELLI et al. (2013) using COSMO-SkyMed and TerraSAR-X data. These scientists observed a relatively high sensitivity of backscatter to LAI at both HH and VV polarizations for wheat.

Previous research on SAR sensitivity to LAI has been mostly empirical and semi-empirical. Simple statistical models (linear and non-linear) developed and inverted to estimate LAI as the most commonly used empirically based approach (FONTANELLI et al. 2013) and water cloud model as a semi-empirical approach. Empirical models are generally derived from experimental measurements to establish useful empirical relationships for inversion of vegetation characteristics from backscattering observations. The empirical model usually is divided into two categories: first are univariate models and the second are multivariate models, e.g. stepwise regression. The most common technique used as a semi-empirical approach is the “water cloud mod-

el” (ATTEMA & ULABY 1978). This model describes the dependence between the radar signal and the vegetated surface parameters. In water-cloud models, the vegetation has been considered as a cloud containing water droplets randomly distributed within the canopy and the total backscattering signal from the surface is the sum of the backscattering signals from the soil multiplied by two-way attenuation and the direct reflected signal from the vegetation.

The results of previous studies reveal that the backscattering from crops is a complex combination of different mechanisms (LIN et al. 2009). The backscattering coefficient changes during different growing stages of crops (CABLE et al. 2014b, KIM et al. 2013), and the aforementioned mechanisms, include direct backscatter from the underlying ground, e.g. soil, direct backscatter from the plant components (leaves, stems, fruit), double-bounce backscatter between the soil surface and crop canopy, and, in some cases, ground-vegetation-ground and multiple scattering mechanisms (ADAMS et al. 2014, CABLE et al. 2014a). It was also demonstrated that when seeds are still below the surface, the main contributor to a radar signal is single-bounce backscatter due to soil moisture and surface roughness (VAN ZYL 2009). As crops emerge and the canopy develops, the characteristics of scattering from agricultural fields change and the co-polarized backscatter intensities tend to increase. The increase in co-polarized backscatter is due to a combination of single bounce backscatter directly off leaves or stems, etc., and soil-vegetation double-bounce backscatter (CABLE et al. 2014a). Consequently, this study evaluated the sensitivity of combinations of several polarimetric parameters, e.g. HH+VV or HH/VV, to LAI. The research presented here examines the potential of multi-temporal dual polarimetric TerraSAR-X data (X-band) for LAI estimation over wheat and barley (narrow-leaf crops) and canola (broad leaf crop) canopies using simple linear and nonlinear, stepwise regression (empirical approaches) and semi-empirical WCM methods and compares the capability of each method to retrieve and estimate the LAI of aforementioned crops. For the validation of the models, the root-mean-square error (RMSE) and correlation coefficient,

i.e. R^2 , were reported for the simple linear and nonlinear approach, the leave one out cross validation (LOOCV) method was used to report the RMSE, the correlation between the observed and predicted responses (cross-validated R^2) and Adjusted R^2 , the mean-absolute error (MAE), the coefficient of variation (CV), and p-value of the stepwise approach. Moreover R^2 , RMSE and MAE were also reported for the WCM approach.

2 Test Site and Study Area

The study area is located in North East Germany, in the Durable Environmental Multidisciplinary Monitoring Information Network (DEMMIN). The DEMMIN project, established in 1999, is managed by the Neustrelitz “Thematic Processor Development and Validation DEMMIN” team in the German Remote Sensing Data Center’s National Ground Segment department (GERIGHAUSEN et al. 2007). This reference site is approximately 50 by 50 km² and extends from 53°45’40.42”N, 13°27’49.45”E to 54°2’54.29”N, 12°52’17.98”E. Within this test site, a study area including three winter wheat, barley and canola fields was chosen to carry out the ground truth data collection. The sizes of the fields were approximately 225 ha, 117 ha, and 25 ha for winter wheat, barley, and canola, respectively. For more information, please refer to DLR (2016).

3 Materials and Methods

3.1 Field Data

The ground truth data collection was carried out for 20 weeks from 17 April until 28 August 2013 at weekly intervals during the crop growing season. During the field campaign, almost all growing stages of the winter wheat, barley, and canola were recorded. During each sampling expedition, two random centers in each field were chosen, and five sampling locations were established with five (50 cm × 50 cm) squares around each center (Fig. 1). The squares were used to collect the soil sam-

ples, i.e., approximately 10 samples were collected in each crop field during each field trip. LAI was measured using a handheld LAI-2200 plant canopy analyzer (LI-COR) close to the squares (Fig. 2). The 270° view cap was used to hide the operator from the sensor. Normally, LAI can be computed using two readings, the above (A) and below (B) canopy readings. To evaluate the number of below (B) readings necessary to decide with 95% confidence that the true LAI mean is within $\pm 10\%$ of the measured LAI, the operator took an LAI reading based on 6 below (B) readings that included both the thinnest and densest parts of the canopy. Next, the standard error of the LAI

(SEL) was divided by the LAI (SEL/LAI), and a table provided by LI-COR was used to determine the number of B readings necessary for all further readings. After collecting the LAI values in the field, post-processing of data was performed in the lab using the software from LI-COR, i.e. FV2200 (AHMADIAN et al. 2016a).

The GPS coordinates of the measurements were recorded with a handheld Trimble, i.e., GeoExplorer 2008 series or GeoXH handheld, GPS device for mapping of the data in a Geographic Information System (GIS). The accuracy is between 2 m – 5 m.

Gravimetric (GSM) and volumetric (VSM) soil moisture was measured, and using a

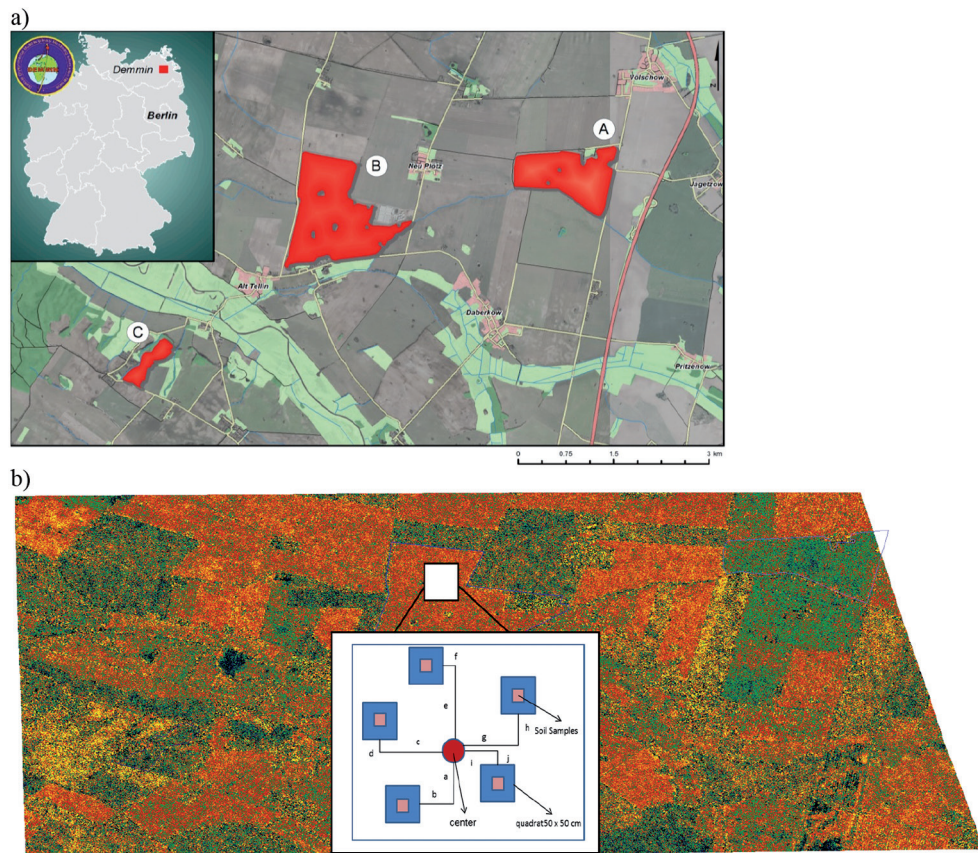


Fig. 1: a) Study area including barley (A), winter wheat (B), and canola (C) in the Durable Environmental Multidisciplinary Monitoring Information Network (DEMMIN). The background data were taken from GeoBasis (M-V) (DOP40), GeoBasis (M-V) (ATKIS), and GeoBasis (DE). b) The study area was shown by dual polarimetric TerraSAR-X using PDR index and colour slicing (3) on 21 June 2013. As an example of ground truth data collection, the light-orange squares show the locations of the soil samples, and the blue squares show the squares.

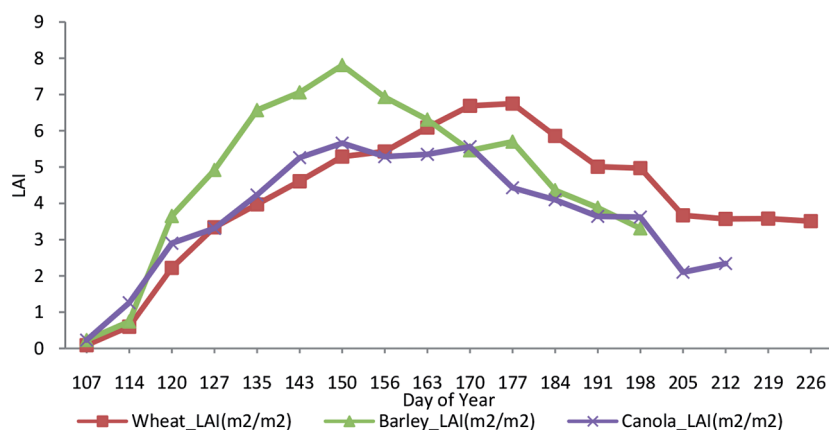


Fig. 2: LAI of agricultural crops using ground truth data collection during the complete growing season.

hand sledge and five 5.6 cm diameter cylinder/rings (corresponding to five squares) were used for laboratory analysis. All soil samples were weighed, i.e., weight of wet soil, and then dried in an oven for approximately 24 hours at 105 °C to obtain constant weight. Bulk density (BD) was calculated using the oven dry weight and the inner volume of the cylinder/ring.

(1) and (2) show the formulas for computing the GSM, and VSM. The soil moisture content was determined by averaging the weight of samples as the ratio of the water mass present in the soil to the dry weight of the soil sample using (1), and by volume as the ratio of water volume to the total volume of the soil sample for volumetric soil moisture using (2) (Fig. 3).

$$\text{GSM (g/g)} = (\text{W1(g)} - \text{W2(g)})/\text{W2(g)} \quad (1)$$

$$\text{VSM (g/cm}^3\text{)} = \text{GSM (g/g)} \times \text{BD (g/cm}^3\text{)} \quad (2)$$

where W1 is the weight of wet soil in grams, and W2 is the weight of oven dry soil in grams.

3.2 Satellite Images

To study the LAI variation during the whole growing season, TerraSAR-X (TSX) satellite images were used for the acquisition of high-

resolution SAR images in Stripmap mode (SM) during the year 2013. The specifications of the aforementioned images as well as the related growing stages of each crop are summarized in Tab. 1. The Feekes scale was used to identify the phenological development stages of winter wheat and barley (LARGE 1954). The BBCH-scale was also used to describe the phenological development of canola plants (LANCASHIRE et al.1991).

In this study, Multi Look Ground Range Detected product operated in SM with co-polarized channels, i.e., HH and VV, was used (all images). This product, i.e., Multi Look Ground Range Detected, is a detected multi look product with reduced speckle and approximately square resolution cells. The image coordinates are oriented along the flight direction and along the ground range. The pixel spacing is equidistant in azimuth and in ground range. A simple polynomial slant to ground projection is performed in range using a WGS84 ellipsoid and an average, constant terrain height parameter (ROTH et al. 2005). The spatial resolution of all images is approximately 6 m × 6 m.

Initially, all the images were georeferenced using SRTM 1-arc-sec (Shuttle Radar Topography Mission). Since all the delivered images were already multilooked, a time series of images was built and co-registered in order to perform De Grandi multi-temporal filtering (DE GRANDI et al. 1997). All images were

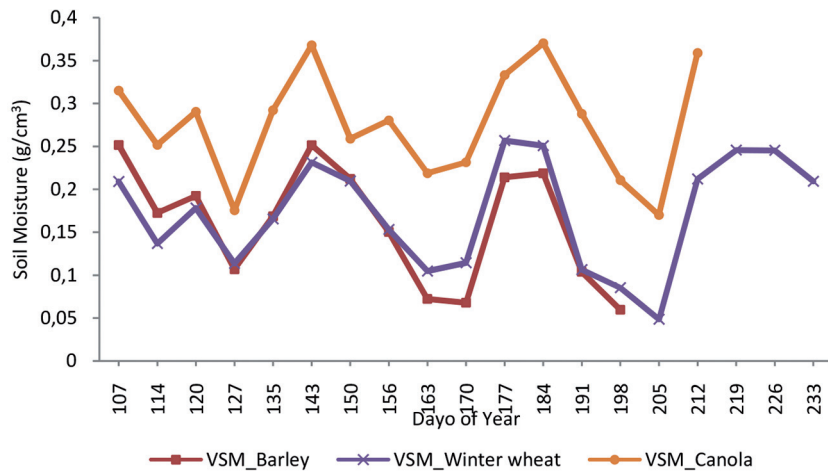


Fig. 3: Volumetric soil moisture (VSM) (g/cm³) of agricultural crops using ground truth data collection during the complete growing season.

geocoded and afterward radiometrically calibrated in order to retrieve the sigma nought (σ^0) using the SARscape 5.1 module of ENVI 5.1. Sigma nought (σ^0), expressed in decibels (dB), is the conventional measure of the radar backscattering coefficient. This parameter is defined as a normalized dimensionless number that compares the strength of the signal observed to that "expected" from an area of one square meter (RANEY 1998).

3.3 Analysis

Three different approaches were considered in this study to estimate the LAI of different agricultural crops during the whole growing season. Using ground truth data collection, and the closest acquisitions of TSX images, a linear or nonlinear relationship was constructed between the ground truth data, i.e. LAI, and the corresponding pixel values, i.e., polarization channels and variables, from TSX images, i.e., the same GPS coordinates of the measurements and TSX pixels. A linear and nonlinear regression model was used to simplify the complex relationship between radar backscattering and vegetation characteristics, i.e. LAI. The polarization variables, e.g. HH+VV and HH/VV, were retrieved from the satellite data

based on a pixel to pixel calculation. The disadvantages of these simple regression models are the dependence of model parameters and the little information provided on the physics of the scattering events involved (RICHARDS 1990). It is also worth noting that the following index was also used as a polarization variable to assess the biophysical parameters of the crops, i.e. LAI (SINGH 2006):

Polarization discrimination ratio

$$= \frac{(\sigma^{0VV} - \sigma^{0HH})}{(\sigma^{0HH} + \sigma^{0HH})} \quad (3)$$

The correlation coefficient (R^2) and the root-mean-square error (RMSE) were reported for the linear and nonlinear regressions.

For the second approach, stepwise regression was used to identify the optimal set of polarization channels (HH, VV) and polarization variables, e.g. HH/VV, for providing accurate estimates of LAI for the aforementioned agricultural crops. In stepwise regression models, the sigma nought of HH and VV polarization and polarization variables were set as the independent variables, while canopy characteristics, i.e. LAI, of the agricultural crops were set as the dependent variables. For the stepwise method, in addition to R^2 and RMSE values, adjusted R^2 , p-value and F-stat were also

Tab. 1: Overview of TSX imagery dates and phenological development of each crop. IA and P stand for Incidence Angle and polarization, respectively. Feekes scale for growing stages of winter wheat, and barley (LARGE 1954). The BBCH-scale for growing stages of canola (LANCASHIRE et al. 1991), MGD = Multi Look Ground Range Detected.

Crop field(s)	Mission	Mode	Product	Pass	Date	IA (°)	P	Growing Stage
Canola	TSX	SM	MGD	D	20130504	~27	HH&VV	Inflorescence emergence (55)
Wheat								Stem extension (8)
Barley	TSX	SM	MGD	A	20130519	~31	HH&VV	Stem extension (10)
Canola								40% of flowers on main raceme open (64)
Wheat								Beginning of flowering (10.5.1)
Barley	TSX	SM	MGD	A	20130621	~31	HH&VV	flowering (10.5.3)
Canola								Ripening (80)
Wheat	TSX	SM	MGD	D	20130709	~27	HH&VV	Flowering over at base of ear (10.5.3)
Barley								Milky ripe (11.1)
Barley	TSX	SM	MGD	A	20130713	~31	HH&VV	Kernel hard (11.3)
Wheat	TSX	SM	MGD	D	20130724	~27	HH&VV	Milky ripe (11.1)
Canola	TSX	SM	MGD	A	20130804	~31	HH&VV	Plant dead and dry (97)
Wheat	TSX	SM	MGD	A	20130822	~27	HH&VV	Mealy ripe, kernel soft but dry (11.2)
Wheat	TSX	SM	MGD	D	20130822	~27	HH&VV	Ripe for cutting, straw dead (11.4)

reported for assessment of the goodness of fit. In this study, forward stepwise regression was used to build the models. This technique starts with no model terms then adds the most statistically significant term, i.e., polarization channels or variables. This significant term is the one with the highest F statistic or the lowest p-value at each step until there are no terms left (Matlab Statistics Toolbox User’s Guide). In other words, inclusion of other parameters would not contribute positively to the success of the model.

For the third approach, The Water Cloud Model (WCM) that was developed by ATTEMA & ULABY (1978) was used to assess the relationships between the polarization channels, i.e., HH and VV, and the LAI of each crop. In this model, total backscatter σ^0 is expressed as the incoherent sum of backscatter from vegetation σ^0_{veg} and backscatter from the underlying surface σ^0_{soil} , which is attenuated by the vegetation layer through the two-way attenuation factor τ^2 .

$$\sigma^0 = \sigma_{veg}^0 + \tau^2 \sigma_{soil}^0 \quad (4)$$

$$\sigma_{veg}^0 = AV_1 \cos \theta \left(1 - \exp \left(-\frac{2BV_2}{\cos \theta} \right) \right) \quad (5)$$

$$\tau^2 = \exp \left(-\frac{2BV_2}{\cos \theta} \right) \quad (6)$$

In these equations, Parameter A relates to the radar backscatter from a vegetation canopy, parameter B relates to canopy attenuation (ALASTAIR et al. 2003), and θ is the incidence

angle. V1 and V2 are descriptors of the canopy, and backscatter (σ^0) is expressed in power units.

The backscatter from the soil surface σ^0 soil can be expressed as follows:

$$\sigma_{soil}^0 = C + D(VSM) \quad (7)$$

Parameters C and D are dependent on soil moisture, and VSM is the volumetric soil moisture, (8) is obtained by grouping these terms (4) – (7):

$$\sigma^0 = AV_1 \cos \theta \left(1 - \exp \left(-\frac{2BV_2}{\cos \theta} \right) \right) + (C + D(VSM)) \cdot \exp \left(-\frac{2BV_2}{\cos \theta} \right) \quad (8)$$

Because an important part of the scattering and attenuation is controlled by the leaves, some studies propose using the LAI as the canopy descriptor (HOSSEINI et al. 2015, INOUE et al. 2014a, KUMAR et al. 2015). Furthermore, some studies propose V1=1 and V2= LAI (VAN LEEUWEN & CLEVERS 1994, ULABY et al. 1984), therefore, (9) can be written as:

$$LAI = -\frac{\cos \theta}{2B} \ln \frac{\sigma^0 - A \cos \theta}{C + D(VSM) - A \cos \theta} \quad (9)$$

All parameters of the model, i.e., A, B, C, D, are calculated using the non-linear least-squares method. The “brute-force” algorithm was chosen to evaluate residual sum of squares (RSS) for the parameter values. In this algorithm, one can introduce a two-row data frame as the upper and lower values, and the algorithm assumes the lower value as the start value, creates a grid between these two values of each parameter, runs an optimization starting at each point on the grid and returns the best value. This model is calibrated for each crop type and polarization, and different parameters are obtained for each crop-polarization.

To determine how well the models are created, a validation procedure was also performed. In this part, the LOOCV approach was used in order to validate the models (STONE 1974). LOOCV has been shown to be

superior to split-sample validation, particularly for smaller sample sizes (GOUTTE 1997). This approach omits a single observation from the dataset, and then predicts its response using the regression model created with the remaining observations. This procedure is then repeated, in turn, for each observation in the dataset (DAVIDSON et al. 2006). In other words, we fit a model to a subset, i.e., original data minus omitted single observation, of the total measured data, and then we evaluate how well the model predicts the remaining data. To evaluate the ability of each model to predict the biophysical characteristics of the crops, the root-mean-square error (RMSE), the correlation between the observed and predicted responses (cross-validated R^2), adjusted R^2 , the mean-absolute error (MAE), p-value and the coefficient of variation (CV) were also reported. All of these terms are commonly used measures of model uncertainty. The RMSE is often used to quantify model precision, while R is often used to assess model accuracy (OLDEN & JACKSON 2000). Furthermore, MAE is less sensitive to extreme data values (WILLMOTT 1982). CV gives an indication of the difference compared to the mean of the observed variable (KROSS et al. 2015).

4 Results

The polarization channels and variables values of the images collected during the whole growing season were correlated with LAI data of the corresponding field measurement campaigns (closest in time). As the first approach in the relationships between radar backscattering and the LAI, simple linear and non-linear degree of determination R^2 and RMSE were calculated. Tab. 2 presents the results of the correlation analysis between LAI of crops and the remotely sensed parameters extracted from TerraSAR-X satellite images. All coefficients in the aforementioned Table are significant, with p-values less than 0.01. A high correlation between LAI values and radar backscatter, especially in the HH/VV polarization variable was observed on the barley field ($R^2 = 0.9437$), whereas this polarization variable shows moderate correlation ($R^2 = 0.4946$) for winter wheat (narrow leaves); on the other hand, for canola, the maximum determination coefficient is 0.5331 for HH polarization. Overall, the LAIs were not strongly correlated with polarization channels and variables, especially for the winter wheat. The results included some weak or negligible relationships, as well as strong relationships, especially for barley. However, both low and high correlation between the variables of dual polarimetric TSX data and LAI are presented here to clearly show the inherent limitations and potential for accurate assessment of LAI (INOUE et al. 2014a) of different crops using simple linear and nonlinear regression.

For the second approach, stepwise regression was used to establish a minimum and optimal set of polarization channels and variables to estimate the LAI of crops. To meet the assumption of the stepwise regression for the validation models, four diagnostic plots were studied, including the residuals versus the fitted values plot, Quantile-Quantile normal plot, scale-location plot, and the standardized residuals against leverage plot. Recall that a least-squares regression assumes that the errors (residuals) are normally distributed, that they are centered on the regression line, and that their variance does not change as a function of x , i.e., homoscedasticity. All assumptions of the regression appeared to be upheld.

Furthermore, in order to study the multicollinearity between the predictors, i.e., polarization variables, multicollinearity analysis was performed, and the polarization variables, i.e. predictors, which had high correlation with the most significant term of stepwise regression were omitted from the analysis. The collinearity between the predictors is less than 0.3 ($r < 0.3$) in all equations of Tab. 3. This analysis should be performed when the independent variables are not independent from each other.

As can be observed from Tab. 3, the performance of polarization variables employed for selecting the coefficients for use in predictive models varied between vegetation types. As observed from Tab. 3, stepwise regression successfully predicted the amount of LAI of different agricultural crops, and a strong correlation was observed between LAI and the polarization variables using this approach for all three crops. The amount of error is an important factor for the practical use of any given model. Therefore, the LOOCV method was employed to ensure the normality of residuals and to improve the statistical models for predicting the LAI of crops. As observed from Tab. 4, some values of R^2 and adjusted R^2 of cross validation are higher than those of the original dataset, and the others are lower. Nonetheless, the results show values that are close to those of the original models.

Following the first two approaches, the Water Cloud Model (WCM) was parameterized using LAI, volumetric soil moisture and TSX dual polarimetric data. Estimating LAI from the backscatter using the water-cloud model was also successful, and a strong relationship, i.e. R^2 , between estimated and derived LAI was observed. The results of the inversion are provided in Fig. 4.

Tab. 5 shows the relation between the estimated and the observed LAI values using the WCM for all three crops. The R^2 , RMSE and MAE statistics as well as the coefficients, i.e., a, b, c, d, are provided in the Tab. 5. An obvious underestimation was observed for the LAI > 7 of winter wheat. This is in agreement with findings of MORAN et al. (1998), who showed that there is an underestimation at the higher values and overestimation of LAI of barley between 3.5 and 4 m^2/m^2 (Fig. 4).

Tab. 2: Summary of the correlation coefficients between the X-band σ_0 of TSX and LAI of winter wheat, barley, canola using simple linear and nonlinear regression. “”, * and ** represent the linear, power and exponential relationships, respectively.

Index	Stat Info	LAI		
		Winter Wheat	Barley	Canola
HH	R ²	0.0770	0.0668	0.5331
	RMSE	0.8483	0.9729	0.6732
HH/VV	R ²	0.4946*	0.9437	0.1486**
	RMSE	0.6277*	0.2391	0.9091**
HH-VV	R ²	0.2916*	0.00728*	0.1571
	RMSE	0.7432*	1.003*	0.9046
HH+VV	R ²	0.06742	0.1352*	0.5156
	RMSE	0.8527	0.9366*	0.6857
PDR	R ²	0.2679*	0.002678*	0.1586
	RMSE	0.7555*	1.006*	0.9038
VV	R ²	0.1194	0.2816*	0.4704
	RMSE	0.8286	0.8536*	0.7171
VV/HH	R ²	0.2674**	0.2674**	0.1473**
	RMSE	0.7558**	0.7558**	0.9098**
VV*HH	R ²	0.2645*	0.0652	0.0408*
	RMSE	0.7572*	0.9738	0.965*

The accuracy is relatively the same for HH and VV but a slightly higher correlation of VV polarization was observed for the barley and canola. This is because the trend in the radar backscattering is generally similar in VV as in HH polarization. For X band TSX and aforementioned crops, the correlation coefficients (R² values) between the observed and estimated LAI were approximately 0.7 using WCM.

5 Discussion

Our analysis using high-resolution satellite images taken by TSX has determined clear and consistent relationships between X-band σ_0 and canopy LAI variables using different statistical approaches. Although a correlation coefficient and accuracy of LAI retrieval can be affected by the underlying mechanisms, the reasonable interpretation of our consistent results strongly suggests the potential capability of X-band TSX SAR for

the timely monitoring of different agricultural crops such as wheat, barley, and canola growth.

When the LAI is low (LAI < 2), the prevailing phenomenon is the attenuation of the soil contribution by the vegetation (JIAO et al. 2011, PRÉVOT et al. 1993). In contrast, when the LAI is high (LAI > 4), the soil contribution is negligible, and the backscattering is dominated by the vegetation contribution (PRÉVOT et al. 1993). JIAO et al. (2011) reported a loss in sensitivity at LAI values more than 3.0 m²/m² for combinations incorporating one or more copolarizations. In the results presented here, no saturation occurs, even for higher LAI values (Fig. 4). This behaviour is similar to that reported by PRÉVOT et al. (1993) and ULABY et al. (1984). PRÉVOT et al. (1993) showed that for a given soil moisture, the function relating the backscattering coefficient in X-band to LAI is approximately monotonic when LAI > 2. Thus, even if one is only interested in LAI estimation, a unique radar configuration can be

Tab. 3: Transfer functions and statistical information of the calibration of LAI of winter wheat, barley, and canola. HHdVV, HHpVV, VVmHH, and VVmulHH correspond to $\sigma_{0HH}/\sigma_{0VV}$, $\sigma_{0HH}+\sigma_{0VV}$, $\sigma_{0VV}-\sigma_{0HH}$, $\sigma_{0HH}\times\sigma_{0VV}$, respectively.

Transfer Function	R2	RMSE	Adj-R ²	F-stat	p-value
$LAI - \text{Winter Wheat} = (5.016 \times HHdVV) + (0.546 \times HHpVV) + (-1.08 \times HH) + 0.664$	0.64	0.543	0.62	43.9372	< 0.05
$LAI - \text{Barley} = (5.263 \times HHdVV) + (0.321 \times HHmVV) + 0.675$	0.949	0.229	0.947	514.87	< 0.05
$LAI - \text{Canola} = (0.72145 \times HH) + (-0.1855 \times HHmVV) + (-0.0086256 \times VVmulHH) + 9.932$	0.7866	0.4639	0.7742	63.8733	< 0.05

Tab. 4: Statistical information of validation of LAI models of winter wheat, barley, and canola using leave-one-out approach.

Models	R2	Adj-R ²	RMSE	MAE	CV	p-value
LAI-Winter Wheat	0.6305	0.6159	0.5968	0.4589	28.8454	<0.05
LAI-Barley	0.944	0.941	0.2485	0.2063	3.5821	<0.05
LAI-Canola	0.7629	0.7489	0.4841	0.3745	13.1209	<0.05

Tab. 5: Parameter values and statistics retrieved in the water cloud model for this study. Parameters (A, B, C, D) were calculated using (9).

	A	B	C	D	R ²	RMSE	MAE
HH-LAI-Wheat	-0.14	-0.3	-0.13	0.11	0.7289	0.6709	0.5375
VV-LAI-Wheat	-0.14	-0.29	-0.13	0.11	0.6947	0.6863	0.5472
HH-LAI-Barley	-1.06	-0.33	-0.87	-0.2	0.7496	0.7084	0.5807
VV-DB-Barley	-1.56	-0.33	-1.28	-0.3	0.7516	0.7084	0.5910
HH-DB-Canola	-1.39	-0.07	-0.1	-1.3	0.7552	0.6107	0.4697
VV-DB-Canola	-0.5	-0.11	-0.06	-0.53	0.7861	0.5703	0.4581

adequate if the optimum set of satellite data acquired is especially for narrow leaf crops. Although information on crop growth must be temporally frequent in order to adequately characterize crop productivity, as it was observed for the retrieval of barley using simple regression by the HH/VV variable, the optimum choice of satellite data during the whole growing season can be sufficient for accurate estimation of LAI. The estimation of LAI for barley is correct since its precision given by the RMSE is 0.23 m²/m² using the HH/VV variable. The relatively good accuracy obtained is most likely related to the optimal choice of satellite data in a specific growth stage, as mentioned before, and the choice

of suitable radar data acquisition likely accounts for these encouraging results. Further validation of this point is needed, and more research is necessary to investigate this assumption in detail. The HH/VV polarization ratio at a steep incidence angle, i.e., $\sim 27^\circ$ and $\sim 31^\circ$, was strongly correlated with wheat LAI (SATALINO et al. 2006), and the same polarization ratio has been correlated with the LAI of rice (CHEN et al. 2009) and with corn (JIAO et al. 2011). The results with barley confirm the results mentioned above, but winter wheat shows moderate correlation with the ratio.

The linear co-polarizations are less sensitive to volume scattering from within a vegetation canopy (JIAO et al. 2011). This low-

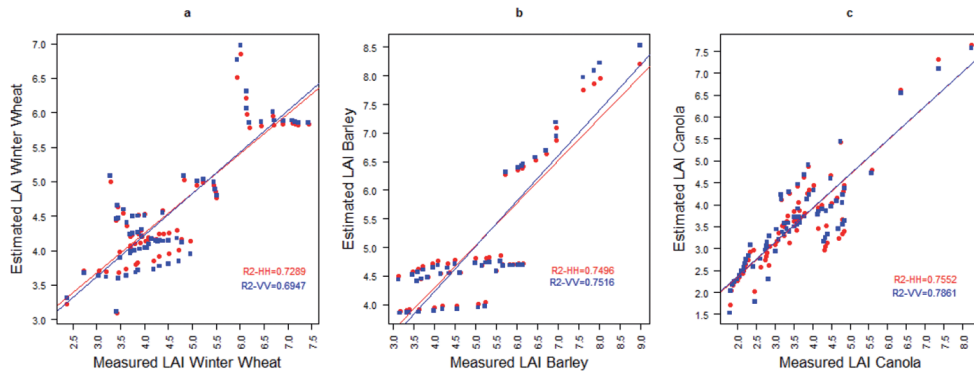


Fig. 4: Relationship between measured and predicted the LAI of winter wheat, barley, and canola using the WCM model. The VV and HH indicate simulated σ^0 values in VV and HH polarization, respectively.

er sensitivity was reflected in weaker correlations with LAI for HH and VV, as well as the co-polarization variable for the wheat and canola. The backscatter signal from vegetated surfaces is affected by many factors, including the physical structure of the plants and canopy volume (biomass, leaf size, stem density, LAI, etc.), the surface volumetric moisture of the soil below the canopy (INOUE et al. 2014b), as well as sensor configurations, such as frequency, polarization, and incidence angle, strongly affect backscattering coefficients (INOUE et al. 2002, LOPEZ-SANCHEZ & BALLESTER-BERMAN 2009). Direct scattering from the canopy and the soil, double-bounce backscatter between the soil surface and crop canopy, as well as multiple interactions between the vegetation components and the soil, contribute all to the magnitude and scattering characteristics of the SAR response. Therefore, simple linear or nonlinear expressions based only on intensity values fail to adequately express and explain the interaction of microwaves with a complex vegetation-over-soil target. More sophisticated models, such as dual polarimetric decomposition techniques (JAGDHUBER et al. 2013a, JAGDHUBER et al. 2013b), seem to be necessary to quantify this concept to separate ground scattering from vegetation scattering and studying different vegetation polarimetric mechanisms, e.g. single bounce and/or double bounce, using multi-temporal dual polarimetric TSX data. Our dual polarimetric

TSX data suffer from a lack of HV polarization channels, which are related to volume scattering (CABLE et al. 2014a). Therefore, a multiple variable stepwise regression approach, i.e., polarization channels and polarization variables, was used to more accurately estimate the LAI of agricultural crops without any input variables, e.g. soil moisture, since theoretical and semi-empirical models need some input variables to calibrate the model. The stepwise models can be built using at least two polarization channels. With such an approach, a priori knowledge of soil moisture is not required in order to estimate LAI. These results demonstrate that combinations of polarization channels and variables using a stepwise approach produce better LAI estimations when compared to simple linear and nonlinear regression, except for barley. This approach was superior to WCM in terms of RMSE, as shown above.

Stepwise regression analysis which uses polarization variables is expected to be a more robust approach than a simple linear or nonlinear regression analysis. Multiple crop variables are required to fully explain variations in backscatter, as explained by McNAIRN et al. (2002). The same concepts were applied here. The coefficients provided in Tab. 3 suggest that multiple polarization channels are required to better explain variations in crop variables such LAI. As can be observed from Tab. 3, different polarization channels and

variables such as HH-VV and HH+VV have been presented in the models discussed above. However, the effect of the VV×HH variable is not fully understood and should be investigated in more detail in the future. It is also worth mentioning that we were not able to study any phase-relation between HH and VV since we were using the MGD data based on intensity only (MGD = Multi Look Ground Range Detected). This means that it was not possible to process the single bounce or the double bounce, or any other polarimetric feature using this format (MGD). The authors predict that the correlation will be even better once one can include true polarimetric indices/information, e.g., entropy/alpha decomposition features or Pauli elements. However, this would require processing the single look slant range complex (SSC) data of TSX.

In the past, many different formulations of the WCM have been proposed (GRAHAM & HARRIS 2003a). Since there is no general agreement upon the precise setup of the WCM, we used the LAI parameter as the indicators. Because an important part of the scattering and attenuation is determined by the leaves, many studies propose the LAI as a vegetation indicator, e.g. LIEVENS & VERHOEST (2011) and PRÉVOT et al. (1993). There is no general theoretical background defining the best set of canopy descriptors and predicting the values of the A and B parameters (PRÉVOT et al. 1993). For the possibility of inversion, the model should involve as few variables as possible, and its mathematical form must permit inversion (PRÉVOT et al. 1993). The water-cloud model adequately simulated LAI as the canopy developed demonstrating the potential of dual polarimetric X band SAR data for monitoring indicators of crop productivity.

The errors in estimating the LAI parameter of the above crops can be attributed to two different facts: first the complexity of the vegetation structure is difficult to summarize in a bulk vegetation parameter as needed for the WCM (PRÉVOT et al. 1993), second for estimation of LAI, rough estimates of the soil moisture content on a 4 – 5 day basis are sufficient to carry out the retrievals of LAI and obtain useful information on crop growth (WIGNERON et al. 1999). However, the authors believe that simultaneous timing of ground-truth sampling

with respect to the satellite overpasses can reduce the uncertainties in the estimation of crop-related parameters, i.e. LAI. The acquisition times for the ascending and descending orbits of TSX are different (18:00 hrs ascending pass (± 0.25 hrs), 06:00 hrs descending pass (± 0.25 hrs)). The presence of dew drops in the morning may act to change the dielectric constant of soil and vegetation and, may have directly introduced errors into the soil and vegetation parameters retrieval. However, these error sources are not severe (HE et al. 2014).

Each of these approaches has its advantages and disadvantages; the stepwise regression approach does not need the soil moisture as an input variable, but since this approach is empirical, it is site- and study-specific and requires further research to assess robustness for LAI estimation. The stepwise regression approach cannot be used with just one polarization channel. WCM can be implemented with single polarimetric data, but it requires information about soil moisture.

6 Conclusion

In this study, the applicability of X-band TSX (SAR) for estimating leaf area index (LAI) was assessed for three major crops: wheat, barley and canola. The comprehensive analysis of the relationship of X-band multi-temporal dual polarimetric TSX in HH and VV with the LAI variable shows the response of SAR signatures to wheat, barley, and canola canopies. Although the X-band is not the best frequency for monitoring soil and vegetation parameters due to the weak penetration of the canopy and soil, a rather high sensitivity of the polarization channels and variables of TSX sensors to wheat, barley, and canola LAI was observed during this research work using different statistical approaches. We observed that the coefficients of determination of the stepwise and WCM approaches between the polarization channels/variables and LAI were higher than 0.64.

The LAI of barley had a significantly high correlation with the HH/VV variable, and these relationships were consistent throughout all the growth stages. This relationship was expressed by simple linearity with high

coefficients of determination. This was most likely due to optimum use of satellite images. Simple linear and nonlinear regressions were not able to estimate the LAI of winter wheat or canola accurately. In addition to the positive results, some of the negative results would be useful for basic studies on backscattering processes and for operational applications of SAR sensors in the future. On the other hand, stepwise and WCM approaches showed their capability for the estimation of winter wheat and canola. The stepwise approach showed its superiority in terms of RMSE. The WCM model was calibrated for the HH, and VV polarizations. These calibrated models were then used to estimate LAI. The root-mean-square error (RMSE), mean-absolute error (MAE) and correlation coefficient (R^2) statistics were used to evaluate the model's accuracy.

The results from both the model calibration and validation confirmed that when using X-band TSX data, the strongest correlations and lowest errors of estimation were found when these two approaches were used. This was true for both winter wheat and canola.

Acknowledgements

We would like to thank ESF scholarship and Ernst Moritz Arndt University of Greifswald department of geography for financial support, as well as the research team of the large research facility DEMMIN (Earth Observation Center EOC of German Aerospace Center, DLR) Neustrelitz for logistical support. The authors would be also indebted to chair of physical geography and the lab of department of geology university of Greifswald for their contributions to this project and all the field crew for collecting the field data.

References

- ADAMS, J.R., ROWLANDSON, T.L., MCKEOWN, S.J., BERG, A.A., MCNAIRN, H. & SWEENEY, S.J., 2014: Evaluating the Cloude-Pottier and Freeman-Durden scattering decompositions for distinguishing between unharvested and post-harvest agricultural fields. – *Canadian Journal of Remote Sensing* **39** (4): 318–327, <http://doi.org/10.5589/m13-040>.
- AHMADIAN, N., DEMATTÈ, J., XU, D., BORG, E. & ZÖLITZ, R., 2016a: A new concept of soil Line retrieval from Landsat 8 images for estimating plant biophysical parameters. – *Remote Sensing* **8** (9): 738, <http://doi.org/10.3390/rs8090738>.
- AHMADIAN, N., GHASEMI, S., WIGNERON, J.-P. & ZÖLITZ, R., 2016b: Comprehensive study of the biophysical parameters of agricultural crops based on assessing Landsat 8 OLI and Landsat 7 ETM+ vegetation indices. – *GIScience & Remote Sensing* **53** (3): 337–359, <http://doi.org/10.1080/15481603.2016.1155789>.
- ATTEMA, E.P.W. & ULABY, F.T., 1978: Vegetation modeled as a water cloud. – *Radio Science* **13** (2): 357–364, <http://doi.org/10.1029/RS013i002p00357>.
- BARET, F. & GUYOT, G., 1991: Potentials and limits of vegetation indices for LAI and APAR assessment. – *Remote Sensing of Environment* **35** (2–3): 161–173, [http://doi.org/doi:10.1016/0034-4257\(91\)90009-u](http://doi.org/doi:10.1016/0034-4257(91)90009-u).
- CABLE, J., KOVACS, J., JIAO, X. & SHANG, J., 2014a: Agricultural monitoring in northeastern Ontario, Canada, using multi-temporal polarimetric RADARSAT-2 data. – *Remote Sensing* **6** (3): 2343–2371, <http://doi.org/10.3390/rs6032343>.
- CABLE, J., KOVACS, J., SHANG, J. & JIAO, X., 2014b: Multi-temporal polarimetric RADARSAT-2 for land cover monitoring in northeastern Ontario, Canada. – *Remote Sensing* **6** (3): 2372–2392, <http://doi.org/10.3390/rs6032372>.
- CARLSON, T.N. & RIPLEY, D.A., 1997: On the relation between NDVI, fractional vegetation cover, and leaf area index. – *Remote Sensing of Environment* **62** (3): 241–252, [http://doi.org/10.1016/S0034-4257\(97\)00104-1](http://doi.org/10.1016/S0034-4257(97)00104-1).
- CHEN, J., LIN, H., HUANG, C. & FANG, C., 2009: The relationship between the leaf area index (LAI) of rice and the C-band SAR vertical/horizontal (VV/HH) polarization ratio. – *International Journal of Remote Sensing* **30** (8): 2149–2154, <http://doi.org/10.1080/01431160802609700>.
- DAVIDSON, A., WANG, S. & WILMSHURST, J., 2006: Remote sensing of grassland–shrubland vegetation water content in the shortwave domain. – *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* **8** (4): 225–236, <http://doi.org/10.1016/j.jag.2005.10.002>.
- DE GRANDI, G.F., LEYSEN, M., LEE, J.S. & SCHULER, D., 1997: Radar reflectivity estimation using multiple SAR scenes of the same target: technique and applications. – 1997 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), Remote Sensing – A Scientific Vision for Sustainable Development 2: 1047–1050, 3.–8. August 1997, <http://doi.org/10.1109/IGARSS.1997.615338>.

- DLR, 2016: Calibration and Validation Facility DEMMIN. – http://www.dlr.de/eoc/en/desktopdefault.aspx/tabid-5395/10255_read-40097/ (30.9.2016).
- FONTANELLI, G., PALOSCIA, S., ZRIBI, M. & CHAHBI, A., 2013: Sensitivity analysis of X-band SAR to wheat and barley leaf area index in the Merguelil Basin. – *Remote Sensing Letters* **4** (11): 1107–1116, <http://doi.org/10.1080/2150704X.2013.842285>.
- GERIGHAUSEN, H., BORG, E., WLOCZYK, C., FICHTELMANN, B., GÜNTHER, A., VAJEN, H.-H., ROSENBERG, M., SCHULZ, M. & ENGLER, H.-G., 2007: DEMMIN – a test site for the validation of Remote Sensing data products. General description and application during AgriSAR 2006. – AG-RISAR and EAGLE Campaigns Final Workshop, 15. – 16. October 2007, ESA/ESTEC, Noordwijk, The Netherlands.
- GOUTTE, C., 1997: Note on free lunches and cross-validation. – *Neural Computation* **9** (6): 1245–1249, <http://doi.org/10.1162/neco.1997.9.6.1245>.
- GOWER, S.T. & NORMAN, J.M., 1991: Rapid estimation of leaf area index in conifer and broad-leaf plantations. – *Ecology* **72** (5): 1896–1900.
- GRAHAM, A.J. & HARRIS, R., 2003a: Constructing a water-use model for input to the water cloud backscatter model. – *Agronomie* **23** (8): 711–718, <http://doi.org/10.1051/agro:2003047>.
- GRAHAM, A.J. & HARRIS, R., 2003b: Extracting biophysical parameters from remotely sensed radar data: a review of the water cloud model. – *Progress in Physical Geography* **27** (2): 217–229, <http://doi.org/10.1191/0309133303pp378ra>.
- HE, B., XING, M. & BAI, X., 2014: A synergistic methodology for soil moisture estimation in an alpine prairie using radar and optical satellite data. – *Remote Sensing* **6** (11): 10966–10985, <http://doi.org/10.3390/rs61110966>.
- HOSSEINI, M., MCNAIRN, H., MERZOUKI, A. & PACHECO, A., 2015: Estimation of Leaf Area Index (LAI) in corn and soybeans using multi-polarization C- and L-band radar data. – *Remote Sensing of Environment* **170**: 77–89, <http://doi.org/10.1016/j.rse.2015.09.002>.
- INOUE, Y., KUROSU, T., MAENO, H., URATSUKA, S., KOZU, T., DABROWSKA-ZIELINSKA, K. & QI, J., 2002: Season-long daily measurements of multifrequency (Ka, Ku, X, C, and L) and full-polarization backscatter signatures over paddy rice field and their relationship with biological variables. – *Remote Sensing of Environment* **81** (2–3): 194–204, [http://doi.org/10.1016/S0034-4257\(01\)00343-1](http://doi.org/10.1016/S0034-4257(01)00343-1).
- INOUE, Y., SAKAIYA, E. & WANG, C., 2014a: Capability of C-band backscattering coefficients from high-resolution satellite SAR sensors to assess biophysical variables in paddy rice. – *Remote Sensing of Environment* **140**: 257–266, <http://doi.org/10.1016/j.rse.2013.09.001>.
- INOUE, Y., SAKAIYA, E. & WANG, C., 2014b: Potential of X-band images from high-resolution satellite SAR sensors to assess growth and yield in paddy rice. – *Remote Sensing* **6** (7): 5995–6019, <http://doi.org/10.3390/rs6075995>.
- JAGDHUBER, T., HAJNSEK, I., CAPUTO, M. & PAPANASSIOU, K., 2013a: Soil moisture estimation using dual-polarimetric coherent (HH/VV) TerraSAR-X and TanDEM-X data. – 4th TerraSAR-X/5th TanDEM-X science team meeting:1–4, 10. –14. June 2013, Oberpfaffenhofen.
- JAGDHUBER, T., HAJNSEK, I. & PAPANASSIOU, K., 2013b: Polarimetric soil moisture retrieval at short wavelength. – 6th International Workshop on Science and Applications of SAR Polarimetry and Polarimetric Interferometry: 1–6, 28. January – 1. February 2013, Frascati, Italy.
- JIAO, X., MCNAIRN, H., SHANG, J., PATTEY, E., LIU, J. & CHAMPAGNE, C., 2011: The sensitivity of RADARSAT-2 polarimetric SAR data to corn and soybean leaf area index. – *Canadian Journal of Remote Sensing* **37** (1): 69–81, <http://doi.org/10.5589/m11-023>.
- JONES, M.O., JONES, L.A., KIMBALL, J.S. & McDONALD, K.C., 2011: Satellite passive microwave remote sensing for monitoring global land surface phenology. – *Remote Sensing of Environment* **115** (4): 1102–1114, <http://doi.org/10.1016/j.rse.2010.12.015>.
- KIM, Y., JACKSON, T., BINDLISH, R., LEE, H. & HONG, S., 2013: Monitoring soybean growth using L-, C-, and X-band scatterometer data. – *International Journal of Remote Sensing* **34** (11): 4069–4082, <http://doi.org/10.1080/01431161.2013.772309>.
- KROSS, A., MCNAIRN, H., LAPEN, D., SUNOHARA, M. & CHAMPAGNE, C., 2015: Assessment of RapidEye vegetation indices for estimation of leaf area index and biomass in corn and soybean crops. – *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* **34**: 235–248, <http://doi.org/10.1016/j.jag.2014.08.002>.
- KUMAR, K., SURYANARAYANA RAO, H.P. & ARORA, M.K., 2015: Study of water cloud model vegetation descriptors in estimating soil moisture in Solani catchment. – *Hydrological Processes* **29** (9): 2137–2148, <http://doi.org/10.1002/hyp.10344>.
- LANCASHIRE, P.D., BLEIHOLDER, H., BOOM, T. VAN DEN, LANGELÜDDEKE, P., STRAUSS, R., WEBER, E. & WITZENBERGER, A., 1991: A uniform decimal code for growth stages of crops and weeds. – *Annals of Applied Biology* **119** (3): 561–601, <http://doi.org/10.1111/j.1744-7348.1991.tb04895.x>.
- LARGE, E.C., 1954: Growth stages in cereals illustration of the feekes scale. – *Plant Pathology* **3** (4): 128–129, <http://doi.org/10.1111/j.1365-3059.1954.tb00716.x>.
- LEEUEWEN, H.J.C. VAN & CLEVERS, J.G.P.W., 1994: Synergy between optical and microwave remote

- sensing for crop growth monitoring. – 6th Int. Symposium of Physical Measurements and Signatures in Remote Sensing: 1175–1182, Val d'Isère, France.
- LIEVENS, H. & VERHOEST, N.E.C., 2011: On the retrieval of soil moisture in wheat fields from L-band SAR based on water cloud model, the IEM, and effective roughness parameters. – *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters* **8** (4): 740–744, <http://doi.org/10.1109/LGRS.2011.2106109>.
- LIN, H., CHEN, J., PEI, Z., ZHANG, S. & HU, X., 2009: Monitoring sugarcane growth using ENVISAT ASAR data. – *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* **47** (8): 2572–2580, <http://doi.org/10.1109/TGRS.2009.2015769>.
- LOPEZ-SANCHEZ, J.M. & BALLESTER-BERMAN, J.D., 2009: Potentials of polarimetric SAR interferometry for agriculture monitoring. – *Radio Science* **44** (2): RS2010, <http://doi.org/10.1029/2008RS004078>.
- MCCNAIRN, H., ELLIS, J., VAN DER SANDEN, J.J., HIROSE, T. & BROWN, R.J., 2002: Providing crop information using RADARSAT-1 and satellite optical imagery. – *International Journal of Remote Sensing* **23** (5): 851–870, <http://doi.org/10.1080/01431160110070753>.
- MORAN, M.S., VIDAL, A., TROUFLEAU, D., INOUE, Y. & MITCHELL, T.A., 1998: Ku- and C-band SAR for discriminating agricultural crop and soil conditions. – *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* **36** (1): 265–272, <http://doi.org/10.1109/36.655335>.
- MULLA, D.J., 2013: Twenty five years of remote sensing in precision agriculture: Key advances and remaining knowledge gaps. – *Biosystems Engineering* **114** (4): 358–371, <http://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2012.08.009>.
- MYNENI, R.B., RAMAKRISHNA, R., NEMANI, R. & RUNNING, S.W., 1997: Estimation of global leaf area index and absorbed par using radiative transfer models. – *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* **35** (6): 1380–1393, <http://doi.org/10.1109/36.649788>.
- OLDEN, J.D. & JACKSON, D.A., 2000: Torturing data for the sake of generality: How valid are our regression models? – *Ecoscience* **7** (4): 501–510.
- PRÉVOT, L., CHAMPION, I. & GUYOT, G., 1993: Estimating surface soil moisture and leaf area index of a wheat canopy using a dual-frequency (C and X bands) scatterometer. – *Remote Sensing of Environment* **46** (3): 331–339, [http://doi.org/10.1016/0034-4257\(93\)90053-Z](http://doi.org/10.1016/0034-4257(93)90053-Z).
- RANEY, R., 1998: Radar fundamentals: Technical perspective. – *The Manual of Remote Sensing: Principles and Applications Imaging Radar*, 3rd edition, 896 pp., Wiley Interscience, New York, NY, USA.
- RICHARDS, J.A., 1990: Radar backscatter modelling of forests: a review of current trends. – *International Journal of Remote Sensing* **11** (7): 1299–1312, <http://doi.org/10.1080/01431169008955094>.
- ROTH, A., HOFFMANN, J. & ESCH, T., 2005: TerraSAR-X: How can high resolution SAR data support the observation of urban areas? – ISPRS WG VII/1 “Human Settlements and Impact Analysis”: 3rd International Symposium Remote Sensing and Data Fusion Over Urban Areas (URBAN 2005) and 5th International Symposium Remote Sensing of Urban Areas (URS 2005): 1–6, 14. – 16. March 2005, Tempe, AZ, USA.
- SATALINO, G., DENTE, L. & MATTIA, F., 2006: Integration of MERIS and ASAR data for LAI estimation of wheat fields. – 2006 IEEE International Symposium on Geoscience and Remote Sensing: 2255–2258, 31. July – 4. August 2006, Denver, CO, USA, <http://doi.org/10.1109/IGARSS.2006.583>.
- SINGH, D., 2006: Scatterometer performance with polarization discrimination ratio approach to retrieve crop soybean parameter at X-band. – *International Journal of Remote Sensing* **27** (19): 4101–4115, <http://doi.org/10.1080/01431160600735988>.
- STONE, M., 1974: Cross-validatory choice and assessment of statistical predictions. – *Journal of the Royal Statistical Society, Series B (Methodological)* **36** (2): 111–147, <http://doi.org/10.2307/2984809>.
- THENKABAIL, P.S., SMITH, R.B. & DE PAUW, E., 2000: Hyperspectral vegetation indices and their relationships with agricultural crop characteristics. – *Remote Sensing of Environment* **71** (2): 158–182, [http://doi.org/10.1016/S0034-4257\(99\)00067-X](http://doi.org/10.1016/S0034-4257(99)00067-X).
- ULABY, F.T., ALLEN, C.T., EGER, G. & KANEMASU, E., 1984: Relating the microwave backscattering coefficient to leaf area index. – *Remote Sensing of Environment* **14** (1–3): 113–133, [http://doi.org/10.1016/0034-4257\(84\)90010-5](http://doi.org/10.1016/0034-4257(84)90010-5).
- VAN ZYL, J.J., 2009: A time-series approach to estimate soil moisture using polarimetric radar data. – *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* **47** (8): 2519–2527, <http://doi.org/10.1109/TGRS.2009.2014944>.
- WIGNERON, J.-P., FERRAZZOLI, P., OLIOSSO, A., BERTUZZI, P. & CHANZY, A., 1999: A simple approach to monitor crop biomass from C-band radar data. – *Remote Sensing of Environment* **69** (2): 179–188, [http://doi.org/10.1016/S0034-4257\(99\)00011-5](http://doi.org/10.1016/S0034-4257(99)00011-5).
- WILLMOTT, C.J., 1982: Some comments on the evaluation of model performance. – *Bulletin of the American Meteorological Society* **63** (11): 1309–1313, [http://doi.org/10.1175/1520-0477\(1982\)063<1309:SCOTEO>2.0.CO;2](http://doi.org/10.1175/1520-0477(1982)063<1309:SCOTEO>2.0.CO;2).

Addresses of the Authors:

NIMA AHMADIAN, Faculty of Natural Science and Mathematics, Institute of Geography and Geology, University of Greifswald, Friedrich-Ludwig-Jahn-Straße 16 d, D-17487 Greifswald, e-mail: Ahmadian.n@gmail.com

Dr.-Ing. ERIK BORG, German Aerospace Center (DLR), German Remote Sensing Data Center, National Ground Segment, Kalkhorstweg 53, D-17235 Neustrelitz, Technische Universität Dresden, Institute of Photogrammetry and Remote Sensing, D-01062 Dresden, e-mail: erik.borg@dlr.de

ACHIM ROTH, German Aerospace Center (DLR), German Remote Sensing Data Center, Land Surface, Oberpfaffenhofen, D-82234 Weßling, e-mail: achim.roth@dlr.de

Prof. Dr. rer. nat. REINHARD ZÖLITZ, Faculty of Natural Science and Mathematics, Institute of Geography and Geology, University of Greifswald, Friedrich-Ludwig-Jahn-Straße 16 d, D-17487 Greifswald, Germany, e-mail: zoelitz@uni-greifswald.de

Manuskript eingereicht: Juni 2016

Angenommen: November 2016





A Study of the Human Comprehension of Building Categories Based on Different 3D Building Representations

PATRICK TUTZAUER, SUSANNE BECKER, DIETER FRITSCH, Stuttgart, TILL NIESE & OLIVER DEUSSEN, Konstanz

Keywords: user study, building categories, urban modeling, scene understanding, human perception

Summary: Virtual 3D cities are becoming increasingly important as a means of visually communicating diverse urban-related information. Since humans are the direct recipients of this information transfer, it is vital that the 3D city representations account for the humans' spatial cognition. Thus, our long-term goal is providing a model for the effective perception-aware visual communication of urban- or building-related semantic information via geometric 3D building representations which induce a maximum degree of perceptual insight in the user's mind. A first step towards this goal is to get a deeper understanding of a human's cognitive experience of virtual 3D cities. In this context, the paper presents a user study on the human ability to perceive building categories, e.g. residential home, office building, building with shops etc., from geometric 3D building representations. The study reveals various dependencies between geometric properties of the 3D representations and the perceptibility of the building categories. Knowledge about which geometries are relevant, helpful or obstructive for perceiving a specific building category is derived. The importance and usability of such knowledge is demonstrated based on a perception-guided 3D building abstraction process.

Zusammenfassung: Eine Studie über die menschliche Wahrnehmung von Gebäudekategorien auf Basis unterschiedlicher 3D-Gebäuderepräsentationen. Virtuelle 3D-Städte werden zunehmend wichtig, um unterschiedlichste stadtrelevante Informationen visuell zu vermitteln. Da Menschen die direkten Empfänger dieses Informationstransfers sind, ist es unerlässlich, dass 3D-Stadtrepräsentationen die räumliche Wahrnehmung von uns Menschen berücksichtigen. Unser längerfristiges Ziel ist es daher, ein Modell zur wahrnehmungsbewussten visuellen Kommunikation von städte- oder gebäudespezifischen semantischen Informationen zu entwickeln, welches über geometrische 3D-Gebäuderepräsentationen dem Nutzer ein Maximum an Erkenntnisgewinn ermöglicht. Ein erster Schritt dorthin ist, sich ein besseres Verständnis der menschlichen Wahrnehmung von virtuellen 3D-Städten zu verschaffen. In diesem Zusammenhang präsentiert der Beitrag einen Nutzertest über die menschliche Fähigkeit, Gebäudekategorien (z.B. Wohngebäude, Büros, Gebäude mit Läden usw.) anhand geometrischer 3D-Gebäuderepräsentationen zu erkennen. Die Studie zeigt zahlreiche Abhängigkeiten zwischen geometrischen Eigenschaften der 3D-Repräsentationen und der Wahrnehmbarkeit der Gebäudekategorien auf. Wissen darüber, welche geometrischen Eigenschaften relevant, hilfreich oder hinderlich sind, um eine bestimmte Gebäudekategorie zu erkennen, wird aus den Ergebnissen der Studie abgeleitet. Die Wichtigkeit und der Nutzen dieser Erkenntnisse werden anhand einer wahrnehmungsgesteuerten Abstraktion von 3D-Gebäudemodellen aufgezeigt.

1 Introduction

Virtual 3D cities are used in a growing number of applications: They are the basis for decision makers in areas such as urban planning, policy making for environmental aspects or planning for evacuation and emergency response. Moreover, 3D city models have also entered people's everyday life in the meantime via 3D navigation and tourist information systems or computer games and augmented reality applications.

Besides providing *geometric* information on the represented buildings, virtual 3D cities can also serve as medium to visually communicate urban- or building-related *semantic* information. In this case, the 3D representations should enable the users to fast and intuitively comprehend the respective semantics without wasting mental workload on non-relevant information. The degree of insight that people obtain via the visual communication of semantics strongly depends on what kind of geometric 3D building representations are used. Geometric 3D representations which fit people's visual habits and urban legibility can help to achieve a quick and accurate understanding of urban spatial information. Due to the multitude of different sensors, algorithms and modeling concepts used for acquiring and processing geodata in urban areas, virtual 3D cities can be based on various data types and ways of modeling, e.g. unstructured 3D point clouds, meshed surfaces, textured or non-textured volumetric 3D models with different levels of detail and abstraction. However, the question 'Which of these geometric 3D representations is, given a context, best suited to enable a maximum understanding of the information that is intended to be transmitted?' is still an open problem.

Depending on the application and the requirements going along with it, the provision of virtual 3D cities may involve considerable investments with respect to costs, time and expertise for data acquisition and processing. Thus, it is highly unsatisfactory that it is not known beforehand whether the desired degree of understanding can be reached by means of the generated virtual 3D building representations, or whether a smaller solution would have been sufficient. Questions like these are

of special relevance for developers of systems that work with 3D virtual cities, e.g. 3D navigation systems, virtual reality applications, computer games etc. The overall goal of this project is to provide a tool that can be used by developers of such systems to determine which kind of geometric 3D representation will enable the user to gain the required degree of insight: The tool will allow to quantify, predict and enhance the degree of perceptual insight induced by specific 3D building representations in a specific context. However, the basis for all that – profound knowledge on the human's ability to understand semantics from 3D building structures – is still missing.

This paper provides an important first step towards the project's overall goal by dealing with the identification of perceptual aspects which are relevant for the understanding of semantic information inherent in geometric 3D building structures.

Generally, it depends on the application as to which specific building-related semantic information needs to be understood by the user. Semantic issues of interest may be: building category, architectural style, historical relevance, state of preservation etc. Out of these, we will exemplarily address the semantic issue 'building category' which covers basic semantic information: Being able to quickly understand the category of buildings when moving through virtual 3D cities means support for various applications, e.g. navigation, house hunting, real estate management, spatial marketing, as it will help users to orient themselves and enable intuitive and efficient exploration.

Within the paper, we will present a user study which we developed and conducted in order to reveal the required knowledge about how a human understands building categories from geometric 3D building representations. In more detail, we will focus on two questions:

1. Which representation type is for which building category the most suitable?
2. Which geometric building properties and structures are relevant for the perceptibility of a particular building category?

Moreover, we will demonstrate how the derived knowledge about perceptually relevant geometric structures can be applied to improve the interpretability of 3D building abstractions.

The paper is structured as follows: section 2 gives an overview of related work. The development and conduction of the user study is described in section 3. Section 4 shows results of the test as well as an application of the derived knowledge. The paper ends with conclusions and an outlook in section 5.

2 State of the Art

Without raising claim to completeness, we briefly comment on geometric representation types used for virtual 3D cities in section 2.1. Related work on the human perception of geometric building structures is given in section 2.2 while section 2.3 addresses research on the quantification of perceptual aspects.

2.1 *Geometric Representations of Virtual 3D Cities*

The variety of geometric representations of urban scenes is wide: Most virtual 3D cities are a collection of 3D buildings given as boundary representations (BReps). Following CityGML, the OGC standard for 3D city models (KOLBE et al. 2005, GRÖGER & PLÜMER 2012), the geometric level of detail (LoD) of 3D building representations can range from LoD1 and LoD2 (LoD1: box models using flat roofs, LoD2: detailed roof structures, planar façades), which are available for the majority of the buildings of a 3D virtual city – over LoD3 (3D façade structures), which are usually only available for single landmarks and small test scenes – up to LoD4 (indoor models), which are not within the scope of our project.

Due to increasing computing power, nowadays, urban scenes can also be represented based on dense unstructured 3D point clouds or triangle meshes. These models are either the direct output of laser scanning or, pushed by the development of Structure-from-Motion and dense multi-image matching techniques (HIRSCHMÜLLER 2008, AGARWALL et al. 2009, ENGEL et al. 2014), the result of photogrammetric derivation from images (FRITSCH et al. 2011, HAALA 2013, MAYER et al. 2012). Google Earth, for example, solely uses triangle meshes for their representations. By this,

they avoid the derivation of geometrically and possibly also semantically interpreted BReps with a defined LoD which, however, are required for all applications that go beyond pure visualizations.

2.2 *Human Perception of Geometric Building Structures*

Research on the human perception of 2D geometric objects stems from a variety of different branches of science, e.g. geoinformatics and photogrammetry, geography, cartography or computer graphics. Findings of Gestalt theory play an important role in this. For example, LI et al. (2004) exploit Gestalt principles for the grouping and generalization of 2D building footprints, and MICHAELSEN et al. (2012) refer to Gestalt-based groupings for the detection of 2D window structures in terrestrial thermal imagery. Within the wide field of visualization approaches, ADABALA et al. (2009) present a perception-based technique for generating abstract 2D renderings of building façades, and NAN et al. (2011) apply conjoining Gestalt rules for the abstraction of architectural 2D drawings.

Approaches on the human perception of geometric building representations, which are not restricted to 2D structures or 2D visualizations but, instead, are directly located in 3D space, are often developed in the context of cartography. In this context, most approaches aim at the reduction of the visual complexity of urban 3D representations to decrease the user's cognitive effort. Prominent representatives are provided by GLANDER & DÖLLNER (2009) or PASEWALDT et al. (2014), who use cognitive principles for generating abstract interactive visualizations of virtual 3D city models. Both approaches focus on emphasizing landmarks while buildings that are supposed to be unimportant from a tourist's point of view are grouped and replaced by cell blocks. Instead of using Gestalt rules, this grouping is based on the infrastructure network. Other approaches realize the abstraction of virtual 3D cities by directly analyzing and modifying the geometric properties of the building models. For example, SUN et al. (2011) propose a structure-preserving abstraction method which generates abstracted 3D building models by avoiding concave shapes.

All the works mentioned have one thing in common: They integrate perceptual principles in their methods for the recognition, generalization or abstraction of geometric building structures in order to reveal or emphasize building-related information. These perception-based methods, however, are all more qualitative than quantitative operations. That means, quantitative statements about the degree to which the respective information can be perceived by a human, or tasks like, for example, searching for the best abstraction to achieve a certain degree of perceptibility are not supported.

2.3 Quantifying Human Perception of Geometries

Existing attempts to quantify the human perception of geometric objects are closely linked to Gestalt principles and, therefore, limited to simple 2D structures. DESOLNEUX et al. (2004) and CAO et al. (2007) propose a probability measure to quantify the meaningfulness of groupings in cluster analysis for 2D shape recognition. KUBOVY & VAN DEN BERG (2008) provide a probabilistic model of Gestalt based groupings by proximity and similarity on regular 2D patterns. MICHAELSEN & YASHINA (2013) put the Gestalt principles in an algebraic setting to facilitate 2D object recognition in images.

To the best of our knowledge, the evaluation of complex 3D building geometries with respect to their perceivable semantic information content, i.e. the quantification of perceptual insight, has not been addressed yet. Based on our user study on the human perception of building categories (see the following sections), we will take a first step in this direction.

3 Development and Conduction of the User Study

The overall goal of this user study is to obtain knowledge about the user's comprehension of building categories in virtual 3D cities. In more detail, the study is designed to investigate different aspects of how different types of building representations affect the user's decision of classifying a building into

a certain category. Analyses are expected to provide answers to questions such as 'Which representation type is for which building category the best?' or 'Which geometric building properties and structures are relevant for the perceptibility of a particular building category?'. Knowledge like that can be of great benefit when – given a specific application – the task is to provide the best suitable building representations which can be interpreted most intuitively, and, thus, enable the user to achieve a quick and correct understanding of building-related semantic information. Within a 3D navigation tool for example it is not crucial to provide the highest level of detail, since users should be able to identify essential structures with a glimpse. While Virtual Reality applications, as its name implies, aim at preferably detailed representations.

The data basis and the setup of the user study are described in section 3.1; the applied evaluation metrics are presented in section 3.2. The results of the study as well as a first application scenario showing how the derived knowledge can be used for perception-aware abstraction processes will be part of section 4.

3.1 Data Basis and Setup

The category of a building is reflected in both *geometric* building properties, e.g. building size, roof shape, size, number and arrangement of windows etc., and textural information. In order to separate the influences of both aspects as well as possible, the following representation types are used within the study: (a) untextured LoD3 models for analyzing solely influences of *geometric* building and façade properties, (b) textured meshes/LoD2 models (from Google Earth) as well as images from Google Street View for analyzing influences of *textural* information. Each of the three representation types are shown to the user in a way that at least two façades per building are visible. To avoid the assignment of the user being influenced by the building's environment, only the building itself appears; the environment of the building is not represented. Research on influences of the environment will be part of our future work.













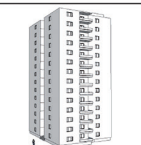


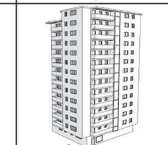















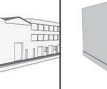
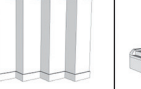



	LoD3 models				Textured Meshes (Google Earth)	Images (Street View)
One-Family Building (OFB)						
Multi-Family Building (MFB)						
Residential Tower (RT)						
Building With Shops (BWS)						
Office Building (OFF)						
Industrial Facility (IF)						

Fig. 1: Examples for building categories and representation types used in the study (Google Earth/Street View, ©2015 Google).

Within the study, users have to classify buildings into six characteristic building categories extracted from the ALKIS feature catalogue (ADV 2015):

- One-Family Building (OFB)
- Multi-Family Building (MFB)
- Residential Tower (RT)
- Building With Shops (optionally with partial residential usage) (BWS)
- Office Building (OFF)
- Industrial Facility (IF)

The buildings which are to be classified are randomly taken from German cities (mostly Stuttgart), i.e., between 15 and 20 candidates of each building category are selected. For all these candidates LoD3 models have been modelled manually. For 60% of the buildings, additionally, textured meshes/LoD2 models from Google Earth and/or images from Google Street View are provided. Fig. 1 gives examples of the building categories and representation types presented to the user.

The user study is conducted as an online survey for the test person's convenience as well as faster evaluation reasons. At the beginning of the survey, some general information about the user is obtained, namely:

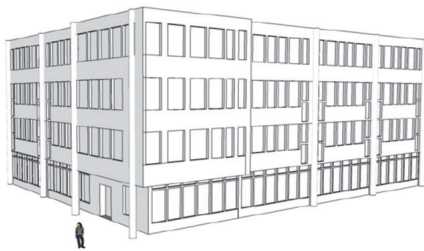
- Gender
- Age
- Graduation
- Subject of study
- Nationality
- Previous experiences in 3D virtual reality worlds (computer games, Google Earth, CAD modeling etc.)

Subsequently, the actual building category classification follows. All in all, 165 different building representations have to be classified by each participant. The representations are shown to the test person in random order. After the classification of each representation, users have to rate their level of certainty (reaching from 'Very Uncertain to 'Very Certain' in 5 selection options). Based on the self-

TRR 161

Transregional Collaborative Research Center
Quantitative Methods for Visual ComputingUser Test for Building Category
Classification

*Required



Specify the category of this building *

- One-Family Building
- Multi-Family Building
- Residential Tower
- Building with Shops (optionally with partial residential usage)
- Office Building
- Industrial Facility

How certain are you? *

- Very Uncertain
- Uncertain
- Balanced
- Certain
- Very Certain

◀ Back

Continue ▶

1% completed

Fig. 2: Exemplary page of the study with a building model to be classified.

assessment for each classification, a relation between user correctness and certainty can be examined. This metric can give further information about whether the user is aware of being wrong in the current classification.

3.2 Evaluation Metrics

The actual reference category for each model is obtained by extracting the type of use from the digital city base map and 3D data from the City Surveying Office of Stuttgart. To compare differences between the user's classification and the actual ground truth, all surveys are evaluated, and typical classification quantities such as confusion matrix, commission/omission errors and user's/producer's accuracy are computed. Moreover, in order to obtain deeper knowledge on the user's perception, for each building category, the ground truth buildings are compared to the classified

buildings. Aiming at quantifiable results, this comparison is based on computing geometric building properties inherent in LoD3 models.

The following properties are evaluated: building footprint, number of floors, floor height, total building height, number of windows per façade, mean window surface area, window-to-wall-surface ratio, number of entrances, mean entrance surface area, number of balconies, mean balcony surface area, different appearance of ground floor compared to remaining floors, relative frequency of different roof types. The window-to-wall-surface ratio is given as the ratio of mean window surface area and the mean façade area (wall surface minus windows, doors etc.). Considering the property 'different appearance of the ground floor (GF) as compared to the remaining floors', 4 different aspects are analysed: different arrangement, size and shape of windows in GF, as well as different ground plan in GF than in other floors. Each of these 4 aspects can take either the value 1 (different) or 0 (equal). Thus, the 4 mean values, which are computed for all representatives of a building category, express the degree of geometric difference between ground floor and remaining floors. Considering the property 'different roof types', we discriminate between five different roof shapes: flat, saddle, hipped, mono-pitch and complex. Correspondingly, a roof complexity value ranging from 1 (simple) to 5 (complex) for each building category is computed as the weighted mean, with the weights being the occurring amount of each roof type within the class.

Based on these metrics, the discrepancy between ground truth and the user's perception is investigated. As a first step within this evaluation, the ground truth data is analysed. For each building presented to the user in the test, the above-stated features are determined. Since every building has been labelled into one of the 6 building categories presented in section 3.1, it is possible to calculate mean values of the features for each building category. These values can be considered representative for the respective category.

In a second step, the 6 building categories are set up again, however, 'as-perceived' this time. This means that for each category the entirety of all buildings classified into the re-

spective class by all users is registered. Then again the mean values for each feature are computed, representing the ‘as-perceived’ or ‘as-expected’ features for each category. With this procedure, a comparison between the actual properties of a building class and the ones that were expected by the users is possible (see section 4.2.1).

4 Results and Application

This section is structured as follows: Overall results of the users’ classification will be presented in section 4.1. Based on these results, concrete knowledge on the users’ perception of building categories is derived in section 4.2. Finally, a first application of the obtained knowledge, namely perception-based abstraction, is presented in section 4.3.

4.1 Classification Results of User Study

In total, 96 test persons have participated in the user study. On average, the duration of the study was approximately 50 minutes. The participants’ mean age is 24.8 years. The majority of the participants are students from Germany and abroad. In the following, we will first evaluate the classification results based on the entirety of all users (section 4.1.1). Afterwards, the results will be evaluated with respect to different groups of users (section 4.1.2).

4.1.1 Evaluation based on the entirety of all users

Tab. 1 depicts the confusion matrix for the building classification. Column headers ‘GT’ indicate ground truth.

The producer accuracy is given as the ratio of correctly classified buildings with regard to all ground truth buildings in this class. However, user accuracy is more interesting for this work – it is the fraction of correctly classified buildings with respect to all buildings classified to the current class. Commission errors correspond to buildings that were classified to a particular class, yet are actually belonging to another. Omission errors are buildings that actually belong to the ground truth class but were classified to a different category. The results can be seen in Tab. 2.

Obviously, One-Family Buildings and Industrial Facilities could be identified best with both over 90 percent user accuracy. Users have most difficulties with the classes Office Buildings, Building with Shops and Multi-Family Buildings which are indicated by user accuracies between 64.4% and 68.3%. Reasons for that will be further explained in section 4.2.

Besides the classification result, for each building the users should also rate their certainty for the particular decision. For 22 buildings the correct classification result was below 50%, with a mean correctness of 32.4% for these buildings. However, the mean certainty value for the same buildings is 3.78, which translates to a certainty level of close-

Tab. 1: Confusion matrix for building classification (see section 3.1 for abbreviations of building categories).

	OFB GT	MFB GT	RT GT	BWS GT	OFF GT	IF GT	Sum Class
OFB	1483	59	1	69	1	2	1615
MFB	475	2462	137	460	62	8	3604
RT	6	377	2042	95	103	1	2624
BWS	23	222	87	1626	493	57	2508
OFF	18	237	513	265	1983	64	3080
IF	11	3	4	77	142	2172	2409
Sum GT	2016	3360	2784	2592	2784	2304	15840

Tab. 2: Classification metrics obtained from confusion matrix.

	Producer Accuracy (%)	User Accuracy (%)	Commission Error (%)	Omission Error (%)
OFB	73.6	91.8	8.2	26.4
MFB	73.3	68.3	31.7	26.7
RT	73.3	77.8	22.2	26.7
BWS	62.7	64.8	35.2	37.3
OFF	71.2	64.4	35.6	28.8
IF	94.3	90.2	9.8	5.7

ly to ‘Certain’. This reflects the issue of the users who often not even know their current misinterpretation of the data. Even more: The user might feel certain in his wrong classification. Therefore, it is necessary to use derived knowledge about the difference between perception/expectation and reality to optimize the building representation for the user’s needs.

4.1.2 Evaluation based on different groups of users

In the following, we will analyze whether different groups of users come to different classification results. The participants of the study have been quite homogeneous with respect to *age* (90% between 18 and 30 years), *graduation* (over 90% higher education entrance qualification, Bachelor or Master), and *subject of study* (over 95% engineering studies). However, clearly separable user groups of meaningful size can be identified with respect to *gender* (71% male, 29% female), the users’ *origin* (38.5% German, 61.5% foreign) as well as the users’ *previous experience* with 3D virtual reality worlds (75% experience, 25% no experience). Thus, the user study is additionally evaluated with respect to the latter three properties. For this purpose, the same accuracy measures as in section 4.1.1 have been determined, this time, however, for the different user groups separately. Significance tests in form of Student’s t-tests are carried out to search for significant differences in the classification results between those user groups.

Evaluation based on gender of users: 71% of the participants were male, 29% female. In order to examine whether there are gender-

specific differences in the way of how humans perceive building categories, the results of both groups have been evaluated separately and compared to each other. The analysis shows no significant differences between male and female users.

Evaluation based on origin of users: To investigate influences of the user’s origin on the classification results, an evaluation based on the user groups ‘German’ and ‘foreign’ has been performed. 38.5% of the users in the survey are from Germany, complementary 61.5% of the users have another nationality, distributed all over the world. Since all building models presented in the survey are located in Germany, and architectural construction for equal building types might vary throughout the world, this distinction seems eligible. However, tests on features in each building category did not reveal any significant difference between foreign and German users.

Evaluation based on users’ previous experience: Further, the factor of self-assessment with regards to previous experiences in 3D virtual reality worlds is examined. 75% of the test persons stated that they have previous experience in this subject, whereas 25% stated they don’t. However, the results for this subject are somewhat ambiguous, since experience in the topic of 3D virtual reality worlds could be interpreted quite widespread. Tests unveiled no significant difference between users with previous experience and novices.

As no significant differences in the classification results of the aforementioned user groups can be identified, all subsequent evaluations and interpretations in section 4.2 will be based on the entirety of all participants.

4.2 Derivation of Knowledge on Building Perception

Based on the findings described in section 4.1, we will now go a step further and try to derive coherences between the perceptibility of the building categories and several properties of the 3D representations. To find answers to questions such as ‘Which representation type is for which building category the best?’ or ‘Which *geometric* building properties and structures are relevant for the perceptibility of a particular building category?’, we proceed as follows: In section 4.2.1, we extract geometric dependencies, i.e., dependencies between the perceptibility of a building’s category and the building’s geometric properties. In section 4.2.2, the perceptibility with respect to different representation types is analyzed.

4.2.1 Perceptually relevant building structures

The goal is to derive geometric building properties and structures which are relevant or essential for the perceptibility of a specific building category. Following this goal, we first analyze the geometric properties of the building categories’ representatives of our ground truth (see paragraph (a)). Afterwards, the same analysis is done for building categories as perceived by the users (see paragraph (b)).

(a) Metrics of building categories reference

The geometric building features introduced in section 3.2 are evaluated for each ground truth category (Tab. 3 (right part)). Based on that, it is tested whether the different building categories significantly differ in their geometric features. For that purpose, multiple significance tests are performed for each building feature’s class mean. In the following, some significant characteristics for each building category within the ground truth are listed:

- **One-Family Buildings** have a significantly smaller footprint than all other categories besides *Buildings With Shops*. The total building height, the number of floors and the number of windows are smaller than in all other classes.
- For **Multi-Family Buildings** the total number of floors is significantly higher than for *One-Family Buildings* and *Industrial Facilities*, yet lower than for *Residential Towers* and *Office Buildings*. Accordingly the total number of windows is higher than for *One-Family Buildings* but lower than for *Residential Towers* and *Office Buildings*. *Multi-Family Buildings* only differ in few features from *Buildings With Shops*, hence the more important they are. The mean window surface is significantly smaller than for *Buildings With Shops*. Related thereto, a different arrangement, size, and shape of windows on ground floor and a different ground floor itself as compared to the remaining floors is significantly more important for *Buildings With Shops* than for *Multi-Family Buildings*.
- The most important feature of **Residential Towers** is the total number of floors, which is significantly higher than for all other building categories. Apart from *Multi-Family Buildings*, to which no significant difference is detected, the total amount of balconies is higher than in all other categories
- To distinguish **Buildings With Shops** from the rest, the most important features are different arrangement, size and shape of windows on ground floor as well as different ground floor itself in comparison to the remaining floors. These properties are significantly higher than in all other categories.
- Two features are salient for **Office Buildings**: The total amount of windows per façade, and the number of floors is significantly higher than for all other categories (except *Residential Towers*). Moreover, the mean entrance surface area is significantly higher than for *One-Family Buildings*, *Multi-Family Buildings* and *Residential Towers*. To distinguish *Office Buildings* from *Buildings With Shops*, a higher number of windows per façade as well as a higher amount of floors is characteristic. Accordingly, the ground floor and first floor resemble each other more in contrary to *Buildings With Shops*.

- For **Industrial Facilities** the footprint is the predominant feature because it is significantly higher than in all other categories. The window-to-wall-surface ratio is lower than for *Multi-Family Buildings*, *Residential Towers*, *Buildings With Shops* and *Office Buildings*.

(b) *Metrics of building categories as perceived/expected by users*

As done before for the ground truth data, mean features are computed (Tab. 3 (left part)), this time based on the total amount of buildings all users classified into the respective class. To compare the ground truth data with the results from all users, a significance test for the differences in all corresponding features is computed – this way discrepancies in the user's perception or expectation and ground truth can be revealed.

The most important findings in this evaluation are:

- For **One-Family Buildings** significant tests revealed, that there is no difference in perception and ground truth.
- For **Multi-Family Buildings** a different arrangement of windows on the ground floor as well as a different ground floor itself in comparison to the remaining floors of the buildings is expected. Additionally, in the users' perception *Multi-Family Buildings* have a higher number of floors.
- To classify a building as **Residential Tower**, for users, the number of floors can be less and the total height lower in comparison to ground truth. However, a single floor height is expected to be higher than for the ground truth.
- **Buildings With Shops** are considered to have a higher number of floors than in reality.
- For **Office Buildings** users are expecting a higher number of balconies.
- **Industrial Facilities** are expected to have more windows per façade and a bigger number of floors, too.

4.2.2 Findings based on building representation type

By separating the evaluation into geometric and textural representation types, their impact onto the classification results can be measured. For 60% of the models at least two different representation types for the same building are available. The mean correctness for untextured LoD3 models is at 69.2%. Whereas a slightly higher correctness could be achieved for the textured meshes/LoD2 models from Google Earth with 75.4%. However, the most accurate classification result with 79.3% is based on the images from Google Street View. To determine whether the results actually differ from each other, again significance tests for the differences between geometric and textured representations results have been performed. The difference between untextured LoD3 models and textured meshes/LoD2 models from Google Earth is not significant but there is a significant difference between the geometric representation and images from Street View. One reason for the superior correctness obtained for Street View representations could be the viewpoint of the models. As exemplarily shown in the last column of Fig. 1, all images are captured looking slightly upwards and thus resembling the human perspective. The viewing angle dependency on classification results is beyond the scope of this paper and will be addressed in further research.

For building categories that are easily separable from the rest like *One-Family Buildings* and *Industrial Facilities*, a geometric representation is sufficient in the majority of cases. Particularly for buildings that are belonging to somewhat more ambiguous categories like *Buildings With Shops*, *Office Buildings* and *Multi-Family Buildings* additional textural information improves the classification results.

4.3 Application: Perception-Based Abstraction

The knowledge derived in section 4.2.1 describes geometric 3D building properties and structures which are characteristic for a specific building category. A lot of applications where users have to move about in virtual 3D

Tab. 3: Geometric properties of the building categories as given in the ground truth (right part of the table), and as classified by the users in the study (left part of the table).

As Classified		Ground Truth					
IF	OFF	BWS	RT	MFB	OFB		
912.6	480.00	432.80	328.95	252.92	115.30	Footprint (m ²)	
5.0	6.3	5.7	6.9	5.8	2.1	# Floors	
11.10	6.61	6.78	3.55	5.43	3.30	Floor Height (m)	
36.78	28.11	26.69	24.19	22.98	9.58	Total Height (m)	
59.3	59.9	56.5	61.0	48.7	8.3	# Windows Per Façade	
6.19	3.84	4.52	3.84	2.31	1.33	Ø Window Surface Area (m ²)	
61.7	52.5	53.6	56.9	32.5	16.1	Window/Wall Surface Ratio (%)	
2.8	2.3	2.3	1.4	2.2	1.7	# Entrances	
13.48	8.97	9.86	8.39	7.35	4.13	Ø Entrance Surface Area (m ²)	
1.5	2.1	2.0	3.0	2.6	0.2	# Balconies	
3.88	3.34	3.30	4.36	3.82	1.04	Ø Balcony Surface Area (m ²)	
0.53	0.49	0.54	0.46	0.49	0.67	Different Window Arrangement in GF	
0.47	0.44	0.47	0.39	0.38	0.27	Different Window Sizes in GF	
0.49	0.41	0.46	0.38	0.40	0.33	Different Window Shapes in GF	
0.40	0.32	0.36	0.28	0.29	0.13	Different Ground Plan in GF	
1.4	1.7	1.8	1.8	1.9	2.7	Roof Complexity	

cities can benefit from this perceptual knowledge. Particularly when the virtual 3D city consists of abstracted, geometrically simplified buildings, e.g. when applications are visualized on small screens, it is even more important that the abstracted building representations still contain those geometric properties and structures which are essential for perceiving the correct category of the buildings. In the following, we will show how such perceptual knowledge can be embedded in a 3D abstraction process. Effects on the perceptibility of the buildings' categories will be demonstrated based on representative examples.

In a preprocessing step, information about perceptual relevance is attached to the respective 3D structures to provide semantically enriched building representations as input for the abstraction process. Based on NAN et al. (2011), we create different abstractions of buildings based on human perception. NAN et al. (2011) applied different Gestalt rules to drawings of façades which helped them to group drawing elements and to represent them by other elements. We extended this idea to the three-dimensional blocks formed by the façade elements and use it for abstracting given buildings. During this process, we use the Gestalt laws of proximity, regularity and similarity to group blocks together and represented the results by larger blocks. The preservation of geometric properties and 3D structures, which are essential for perceiving the correct building category, is ensured by translating them into geometric constraints as restrictions for the abstraction process.

Fig. 3 (a1), (b1) and (c1) depict the original building models, respectively followed by two different results of the abstraction process. For the first abstraction, parameters have been chosen based on features that are important for the user to correctly classify a building. The second abstraction is completely free, meaning that no restrictions were made during the abstraction. Fig. 3 (a) depicts a model belonging to the class of *Building With Shops*. The first abstraction incorporates the properties learned to be important for *Building With Shops* as mentioned in section 4.2.1, paragraph (a). The ratio of the window size between the ground floor, the first floor and the remaining floors is preserved as well as

the arrangement of the windows. The second model is a free abstraction. As a result of the abstraction process, both models (a2) and (a3) have merged dormers. However, the window shapes and distribution have changed. For example, (a2) retains smaller windows in the upper floor, while (a3) has a merged window front. This merged window front destroys the building's original property of having significantly bigger windows in the lower floors than in the remaining floors, which was detected to be an important feature of *Buildings With Shops*, though.

In Fig. 3 (b) a *Residential Tower* is depicted. For both abstractions, windows have been merged over two floors, as a consequence the total building height appears to be smaller and the number of floors decreases with increasing single floor height at the same time. This exactly corresponds to the findings made for the users' expectation of the category *Residential Tower* (Tab. 3). The important feature 'balcony' is maintained in the first abstraction, the second abstraction however drops it. This way, model (b2) retains the appearance of a residential building, whereas model (b3) is more neutral and, thus, could also be interpreted as an *Office Building*.

Fig. 3 (c) shows the example of an *Office Building*. The abstracted model (c2) keeps the characteristic structure of the ground floor but merges windows in the upper floors, thus still closely resembling the original. Model (c3) though merges windows and entrances in the ground floor. As a consequence, the model might rather be perceived as *Building With Shops* than *Office Building*.

5 Conclusions and Outlook

With the aim of deriving knowledge on the human's ability to understand semantics from 3D building structures, we presented a user study on the user's comprehension of building categories based on different 3D building representations. Within the study, the users were asked to classify consecutively presented single building representations into the categories *One-Family Building*, *Multi-Family Building*, *Residential Tower*, *Building With Shops*, *Office Building* and *Industrial Facility*. During

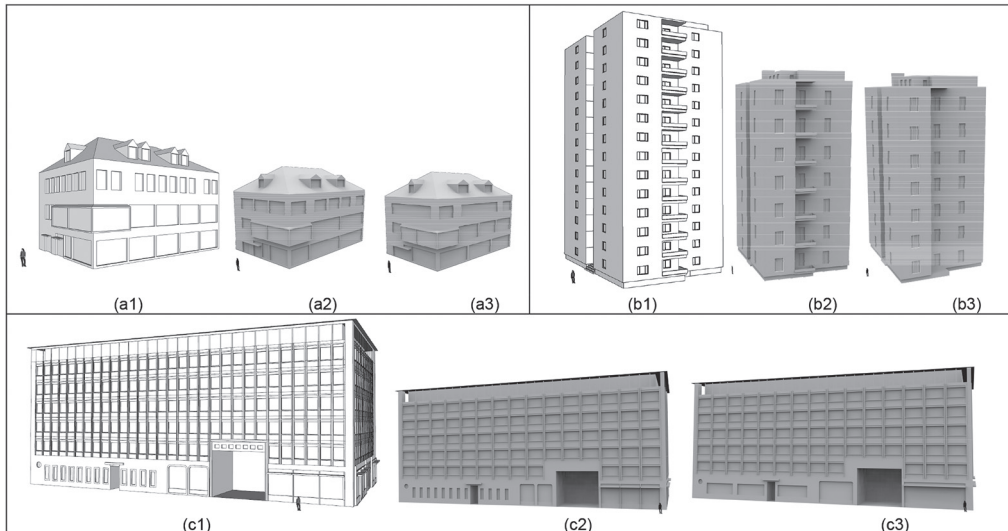


Fig. 3: Application of conclusions drawn from the survey. For $x \in \{a, b, c\}$: (x1) original building model, (x2) abstraction based on features important for the user to classify into the respective correct category, (x3) 'free' abstraction without restrictions.

the whole classification process, the users additionally had to rate their level of certainty. The representations shown to the users were untextured LoD3 models, textured meshes/LoD2 models from Google Earth, and images extracted from Google Street View.

Analyses of the user study reveal clear coherences and dependencies between the correctness of classifications and the model representation type. In general, it is conducive to have textural information for buildings: The overall classification accuracies for textured meshes/LoD2 models from Google Earth and images from Google Street View are 75.4% and 79.3% and, thus, significantly higher than the classification accuracy of untextured LoD3 models, which lies at 69.2%. Particularly for buildings that are belonging to somewhat more ambiguous categories like *Buildings With Shops*, *Office Buildings* and *Multi-Family Buildings* additional textural information improves the classification results. However, for building categories that are easily separable from the rest like *One-Family Buildings* and *Industrial Facilities*, a geometric representation in form of a LoD3 model is sufficient in the majority of cases.

The classification accuracy of LoD3 models mainly depends on whether the building models show properties that have been detected as perceptually relevant for the respective building category. Examples for such perceptually relevant geometries and structures are the occurrence of balconies for *Residential Towers*, the different appearance of ground floor and remaining floors for *Buildings With Shops*, or the high windows-to-wall-surface ratio for *Office Buildings*. As these properties are not inherent in all representatives of the categories mentioned, users sometimes experience difficulties to distinguish between *Buildings With Shops*, *Multi-Family* and *Office Buildings*. Moreover, the majority of the users is not even aware of their misinterpretations which makes perception-adapted building representations an even more important issue. Therefore, it is crucial to guide the representation based on features that are significantly characteristic for the respective building category. The knowledge gathered in the investigation of ground truth features and the significant features as-perceived or expected by users can then be used to generate virtual 3D models that support and improve the correct perception of building categories.

As a first application, we demonstrated how such knowledge about the human's perception of building-related semantic information can be used for the perceptually adapted abstraction of 3D building models. Characteristic properties of building structures that turned out to be essential for the perceptibility of a certain building category are maintained during the abstraction process whereas structures that are unimportant or even obstructive are simplified to a much higher extent or even totally neglected. Doing so, the perceptibility of the building category can be preserved even in abstracted building representations.

In our future work, we plan to further extend our findings about the human ability to understand building categories based on user studies which will be implemented in an interactive 3D visualization software. Having considered buildings so far on an individual basis only, we will investigate how the human perception of a building's category is influenced by the building's environment. Further experiments will be set up, for example, to retrieve information about the impact of different building representations on the users' way of navigating through virtual 3D environments. The perceptual knowledge gained from those analyses will be embedded into a framework with which it will be possible to not only *maintain* perceptually relevant geometric properties and structures as it was the case in the perception-guided abstraction but it will additionally allow to *modify*, *emphasize*, *add* or *remove* perceptually relevant structures in a targeted manner in order to automatically generate models that can be classified more easily into the respective correct building category.

Acknowledgements

We would like to thank the German Research Foundation (DFG) for financial support within the projects D01, A04 and task force TF3 of SFB/Transregio 161. Additionally, we would like to thank the European Social Fund (ESF) as well as the Ministry Of Science, Research and the Arts Baden-Württemberg for financial support within the 'Margarete von Wrangell-Habilitationsprogramm für Frauen'.

References

- ADABALA, N., 2009: Building representation in oblique-view maps of modern urban areas. – *Cartographic Journal* **46**: 104–114.
- AGARWAL, S., SNAVELY, N., SIMON, I., SEITZ, S.M. & SZELISKI, R., 2009: Building rome in a day. – IEEE 12th international conference on computer vision: 72–79.
- ADV, 2015: Dokumentation zur Modellierung der Geoinformationen des amtlichen Vermessungswesens. – Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland, <http://www.adv-online.de/AAA-Modell/binarywriterservlet?imgUId=3c860f61-34ab-4a41-52cf-b581072e13d6&uBasVariant=11111111-1111-1111-1111-111111111111> (25.7.2016).
- CAO, F., DELON, J., DESOLNEUX, A., MUSÉ, P. & SUR, F., 2007: A unified framework for detecting groups and application to shape recognition. – *Journal of Mathematical Imaging and Vision* **27**: 91–117.
- DESOLNEUX, A., MOISAN, L. & MOREL, J.-M., 2004: Seeing, Thinking, Knowing. – CARSETTI, A. (ed.): Kluwer Academic Publishers: 71–101.
- ENGEL, J., SCHÖPS, T. & CREMERS, D., 2014: LSD-SLAM: Large-scale direct monocular SLAM – European Conference on Computer Vision, Springer International Publishing: 834–849.
- FRI TSCH, D., KHOSRAVANI, A., CEFALU, A. & WENZEL, K., 2011: Multi-sensors and multiray reconstruction for digital preservation. – FRI TSCH, D. (ed.): Photogrammetric Week, Wichmann: 305–323.
- GLANDER, T. & DÖLLNER, J., 2009: Abstract representations for interactive visualization of virtual 3D city models. – *Computers, Environment and Urban Systems* **33**: 375–387.
- GRÖGER, G. & PLÜMER, L., 2012: CityGML – Interoperable semantic 3D city models. – ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing **71**: 12–33.
- HAALA, N., 2013: The landscape of dense image matching algorithms. – FRI TSCH, D. (ed.): Photogrammetric Week. – Wichmann: 271–284.
- HIRSCHMÜLLER, H., 2008: Stereo processing by semiglobal matching and mutual information. – IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence **30** (2): 328–341.
- KOLBE, T.H., GRÖGER, G. & PLÜMER, L., 2005: CityGML – interoperable access to 3D city models. – OOSTEROM, ZLATANOWA & FENDEL (eds.): International Symposium on Geoinformation for Disaster Management: 883–899, Springer.
- KUBOVY, M. & VAN DEN BERG, M., 2008: The whole is equal to the sum of its parts: A probabilistic model of grouping by proximity and similarity in regular patterns. – *Psychological Review* **115** (1): 131–154.

- LI, Z., YANG, H., AI, T. & CHEN, J., 2004: Automated building generalization based on urban morphology and Gestalt theory. – *International Journal of Geographical Information Science* **18**: 513–534.
- MAYER, H., BARTELTSEN, J., HIRSCHMÜLLER, H. & KUHN, A., 2012: Dense 3D reconstruction from wide baseline image sets. – *International Conference on Theoretical Foundations of Computer Vision*: 285–304, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg.
- MICHAELSEN, E., IWASZCZUK, D., HOEGNER, L., SIRMAČEK, B. & STILLA, U., 2012: Gestalt grouping on facade textures from IR image sequences: comparing different production systems. – *The ISPRS International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*: 303–308.
- MICHAELSEN, E. & YASHINA, V., 2013: Simple Gestalt algebra. – *International Workshop on Image Mining, Theory and Applications*: 3–13.
- NAN, L., SHARF, A., KE, X., DEUSSEN, O., COHEN-OR, D. & CHEN, B., 2011: Conjoining Gestalt rules for abstraction of architectural drawings. – *ACM Transactions on Graphics* **30** (6): 185:1–185:10.
- PASEWALDT, S., SEMMO, A., TRAPP, M. & DÖLLNER, J., 2014: Multi-perspective 3D panoramas. – *International Journal of Geographical Information Science* **24** (10): 1–22.
- SUN, X., YANG, B., ATTENE, M., LI, Q. & JIANG, S., 2011: Automated abstraction of building models for 3D navigation on mobile devices. – *19th International Conference on Geoinformatics, Shanghai, China, 24–26 June*, 6 p.

Addresses of the Authors:

Dipl.-Ing. PATRICK TUTZAUER, Dr.-Ing. SUSANNE BECKER and Prof. Dr.-Ing. DIETER FRITSCH, Universität Stuttgart, Institut für Photogrammetrie, Geschwister-Scholl-Str. 24d, 70174 Stuttgart, Tel.: +49-711-685-84093, Fax: +49-711-685-83297, e-mail: {patrick.tutzauer}{susanne.becker}{dieter.fritsch}@ifp.uni-stuttgart.de

M. Sc. TILL NIESE and Prof. Dr. OLIVER DEUSSEN, Universität Konstanz, Fachbereich Informatik und Informationswissenschaft, Fach 698, 78457 Konstanz, Tel.: +49-7531-88-4233, Fax: +49-7531-88-4715, e-mail: {till.niese}{oliver.deussen}@uni-konstanz.de

Manuskript eingereicht: July 2016
Angenommen: September 2016



Erfassung der früheren und aktuellen Siedlungsdynamik von Hanoi auf Basis von heterogenen Satellitenbildern

INGRID CHRIST & ROLF LESSING, POTSDAM

Keywords: Stadtentwicklung, Urbanisierung, Fernerkundung, Klassifizierung, Satellitenbilder

Zusammenfassung: Die Megacity Hanoi erfährt bereits seit Jahrzehnten ein enormes Wachstum, zeitweise ungeplant, zeitweise geplant. Die räumliche Erfassung dieser Stadtentwicklung stellt dabei die Basis dar, um daraus Ableitungen für die zukünftigen Verkehrs- und Stadtentwicklungspläne vorzunehmen. Seit Beginn der 70er Jahre gibt es Satellitenbilddaten, die mittlerweile fast historische Stadtbilder widerspiegeln. Mit Hilfe verschiedener Satellitenbilddaten, basierend auf Landsat MSS, Landsat TM5, Landsat ETM7 bis hin zu RapidEye Sensoren wurden unterschiedliche Methoden zur semi-automatischen Klassifizierung der Stadtausdehnung sowie der Strukturänderung getestet und optimiert, um einen schnellen, aber auch qualitativ tragbaren Überblick zur Siedlungsdynamik zu erhalten. Als erste Methode wurde eine objektbasierte Klassifizierung auf Basis der eCognition-Software 8.0 angewandt, bei der zunächst eine Segmentierung und dann Klassifizierung für diese Segmente durchgeführt wurden. Die wenig transparente Ausweisung von Segmenten erwies sich als sehr nachteilig. Zeitreihen mit unterschiedlichen Wetterbedingungen, Jahreszeiten oder räumlich unterschiedliche Ausschnitte weisen dabei keine Vergleichbarkeit auf, um ein semi-automatisches Verfahren anzuwenden. Positiv hat sich dagegen die Verwendung eines eigenen DELPHI IMM Ansatzes von Repräsentanten erwiesen, da damit die ‚Segmente‘ vorgegeben und somit für alle optischen Sensordaten gleich sind. Eine Übertragbarkeit in Zeitreihen ist dadurch deutlich höher. Dies gilt auch für die Übertragbarkeit auf Daten von anderen Sensoren, wie beispielsweise Sentinel 2. Zukünftig könnten diese frei verfügbaren Sentinel-Daten eine preisgünstige Möglichkeit sein, um einen schnellen Hinweis auf Suburbanisierung, Verdichtung oder Verslumung zu erhalten. Das Ziel eines multi-temporalen Ansatzes konnte aufgrund der vielen Wolken im Großraum des subtropischen Hanois und damit schlechten Datenlage nicht erreicht werden. Für weitere Forschungsarbeiten

könnte alternativ der Einsatz von Radardaten getestet werden, die unabhängig von Wolken und für Sentinel 1 alle 6 Tage verfügbar sind. Die Veränderungsanalyse hat im Groben genau die Gebiete ermittelt, die politisch als suburbane Stadterweiterung oder als New Urban Area (NUA) deklariert wurden. Darüber hinaus konnten schneller und langsamer wachsende Gebiete über die Zeitschnitte detektiert sowie kleinräumigere Differenzierungen erkannt werden.

Summary: *Acquisition of the former and current settlement dynamics of Hanoi based on heterogeneous satellite images.* The Megacity Hanoi is growing enormously for decades, partly unplanned, temporarily planned. Spatial coverage of this urban development is a good basis for deriving prospective traffic- and urban development plans. Satellite imagery exists since the early 70s which now document almost historic cityscape. Different methods for semi-automatic classification of urban growth and structure were tested and optimized by means of several satellite data based on Landsat MSS, Landsat TM5, Landsat ETM7 or RapidEye sensors in order to get a quick and acceptable overview of the urban dynamics. The first applied method was an object-oriented classification with eCognition 8.0 divided into segmentation and classification. The object definition rules of time series already of one sensor based on different weather conditions, seasons and bounding boxes were not transferrable caused by completely different segmentation. In contrast to this an approach with representatives has better results for time series because these ‚segments‘ are pre-defined and have always the same borders. The same is true for data from other sensors, for example Sentinel 2. This free data could become in future a low-cost possibility to get quick hints for suburbanization, agglomeration or urban decay. The aim of a multi-temporal approach was not achieved due to an insufficient number of satellite data caused by many clouds in the subtropical

area. The use of radar satellite data, irrespective of clouds, could specially in this area be an alternative and a focus for further research works. Sentinel 1 is a radar satellite with a revisit time of six days. The analysis of the change has roughly confirmed the political plans for suburban growth or also known as New Urban Area (NUA). Moreover, areas with fast or slow growth were detected while urban structures were differentiated in more detail.

1 Einleitung

Die Megacity Hanoi ist von Beginn der Stadtgründung bis heute starken Veränderungen unterlegen. Historisch gesehen geht die Altstadt von Hanoi auf die Stadtgründung im 11. Jahrhundert zurück. Danach folgte eine starke Prägung durch die französische Kolonialherrschaft bis 1954. Die Stadterweiterung nach Süden, der Bau des Hauptbahnhofes sowie der Ausbau des Verkehrsnetzes stellen heute noch prägende Strukturen aus dieser Zeit dar. Nach der Unabhängigkeit Vietnams wurde die Stadtstruktur Hanois bis 1985 von sozialistischen Leitvorstellungen beeinflusst, wie De-Urbanisierung und die Verlangsamung des städtischen Wachstums. In den letzten drei Dekaden erfuhr die vietnamesische Hauptstadtregion Hanoi einen enormen Anstieg an Bautätigkeit und damit eine Änderung der Landnutzung (WAIBEL 2011).

Im Gegensatz zu diesen echten Urbanisierungen (Stadterweiterung und Verdichtungen) wurde 2008 auch eine fundamentale, administrative Neugliederung (horizontale, administrative Reorganisation) in Hanoi durchgeführt, indem die westlich von Hanoi gelegene Provinz Ha Tay vollständig sowie kleinere Teile der Provinzen Vinh Phuc und Hoa Binh eingegliedert wurden. Damit verdreifachte sich die Stadtfläche von 922 km² auf 3.349 km² während die Einwohnerzahl vom 1. August 2008 bis heute von 3,4 Mio. auf 6,5 Mio stieg. Mit

dem Masterplan 2030, der 2010 zur Feier des 1000jährigen Bestehens vorgestellt wurde, wird weiterhin das Stadtwachstum in Hanoi offiziell untermauert (WAIBEL 2011).

Dieses Wachstum bringt Chancen, birgt aber auch viele Herausforderungen. Insbesondere im Verkehrsbereich könnten die bestehenden Probleme durch einen Umstieg von Motorrollern zu Autos sowie einer Zunahme an Pendlern von den New Urban Areas (NUA) hin zum Stadtzentrum verstärkt werden. Die räumliche Erfassung dieser Stadtentwicklung kann dabei eine wichtige Voraussetzung darstellen, um die bisherige Verkehrsentwicklung zu erklären und zukünftige Verkehrs- und Stadtentwicklungspläne zu entwickeln.

Mit Hilfe von Erdbeobachtungssatelliten können Landbedeckungen erkannt und Veränderungen detektiert werden. Die Methodik der satellitenbildgestützten Erkennung wurde im Rahmen des Projektes *Real Time Monitoring of Urban Transport (REMON)* in Hanoi angewandt, um dieses immense Stadtwachstum und die Veränderungen der schnell wachsenden Metropole in Asien abzubilden. Die Zielstellung war dabei zum einen die Erfassung der wesentlichen Klassen der zentralen und peripheren Stadtstruktur zum gegenwärtigen Zeitpunkt sowie die Veränderungsmuster für die letzten vier Dekaden (vom Beginn der ersten verfügbaren Satellitenbilder bis zum Ende des Projektes) zu dokumentieren. Zum anderen bestand die Herausforderung in der Entwicklung eines (semi-) automatischen Prozesses für historische und gegenwärtige Satellitenbilder mit unterschiedlichen Sensoren unterschiedlicher radiometrischer, spektraler, temporaler und geometrischer Auflösung, um auch zukünftig schnelle Aussagen zum Stand der Stadtstruktur und zur Veränderung der Siedlung zu erhalten. Hierzu gibt es viele denkbare Einsätze, von der Veränderung der Flächengröße, -verteilung oder Siedlungs-

Tab. 1: Einwohnerzahlen der letzten 3 Jahre von Hanoi City (GENERAL STATISTICS OFFICE OF VIET NAM 2011–2014).

Jahr	2011	2012	2013	2014
Einwohnerzahl von Hanoi	6.761.300	6.865.200	6.977.000	7.095.900
Absolutes Wachstum		+ 103.900	+ 111.800	+ 118.900
Prozentuales Wachstum		+ 1,53%	+ 1,6%	+ 1,7%

verdichtung bis hin zur Erfassung von ungeplanten Stadt-Erweiterungen.

Für den Großraum Hanoi liegen zwar zahlreiche statistische Daten, aber kaum 'ground truth data' von Katasterämtern zur Verbesserung der Klassifizierung vor. Dies führte zu einer Studie, mit welcher Methode die besten Klassifizierungsergebnisse ohne amtliche Grundlagen erzielt werden können. Für die Qualitätsbewertung wurden stratifizierte Stichproben auf Basis von sehr hochaufgelösten Satellitenbildern und auch in-situ Kontrollen durchgeführt.

2 Datenlage

Beginnend mit den ersten verfügbaren Satellitenbildern aus den 1970er Jahren bis zum Jahre 2014 wurden Satellitendaten beschafft. Insbesondere für die früheren Zeiten wurden Aufnahmen aus der Landsat-Serie eingesetzt, da der erste Landsat-Satellit bereits 1972 mit MSS (Multispectral Scanner) startete. Aufgrund des subtropischen Klimas in Hanoi und der damit verbundenen häufigen Wolkenbildung konnten weitaus weniger Aufnahmen verwendet werden als geplant. Die Auswertung der Landsat MSS-Bilder bildet fast schon eine historische Stadtstruktur von Hanoi ab. Für die letzten drei Jahre wurden hochauflö-

sende RapidEye-Daten mit 5 m Boden-Auflösung aus dem RapidEye Science Archive (RESA) verwendet. Für den Innenstadtbereich konnten darüber hinaus noch die kostenintensiveren Worldview II-Daten für 2010 beschafft werden. Die Daten liegen in unregelmäßigen Zeitabständen vor. Für die 1970er Jahre existiert nur ein und für die 1980er Jahre gar kein brauchbares Satellitenbild. Demgegenüber liegen drei für die 1990er Jahre, vier für die 2000er und fünf für die 2010er Jahre vor.

Als Untersuchungsgebiet wurde die Abdeckung von RapidEye mit dem innerstädtischen Bereich sowie einem Großteil des bebauten Bereiches um die Innenstadt und entlang der Ausfallstraßen festgelegt. Insgesamt ist das Untersuchungsgebiet ca. 1.100 km² groß und wurde aus Performance-Gründen in die sechs Rapid-Eye-Kacheln unterteilt. Die nachfolgende Abbildung zeigt die Lage des Untersuchungsgebietes in Hanoi. Das Hintergrundbild stellt eine kostenfreie topographische Basis-karte der Bonner Firma mundialis dar, eine Kombination aus SRTM-, ASTER und OSM-Daten.

Die Provinz Hanoi ist in gelber Farbe und die sechs RapidEye-Kacheln in blauer Farbe umrandet. Das Zentrum von Hanoi ist durch die Ballung der weiß dargestellten OSM-Straßen gut zu erkennen.

Tab. 2: Verwendete Satellitendaten.

Aufnahmedatum	Satellit / Sensor	Spektrale Auflösung	Geometrische Auflösung	Radiometrische Auflösung
29.12.1975	Landsat MSS	4	Vorprozessiert 57 × 57 m ²	8 Bit
27.12.1993 30.09.1996	Landsat TM5	6	30 × 30 m ²	8 Bit
20.12.1999 11.04.2000 23.11.2001 08.11.2007 03.09.2009	Landsat ETM7	7	30 × 30 m ²	8 Bit
10.12.2010	WorldView II	4	2 × 2 m ²	11 Bit
10.12.2010	WorldView II	PAN	0,5 × 0,5 m ²	11 Bit
18.11.2012 20.05.2013 04.11.2013 14.05.2014	RapidEye (RE1) RapidEye (RE3) RapidEye (RE4) RapidEye (RE5)	5	5 × 5 m ²	16 Bit

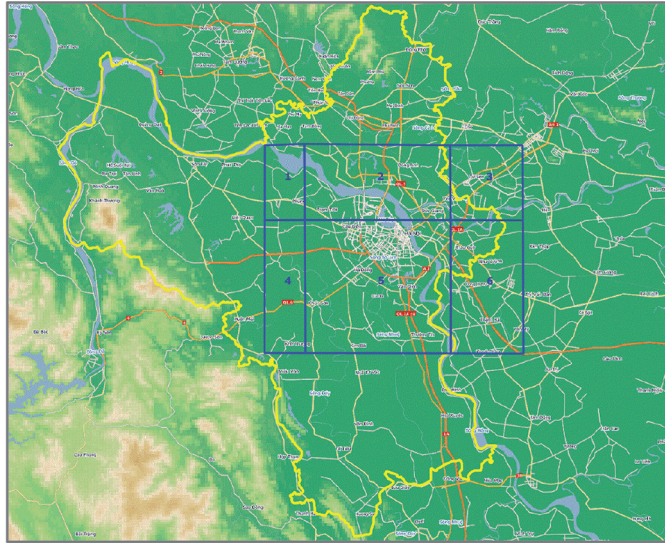


Abb. 1: Untersuchungsgebiet im Großraum Hanoi City.

3 Preprocessing – Vorarbeiten

3.1 Transformation der Satellitenbild-Spektralwerte

Die große Herausforderung dieser Arbeit stellt die semi-automatische Klassifizierung der Zeitreihen von verschiedenen Sensoren mit unterschiedlichen Eigenschaften dar (Tab. 2). Daraus ergeben sich Schwierigkeiten hinsichtlich der unterschiedlichen absoluten Spektralwerte

- durch Veränderungen aufgrund von Wolken und Wolkenschatten,
- durch unterschiedliche Aufnahmebedingungen,
- durch lokale atmosphärische Einflüsse wie Dunst.

DELPHI IMM hat hierzu einen Transformations-Algorithmus entwickelt, um die Verteilung der spektralen Pixelwerte von beliebigen Zeitreihen auf eine sogenannte Masterszene anzupassen. Dazu wurde zunächst die damals aktuellste RapidEye-Szene vom November 2013 aufgrund der Wolkenfreiheit als Masterszene (sechs Kacheln) und dazu

noch eine Zentralkachel (Kachel 5 im Altstadtbereich) definiert. Die einzelnen Bänder der Nachbarkacheln der Zentralkachel für die Masterszene wurden mit Hilfe einer linearen Regression farblich angepasst. Die Regressionsgleichung mit der Form: $Band (angepasst) = Band (original) * a + b$ ergab sich aus den Überlappungsbereichen der Kacheln.

Zur Durchführung einer Transformation wurde für jeden Spektralwert jedes Pixels und jeder Szene die kumulierte Häufigkeitsverteilung in einem bestimmten Umkreis berechnet. Für den Spektralwert des anzuwendenden Satellitenbildes wird die Position innerhalb der Häufigkeitsverteilung bestimmt und der Wert der identischen Position in der Masterszene übertragen.

Die Transformation der Original-Satellitenbilder brachte an einigen Stellen und Bereichen innerhalb der Abdeckung aufschlussreiche Informationen, so z.B. am Rande einer Wolke, unter leichten Federwolkendecken oder unter dem Wolkenschatten. An diesen Stellen liegen noch ausreichend spektrale Informationen vor, die mittels der Transformationsmethode 'freigelegt' und ausgewertet werden können. Bei starker, dichter Bewölkung greift diese Methode jedoch nicht mehr, da

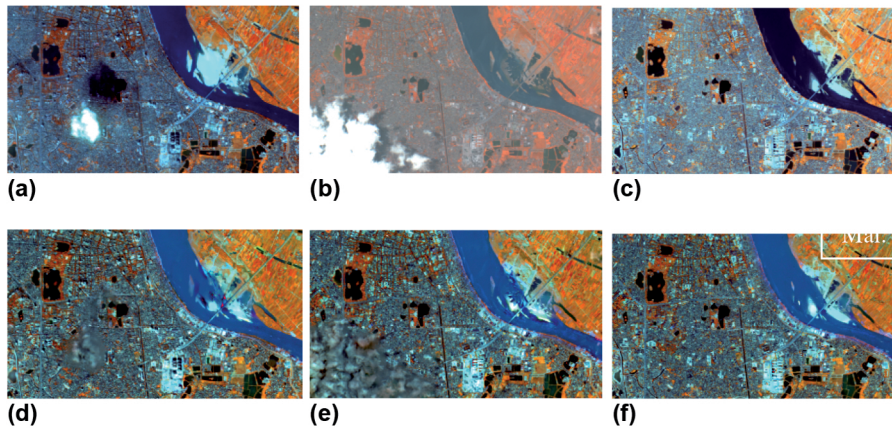


Abb. 2: Beispiele eines Ausschnittes von Original- (a) – (c) und transformierten RapidEye-Bildern (d) – (f).

die vorhandenen spektralen Werte größtenteils aus den Wolken oder dem dazugehörigen Schatten bestehen. Eine Transformation und Farbanpassung führt dann zur Belegung der Werte aus der Masterszene. Dieses Phänomen ist auch sehr gut bei größeren Veränderungsflächen zu erkennen, wie Baustellen oder Sandflächen im Roten Fluss. Für diese großen Veränderungsflächen werden hauptsächlich die Werte von der Masterszene überschrieben. Somit konnte festgestellt werden, dass die Transformation eine probate Methode für kleinere Flächen und nicht komplett überdeckte Flächen darstellt, um die darunter liegenden Informationen zu ermitteln. Bei großen oder komplett verdeckten Flächen führt diese Methode jedoch nicht zu zufriedenstellenden Ergebnissen. Deshalb wurde für die weitere Klassifizierung auf die originalen Spektralwerte zurückgegriffen sowie eine Wolken- und Schattendetektion durchgeführt.

3.2 Wolken- und Schattendetektion

Die Ausweisung von Wolken- und Schattenobjekten auf Basis der optischen Satellitenbilder von RapidEye als Landsat hat sich als ei-

gener Prozessionsschritt in Vorbereitung zur eigentlichen Klassifizierung als sehr günstig erwiesen. Auch für diese binäre Klassifizierung (1 = clouds, 0 = no_clouds) wurden unterschiedlichen Methoden eingesetzt. Im Gegensatz zur späteren Landbedeckungsklassifizierung sind die Ergebnisse der verschiedenen Methoden relativ ähnlich, so dass aus Gründen der einfachen Prozessierbarkeit das gleiche Verfahren wie die Landbedeckungsklassifizierung angewandt wurde.

4 Methodische Klassifizierungsansätze

4.1 Objektorientierte Klassifizierung mit eCognition

Für die semiautomatische Klassifizierung der Siedlungsdynamik in Hanoi wurden unterschiedliche Methoden angewandt und miteinander verglichen. Das Ziel war neben der Qualität ein möglichst geringes manuelles Eingreifen in die Prozessierungskette, um eine schnelle Abbildung der Siedlungsstruktur so-

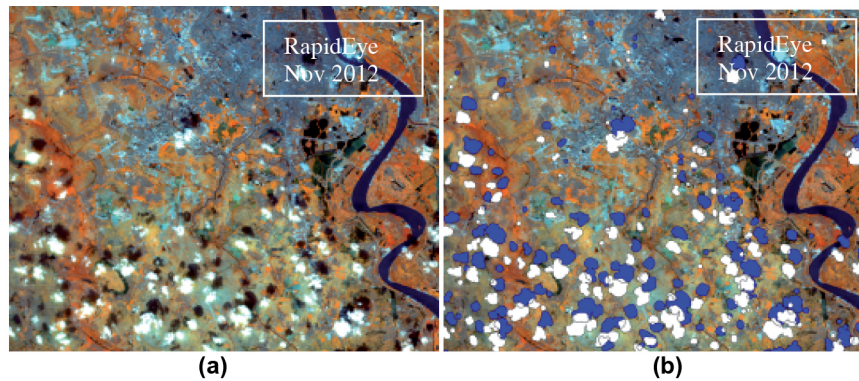


Abb. 3: Original-Bild von RapidEye (a) und Satellitenbild mit detektierten Wolken (weiße Farbe) und Ableitung der Wolkenschatten (blaue Farbe) (b).

wie eine Vergleichbarkeit der Zeitreihen auch basierend auf unterschiedlichen Sensoren zu erhalten.

Im Vergleich zur Klassifizierung im deutschen Raum stellte das Fehlen von räumlichen digitalen Katasterdaten in Vietnam eine große Herausforderung dar, da es weder eine Basiskarte noch definierte Basisobjekte gab, die mittels Change Detection Methode bewertet und dann klassifiziert werden konnten. Es musste anhand von Satellitenbildern eine eigene Basiskarte erstellt werden. Die Informationen aus der Basiskarte und den nachfolgend erzeugten Informationen konnten dann wiederum eingesetzt werden.

Dazu wurde zunächst die Software eCognition 8 eingesetzt, bei der im ersten Schritt unter Berücksichtigung der OpenStreetMap-

Straßendaten (OSM) sowie des Wolken- und Schattenlayers eine pixelbasierte multiresolution Segmentierung mit einem 7:3 Verhältnis von Compactness zu Shape durchgeführt wurde.

Im zweiten Schritt wurde für diese Segmente eine regelbasierte Klassifizierung auf Basis eines Signaturenkataloges, der Angaben zu spektralen Wertebereichen, Indices, wie beispielsweise NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), sowie geometrische Parameter enthält, durchgeführt. Die Berücksichtigung von Texturlayern brachte insbesondere für die urbanen Klassen eine deutliche Verbesserung. Die nachfolgende Abbildung zeigt die mit den vietnamesischen Partnern definierten Landbedeckungsklassen.

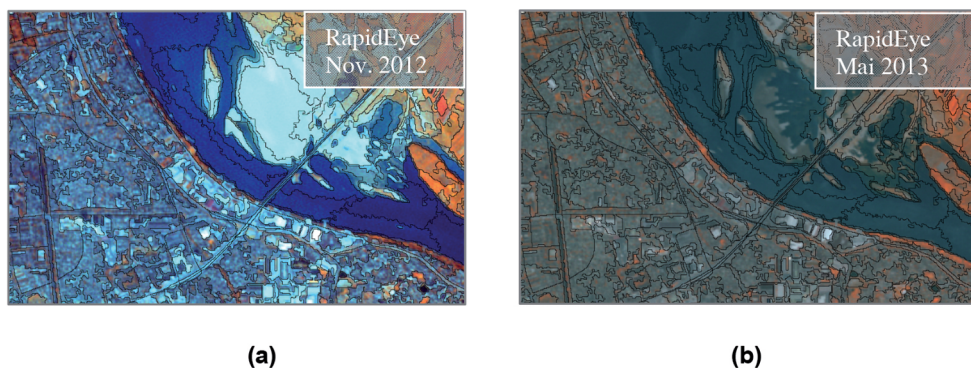


Abb. 4: eCognition-Segmentierung auf Basis der RapidEye-Szene vom November 2012 mit RapidEye Bild von 2012 (a) und mit RapidEye Bild von 2013 (b).

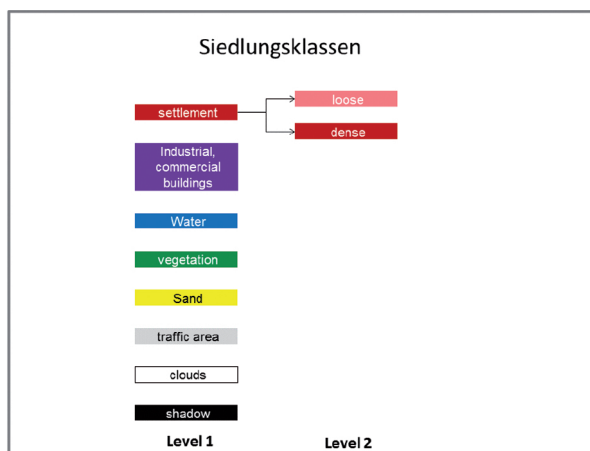


Abb. 5: Definierte Landbedeckungsklassen.

Die Ergebnisse der Qualitätskontrolle der Klassifizierung für das Satellitenbild von 2013 mittels einer 3%igen stratifizierten Stichprobe waren mit mehr als 80% Total Accuracy relativ gut. Ein großer Nachteil der beschriebenen Methode liegt dennoch in der softwareinternen, intransparenten Ausweisung der Segmente, die sich bei veränderten Bedingungen, z.B. Wetter, Jahreszeit oder auch räumlicher Ausschnitt, stark unterscheiden können. Für Zeitreihen sind diese unterschiedlichen Segmente nicht vergleichbar. In Abb. 4 ist die Segmentierung auf Basis des RapidEye-Bildes vom November 2012 dargestellt. Daneben wird das RapidEye-Bild vom Mai 2013 ebenfalls mit den Segmenten vom November 2012er Bild gezeigt. Der visuelle Eindruck zeigt bereits, dass diese Segmente vom älteren Satellitenbild nicht mehr zu verwenden sind. Eine Bewertung dieser sehr speziellen Segmente auf Basis eines aktuelleren Satellitenbildes erscheint sehr schwierig.

4.2 DELPHI Ansatz: eConstruction

Ab 2014 wurde deshalb ein neuer Ansatz auf verschiedenen Software-Modulen verfolgt, um diesen Nachteil auszugleichen. Die definierten Landbedeckungsklassen behalten weiterhin Gültigkeit als Klassifizierungsziel. Im ersten Schritt wird eine gleichförmige Maske aus Objekten, so genannte Repräsentanten,

erzeugt, die Objekt-Eigenschaften, z.B. Spektralwerte des Satellitenbildes, Textur und Indices, an sogenannten Scanpoints extrahiert und innerhalb der Repräsentanten statistisch ausgewertet, unter anderem Mittelwert, Minimum, Maximum und Standardabweichung. Dafür wurde von DELPHI IMM eine eigene Software-Komponente entwickelt, die sehr flexibel im Hinblick auf die Größe der Scanradien sowie auf die Auswahl an statistischen Merkmalen als Basis der Informationsgewinnung ist. Die Eigenschaften aus den verschiedenen Kanälen werden in einer PostgreSQL Datenbank mit Ergänzung von PostGIS vorgehalten. Damit beziehen sich alle Eigenschaften unabhängig vom Fernerkundungssensor auf die gleichen Repräsentanten. Dies ist eine wichtige Bedingung, um eine Vergleichbarkeit der verschiedenen Szenen herzustellen und letztendlich Informationen zur Siedlungsdynamik aufzuzeigen.

Die Klassifizierung wurde mit RStudio auf Basis der *Random-Forest-Methode* durchgeführt, die aus mehreren unkorrelierten Entscheidungsbäumen besteht. Mit Hilfe von repräsentativen Samples zu jeder Klasse wurden diese Entscheidungsbäume trainiert. Die Samples beziehen sich auf die unterschiedlichen Landbedeckungsklassen und extrahieren ihre Werte aus den Originaldaten der Satellitenbilder. Damit sind sie unabhängig von der geometrischen, aber auch radiometrischen Auflösung des Inputs. Zuletzt werden die Klas-

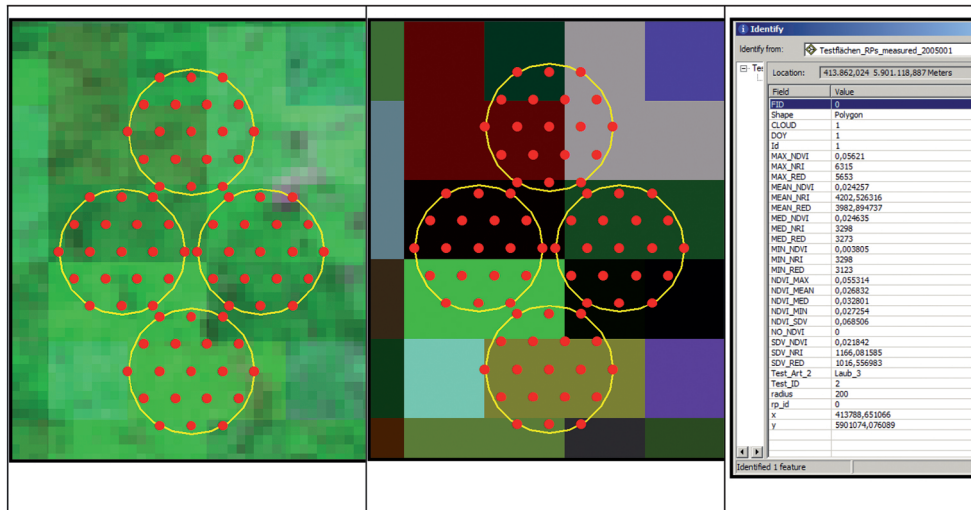


Abb. 6: Klassifizierungsansatz mittels Repräsentanten (gelber Umriss) und Scan-Points (roten Punkte).

sifizierungsergebnisse noch in einem GIS, z.B. QGIS, im Hinblick auf den zeitlichen Vergleich, die Klassenbezeichnung, Grenzauflösung bei gleichen benachbarten Objekten sowie der Änderung des Ausgabeformates, angepasst. Für die Gesamtprozessierung liegt hiermit ein semi-automatisiertes System zur Erkennung von Siedlungsstrukturen vor. Angewandt wurde dieses zunächst auf Rapid-Eye-Satellitenbildern zu verschiedenen Zeitschnitten. Danach wurde eine Übertragung auf Landsat-Daten mit 30 m Bodenauflösung mit Erfolg durchgeführt. Die nachfolgenden Abbildungen zeigen die Ergebnisse der Klassifizierung zu unterschiedlichen Zeitpunkten.

Die vier ausgewählten Bilder der Zeitreihe von 1975 bis 2014 zeigen sowohl in den Original-Satellitenbildern als auch in der Klassifizierung deutlich, dass sich im Laufe der Zeit die Stadtentwicklungskerne verändert haben. Das Landsat-Bild von 2001 zeigt urbane Verdichtungen im Vergleich zu 1996, bei denen noch einige Offenflächen oder auch Baustellen in gelber Farbe dargestellt werden. Weiterhin liegen die Entwicklungsgebiete in den nördlichen Vororten noch südlich des Roten Flusses und erste kleine Entwicklungskerne östlich des Roten Flusses auch noch südlich des Flusses Sông Đuống. Im Jahre 2009 zeigt das Landsat-Bild starke Entwicklungen im

nördlichen und östlichen Bereich jenseits der nördlichen Flussgrenzen. Hier entwickelten sich komplett neue Wohngebiete, aber auch Industriegebiete wie das Beispiel *Thăng Long Industrial Park II* (violett eingekreist) zeigt. Auf einer Fläche von 3.000.000 m² ist der Industriepark entstanden, der als Gewerbe- und Industrieansiedlung genutzt wird, von nationalen, aber auch internationalen Banken, Logistikunternehmen und Fabrikanten.

Das aktuellste Bild aus dem Jahre 2014 zeigt eine enorme Verdichtung über das ganze Stadtgebiet von Hanoi. Besonders auffällig ist die Entwicklung entlang der NE-SW – Achse. Hier ist das Beispiel *Vinhomes Riverside* in hellroter Farbe umkreist. Dabei handelt es sich um ein komplett neu gebautes Quartier mit Wohnhäusern, Bürogebäuden, Hospital, Schule, Kindergarten, Einkaufscenter, Golfplatz, Grün- und Wasserflächen. Hier wurden landwirtschaftliche Flächen von ca. 600.000 m² bebaut.

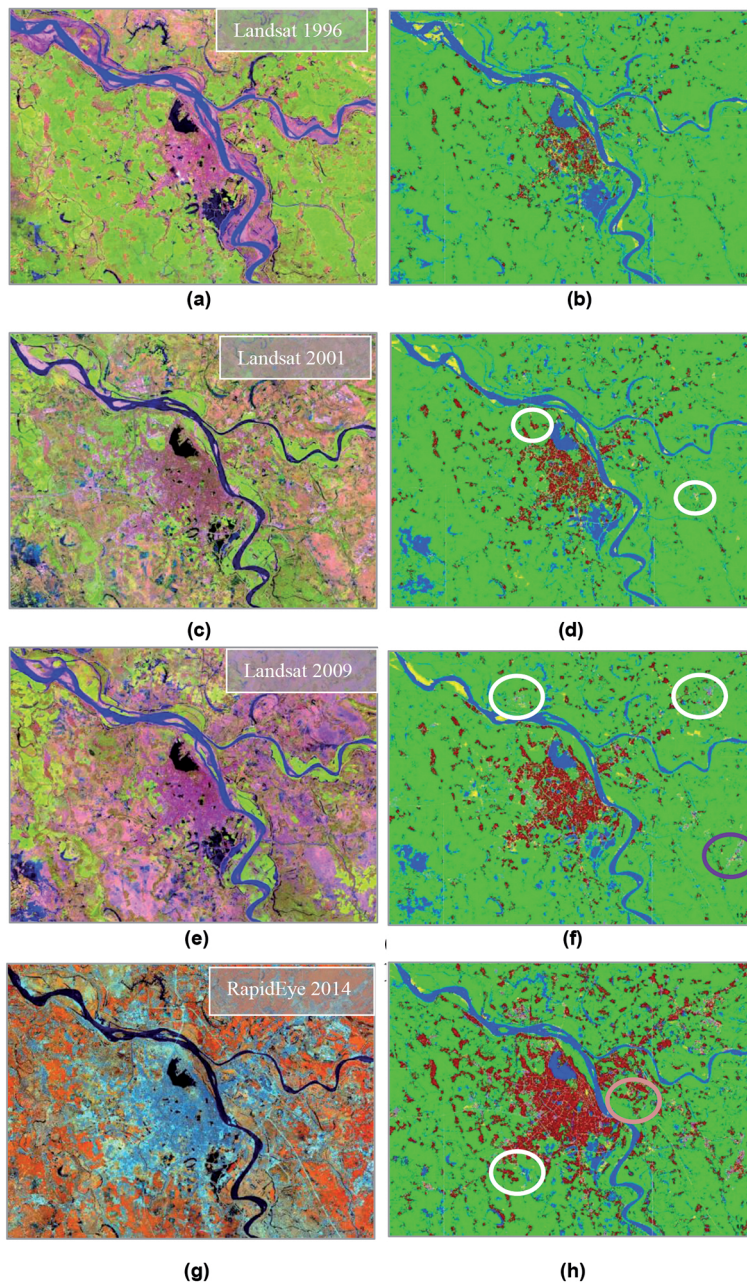


Abb. 7: Satellitenbilder von verschiedenen Zeitpunkten werden den Klassifizierungen gegenüber gestellt. Landsat von 1996 mit Klassifizierung (a) + (b), Landsat von 2001 mit Klassifizierung (c) + (d), Landsat von 2009 mit Klassifizierung (e) + (f), RapidEye von 2014 mit Klassifizierung (g) + (h). Die weißen Kreise spiegeln die Entwicklungskerne wider, der violette Kreis bezieht sich auf das Beispiel Thang Long Industrial Park II und der hellrote Kreis bezieht auf das Beispiel Vinhomes River.

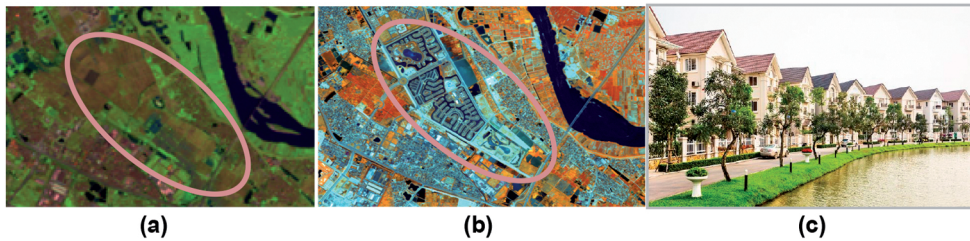


Abb. 8: Ausschnitte von Vinhomes Riverside, (a) Landsat-Bild von 2009, (b) RapidEye-Bild von 2014, (c) Beispiel-Foto von Vinhomes Riverside. Quelle: <http://www.villasvinhomesriverside.com>.

5 Siedlungsdynamik von Hanoi

5.1 Veränderungsanalyse

Das semi-automatische System beinhaltet im letzten Schritt die Ausweisung von räumlich-zeitlichen Veränderungsmustern. Abb. 9 zeigt

die Ergebnisse der Veränderungsanalyse auf Basis der Klassifizierungen der letzten vier RapidEye-Bilder von 2012 bis 2014. Dabei werden nur die Veränderungen zwischen den aufeinander folgenden Zeitschnitten betrachtet. Flächen ohne Veränderungen werden in weißer Farbe dargestellt. Die Farbe stellt die jeweils aktualisierte (veränderte) Landbedeckungsklasse dar.

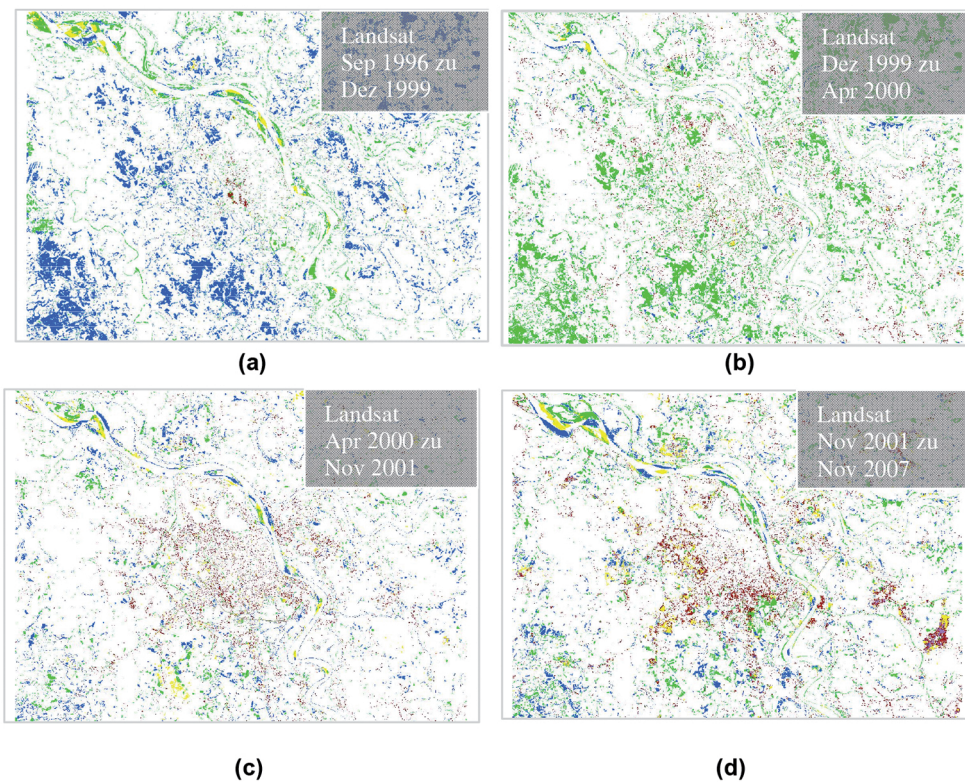


Abb. 9: Veränderungsanalyse von 1996 bis 2007 (a) – (d).

Im Großraum Hanoi handelt es sich meist um natürliche, jahreszeitliche Fluss- und Feuchtigkeits-Schwankungen (erhöhter Wasseranteil in blauer Farbe) sowie um landwirtschaftliche, saisonale Veränderungen (erhöhter Vegetationsanteil in grüner Farbe). Die Veränderung zu mehr Wasserflächen ist beispielsweise sehr deutlich hin zum sehr feuchten Zeitpunkt im Dezember 1999 zu erkennen. Die Veränderung zwischen Dezember 1999 hin zum April 2000 sind meist grün, d.h. hierbei handelt es sich im Wesentlichen um Vegetationsflächen, die häufig vormals Feuchtflächen oder nasse Reisangebiete darstellten.

Die dauerhaften, urbanen Änderungen (erhöhter Siedlungsanteil in roter Farbe) weisen in Bezug auf die Gesamtobjekte einen nachgeordneten Anteil auf. Diese stellen jedoch das Hauptinteresse in REMON dar. In den Bildern (c) und (d) ist die Urbanisierung besser zu erkennen. Beispiel c) zeigt dabei die Veränderung von Mai zu November 2013, wobei eine Ausbreitung der Urbanisierung (in hellroter Farbe) zu erkennen ist. Im Beispiel d) (November 2013 zu Mai 2014) ist eine Verdichtung von lockerer zu dichter Bebauung zu sehen. Die Urbanisierungen werden in den nächsten Abschnitten differenzierter beleuchtet.

5.2 Zonenentwicklung

Für eine genauere Betrachtung der Urbanisierung der letzten 20 Jahre erfolgte eine Analyse in Zonen, die sich konzentrisch um die

Innenstadt ausbreiten. Die Zonen beziehen sich auf die km-Entfernung zum Stadtzentrum (Hoan Kiem See), um nähere Informationen über Veränderungen im Innenstadtbereich, suburbanen Raum oder der Peripherie zu erhalten.

Der höchste relative Anteil an versiegelten Flächen befindet sich natürlich in der Zone 4 (ca. 70%). Je weiter entfernt sich die Zonen vom Stadtzentrum befinden, desto geringer ist der relative Anteil an versiegelten Flächen, so dass die Zone 20 den geringsten Anteil aufweist. Die Siedlungsflächen in den Zonen wachsen bis 2008 linear, danach gibt es bei allen Zonen einen Sprung zu 2011, abgesehen von Zone 4, d.h. in dieser Zeit hat die Bautätigkeit extrem zugenommen.

Ein weiteres Phänomen liegt in der Betrachtung der absoluten Veränderung. So ist erstaunlicherweise erkennbar, dass diese bis 2008 in der Zone 8 am höchsten ist. In den Jahren 2011 bis 2014 wachsen sogar die Peripherie-Bereiche überdurchschnittlich an (> 10 km² / Jahr). Den allerhöchsten Wert erreichen 2014 die Zonen 12 und 16. Es gibt verschiedene Erklärungsmodelle. Eines davon bezieht sich auf die Masterpläne. Während bis Ende der 90er Jahre noch Neubaugebiete im suburbanen Raum auf Basis des Masterplans 2010 verfolgt wurden, fokussierten sich die Neubaugebiete auf die städtischen Peripherie-Gebiete mit dem Masterplan 2020 (WAIBEL 2011). Eine wesentliche Voraussetzung dafür war die Überwindung der Barriere des Roten Flusses durch den Bau von neuen Brücken.

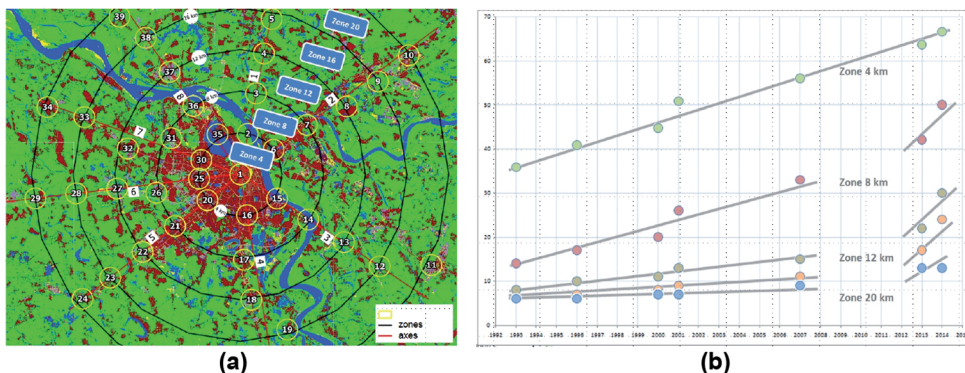


Abb. 10: Zonen-Modell (a) und relativer Anteil (in %) an versiegelten Flächen in den Zonen (b).

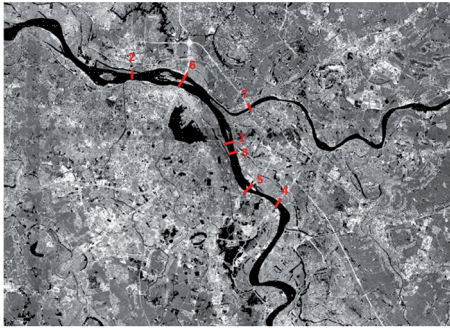


Abb. 11: Chronologische Einordnung des Brückenbaus in Hanoi. 1 – Cầu Long Biên (1903), 2 – Cầu Thăng Long (1985), 3 – Cầu Chương Dương (1985), 4 – Cầu Thanh Trì (2007), 5 – Cầu Vĩnh Tú (2008), 6 – Cầu Nhật Tân (2014), 7 – Cầu Đồng Tru (2014).

Allein in der Zeit zwischen 2008 und 2014 entstanden vier neue Brücken. Dies könnte ein Parameter für die sprunghafte Entwicklung in der Peripherie darstellen.

Danksagung

Die Forschungsergebnisse dieser Arbeit wurden im Rahmen des Projektes REMON ermittelt und vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) im Rahmen des Client-Programms ko-finanziert. Wir möchten uns auch herzlich bei den REMON-Partnern für die Zusammenarbeit und bei der Fa. Blackbridge für die Nutzung der RapidEye-Daten aus dem RapidEye Science Archive bedanken.

Literatur

- GENERAL STATISTICS OFFICE OF VIET NAM, 2011–2014: Area, population and population density by province, Hanoi. – http://www.gso.gov.vn/default_en.aspx?tabid=774 (7.10.2016).
- WAIBEL, M., 2011: Hanoi Goes West. – Stadterweiterung, Akteure und Konsequenzen. – *Geographische Rundschau* **63** (9): 48–55.

Adressen der Autoren:

INGRID CHRIST, DELPHI IMM GmbH, D-14469 Potsdam, e-mail: ingrid.christ@delphi-imm.de, Dr. ROLF LESSING, DELPHI IMM GmbH, D-14469 Potsdam, e-mail: rolf.lessing@delphi-imm.de

Manuskript eingereicht: August 2016
Angenommen: Oktober 2016





Supporting Management of Refugee Streams by Earth Observation and Geoinformation

KLAUS-ULRICH KOMP & ANDREAS MÜTERTHIES, Münster

Keywords: Refugee streams, data mining, Earth observation, detecting habitation reserves

Summary: The sharp increase in refugee numbers arriving in the European Union has recently caused major and manifold challenges for the member states and their administrative services. Location based situation reports and maps may support the refugee management from local to European level. The first support is mapping of the geographical distribution of migrating people which needs more or less real time data. The actual data sources are location related observations along the routes of refugees, actual satellite observations and data mining results. These tools and data are used to monitor spatial distributions as well as extrapolate the arrival of refugees for the subsequent weeks. The second support is the short-term update of the location of initial registration facilities and first reception facilities, their capacities, and their occupancy. The third support level is the systematic inquiry for unoccupied housing facilities and for empty places within build-up areas. For this purpose Geo-coded datasets of house numbers have to be cross-referenced with city maps and communal inhabitants address data. However, the paper will not disclose scientific progress in Earth Observation and GIS, but will actually demonstrate that a new combination of existing methods is required to support actual data needs for improved refugee management and integration. The examples show that EO/GIS cannot only theoretically provide societal benefits. The results can play an important role in factual political, administrative and humanitarian day-to-day reality.

Zusammenfassung: *Unterstützung des Flüchtlingsmanagements durch Erdbeobachtung und Geoinformationstechnologien.* Der starke Anstieg der Anzahl der Flüchtlinge, die in der Europäischen Union ankommen, stellt aktuell die Mitgliedsstaaten und ihre Verwaltungen vor vielfältige Herausforderungen. Standortbezogene Berichte und Karten können das Flüchtlingsmanagement sowohl auf europäischer als auch auf kommunaler Ebene unterstützen. Die erste Unterstützung ist die Kartierung der räumlichen Verteilung von Migranten, was mehr oder weniger Echtzeitdaten erfordert. Die derzeitigen Datenquellen sind standortbezogene Beobachtungen entlang der Flüchtlingsrouten, aktuelle Satellitenbeobachtungen und Ergebnisse des so genannten Data-Mining, d.h. Wissensentdeckung in Datenbanken. Diese Werkzeuge und Daten werden verwendet, um sowohl räumliche Verteilungen zu überwachen, als auch die räumlichen Flüchtlingsankünfte der folgenden Wochen zu extrapolieren. Die zweite Unterstützung ist die kurzfristige Aktualisierung von Personenregistrierungseinrichtungen und Erstunterkünften, ihrer Kapazitäten und ihrer Belegung. Die dritte Unterstützungsebene ist die systematische Erfassung von Leerständen und Baulücken. Zu diesem Zweck werden Gebäudekatasterdaten mit den Einwohnermeldedaten verknüpft. Der Artikel zeigt keinen wissenschaftlichen Fortschritt der Erdbeobachtung und Geoinformation auf, sondern demonstriert, dass eine neue Kombination existierender Methoden erforderlich ist, um den aktuellen Bedarf für verbessertes Flüchtlingsmanagement und die Flüchtlingsintegration zu unterstützen. Die Beispiele erläutern, dass Erdbeobachtung und Geoinformation nicht nur theoretisch gesellschaftlichen Nutzen liefert. Diese Ergebnisse können eine wichtige Rolle für die tatsächliche politische, verwaltungstechnische und humanitäre, tägliche Realität liefern.

1 Introduction

The sharp increase in refugee numbers arriving in the European Union has recently caused major and manifold challenges for the member states, their security forces and administrative services. The actual situation of refugees in Europe will require long-term collaboration of different member states and, in Germany, the collaboration at all administrative levels and territorial units. Location based situation reports and maps may support the refugee management from local to European level.

Persons arriving at the outer borders of the European Union have had mostly endured enormous stress and pain during their migration. They have dared to leave their home environment because of severe circumstances such as famine, natural hazards, political pressure, ethnical or religious conflicts, warlike operations, destruction of infrastructure and housing or other aspects of living in misery.

The following contribution aims at outlining the challenges in the management of the refugee streams that currently are or can be met with the aid of what is called GeoIT. GeoIT comprises the totality of hardware, software, techniques and/or methods for the acquisition, analysis and presentation of geographical data and spatial information in diversified technological pillars like remote sensing, satellite navigation or Spatial Data Infrastructures (SDI).

2 Actual Challenges and Solutions in Europe

2.1 Monitoring Migrating People

Earth observation is an appropriate tool to monitor migrating people, especially due to the flexible acquisition capabilities of the satellites with a ground sampling distance smaller than one metre. Fig. 1 shows a time series of such images with the northern part of the train station of Idomeni, a Greek town just south of the border with Macedonia, indicated by the red dotted line in the Fig. 1a.

Figs. 1b – 1d show at the bottom some houses of the northern fringe of the town and the train station with several parallel tracks which are merging at the level crossing into one single track departing towards Macedonia. Between the two level crossings there are on the East side some sheds or bigger tents, already some more than on the November image. Additionally three bigger tents have been built up west of the railway. Two months later the number of white greater tents has increased and several fields are crowded by hundreds of small shelters and even people walking and resting on railway dams (Fig. 1c). Finally, Fig. 1d of 19.3.2016 shows further development with greater containers and provisional shelter buildings, but also additional shelters and tents with more than thousand persons estimated.



Fig. 1: Time series of World-View-2 satellite images of the northern part of the train station. Images a) from 4.11.2015; b) from 21.1.2016; c) from 2.3.2016; d) from 19.3.2016. © Digital Globe, provided by European Space Imaging.

Such an evaluation and appropriate interpretation of images needs experienced experts of remote sensing, which are not necessarily available in all administrations concerned by such a crisis. Therefore, it has turned out very helpful to provide value-added information products through specialized expert services even to those who are not familiar with the interpretation of satellite images.

The first level of support is the supply of value added information on the geographical distribution of migrating people which needs more or less real time data to deal with the exceptional circumstances in Central Europe. Therefore, a bundle of methods and techniques on the GeoIT sector needs to be applied under special legal frame conditions for access to administrative data and their incorporation into spatial processing. Within the European Union there is a legal basis for the administrative data exchange established through the INSPIRE directive (EUROPEAN PARLIAMENT AND COUNCIL OF THE EUROPEAN UNION 2007) under which not only the administrative framework but also the harmonization of data exchange formats were developed.

Esri Germany has developed an international relief program: the Esri Disaster Response Program (DRP). This is a complete GeoIT software which will be granted free of charge to build up an integral information platform reserved to administrative application (ESRI 2016). The actual data sources are

location related observations from police forces of different member states along the routes of refugees between the Mediterranean shores and the Northern member states of the EU, from NGOs, private observations by cellular phones, actual satellite and aerial images and further information from data mining activities. These tools and data are already used to monitor the southern spatial distributions of refugees as well as to extrapolate impending arrivals in subsequent weeks.

The International Organization for Migration (IOM) was created in 1951 out of the chaos and displacement of people across Western Europe following the Second World War under the name of the “Provisional Intergovernmental Committee for the Movement of Migrants from Europe”. Today, it has the status of a worldwide operating agency with 162 member states and an annual budget of 1.3 billion USD (IOM 2016). Among others IOM provides different surveys on migration updated nearly weekly, like the example of stranded migrants and refugees between Turkey and south-eastern Europe (see Fig. 2).

Another example is taken from IOM survey activities with migrant questionnaires about routes, organization and prices paid for the transfers to the date of 14 March 2016 (see example Afghanistan in Fig. 3).

Furthermore within the member states concerned, the administrations have already installed online platforms for existing infra-

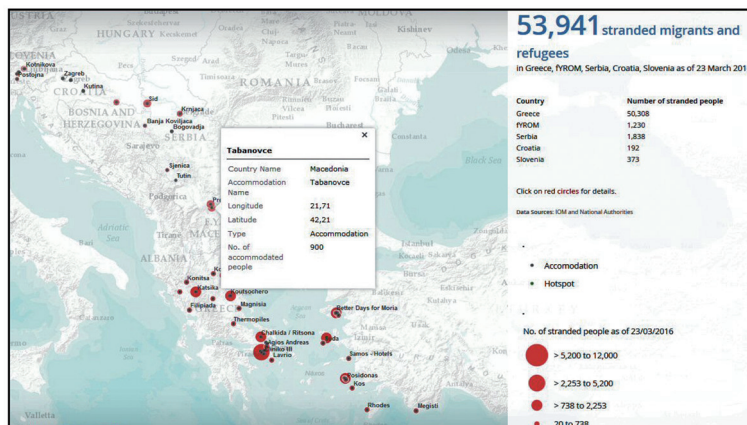


Fig. 2: Interactive map monitoring of stranded migrants as of 23 March 2016 published by IOM platform for monitoring and analysis (IOM 2016).

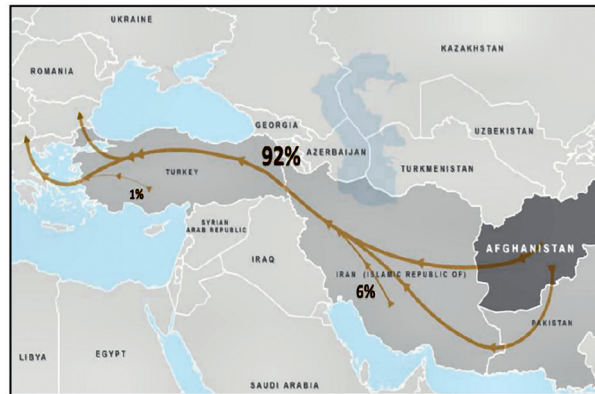


Fig. 3: Survey of migrant flow monitoring – results for Afghanistan migrants (IOM 2016).

structure for arriving refugees such as interactive maps of initial reception facilities and local immigration offices. While in Germany the central services are organized by the BAMF – Federal Office for Migration and Refugees and the GeoIT services by the BKG – Federal Agency for Cartography and Geodesy (BKG 2016), there are various local initiatives developing migrant oriented city maps for mobile devices.

2.2 Migration Potentials in the Regions of Origin

The ad hoc reaction on streams of migrating persons between Turkey, the Maghreb states and Europe is only one side of the problem. A closer view on the regions of origin will become more important in the forthcoming years. The knowledge of actual trends in settlement sprawl and urbanization, rural land use and agricultural production in relation to population dynamics, employment, health and educational infrastructure needs to be urgently improved and updated regularly. Earth Observation in combination with geo-statistics and GIS techniques can be supportive to increase that knowledge which in turn can be used for an improved decision making towards better living conditions in Africa as recently pointed out by KOMP et al. (2010).

There is a constant growing migration potential in sub-Saharan Africa for various reasons. The growing numbers of war lords and

Islamic terror groups besides tribal conflicts have deteriorated the living conditions for wide areas. Dangerous prospects of survival following the burning down of villages, kidnapping and tortures have often hindered the agricultural work and the cattle transhumance. These were the widespread reasons why agricultural areas could not be tilled in due time which can be seen as an additional factor for yield reduction besides agro-climatic failures. Today, the Famine Early Warning System network (FEWS NET 2016) publishes worldwide geospatial analyses to anticipate impending famines and advise policy makers on how to prevent or mitigate such famines. More than 20 institutions collaborate to analyze different satellite data, agro-climatic reports, environmental and food market issues, rainfall estimates and weather patterns such as El Nino and La Nina events. Besides several American agencies, partners also include the Comité permanent Inter-Etats de Lutte contre la Sécheresse dans le Sahel in West Africa and the Food Security and Nutrition Analysis Unit in Somalia.

One of the service products of FEWS NET is the analysis of the actual food insecurity in countries under observation in Central America, tropical Africa and Middle East. Besides the actual evaluation, FEWS also creates a prediction for the forthcoming period, for instance the publication in March (October) 2016 of food insecurity for the period June to September 2016 (October 2016 to January 2017) displayed in Fig. 4 (FEWS NET 2016).

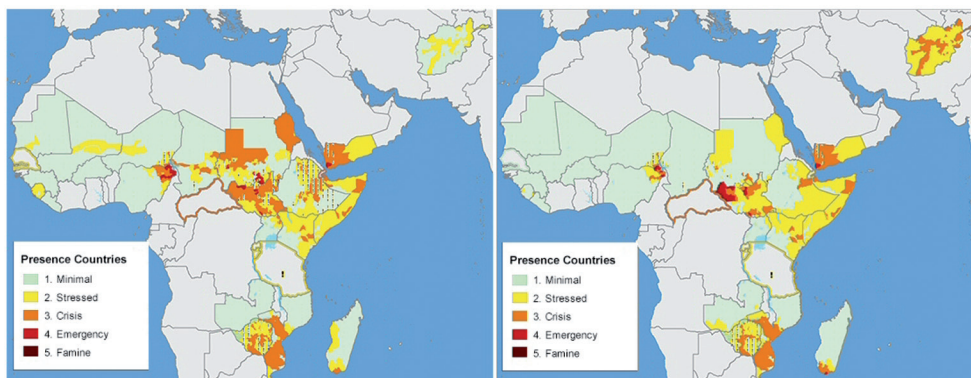


Fig. 4: Acute food insecurity in Africa and Middle East predicted in March 2016 for period June – September 2016 [left] and in October for period October 2016 – January 2017 [right] (FEWS NET 2016).

The regions classified as “emergency” or “crisis” are concentrated around the Lake Chad, the western and eastern parts of Sudan, South Sudan, the northern part of Ethiopia, Djibouti and the western part of Yemen. With respect to the political and economic situation in those countries, there will be no major change without aid from outside, which means that there is an increasing probability that parts of the population concerned will try to emigrate.

In 2003, another approach to the problem was launched by the European Space Agency (ESA) as a contribution to the joint EU/ESA program Global Monitoring for Environment and Security (GMES), recently renamed COPERNICUS. It is called Global Monitoring for Food Security (GMFS) and was an ESA Earth Watch GMES Service Element, initially designed for nine African countries and coordinated by VITO from Belgium. With a focus on remote sensing, the methods and results have already been reported to the ISPRS in Melbourne by KOMP & HAUB (2012). Furthermore, the combination of evaluated SAR data, classified SPOT data and stratified agro-statistical ground sampling (cf. LUCAS method at EUROSTAT 2016) has been developed and implemented by EFTAS in its role as GMFS coordinator for East Africa (HAUB et al. 2013). The adapted method and all tools were handed over as a result of the technology transfer to the responsible user, the Federal Ministry of Agriculture and Irrigation of Sudan.

2.3 Locational Inventory of Facilities and Capacities

The second level of support comprises the short-term update of the location of initial registration and initial reception facilities, their capacities, and their occupancy classified according to ethnic or national criteria. In the case of Germany, there is a Federal Coordination Office (KoSt FV Bund) which is mandated to support the management and distribution of refugee streams by coordination on the federal level. This office is supported by the Federal Office of Civil Protection and Disaster Assistance (BBK) through graphical transfer of listed data into geo-spatial views on the actual situation of refugee arrivals. Additionally, the Center for Satellite Based Crisis Information (ZKI), located at the German Aerospace Center (DLR), provides actual satellite data from the relevant border checkpoints.

The federal state Rheinland-Pfalz for instance has established within its central data processing center a GeoIT infrastructure for the management of refugees in the shortest delay, based on the participation in the DRP program. The actual demand for spatial information is concentrated on the design and operation of initial reception centers, their capacity and occupancy, identification of public immovables and the update of that information. With respect to copyright and privacy restrictions, Fig. 5 does not show up-to-date details

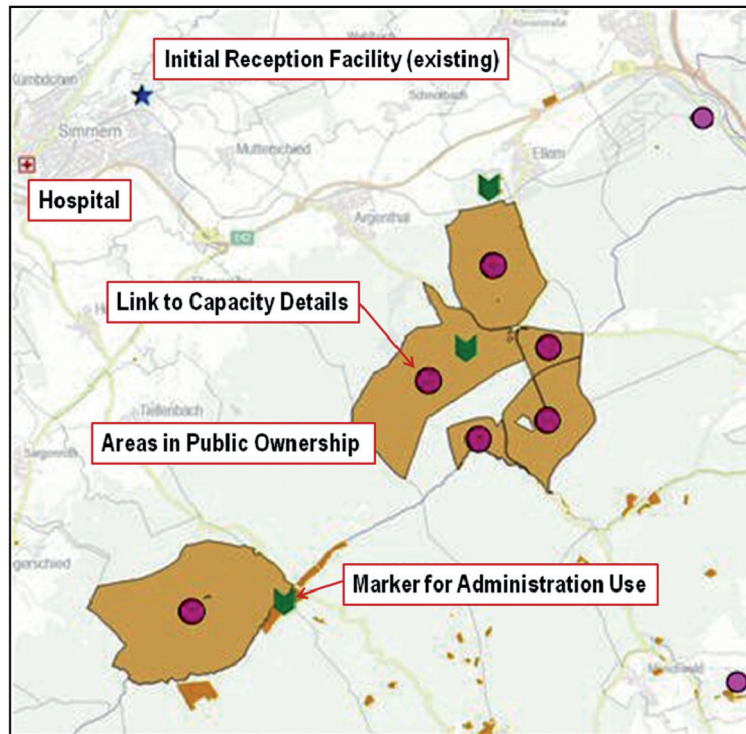


Fig. 5: Administrative Web Portal for infrastructure and potential areas for refugees in public ownership (BERNKASTEL-WITTLICH 2016).

but has been selected to give a good impression of the working results.

Presently, such GIS-based solutions are under operational application in the Ministry of Interior Affairs and subordinated services. Further applications will be made available through personalized accounts to interested user groups within the administrations of regional or communal level. The services of the state central data processing center of Rheinland-Pfalz will be made accessible through a cloud service by Esri Germany.

Another geo-spatial application is going to be distributed on communal level, but in relation to central design. In the federal state of Niedersachsen the publication of special city maps for refugees is promoted based on the model of the city of Obernkirchen. The thematic content of the city map has here and in other places always been developed local citizens in voluntary work to help the refugees in orientation and integration. The regional

directorates within the State Office of Geoinformation and Surveying Niedersachsen (LGLN) support interested cities that plan to prepare annotated city maps considering the basic needs of refugees (following the example displayed in Fig. 6). Indications and map signatures for doctors, pharmacies, bus stops, schools or second hand clothing are mapped and explained in a multilingual legend that comprises German, English, French, Arabic, Russian, and Albanian.

3 Supporting mid-term Integration Strategies

As those initial reception facilities should have only transitional character, people have to be offered specific and affordable housing facilities which will allow integration, education, vocational training and employment. Because labour in many parts of Europe main-

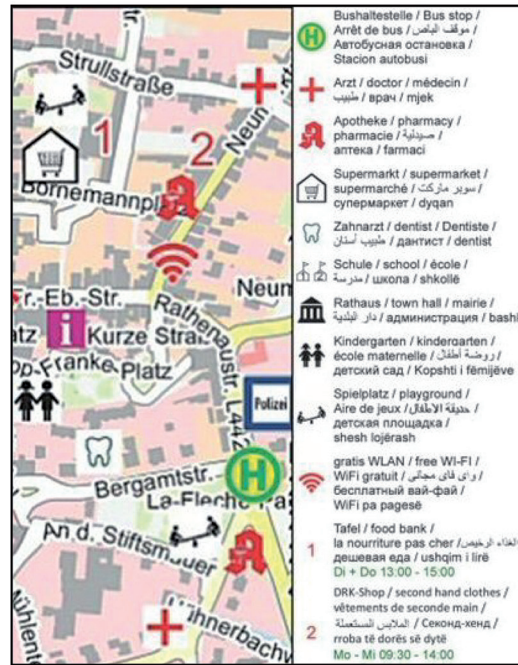


Fig. 6: Special City Map for Refugees of the City of Obernkirchen with a legend in six languages (STÜBKE 2015).

ly focus on sectors other than agriculture, it is very likely that immigrants will apply for work in towns and cities and will also seek urban housing space. The environmental development targets to limit additional land consumption require not a bene urban densification. This can be done primarily by filling up existing vacancies and secondly by activating gap sites within the urban perimeters.

Furthermore, the fact that a considerable part of refugees could not benefit from school education during war and migration, they not only have to learn a new language, but in many cases also catch up basic alphabetization. All infrastructures necessary for obtaining language command, school-leaving qualification and professional qualification in the European frame will only be available in towns or cities. Therefore, European cities will have to deal with a remarkable increase in population, which will again require increasing capacities of crèches, day care centers, schools and vocational training centers.

3.1 Geospatial Detection of Housing Vacancies

The third level of management which is going to be implemented is the systematic inquiry for unoccupied housing facilities and for empty places within build-up areas. Geo-coded datasets of house numbers in streets have to be cross-referenced with large scale city maps and the communal inhabitant's address data. Legal soil occupation plans, additional satellite or aerial images plus communal horizontal street views allow a first categorization of suspected vacancies in potentially eligible houses.

Basically, those postal house addresses with no person registered to, are suspected to be vacant. And if such a vacancy will not unmask an illegal occupancy or turn out to be a temporal vacancy, there are administrative possibilities to motivate the owner to rent the vacant space. Another approach can be the utilization of underused commercial buildings, which could be rented temporarily for living.



Fig. 7: Example of an inventory on vacancy (LGLN 2016).

The State Office of Geoinformation and Surveying Niedersachsen (LGLN) has developed administrative software packages which allow the described evaluations while the use of personal data from the inhabitants register is controlled legally.

With regard to the public presentation, the map basis of Fig. 7 has been cleared from street names and similar identifiers. The results show in red colours those plots with vacancies in parcels dedicated to be used for living. The blue colour shows “underused” parcels with commercial assignment, where subsequent local inspections have to clarify the residential possibilities. The basic statistic data of the registered inhabitants contains among other data also the birth date, which has allowed the LGLN administration to extract the youngest inhabitants per address and geo-coordinate. This data can then be displayed not only in specific maps, but also allows computing the number of inhabitants within a certain perimeter that will enter primary school within a three years’ timeframe.

3.2 Geospatial Detection of Construction Potentials

The following example has been taken from the same administrative working group. Within build-up areas there are a certain number of parcels which have not been used for construction for different reasons. In the first decades after World War II those parcels often consisted of bombed buildings which were not reconstructed because of unclear heritage or ownership, or just lack of funds.

Whereas in city centers such gap sites have disappeared by infill, in towns and outskirts of cities such building reserves still exist. These reserves usually have all the technical infrastructure like water supply, connection to sewage system, electricity and street access. Therefore, the personal and public investment for new construction will always be lower than opening any new perimeter for construction.

The evaluation starts with overlaying urban or cadastral basic map data with building layer and limits of the legal boundaries for build-



Fig. 8: Inventory of potential construction sites (KLEINWÄCHTER 2014).

up area. The parcels without any building recorded will be highlighted and differentiated according to possible use for housing, commercial, or other. Subsequently, the highlighted parcels will be inspected in orthophoto or VHR satellite data to find out whether there are other obstacles like a ditch or power line to be taken into account. Fig. 8 shows such a case in a suburban environment where the communal administration may negotiate with the owner(s) the potential for housing investment at that place.

This example also shows how EO methods in combination with data mining from urban data allow a first detection of vacant lots and their potential for additional housing construction. Normally the discovery of such potential densification potential will lead to amicably negotiations without having to take legal action in the interest of the general public.

4 Societal Benefits of EO & Data Mining

4.1 Societal Benefit Areas of Earth Observation

Upcoming trends in Earth observation include not only more continuity of data with higher resolution, the harmonization and standardization of mapping procedures, but also emerging user demands and new user communities related to web services. The schematic triangle of interaction and promotion of trends in Earth observation has been explained by KOMP (2015, 406f). Finally, these prospects will broaden the user community who sees the Societal Benefit Areas (SBA) of Earth Observation like they have been defined by the international Group of Earth Observations (GEO) in nine Societal Benefit Areas (GEO 2009). This will be the common mandate for all researchers and experts involved to support the advancement of Earth Observation (cf. MORA et al. 2014). Especially their involvement in

the support for refugee management and in monitoring the countries of future migrants will be necessary for reduction of migration not by fences but by improvement of the living conditions in the Middle East and in Africa.

4.2 *Legal Aspects of Data Mining to support Refugee Integration*

The acquisition, processing, storage and dissemination of person related data have become an important issue in the European Union, because it affects not only the “processing of personal data in various spheres of economic and social activities” but also the administrative procedures (EUROPEAN COMMISSION 1995, article 4). The general provisions and rules for processing personal data have been adopted through the Directive 95/46/EC of the European Parliament and of the Council of 24 October 1995 on the protection of individuals with regard to the processing of personal data and on the free movement of such data. Certain procedures and techniques of data mining with respect to the management of refugee demands thus require the application of this Directive through Article 13 concerning (i) national security, (ii) defence, (iii) prevention, investigation, detection and prosecution of criminal offences to adopt measures by the Member States (EUROPEAN COMMISSION 1995). That means that specific concerns as described above may be adopted by national laws without offending the European rights on the protection of personal data.

To safeguard national security, public security etc., the Federal Republic of Germany has passed the Data Exchange Improvement Law on 14 January 2016 (BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND 2016), which allows and requires registration of each migrating person in a way that multiple identities will be excluded in future. Both legal provisions constitute the administrative basis for the application of the geo-data evaluations described above (BERNSDORF et al. 2015).

Large parts of Central Europe can rely on accurate geo-data, housing and infrastructural information as well as citizen registers, which will more or less allow the widespread application of the described system of a pow-

erful GeoIT which should not be restricted to the border of member states. However, there are still member states that lack cadastral data, maps and geo-coded household data, like parts of Portugal and Italy, or Greece (HELLENIC CADASTRE 2016) which is just about to start the basic surveys in selected municipalities. In those areas other non-governmental sources have to be used, such as car navigation data, web based map data, address data of post and parcel services or VHR satellite data, in short, data that can be geo-coded to allow similar evaluations. The latter are urgently needed by the administrations dealing with the management of refugees.

Even if the actual wave of refugees will calm down, the observation of food insecurity combined with economic weakness in sub-Saharan Africa is clearly indicating the next waves of migrants towards Europe. There, the lack of data due to the termination of systematic mapping by French and British services following independencies throughout the 50ies and 60ies of the last century still prevails. In these areas, the primary source of information will be up-to-date satellite data of different type to monitor agro-meteorological conditions, land use change and urbanization. Fortunately, the Landsat continuation policy and the European series of Sentinel satellites will provide an affordable stream of actual data, which could be used to observe and to mitigate the situation in the countries concerned.

5 Conclusions

The increased number of migrating persons arriving in Central Europe during the last two years has initially created overwhelming sympathy and compassion, but has also created an unexpected burden for public security and administrations. Even if sympathy and compassion have cooled down due to a decreasing migratory flow we can see that the professional integration of elements of GeoIT results into the work of security forces and voluntary citizen groups has helped to establish working routines to handle the first reception of migrants. In the meantime the arrival of refugees in Germany has calmed down from over one million in 2015 to actual one thousand daily in

2016. Now, the mid- and long-term integration is coming more into the focus of public planning but will be a major task, at least for the next ten years. Subsequent to the learning of the language as other basic competences, the challenge will be to organize housing, alphabetization, education, vocational training and employment for these migrants.

Several examples outlined in this paper could demonstrate the benefit of GeoIT application for the German administration as well voluntary groups to supply these demands. At the example of actual use of Earth Observation/GIS support to the management of refugee integration, it becomes obvious that the societal benefits of EO/GIS are no longer just potential possibilities, but actual results in real political, administrative and humanitarian day to day reality.

Acknowledgements

The authors would like to thank the German Umbrella Association of Geo Information (DDGI) and its task force “Refugee Management” for their support and access to working material.

References

- BERNKASTEL-WITTLICH, 2016: Flüchtlingshilfe – Angebote vor Ort. – Web portal of regional administration, <http://kv-bkw.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=e55251d29d0c4bf7b84d440569f97623> (2.4.2016)
- BERNSDORF, B., BIERBRAUER, H., BÜSCHER, O., MÜTERTHIES, A., PAKZAD, K., WENZEL, T. & WODITSCH, S., 2015: Data-Mining – Gesellschaftspolitische und rechtliche Herausforderungen – Data-Mining mit Geodaten. – Expert opinion established on behalf of the Office of Technology Assessment at the German Bundestag (TAB), 257 pp., EFTAS Remote Sensing Transfer of Technology, Münster.
- BKG, 2016: TopPlus-Web-Refugees. Interactive map service free of charge in the frame of refugee relief actions until 31.12.2017. Frankfurt. – http://www.geodatenzentrum.de/geodaten/gdz_rahmen.gdz_div?gdz_spr=deu&gdz_user_id=0&gdz_akt_zeile=4&gdz_anz_zeile=5 (1.4.2016).
- BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND, 2016: Datenaustauschverbesserungsgesetz: Gesetz zur Verbesserung der Registrierung und des Datenaustausches zu aufenthalts- und asylrechtlichen Zwecken. – Berlin, 2. Februar 2016. Bundesgesetzblatt Teil 1. 2016 – 5, Bonn: 130–155.
- ESRI, 2016. Web portal. – www.esri.com/services/disaster-response/humanitarian (15.11.2016).
- EUROPEAN COMMISSION, 1995: Richtlinie 95/46/EG vom 24. Oktober 1995. Richtlinie zum Schutz natürlicher Personen bei der Verarbeitung personenbezogener Daten zum freien Datenverkehr. – Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften L-281 vom 23.11.1995: 31–50.
- EUROPEAN PARLIAMENT AND COUNCIL OF THE EUROPEAN UNION, 2007: Directive 2007/2/EC of the Parliament and of the Council of 14 March 2007 establishing an Infrastructure for Spatial Information in the European Community (INSPIRE). – Official Journal of the European Union L-108 of 25 April 2007: 1–14.
- EUROSTAT, 2016: Land cover/use statistics (LUCAS) – Methodology. – www.ec.europa.eu/eurostat/web/lucas/methodology (15.11.2016).
- FEWS NET, 2016: Famine Early Warning Systems Network. IPC 2.0 – Acute Food Insecurity Phase. – <http://www.fews.net/> (31.3.2016).
- HAUB, C., KLEINWILLINGHÖFER, L., BROCKMANN, J., KOMP, K. & GILLIAMS, S., 2013: Monitoring Services for Food Security – Successful Transfer of Technology to the Sudanese Government. – PFG – Photogrammetrie, Fernerkundung, Geoinformation **2013** (5): 459–472.
- HELLENIC CADASTRE, 2016: The collection of cadastral survey declarations starts in regions of the Municipalities of Thermaikos and Thermi of P.E. of Thessaloniki 06/10/2016. – www.ktimatologio.gr/sites/en/Pages/Default.aspx (16.11.2016).
- GEO, 2009: GEO 2009-2011 Work Plan, Rev. 2. – www.earthobservations.org/documents/workplan/geo_wp0911_rev2_091210.pdf (16.11.2016).
- IOM, 2016: Analysis: Flow Monitoring Surveys in the Mediterranean and Beyond. – <http://doe.iom.int/docs/Analysis%20-%20Flow%20Monitoring%20Surveys%20in%20the%20Mediterranean%20and%20Beyond%20-%202017%20Mar%202016.pdf> (30.3.2016).
- KOMP, K., DIENST, H. & HAUB, C., 2010: Anwendungspotenziale der Erdfernerkundung für Entwicklungsländer. Erkenntnisse aus dem Technologietransfer – politische und gesellschaftliche Bedingungen für den Einsatz der Fernerkundung in Entwicklungsländern. – Expert opinion established on behalf of Office of Technology Assessment at the German Bundestag (TAB), 57 pp., Münster, published in: TAB, 2012: Fernerkundung – Anwendungspotenziale in Afrika, AB 154. Berlin.

- KOMP, K. & HAUB, C., 2012: Global Monitoring for Food Security and Sustainable Land Management – Recent Advances of Remote Sensing Applications to African and Siberian Show Cases. – International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences **XXXIX-B8**: 265–270.
- KOMP, K. 2015: High Resolution Land Cover/Land Use Mapping of Large areas – Current Status and Upcoming Trends. – PFG – Photogrammetrie, Fernerkundung, Geoinformation **2015** (5): 395–410.
- KLEINWÄCHTER, D., 2014: Baulücken- und Leerstandskataster für niedersächsische Kommunen. – PR Communication of LGLN, 42 pp., Hannover. LGLN, 16. Baulücken- und Leerstandskataster Niedersachsen. – http://www.gll.niedersachsen.de/portal/live.php?navigation_id=10605&article_id=111411&_psmand=34, 31.3.2016).
- MORA, B., TSENBAZAR, N.-E., HEROLD, M. & ARINO, O., 2014: Global land cover mapping: current status and future trends. Land use and land cover mapping in Europe: practices & trends. – Remote Sensing and Digital Image Processing **18**: 11–30.
- STÜBKE, T., 2015: Stadtplan Oberkirchen für Flüchtlinge. – Bearbeitet im Katasteramt Rinteln, Hg. LGLN Hannover.

Address of the Authors:

Dr. KLAUS U. KOMP and Dr. ANDREAS MÜTERTHIES, EFTAS Remote Sensing Transfer of Technology, Oststraße 2 – 18, D-48145 Münster, Germany, Fax: +49-251-13307-33, e-mail: {klaus.komp} {andreas.muetherthies}@eftas.com

Manuskript eingereicht: September 2016
Angenommen: November 2016

Berichte von Veranstaltungen



Abb. 1: Eröffnung Internationales 3D-Forum Lindau 2016 durch OB Dr. GERHARD ECKER.

15. Internationales 3D-Forum, 10. – 11. Mai 2016, Lindau

Das 15. Internationale 3D-Forum Lindau fand am 10. und 11. Mai 2016 in ungewohnter Umgebung im Stadttheater auf der Insel Lindau statt. Der traditionelle Tagungsort, das Kongresszentrum Inselhalle Lindau, wird sehr aufwändig umgebaut und steht erst wieder im Jahr 2018 zur Verfügung. 220 Teilnehmer aus 6 Ländern nahmen an der Veranstaltung teil, die von einer Ausstellung mit 25 spezialisierten Firmen aus den Anwendungsbereichen 3D-Visualisierung, GIS, Mobile Mapping, LIDAR, UAV's und Photogrammetrie begleitet wurde.

Die Veranstalter Dipl.-Ing. CLAUS BIHL (Stadt Lindau) und Dr.-Ing. ACHIM HELLMIEIER (Ingenieurbüro Real.IT, Aalen) hatten unter den Schwerpunktthemen *WebVisualisierung von Stadt- und Landschaftsmodellen*, *3D-Stadtmodelle in Architektur und Stadtplanung*, *BIM und 3D-Gebäudemodelle* wieder ein sehr aktuelles Programm erstellt, welches von Referenten aus Wirtschaft, Wissenschaft und Verwaltung ausgefüllt wurde. Im Rahmen der Vertiefungsthemen am zweiten Veranstaltungstag fand zum fünften Mal der CityGML-Workshop der CityGML Standard Working Group des OGC und der SIG3D statt.

Die Partner des Internationalen 3D-Forums Lindau sind die Gesellschaft für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement (DVW), die Deutsche Gesellschaft für Photogrammetrie, Fernerkundung und Geoinformation (DGPF), das Virtual Dimension Center Stuttgart/Fellbach (VDC) und der Deutsche Dachverband für Geoinformation e.V. (DDGI). Hauptsponsor der Veranstaltung war die Firma Esri Deutschland GmbH.

Wie in den Vorjahren wurde die Veranstaltung in einen Vortragsteil am ersten Tag und in Vertiefungsthemen und Workshops am zweiten Tag aufgeteilt.

Dr. GERHARD ECKER, Oberbürgermeister der Stadt Lindau, eröffnete das 15. Internationale 3D-Forum Lindau. Er hob in seiner Begrüßungsrede hervor, dass die Stadt neben dem Um-/Neubau des *Neuen Kongresszentrums Inselhalle* noch in einem weiteren Großprojekt steckt, nämlich einer aufwändigen Bahnunterführung zwischen Festland und der Insel Lindau. Bei beiden Projekten spielte und spielt das virtuelle 3D-Stadtmodell von Lindau – vor allem für die Bürgerbeteiligung – eine wichtige Rolle.

Nach der Eröffnung durch den Oberbürgermeister übernahm ACHIM HELLMIEIER die Moderation der Veranstaltung und führte den ersten Vortragenden, Prof. Dr. VOLKER COORS

von der Hochschule für Technik (HFT) Stuttgart, mit seinem Vortrag *Plugin-freie Webvisualisierung großer Stadt- und Landschaftsmodelle* ein. COORS zeigte sehr anschaulich, mit welchen Werkzeugen man endlich zu einer einfacheren 3D-Visualisierung im Internet kommt.

Der nächste Beitrag kam aus dem Nachbarland Österreich. PETER DREXEL vom Landesamt für Vermessung und Geoinformation aus Feldkirch berichtete unter dem Titel *voralBERG – die 3. Dimension* über die vielfältigen Aktivitäten Voralbergs im Bereich 3D.

Den zweiten Vortragsblock eröffnete MARTIN BARRUCCI vom Kanton Thurgau in der Schweiz mit dem Titel *Vor Ort zu sein, ohne dort zu sein – 3D-Cloud- und Bilderdienst für die städtische Infrastruktur*. Anhand sehr interessanter Beispiele arbeitete MARTIN BARRUCCI heraus, wie effizient mittels der 3D-Cloud- und Bilddaten gearbeitet werden kann. Den letzten Vortrag im Vormittagsprogramm hielt TILL SCHEU vom Stadtplanungsamt der Stadt Köln. Am Projekt Morgenstadt Köln zeigte er sehr eindrucksvoll auf, wie 3D-Stadtmodelle im Planungsprozess von Architekten und Stadtplanern genutzt werden.

Vor der Mittagspause stellten die Veranstalter die an der Ausstellung beteiligten Firmen in Kurzporträts vor, um den Tagungsteilnehmern ein gezieltes Zugehen auf die ausstellenden Firmen zu erleichtern.

Das Nachmittagsprogramm eröffnete Dr. ROBERT ROSCHLAUB vom Landesamt für Digitalisierung, Breitband und Vermessung Bayern mit dem äußerst interessanten Beitrag *Deutschland 3D - Stand und Perspektiven*, in welchem er sehr übersichtlich und informativ die jeweiligen Aktivitäten der einzelnen Bundesländer darstellte. Danach berichtete NICOLE MENCKE vom Fraunhofer Institut IFF in Magdeburg über *Virtuelle 3D-Stadt- und Landschaftsmodelle in der Infrastrukturplanung*. Mit sehr praxisnahen Beispielen demonstrierte sie realitätsnah, wie in diesem Bereich virtuelle 3D-Modelle den Planungsprozess positiv mitgestalten. Der Präsident der BIM-World München, Dr. JOSEF KAUER, stellte in seinem anschließenden Beitrag *BIM im Bestand – Präzise 3D-Modelle unverzichtbar* ein Thema vor, welches gerade erst beginnt und in den nächsten Jahren sicherlich eine immer stärker-

re Rolle bei der Planung, Ausführung und weiteren Nutzung/Verwaltung komplexer Bauvorhaben spielen wird. Im letzten Vortrag des ersten Veranstaltungstages referierte dann THOMAS HAUENSTEIN über das *3D-Stadtmodell Karlsruhe* in der Anwendung. Die überaus vielseitigen Nutzungsarten in Karlsruhe verdeutlichten zum Abschluss, wie erfolgreich 3D-Stadtmodelle genutzt werden können, wenn sie systematisch in potenziellen Anwendungsgebieten bekannt gemacht werden.

Mit einem geselligen Beisammensein auf der Insel Lindau im wunderschön gelegenen Segelclub direkt am See klang der erste Veranstaltungstag aus. Dieser Abend ist traditionell fester Bestandteil des 3D-Forums Lindau und führte bei guter Stimmung wieder einmal mehr zu einem angeregten Gedankenaustausch zwischen den Teilnehmern.

Der zweite Veranstaltungstag begann mit drei Vertiefungsthemen am Vormittag. Am Nachmittag folgten dann mehrere Workshops. Das erste Vertiefungsthema *Geodatenbanken und 3D* wurde von Dr. CLAUDIUS NAGEL, Co-Chair der CityGML-Standardisierungsgruppe des OGC präsentiert. Nach der Einführung über Grundlagen und Strukturen erläuterte NAGEL vor allem das Open Source-Projekt *3D City Database*. Das zweite Vertiefungsthema mit dem Titel *Kommunale Energieplanung und -Simulation* wurde von Dr. JOCHEN WEDEL und ALEXANDRU NICHESU vom Europäischen Institut für Energieforschung (EIFER) vorgestellt. Solarpotenzialanalysen vertikaler Fassaden und Wärmebedarfsabschätzungen stan-



Abb. 2: Firmenpräsentationen im Foyer des Stadttheaters.

den dabei im Mittelpunkt der Präsentation. Über *Intelligente 3D-Modelle - Mehr als schöne Visualisierung* trug Prof. Dr. MARC LÖWNER von der Technischen Universität Braunschweig im letzten Vortrag der Vertiefungsthemen vor. Neben der Methodik wurden vor allem Analysen entsprechender Modelle an Hand von interessanten Beispielen gezeigt und erläutert.

Nach Abschluss des eigentlichen Vortragsprogramms folgten dann am Nachmittag die Workshops. Neben fünf Firmenworkshops fand zum sechsten Mal der CityGML Workshop mit Experten aus der SIG3D und der Standard Working Group des OGC statt. Hauptthemen waren hier die Integration von CityGML-Landesmodellen in kommunale Modelle und die Abgabe von AdV-konformen CityGML-Modellen. Neben der Vermittlung von technischen Neuerungen und Informationen wurde in diesem Workshop sehr angeregt und konstruktiv diskutiert. Firmenworkshops wurden von Esri Deutschland GmbH, CycloMedia Deutschland GmbH, Lothhammer & Zirn Consulting GbR, UVM Systems GmbH und virtualcitySYSTEMS GmbH abgehalten. Sowohl der CityGML Workshop als auch die Firmenworkshops fanden durchweg starkes Interesse und waren daher sehr gut besucht.

Die Workshops bildeten damit auch den Abschluss der Veranstaltung, die gegen 17 Uhr zu Ende ging. Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass das 15. Internationale 3D-Forum Lindau nicht nur wegen der hohen Teilnehmer- und Ausstellerzahl, sondern vor allem auch wegen der interessanten Vorträge und Firmenpräsentationen als voller Erfolg gewertet werden kann. Damit wurden u.a. zwei den Veranstaltern wichtige Ziele erreicht: Zum einen, angeregte Diskussionen nach den Vorträgen, in den Workshops und auf den Ständen der ausstellenden Firmen zu haben und zum anderen das Herstellen und die Pflege persönlicher Kontakte und den Erfahrungsaustausch zwischen den Teilnehmern zu fördern.

Das nächste, das 16. Internationale 3D-Forum Lindau findet am 9. und 10. Mai 2017 statt (www.3d-forum.li).

GERHARD LAUENROTH, Jena

Kommissionsberichte zum ISPRS Kongress, 12. – 19. Juli 2016, Prag, Tschechische Republik

Kommission I – Sensors and Platforms

Für ISPRS-Kommission I „*Sensors and Platforms*“ wurden insgesamt 334 Einreichungen gezählt, davon 272 als Abstracts. Die Einreichungen kamen aus 81 Ländern über alle sechs Kontinente verteilt. Zum ersten Mal in der Geschichte der Kommission I gab es 62 „full paper“ Einreichungen, von denen 28 nach einem „double-blind peer review“ Verfahren für die *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* akzeptiert worden sind. Die Abstract Einreichungen wurden zusammen mit dem Rest der „full paper“ von bis zu vier Gutachtern geprüft und mit Gutachter-Kommentaren zurück an die Autoren geschickt. Schließlich wurden 181 Artikel für die *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* akzeptiert.

Die Einreichungen decken das ganze Spektrum der gegenwärtigen Forschungslinien in Methodikentwicklung und Datenerfassung ab. Erwähnenswert ist ein großer Anteil von Veröffentlichungen in den Arbeitsgruppen WG I/2, ICWG I/Va und ICWG I/Vb mit Schwerpunkt auf Sensor-Miniaturisierung und dem Einsatz von UAS und mobilen Plattformen. Diese Tendenz spiegelt sich auch im neuen Namen der Kommission I wieder, die jetzt „*Sensor Systems*“ heißt. Damit wird in Zukunft ein stärkerer Fokus auf einen integralen bzw. Multi-Sensoren Ansatz gelegt als bisher.

Viele Einreichungen zum Thema mobile Plattformen verfolgen einen integralen Sensoransatz, um gerade bei fehlerhaftem oder nicht vorhandenem GNSS Empfang wie im Stadtbereich oder in Innenräumen bessere Genauigkeiten zu erzielen. Häufig werden Aufnahmen von Laserscanner bzw. optischen Kameras mit Referenzdaten fusioniert, um so eine genauere Positionierung der mobilen Plattform zu erhalten. Beispielsweise können Referenz-Luftbildaufnahmen oder Gebäudegrundrisse als Referenz verwendet werden. Eine größere Rolle spielen auch für die Automobilindustrie relevante Anwendungen zur exakten Erfas-

sung des Straßeninventars wie Verkehrsschilder und Masten bzw. des Zustands der Straßen durch Erkennung von Rissen in der Straßenoberfläche. Zum Einsatz kommen hier und bei vielen anderen Anwendungsfällen neben den Fahrzeug-basierten Sensoren auch Rucksackgetragene 360° Kamerasysteme oder sogar Schienen-basierte Systeme.

Überhaupt bildet die Fusionierung verschiedener Datensätze von terrestrischen bis hin zu luftgestützten Sensoren einen wesentlichen Schwerpunkt. Bei den Arbeiten mit luftgestützten Sensoren beziehen sich die meisten auf UAS. Es gibt wenige Artikel, die sich einzig mit der klassischen Luftbildauswertung aus Flugzeugen beschäftigen. Doch auch hier gibt es Neuerungen. So ist bei den neuesten klassischen photogrammetrischen Systemen ein Trend hin zu CMOS Sensoren erkennbar, da sich das Signal-Rausch-Verhältnis und der Dynamikbereich in den letzten Jahren gegenüber den CCD Sensoren stark verbessert haben. Die Orientierung von schrägen Luftbildaufnahmen und die Ko-Registrierung mit senkrechten Aufnahmen bzw. LIDAR Punktwolken sind die gegenwärtigen Herausforderungen beim Einsatz von Kameras auf UAS und Flugzeugen.

Trotz der weiteren Miniaturisierung und Verwendung einfacher Bauteile im UAS Bereich, werden viele Auswertungen mit erstaunlicher Präzision und Vollständigkeit präsentiert. Die Vorteile des Einsatzes von UAS werden z.B. bei der 3D Rekonstruktion von Gebäuden, zur Deichüberwachung, zum Monitoring von Schuttströmen, zur 3D Messung des Lagerbestands, zur maritimen Überwachung, zum Kartieren archäologischer Stätten oder beim Kartieren während Katastropheneinsätzen deutlich. Kleine leichte hyperspektrale Sensoren werden auch auf UAS z.B. zur Erkennung von Pflanzenkrankheiten und zur Abschätzung der Ernteerträge eingesetzt. Diese können aufgrund des geringen Gewichts auch zusammen mit LIDAR und optischen Kameras auf einer Plattform kombiniert werden. Zusätzliche Sensoren auf dem UAS wie RGB Tiefenkameras, bathymetrische Laser und experimentelle hyperspektrale LIDAR Systeme erweitern die Anwendungsmöglichkeiten, z.B. in der Indoor-Kartierung, der exakten Küstenvermessung bzw. zum Pflanzenmonitoring.

Die hyperspektrale Fernerkundung befindet sich nun wieder auf dem Sprung ins All. Mit DESIS kommt ein deutscher hyperspektraler Sensor Mitte 2017 auf die internationale Raumstation (ISS). Daten mit einer räumlichen Auflösung von 30 m und bis zu 235 Bändern im VNIR Bereich sind dann für kommerzielle und wissenschaftliche Zwecke erhältlich.

Einige Artikel untersuchen die Eigenschaften neuer optischer Satellitensysteme, wie z.B. Sentinel 2A und ZY-3. Ersterer ist seit gut einem Jahr im Orbit und sowohl radiometrische als auch geometrische Qualität wurden detailliert untersucht und beschrieben. Der chinesische Stereo-Sensor ZY-3 mit seiner Pixelgröße von ca. 2.5 m ist in der Community angekommen und seine absolute DSM-Höhen Genauigkeit wurde z.B. mit ICESAT Laser Altimeter Daten verbessert.

Schwerpunkt bei der Standardisierung von Schnittstellen und Sensoren ist die Bildung von Standards für Sensoren auf fliegenden Plattformen und für die Datenübertragung auf den Boden bzw. innerhalb eines Sensorverbundes. So sollen der Austausch von Sensoren und Daten in einem Sensorverbund erleichtert werden und Hürden bei der Verteilung der Daten an Endnutzer und Entscheidungsträger weiter abgebaut werden.

FRANZ KURZ, Oberpfaffenhofen

Kommission III – Photogrammetric Computer Vision and Image Analysis

Für ISPRS-Kommission III „*Photogrammetric Computer Vision and Image Analysis*“ wurden insgesamt 297 Beiträge eingereicht. Davon wurden 115 Beiträge als „full paper“ eingereicht, von denen 62 Beiträge nach einem „double-blind peer review“ Verfahren angenommen und im Band III-3 der *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* veröffentlicht wurden. Zudem wurden 182 Beiträge als „abstract“ eingereicht. Davon wurden 87 Beiträge nach einer Begutachtung angenommen und zusammen mit den 53 als „full paper“ eingereichten aber im „double-blind peer review“ Verfahren abgelehnten Beiträgen im

Band XLI-B3 der *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* publiziert.

Viele der publizierten Beiträge behandeln methodische und technische Aspekte zur photogrammetrischen Modellierung und Analyse. Großes Interesse gilt dabei unter anderem auch klassischen Themen wie z.B. der Sensormodellierung, der Schätzung der Sensororientierung und der 3D-Rekonstruktion, vor allem mittels *Dense Matching*. Entsprechende Beiträge decken ein breites Spektrum an Themen ab, das von Signalverarbeitungsmethoden zur Verbesserung der Bildqualität über neue Ansätze zur Bündelblockausgleichung bis hin zu verbesserten Sensormodellen wie z.B. in Form von neuen Rolling-Shutter-Kameramodellen bei bewegten Kameras reicht.

Ferner wird insbesondere die Verarbeitung von 3D-Punktwolken von vielen Beiträgen thematisiert. Diese Beiträge behandeln diverse Themen von der grundlegenden Modellierung von Unsicherheiten in der Datenerfassung bis zur Extraktion von Objekten aus den erfassten Daten.

Weiterhin fokussieren einige Beiträge auf die Analyse von dynamischen Prozessen basierend auf Bildsequenzen und teilweise auch 3D-Punktwolken. Diese Beiträge decken den gesamten Skalenbereich von einer großflächigen Änderungsdetektion anhand von Satellitenbildern bis hin zum Tracking von Fußgängern im Nahbereich des Sensors ab. Von übergeordneter Bedeutung sind die automatische Extraktion von Objekten aus Bild- und Entfernungsdaten sowie die semantische Interpretation von Bild- und Entfernungsdaten. Hierzu werden Methoden zur statistischen Datenanalyse und Methoden des maschinellen Lernens genutzt, die von Methoden auf der Basis von formalen Grammatiken bis hin zum *Deep Learning* (insbesondere mittels *Convolutional Neural Networks*) reichen.

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass die von der Kommission III zur Veröffentlichung angenommenen Beiträge den Stand der Forschung sowie aktuelle Trends gut wiedergeben und dabei einen breiten Einblick in viele Themengebiete bieten, ohne es dabei an der nötigen fachlichen Tiefe fehlen zu lassen.

MARTIN WEINMANN, Karlsruhe

Kommission IV – Geospatial Databases and Location Based Services

Die Kommission IV Geospatial Databases and Location Based Services (Geodatenbanken und ortsbezogene Dienste) wurde im Zeitraum 2012 bis 2016 von Frau Dr. JIANG JIE, National Geomatics Center of China geleitet. Während dieser Periode bestand die Kommission aus den folgenden acht Arbeitsgruppen:

- AG IV/1: Fortführung und Verifikation von Geodatenbanken
- AG IV/2: Globaler Status der Kartierung und Fortführung von Geodatenbanken
- AG IV/3: Globale DHM Interoperabilität
- AG IV/4: Geodateninfrastrukturen
- AG IV/5: Web- und cloudbasierte raumbezogene Dienste und Anwendungen
- AG IV/6: Sensor Web und Internet der Dinge
- AG IV/7: 3D Innenraummodellierung und -navigation
- AG IV/8: Planetarische Kartierung und Geodatenbanken

Hinzu kommen die drei kommissionsübergreifenden Arbeitsgruppen:

- AG IV/II: Optimierung von räumlichen Datenbanken und ortsbezogenen Diensten
- AG IV/II/VIII: Globale Landnutzungskartierung und -dienste
- AG II/IV: Semantische Interoperabilität und Ontologien für raumbezogene Informationen

Zum ISPRS-Kongress in Prag wurden bei der Kommission IV insgesamt 30 Volltextbeiträge und 183 Kurzbeiträge eingereicht. Davon wurden zur Veröffentlichung 19 Volltextbeiträge für die durch Experten begutachteten ISPRS Jahrbücher (ISPRS Annals) und 122 Beiträge für die ISPRS Archive (ISPRS Archives) ausgewählt.

Abb. 1 zeigt eine Auswertung der Titel aller Beiträge der Kommission IV als Wortwolke (eine Wortwolke ist eine visuelle Darstellung der am häufigsten vorkommenden Wörter aus einer Liste). Vergleicht man diese Wortwolke mit der Wortwolke vom ISPRS-Kongress in Melbourne von vor vier Jahren (siehe PFG 1/2013), so lässt sich feststellen, dass sich der



Abb. 1: Auswertung aller Beitragstitel der Kommission IV als Wortwolke.

Schwerpunkt der Themen in Kommission IV nur unwesentlich verändert hat. Die am häufigsten vorkommenden Begriffe sind weiterhin IMAGE, DATA und MAPPING, welche den Kernschwerpunkt der Forschungsarbeiten in Kommission IV beschreiben. Bei genauerm Hinsehen fällt jedoch auf, dass dieses Jahr der Begriff INDOOR der vierthäufigste Begriff in den Beitragstiteln ist – im Gegensatz zum Kongress im Jahr 2012, bei dem dieses Thema noch kaum präsent war. Hierunter fallen vor allem die Beiträge aus der Arbeitsgruppe IV/7: 3D Innenraummodellierung und -navigation, in der insgesamt 17 Beiträge publiziert wurden. Dies zeigt, dass es sich hierbei um ein sehr aktuelles Forschungsthema handelt, bei dem in den letzten Jahren viele Untersuchungen durchgeführt wurden.

Zahlenmäßig nicht so stark, jedoch trotzdem signifikant, lassen sich zwei weitere aktuelle Forschungstrends identifizieren. Hierbei handelt es sich zum einen um Cloud-Technologien, die zunehmend auch im Bereich der raumbezogenen Daten eine wichtige Rolle spielen, und zum anderen, um das Internet der Dinge. In diesem Forschungsbereich werden physische Objekte (Dinge) mit einer virtuellen Repräsentation im Internet verbunden. Da physische Dinge auch immer einen Raumbezug aufweisen, liegt es auf der Hand, dass Me-

thoden der Geoinformatik benötigt werden, um mit solchen Daten effizient zu arbeiten.

Ein weiteres zahlenmäßiges Highlight der Beiträge in Kommission IV waren Untersuchungen der Version 3 des ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) DHMs, welches im Jahr 2015 produziert und vor kurzem freigegeben wurde. Hierbei handelt es sich um ein weltweites 30m DHM, welches die Erde im Bereich 82N und 82S abdeckt.

In der Arbeitsgruppe „Planetarische Kartierung und Datenbanken“ konnte als interessanter Schwerpunkt die Kartierung des Mars mittels neuer Methoden und Sensoren beobachtet werden.

Für die nächste Periode (2016 bis 2020) geht die Präsidentschaft an Frau Dr. SISI ZLATANOVA, TU Delft über. SISI ZLATANOVA ist bereits seit 1995 in der ISPRS tätig und ihre Forschungsarbeiten waren schon immer eng mit den Inhalten der Kommission IV verbunden. Seit 2004 leitete sie die folgenden Arbeitsgruppen in der Kommission IV: AG IV/8: Geodatenintegration für Notfalldienste (2004 – 2008), AG IV/8: 3D Geodatenintegration für Katastrophenhilfe und Umweltmonitoring (2008 – 2012) sowie die AG IV/7: 3D Innenraummodellierung und -navigation (2012 – 2016). Im Jahr 2008 erhielt sie den ISPRS Schermer-

horn-Preis, der für Wissenschaftler verliehen wird, die während der letzten Vierjahresperiode mit ihren Arbeiten die Aufgaben der ISPRS auf Ebene der Arbeitsgruppen in besonderer Weise unterstützt haben. Weiterhin hat sie mehrere Konferenzen unter der Schirmherrschaft des ISPRS organisiert und ist Koautorin mehrerer ISPRS Bücher.

Mit dem Wechsel der Präsidentschaft ist auch immer eine Neuorientierung und Strukturierung der Kommission verbunden. Der Fokus soll in den nächsten vier Jahren bei den folgenden Forschungsthemen liegen: Multiple Repräsentationen (3D / 4D), Integration von Daten unterschiedlicher Anwendungen (Innenraum / Außenraum, über / unter der Erde, Design / reale Welt) sowie der Einsatz von räumlichen Daten für unterschiedliche Anwendungen. Besondere Beachtung soll außerdem die Verknüpfung von Informationen aus der realen Welt mit sozialen, organisatorischen und rechtlichen Netzwerken erhalten. Weiterhin sollen Fortschritte bei der Visualisierung (insbesondere web-basierte Visualisierungen, Virtual Reality [VR] und Augmented Reality [AR]) sowie bei der visuellen Analyse erzielt werden. Die endgültige Struktur und Aufgaben der Arbeitsgruppen werden auf dem nächsten Treffen des ISPRS Councils festgelegt.

Der neuen Präsidentin und den neuen wie auch alten Arbeitsgruppenleiterinnen und -leitern wünscht der Verfasser für die kommende Arbeit in den nächsten vier Jahren viel Erfolg.

VOLKER WALTER, Stuttgart

Berichte der Arbeitskreise der DGPF

Arbeitskreis Bildanalyse und Bildverstehen

Arbeitsgebiete – Terms of Reference

- Geometrische Bildverarbeitung
- Merkmalsextraktion und –nutzung
- Semantische Modellierung

Bericht von der Jahrestagung

Die 36. wissenschaftlich-technische DGPF-Tagung fand in diesem Jahr wieder in Form der Dreiländertagung mit unseren österreichischen und schweizerischen Kollegen in Bern vom 8.–9. Juni statt. Der Arbeitskreis war mit einer Sitzung vertreten:

Der erste Vortragende war M. BRODOVSKII zum Thema *Recognizing Separate Structural Elements of the Church Using Neural Networks* (Ko-Autoren M. CHIZHOVA, D. KOROVIN, A. BRUNN und U. STILLA). Dieser Vortrag beschäftigte sich mit der Erkennung von einzelnen Bauelementen von Kirchen auf der Grundlage von 3D-Punktwolken durch Abbildung auf eine Ebene und Nutzung Neuronaler Netze zur Strukturerkennung. W. CHRISTIAN (Ko-Autoren B. SEPPKE und L. DRESCHLER-FISCHER) stellte in seinem Vortrag *Robust Superpixel Based Segmentation for Urbanization Monitoring By Means of Spectral Remote Sensing Images* die Nutzung von topologischen Merkmalen der Superpixel zum Zweck der Linienverfolgung für die Straßenextraktion vor. Der dritte Vortrag der Sitzung von A. HANEL (Ko-Autoren H. KLÖDEN, L. HOEGNER und U. STILLA) beschäftigte sich mit der *Personendetektion in Grauwertbildern eines Stereofahrzeugkamerasystems in Nachtsituationen mit variierenden Beleuchtungsverhältnissen*. Diese Arbeiten sind eine Fortführung der im letzten Jahr während der Jahrestagung vorgestellten Arbeiten. Im abschließenden Vortrag mit dem Thema *Utilisation de la Corrélacion Diachronique d'Images pour la Métrologie des Ponts* berichtete M. KASSER über Ergebnisse zur Bestimmung von Bewegungsfeldern auf der Basis der Korrelation von Bildern unterschiedlicher Zeitpunkte.

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass das Vortragsprogramm des Arbeitskreises wieder einen breiten Themenfächer aufgespannte, wenn auch die Anzahl der eingereichten Beiträge im Vergleich zu den Vorjahren eher gering war. Es ist zu begrüßen, dass viele jüngere Kollegen das Forum des Arbeitskreises nutzen. Die trotz zeitlicher Nähe zum ISPRS sehr gut besuchte Sitzung überzeugte durch intensive Diskussionen.

UWE WEIDNER, Karlsruhe

Arbeitskreis Radarfernerkundung und Flugzeuglaserscanning

Arbeitsgebiete – Terms of Reference

- Synthetic Aperture Radar (SAR)
- SAR-Interferometrie und -Polarimetrie
- 3D-Objekterkennung aus Laserscannerdaten
- Vegetationsanalyse aus Laserscannerdaten

Bericht von der Jahrestagung

Der Arbeitskreis organisierte für die Jahrestagung eine Sitzung mit drei Vorträgen zum Flugzeuglaserscanning und einem Vortrag, der die Radarfernerkundung mit Airborne Laserscanning (ALS) und Photogrammetrie verglich.

Im Vortrag zum Thema Radarfernerkundung von HERBERT BROCKMANN von der Bundesanstalt für Gewässerkunde wurden Oberflächenmodelle verglichen, die mittels InSAR, ALS und Photogrammetrie in trocken gefallene Flächen an großen Gewässern und in Wattflächen im Nordseeküstenbereich berechnet wurden. Der Stand der Technik und Umsetzungsmöglichkeiten mit konkreten Ergebnissen wurden angesprochen sowie Verbesserungspotentiale aufgezeigt. Eine Arbeit zum Thema Laserbathymetrie präsentierte KATJA RICHTER (TU Dresden). In dem Vortrag wurde ein bereits in Waldgebieten untersuchtes Verfahren zur Bestimmung der Dämpfungsfaktoren von Full-Waveform-Intensitäten aufeinanderfolgender Laserstrahlreflexionen auf flache Wasserflächen übertragen. Über die Dämpfungsparameter kann die tiefenabhängige Wassertrübung beurteilt werden. Ein Verfahren zur 3D Analyse von ALS Full-Waveform-Daten in unbelaubten und belaubten Waldgebieten bezüglich der Attribute Intensität, Pulsbreite und Streuquerschnitt stellte MARKUS HOLLHAUS (TU Wien) vor. Eine zentimetergenaue Streifenausgleichung der LiDAR-Flugstreifen ist die Grundlage für die Untersuchungen. FELIX MORS DORF von der Universität Zürich widmete sich schließlich in seinem Vortrag dem immer noch offenen Problem, Baumarten mit Hilfe von speziellen, aus Full-Waveform-Daten abgeleiteten Merkmalen zu

unterscheiden. Insgesamt 8 Baumarten wurden in leaf-off und leaf-on Situation bzgl. der Intensität, der Pulsbreite sowie der Anzahl von einzelnen und mehrfachen Echos untersucht. Eine spezielle Strahlverfolgung hilft Verdeckungen in die Modellierung einzubringen.

Weitere und geplante Aktivitäten

Mittlerweile sind beide SAR-Satelliten der ESA, Sentinel 1A und B, operationell. Im Verbund erfassen sie alle 6 Tage die gesamte Landmasse der Erde mit einer räumlichen Auflösung von etwa 25 m. Es ist zu erwarten, dass diese hohe zeitliche Abtastung erhebliche Verbesserungen sowohl im Hinblick auf die Güte der Klassifikation der Landbedeckung als auch bezüglich der Überwachung von Deformationen der Geländeoberfläche mittels differentieller SAR-Interferometrie mit sich bringen wird.

Neue UAV-fähige Laserscanner (z.B. YellowScan, LiDARPod, VUX-1) für Anwendungen im Vegetationsbereich drängen zunehmend auf den Markt. Stand-alone Systeme mit integrierten MEMS-Sensoren erfassen Flugstreifen Daten noch mit erheblichen Misalignments, die aufwändig korrigiert werden müssen.

UWE SÖR GEL, Stuttgart

PETER KRZYS TEK, München

Arbeitskreis Aus- und Weiterbildung

Arbeitsgebiete – Terms of Reference

- Beobachtung von Aus- und Weiterbildungsangeboten
- Beobachtung und Bewertung neuer Lehr- und Lernmethoden
- Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses
- Nationale und internationale Kooperationen
- Beobachtung von Maßnahmen zur Schülerberufsinformation im Umfeld der Gesellschaft
- Ausbildung an den Berufsschulen in den Themenbereichen der DGPF

Bericht von der Jahrestagung

Der Arbeitskreis war mit einer Sitzung am 2. Konferenztag der Jahrestagung vertreten:

Der erste Vortragende war ANDREAS RIE-NOW vom Geographischen Institut der Universität Bonn zum Thema *Mathematikunterricht aus dem All – Interdisziplinäre Lernwerkzeuge für den Einsatz von Erdbeobachtung im Schulunterricht* (Ko-Autoren V. GRAW, S. HEINEMANN, J. SCHULTZ, F. SELG und G. MENZ). Dieser Vortrag stellte ein spannendes didaktisches Projekt zur Integration der Erdbeobachtung aus dem All bzw. der Internationalen Raumstation (ISS) im Schulunterricht vor. Details und aktuelle Informationen und Bilder sind auf der Projektwebseite www.columbuseye.uni-bonn.de zu erfahren.

THERESA MEYER (Ko-Autor A. BRUNN) von der Hochschule Würzburg-Schweinfurt stellte in ihrem Vortrag das Projekt *Digitale Photogrammetrie und Bildverarbeitung für kleine und mittlere Unternehmen durch „Blended Learning“* vor. Dabei sollen Praktiker berufsbegleitend ihre Kenntnisse in Photogrammetrie und Bildverarbeitung vertiefen und auf den neusten Stand bringen. Methodisch interessant ist das Blended Learning, was ein Mix aus Methoden und Angeboten der Online- und Präsenzlehre darstellt und beide Lernformen didaktisch sinnvoll miteinander verknüpft. Die Vorstellung des DiPhoBi4KMU als Work in Progress lässt auf einen weiteren spannenden Vortrag nach Beendigung des Projekts hoffen.

Der dritte und letzte Vortrag der Sitzung von BERTRAND CANNELLE von der Hochschule für Ingenieurwissenschaften und Verwaltung des Kantons Waadt (heig-vd) aus der Schweiz beschäftigte sich mit dem Thema *Les drones au service de l'enseignement*. Schwerpunkt seines Vortrags war die Vorstellung der Inhalte einer Lehrveranstaltung zum Thema UAS Photogrammetrie, von der Flugplanung bis zur Erzeugung photogrammetrischer Standardprodukte.

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass einerseits das Interesse an didaktischen Themen seit Jahren groß ist und viele Zuhörer zu dem stets abwechslungsreichen und interessanten Vortragsprogramm des Arbeitskreises kommen. Andererseits ist die Bereitschaft als Vortragender von eigenen Projekten und Erfahrun-

gen zu berichten überschaubar, was eigentlich recht schade ist.

Während der Dreiländertagung fand auch die Vergabe des Karl-Kraus-Nachwuchsförderpreises statt. In diesem Jahr wurden zehn Kandidaten ausgewählt und eingeladen, die ihre Abschlussarbeiten in Form einer Kurzpräsentation und einem Poster präsentierten. Nach den Kurzbeiträgen, unter einem großen Interesse aller Teilnehmer der Dreiländertagung, fand die Begehung der Poster mit einer eingehenden Befragung der Kandidaten durch die Jurymitglieder statt. Die Preisträger wurden in der Abendveranstaltung bekannt gegeben:

1. Preis (Preisgeld 1.500 EUR): MAX COENEN (2016) *Klassifikation von Stereobildern aus Mobile-Mapping Daten mittels Conditional Random Fields*. Leibniz Universität Hannover. Betreuer: Prof. Dr. ROTTENSTEINER.
2. Preis (Preisgeld 1.000 EUR): ANGELIKA XAVER (2016) *Automated Quality Control Procedures for the International Soil Moisture Network*. Technische Universität Wien. Betreuer: Prof. Dr. WAGNER.
3. Preis (Preisgeld 500 EUR): OLIVER KAHMEN (2016) *Entwicklung einer großen Invardraht-Maßverkörperung zur Anwendung in der Industriephotogrammetrie*. Jade Hochschule Oldenburg. Betreuer: Prof. Dr. LUHMANN.

Die Ausschreibung für den Karl-Kraus-Nachwuchsförderpreis 2017 erfolgt im Herbst 2016, zeitnah zum Call-for-Papers für die 37. DGPF-Tagung in Würzburg. Alle Universitäts- und Hochschuldozenten sind eingeladen, ihre Absolventen mit den besten Abschlussarbeiten für den Karl-Kraus-Nachwuchsförderpreis 2017 vorzuschlagen.

Weitere und geplante Aktivitäten

Im vergangenen Jahr war der AK an verschiedenen Veranstaltungen zur Weiterbildung und Didaktik beteiligt. Diese Aktivitäten werden auch in diesem Jahr fortgesetzt. Im laufenden Jahr 2016 ist das 9. Anwenderforum „Projektbezogene Auswertestrategien zur Punktwolkenverarbeitung aus Laserscanning, Photogrammetrie und Tachymetrie - Software, Methoden, Lösungen“ am 28.10.2016 in Würzburg, in Zusammenarbeit mit dem VdV Bil-

dungswerk, Fachgruppe 7 und ein Kursus zur „Photogrammetrie und Bildverarbeitung“ für Berufsschullehrer organisiert worden.

Im Rahmen der ISPRS WG V/4 „Web-based information resources for education and research“ werden die Aktivitäten des AKs durch den AK-Leiter seit dem ISPRS-Congress in Prag als WG-Chair in den internationalen Kontext eingebunden.

GÖRRES GRENZDÖRFFER, Rostock und
ANSGAR BRUNN, Würzburg

Arbeitskreis Geoinformatik

Arbeitsgebiete – Terms of Reference

- Automation der Analyse von Geoinformation
- Visualisierung von Geoinformation
- Geodateninfrastrukturen

Gemeinsames Doktorandenkolloquium mit der Sektion Geoinformatik der DGK

Vom 23. bis 24.2.2016 fand an der Universität Bonn das zweite gemeinsame Doktorandenkolloquium des DGPF-Arbeitskreises Geoinformatik und der Sektion Geoinformatik der DGK unter dem Titel „Methodology of Mobile and Dynamic Systems“ statt. Das Programm setzte sich zusammen aus fünf Vorträgen von Doktoranden (F. BOCK, M. REICH, T. KLINGER, P. TUTZAUER, D. PENG) und einem Tutorial zum Thema „Particle Filters for State Estimation“, welches von CYRILL STACHNISS gehalten wurde. Die Doktoranden wurden auf Grundlage von Abstracts eingeladen und trugen zu Themen aus den Bereichen Crowd-Sensing, photogrammetrische Bildanalyse und Visualisierung von Geoinformation vor. Ein besonders großes Gewicht wurde auf den wissenschaftlichen Austausch gelegt, indem viel Zeit für Diskussionen eingeräumt war. Nach dem ersten Tag wurden diese bei einem gemeinsamen Abendessen fortgesetzt.

Bericht von der Jahrestagung

Der Arbeitskreis Geoinformatik war mit einer Sitzung bei der Dreiländertagung in Bern vertreten, die am 08.06.2016 mit der Präsentation von vier Vorträgen durchgeführt wurde. Die Sitzung wurde gemeinsam von F. BLAUENSTEINER (OVG) und B. HÖFLE (DGPF) geleitet. Der erste Vortrag von B. HÖFLE befasste sich mit dem Thema *Partizipative 3D-Datenerfassung mit Smartphones in der Landwirtschaft – Ein Vergleich mit Terrestrischem Laserscanning* (Ko-Autorin S. MARX). In dieser Studie wurden verschiedene Geoinformationstechnologien und partizipative Ansätze zur Erfassung der Bestandshöhe von Maispflanzen untersucht und mit Referenzdaten aus Laserscanning verglichen. R. WÜEST stellte in seinem Vortrag *Geospatial Augmented Reality als interaktives Erlebnis im Museum am Beispiel der SwissARena App* (Ko-Autoren M. ZWICK und S. NEBIKER) eine lauffähige Applikation für Smartphones und Tablets zur Augmented Reality Visualisierung der sogenannten Swissarena (Museumskarte der Schweiz als 200 m² bedruckte Bodenfläche) vor, wobei verschiedene geographische Inhalte (z.B. Adressen, Wetter) überlagert werden können. Im dritten Vortrag von A. AGOUB mit dem Titel *Potential of Graph Databases in Representing and Enriching Standardized Geodata* (Ko-Autoren F. KUNDE und M. KADA) wurde ein prototypischer Ansatz einer Graphdatenbank untersucht und mit relationalen Datenbank-Management-systemen verglichen. Als Beispielobjekte wurden 3D-Gebäudemodelle verwendet. Der vierte abschließende Vortrag von M. CHRISTEN, wie der zweite Vortrag ebenfalls von der Fachhochschule Nordwestschweiz, mit dem Titel *Prozedurale Modellierung von historischen 3D-Stadtmodellen und deren Aufbereitung für 3D-Visualisierungen in einer Smartphone-Applikation am Beispiel der römischen Stadt Augusta Raurica* (Ko-Autoren S. BLASER, B. LOESCH und S. NEBIKER) beschäftigte sich mit den technischen Herausforderungen und der Implementierung einer Smartphone-Applikation, die es erlaubt, historische 3D-Stadtmodelle zu visualisieren. Die zwei Schwerpunkte der präsentierten Studie waren die prozedurale Modellierung der römischen Stadt August-

ta Raurica und die Implementierung des Gesamtsystems (z.B. cloudbasiertes Rendering).

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die Beiträge der Sitzung den Arbeitskreis Geoinformatik in seiner Breite sehr gut vertraten, auch wenn die Anzahl der Einreichungen von Fachbeiträgen unter den Erwartungen lag. Die Beiträge spannten den Bogen von der konzeptionellen Datenmodellierung bis hin zur praktischen Implementierung von Apps für mobile Geräte. Gemeinsamer Nenner aller vier Vorträge war der Einsatz von 3D-Geodaten mit unterschiedlichen Zielen und Schwerpunkten.

JAN-HENRIK HAUNERT, Bonn
BERNHARD HÖFLE, Heidelberg

Arbeitskreis Sensoren und Plattformen

Arbeitsgebiete – Terms of Reference

- Sensorkonzepte für Anwendungen in der Photogrammetrie und Fernerkundung auf unterschiedlichen Plattformen vom Satelliten bis hin zum Nahbereich
- Kooperation mit den Anwendern/Datennutzern zur anwendungsbezogenen Optimierung der Sensorsysteme und Sensorkomponenten sowie zur Ableitung/Definition neuer Aufgabenstellungen für Sensorsysteme
- Modellierung/Simulation der Sensoren und Aufnahmesysteme auch unter Berücksichtigung der Auswertelgorithmen zur Objekt- und der Dateninterpretation
- Kalibrierung und Validierung von Sensorsystemen und erfassten Daten einschließlich der Dokumentation der jeweiligen Charakteristiken im Hinblick auf die vorgesehenen Anwendungen

Bericht von der Jahrestagung

Der Arbeitskreis Sensoren und Plattformen war im wissenschaftlichen Programm der vom 7.–9. Juni organisierten Dreiländertagung in Bern mit drei Sitzungen vertreten. Ein mittlerweile schon traditioneller Themenschwerpunkt des Arbeitskreises ist die photogrammetrische Nutzung Unbemannter Fluggeräte, dem die erste Sitzung gewidmet war. Diese

Sitzung wurde von GÖRRES GRENZDÖRFER mit der *Vorstellung eines Pflichtenhefts zur Ausschreibung von UAS-Befliegungen und photogrammetrischer Produkte* eröffnet. Der zweite Beitrag *Direkte Georeferenzierung in UAS-Anwendungen - Eine Beispielanwendung der Landesvermessung Baden-Württemberg* von MICHAEL CRAMER beschäftigte sich ebenso wie der Beitrag *UAV Sensor Orientation With Redundant Exterior Observations* von PHILIPP CLAUSEN mit der inzwischen auch für UAV-Anwendungen immer häufiger zum Einsatz kommenden direkten Georeferenzierung zur potentiell passpunktfreien photogrammetrischen Datenerfassung.

Die zweite Sitzung des Arbeitskreises wurde eröffnet von KARSTEN JACOBSEN, der in seinem Beitrag *Ersatz des SRTM Oberflächenmodells durch AW3D30?* das Potential der optischen satellitengestützten DOM-Erfassung anhand von Untersuchungen mit ALOS PRISM Daten aufzeigte. Der Beitrag *Ein adaptives und kompaktes Fernerkundungssystem für UL-Fluggeräte – Konzept und Anwendungen* von JENS BONGARTZ diskutierte den Aufbau der Messtechnik für den Einbau in Ultraleichtflugzeugen (UL) am Beispiel des Tragschraubermodells MTOsport der Firma AutoGyro. Untersuchungen zur *Eignung von ALS, Aero- und UAS-Photogrammetrie zur Früherkennung und Erfassung von Tagesbrüchen*, wurden von VOLKER SPRECKELS vorgestellt, der Beitrag zum *Systematischen Vergleich zwischen direkter und bildbasierter Georeferenzierung von Mobile Mapping-Stereosequenzen in einem anspruchsvollen Stadtgebiet* von STEFAN CAVEGN schloss die Sitzung ab. Das Thema Kamerasysteme stand im Mittelpunkt der dritten Sitzung des Arbeitskreises. Diese wurde mit einem Beitrag von NICOLAS THOMAS zu dem *Colour and Stereo Surface Imaging System for ESA's Trace Gas Orbiter Mission to Mars* eröffnet. Die Entwicklung und die Einsatzmöglichkeiten eines flugzeuggetragenen Kamerasystems stellte TILMAN BUCHER in seinem Beitrag zum *Modular Photogrammetric Sensor Systems for Real-time Information Extraction and 3D-Applications* vor, ehe KLAUS NEUMANN in seinem Beitrag *Next Generation Aerial Camera Design Using CMOS Technology* das Potential dieser Sensoren für die photogrammetrische Datenerfassung vorstellte. Die

Sitzung wurde abgeschlossen durch den Beitrag zu den *Möglichkeiten und Einschränkungen des kombinierten Einsatzes digitaler Senkrecht- und Schrägluftbildsensoren in einer Großformatkamera* von JENS KREMER.

Insgesamt zeigten die Beiträge des Arbeitskreises die derzeitige Dynamik bei der Entwicklung photogrammetrischer Sensoren und Plattformen, denen zu Recht in den drei sehr gut besuchten Sitzungen des Arbeitskreises große Aufmerksamkeit entgegengebracht wurde.

NORBERT HAALA, Stuttgart

Arbeitskreis Optische 3D-Messtechnik

Arbeitsgebiete – Terms of Reference

- Nahbereichsphotogrammetrie
- Optische 3D-Messtechnik
- Terrestrisches Laserscanning
- Sensorintegration und Systemkalibrierung
- Aufnahme- und Auswertestrategien
- Prozessorientierte Auswertung und Automation
- 3D-Modellierung

Bericht von der Jahrestagung

Zur Dreiländertagung in Bern, welche gemeinsam mit den österreichischen und schweizerischen Kollegen stattfand, war der Arbeitskreis Optische 3D-Messtechnik mit zwei Sitzungen vertreten:

In der ersten Sitzung berichtete H. HASTEDT über ihre *Analysen zur Datumsfestlegung in photogrammetrischen Projekten großer Volumina* (Ko-Autoren: J. REZNICEK, T. EKKELE, T. LUHMANN und C. JEPPIG). Bei kleinvolumigen Projekten stellt die Maßstabsfestlegung kein Problem dar, weil passende Maßstäbe vorhanden sind sowie meist eine gute Strahlenschnittgeometrie realisierbar ist. In dem Vortrag wurde aufgezeigt, wie sich verschiedene Möglichkeiten der Maßstabsfestlegung in großvolumigen photogrammetrischen Projekten auf die Genauigkeiten auswirken. Im Anschluss präsentierte D. RIEKE-ZAPP die *Farbprojektion als neue Methode im 3D-Scanning* (Ko-Autor: T. KAHLMANN). Als Vorteil wird die Möglichkeit

genannt, Abweichungen von der Soll-Geometrie farblich direkt auf das Bauteil zu projizieren und damit Nachbearbeitungen zu erleichtern. Außerdem kann damit der Einfluss der Oberflächenfarbe des Bauteils auf die Qualität der Scanergebnisse verringert werden. Abschließend berichteten T. KERSTEN und H.-J. PRZYBILLA über *Genauigkeitsuntersuchungen handgeführter Scannersysteme* (weitere Ko-Autoren: M. LINDSTAEDT, F. TSCHIRSCHWITZ und M. MISGAISKI-HASS). In diesem Beitrag wurde ein umfassender Genauigkeitsvergleich 8 verschiedener Systeme anhand repräsentativer Testobjekte und Referenzkörper vorgestellt.

Die zweite Sitzung eröffnete D. HOLLENSTEIN mit einem sehr anschaulichen anwendungsnahen Vortrag zur *bild-basierten 3D-Rekonstruktion texturarmer Kleinwiedererknochen* mittels Structure-from-Motion (Ko-Autor: S. NEBIKER). W. WAHBEH zeigte mit dem Beitrag *Combining photogrammetric techniques to preserve the heritage memory* (Ko-Autor: S. NEBIKER) eindrucksvolle Beispiele von 3D-Modellen bereits teilweise zerstörter historischer Objekte im Mittleren Osten und damit das Potenzial aktueller photogrammetrischer Methoden für diesen Anwendungsbereich. Mit einem Vortrag zum Thema *Segmentation and localization of individual trees from MMS point cloud data acquired in urban areas* präsentiert M. WEINMANN (Ko-Autoren: C. MALLET und M. BRÉDIF) einen Ansatz zur Segmentierung und Lokalisierung von Einzelbäumen, der statt auf einer Voxelisierung auf der Verarbeitung einzelner Punkte der Punktwolke basiert aber dennoch rechentechnisch sehr effizient ist. K. SCHINDLER stellte abschließend die Programmbibliothek *Gipuma: Massively parallel multi-view stereo reconstruction* (Ko-Autoren: S. GALLIANI und K. LASINGER) vor, die eine auf dem PatchMatch-Algorithmus basierende Erweiterung beinhaltet, welche hoch-effizient und speicher-schonend Punktwolken mit hoher Genauigkeit und Vollständigkeit aus Bilddaten erzeugt. Diese Bibliothek ist als Open-Source verfügbar.

Mit diesen Vorträgen in den beiden Sitzungen konnten die Arbeitsgebiete des Arbeitskreises Optische 3D-Messtechnik nahezu vollständig abgedeckt werden. Es wurden technologische sowie algorithmische Neuerungen präsentiert sowie interessante Anwendungen

vorge stellt, die den aktuellen Stand photogrammetrischer Methoden repräsentieren. Beide Sitzungen waren sehr gut besucht, was das große Interesse an den Themen des Arbeitskreises widerspiegelt. Zukünftig möchten wir verstärkt darauf hinwirken, wieder eine größere Beteiligung von Firmen zu erreichen und damit eine bessere Vernetzung zwischen Wissenschaftlern, Systemherstellern und Anwendern zu erreichen. Auf unserer Webseite sowie per Newsletter werden wir regelmäßig auf Arbeitskreis-relevante Veranstaltungen und Termine hinweisen.

DANILO SCHNEIDER, Dresden

Arbeitskreis 3D-Stadtmodelle

Arbeitsgebiete – Terms of Reference

- Aufbau von 3D Stadtmodellen
- Anwendungen von 3D Stadtmodellen
- Neuerungen und Forschungen auf diesem Gebiet
- Regelmäßiger Erfahrungsaustausch (Organisation von Workshops, AK-Treffen)

Bericht von der Jahrestagung

Der gemeinsame Arbeitskreis von DGfK und DGPf war bei der Wissenschaftlich-Technischen Jahrestagung der DGPf vom 8.–9. Juni 2016 mit zwei Sessions vertreten:

Die erste Sitzung mit dem Titel 3D-Stadtmodelle I umfasste drei ganz unterschiedliche Vorträge. Im ersten Vortrag stellte MAROŠ BLAHÁ den Beitrag *Towards Integrated 3D Reconstruction and Semantic Interpretation of Urban Scenes* vor. Dabei wird die Idee verfolgt, eine Szene sowohl hinsichtlich dreidimensionaler Objekte als auch hinsichtlich semantischer Objekt-Klassen auszuwerten. Die Beispiele, die für eine Testszene der Stadt Enschede berechnet wurden, zeigen die Effizienz des gewählten Ansatzes, der in den weiteren Arbeiten noch verfeinert werden soll. BRUNO WILLENBORG zeigte in seinem Beitrag *Semantic 3D City Models Serving as Information Hub for 3D Field Based Simulations*, wie 3D-Stadtmodelle in Simulationsmodelle integriert werden können, die im Umweltbereich zum Einsatz kommen. Auch die Integration der Simulationsergebnisse in das 3D-Stadtmodell

wurde im Projekt realisiert. Im dritten Beitrag *Challenges for the Swiss Federal Office of Topography (swisstopo) for the Production of Digital Images and altimetical Models using the ADS80 Sensor for the Glacier Monitoring in the Swiss Alps* von ROBERTO ARTUSO wurden die Software-Tests beschrieben, die im schweizerischen Bundesamt für Landestopographie durchgeführt wurden, um im Rahmen des Gletscher-Monitorings hochwertige Orthophotos und Oberflächenmodelle herstellen zu können. Die Gletscherregionen stellen aufgrund der starken Reflektionen und ihrer Schattenbereiche eine besondere Herausforderung dar.

Auch in der zweiten Sitzung 3D-Stadtmodelle II wurden drei ganz unterschiedliche Themen behandelt. EGBERT CASPER stellte die Frage *CityGML – Semantik unter der Lupe – welche Konsequenzen ergeben sich für die Validierung von 3D Stadtmodellen?* und erläuterte, wie Regeln für die Semantik von Gebäuden abgeleitet werden können und diese den Ausgangspunkt für die semantische Validierung von 3D-Stadtmodellen bilden. Im Beitrag *Extending Semantic 3D City Models by Supply and Disposal Networks for Analysing the Urban Supply Situation* stellte TATJANA KUTZNER die CityGML-ADE für den Bereich Energie vor und im Detail die sich daraus ergebenden Möglichkeiten, Versorgungsgebiete und Versorgungsgrade von Gebäuden zu definieren und insbesondere auszuwerten.

Als letzter Vortragender ging ANDREAS STEIN auf *Innovative, quantitative 3D-Planungswerkzeuge für sichere Städte der Zukunft* ein und zeigte sehr anschaulich ein Konzept für eine Cloud-Lösung zur urbanen Risikoanalyse. Es soll die Möglichkeit bieten, durch eine Kombination von 3D-Stadtmodellen und quantitativer Risikoanalyse zur Einschätzung der Gefährdungssituation im städtischen Gesamtkontext beizutragen.

In beiden Sitzungen gab es anregende Diskussionen zwischen Vortragenden und dem interessierten Publikum.

Weitere und geplante Aktivitäten

Der Arbeitskreis hat am 3. und 4. November 2015 in Bonn wiederum einen Workshop zum Thema 3D-Stadtmodelle mit insgesamt 80 Teilnehmern durchgeführt, die Beiträge sind

auf der Homepage des Arbeitskreises einsehbar. Die letzte Sitzung des Arbeitskreises fand im Februar in Bremen statt, wo sich die Teilnehmer bei Rheinmetall Defence Electronics über die Nutzung von 2D/3D-Geodaten in Simulatoren sowie über die typischen Merkmale, Anforderungen und Umsetzungen von Simulationsprojekten informierten.

Derzeit laufen die Vorbereitungen für den mittlerweile achten Workshop des Arbeitskreises am 08./09.11.2016 in Bonn auf Hochtouren. Interoperabilität und Anwendungen stehen dieses Jahr im Fokus. Daneben hält das Thema Building Information Modeling BIM ebenfalls Einzug in den Kontext der 3D-Stadtmodelle. Am Rande des Workshops findet auch die nächste Sitzung des Arbeitskreises statt.

Der Arbeitskreis prämiiert im Rahmen der Nachwuchsförderung weiterhin herausragende studentische Arbeiten, um junge Menschen anzuspornen, sich mit dem Themenkomplex der 3D-Stadtmodelle zu beschäftigen. Dem Preisträger wird dieses Mal ermöglicht, an der „28th International Cartographic Conference“ vom 02. bis zum 07 Juli 2017 in Washington, D.C., USA teilzunehmen.

BETTINA PETZOLD, Wiesbaden

EKKEHARD MATTHIAS, Hamburg

www.3d-stadtmodelle.org

Arbeitskreis Fernerkundung in der Geologie

Arbeitsgebiete – Terms of Reference

Die Diskussion im langjährigen Arbeitskreis soll interessierten Fachkollegen und auch Fachleuten der wissenschaftlichen Nachbardisziplinen als Forum und Erfahrungsaustausch über den Einsatz vorwiegend neuer optischer, aber auch von Radarfernerkundungs- und GIS-Entwicklungen bei geologischen Interpretationen dienen. Eine zentrale Rolle spielen Ergebnisse und Erfahrungen mit lokalen und regionalen Strukturinterpretationen (FE – GIS –

3D-Visualisierung), von geologischen Kartierungen und Lagerstättenprospektionen (Klassifizierung von lithologischen Einheiten, Spektrometrie, hyperspektrale Fernerkundung) sowie Methoden und Strategien zum Monitoring von Naturgefahren (Deformationsprozesse und Massenumlagerungen: Anwendungen für Neotektonik, Erdbeben, Hangrutschungen, Land subsidence, sinkholes, Karst, Tsunami, Gletscherbewegungen u.a.).

Bericht von der Jahrestagung

Wie in den Vorjahren beteiligte sich der Arbeitskreis auf der Tagung wieder mit der Ausrichtung einer Sitzung. Co-Chair der SGPF für die Sitzung war FELIX MORSDORF (Geographie, Universität Zürich).

Im Eingangsvortrag stellte HANS-ULRICH WETZEL vom Deutschen GeoForschungsZentrum Potsdam neue Ergebnisse zu *Geological interpretations of landslide structures in Southern Kyrgyzstan using high resolution optical remote sensing data and InSAR* vor. Das Autorenteam (mit SIGRID ROESSNER, MAHDI MOTAGH, KANAYIM TESHEBAEVA, ROBERT BEHLING, DARYA GOLOVKO, AMAN SARNOGOEV und CHAIBULDA IBATULIN) untersucht die langjährige und aktuelle Entwicklung und Verbreitung von Hangrutschungen des 12.000km² großen Gebietes am Ostrand des Fergana-Beckens (optical: automated landslide detection; Radar: precursor detection; GIS: database > 6.000 evaluated landslide activities).

CHRISTOPH ULRICH (Hochschule Anhalt, Dessau, gemeinsam mit LUTZ BANNEHR und ANGELA LAUSCH, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung/UFZ Leipzig) stellte in seinem Beitrag *Ableitung von Eisen (II, III)oxid in Fließgewässern mittels Multispektraldaten* ein derzeit kontrovers diskutiertes Problem vor (Verockerung von Flüssen durch die Einleitung von Bergbauabwässern). Der Vortrag zeigt Ansätze und erste Ergebnisse seines geplanten Promotionsvorhabens. Den Ansatz aus der optischen Fernerkundung mit Landsat-8, Sentinel-2 unter Einbeziehung eines VNIR Hypex die Spektralindizes aus der Bodenanalyse anzuwenden auch auf Gewässer anzuwenden ist eine Herausforderung und soll bei der ökologischen

Bewältigung der Bergbaufolgen in Pyrit-belasteten Abbauregionen helfen (u.a. Lausitz).

Die Sitzung umfasste in diesem Jahr nur zwei Vorträge erbrachte aber wiederum ange-regte Diskussionen. Auf die Beteiligung dürf-ten auch die Kosten für Vortragende und Teil-nehmer am Tagungsort Bern Einfluss genom-men haben.

HANS-ULRICH WETZEL, Potsdam

Arbeitskreis Auswertung von Fernerkundungsdaten

Arbeitsgebiete – Terms of Reference

- Automatische Ableitung aus 3D-Punktwol-ken
- Anwendungen in Schnee und Eis
- Forst- und vegetationskundliche Applikati-onen

Bericht von der Jahrestagung

Der Arbeitskreis war mit drei Sitzungen ver-treten:

Der erste Vortragende zum Thema „Auto-matische Ableitung“ war N. HOLZER von der Harris Corporation Deutschland zum Thema *Automated Point Cloud Analysis for 3D Topo-graphic Change Detection* (Ko-Autoren TH. BAHR und P. COLLINS). Dieser Vortrag beschäf-tigte sich mit dem Malin-Erdrutsch, der sich 2014 in Indien ereignete. Dazu wurden Ober-flächenmodelle vor und nach dem Ereignis aus Pléiades-Bilddaten unterschiedlicher Orbits gerechnet. G. MANDELBURGER von der TU Wien (Ko-Autoren J. OTEPKA, CHR. BRIESE, W. MÜ-CKE, G. SUMMER, N. PFEIFER, S. BALTRUSCH, C. DORN und H. BROCKMANN) stellte in seinem Vortrag *Automatische Ableitung von Struktur-linien aus 3D-Punktwolken* die Nutzung von Kanten, polynomialen Zylinderpaaren und ebe-nen Zylindern in der hydrodynamisch-nume-rischen Modellierung vor. Der dritte Vortrag der Sitzung von R. BART beschäftigte sich mit der *Generierung von Terrainmodellen aus Punkt wolken*.

Y. WEIDMANN (Ko-Autoren G. JOUVET, T. ABE, M. FUNK, J. SEGUINOT und S. SUGIYAMA) von der ETH Versuchsanstalt für Wasserbau

und Glaziologie in Zürich eröffnete die zweite Sitzung zum Thema „Schnee und Eis“ mit sei-nem Vortrag *Multi-temporal UAV-survey of a calving glacier in Northwest Greenland*. Da-bei ging es um die Erfassung der Prozesse die kalbende Gletscher bedingen. Dazu wurde ein Glider in vollständigem out-of-sight Flug ein-gesetzt. Y. BÜHLER (Ko-Autoren A. STOFFEL, R. BOESCH und CHR. GINZLER) vom Schnee- und Lawinenforschungsinstitut in Davos be-richtete mit *UAS photogrammetry on homo-geneous snow cover* über drohnengestützte Schneehöhenkartierungen. Der Vortrag von S. LANDTWING (Ko-Autoren A. SOMIESKI und TH. GÖTZ) von der BSF Swissphoto AG be-leuchtete unter dem Titel *Unbeschwertes und Sicheres Skivergnügen Dank Geodaten* die Möglichkeiten IT-gestützter Informationssys-teme für den modernen Betrieb von Skigebie-ten. Der letzte Vortrag von D. HERMLE (Ko-Autorin I. RUNKEL) von der Firma Geosystems GmbH *Geoprodukte im Aufwind – GeoApp*. UAS stellte eine Cloud Version zur Herstel-lung von Orthomosaiken vor.

In der dritten Sitzung mit dem Thema „Forst- und vegetationskundliche Applikati-onen wurden drei Präsentationen mit folgenden Titeln vorgestellt: P. ADLER (Ko-Autoren K. ZIELEWSKA-BÜTTNER, M. PETERSEN und V. BRAU-NISCH) zu *Parameters Influencing Forest Gap Detection Using Canopy Height Models Deri-ved from Stereo Aerial Imagery*, M. IMMITZER (Ko-Autoren F. VUOLO, K. EINZMANN, W. TIM NG, S. BÖCK und C. ATZBERGER) zur *Verwen-dung von multi-spektralen Sentinel-2 Daten für die Klassifikation von Baumarten* und N. NÖLKE zur *Klassifizierung und Charakterisie-rung von Grünflächen im Stadt-Land Gradi-enten in der Millionenstadt Bangalore (Indi-en) auf der Grundlage von Sentinel-2 Daten*.

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass das Vortragsprogramm des Arbeitskreises wieder einen breiten Themenfächer aufgespannte und die Qualität der Vorträge ausgesprochen gut war. Dies traf ebenso auf die folgende Herbst-tagung in Halle (Saale) zu.

VOLKER HOCHSCHILD, Tübingen

Mitteilung des AK Fernerkundung

„Landschaftsprozessmonitoring
mittels Multisensordaten“
29.–30.09.2016, Martin-Luther-Uni-
versität Halle-Wittenberg

Unter dem Motto „Landschaftsprozessmonitoring mittels Multisensordaten“ fand vom 29. bis zum 30. September 2016 die 5. gemeinsame Jahrestagung des AK Fernerkundung der Deutschen Gesellschaft für Geographie (DGfG) e.V. und des AK „Auswertung von Fernerkundungsdaten“ der Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie, Fernerkundung und Geoinformation (DGPF) e.V. am Fachgebiet Geofern-erkundung der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg statt. Fast 70 Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen sowie Vertreter aus der Praxis aus Deutschland und der Schweiz nahmen an der zweitägigen Veranstaltung teil. Das breit gefächerte Programm aus Keynote- und Fachvorträgen, zwei interaktiven Tutorials zu Zeitreihenanalysen und einer Poster-Session wurde äußerst positiv von den Teilnehmer und Teilnehmerinnen aufgenommen.

Prof. WASKE von der FU Berlin eröffnete den Workshop mit einem interessanten Keynote-Vortrag über die Anforderungen und Herausforderungen neuer Methoden für die multisensorale Fernerkundung. In der zweiten Keynote stellte Frau ROßNER vom Deutschen Zen-

trum für Luft- und Raumfahrt (DLR) das Copernicus Programm vor und erläuterte die Nutzungsmöglichkeiten für die Wissenschaft, was besonders von den vielen anwesenden NachwuchswissenschaftlerInnen mit großem Interesse verfolgt wurde. Die durchweg spannenden Vorträge und Poster aus den unterschiedlichsten Themenfeldern führten zu anregenden Diskussionen zwischen den Teilnehmern. Das Ziel, vor allem junge Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen zu Vorträgen zu motivieren und ein Forum zur Präsentation und Diskussion ihrer Studien und zum Austausch mit Kollegen und Kolleginnen zu bieten, konnte aus Sicht der Organisatoren auch dieses Jahr wieder erreicht werden. Daher planen beide AKs im kommenden Jahr im Rahmen des Geographentags in Tübingen, Ende September 2017, wieder zu einem Workshop einzuladen.

Die Veranstalter bedanken sich bei allen Teilnehmern und Teilnehmerinnen für die hochwertigen Beiträge und den regen Austausch sowie bei den Sponsoren HARRIS, ASD Inc. sowie SphereOptics für die Unterstützung.

Link zum vollständigen Programm und zu den Vorträgen unter:

<https://akfe.geographie.ruhr-uni-bochum.de/Organisation>

Prof. Dr. CORNELIA GLÄSSER, Halle

Hochschulnachrichten

Universität Potsdam

Dissertation von Harald Schernthanner

Herr Mag. rer. nat. HARALD SCHERNTHANNER wurde am 22. September 2015 an der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät der Universität Potsdam mit der Arbeit *Untersuchungen zur räumlichen Analyse und Visualisierung von Mietpreisdaten für Immobilienportale* zum Dr. rer. nat. promoviert.

1. Gutachter: Prof. Dr. HARTMUT ASCHE, Universität Potsdam, Deutschland
2. Gutachter: Univ.-Prof. Dr. ANDREAS KOCH, Universität Salzburg, Österreich
3. Gutachter: Prof. Dr. JULIA SIEMER, University of Regina, Kanada

Kurzfassung:

Der bekannten Maklerweisheit, dass genau drei Dinge bei einer Immobilie wichtig sind: 1. die Lage, 2. die Lage und 3. die Lage wird von Immobilienportalen kaum Beachtung geschenkt. Immobilienportale sammeln seit mehr als einer Dekade geokodierte Informationen zu Immobilien und nutzen diese zur Immobilienpreisschätzung und -visualisierung. Aus geoinformatischer Sicht weist der Status-Quo der von Immobilienportalen eingesetzten Verfahren der Analyse und Visualisierung von Mietpreisdaten erhebliche Mängel auf, die zu räumlich unscharfen und verzerrten Aussagen über Wohnungsmärkte führen.

Die Dissertation verfolgt das Ziel, aus geoinformatischer Sicht eine konzeptionelle Grundlage zur räumlichen Optimierung von Immobilienportalen zu schaffen, und geht dabei von zwei Hypothesen aus, die im Rahmen der Arbeit bewiesen werden:

1. Verfahren der räumlichen Statistik und des Maschinellen Lernens zur Mietpreisschätzung sind den bisher eingesetzten Verfahren der hedonischen Regression überlegen und eignen sich zur räumlichen Optimierung von Immobilienportalen.
2. Die von Immobilienportalen publizierten webbasierten Mietpreiskarten geben nicht die tatsächlichen räumlichen Verhältnisse

auf Immobilienmärkten wieder. Alternative webbasierte Darstellungsformen, wie z.B. „Gridmaps“, sind dem Status-Quo der Immobilienpreiskarten von Immobilienportalen überlegen und visualisieren die tatsächlichen räumlichen Verhältnisse von Immobilienpreisen zweckmäßiger.

Als quantitative Datenbasis wird ein 74.000 Angebotsdaten umfassender multitemporaler und multidimensionaler Datensatz der Stadt Potsdam akquiriert. Der exemplarische Angebotsdatensatz wurde dem Autor im Rahmen des Programms „TransparenzOffensive Immobilienwirtschaft“ des Immobilienportals IMMOBILIENSCOUT24 zur Verfügung gestellt.

Deren Analyse ergibt in Kombination mit geführten Experteninterviews, Literaturstudien und einer technologischen Recherche ein umfassendes, bisher so nicht verfügbares Bild: Es stellt die räumliche Sicht sowie die raumanalytischen und geovisuellen Defizite von Immobilienportalen dar.

Zur Optimierung der raumanalytischen und geovisuellen Defizite werden forschungsbasierte Lösungsansätze herausgearbeitet und teilimplementiert. Methoden des Maschinellen Lernens („Random Forest“, „Künstliche Neuronale Netze“) und räumliche Schätzverfahren („Kriging with external drift“, „Ordinary Cokriging“, „Ordinary Kriging“, „Geographisch Gewichtete Regression“) werden als Alternativen zu den von Immobilienportalen bisher genutzten „nicht räumlichen“ Analyseverfahren zur Preismodellierung untersucht. Zur Evaluierung der Verfahren im Anwendungskontext von Immobilienportalen, wird vom Autor ein Validierungsrahmen zum automatisierten Verfahrensvergleich konzipiert und programmiertechnisch umgesetzt.

Die Forschungsergebnisse der räumlichen Preismodellierung werden in die räumliche Visualisierung von Mietpreisen transferiert. Im Vordergrund steht hierbei die prototypische Entwicklung webbasierter, mittels JavaScript Kartenbibliotheken umgesetzter, Mietpreisdarstellungen. Die prototypischen Geovisualisierungen verfolgen das Ziel einer

Loslösung des Preisbezugs von fachfremd verwendeten Bezugsgeometrien. Die unter Anwendung der Methode des „Gridmapping“ entstandenen Prototypen sind eine Annäherung der wahren Verteilung des Mietpreises im Raum und um einiges schärfer als die auf der hedonischen Regression basierenden Darstellungen. Somit kann die wahre „Topographie“ der Mietpreislandschaft abgebildet werden.

Die Dissertation wurde auf dem Publikationsserver der Universität Potsdam Online veröffentlicht und ist verfügbar unter: <https://publishup.uni-potsdam.de/opus4-ubp/frontdoor/index/index/docId/8949>

Preisträger des Karl-Kraus-Nachwuchsförderpreises

Mit dem Karl-Kraus-Nachwuchsförderpreis sollen herausragende Diplom-, Bachelor- und Master-Arbeiten gewürdigt werden. Der Preis wird seit 2007 gemeinsam von der DGPF, der SGPF (Schweiz) und der OVG (Österreich) verliehen und erinnert an Karl Kraus, den bekannten Hochschullehrer und Lehrbuchautor der TU Wien, der 2006 verstarb.

1. Preis: MAX COENEN, Hannover

Klassifikation von Stereobildern aus Mobile-Mapping Daten mittels Conditional Random Fields

Einleitung

Die Nutzung von mobilen Systemen zur Erfassung von 3D-Geodaten über berührungslos aufnehmende Sensoren gewinnt vor allem im urbanen Raum zunehmend an Bedeutung. Zum Einsatz kommen dabei in der Regel hohe Punktdichten erzeugende Sensoren wie 3D-Laserscanner oder Stereokameras, wobei letztere zusätzlich zu Tiefeninformationen auch Farbinformationen liefern und deutlich kostengünstiger sind. Für viele Anwendungen ist eine Klassifikation der 3D-Daten, also eine Zuweisung von semantischen Objektklassen an Teile der Szene, essenziell. Oft weisen Objekte spezifische räumliche Beziehungen zu-

einander auf, welche als Kontextinformation in der Klassifikation mittels Conditional Random Fields (CRF) (KUMAR & HEBERT 2006) berücksichtigt werden können.

Methodik

Das Ziel der Klassifikation besteht darin, jedem 3D-Punkt einer aus Stereobildern abgeleiteten 3D-Punktwolke ein Klassenlabel aus einer Menge a priori definierter Objektklassen zuzuweisen. Zu diesem Zweck wurde ein segmentbasiertes Klassifikationskonzept entwickelt, welches aus Stereobildsequenzen generierte 3D-Punktwolkensegmente klassifiziert. Die Segmentierung erfolgt in dieser Arbeit mittels des SLIC-Verfahrens (ACHANTA et al. 2012) zunächst im Bildraum und wird anschließend auf die Punktwolke übertragen. Die Segmente bilden die Knoten des dem CRF zugrunde liegenden Graphen. Die Definition der Kanten erfolgt aus Segmentnachbarschaften im 3D-Raum. Für jedes Segment wird eine Reihe von radiometrischen und geometrischen Knoten- und Kantenmerkmalen sowohl aus 2D-Bild- als auch aus 3D-Information bestimmt, welche die Grundlage zur Berechnung der Assoziations- und Interaktionspotenziale des CRF bilden. Für das Assoziationspotenzial wird ein Random Forest (RF) (BREIMAN 2001) als Klassifikator eingesetzt und für das Interaktionspotenzial werden zwei Modelle genutzt: Ein *binäres* Modell, welches

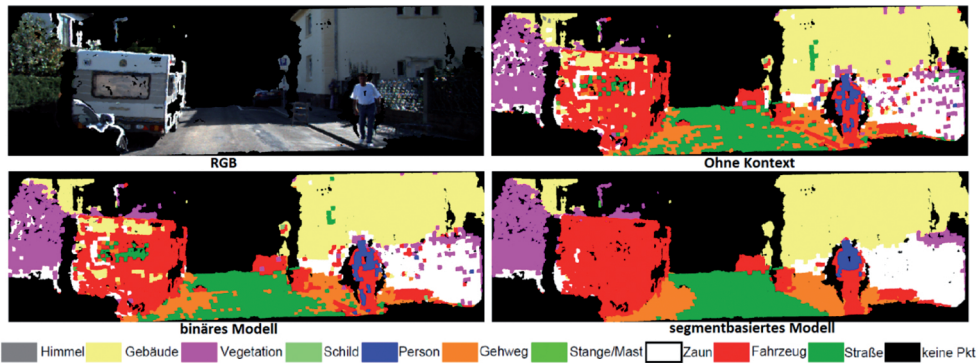


Abb. 1: Klassifikationsergebnis eines Stereomodells unter Verwendung unterschiedlicher Modelle für die Interaktionspotenziale.

die Wahrscheinlichkeit dafür beschreibt, dass benachbarte Segmente zur gleichen Klasse gehören und ein als *segmentbasiert* bezeichnetes Modell, in welchem segmentspezifische Relationen zweier benachbarter Segmente berücksichtigt werden. Das überwachte Training der Potenziale erfolgt anhand von manuell gelabelten Stereobildern. Zur approximativen Bestimmung der Inferenz wird die Loopy Belief Propagation (FREY & MACKAY 1998) verwendet.

Ergebnisse

Die Evaluierung der entwickelten Klassifikationsmethodik erfolgt anhand von Stereosequenzen der KITTI Vision Benchmark Suite (GEIGER et al. 2012), wobei zehn Objektklassen (siehe Abb. 1) unterschieden werden. Bereits ohne die Berücksichtigung von Kontext liefert das entwickelte Klassifikationsverfahren gute Gesamtgenauigkeiten von bis zu knapp über 89%. Die Berücksichtigung von Kontext mittels des binären und insbesondere des *segmentbasierten* Modells führt zu einer Verbesserung der Gesamtgenauigkeit auf bis zu über 91% und zu einer deutlichen Glättung des Klassifikationsergebnisses, wie beispielhaft in Abb. 1 zu sehen ist. Als vergleichsweise problematisch für die Klassifikation stellen sich Klassen mit kleinen Objekten, wie z.B. *Schild* oder *Stange/Mast* heraus, welche bei zunehmenden Segmentgrößen schlechter erkannt werden.

Referenzen

- ACHANTA, R. ET AL., 2012: SLIC Superpixels Compared to State-of-the-Art Superpixel Methods. – IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence **34** (11): 2274–2282.
- BREIMAN, L., 2001: Random Forests. – Machine Learning **45** (1): 5–32.
- FREY, B. & MACKAY, D., 1998: A revolution: Belief propagation in graphs with cycles. – Advances in Neural Information Processing Systems **10**: 479–485.
- GEIGER, A., LENZ, P. & URTASUN, R., 2012: Are we ready for Autonomous Driving? The KITTI Vision Benchmark Suite. – IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition: 3354–3361.
- KUMAR, S. & HEBERT, M., 2006: Discriminative Random Fields. – International Journal of Computer Vision **68** (2): 179–201.

2. Preis: ANGELIKA XAVER, Wien, Österreich

Automated Quality Control Procedures for the International Soil Moisture Network

Introduction

In-situ soil moisture observations are crucial for evaluating and calibrating satellite-derived and model-based soil moisture products. Thus,

the quality of in-situ soil moisture measurements is fundamental. This paper presents novel quality control methods for in-situ soil moisture time series based only on the shape of the time series itself. The algorithms have been developed and tested using soil moisture data from the International Soil Moisture Network (ISMN) (DORIGO et al. 2011a, b), the largest database of in-situ soil moisture observations worldwide.

Data

The International Soil Moisture Network (ISMN; <http://ismn.geo.tuwien.ac.at/>; DORIGO et al. 2011a, b), operated by the Department of Geodesy and Geoinformation of the TU Wien, acts as a data hosting facility for in-situ soil moisture observations. Its main purpose is the provision of reference data for calibrating and validating remotely sensed soil moisture missions, e.g. SMOS, SMAP.

In order to identify errors in soil moisture measurements the characteristic behaviour of soil moisture has to be well understood. The most prominent characteristic is the shape of a soil moisture time series, which is characterised by alternating phases of wetting and drying (HILLEL 1998). Precipitation events may result in a severe rise of soil moisture within only one or a few hours, while the drying process of soil proceeds slowly. These specific properties inhibit the use of typical outlier detection algorithms.

A variety of suspicious measurements can occur caused by malfunction of the sensor. The resulting erroneous shapes within the soil moisture time series can be generalized into three categories:

Breaks: A “break” is a sudden rise or fall in the measurement of time series.

Spikes: A “spike” is as a significant outlier of a single measurement.

Constant Values: A “Saturated plateau” consists of constant sensor readings at a very high soil moisture level. While a “Low level plateau” occurs after a sudden drop (“negative break”) of soil moisture.

Methods

The detection of spurious events is based on the first and second derivative of soil moisture time series, which are calculated by using a Savitzky-Golay filter (SAVITZKY & GOLAY 1964). Based on the characteristic appearance of each type of suspicious events (break, spike and constant values) within the first and second derivative several conditions were developed through empirical investigation. As an example, the conditions for spike detection are summarized below:

1. The soil moisture signal increases or decreases by at least 15%.
2. A spike within the soil moisture time series results in a spike in the second derivative surrounded by smaller peaks in opposite sign. These surrounding peaks have to be of similar size, thus their ratio is approximately one.
3. The coefficient of variation is applied to an interval of 12 hours before and 12 hours after the potential spike, but excluding the measurement of the spike itself. Its value has to be below one. With this condition an over-flagging in the case of noisy data is avoided.

More details, i.e. the conditions for all types of erroneous events and all equations, can be found in DORIGO et al. (2013) and XAVER (2015).

Results

The performance of the automated quality control procedures (for examples see Fig. 1) was evaluated by comparing the flags obtained from the proposed quality control procedures to a visual classification of occurring erroneous measurements. Depending on the event, the detection accuracy varies between 42% and 92%. The percentage of correct observations detected as erroneous measurements, i.e. the number of false alarms, lies under 2%.

The herein described quality control procedures are implemented within the ISMN processing chain. They will help to improve the reliability of validation studies based on in-situ soil moisture observations, and to identify problems which may occur at the measurement sites.

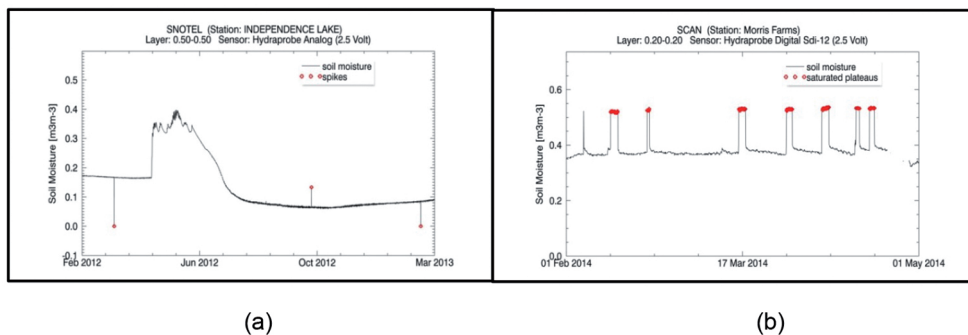


Fig. 1: Examples of flagging results obtained by the automated quality control procedures (a) spikes, (b) saturated plateaus.

References

- DORIGO, W., OEVELEN, P.V., WAGNER, W., DRUSCH, M., MECKLENBURG, S., ROBOCK, A. & JACKSON, T., 2011a: A new international network for in-situ soil moisture data. – *Eos Transactions AGU* **92** (17): 141–142.
- DORIGO, W., WAGNER, W., HOHENSINN, R., HAHN, S., PAULIK, C., XAVER, A., GRUBER, A., DRUSCH, M., MECKLENBURG, S., VAN OEVELEN, P., ROBOCK, A. & JACKSON, R., 2011b: The International Soil Moisture Network: A data hosting facility for global in-situ soil moisture measurements. – *Hydrology and Earth System Sciences* **15** (5): 1675–1698.
- HILLEL, D., 1998: *Environmental soil physics*. – Academic Press.
- SAVITZKY, A. & GOLAY, M.J.E., 1964: Smoothing and differentiation of data by simplified least squares procedures. – *Analytical Chemistry* **36**: 1627–1639.
- XAVER, A., 2015: *Automated Quality Control Procedures for the International Soil Moisture Network*. – Diploma thesis, TU Wien, Austria.

3. Preis: OLIVER KAHMEN, Oldenburg

Entwicklung einer großen Invardraht-Maßverkörperung zur Anwendung in der Industriephotogrammetrie

Motivation und Zielsetzung

Die optische 3D-Messtechnik hat in interdisziplinärer Anwendung höchste Genauigkeitsanforderungen zu erfüllen und bedarf daher individueller Lösungen je nach Applikation. Dieser Beitrag beschreibt die Entwicklung einer solch individuellen Lösung in Form einer 20 m langen Invardraht-Maßverkörperung, welche als maßstabsgebende Referenzstrecke in photogrammetrischen Projekten genutzt werden kann. Durch die lange Maßverkörperung soll ein Genauigkeitserfolg speziell für Anwendungen in großen Volumina erzeugt werden. Zusätzlich wird hier eine kostengünstige Alternative zu Referenzsystemen wie z.B. einem Lasertracker geschaffen.

Die Invardraht-Maßverkörperung

Nach dem Vorbild des Distometer ISETH (KERN & Co. AG 2016) wird eine definierte Spannung an dem 20 m langen Invardraht angebracht. Ein Punkt des Drahtes ist fixiert und kann z.B. auf einem Stativ angebracht werden. Das andere Ende ist verfahrbar gelagert (s.

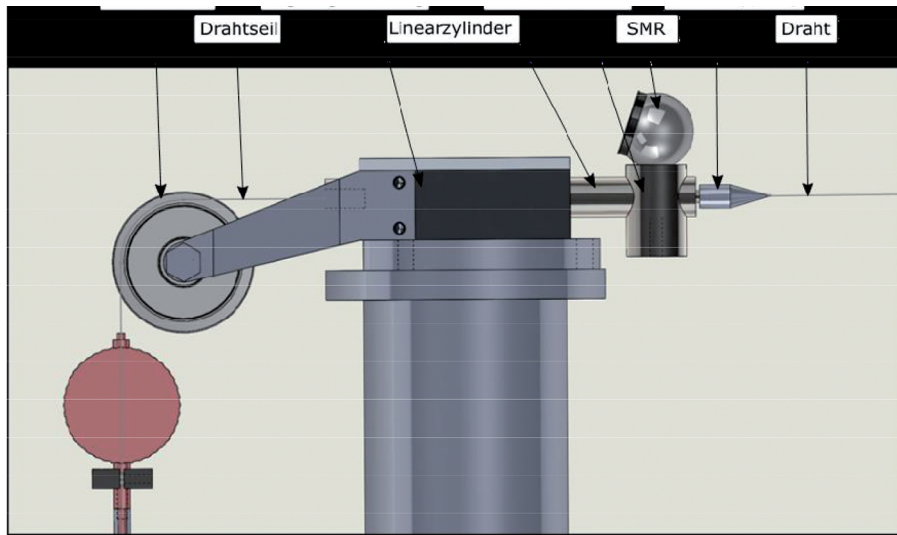


Abb. 1: Lineareinheit der Invardraht-Maßverkörperung in der Seitenansicht.

Abb. 1), wodurch eine Reproduzierbarkeit der Länge gelingt. Durch eine Spannvorrichtung mit metrischer Messeinheit wird der Bezug zwischen wirkender Kraft und realisierter Länge geschaffen. Ein linear verfahrbarer Zylinder mit einem Target, welches als SMR sowohl durch das Kalibriersystem Lasertracker als auch als signalisierte Halbkugel durch die Photogrammetrie detektiert werden kann, sorgt dafür, dass sich der Draht je nach anliegender Spannkraft automatisch auf die definierte Länge einpendelt. Kann eine reproduzierbare Zugspannung aufgebracht werden, ist also auch die Länge des Drahtes reproduzierbar.

Genauigkeitsuntersuchung

Erste praktische Genauigkeitsuntersuchungen zeigen, dass der Draht einen positiven Effekt auf die absolute Genauigkeit der Objektkoordinaten hat. Da der extrapolierende Effekt der photogrammetrischen Unsicherheit bei einer großen Maßverkörperung in vielfach geringerem Ausmaß auftritt, ist die Auswirkung auf die Genauigkeit bei großen Objekten vergleichsweise stärker. Die Reproduzierbarkeit der 20 m langen Strecke definiert durch den Draht be-

trägt 0,026 mm. Die absolute Länge wird im Rahmen einer Kalibrierung mittel Lasertracker definiert. Die Genauigkeit für ein im Test erzeugtes Objekt der Dimensionen $14 \times 14 \times 1 \text{ m}^3$ kann im Vergleich zu einer photogrammetrischen Messung mit üblichen 1,4 m langen CFK-Maßverkörperungen um den Faktor zwei gesteigert werden. REZNICEK et al. (2016 a, b) zeigen in zwei Beiträgen, dass die Ergebnisse bestätigt werden können. Im Rahmen eines internen Forschungsprojekts an der Jade Hochschule Oldenburg werden weitere Einflüsse von Maßstäben in photogrammetrischen Projekten untersucht. Grundsätzlich kann zu großen Maßverkörperungen geraten werden, welche die Dimensionen des Messobjektes möglichst vollständig beschreiben.

Referenzen

- KERN & Co. AG AARAU, 2016: *Distometer ISETH*: www.kern-aarau.ch/fileadmin/user_upload/Aldo/Prospekte/Distometer_ISETH.pdf, (5.2.2016).
- REZNICEK, J., EKKEL, T., HASTEDT, H., LUHMANN, T. & JEPPIG, C., 2016a: Analysen zur Datumsfestlegung in photogrammetrischen Projekten gro-

ber Volumina. – Publikationen der DGPF e.V. 25. – KERSTEN, T. (Hrsg.): Dreiländertagung der DGPF, der OVG und der SGPF: 259–270, 7.–9. Juni 2016, Bern, Schweiz.

REZNICEK, J., EKKEKEL, T., HASTEDT, H., LUHMANN, T., KAHMEN, O. & JEPPIING, C., 2016b: Zum Einfluss

von Maßstäben in photogrammetrischen Projekten großer Volumina. – LUHMANN, T. & SCHUMACHER, C., 2016: Photogrammetrie – Laserscanning – Optische 3D-Messtechnik. – Beiträge der Oldenburger 3D-Tage 2016: 286–295, Wichmann.

Persönliches

Nachruf Prof. Dr. Gunter Menz (18.11.1956 – 9.8.2016)



Am 9. August 2016 verstarb völlig unerwartet Prof. Dr. GUNTER MENZ (Geographisches Institut der Universität Bonn und Zentrum für Fernerkundung der Landoberflächen ZfL) nach einem schweren Unfall. Sein plötzlicher Tod hat im Umfeld der Fernerkundung und Geographie eine große Lücke gerissen. Wir alle haben einen engagierten Hochschullehrer und Wissenschaftler sowie einen liebenswerten und von allen geschätzten Kollegen verloren. GUNTER MENZ hinterlässt seine Frau und zwei Kinder.

Im Juni 2016 hatte MENZ noch das internationale Symposium der European Association of Remote Sensing Laboratories (EARSeL) am Gustav-Stresemann-Zentrum in Bonn mit großem Erfolg organisiert und geleitet. Neben

dem Symposium fanden Workshops und die Junior Space Days statt, die vielen jüngeren Teilnehmern positiv in Erinnerung bleiben werden. GUNTER MENZ hat sich immer wieder mit großem Engagement für die Förderung von Nachwuchswissenschaftlern eingesetzt.

GUNTER MENZ, 1956 in Heidenheim geboren, hat Mathematik und Geographie an der Albert-Ludwigs-Universität in Freiburg i. Brsg. studiert und wollte eigentlich Gymnasiallehrer werden. Seine Staatsexamensarbeit wurde damals durch den Kollegen RÜDIGER MÄCKEL betreut und hat ihn durch die Thematik der Arbeit schon damals mit Ostafrika in Verbindung gebracht. Danach kamen die Dinge jedoch anders als geplant und GUNTER MENZ hat anstelle des Referendardienstes für das höhere Lehramt eine Dissertation bei Prof. HERMANN GOSSMANN angefangen. GOSSMANN war damals PI für die Heat Capacity Mapping Mission (HCMM), einem Satellitensystem, das je ein Bild im sichtbaren und im thermalinfraroten Spektrum aufnahm und eine Gitterweite von 600 m besaß, was damals zu Beginn der 1980er Jahre im Bereich des thermales Infrarots sehr gut war. Die guten Kontakte des Freiburger Institutes zum Deutschen Wetterdienst und zur medizin-meteorologischen Forschungsstelle des DWD in Freiburg waren der Grund für sein 1987 abgeschlossenes Dissertationsthema „Ableitung einer großmaßstäbigen Karte der Wärmebelastung im Raum Freiburg-Basel mit Hilfe von Satellitendaten – ein Beitrag zur Erzeugung von Bioklimakarten auf der Basis eines geographischen Informationssystemes“, die in den Freiburger Geographischen Heften 27, 1987 publiziert wurde. Da es damals noch keine nennenswer-

ten Geoinformationssysteme gab und auch die digitale Bildverarbeitung von Satellitendaten oftmals nur extern beim DLR oder nach damaligem Namen beim DFVLR möglich war, musste GUNTER MENZ seine Software zur Datenanalyse selber programmieren, was durch die Tatsache erleichtert wurde, dass das Freiburger Institut in dieser Zeit einen eigenen Multi-User-Rechner bekam und somit diese Arbeiten im eigenen Hause durchgeführt werden konnten. Diese eigene Software-Entwicklung hat GUNTER MENZ nachhaltig geprägt und ihm wissenschaftliche Möglichkeiten zur Datenanalyse eröffnet, die damals für den „normalen“ Jungwissenschaftler meist nicht zugänglich waren.

Danach ging es Schlag auf Schlag – GUNTER MENZ wechselte 1988 an das Geographische Institut der Universität Bonn zu MATTHIAS WINIGER, der gerade aus Bern berufen wurde, um unter anderem in Bonn eine schlagkräftige Fernerkundung zu etablieren. GUNTER MENZ hat sich dann in Bonn 1993 an der Universität Bonn mit einer Arbeit über die Modellierung von Niederschlag in einem semiariden Ökosystem in Ostafrika mithilfe von Satellitendaten habilitiert. In diesem Fall waren es vor allem METEOSAT-Daten, die Verwendung fanden. Die Habilitationsschrift wurde in den Erdwissenschaftlichen Forschungen, Band XXXIV, im Auftrag der Akademie der Wissenschaften und der Literatur Mainz beim Franz Steiner Verlag, Stuttgart, publiziert.

Nach der Habilitation begannen seine Wanderjahre, während derer er vielfältige Erfahrungen an verschiedenen Geographischen Instituten gewinnen konnte. Er arbeitete als Vertretungsprofessor in Mainz und Bonn und im Jahr 1995 als Gastwissenschaftler an der University of California, Santa Barbara bei JACK ESTES, was seine Arbeiten in den nachfolgenden Jahren maßgeblich beeinflusst hat.

1996 wurde er C3-Professor für Remote Sensing am Geographischen Institut der Universität Jena und im Jahr 1998 folgte er dem Ruf auf den Lehrstuhl für Fernerkundung an der Universität Bonn.

Er baute sehr erfolgreich die Remote Sensing Research Group (RSRG) am Geographischen Institut der Universität Bonn (GIUB) auf und gründete mit weiteren Kollegen das interdisziplinäre Zentrum für Fernerkundung

der Landoberfläche (ZfL), dessen Leiter er von 2001 bis 2010 war. Als Sprecher des Arbeitskreises Fernerkundung des VGDH, als engagiertes Mitglied der European Association of Remote Sensing Laboratories (EARSeL) und als Projektleiter in zahlreichen Forschungsprojekten trug er maßgeblich zur Weiterentwicklung der Fernerkundungsforschung bei. Seine Aktivitäten fokussierten immer wieder mit unterschiedlichen Themen auf Afrika. Neben Forschungsprojekten in Marokko, Ghana und Benin organisierte er zusammen mit RUDI GOOSSENS von der Universität Gent/Belgien mehrere Workshops der EARSeL-Special Interest Group Developing Countries, unter anderem 2002 in Bonn.

Sehr produktiv war er auch als Hochschullehrer und Doktorvater. „Menz-SchülerInnen“ sitzen in allen wichtigen deutschen und EU-Institutionen, in denen es um Fernerkundung geht. GUNTER MENZ war ein fachlich ausgesprochen kompetenter und sehr menschlicher Kollege. Er hat in verschiedenen Funktionen Verantwortung übernommen und – häufig inspiriert durch seine Erfahrungen in den USA – immer wieder neue Ideen eingebracht. Sein Beitrag zur Weiterentwicklung der Geographie und sein Rat bei großen wie kleinen Problemen werden uns fehlen. Seine Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter verlieren einen prägenden Mentor und Doktorvater, die Studierenden den Vertrauensdozenten und seine Kolleginnen und Kollegen einen erfahrenen, klugen und engagierten Hochschullehrer. Wir alle sind ihm zu großem Dank verpflichtet.

GUNTER MENZ wurde nur 59 Jahre alt. Am 18.11.2016, seinem 60. Geburtstag, fand am Geographischen Institut der Universität Bonn ein großes Gedenkkolloquium mit internationaler Beteiligung von Freunden, Weggefährten, Kollegen und Schülern statt. Es bot einen sehr angemessenen Rahmen. GUNTER hätte an der Veranstaltung bestimmt sehr viel Freude gehabt.

Unser Mitgefühl gilt seiner Frau und seinen beiden Söhnen. Wir können diesen Verlust noch gar nicht fassen, sind sehr traurig und vermissen ihn.

EBERHARD PARLOW, Basel, Schweiz

Nachruf Albert Wiedemann



Am 4. Mai 2016 verstarb in Berlin plötzlich und völlig unerwartet unser lieber Freund und geschätzter Fachkollege Prof. ALBERT WIEDEMANN. Über 25 Jahre war er in den Bereichen Photogrammetrie und Geoinformation aktiv und hat sich besondere wissenschaftliche Verdienste erworben. Er wurde nur 51 Jahre alt und hinterlässt seine Frau und eine Tochter.

ALBERT WIEDEMANN wurde am 20. Januar 1965 in Hennhofen bei Augsburg geboren. Nach dem Abitur in Dillingen an der Donau studierte er 1984 Geodäsie an der TU Berlin, war studentische Hilfskraft am Fachgebiet „Photogrammetrie und Kartographie“ und diplomierte 1989 als Vermessungsingenieur. Nach Studium und Wehrdienst, unter anderem in der Abteilung des Militärischen Geowesens, trat er eine Stelle am damaligen „Institut für Angewandte Geodäsie“ an. In Frankfurt beschäftigte er sich im Projekt „Geowissenschaftliches Informationssystem Antarktis“ intensiv mit der Fernerkundung polarer Gebiete.

Nach der Rückkehr an die TU Berlin im Jahr 1993 entdeckte ALBERT WIEDEMANN als wissenschaftlicher Mitarbeiter bei JÖRG ALBERTZ seine Leidenschaft für die Architekturphotogrammetrie. 1998 konzipierte ALBERT WIEDEMANN in Zusammenarbeit mit DOROTHÉE SACK vom „Fachgebiet Historische Bauforschung“ an der TU Berlin die integrierte Lehrveranstaltung „Geodäsie für Denkmalpfleger“ in dem seinerzeit neu eingerichteten Masterstudiengang „Denkmalpflege“.

Von 2002 bis 2004 war ALBERT WIEDEMANN leitender Ingenieur im Projekt Archimedes3D der FPK Ingenieurgesellschaft mbH in Berlin. In der Zeit 2002/2003 war er für ein Guest Scholarship am Getty Conservation Institute in Los Angeles beurlaubt. Dort erarbeitete er die Grundlagen für sein „Handbuch Bauwerksvermessung – Geodäsie, Photogrammetrie, Laserscanning“. 2004 wechselte er zur BSF Swissphoto GmbH in Schönefeld und übernahm die Stelle als Produktionsleiter.

2014 folgte ALBERT WIEDEMANN schließlich einem Ruf als Professor für „Vermessungskunde und Geoinformationssysteme“ an die Fachhochschule Erfurt. Mit viel Freude und Engagement hat er seine Berufung angenommen und übernahm dort neben der Lehre auch gleich die Funktion des Prorektors für Forschung sowie die Öffentlichkeitsarbeit. Er hatte noch viel vor.

Mit ihm verlieren seine Studierenden, Kolleginnen und Kollegen einen fachlich erfahrenen, aufrechten, engagierten und pflichtbewussten Hochschullehrer. Mit seiner freundschaftlichen unkomplizierten Art, der Lust am Lernen und der Freude an der Wissensvermittlung hat er viele seiner Weggefährten inspiriert und zusammengeführt. Wir danken ALBERT WIEDEMANN für sein Lebenswerk und werden seine uneingeschränkte Hilfsbereitschaft, die anregenden Diskussionen mit ihm und seine kompetente Meinung vermissen.

VOLKER RODEHORST, Weimar

Wechsel bei Schriftleitung und Redaktionsbeirat

Änderung in Schriftleitung und Redaktionsbeirat

Mit dem Wechsel vom Schweizerbart- zum Springer-Verlag geht auch eine Ära der Schriftleitung zu Ende. Derjenige Schriftleiter, der während der gesamten Zeit beim Schweizerbart-Verlag die PFG mitgestaltet hat, wird uns aus Altersgründen verlassen: Dr.-Ing. ECKHARDT SEYFERT. In den ersten Jahren bei Schweizerbart mit einer relativ kleinen Redaktion hat er die Zeitschrift maßgeblich mitgestaltet. Später war ECKHARDT SEYFERT eine große Hilfe durch seine Arbeit im Hintergrund. Er entwarf Titelseiten, beurteilte Artikel kritisch, um Lösungen von Problemfällen zu entwickeln, und unterstützte, wenn Not am Mann war. Außerdem hat ECKHARDT SEYFERT immer in angenehmer Weise die Perspektive einer Behörde in der mehrheitlich universitär besetzten Redaktion vermittelt. In diesem Sinne danken wir ECKHARDT SEYFERT von ganzem Herzen für seine zwei Jahrzehnte als Schriftleiter der PFG.

Prof. Dr. rer. nat. LARS BERNARD von der TU Dresden trat der Schriftleitung der PFG Mitte 2012 bei und musste jetzt wegen vieler anderer Verpflichtungen die Aufgabe abgeben. Wir danken LARS BERNARD für seine engagierte Mitgestaltung der Geoinformatik in der PFG. Er konnte seine vielfältigen Erfahrungen aus dem Umfeld von AGILE (Association of Geographic Information Laboratories for Europe), EuroSDR und OGC einbringen. Gleichzeitig begrüßen wir Prof. Dr.-Ing. JAN-HENRIK HAUNERT als künftigen Schriftleiter für die Geoinformation. Er hat erst vor Kurzem den Lehrstuhl Geoinformation am Institut für Geodäsie und Geoinformation der Universität Bonn übernommen. Wir wünschen ihm gutes Gelingen bei der Bewältigung beider neuen Aufgaben.

Prof. Dr. PATRICK HOSTERT war seit Mitte 2007 Mitglied im Redaktionsbeirat der PFG. PATRICK HOSTERT hat immer die Redaktion unterstützt, wenn spezielle Fragen zu beantworten waren. Wir danken ihm für diese Unterstützung.

WOLFGANG KRESSE, Neubrandenburg

Neuerscheinung

POMASKA, G., 2016: *Bildbasierte 3D-Modellierung – Vom digitalen Bild bis zum 3D-Druck.* – Wichmann-Verlag, 252 Seiten. 978-3-87907-613-0

Dieses Buch konzentriert sich auf die Darstellung bildbasierter 3D-Modellierungen und deren Anwendung im Geo-, Bau- und Planungsbereich – vom Replikat einer Statue bis zur Rekonstruktion eines Bauwerks. Mit der Verfügbarkeit leistungsfähiger Digitalkameras, Rechner-technologie und Open-Source-Software bleiben bildbasierte 3D-Modellierungen nicht nur Spezialisten der Photogrammetrie vorbehalten, sondern halten im gesamten Geo-, Bau- und Planungsbereich Einzug – vom Replikat einer Statue bis zur Rekonstruktion eines Bauwerks.

Das Buch ist für Anwender aus Anwendersicht geschrieben und erläutert den Einsatz aktueller Techniken anhand von Arbeiten aus Architektur und Denkmalpflege sowie mit musealen Objekten. Es dokumentiert die 3D-Modellierung mit Digitalkamera und PC und beschreibt sowohl die Aufnahmetechniken als auch die Handhabung der aktuellen Freeware und Open-Source-Programme zur Erstellung von virtuellen und realen 3D-Objekten. Mit der Einführung in die Programmiersprache Python und der Computer-Vision-Bibliothek OpenCV wird darüber hinaus Hintergrundwissen vermittelt. Das Buch wendet sich an Praktiker, Studierende und Wissenschaftler, die virtuelle Objekte erstellen und veröffentlichen oder auf dem 3D-Drucker materiell ausgeben möchten.

Veranstaltungskalender

2017

1. – 2. Februar: **Oldenburger 3D Tage in Oldenburg**. jade-hs.de/fachbereiche/bauwesen-und-geoinformation/geoinformation/oldenburger-3d-tage

24. – 26. Februar: **International Conference on Pattern Recognition Applications and Methods (ICPRAM 2017)**, in **Porto, Portugal**. icpram.org

5. – 7. März: **Joint Urban Remote Sensing Event (JURSE 2017)**, in **Dubai, Vereinigte Arabische Emirate**. jurse2017.com

6. – 8. Mai: **10th International Symposium On Mobile Mapping Technology (MMT2017)**, in **Kairo, Ägypten**. mmt2017.aast.edu

9. – 10. Mai: **16. Internationales 3D-Forum in Lindau**. 3d-forum.li

5. – 9. Juni: **FRINGE 2017**, in **Helsinki, Finnland**. fringe.esa.int

6. – 9. Juni: **ISPRS Hannover Workshop** mit HRIGI17 – High-Resolution Earth Imaging for Geospatial Information, CMRT17 – City Models, Roads and Traffic und EuroCOW – European Calibration and Orientation Workshop. ipi.uni-hannover.de/hrigi17.html

20. – 27. Juli: **International Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR 2016)**, in **Honolulu, HI, USA**. cvpr2017.thecvf.com

23. – 28. Juli: **International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS 2017)**, in **Fort Worth, FL, USA**. igarss2017.org

4. – 7. September: **International Conference on Unmanned Aerial Vehicles in Geomatics in Bonn**. uavg17.ipb.uni-bonn.de

11. – 15. September: **56. Photogrammetrische Woche**, in **Stuttgart**. ifp.uni-stuttgart.de/phowo

18. – 22. September: **ISPRS Geospatial Week in Wuhan, China**. zhuanti.3snews.net/2016/ISPRS

26. – 28. September: **Intergeo 2017 in Berlin**. intergeo.de

22. – 29. Oktober: **International Conference on Computer Vision (ICCV 2017)**, in **Venedig, Italien**. iccv2017.thecvf.com

Weitere Konferenzen und Workshops finden sich beispielsweise unter:
isprs.org/calendar/Default.aspx
conferences.visionbib.com

Korporative Mitglieder

Firmen

AEROWEST GmbH
 AICON 3D Systems GmbH
 aphos Leipzig AG
 Bernhard Harzer Verlag GmbH
 Blom Deutschland GmbH
 Brockmann Consult GmbH
 bsf swissphoto GmbH
 Ing. Büro Dr. Carls, Luftbilddatenbank
 DELPHI IMM GmbH
 Deutsches Bergbau-Museum
 EFTAS Fernerkundung Technologietransfer GmbH
 ESG Elektroniksystem- und Logistik-GmbH
 Esri Deutschland GmbH
 EUROPEAN SPACE IMAGING
 Eurosense GmbH
 Exelis Visual Information Solutions GmbH
 fokus GmbH
 GAF GmbH
 GeoCart Herten GmbH
 Geoinform. & Photogr. Engin. Dr. Kruck & Co. GbR
 geoplana Ingenieurgesellschaft mbH
 GEOSYSTEMS GmbH
 GGS - Büro für Geotechnik, Geoinformatik, Service
 Hansa Luftbild AG
 IAGB mbH
 IGI – Ingenieur-Gesellschaft für Interfaces mbH
 ILV-Fernerkundungs GmbH
 Infoterra GmbH
 INVERS - Industrievermessung & Systeme
 Leica Geosystems Technologies GmbH
 Linsinger ZT GmbH
 Messbildstelle GmbH
 MILAN Geoservice GmbH
 M.O.S.S. Computer Grafik Systeme GmbH
 PHOENICS GmbH
 Planet Labs Germany GmbH
 PMS - Photo Mess Systeme AG
 RIEGL Laser Measurement Systems GmbH
 RWE Power AG, Geobasisdaten/Markscheidewesen
 technet GmbH
 Terra-Messflug GmbH
 topometric GmbH
 TRIGIS GmbH
 Trimble Germany GmbH
 trimetric 3D Service GmbH
 VDE Verlag GmbH, Herbert Wichmann Verlag
 VEXEL Imaging GmbH

Behörden

Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft
 Bundesamt für Kartographie und Geodäsie
 Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz
 DB Netz AG
 Hessisches LA für Bodenmanagement und Geoinformation
 Innenministerium NRW, Gruppe Vermessungswesen
 Institut für Umwelt- und Zukunftsforschung
 LA für Digitalisierung, Breitband, Vermessung und Geoinformation, Bayern
 LA für Geoinformation und Landentwicklung, BW
 LA für Vermessung und Geoinformation, Schleswig-Holstein
 LB Geoinformation und Vermessung, Hamburg
 LB für Küstenschutz, Nationalpark und Meeresschutz, SH
 Landeshauptstadt Düsseldorf, Vermessungs- und Liegenschaftsamt
 Landesvermessung und Geobasisinformation Niedersachsen
 Märkischer Kreis, Vermessungs- und Katasteramt
 Regierungspräsident Tübingen, Abt. 8 Forstdirektion
 Regionalverband Ruhr
 Staatsbetrieb Sachsenforst
 Stadt Köln, Amt für Liegenschaften, Vermessung und Kataster
 Stadt Wuppertal, Vermessung, Katasteramt und Geodaten
 Thüringer LA für Vermessung und Geoinformation
 Zentrum für Geoinformationswesen der Bundeswehr

Hochschulen

BTU Cottbus, Lehrstuhl für Vermessungskunde
 FH Frankfurt a.M., FB 1, Studiengang Geoinformation
 FH Mainz, Institut für Raumbezogene Informations- und Messtechnik
 HCU HafenCity Universität Hamburg, Geomatik
 HfT Stuttgart, Vermessung und Geoinformatik
 HS Bochum, FB Vermessung und Geoinformatik
 HS Karlsruhe für Technik und Wirtschaft, Fakultät für Geomatik
 HTW Dresden, FB Vermessungswesen/
 Kartographie
 Jade Hochschule, Institut für Angewandte Photogrammetrie und Geoinformatik

- LUH Hannover, Institut für Kartographie und Geoinformatik
LUH Hannover, Institut für Photogrammetrie und Geoinformation
MLU Halle, FG Geofernerkundung
Rhein Ahr Campus, Anwendungszentrum für multimodale und luftgestützte Sensorik
Ruhr-Uni Bochum, Geographisches Institut
RWTH Aachen, Geodätisches Institut
TU Bergakademie Freiberg, Institut für Markscheidewesen und Geodäsie
TU Berlin, Computer Vision & Remote Sensing
TU Berlin, Institut für Geodäsie und Geoinformationstechnik
TU Braunschweig, Institut für Geodäsie und Photogrammetrie
TU Clausthal, Institut für Geotechnik und Markscheidewesen
TU Darmstadt, Institut für Geodäsie, FG Fernerkundung und Bildanalyse
TU Dresden, Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung
TU München, FG Photogrammetrie und Fernerkundung
TU München, Lehrstuhl für Geoinformatik
TU Wien, Departement für Geodäsie und Geoinformation
Uni Bonn, Institut für Photogrammetrie
Uni Göttingen, Abt. Waldinventur und Fernerkundung
Uni Heidelberg, IWR Interdisziplinäres Zentrum für Wissenschaftliches Rechnen
Uni Kassel, FG Grünlandwissenschaften und Rohstoffe
Uni Kiel, Geographisches Institut
Uni Stuttgart, Institut für Photogrammetrie
Uni Trier, Institut für Umweltfernerkundung und Geoinformatik
Uni Würzburg, Geographisches Institut
Uni zu Köln, Geographisches Institut

Jahresübersicht 2016

Vorstand der DGPF

Präsident

Prof. Dr.-Ing. UWE STILLA
Technische Universität München
Fachgebiet Photogrammetrie und Fernerkundung
Arcisstraße 21, 80333 München
Tel.: 089 / 289-22671
Fax: 089 / 289-23202
e-mail: stilla@tum.de

Vizepräsident

Prof. Dr.-Ing. UWE SÖRGE
Universität Stuttgart
Institut für Photogrammetrie
Geschwister-Scholl-Str. 24d, 70174 Stuttgart
Tel.: 0711 / 685-83336
Fax: 0711 / 685-83297
e-mail: uwe.soergel@ifp.uni-stuttgart.de

Sekretär

Prof. Dr.-Ing. EBERHARD GÜLCH
Hochschule für Technik Stuttgart
Fakultät Vermessung, Mathematik und Informatik
Schellingstr. 24, 70174 Stuttgart
Tel.: 0711 / 8926-2610
Fax: 0711 / 8926-2556
e-mail: sekretae@dgpf.de

Schatzmeister

Dr.-Ing. HERBERT KRAUSS
Rodenkirchener Straße 47, 50997 Köln
Tel.: 02233 / 22514
Fax: 032 222 / 427178
e-mail: mh.krauss@t-online.de

Hauptschriftleiter

Prof. Dr.-Ing. WOLFGANG KRESSE
Hochschule Neubrandenburg
Fachbereich Landschaftswissenschaften und
Geomatik
Brodaer Straße 2, 17033 Neubrandenburg
Tel.: 0395 / 5693-4106
Fax: 0395 / 5693-4999
e-mail: kresse@hs-nb.de

Beirat

Prof. Dr. GEORG BARETH
Universität zu Köln
Geographisches Institut

Albertus-Magnus-Platz, 50923 Köln
Tel.: 0221 / 470-6552
Fax: 0221 / 470-1638
e-mail: g.bareth@uni-koeln.de

Beirat

Prof. Dr. CORNELIA GLÄSSER
Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
Institut für Geographie
Von-Seckendorff-Platz 4, 06120 Halle
Tel.: 0345 / 55-260 20
Fax: 0345 / 55-271 68
e-mail: cornelia.glaesser@geo.uni-halle.de

Beirat

Dr. rer. nat. KLAUS-ULRICH KOMP
EFTAS Fernerkundung
Technologietransfer GmbH
Oststraße 2-18, 48145 Münster
Tel.: 0251 / 1330-70
Fax: 0251 / 1330-733
e-mail: klaus.komp@eftas.com

Beirat

Prof. Dr.-Ing. habil. HANS-GERD MAAS
Technische Universität Dresden
Professur für Photogrammetrie
Helmholtzstraße 10, 01062 Dresden
Tel.: 0351 / 463-32859
Fax: 0351 / 463-37266
e-mail: hans-gerd.maas@tu-dresden.de

Beirat

Prof. Dr.-Ing. HEINZ-JÜRGEN PRZYBILLA
Hochschule Bochum
Fachbereich Geodäsie
Lennershofstraße 140, 44801 Bochum
Tel.: 0234 / 321-10517
Fax: 0234 / 321-14735
e-mail: heinz-juergen.przybilla@hs-bochum.de

Beirat

Prof. Dr.-Ing. habil. MONIKA SESTER
Leibniz Universität Hannover
Institut für Kartographie und Geoinformatik (ikg)
Appelstraße 9a, 30167 Hannover
Tel.: 0511 / 762-3588
Fax: 0511 / 762-2780
e-mail: monika.sester@ikg.uni-hannover.de

Ehrenmitglieder der DGPF

Prof. Dr.-Ing. FRIEDRICH ACKERMANN, Stuttgart
 Prof. Dr.-Ing. WOLFGANG FÖRSTNER, Bonn
 Prof. Dr. GERD HILDEBRANDT, Freiburg
 Prof. Dr.-Ing. GOTTFRIED KONECNY, Hannover
 Direktor FRITZ ERICH KRAUSE, Münster
 Dr.-Ing. HERBERT KRAUSS, Köln
 Prof. Dr.-Ing. KLAUS SZANGOLIES, Jena

Arbeitskreise der DGPF

Sensoren und Plattformen: Flugzeuge und Satelliten

Prof. Dr. NORBERT HAALA
 Universität Stuttgart
 Institut für Photogrammetrie
 Geschwister-Scholl-Straße 24d, 70174 Stuttgart
 Tel.: 0711 / 685-83383
 Fax: 0711 / 685-83297
 e-mail: norbert.haala@ifp.uni-stuttgart.de

Dr. KARSTEN JACOBSEN
 Leibniz Universität Hannover
 Institut für Photogrammetrie und GeoInformation
 Nienburger Str.1, 30167 Hannover
 Tel.: 0511 / 762-2485
 Fax: 0511 / 762-2483
 e-mail: jacobsen@ipi.uni-hannover.de

Photogrammetrie: Optische 3D-Messtechnik

Dr.-Ing. DANILO SCHNEIDER
 Technische Universität Dresden
 Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung
 Helmholtzstraße 10, 01062 Dresden
 Tel: 0351 / 463-33144
 Fax: 0351 / 463-37266
 e-mail: danilo.schneider@tu-dresden.de

Photogrammetrie: Bildanalyse – Computer Vision

Prof. Dr.-Ing. EBERHARD GÜLCH
 Hochschule für Technik Stuttgart
 Fakultät Vermessung, Mathematik und Informatik
 Schellingstr. 24, 70174 Stuttgart
 Tel.: 0711 / 8926-2610
 Fax: 0711 / 8926-2556
 e-mail: eberhard.guelch@hft-stuttgart.de

Fernerkundung: Methodik – RADAR und LiDAR

Prof. Dr. PETER KRZYSZEK
 Hochschule für angewandte Wissenschaften, München
 Fakultät für Geoinformation
 Karlstr. 6, 80333 München
 Tel.: 089 / 1265-2617
 Fax: 089 / 1265-2698
 e-mail: peter.krzyszek@hm.edu

Fernerkundung: Methodik – Multi- und Hyperspektral

Dr.-Ing. ANDRÁS JUNG
 Universität Leipzig
 Institut für Geographie, Abt. für Geoinformatik
 und Fernerkundung
 Johannisallee 19a, 04103 Leipzig
 Tel.: 0341 / 973-2785
 Fax: 0341 / 973-8619
 e-mail: andras.jung@uni-leipzig.de

Dr. JONAS FRANKE
 Remote Sensing Solutions GmbH
 Wörthstraße 49, 81667 München
 Tel.: 089 / 48954765
 Fax: 089 / 48954767
 e-mail: franke@rsggmbh.de

Fernerkundung: Auswertung von Fernerkundungsdaten

Prof. Dr. VOLKER HOCHSCHILD
 Universität Tübingen
 Physische Geographie und GIS
 Geographisches Institut
 Rümelinstraße 19 – 23, 72070 Tübingen
 Tel.: 07071 / 2975316
 Fax: 07071 / 295378
 e-mail: volker.hochschild@uni-tuebingen.de

Prof. Dr. BIRGIT KLEINSCHMIT
 Technische Universität Berlin
 Institut für Landschaftsarchitektur und Umweltplanung
 Straße des 17. Juni 145, 10623 Berlin
 Tel.: 030 / 314-72847
 Fax: 030 / 314-23507

Fernerkundung: Anwendung – Geologie

Dr. HANS-ULRICH WETZEL
 GeoForschungsZentrum Potsdam (GFZ)
 PB 1.5, Telegrafenberg, 14473 Potsdam
 Tel.: 0331 / 288-1194
 Fax: 0331 / 288-1192
 e-mail: wetz@gfz-potsdam.de

Geoinformatik: Methodik

Prof. Dr.-Ing. JAN-HENRIK HAUNERT
 Universität Bonn
 Institut für Geodäsie und Geoinformation
 Meckenheimer Allee 172, 53115 Bonn
 Fon: 0228 / 73-1750
 Fax: 0228 / 73-1753
 e-mail: haunert@igg.uni-bonn.de

Jun.-Prof. Dr. BERNHARD HÖFLE
 Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg
 Geographisches Institut / Abteilung für Geoinformatik

Berliner Straße 48, 69120 Heidelberg
 Tel.: 06221 / 54-5594
 Fax: 06221 / 54-4529
 e-mail: hoefle@uni-heidelberg.de

**Fernerkundung: Anwendung – 3D-Stadtmodelle
 (gemeinsamer Arbeitskreis von DGPF und DGfK)**

Dipl.-Ing. BETTINA PETZOLD
 Hessisches Landesamt
 für Bodenmanagement und Geoinformation
 Schaperstraße 16, 65195 Wiesbaden
 Tel.: 0611 / 535-5372
 Fax: 0611 / 535-5351
 e-mail: bettina.petzold@hvb.g.hessen.de
 www.hvb.g.hessen.de

Dipl.-Ing. EKKEHARD MATTHIAS
 Freie und Hansestadt Hamburg,
 Landesbetrieb Geoinformation und Vermessung,
 Neuenfelder Straße 19, 21109 Hamburg
 Tel.: 040 / 42826-5750
 Fax: 040 / 42826-5926
 e-mail: ekkehard.matthias@gv.hamburg.de
 www.geoinfo.hamburg.de

Bildung, Standards und Recht: Aus- und Weiterbildung

Prof. Dr.-Ing. ANSGAR BRUNN
 Hochschule für angewandte Wissenschaften Würzburg-Schweinfurt
 Fakultät für Kunststofftechnik und Vermessung
 Röntgenring 8, 97070 Würzburg
 Tel.: 0931 / 3511-8212
 e-mail: ansgar.brunn@fhws.de

Dr.-Ing. GÖRRES GRENZDÖRFFER
 Universität Rostock, Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät
 Professur Geodäsie und Geoinformatik
 Justus-v.-Liebig-Weg 6, 18051 Rostock
 Tel.: 0381 / 498-3206
 Fax: 0381 / 498-3202
 e-mail: goerres.grenzdoerffer@uni-rostock.de

Bildung, Standards und Recht: Standardisierung und Qualitätssicherung

Dipl.-Ing. SVEN BALTRUSCH
 Landesamt für Innere Verwaltung Mecklenburg-Vorpommern
 Amt für Geoinformation, Vermessung und Katasterwesen
 Lübecker Straße 289, 19059 Schwerin
 Tel.: 0385 / 588-56322
 e-mail: sven.baltrusch@laiv-mv.de

Bildung, Standards und Recht: Recht und Geodaten

Ansprechpartnerin DGPF: Dipl.-Ing. MARTINA BRAUNE
 Landesvermessung und Geobasisinformation Brandenburg
 Heinrich-Mann-Allee 103, 14473 Potsdam
 Tel.: 0331 / 8844-330
 e-mail: martina.braune@geobasis-bb.de

Berichterstatter für ISPRS und CIPA

Kommission I – Image Data Acquisition - Sensors and Platforms

Dr.-Ing. FRANZ KURZ
 82230 Oberpfaffenhofen
 e-mail: franz.kurz@dlr.de

Kommission II – Theory and Concepts of Spatial Information Science

Prof. Dr.-Ing. MONIKA SESTER
 30167 Hannover
 e-mail: monika.sester@ikg.uni-hannover.de

Kommission III – Photogrammetric Computer Vision and Image Analysis

Prof. Dr.-Ing. STEFAN HINZ
 76128 Karlsruhe
 e-mail: stefan.hinz@kit.edu

Kommission IV – Geodatabases and Digital Mapping

Dr.-Ing. VOLKER WALTER
 70174 Stuttgart
 e-mail: volker.walter@ifp.uni-stuttgart.de

Kommission V – Close-Range Sensing: Analysis and Applications

Dr.-Ing. DANILO SCHNEIDER
 01062 Dresden
 e-mail: danilo.schneider@tu-dresden.de

Kommission VI – Education and Outreach

Dipl.-Inf. GERT KÖNIG
 10623 Berlin
 e-mail: gerhard.koenig@tu-berlin.de

Kommission VII – Thematic Processing, Modeling and Analysis of Remotely Sensed Data

Dr.-Ing. UWE WEIDNER
 76128 Karlsruhe
 e-mail: weidner@ipf.uni-karlsruhe.de

Kommission VIII – Remote Sensing Applications and Policies

Prof. Dr. IRMGARD NIEMEYER

52425 Jülich

e-mail: i.niemeyer@fz-juelich.de

CIPA – Internationales Komitee für Architekturphotogrammetrie

Prof. Dr.-Ing. MICHAEL SCHERER

44780 Bochum

e-mail: michael.scherer@ruhr-uni-bochum.de

PFG – Jahrgang 2016, Heft 1 – 6

Inhaltsverzeichnis Jahrgang 2016

Editorial

KRESSE, W.: Abschied vom Schweizerbart-Verlag	269
---	-----

Originalbeiträge

ALRAJHI, M. & HEIPKE, C.: Automatic Generation of Orthorectified High Resolution Satellite Imagery – a Case Study for Saudi Arabia	5
AHMADIAN, N., BORG, E., ROTH, A. & ZÖLITZ, R.: Estimating the Leaf Area Index of agricultural crops using multi-temporal dual-polarimetric TerraSAR-X data: A case study on North East Germany	301
BARETH, G., BENDIG, J., TILLY, N., HOFFMEISTER, D., AASEN, H. & BOLTEN, A.: A Comparison of UAV- and TLS-derived Plant Height for Crop Monitoring: Using Polygon Grids for the Analysis of Crop Surface Models (CSMs)	85
CAO, J., YUAN, X. & FANG, Y.: Tri-Stereo Model Orientation of High-Resolution Satellite Imagery Combining Ground Control Points and Lines	125
DAHMS, T., SEISSIGER, S., BORG, E., VAJEN, H., FICHELTMANN, B. & CONRAD, C.: Important Variables of a RapidEye Time Series for Modelling Biophysical Parameters of Winter Wheat	285
JACOBSEN, K., TOPAN, H., CAM, A., ÖZENDI, M. & ORUC, M.: Image Quality Assessment of Pléiades-1A Triplet Bundle and Pan-sharpened Images	141
KERSTEN, T.P., PRZYBILLA, H.-J. & LINDSTAEDT, M.: Investigations of the Geometrical Accuracy of Handheld 3D Scanning Systems	271
KAASALAINEN, S., NEVALAINEN, O., HAKALA, T. & ANTTILA, K.: Incidence Angle Dependency of Leaf Vegetation Indices from Hyperspectral Lidar Measurements	75
RESSL, C., BROCKMANN, H., MANDLBURGER, G. & PFEIFER, N.: Dense Image Matching vs. Airborne Laser Scanning – Comparison of two methods for deriving terrain models	57
STEINER, C., WIGGENHAGEN, M. & HEIPKE, C.: Highspeed Stereo-Endoskopie für eng begrenzte Messvolumina	181
STRAUB, C. & STEPPER, C.: Using Digital Aerial Photogrammetry and the Random Forest Approach to Model Forest Inventory Attributes in Beech- and Spruce-dominated Central European Forests	109
Toś, C.: The Use of a Modified Camera for the Classification of Sedimentary Rocks	191
TUTZAUER, P., BECKER, S., FRITSCH, D., NIESE, T. & DEUSSEN, O.: A Study of the Human Comprehension of Building Categories Based on Different 3D Building Representations	319

Beiträge aus Wissenschaft und Praxis

CHAN, T.O., LICHTI, D.D., BELTON, D., KLINGSEISEN, B. & HELMHOLZ, P.: Survey Accuracy Analysis of a Hand-held Mobile LiDAR Device for Cultural Heritage Documentation	153
GERKE, M. & PRZYBILLA, H.-J.: Accuracy Analysis of Photogrammetric UAV Image Blocks: Influence of Onboard RTK-GNSS and Cross Flight Patterns	17
LÖWNER, M.-O. & GRÖGER, G.: Evaluation Criteria for Recent LoD Proposals for CityGML Buildings	31
LUBCZONEK, J.: Geoprocessing of High Resolution Imageries for Shoreline Extraction in the Process of the Production of Inland Electronic Navigational Charts	225
MAGER, A., WIRKUS, L. & SCHOEPPER, E.: Impact Assessment of Oil Exploitation in South Sudan using Multi-Temporal Landsat Imagery	211

Berichte und Mitteilungen

Praxisberichte

MONIEN, D., WILTING, R., CASPER, E., BRENNENSTUHL, M. & COORS, V.: WeBest – Automatisierte Korrektur und Mapping von Fassadenthermographien auf 3D-Gebäudemodelle	246
CHRIST, I. & LESSING, R.: Erfassung der früheren und aktuellen Siedlungsdynamik von Hanoi auf Basis von heterogenen Satellitenbildern	335
KOMP, K.-U. & MÜTERTHIES, A.: Supporting Management of Refugee Streams by Earth Observation and Geoinformation.	347

Berichte von Veranstaltungen

ISPRS Konferenz „Photogrammetric Image Analysis“ (PIA15) und „High Resolution Earth Imaging for Geospatial Information“ (HRIGI15), 25. – 27. März 2015 in München	45
ISPRS Geospatial Week 2015, 28. September – 2. Oktober 2015, La Grande Motte, Frankreich	95
Tagung „Alle Orte, alle Zeiten“, 4. und 5. November 2015, Hamburg	96
15. Oldenburger 3D Tage, 3. und 4. Februar 2016	167
Interexpo-GeoSiberia, 20. – 23. April 2016, Novosibirsk, Russia	170
European Geoscience Union (EGU) General Assembly 2016, 17. – 22. April 2016, Wien, Österreich	237
FOSSGIS und AGIT 2016, 4. – 8. Juli 2016, Salzburg, Österreich	237
15. Internationales 3D-Forum Lindau, 10. – 11. Mai 2016	359
ISPRS Kongress, 12. – 19. Juli 2016, Prag, Tschechische Republik	
Bericht Kommission I, Sensors and Platforms	361
Bericht Kommission III, Photogrammetric Computer Vision and Image Analysis	362
Bericht Kommission IV, Geospatial Databases and Location Based Services	363

Berichte der Arbeitskreise der DGPF

Bildanalyse und Bildverstehen	365
Radarfernerkundung und Flugzeuglaserscanning	366
Aus- und Weiterbildung	366
Geoinformatik	368
Sensoren und Plattformen	369
Optische 3D-Messtechnik	370
3D-Stadtmodelle	371
Fernerkundung in der Geologie	372
Auswertung von Fernerkundungsdaten	373
Fernerkundung	374

Preisträger des Karl-Kraus-Nachwuchsförderpreises	376
---	-----

Persönliches

Nachruf auf Kennert Torlegård	99
Nachruf auf Gunnar Rogwalder	257
Nachruf auf Gunter Menz	381
Nachruf auf Albert Wiedemann	383

Hochschulnachrichten

Karlsruher Institut für Technologie, Dissertation Andreas Schenk	48
Ehrendoktorwürde für Prof. Grün	49
Karlsruher Institut für Technologie, Dissertation Clémence Dubois	100
Karlsruher Institut für Technologie, Dissertation Tessio Novack	173
Jade-Hochschule, Ehrendoktorwürde Thomas Luhmann	239
Karlsruher Institut für Technologie, Dissertation Martin Weinmann	239
Karlsruher Institut für Technologie, Dissertation Thomas Fuhrmann	240
Technische Universität München, Dissertation Janja Avbelj	241
Universität Osnabrück, Dissertation Jakub Bieniarz	242
Universität Potsdam, Dissertation Harald Schernthanner	375

Gesellschaftsnachrichten

Verlagswechsel der PFG	174
Neuer Vorstand der DGPF	244
Hansa-Luftbild-Preis für Philipp Glira	244
Neuer Vorstand und neue Kommissionen der ISPRS	245
Änderung in Schriftleitung und Redaktionsbeirat	384

Ausschreibungen

Karl-Kraus-Nachwuchsförderpreis 2017	259
Wettbewerb 3D-Stadtmodelle	260
Neuerscheinungen	101, 384
Veranstaltungskalender	50, 102, 175, 261, 385
Korporative Mitglieder	51, 103, 176, 262, 386

Zu den Titelbildern

- Heft 1: DSM-Mesh von der Hansestadt Wismar
- Heft 2: OPALS (Orientation and Processing of Airborne Laser Scanning data), TU Wien
- Heft 3: Forstwirtschaft, Parameterextraktion aus digitalen Luftbildern, Bayern
- Heft 4: Fusionsreaktor Wendelstein 7X, Max-Planck-Institut, Greifswald
- Heft 5-6: Rekonstruktion der Siegesburg in Segeberg

