

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 2013, Heft 5

Hauptschriftleiter:
Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Kresse

Schriftleiter:
Prof. Dr.-Ing. Stefan Hinz, Privatdozent Dr. techn. Franz
Rottensteiner, Prof. Dr. rer.nat. Ulrich Michel,
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 2013



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:

© 2013 Deutsche Gesellschaft für Photogrammetrie, Fernerkundung und Geoinformation (DGPF) e.V.
Präsident: Prof. Dr. Thomas Kolbe, Technische Universität München, Institut für Geodäsie, GIS und Landmanagement, Lehrstuhl für Geoinformatik, Arcisstraße 21, 80333 München, Germany, Tel. +49-89-289-23888
Geschäftsstelle: Dr. Klaus-Ulrich Komp, c/o EFTAS Fernerkundung Technologietransfer GmbH, Oststraße 2–18, 48145 Münster, Germany, e-mail: klaus.komp@eftas.com

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

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, Privatdozent Dr. techn. Franz Rottensteiner, Leibniz Universität Hannover, Institut für Photogrammetrie und GeoInformation, Nienburger Straße 1, 30167 Hannover, Germany, e-mail: rothensteiner@ipi.uni-hannover.de, Prof. Dr. rer. nat. Ulrich Michel, Pädagogische Hochschule Heidelberg, Czernyring 22/11–12, 69115 Heidelberg, Germany, e-mail: michel@ph-heidelberg.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: € 229,- 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 2013, Heft 5 Inhaltsverzeichnis

Editorial

- ALTROGGE, G. & KOMP, K.-U.: Guest-Editorial: 25 Years of Development to Improve Earth
Observation and Processing of Geoinformation 409

Beiträge aus Wissenschaft und Praxis

- BUCK, O., KLINK, A., GARCÍA MILLÁN, V.E., PAKZAD, K. & MÜTERTHIES, A.:
Image Analysis Methods to Monitor Natura 2000 Habitats at Regional
Scales – the MS.MONINA State Service Example in Schleswig-Holstein,
Germany 415
- GARCÍA MILLÁN, V.E., TEUWSEN, S. & PAKZAD, K.: GMES4Mining –
Description of a Flooding Process in Mining Areas using spectral Indices
on multi-temporal Landsat Imagery 427
- BÜKER, C. & LETTAU, T.: Die Reform der Gemeinsamen Agrarpolitik –
Möglichkeiten und Grenzen der Fernerkundungskontrolle 437
- RÖSSMANN, H., PEYKER, J., VÖLKER, A. & KLINK, A.: Einsatz von Change-Detection-
Methoden bei der Fortführung von Versiegelungs- und Gebäudedatenbeständen 447
- HAUB, C., KLEINWILLINGHÖFER, L., BROCKMANN, J., KOMP, K.-U. &
GILLIAMS, S.: Monitoring Services for Food Security – Successful
Transfer of Technology to the Sudanese Government 459
- HAUB, C., QUILITZ, K., LINDEMANN, D. & LESKINEN, E.: Surveying European
Landscape Dynamics. 473
- JACOBSEN, K.: DEM Generation from High Resolution Satellite Imagery 483
- CRAMER, M., HAALA, N., ROTHERMEL, M., LEINSS, B. & FRITSCH, D.: UAV@LGL – Pilotstudie
zum Einsatz von UAV im Rahmen der Landesvermessung in Deutschland 495

Originalbeitrag

- BRANDENBURGER, W., DRAUSCHKE, M. & MAYER, H.: Cornice Detection Using
Façade Image and Point Cloud 511

Mitteilungen

- Berichte der Arbeitskreise der DGPF
- Aus- und Weiterbildung 523
 - Bildanalyse und Bildverstehen 523
 - Hyperspektrale Fernerkundung 524
 - Radarfernerkundung und Flugzeuglaserscanning 525
 - Standardisierung und Qualitätssicherung 526
 - Optische 3D-Messtechnik 527
 - Fernerkundung in der Geologie 529
 - Sensoren und Plattformen 530
 - 3D-Stadtmodelle 531
- DGfG-AK Fernerkundung und DGPF-AK Auswertung von Fernerkundungsdaten 532

Berichte von Veranstaltungen	
ISPRS Workshop „High Resolution Earth Imaging for Geospatial Information“, 21. – 24.5.2013, Hannover	533
Fachtagung „Mobile Mapping“, 19.6.2013, Muttenz, Schweiz	535
16th Brazilian Remote Sensing Symposium, 13. – 18.4.2013, Foz do Iguaçu, Brasilien	537
12. Internationales 3D-Forum Lindau, 19. und 20. 3. 2013	538
Hochschulnachrichten	
Technische Universität Wien, Dissertation Michael Vetter	540
Neuerscheinungen	542
Mitteilung der DGPF	543
Veranstaltungskalender	544
Korporative Mitglieder	545

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



Guest-Editorial: 25 Years of Development to Improve Earth Observation and Processing of Geoinformation

GEORG ALTROGGE & KLAUS-ULRICH KOMP, Münster

Keywords: Earth observation, remote sensing, geographic information, operationalization

1 Scientific and Technical Frame Conditions

A quarter of a century ago, at the moment of the foundation of the EFTAS company, a real gap between the operational applications of airborne photogrammetry and spaceborne remote sensing existed due to several differences in technology and ground resolution. As in Central Europe the administrations of urbanism and environment used to work with maps at scales of 1:5,000 or larger, there was very little interest in ground sampling distances between 10 m and 30 m. Under those general conditions at the end of the 80ies, the formation of a remote sensing company focussed on satellite maps and medium scale mapping of developing countries.

Nevertheless, the wider application of spaceborne Earth observation techniques helped to broaden the knowledge of our planet, sometimes characterized as the “third discovery of the Earth” (KOMP et al. 2010). But in contrast to the first discovery of the Earth, based on point wise observations, now satellites allowed to map surfaces and their spatial relations. This offered a new quality of Earth observation by completing the overview mapping at the first stage and by starting refinements through better sensor systems later.

Different from single photogrammetric flight missions the permanently revolving satellites provide a huge number of repeated coverages with satellite images. This development marked the innovation step from status mapping to monitoring by Earth observation. This special quality of satellite remote sensing provides spatial knowledge beyond mapping,

which is the evidence of changes in vegetation, urban sprawl etc. (GERLINGER 2012). This is finally the driving factor for technological and scientific development of geoinformatics and Earth observation, the need to monitor the manifold changes of our planet Earth.

2 Application Clusters and their Methodological Progresses

The development of the different fields of services of EFTAS can be described as clusters with changing dimensions over time and partially overlapping activities. One important complex of activities may be labelled as services for developing countries with overlaps to agriculture, forestry, land reform, natural, and mineral resources. Another important complex of activities is the monitoring of agriculture, partly related to the control of subsidies, geoinformatics for the management of land parcel information systems and partly related to changing environmental conditions.

The third cluster is grouped around the transition of computer assisted photo interpretation (CAPI) towards automated processing of change detection in digital 3D modelling of landscape structures and urban models. Overlapping to this, another cluster of environmental monitoring is formed by aspects of landscape changes, primarily the Natura 2000 requirements including GIS developments for tourism. Many of the methodological approaches of the clusters above reach into the last one, which focuses on monitoring of mining areas and their post mining impacts on the environment.

2.1 Services for developing Countries

Right from the beginning of the young remote sensing company, EFTAS had a strong focus on developing countries following the challenges of the tropical forest action programme, the needs for vegetation mapping in Africa and mapping of urban sprawl for the extension of water supply networks like in Nigeria or in South-Yemen. With the detection, mapping and validation of the agricultural potentials of three provinces of Syria, EFTAS completed a sound contribution to the rural development in the early 90ies.

Besides such services, the experts of EFTAS contributed to the development policy of the German government to provide training for self-guided sustainability: Training of local personnel and project progress reviews were performed in North-Yemen, Syria, Zimbabwe, India, Benin, Sudan, Ethiopia, Mozambique and Kenya. On the other hand, many partners from India, Benin, Sudan, Mauretania and Mali were trained in Germany. Those broad experiences lead to an expert opinion to the report of the German Government on the potentials of Earth observation for developing countries (KOMP et al. 2010, GERLINGER 2012).

After more than six years of commitment to the Ministry of Agriculture of the Sudan, a summary of technological transfer is given by HAUB et al. under the title *Monitoring Services for Food Security – Successful Transfer of Technology to the Sudanese Government*. In this paper the authors demonstrate the aspects of the combination of various ground resolutions of satellites in conjunction with agronomic sampling for the government consultations.

2.2 Monitoring of Agriculture

In 1987 the European Commission started the so called regional inventories in preparation for the MARS-Project (monitoring agriculture by remote sensing) which was meant to transfer remote sensing applications from the American agricultural management to European small and medium scale agricultural holdings. After the development of methods by the Joint Research Centre in Ispra, Italy,

and the creation of the legal framework by the regulation of 1992 the first operational control of agricultural applications for subsidies started in 1994. EFTAS became very soon an important and competent partner for the implementation of the EU-requirements to the national administrative systems, recognising the company's competence by its agricultural engineers and remote sensing specialists.

Though in the beginning the "Integrated Administrative Control System" (IACS) focussed on the control of crops of different subsidy rates including the control of set aside parcels, the Common Agricultural Policy of the European Union (CAP) changed several times in the last two decades. The present CAP-Reform will introduce revised requirements for the farmers and for the administrative implementation in the period after 2013. The article of BÜKER & LETTAU titled *The Reform of the Common Agriculture Policy – Potentials and Limits of Remote Sensing Controls* demonstrates that EFTAS is well prepared to fulfil the new challenges.

Since 2002 EFTAS is active as a main contractor to create, update and maintain the agricultural GIS comprising the central application software for the German Federal State of Hessen. This also includes a yearly preparation of personalized application documents for each farmer and the compilation of on-the-spot-check documents for the administration. After this initial cooperation with the Hessian Ministry of Agriculture, the European requirements have been refined. Now there is a three years cycle mandatory to maintain and update a Land Parcel Information System (LPIS) which is the common instrument for farmers and the administration. Meanwhile, EFTAS has served several German administrations to fulfil their obligations for a regular update of their LPIS.

Furthermore, EFTAS is also increasingly involved in agricultural monitoring tasks under different climatic conditions. Besides the mentioned projects for food security in Sudan, Ethiopia and Mozambique, an R&D project to monitor the rubber cultivation in the Mekong delta (SURUMER) and a joint German-Russian project to monitor the effects of global warming on the agriculture in the Western Siberian Corn Belt (SASCHA) are worth mentioning.

2.3 Automation and 3D-Modelling in Photogrammetry

Starting from 1990, EFTAS has been actively involved in land cover mapping from satellites for different telecommunication providers in Europe and China. While in the beginning satellite imagery was seen as a sufficient 2D-base for calculating the antenna locations, the development of mobile communication very soon resulted in the photogrammetric measurement of 3D city models.

As often, soon after the mapping task met the demanded quality level an automation of the production process was required. This also applied to the initial mapping and the following update of land cover data under the Corine Land Cover programme of the EU. EFTAS has been involved in this programme since the 90ies including the preliminary R&D projects. One important of them was called DeCOVER (DeCOVER 2013), of which EFTAS managed the coordination of up to nine partners from industry and universities.

The sealing of the soil surface is acknowledged as an important issue on ground water renewal, soil-air-exchange and local flooding risk. Several attempts were published to map the sealed surface by remote sensing. While for environmental studies satellite images provide a first overview, local tax authorities required reliable measurements related to the cadastral boundaries to impose local taxes on sealed surfaces. These requirements were mostly fulfilled by photogrammetric measurement from aerial stereo images with typical ground sampling distances of 4 cm to 8 cm. The article of RÖSSMANN et al. *Application of Change Detection Methods for the Update of GIS Data on Sealed Surfaces and Buildings* describes an automated approach for a change detection based on up-to-date aerial ortho images combined with a normalized elevation model.

2.4 Environmental Monitoring

During the life of EFTAS, environmental monitoring has been a topic of constant importance, of course adapting itself to the changing requirements of the European and

the national environmental policies. The mapping of biotope habitats and natural protection zones have been processed successfully by using high resolution satellite images, colour infrared aerial images or later even VHR (very high resolution) satellite images. The federal states of Bavaria and Schleswig-Holstein played a precursor role when implementing Earth observation into their administrative practises. The Dutch agency *Rijkswaterstaat*, a department of the *Ministry of Infrastructure and the Environment* demanded several times the 3D-inventory of the whole flood plains of all major rivers in the Netherlands, which over the time provides a valuable multi temporal GIS data base for flooding preparedness, environmental development and wetland studies of which the title page may illustrate the potentials.

Related to the European Council Directive 92/43/EEC on the *Conservation of natural habitats and of wild fauna and flora* the obligation exists to report in a six years period on the actual favourable conservation status. This has been done under the general management of EFTAS from 2007 to 2012 for the entire federal state of Schleswig-Holstein. As the traditional repartition of ground inspections and Earth observation will hardly be financed in the future, there are several attempts to assure the obligations of the directive by a larger proportion of remote sensing methods. The development project of new approaches has been accepted as an FP7 project of *Multi-Scale Service for Monitoring Natura 2000 Habitats of European Community Interest* (MS.MONINA). The approach and first results are reported in the article of BUCK et al. *Image Analysis Methods to Monitor Natura 2000 Habitats at Regional Scales – the MS.MONINA State Service Example in Schleswig-Holstein, Germany*. The European Commission has already started in 1992 the survey of area frame samplings throughout the twelve European member states for statistical purposes and for monitoring the dynamics of the land use and the environment. Until 2001 EFTAS provided repeated surveys for Germany, Austria and Denmark. The broader follow-up project called LUCAS was inaugurated under the direction of EUROSTAT. While in 2001 and 2003 the survey activities of EFTAS covered

Germany only, the following repetitions were extended regarding the number of member states and the items to be surveyed. The contribution of HAUB et al. *Surveying European Landscape Dynamics* reports on the most recent survey of 2012 in which EFTAS carried out services or was the general contractor for 14 member states.

The present trends in geographic information are characterized by a development towards diversified information sources and a “transition” of professional themes to the broad public by means of mobile navigation, location based services, and ubiquitous technologies like smart phones. The European co-funded project *Eco tourism for Natura 2000 – Communicating environmental topics using Geoinformation technologies* offers a fascinating outlook onto future fields of our profession.

2.5 Monitoring of Mining Impacts

From the beginning of Earth observation the inventory of natural resources, especially mineral resources, has been an important field of application. EFTAS has contributed in the 90ies to detect circular geological structures in the pre-cambrian formation of the “Birrimien” forming a belt from the Senegal River to the Niger River which indicate eroded intrusive bodies, potential primary deposits of e.g. gold, zirconium, and copper. After works in Niger, Senegal, Burkina Faso, and Mali, EFTAS also performed mapping of recent mining districts for industrial purposes in African and South American sites. Actual mining activities in central Europe concentrate on salt deposits and lignite coal while the traditional shaft coal mining in Germany will reach its political end by 2018. Therefore, the persistent impacts of abandoned mines will gain importance. GARCÍA MILLÁN et al. are investigating remote sensing potentials in the project *GMES4Mining – Description of a Flooding Process in Mining Areas using spectral Indices on multi-temporal Landsat Imagery* which is co-financed by the European Union and North-Rhine Westphalia.

3 The Position of EFTAS in the European EO-Community

The 27th September 1988, now 25 years ago, marks the official date of the formation of EFTAS and its legal registration. Starting with three people, the company has grown and reached 60 employees as an annual average today. Remote sensing, geographic information and photogrammetry have undergone many technical development steps and even a paradigm change. An intermediate appreciation can be found in KOMP (2008). While in the 80ies in Central Europe photogrammetry still struggled to prove that its accuracy and completeness could cope with terrestrial surveying, the coarse ground resolution of satellite images did not seem to be competitive for practical applications. Unfortunately, some advertisements exaggerated the potential of satellite imagery. For instance, it was claimed that a ground sampling distance of a few metres is sufficient for the planning of high speed railway lines. This confusion gave room to institutions and companies which could clearly communicate the border line between applicable services and unproven results of on-going research.

EFTAS was soon recognized in the EO (earth observation) community at the national and the European level for its highly qualified experts in their respective professions like geographers, photogrammetrists, agronomists, environmental engineers, geologists, surveyors and remote sensing engineers. At the doorstep to the next 25 years EFTAS is still an owner managed small and medium company (SME) which not only offers reliable services in the operational sphere but also contributes with the experience and intellectual skills of its team to R&D challenges in GIS and Earth observation.

4 Innovation and Improvement as a persisting Challenge

As the time span of 25 years is rather important in an individual professional period the life time of a company has to aim at intergenerational persistence to meet every challeng-

es occurring from the market, the politics, the technological and scientific progress.

Germany as a country without natural resources of economic or political relevance has its only chance to rely on its intellectual resources, on its potential of scientific and technical innovation and on the not yet fully developed field of geographic information as a resource of the information society. Based on this general appraisal we need to scale down the action guidelines for the survival and the prospects of an SME. Currently our profession of GIS and EO experiences a bundle of changes and new developments. Between the existing sensor platforms from ground, air and space there are dozens of small unmanned aerial vehicles (UAV), operating or being under development. They will not open EO for "everyone" but will foster rethinking of the current practises and theories of photogrammetric calibration, triangulation and geo-referencing. New industrial offers like the data bases of ESRI, cloud computing and ubiquitous availability of hand held information devices will change business models, customer relations and work flows.

EFTAS is well prepared to go ahead towards the new challenges through our team which is constantly trained to use its force for innovation as the main resource for the forthcoming decades.

Acknowledgements

Sincere thanks are given to all authors for their commitment in parallel to their daily duties as well as to the reviewers who helped to get an unbiased opinion on the manuscripts. We also like to thank the German Society for Photogrammetry, Remote Sensing and Geoinformation for the opportunity to configure this issue of the official journal PFG.

Furthermore we are grateful to the involved administrations and research institutions who sustained the following articles by their publication releases of data, images, maps, and statistical features. Without their generous permissions the detailed description of research and service results would not have been possible to be disseminated.

References

- DECOVER, 2013: www.decover.info (10.7.2013).
- GERLINGER, K., 2012: Fernerkundung: Anwendungspotenziale in Afrika. – 255 S., Endbericht zum TA-Projekt, Arbeitsbericht Nr. 154, Berlin.
- KLINK, A., LÜCKE, C. & VÖLKER, A., 2008: Semiautomatische Luftbilddauswertung zur Erfassung von Siedlungs- und Verkehrsflächen als Unterstützung des nachhaltigen Flächenmanagements. – PFG – Photogrammetrie, Fernerkundung, Geoinformation **2008** (5): 441–451.
- KOMP, K.-U., 2008: Editorial: Zwei Jahrzehnte Entwicklung der angewandten Fernerkundung. – PFG – Photogrammetrie, Fernerkundung, Geoinformation **2008** (5): 319–323.
- KOMP, K.-U., HAUB, C. & DIENST, H., 2010: Anwendungspotenziale der Erdfernerkundung für Entwicklungsländer. Erkenntnisse aus dem Technologietransfer – politische und gesellschaftliche Bedingungen für den Einsatz der Fernerkundung in Entwicklungsländern. – 57 S., Gutachten im Auftrag des Büros für Technikfolgenabschätzung des Deutschen Bundestages, Münster.

Address of the Authors:

Dipl.-Ing. GEORG ALTROGGE & Dr. KLAUS-ULRICH KOMP, EFTAS Fernerkundung Technologietransfer, D-48145 Münster, Tel.: +49-251-133070, Fax: +49-251-1330733, e-mail: {georg.altrogge}{klaus.komp}@eftas.com

Die Rückschau auf 25 Jahre EFTAS wird durch drei herausragende Beiträge der diesjährigen DGPF-Jahrestagung in Freiburg ergänzt.

KARSTEN JACOBSEN (Hannover) gibt uns einen Statusbericht zu den hochauflösenden zivilen Satellitensystemen und zu deren Verwendbarkeit zur Erzeugung digitaler Höhenmodelle.

MICHAEL CRAMER et al. (Stuttgart) erläutern sehr präzise ihre Pilotstudie, der ersten bundesweit, zum Einsatz kamerabestückter unbemannter Fluggeräte in der Landesvermessung, konkret bei der Flurneuordnung in Baden-Württemberg.

WOLFGANG BRANDENBURGER et al. (München und Euskirchen) schließlich zeigen uns einen weiteren Entwicklungsschritt zur automatischen Erzeugung realitätsnaher digitaler Stadtmodelle. Sie zeigen, wie in Bildern Fensterverdachungen erkannt und vermessen werden können.

The review of 25 years of EFTAS is amended by three outstanding contributions to the annual German conference of DGPF in Freiburg. KARSTEN JACOBSEN (Hannover) reports on the status of the very high resolution civil satellite systems and their use for digital elevation models. MICHAEL CRAMER et al. (Stuttgart) present a pilot-project which demonstrates the first successful application of UAVs within the German land survey administration, i.e. in land consolidation. WOLFGANG BRANDENBURGER et al. (München and Euskirchen) show a next step towards an automatic generation of lively city models – an automatic detection and survey of cornices.

WOLFGANG KRESSE



Image Analysis Methods to Monitor Natura 2000 Habitats at Regional Scales – the MS.MONINA State Service Example in Schleswig-Holstein, Germany

OLIVER BUCK, ADRIAN KLINK, VIRGINIA ELENA GARCÍA MILLÁN, KIAN PAKZAD & ANDREAS MÜTERTHIES, Münster

Keywords: knowledge-based image classification, RapidEye, grassland habitats

Summary: The Natura 2000 network of protected sites is one of the means to address the issue of biodiversity conservation in Europe. Protected under the habitat directive, EU member states have to undertake surveillance of habitats and species of community interest and report every six years on habitat range and distribution, conservation status and the future prospects of the habitats within and outside of protected sites. Remote sensing techniques have been applied successfully to monitor habitat changes relevant for Natura 2000 monitoring using multi-temporal satellite image data, but many challenges remain especially outside protected sites to assess the development of habitats over time. A flexible information layer concept was developed within the FP7 project MS.MONINA to address the complex task of monitoring natural habitats. In this paper the new approach to classify grassland land cover classes in Schleswig-Holstein, Germany, will be presented. Based on ecological parameters experts defined simple description models, which were used by image analysts to extract corresponding image features for four different grassland types. Information layer operators were defined to extract image features for subsequent classifications.

Zusammenfassung: *Bildanalysemethoden zum Monitoring von Natura 2000 Lebensräumen auf regionaler Ebene – das MS.MONINA State Service Beispiel in Schleswig-Holstein.* Das Natura 2000 Schutzgebietsnetz ist eine der Europäischen Maßnahmen zum Erhalt der Biodiversität Europas. Ausgehend von der FFH Richtlinie müssen die EU Mitgliedsstaaten die geschützten Arten und Lebensräume beobachten und alle sechs Jahre über deren Zustand, Verbreitungsgebiet und Entwicklungsaussichten innerhalb und außerhalb von FFH-Gebieten berichten. Verfahren der Fernerkundung wurden schon erfolgreich im FFH Monitoring eingesetzt, um Veränderungen der Lebensräume auf Basis multitemporaler Satellitenbilder zu beobachten. Viele Herausforderungen bestehen vor allem außerhalb der bekannten Schutzgebiete, um die Entwicklung der Lebensräume zu bewerten. Innerhalb des FP7 Projekts MS.MONINA wurde ein flexibler „Information Layer“ Ansatz entwickelt, um die komplexen Aufgaben im Monitoring von natürlichen Lebensräumen zu adressieren. In diesem Artikel wird der neue Ansatz zur Klassifizierung von Grünlandtypen in Schleswig-Holstein präsentiert. Auf Basis von ökologischen Parameter und Bildmerkmalen wurden Expertenmodelle erstellt und für die Klassifizierung der Grünlandklassen als Informationsbilder („Information layer“) aufbereitet.

1 Introduction

The conservation of biodiversity is an international matter of high importance to mankind. This was recognized by the signing of the UN Convention on Biological Diversity, at the 1992 Earth Summit in Rio de Janeiro. Since then, many countries have set out na-

tional strategies and actions plans to halt the increasing loss of biodiversity, mainly caused by human activities, leading to a habitat loss and ultimately to an extinction of species. The Natura 2000 network of protected sites is one of the means to address the issue of biodiversity conservation in Europe. It represents sites of European interest with particular ecologi-

cal value and was formed on the legal base of the Council Directive 92/43/EEC on the conservation of natural habitats and wild fauna and flora, more widely known as the Habitats Directive, adopted in 1992 and the bird directive adopted in 1979 (79/409/EEC). The habitat directive requires EU member states to undertake surveillance of habitats and species of Community interest and report every six years on the habitat occurrence (range and distribution), the conservation status based on specific structures, functions and typical species, as well as the future prospects of the habitat. These parameters have to be evaluated over

the complete biogeographical region defined as an ecologically coherent region within a member state.

Remote sensing has been successfully applied to monitor biodiversity aspects (TURNER et al. 2003, STRAND et al. 2007, WANG et al. 2010). Data from optical satellite sensors have shown to function as useful predictors of species richness in different vegetation types (LEVIN et al. 2007, ROCCHINI et al. 2010). Remote sensing techniques have also been used to monitor habitat changes in the context of Natura 2000 monitoring using multi-temporal satellite image data (WEIERS et al. 2004, BOCK

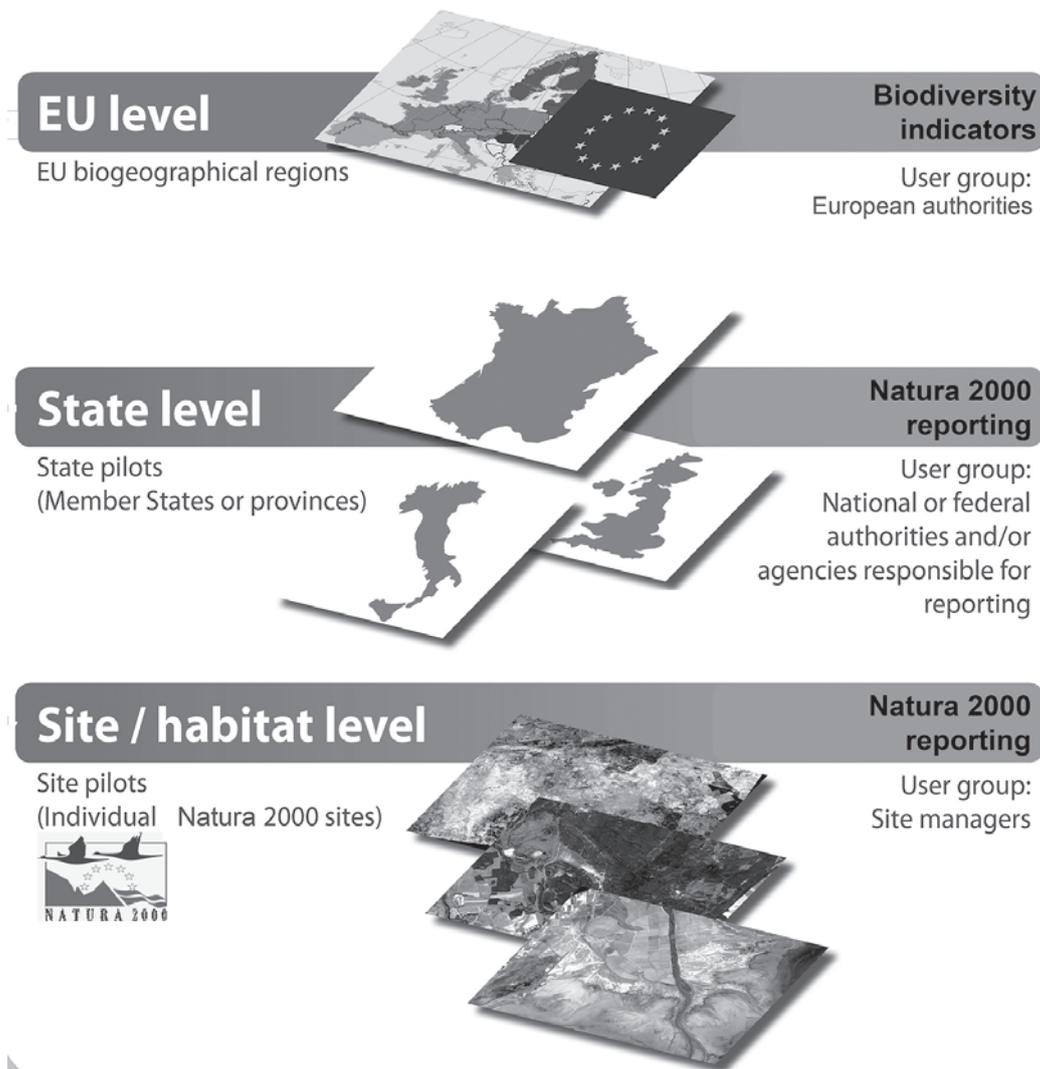


Fig. 1: The multi-scale approach in MS.MONINA to derive adapted remote sensing methods to support Natura 2000 monitoring (adapted from LANG et al. 2012).

et al. 2005, BUCK et al. 2012). Especially very high resolution satellite data could support the monitoring of Natura 2000 sites (FÖRSTER et al. 2008, HALL et al. 2012).

The FP7 project MS.MONINA (Multi-Scale Service for Monitoring Natura 2000 Habitats of European Community Interest; MS.MONINA, 2013) was initiated to develop new concepts and remote sensing methods to support Natura 2000 monitoring. It is based on a multi-scale approach, to reflect and address the requirements and procedures to monitor

and report the status of protected habitats and biodiversity of different user groups (LANG et al. 2011, Fig. 1). At the state level, national or regional agencies have the obligation to report habitat occurrence and condition for the entire state/province within their biogeographical regions. While there is often a good knowledge base for protected Natura 2000 sites, e.g. through field surveys and management plans, the information on habitat occurrence and status outside of this site network is often lacking. Here, the so called MS.MONINA state

MONINA Test Site Schleswig-Holstein

State Service: Grassland information



Spatial reference system: UTM Zone 32 N (WGS84)

Fig. 2: Test site (red square) location in Schleswig-Holstein, Germany.

services shall provide support through two major project components:

- Expert models: Using a statistical modelling approach (maximum entropy model) the ecological niche of species and habitats is modelled based on abiotic factors such as soil information and digital elevation models. These models provide habitat potential maps which can be included into image classification methods either by weighting the class probability or excluding classes due to restricted natural potential of occurrence.
- Image analysis tools: Image classification is based on a variety of methods and tools. These tools are used to extract habitat relevant spectral, spatial or temporal information from remotely sensed images.

The state service developments are demonstrated in various state pilots across Europe. In this paper one of the state pilot cases is presented, based on the development of image analysis tools in Schleswig-Holstein, Germany, located in the Atlantic biogeographical zone. Through discussions with experts from the regional environmental protection agency (LLUR, Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein) the focus of this state pilot was set to the demand for spatially explicit data on grassland distribution and use intensity.

In this paper the developed information layer approach is presented. Here, the focus is set on the methodological description of the approach to setup expert models and produce information layers for grassland classification in Schleswig-Holstein, Germany.

2 Study Site

The test site lies within the Atlantic biogeographical region in the federal state of Schleswig-Holstein, Germany. It is characterized by the lowland rivers Eider, Treene and Sorge, and dominated by pastoral agricultural land use (Fig. 2). Relicts of wide-spread wetlands form some of the most valuable bog remnants. The following Natura 2000 grassland habitat types have been listed by the regional user (LLUR) as of special concern:

Semi-natural dry grasslands and scrubland facies on calcareous substrates (*Festuco-Brometalia*) (habitat code 6210), Molinia meadows on calcareous, peaty or clayey-silt-laden soils (*Molinion caeruleae*) (habitat code 6410), and lowland hay meadows (habitat code 6510).

3 The Information Layer Approach

Vegetation scientists and experts in environmental monitoring often lack remote sensing expertise but already use image information to support their work. Used as background image in field mapping campaigns, they support the identification and delineation of different vegetation forms or landscape structures. Their experience and interpretation skills allow them to differentiate habitats from image components such as image colour, shadows, neighbouring features or proximities to other habitats. Often ancillary information such as soil type maps or digital elevations models are additionally used. Remote sensing experts on the other hand often use statistical approaches, e.g. maximum likelihood classifier, to classify natural habitats based on spectral image information pixel by pixel. With the recent advance of object-based classification approaches the use of spatially explicit and ancillary information is of increasing importance (BLASCHKE 2010). In some way these methods try to imitate the human perception and interpretation procedures (LANG & LANGANKE 2006).

This fact is also used in MS.MONINA to develop our so called information layer approach. However, the presented approach is not limited to pixel or object-based methods. It is more a methodological framework to prepare different data sources (image and ancillary information) in a structured manner, formalize expert knowledge and integrate ecological parameters in an image classification workflow. In short, expert knowledge about habitat interpretation is formalized and used within an image classification process. This requires a close communication between habitat experts, often vegetation scientist, and remote sensing experts, which is seen as a crucial aspect for the success of Natura 2000 studies using remote sensing techniques (VANDEN BORRE et al.

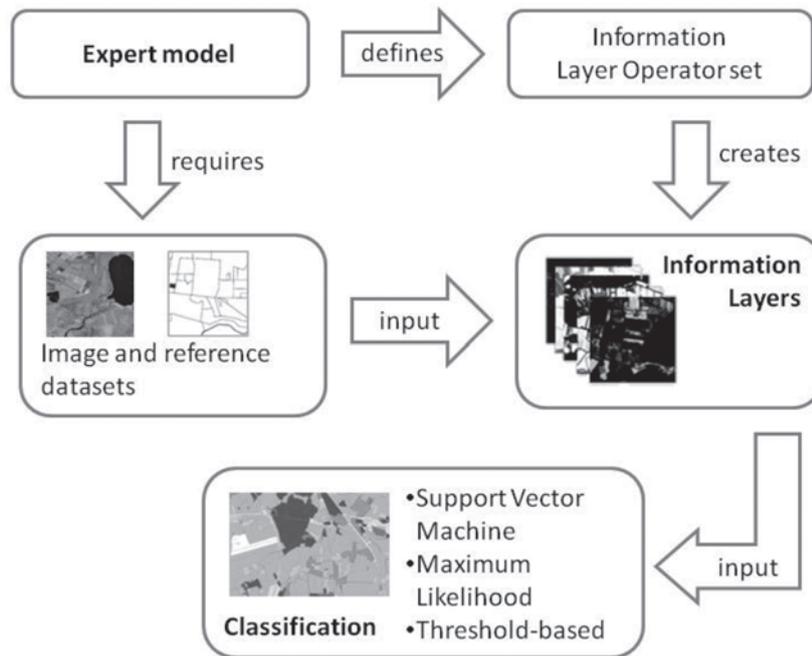


Fig. 3: Workflow logic of the developed information layer approach.

2011). Therefore, the developed approach has the potential to increase the acceptance and foster the use of remote sensing in environmental monitoring applications.

Our information layer approach consists of the following central components and processing steps, which will be explained in more detail in the following sections (Fig. 3):

- Definition of ecological parameters of each grassland type based on expert knowledge (**expert models**)
- Generation of relevant **information layers** that represent these ecological parameters
- **Classification** of grasslands using these information layers as input

3.1 Definition of Grassland Types and Expert Models

In the service case Schleswig-Holstein four different grassland types were identified: Intensively used grassland (GI), mesophilic grasslands (65xx), wet grasslands (64xx), and dry grasslands (62xx). These classes were defined in terms of ecological parameters and image interpretation features in close exchange between vegetation scientists of the regional monitoring agency (LLUR) and image analysis experts (Tab. 1). These expert models indicate on the one hand which information is relevant for experts to identify the correspondent habitat type, mostly through GIS

Tab. 1: The ecological parameters and image interpretation features used for the grassland types in Schleswig-Holstein.

Grassland type	Biomass	Mowing season	Homogeneity	Soil moisture	Slope orientation	Line structures
62xx	Low-medium	Non	Low-medium	Very low	Southern	Non
64xx	Low-medium	August	Low-medium	High	Not relevant	Low
65xx	Medium-high	June	Medium-high	Medium-high	Not relevant	Low
GI	Medium-high	2-4 times	High	Low- medium	Not relevant	Non-low

or visual image analysis. On the other hand they are based on an evaluation by image analysts, whether and how these features can be extracted from remote sensing images based on established image analysis techniques.

For example, according to the regional experts, different mowing practices are applied for different grassland types in Schleswig-Holstein. As deduced by the name, intensive grasslands are those that experience a higher number of mowing events over a given vegetation period. Dry grassland (62xx) and wet grassland (64xx) on the other hand are never or only once mowed in August (in the case of 64xx). Mesophilic grasslands (65xx) might be mowed once a year, in June. This fact can be addressed using multi-temporal image analysis techniques given a satellite time series over the vegetation period.

Field visits reveal, that dry grasslands (62xx) are often very patchy/heterogeneous, meaning that they do not form a homogeneous

grassland layer, but also contain patches of open soil and should thus correspond to different spectral signatures within a dry grassland plot. Wet grassland (64xx) are moderate homogeneous, while mesophilic (65xx) and intensive grasslands (GI) are very homogeneous.

Abiotic factors such as soil type, soil condition and field exposition play a major role in grassland distribution in Schleswig-Holstein. Dry grasslands (62xx) are more concurrent on southern slopes and on nutrient-poor soil types with low water retention capacities. Vegetation scientist use this information to target their field work. While soil type and water retention capacities can not be extracted from remote sensing images over vegetated areas, existing soil maps can be used and incorporated in the image analysis as ancillary information. Digital elevation models (DEM) can be used to calculate exposition.

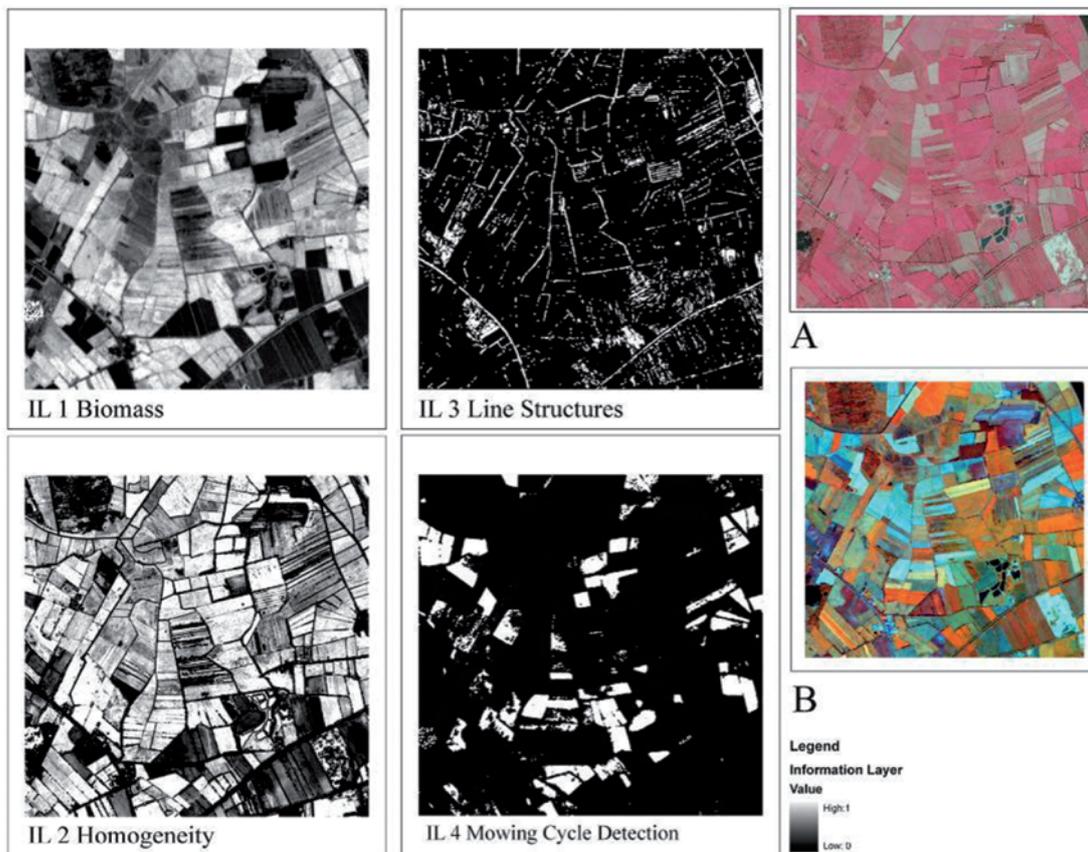


Fig. 4: Information layer (IL1-4) examples based on aerial orthophotos (A = DMC camera with 0.4 m ground sampling distance GSD and four channels) and satellite data (B = RapidEye, 5 m GSD, 5 channels).

3.2 Information Layer Production

These expert models define the set of corresponding information features relevant to differentiate the four grassland types. All image features are stored in so called information layers (IL) as standardized raster data (GeoTIFF). Only one image feature can be represented per IL (Fig. 4). The image features can be of very different nature:

- Spectral ILs: Original bands, derived vegetation indices, or alike (for an overview see SILLEOS et al. 2006).
- Temporal ILs: multi-temporal information based on an analysis of images from different dates, e.g. the mean spectral dynamic parameter proposed by FRANKE et al. (2012).
- Structural ILs: information about important structures within the image, e.g. linear line structures which give a hint at tracks from agricultural machines.
- Spatial ILs: Information on the 2D or 3D geometry of land surface elements, e.g. derived from digital elevation models.

- Additional data ILs: Information derived from non-image datasets, e.g. weather reports and soil characteristics vector maps.

Depending on the feature to be extracted, different image sources are needed, from very high to low resolution data, multispectral to hyperspectral, and single images to time series. For the production of each information layer a suitable image analysis algorithm (information layer operator, ILOP) is needed. The chosen algorithm, together with data requirements and constraints to produce the information layers are described in metadata documents (Fig. 5).

To produce the required information layers according to the grassland models in our study, a number of image analysis algorithms were implemented in the image analysis software Halcon. The spatial, structural, spectral, temporal and additional information layers were produced using RapidEye satellite image data or digital aerial orthophotos (Tab. 2). All RapidEye data, provided as L3 standard data, was atmospherically corrected (ATCOR-2)

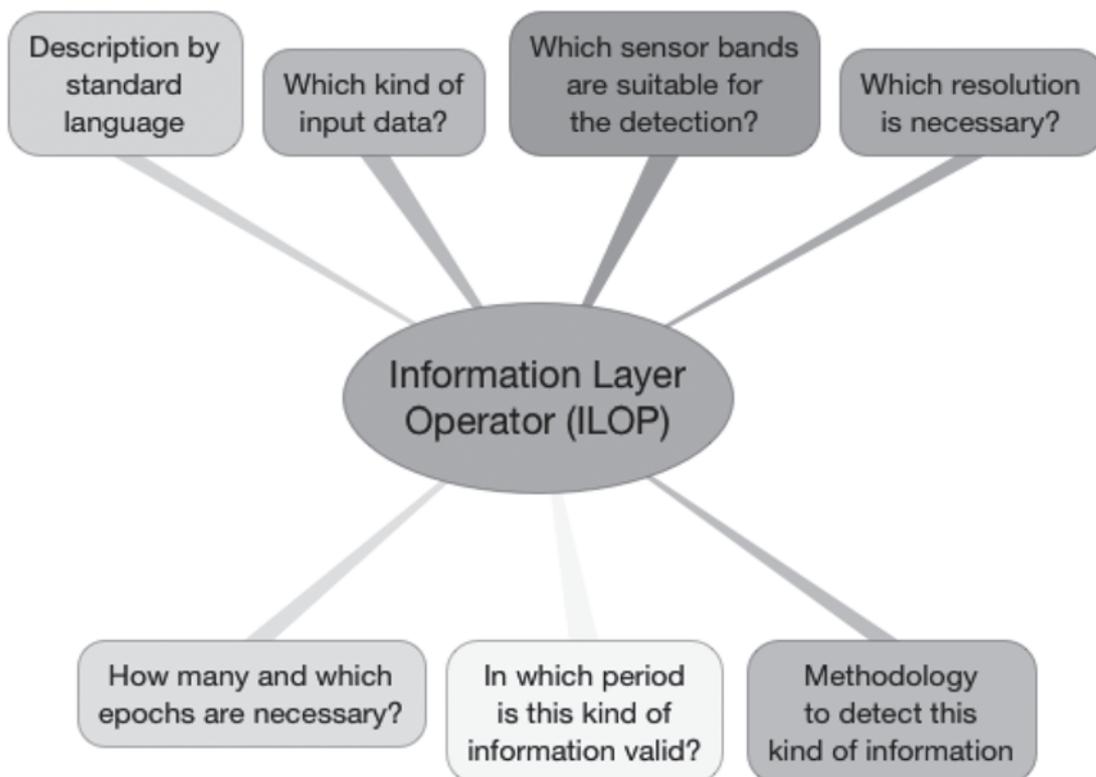


Fig. 5: Metadata information to describe the information layer operators.

Tab. 2: Applied datasets.

Input data	Original projection	Date	Description	Used for
RapidEye ¹⁾	UTM 32N WGS84 (EPSG 32632)	2009 – 2011	5 m GSD (ground sampling distance) 5 bands (B,G,R, RedEdge,NIR) Signed 16 bit GeoTIFF	Mowing IL Biomass IL
Orthophoto ²⁾	UTM 32N GEM 10C (EPSG n/a)	2009 – 2011	0.15 m GSD 4 bands (R,G,B,NIR) Unsigned 8 bit GeoTIFF	Linear Features IL Homogeneity IL
Digital Elevation Model ³⁾	UTM 32N GRS1980 ETRS 1989 (EPSG 25832)	2005 – 2007	Derived from airborne laser scanner data 1 m pixel size Float 32 bit ASCII Grid	Slope orientation IL
Soil map ³⁾	Gauss-Krueger 3 DHDM (EPSG 31467)	Unknown (continuously compiled since the 1930s)	ESRI Shapefile Polygons	Soil moisture IL Soil quality IL Soil type IL
Training sets ²⁾	UTM 32N WGS 84 (EPSG 32632)	2009 – 2012	ESRI Shapefile Polygons	Feature extraction validation

1) Provided by the European Space Agency via the GMES Space Component Data Access Portal

2) Provided by the Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume Schleswig-Holstein (LLUR)

3) Provided by the Landesamt für Vermessung und Geoinformation Schleswig-Holstein (LVerGeo SH)

prior to analysis. All image data was re-projected to a common reference system (UTM 32N, WGS84).

The information layers were calculated using existing or adapted vegetation indices (Biomass), common image analysis techniques (standard deviation windows for homogeneity) or newly implemented algorithms (mowing time window comparison for the detection of mowing events) (Tab. 3). Ancillary vector information (soil maps) was converted to thematic raster images. All information layers were normalized to a value range from zero to one.

4 Discussion

Grassland habitats are an important component of biodiversity in Europe (SILVA 2008).

Almost 20% of the habitat types listed in the habitats directive are associated with extensively used grassland formations (HALADA et al. 2011). Through intensification of land use and soil sealing for infrastructure development, or the abandonment of traditional management forms, these habitats are under increasing pressure (HENLE et al. 2008, NAVARRO & PEREIRA 2012). Between 1975 and 1995, around 12% of the European grassland diminished (POIRET 1999). Protective measures such as the Cross Compliance regulations (EU regulation 73/2009) and the monitoring of high nature value farmland, a mandatory baseline indicator according to the EU Common Monitoring and Evaluation Framework, could not stop the decline of grassland (NITSCH et al. 2012, SCHRAMEK et al. 2012). The image analysis components developed in the state pilot Schleswig-Holstein can provide information

Tab. 3: List of ILOPs implemented in the state pilot Schleswig-Holstein (ILOP = Information layer operator).

Spectral ILs	
Biomass	<p>The normalized difference vegetation index (NDVI) was defined as a proxy of the biomass (1) (TUCKER et al. 1979).</p> $NDVI = \frac{(Rnir - Rred)}{(Rnir + Rred)} \quad (1)$ <p>For the study case, RapidEye images were used. For that reason, a modified version of NDVI was used: the red edge NDVI (2) (GITELSON et al. 1996). We substituted the near infrared by the red edge band:</p> $Red\ edge\ NDVI = \frac{(Rred\ edge - Rred)}{(Rred\ edge + Rred)} \quad (2)$
Homogeneity	Homogeneity is referred in the IL method to spectral variability. Orthophotos were used to calculate the homogeneity IL, based on the inverse standard deviation of all pixels within a 5x5 pixel mask.
Temporal IL	
Mowing cycle detection	For the detection of the mowing cycles several (up to 4) expected mowing time windows are compared each to a reference within the vegetation period before the first mowing. If a decrease in biomass matches a threshold, a mowing cycle has been detected for this particular time window. Depending on the grassland class different time windows are checked.
Structural IL	
Linear structures	This IL represents linear structures with long straight parallel lines. The first step to produce this IL is a line extraction using a Gaussian line model. After the extraction, the lines are converted into line segments. Then the line segments are analyzed for length and curvature. All short line segments and those with a higher curvature are deleted; the rest is used as linear structures. At the end of the process the line segments are converted back into a greyscale image. A Gaussian filtering increases the area of influence of the line structures.
Spatial IL	
Slope orientation	To build up this IL, a digital elevation model (DEM) of the area was used. An algorithm in Halcon has been implemented to create an exposition map.
Additional data ILs	
Soil type	For this IL, the soil map of Schleswig-Holstein provided by the LLUR was used. For our study, the information about soil type was extracted per pixel within the training sets. These values were analyzed in a histogram in order to know the preferential soil type per grassland class.
Soil moisture	To build up this IL, we proceeded similar to the soil type IL. The LLUR soil map was used again and information about water retention extracted within the training areas for each grassland types and analyzed in a histogram.
Soil quality	Soil quality refers here to the conservation state regarding soil erosion and depth. This information was also retrieved from the LLUR soil map and analyzed accordingly in a histogram, based on the training areas for each grassland type.

to protect biodiversity. Indicators about the trends and changes in grassland habitats distribution can be provided, if a grassland classification is repeated in time, and information about agricultural management changes are evident, e.g. through an increased number of mowing cycles.

The grassland model features were identified in a close exchange dialog between the regional monitoring agency and image analysis experts. This evaluation of user needs is one key issue to successfully incorporate remote sensing approaches into habitat monitoring (VANDEN BORRE et al. 2011). Existing grassland nomenclatures formed the framework for the definition of these classes. During the initial user dialog, it became evident that the very high user expectations to directly address grassland habitats as defined in the Natura 2000 process are very challenging. According to the Natura 2000 guidelines, grassland types are defined mostly from a vegetation science perspective with key grass species differentiating the grassland types (EUROPEAN COMMISSION 2007). Recent advances in hyperspectral remote sensing have successfully tried to identify these complex vegetation communities (SCHMIDTLEIN & SASSIN 2004) or plant indicators (SCHMIDTLEIN 2005) using remote sensing. However, so far no hyperspectral satellite image sensors are available to deliver regular image data needed to monitor environmental developments accord-

ing to the Natura 2000 requirements over large regions in an operational manner. Therefore, the applied grassland classes (GI, 62xx, 64xx, 65xx) in this project were defined on selected ecological conditions and image features that can be extracted from aerial photos and multi-spectral images. While these classes do not represent the Natura 2000 habitats, they can be used as an indicator on habitat existence and in general on grassland status and trends in Schleswig-Holstein.

Capturing these image features in standardized information raster layers allows an easy data exchange and a multiple use of only once produced image information for various purposes. Several ILs were created to represent grassland parameters using remotely sensed and field data. In the next steps these ILs will be used as input in different classifiers, e.g. threshold-based, support vector machine, and maximum likelihood, to compare classifier performance and map the grassland distribution of the Schleswig-Holstein test site.

The developed IL approach is flexible to new models and target land cover classes. In the context of Natura 2000 this could be the application of the presented information layers to other Natura 2000 habitats of relevance in Schleswig-Holstein (Tab. 4). For example, increasing biomass in a heath habitat could indicate increasing grass cover, an indicator of deteriorating habitat quality according to the national guidelines for the assessment of habi-

Tab. 4: Examples to apply IL to additional Natura 2000 habitats.

Information layer	Used for grassland type in this study	Potential relevance for other Natura 2000 habitats (code)
Biomass	62xx, 64xx, 65xx	Dry sand heaths with <i>Calluna</i> and <i>Genista</i> (2310), Dry sand heaths with <i>Calluna</i> and <i>Empetrum nigrum</i> (2320), Inland dunes with open <i>Corynephorus</i> and <i>Agrostis</i> grasslands (2330), Northern Atlantic wet heaths with <i>Erica tetralix</i> (4010), European dry heaths (4030), degraded raised bogs still capable of natural regeneration (7120), transition mires and quaking bogs (7140)
Homogeneity	62xx, 64xx, 65xx	Inland dunes with open <i>Corynephorus</i> and <i>Agrostis</i> grasslands (2330), Northern Atlantic wet heaths with <i>Erica tetralix</i> (4010), European dry heaths (4030)
Linear structures	62xx, 64xx, 65xx	Degraded raised bogs still capable of natural regeneration (7120)

tat condition (SCHNITTER et al. 2006). Future work should address the application of this IL approach in a wider context.

Acknowledgement

The research leading to these results has received funding from the European Community's Seventh Framework Programme (FP7/2007-2013) under grant agreement No. 263479. We would also like to thank the European Space Agency for the provision of the RapidEye satellite data via the GMES Space Component (GSC) Data Access Portal (DAP). Additionally we would like to kindly thank the Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume Schleswig-Holstein (LLUR) for providing their expert knowledge and field reference data, as well as the Landesamt für Vermessung und Geoinformation Schleswig-Holstein (LVerGeo SH) for delivering their digital aerial image data.

References

- BLASCHKE, T., 2010: Object based image analysis for remote sensing. – *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* **65**: 2–16.
- BOCK, M., ROSSNER, G., WISSEN, M., REMM, K., LANGGANKE, T., LANG, S., KLUG, H., BLASCHKE, B. & VRSCAJ, B., 2005: Spatial indicator for nature conservation from European to local scale. – *Ecological Indicators* **5**: 322–338.
- BUCK, O., PETER, B., DONNING, A. & WITTIEN, K., 2012: Fernerkundung zur Unterstützung des FFH Monitorings am Beispiel des Truppenübungsplatzes Borkenberge. – *Angewandte Geoinformatik 2012*: 756–763.
- EUROPEAN COMMISSION, 2007: Interpretation manual of European Union habitats. – 144 p., European Commission, DG Environment, Brussels, Belgium.
- FÖRSTER, M., FRICK, A., VALENTWOSKI, H. & KLEINSCHMIT, B., 2008: Approaches to utilising QuickBird Data for the Monitoring of Natura 2000 habitats. – *Community Ecology* **9** (2): 155–168.
- FRANKE, J., KEUCK, V. & SIEGERT, F., 2012: Assessment of grassland use intensity by remote sensing to support conservation schemes. – *Journal for Nature Conservation* **20** (3): 125–134.
- GITELSON, A.A., MERZLYAK, M.N. & LICHTENTHALER, H.K., 1996: Detection of red edge position and chlorophyll content by reflectance measurements near 700 nm. – *Journal of Plant Physiology* **148** (3): 501–508.
- HALADA, L., EVANS, D., ROMAO, C. & PETERSEN, J.-E., 2011: Which habitats of European importance depend on agricultural practices? – *Biodiversity Conservation* **20** (11): 2365–2378.
- HALL, K., REITALU, T., SYKES, M.T. & PRENTICE, H.C., 2012: Spectral heterogeneity of QuickBird satellite data is related to fine-scale plant species spatial turnover in semi-natural grasslands. – *Applied Vegetation Science* **15** (1): 145–157.
- HENLE, K., ALARD, D., CLITHEROW, J., COBB, P., FIRBANK, L., KULL, T., MCCracken, D., MORITZ, R.F.A., NIEMELÄ, J., REBANE, M., WASCHER, D., WATT, A. & YOUNG, J., 2008: Identifying and managing the conflicts between agriculture and biodiversity conservation in Europe – A review. – *Agriculture, Ecosystems & Environment* **124**: 60–71.
- LANG, S. & LANGANKE, T., 2006: Object-based mapping and object-relationship modeling for land use classes and habitats. – *PFG – Photogrammetrie, Fernerkundung, Geoinformation* **2006** (6): 5–18.
- LANG, S., PERNKOPF, L., VANDEN BORRE, J., FÖRSTER, M., HAEST, B., BUCK, O. & FRICK, A., 2011: Fostering sustainability in European nature conservation Natura 2000 habitat monitoring based on Earth observation services. – *First World Sustainability Forum 2011* <http://www.sciforum.net/presentation/724/abstract> (5.7.2013).
- LANG, S., VANDEN BORRE, J., HAEST, B., PERNKOPF, L., BUCK, O., PAKZAD, P., FÖRSTER, M. & HENDRIX, R., 2012: Multi-scale service for monitoring Natura 2000 habitats of European Community interest (MS.MONINA). – *Let's embrace space II*: 82–90, European Commission, Luxembourg, ISBN: 978-92-79-22207-8.
- MS.MONINA, 2013: www.ms-monina.eu (4.7.2013).
- LEVIN, N., SHMIDA, A., LEVANONI, O., TAMARI, H. & KARK, S., 2007: Predicting mountain plant richness and rarity from space using satellite-derived vegetation indices. – *Diversity and Distributions* **13**: 692–703.
- NAVARRO, L.M. & PEREIRA, H.M., 2012: Rewilding Abandoned Landscapes in Europe. – *Ecosystems* **15**: 900–912.
- NITSCH, H., OSTERBURG, B., ROGGENDORF, W. & LAGNER, B., 2012: Cross compliance and the protection of grassland – Illustrative analyses of land use transitions between permanent grassland and arable land in German regions. – *Land Use Policy* **29**: 440–448.
- POIRET, M., 1999: Crop trends and environmental impacts. – *Agriculture, Environment, Rural De-*

- velopment: Facts and Figures – A Challenge for Agriculture. – European Commission, <http://ec.europa.eu/agriculture/envir/report/en/index.htm> (15.4.2013).
- ROCCHINI, D., BALKENHOL, N., CARTER, G.A., FOODY, G.M., GILLESPIE, T.W., HE, K.S., KARK, S., LEVIN, N., LUCAS, K., LUOTO, M., NAGENDRA, H., OLDELAND, J., RICOTTA, C., SOUTHWORTH, J. & NETELER, M., 2010: Remotely sensed spectral heterogeneity as a proxy of species diversity: Recent advances and open challenges. – *Ecological Informatics* **5**: 318–329.
- SCHMIDTLEIN, S. & SASSIN, J., 2004: Mapping of continuous floristic gradients in grasslands using hyperspectral imagery. – *Remote Sensing of Environment* **92**: 126–138.
- SCHMIDTLEIN, S., 2005: Imaging spectroscopy as a tool for mapping Ellenberg indicator values. – *Journal of Applied Ecology* **42**: 966–974.
- SCHNITZER, P., EICHEN, C., ELLWANGER, G., NEUKIRCHEN, M. & SCHRÖDER, E., 2006: Empfehlungen für die Erfassung und Bewertung von Arten als Basis für das Monitoring nach Artikel 11 und 17 der FFH-Richtlinie in Deutschland. – *Berichte des Landesamtes für Umweltschutz Sachsen-Anhalt (Halle), Sonderheft 2*.
- SCHRAMEK, J., OSTERBURG, B., KASPERCZYK, N., NITSCH, H., WOLFF, A., WEIS, M. & HÜLEMEYER, K., 2012: Vorschläge zur Ausgestaltung von Instrumenten für einen effektiven Schutz von Dauergrünland. – Bundesamt für Naturschutz, Bonn-Bad Godesberg. http://www.bfn.de/fileadmin/mdb/documents/service/Skript_323.pdf (4.7.2013).
- SILLEOS, N.G., ALEXANDRIDIS, T.K., GITAS, I.Z. & PERAKIS, K., 2006: Vegetation indices: advances made in biomass estimation and vegetation monitoring in the last 30 years. – *Geocarto International* **21**: 21–28.
- SILVA, J.P., 2008: LIFE and Europe's grasslands: restoring a forgotten habitat. – Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.
- STRAND, H., HÖFT, R., STRITTHOLT, J., MILES, L., HORNING, N., FOSNIGHT, E. & TURNER, W., 2007: Sourcebook on Remote Sensing and Biodiversity Indicators. – Secretariat of the Convention on Biological Diversity, Technical Series no. **32**, Montreal, Canada.
- TUCKER, C.J., 1979: Red and Photographic Infrared Linear Combinations for Monitoring Vegetation. – *Remote Sensing of the Environment* **8**: 127–150.
- TURNER, W., SPECTOR, S., GARDINER, N., FLADELAND, M., STERLING, E. & STEININGER, M., 2003: Remote sensing for biodiversity science and conservation. – *Trends in Ecology and Evolution* **18**: 306–314.
- VANDEN BORRE, J., PAELINCKX, D., MÜCHER, C.A., KOOISTRA, L., HAEST, B., DE BLUST, G. & SCHMIDT, A.M., 2011: Integrating remote sensing in Natura 2000 habitat monitoring: Prospects on the way forward. – *Journal for Nature Conservation* **19**: 116–125.
- WANG, K., FRANKLIN, S.E., GUO, X. & CATTET, M., 2010: Remote sensing of ecology, biodiversity and conservation: A review from the perspective of remote sensing specialists. – *Sensors* **10**: 9647–9667.
- WEIERS, S., BOCK, M., WISSEN, M. & ROSSNER, G., 2004: Mapping and indicator approaches for the assessment of habitats at different scales using remote sensing and GIS methods. – *Landscape and Urban Planning* **67**: 43–65.

Address of the Authors:

OLIVER BUCK, ADRIAN KLINK, DR. VIRGINIA ELENA GARCÍA MILLÁN, DR. KIAN PAKZAD & DR. ANDREAS MÜTERTHIES, EFTAS Fernerkundung Technologietransfer GmbH, Oststr. 2–18, D-48145 Münster, Tel.: +49-251-13307-0, Fax: +49-251-13307-33, e-mail: {oliver.buck}{adrian.klink}{virginia.garcia}{kian.pakzad}{andreas.mueterthies}@eftas.com



GMES4Mining – Description of a Flooding Process in Mining Areas using spectral Indices on multi-temporal Landsat Imagery

VIRGINIA ELENA GARCÍA MILLÁN, SEBASTIAN TEUWSEN & KIAN PAKZAD, Münster

Keywords: flooding, mining areas, multi-temporal, spectral vegetation and water indices

Summary: The R&D project GMES4Mining aims to support particular tasks within the different phases of a mining life cycle. Within this project one task concentrates on vegetation monitoring in order to detect damages caused by mining. In Germany several mining districts have been exploited for a long time. Mining areas are associated with certain environmental hazards, such as surface subsidence and flooding. The change in substrate compaction due to mineral extraction provokes surface subsidence, down to the point that the surface can reach the groundwater level. This phenomenon provokes negative effects on vegetation, which can be observed using remote sensing. A temporal series of Landsat images from 1999 to 2012 has been used to detect temporal changes in vegetation by calculating 3 spectral indices. The spectral indices relate to vegetation greenness, leaf pigments and water content. The aim of this study is to detect early indications and to monitor the process of flooding in abandoned mining sites, to prevent environmental and civil hazards. Moreover, it is investigated whether these indices are appropriate to detect flooded areas and to describe the vegetation succession, once a flooded area is drained. It is expected that this methodology will be applicable to the future Sentinel-2 data, in order to monitor and prevent hazards in mining areas.

Zusammenfassung: *GMES4Mining – Beschreibung des Flutungsprozesses in Bergbaugebieten durch Spektralindizes aus multitemporalen Landsat Daten.* Das F&E Projekt GMES4Mining hat das Ziel, bestimmte Aufgaben in den verschiedenen Phasen des Bergbauzyklusses zu unterstützen. Innerhalb des Projektes besteht eine Aufgabe darin, ein Vegetationsmonitoring durchzuführen, um Schäden, die durch den Bergbau hervorgerufen wurden, zu detektieren. Dieses ist der Kontext der Studie, die hier beschrieben wird. Bergbau wird in verschiedenen Regionen Deutschlands seit langer Zeit durchgeführt. Der Bergbau ist jedoch auch mit bestimmten Umweltschäden wie Bodensenkungen und Überflutungen verbunden. Die Änderung der Bodenverdichtung durch den Abbau von Bodenschätzen bewirkt teilweise Bodensenkungen bis zum Erreichen des Grundwasserspiegels. Dieser Effekt kann mit Hilfe von Fernerkundung über die Auswirkung auf die Vegetation beobachtet werden. Eine multitemporale Serie von Landsat Bildern aus den Jahren 1999 bis 2012 wurde verwendet, um zeitliche Änderungen der Vegetation mit Hilfe von drei Vegetationsindizes zu detektieren. Die Indizes beschreiben Vitalität, Blattpigmentierung und Wassergehalt. Das Ziel dieser Methode ist es, erste Anzeichen und den Verlauf einer Überflutung in Bergbaugebieten zu beobachten und Schäden vorzubeugen. Die Methoden werden auch im Hinblick auf eine mögliche Nutzung des zukünftigen Sentinel-2 Satelliten entwickelt, um mit ihrer Hilfe Bergbauschäden vorzubeugen.

1 Background

The R&D project GMES4Mining is a joint project of four partners from the industry and the university sector which started in August 2011. GMES4Mining aims to support particu-

lar tasks within the different mining phases. The tasks for which new methods are developed and tested within the project are: monitoring of vegetation, detection of ground movements and the support of the exploration process. These tasks were identified during a

user survey carried out within the project. Besides these tasks, a spatial data infrastructure (SDI) will be created to make the developed methods available to the users.

The work described here is part of the method developments for vegetation monitoring. The monitoring of post-mining impacts at a medium scale is related to the objectives of the European DIRECTIVE 2006/21/EC (2006) which exposes in Article 13 the monitoring of solid wastes and the minimization of impacts on ground waters.

The coal mine Prosper-Haniel serves as a test site. Although it covers only 165 km², there are several thousands of square kilometres affected by post-mining impacts throughout Germany, Southern Belgium and Northern France. This poses a great socio-economic impact and has political relevance for a highly populated area with estimated 20 million citizens.

This project aims to investigate the potential of multi-temporal satellite images to monitor vegetation in order to detect damages caused by mining. In a coming phase, hyperspectral images will be added for a combined vegetation monitoring approach. Therefore, the described study is the first part of the development of vegetation monitoring in mining areas.

2 Environmental Process

Adverse effects such as surface subsidence and flooding can be linked to mining activities. These impacts are related to the ac-

tive water pumping during the exploitation of the mineral. The extraction of water from the ground water causes a change in the pressure of the granular structures of the ground. Without water, these materials present a lower cohesion and lose their buoyancy resulting in a compacting, provoking a subsidence of the ground surface (BUSCH et al. 2012, PREUSSE et al. 2008).

From an optical point of view, these phenomena can be indirectly monitored by the observation of changes in the vegetation. Vegetated areas undergo an increase of leaf productivity and water content in areas of high ground water level. However, if the ground water level is close to the surface, plant roots overwater, leading to the yellowing of leaves and the death of the plant. In the last step of the process, water emerges at the surface (Fig. 1).

Along these three flooding steps vegetation can be observed (greenness, yellowness and leaf water content) with remote sensed data through specific spectral indices, which provide enhanced information about chlorophyll (normalized difference vegetation index, NDVI), other pigments (plant senescence reflectance index, PSRI) and water content in leaves (normalized difference moisture index, NDMI) over time.

3 Objectives

Mining is one of the most important economic activities in Germany, and particularly in the Ruhr Valley area. Due to the intensive modification of the landscape, mining generates

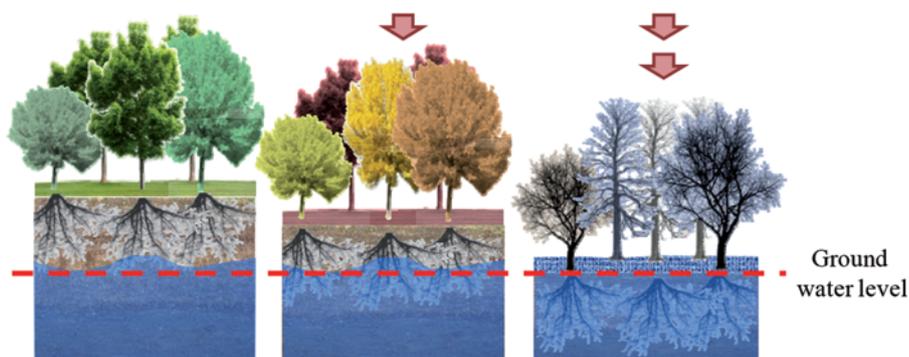


Fig. 1: Mining activities can provoke ground subsidence up to the point where the ground surface reaches the ground-water table and water emerges.

environmental impacts that need to be monitored. The main goals of this study are the monitoring of mining impacts using remote sensing techniques such as the flooding process and the identification of flooded areas. Moreover, the ecological succession process of vegetation after drainage of the flooded areas is also monitored.

4 Methods

4.1 Study Site

Kirchheller Heide is a forested area located north of Oberhausen and Bottrop in the Ruhr area in Germany (Fig. 2). The area lies on the Low-Rhein sandstone plate, between the Lippe and Emscher valleys. Many streams run along the area, such as the Rotbach and

the Schwarzbach. It is part of the Natural Park “Hohe Mark”. The landscape had experienced many changes over time. In the 20th century, the area was reforested with pine trees, mainly, after several centuries of cattle and agricultural exploitation. Today, the area is a mosaic of different habitats, such as moors, heaths, coniferous and deciduous forests, and grasslands, and for this reason it is a protected area since 1926.

The Prosper-Haniel mine underneath the Kirchheller Heide is one of the most productive hard coal mines in Germany. It is operated by the Ruhrkohle Aktien Gesellschaft (RAG). Approximately 3.2 million tons per year of high-quality coal are extracted, which is primarily used for the production of electricity. The coal is planned to be gained until 2018 in four mining operations at depths between 700 m and 1246 m (RAG 2013).

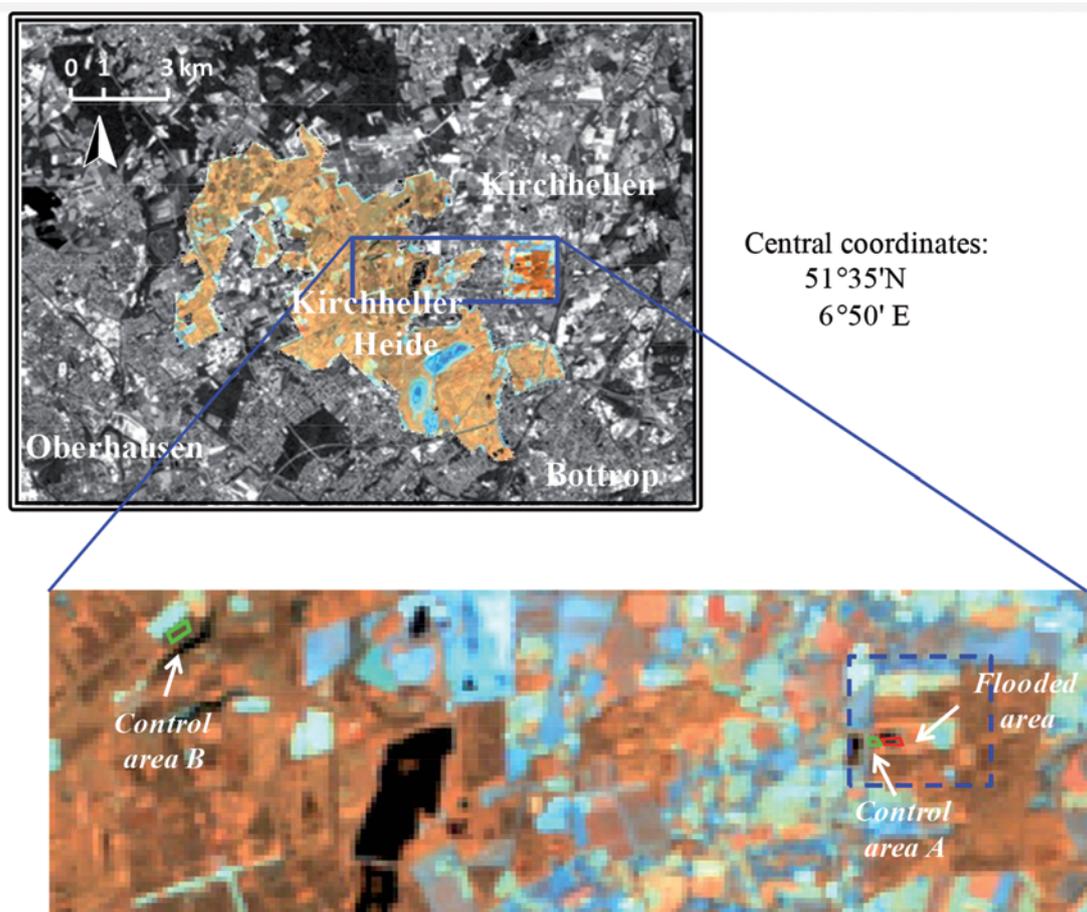


Fig. 2: Location of the study site in Kirchheller Heide, in the Ruhr area (Germany). Enlarged, the flooded and the control areas A and B are shown.

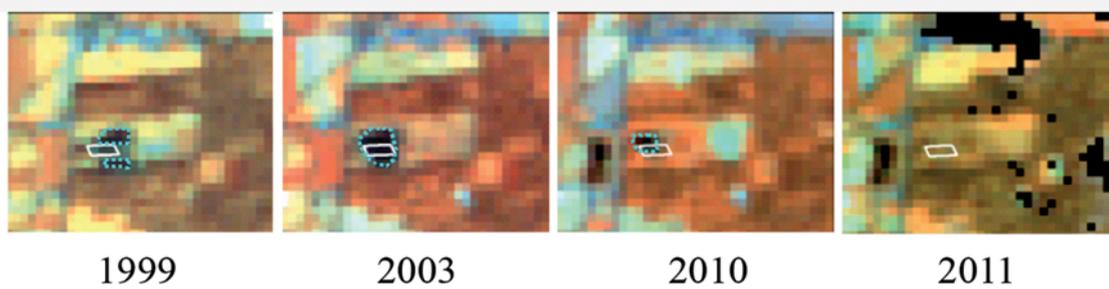


Fig. 3: Study area in Kirchheller Heide (dashed-line box in Fig. 2) shown here as an RGB composite of bands B4-B5-B7 of Landsat. Solid line: test site for this study, dotted line: flooded area. 1999: pine forest, flooding started in the northern and southern surroundings; 2003: water flooded the pine forest; after 2006: pond shrinking; 2011: pond dried out.

Kirchheller Heide has been selected as a study site because several episodes of flooding occurred parallel to the coal mine exploitation. These flooding events are well known and documented in detail by local forestry authorities.

A pine forest area (*Pinus sylvestris*) within Kirchheller Heide was selected for the scope of the study (Fig. 2). In 2000, water emerged to the surface forming a pond.

Due to rising water levels and the danger of flooding a neighbouring road, the forestry and water authorities built a drainage pipe under the road in 2006. After this engineering action, the pond dried out and was initially colonized by shrubs, and followed by birch tree samples in a second phase of succession. In Fig. 3, the evolution of the flooded area can be observed. In 1999, water emerged at the surface in the surroundings of the test pine forest. In 2003, the test site was completely flooded and the pine forest totally gone. After 2006, the pond was actively shrunk, so in 2010 the extension of the flooded was considerably smaller. In 2011, no water in surface can be seen in the Landsat scene. Therefore, this study site permits the investigation of 1) the flooding process between 1999 and 2000, 2) the identification of flooded areas between 2000 and 2006 and 3) the ecological succession after the pond drainage from 2006 onwards.

4.2 Optical Remote Sensing for Monitoring Vegetation

4.2.1 Image acquisition and pre-processing

The main goal of this study is the monitoring of the flooding process, the identification of flooded areas and the monitoring of vegetation recovery in a test site in Kirchheller Heide, over a given period of time. Therefore, it was required to use satellite data covering the full study area with a high frequency since 2000, when the flooding occurred, and before. The most suitable option was to use a Landsat time series (Landsat-5 TM and 7 ETM+), covering the period between 1999 and 2012, with the exception of 2007, when there was no image available.

Moreover, Landsat covers a large spectral range, which enables the calculation of different spectral indices. Particularly, water content indices such as NDMI require the use of the short infrared spectra, which is not available in most current sensors.

Furthermore, one important goal of this study is to develop methods for monitoring flooding events which can be applied using future generations of satellites for vegetation monitoring at landscape scale, such as Sentinel-2. To date, Landsat is the most similar sensor available to Sentinel-2, regarding spectral range, temporal and spatial resolution (Tab. 1).

Landsat-7 ETM+ was preferred for this study. However, after the failure of the scan line corrector (SLC) in May 2003, Landsat-7

Tab. 1: Comparison of Landsat-7 ETM+ and Sentinel-2.

	Sentinel-2	Landsat-7 ETM+
Swath	290 km	185 km
Temporal resolution	5 days	16 days
Spatial resolution	10 m – 20 m – 60 m	30 m – 60 m
Spectral configuration	Multispectral	Multispectral
Spectral resolution (nm)	B1*:433 – 453 B2**: 457 – 552 B3**: 557 – 612 B4**: 650 – 680 B5: 690 – 720 B6: 725 – 755 B7: 773 – 793 B8**: 784 – 899 B8b*: 855 – 875 B9*: 935 – 955 B10: 1365 – 1395 B12: 1565 – 1655 B12: 2100 – 2280	B1: 450 – 520 B2: 520 – 600 B3: 630 – 690 B4: 770 – 900 (B4) (B4) B5: 1550 – 1750 B7: 2090 – 2350 B6*: 10400 – 12500

* Bands with 60 m GSD (ground sampling distance)

** Bands with 10 m GSD

images have missing data lines. Therefore, cloud-free images of Landsat-5 TM were used after 2003. As an ultimate option, Landsat-7 ETM+ (SLC-off) were used when no cloud-free Landsat-5 images were available. Thirteen images corresponding to the time window of high plant activity (May-September) were selected (Tab. 2). They were radiometrically calibrated to avoid differences in reflectance between sensors (Landsat 5 TM and 7 ETM+) and solar illumination conditions due to the date and hour of acquisition. Furthermore they were atmospherically corrected in FLAASH (Exelis Visual Information Solutions, Boulder, Colorado, USA) to remove atmospheric radiance. Clouds, cloud shadows and defective pixels of Landsat-7 ETM+ (SLC-off) were masked regarding the used test areas. No pixels were affected by the defective stripes of failed Landsat-7 SLC sensor. Fortunately, only few pixels of the 2005 image were affected by clouds. The whole Landsat collection was delivered at Level-1G by the USGS (United States Geological Survey). The pixel-wise geometric matching of all delivered scenes was checked. Only the image corresponding to 2012 needed to be co-registered, while the rest of the collection matched perfectly.

Tab. 2: List of applied Landsat scenes between 1999 and 2012.

Landsat scenes acquired for temporal vegetation monitoring	
9th September 1999	Landsat-7 ETM+
6th May 2000	Landsat-7 ETM+
25th May 2001	Landsat-7 ETM+
16th August 2002	Landsat-7 ETM+
11th August 2003	Landsat-5 TM
6th September 2004	Landsat-7 ETM+ *
24th August 2005	Landsat-7 ETM+ *
18th July 2006	Landsat-5 TM
31st July 2008	Landsat-7 ETM+ *
19th August 2009	Landsat-7 ETM+ *
27th June 2010	Landsat-5 TM
2nd September 2011	Landsat-5 TM
26th July 2012	Landsat-7 ETM+ *

*(SLC-off)

Many environmental parameters can influence the spectral response of the observed targets such as the atmospheric conditions at the moment of the image acquisition, the soil type, the weather conditions in the year, the different radiation conditions (due to slope orientation), and the phenology. To discriminate spectral response caused by the flooding

process or by other environmental variables, a control of the source of the spectral variability is needed. Some spectral variability can be controlled by selecting areas with similar conditions, i.e. soil type and orientation. The atmospheric correction of all Landsat images reduces the variability of atmospheric conditions. Moreover, the calibration of the Landsat scenes also reduces differences between Landsat-7 and Landsat-5. The selection of summer images was intended to reduce variability in phenology. Nevertheless, there are many other factors that cannot be controlled. For that reason, the flooded test site was compared to two control areas. It was assumed that variations in the spectral response from one year to the next may happen, while differences in the spectral signal between control and flooded sites are due to flooding (Fig. 5).

4.2.2 Spectral vegetation indices

The known flooded area was identified on the Landsat scene of 2006, when the flooding reached its maximum extension. Moreover, a nearby control area was selected as proposed by SALVADOR et al. (2000). It had the same forest composition as the test site before it was flooded (control area A, Fig. 2). An extra control area with similar forest composition and soil type but unaffected by the ground water rise was selected and digitized (4.5 km apart), to avoid any influence of anomalies in the ground water level (control area B). Orthophotos of Kirchheller Heide from 2001 together with GPS points gathered in a field campaign performed in October 2012 were used for the location and digitization of the flooded and the control areas. In order to avoid edge effects and reduce pixel mixing and light scattering from neighbouring pixels, only central pixels were used, both for test and control areas. In the case of the test area, pixels in the centre of the flooded area were selected, while in the case of the control areas, pixels in the core forest were used.

Three indices were used to describe the three stages of the flooding process (Fig. 1): the normalized difference vegetation index (NDVI), the plant senescence reflectance index (PSRI) and the normalized difference moisture index (NDMI) (Tab. 3). NDVI has

been widely used for research, in particular for detecting vegetation changes (SALVADOR et al. 2000). PSRI was selected because it performs well to identify senescent forests (CASTRO & SÁNCHEZ AZOFEIFA 2008). NDMI was selected because it is specifically designed for monitoring leaf water content using Landsat data (JIN & SADER 2005). These indices are based on the spectral properties of different physiological processes of the plants such as photosynthesis, plant necrosis, pigments, and water content. Therefore, they are sensitive to differentiate vegetation from other targets such as water surfaces. For this reason, they are useful for the identification of flooded areas. The indices are a ratio of two or more Landsat bands, corresponding to reflectance peaks or absorption areas in the spectral signature of the plant (Fig. 4, Tab. 3). In comparison to other materials, plants absorb visible light for photosynthesis and reflect infrared light (770 – 2500 nm). Chlorophyll and other photosynthetic pigments are responsible for the absorption of the visible light, mainly in the blue and the red spectra, while infrared light is reflected because of water present in the leaves mesophyll. The health of plants is expressed in their spectral signatures. Healthy plants are photosynthetically active with high water content leading to a large increase in spectral reflectance between the visible and the near infrared spectra. This dramatic change in reflectance from red to infrared is called “red edge”. On the other hand, plants that show health problems, e.g. caused by plagues, drought or overwatering, reduce their absorption of visible light and reflectance of infrared. Here, the red edge is less evident. To the human eye, the combination of not absorbed blue, green and red light results in the yellowish colour in senescent leaves.

Some spectral vegetation indices, such as NDVI, are independent of the species composition and describe vegetation exclusively in terms of biomass and net primary productivity (NPP) (GAMON et al. 1995). Nevertheless, most spectral indices are sensitive to phenological changes in vegetation (DYMOND et al. 2002). For that reason, the selection of a control area of the same tree composition was used to monitor changes in the test area.

5 Results

The variation of spectral indices during the time series of the flooded and the control areas was investigated, in order to describe the different flooding phases. The behaviour of each spectral index is represented in time graphs (Fig. 5).

For the correct interpretation of the graphs, it is necessary to consider that control areas and the test areas do not represent the same targets along the time. Control areas A and B are pine plantations dominated by *Pinus sylvestris* and did not change their status during the studied time period. However, the flooded test site changed its composition over time. In 1999, it was a forest dominated by pines (similar to control areas A and B). Between 2000 and 2006 it was flooded (water over the surface). Around 2006 it was drained (bare soil). After 2006 ecological succession took place (shrubs and birch samples). For all three spec-

tral indices (NDVI, PSRI and NDMI), both control areas A and B present similar spectral responses over the monitored fourteen years (Fig. 5). This is an indicator that non-affected pine forests kept similar health conditions.

The spectral values of control forests A and B vary between expected values reported for healthy vegetation, confirming that they were not under environmental stress: values reported for NDVI for green vegetation vary between 0.2 and 0.9 (TUCKER 1979). Values reported for PSRI for green vegetation range between -0.1 and 0.2 (MERZLYAK et al. 1999) and values reported for NDMI for green vegetation extend between 0 and 0.5 (JIN & SADER 2005). The observed values for the three spectral indices of the control areas in the study site are 0.5 to 0.9 in NDVI, -0.1 to 0.2 in PSRI, and 0 and 0.5 in NDMI.

In 1999, NDVI and NDMI in the test area present lower values than the control areas A and B: 0.5 (test area) versus 0.75 (control areas

Tab. 3: Definition of the spectral indices used for flooding monitoring.

Greenness		
Normalized difference vegetation index	$NDVI = \frac{R_{NIR} - R_{Red}}{R_{NIR} + R_{Red}}$	TUCKER 1979
Leaf pigments		
Plant senescence reflectance index	$PSRI = \frac{R_{Red} - R_{Blue}}{R_{NIR}}$	MERZLYAK et al. 1999
Leaf water content		
Normalized difference moisture index	$NDMI = \frac{R_{NIR} - R_{SWIR}}{R_{NIR} + R_{SWIR}}$	JIN & SADER 2005

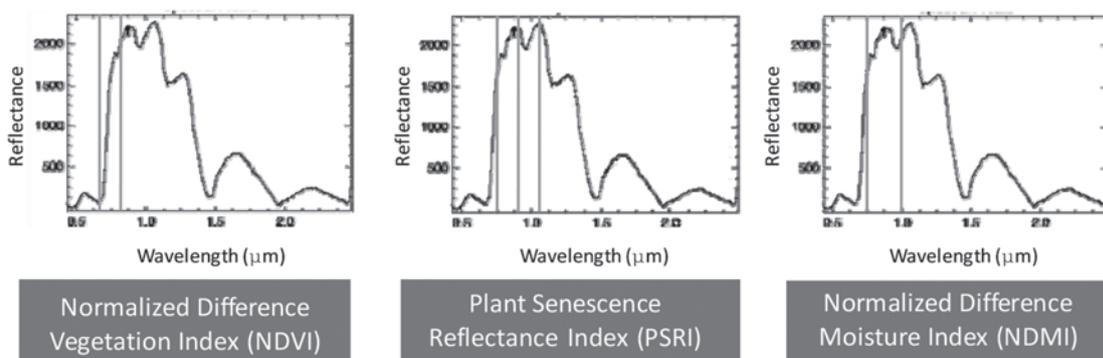


Fig. 4: Spectral bands involved in the spectral indices used for flooding monitoring.

A and B) for NDVI, and 0.2 (test area) versus 0.5 (control areas) for NDMI. On the other hand, PSRI showed a slightly higher value in the test area compared to the control areas, i.e. around 0.

The test area showed its lowest value for all spectral indices in 2000, coinciding with the emerge of water at the surface: around -0.5 for NDVI, -1.4 for PSRI and around -2.4 for NDMI (Fig. 5). NDVI values remained low compared to the control areas A and B until 2010. It showed values between -0.5 to 0.2 in the period 2000 – 2006 and 0.3 to 0.8 in the period 2008 – 2010. After 2010 the test area reaches similar NDVI values compared to the control areas (Fig. 5). A gradual recovery of NDVI values from 2000 to 2010 is observable. PSRI and NDMI values showed only a low value compared to the control areas A and B in 2000. For all other years, PSRI and NDMI are within the same range as the control areas (Fig. 5).

6 Discussion

Mining activities are an important sector of the German economy. Like other human activities, they can cause environmental impacts that need to be monitored and controlled. Mining can cause for example subsidence and flooding that affect infrastructures, croplands and forestry resources, and thus generate a social and economic impact.

For this reason, there is an urgent need to develop methods and tools to support the surveillance and risk management, in order to follow civil and environmental policies.

Three spectral indices were tested in a German mining area in order to 1) monitor the previous phases of a flooding process of a pine forest in 2000 due to terrain subsidence caused by mining activities, 2) to identify water masses, and 3) to monitor the process of succession after the pond dried out in 2006.

The variation of the spectral indices was observed at two control sites of pine forests to limit confusion with other sources of spectral variability such as phenology or weather conditions.

The three indices were selected to identify different stages of the flooding process

over time with respect to the health status of the vegetation before the flooding (NDVI), the yellowing and senescence of trees when ground water level is close to the surface (PSRI), and the presence of surface water during flooding (NDMI) (Fig. 1). They were also expected to show deviating values with respect to the control areas during the flooding period from 2000 to 2006.

In 1999 lower values of NDVI and NDMI were observed compared to the control areas, especially in NDVI, but still within the normal range reported for vegetation targets, between 0.2 and 0.9 for NDVI and between 0 and 0.5 for NDMI, meaning that trees were partially defoliated in 1999. As observed in Fig. 3, in 1999 areas north and south of our test site were flooded. Thus, it is assumed that the ground water level is close to surface under the pine forest under study. The lack of air in the rooting zone provoked the decease of the trees, which is expressed at this early stage as defoliation. The low values of NDVI in comparison to the control areas are caused by the decrease in leaf biomass and chlorophyll content in the test forest canopy. The lower NDMI values are caused by a reduction of the water content in the mesophyll of leaves in senescent leaves, plus a reduction of leaves in the observed test forest. Therefore, NDVI and NDMI seem to be good predictors of early effects of flooding in vegetation.

On the other hand, trees in the test area presented similar values to the control areas A and B for PRSI. This observation implies either that 1) this index is not appropriate for detecting early signs of flooding, or 2) trees are defoliated but leaves do not turn to yellow, or 3) a higher spatial or temporal resolution is needed to observe the yellowing of leaves (Fig. 5).

All three tested spectral indices, NDVI, PSRI and NDMI, showed a strong decrease in 2000, when the test site flooding occurred. However, NDMI and PRSI showed similar values to the control areas A and B, except for the year 2000 (Fig. 5). Therefore, PSRI and NDMI are not good enough to identify flooded areas, nor to describe the succession process after the drainage of the flooded area.

An explanation for this quick spectral response recovery may be linked to the fact that

these indices are capturing the spectral reflectance of other vegetation types such as algae during the flooding period until 2006, or shrub and birch saplings after 2006, when terrestrial vegetation re-colonized the drained area.

NDVI appeared to better identify flooded areas and better describe the succession process since it presents lower values than reported for healthy vegetation from 2000 and 2006, and presents values for healthy vegetation (TUCKER et al. 1979) between 2006 and 2010, due to the presence of shrub and birch saplings in the test area.

This different behaviour of NDVI in comparison to PSRI and NDMI may respond to the fact that NDVI is not only related to pho-

tosynthetic activity, but also to biomass. However, PSRI and NDMI respond to variations in pigments and water content, which can be very high in smaller photosynthetic organisms such as algae, cyanobacteria or aquatic plants, and are not only related to terrestrial vegetation.

Another conclusion that can be extracted from our results is that changes in vegetation related to flooding are very well delimited in extension, since the control area A presented very similar spectral behaviour to the control area B, located 4.5 km away. Control area A did not show any indication of being affected by a rising ground water level (close to the surface), in which case the control area A would have shown similar spectral response to the flooded test site.

These results encourage further research on monitoring floodings using remote sensing sensors to define in a more accurate manner of finding affected areas and of developing time sequence of early flooding effects on vegetation. Landsat presents a medium resolution (30 m), which partially limits the accurate estimation of flooding in the study site. The use of higher spatial resolution imagery with a high temporal availability such as RapidEye (5 m) might improve the determination of affected areas. However, RapidEye was not launched until 2009, so it was not adequate for this study site, flooded in 2000. Our study showed that the flooding process occurred over a relatively short time. In addition to the use of sensors with higher spatial resolution, it is also recommended to analyse a higher number of images per year in order to calculate the time frame between the first indications of flooding in vegetation (senescence and yellowing) and the moment when water emerges at the surface.

Moreover, we encourage the exploration of different spectral indices that are more independent on environmental variability and related only to forest biomass, in order to better discriminate flooding effects on trees.

As mentioned initially, hyperspectral images will be also used for vegetation monitoring within the GMES4Mining project. A combination of hyperspectral and multi-temporal satellite images will be used to enhance the information retrieved using Landsat data.

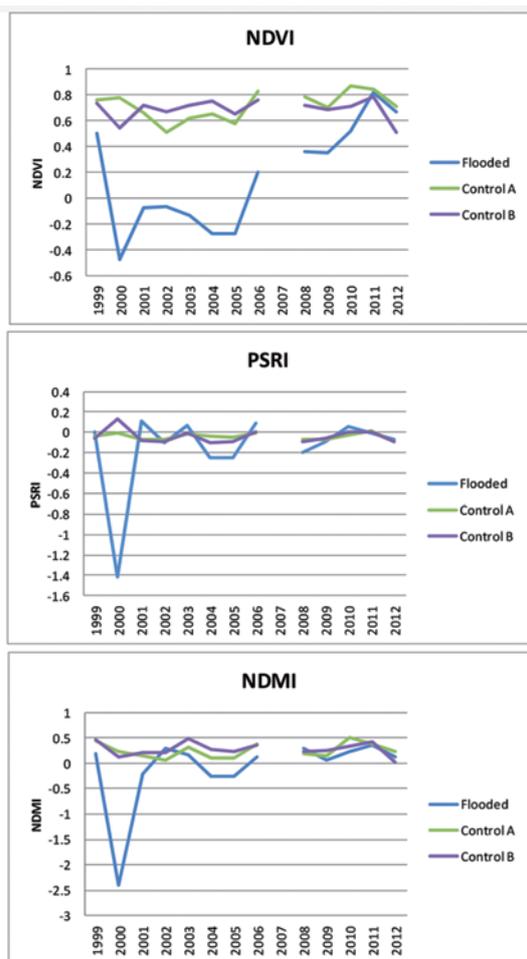


Fig. 5: Spectral behaviour of the test area and two control areas (A and B) expressed through spectral indices.

It is expected that the methods developed here can be applied to future Sentinel-2 images because of comparable spatial, temporal and spectral resolutions of the Sentinel-2 and Landsat sensors. The smaller pixel size in the visible and near infrared bands (Tab. 1) of Sentinel-2 will enhance the estimation of flooding effects using NDVI and similar spectral indices.

Acknowledgement

This project is supported by funds from the EU and North Rhine-Westphalia. Additionally, we would like to thank Ruhrkohle Aktien Gesellschaft (RAG) for providing images and information about the flooding process in the test site.

References

- BUSCH, W., COLDEWEY, W.G., WALTER, D., WESCHE, D. & TIELMANN, I., 2012: Analyse von Senkungserscheinungen außerhalb prognostizierter bergbaulicher Einwirkungsbereiche des Bergwerks Prosper-Haniel. – Gutachten der TU Clausthal und der WWU Münster vom 31.8.2012 im Auftrag der Bezirksregierung Arnsberg (Abt. 6), Clausthal-Zellerfeld.
- CASTRO, K.L. & SÁNCHEZ AZOFEIFA, G.A., 2008: Changes in spectral properties, chlorophyll content and internal mesophyll structure of senescing *Populus balsamifera* and *Populus tremuloides* leaves. – *Sensors* **8** (1): 51–59.
- DIRECTIVE 2006/21/EC, 2006: Directive on the management of waste from extractive industries. – Official Journal of the European Union, L102, Luxembourg.
- DYMOND, C.C., MLADENOFF, D.J. & RADELOFF, V.C., 2002: Phenological differences in Tasseled Cap indices improve deciduous forest classification. – *Remote Sensing of Environment* **80**: 460–472.
- GAMON, J.A., FIELD, C.B., GOULDEN, M.L., GRIFFIN, K.L., HARTLEY, A.E., JOEL, G., PEÑUELAS, J. & VALENTINI, R., 1995: Relationships between NDVI, canopy structure and photosynthesis in three Californian vegetation types. – *Ecological Applications* **5**: 28–41.
- JIN, S. & SADER, S.A., 2005: Comparison of time series tasseled cap wetness and the normalized difference moisture index in detecting forest disturbances. – *Remote Sensing of Environment* **94**: 364–372.
- MERZLYAK, J.R., GITELSON, A.A., CHIVKUNOVA, O.B. & RAKITIN, V.Y., 1999: Non-destructive Optical Detection of Pigment Changes During Leaf Senescence and Fruit Ripening. – *Physiologia Plantarum* **106**: 135–141.
- PREUSSE, A., KATELOE, H.J., SROKA, A. & HEGEMANN, M., 2008: Technical Assessment of Subsequent Burdens due to Hard Coal Mining. – 27th International Conference on Ground Control in Mining, ICGCM, Morgantown, WV, USA.
- RAG, 2013: www.rag.de (4.7.2013).
- SALVADOR, R., VALERIANO, J., PONS, X. & DIAZ-DELGADO, R., 2000: A semi-automatic methodology to detect fire scars in shrubs and evergreen forests with Landsat MSS time series. – *International Journal of Remote Sensing* **21** (4): 655–671.
- TUCKER, C.J., 1979: Red and Photographic Infrared Linear Combinations for Monitoring Vegetation. – *Remote Sensing of the Environment* **8**: 127–150.

Address of the Authors:

Dr. VIRGINIA ELENA GARCÍA MILLÁN, SEBASTIAN TEUWSEN & Dr. KIAN PAKZAD, EFTAS Fernerkundung Technologietransfer GmbH, Oststraße 2-18, D-48145 Münster, Tel.: +49-251-13307-0, Fax: +49-251-13307-33, e-mail: {virginia.garcia}{sebastian.teuwsen}{kian.pakzad}@eftas.com

Manuskript eingereicht: April 2013

Angenommen: Juli 2013



Die Reform der Gemeinsamen Agrarpolitik – Möglichkeiten und Grenzen der Fernerkundungskontrolle

CORDT BÜKER, Münster & THOMAS LETTAU, Erfurt

Schlüsselwörter: Fernerkundung, InVeKoS, Gemeinsame Agrarpolitik (GAP), Greening

Zusammenfassung: Die Fernerkundungskontrolle ist das bevorzugte Verfahren bei den beihilferechtlich vorgeschriebenen Stichprobenprüfungen der europäischen Direktzahlungen in der Landwirtschaft. Aufgrund der Umstellung der europäischen Agrarpolitik (GAP) ab 2014 werden die gegenwärtig ausgehandelten neuen Bedingungen unter der Fragestellung der Prüfbarkeit mittels Fernerkundung diskutiert. Zum größten Teil werden diese Bedingungen jedoch auch in Zukunft fernerkundlich überprüfbar sein; die Greening-Vorgaben der Anbaudiversifizierung, der Dauergrünlanderhaltung und der ökologischen Vorrangflächen gehen nur wenig über die bisherigen Anforderungen an die Antragstellung hinaus.

Summary: *The Reform of the Common Agriculture Policy – Potentials and limits of Remote Sensing Controls.* Control with Remote Sensing (CwRS) is the preferred technique used for legally required sample checks of EU direct payments in agriculture. Based on the adjustment of the Common Agricultural Policy (CAP) from 2014 onwards the currently negotiated conditions are discussed under the question of technically feasible CwRS. For the most part these conditions could be checked by remote sensing in the future. The greening conditions of crop diversification, maintenance of permanent pastures and ecological focus areas are not far beyond the current requirements of the application.

1 Einleitung

Die europäische Agrarpolitik beinhaltet bis zum Jahr 2013 in der sogenannten ersten Säule die flächengebundenen jährlichen Direktzahlungen sowie in der sogenannten zweiten Säule die Prämien zur Entwicklung des ländlichen Raumes. Die Betriebsprämie (1. Säule), die jedem Landwirt auf Antrag gewährt wird, besteht in Deutschland aus einer weitestgehend nutzungsunabhängigen Prämie für Acker-, Grünland- und einige Dauerkulturflächen. Prämien für beantragte Agrarumweltprogramme im Rahmen der Entwicklung des ländlichen Raumes (2. Säule) können nur bei Einhaltung weiterer Kriterien gewährt werden, z. B. Nutzungsbindung und Flächenlage in bestimmten Gebieten. Näheres ist durch die VERORDNUNG (EG) 1698/2005 (2005) und fallweise durch nachgeordnete Durchführungsverordnungen der einzelnen Bundesländer geregelt. Die beihilferechtlich vorgeschriebe-

nen Stichprobenkontrollen im Rahmen des Integrierten Verwaltungs- und Kontrollsystems (InVeKoS) vor der Auszahlung der Gelder werden seit vielen Jahren mit Hilfe der Fernerkundung durchgeführt.

Die Fernerkundungskontrolle wird in der Regel von privaten Dienstleistern aus dem Bereich der Geoinformationsverarbeitung übernommen. Die Firmen koordinieren die Aufnahme und Verarbeitung der erforderlichen Bilddaten und führen diese mit den Antragsunterlagen, den Flächen des landwirtschaftlichen Parzellen-Informationssystems (LPIS) und weiteren Informationsebenen zusammen. Mit Hilfe eines GIS werden die beantragten Flächen in visueller Interpretation identifiziert und abgegrenzt. Dabei wird die Größe und Nutzung der beantragten Flächen auf Grundlage aktueller hochauflösender Luftbilder bzw. Satellitenaufnahmen überprüft. Bei Feststellung des Vorliegens der Voraussetzungen für die Prämiengewährung werden die einzelnen Flächen gemäß den unterschiedli-

chen Prämienanträgen aufsummiert. Die Agrarverwaltung des jeweiligen Bundeslandes übernimmt danach die rechtliche Würdigung der Kontrollergebnisse in Bezug auf die beantragten Flächen und Prämien.

Die gegenwärtig in Brüssel diskutierte Umstellung der europäischen Agrarpolitik nach 2013 sieht eine Aufteilung der Direktzahlungen vor. Unter anderem sollen 30% der Direktzahlungen im Rahmen des so genannten „Greening“ (Zahlung für dem Klima- und Umweltschutz förderliche Landbewirtschaftungsmethoden) von der Einhaltung bestimmter ökologischer Standards abhängig gemacht werden. Deren Kontrolle mit Hilfe der Fernerkundung ist Gegenstand des vorliegenden Artikels.

Aufgrund des noch laufenden Einigungsverfahrens für die Bedingungen der künftigen EU-Agrarpolitik ab 2014 und der damit verbundenen Abstimmungen zwischen EU-Kommission, Europaparlament und Rat, sowie auch der Einflussnahme der Mitgliedsstaaten, ist zu erwarten, dass sich an der Ausgestaltung aller Bedingungen für die Direktzahlungen noch Änderungen ergeben. Über die grundsätzlichen Anforderungen sind sich die Institutionen dagegen bereits einig.

2 Rückblick auf die Entwicklung der Agrarpolitik und den Einsatz der Fernerkundung

Die Anfänge der Gemeinsamen Agrarpolitik der Europäischen Gemeinschaft standen zunächst unter dem Ziel der Protektion der europäischen Agrarprodukte gegenüber den Preisschwankungen des Weltmarktes. Umsetzungsdefizite in den 1980er Jahren führten zu einer Neuorientierung der Agrarförderung über die Anbaufläche anstelle der Preisstützung für Agrarprodukte. Die Harmonisierungserfordernisse führten dann zur Einführung eines Integrierten Verwaltungs- und Kontrollsystems (InVeKoS), für dessen Umsetzung im damaligen Europa der sechs bzw. neun Mitgliedsstaaten keine aktuellen und vergleichbaren räumlichen Antrags- und Kontrollgrundlagen vorhanden waren. Nach der Adaption entsprechender Vorstudien aus den USA hat die Gemeinsame Forschungs-

stelle Ispra der EG die Satellitenfernerkundung als unabhängiges und geeignetes Mittel vorgeschlagen, die notwendigen Vor-Ort-Kontrollen teilweise mit dem Hilfsmittel der Satellitenfernerkundung durchzuführen. Der rechtliche Rahmen wurde mit der VERORDNUNG (EWG) 3508/92 (1992) geschaffen, in der im Artikel 7 ausdrücklich das Kontrollinstrument „der Überprüfung per Fernerkundung mit Luftaufnahmen oder über Satellit“ genannt wird. In Deutschland wurde nach Pilotversuchen erstmals 1995 der Einsatz der Fernerkundung für die Agrarkontrolle durchgeführt.

Die Bedingungen der Prämienvergabe war zunächst die Förderung des Ackerbaus mit der ausdrücklichen Ausnahme bestimmter Hackfrüchte und Mais bei gleichzeitiger Überwachung einer 10-prozentigen Stilllegungsverpflichtung der beihilfefähigen Anbaufläche. Diese Zielrichtungen wurden durch die politischen Vorgaben mehrfach geändert. Die Stilllegungsverpflichtungen gibt es nicht mehr und anstelle der Produktionsbeihilfen steht die produktentkoppelte Zahlung in Verbindung mit dem „Guten Landwirtschaftlichen und Ökologischen Zustand“ im Vordergrund der Beihilfebedingungen. Der Beitrag lässt bewusst die vor 20 Jahren unternommenen Forschungen und Ansätze der operativen Umsetzung aus, da sie im wesentlichen fernerkundungsgeschichtlich sind, und konzentriert sich auf die heutigen Anforderungen und die sich daraus ergebenden Perspektiven zur Methodenverbesserung sowie den Möglichkeiten und Grenzen der Fernerkundung.

3 Greening-Bedingungen

Im Rahmen des Greening soll die Einhaltung dreier verschiedener ökologischer Standards zur Voraussetzung für die Gewährung bestimmter Direktzahlungen gemacht werden.

3.1 Fruchtwechsel / Anbaudiversifizierung

Die erste Bedingung ist die Einhaltung eines Mindestumfangs dreier unterschiedlicher Kulturarten pro Betrieb zur Vermeidung von

Monokulturen, auch als Anbaudiversifizierung auf dem Ackerland bezeichnet. Damit sollen die Artenvielfalt in der Landschaft gefördert und die Wettbewerbsfähigkeit der Betriebe gestärkt werden. Die Randbedingungen bei diesem Standard sehen Minimal- und Maximalanteile (z. B. 5% bzw. 70%) vor sowie eine Mindestfläche, ab der der Standard gelten soll, nämlich ab 10 ha betrieblicher Ackerfläche (BMELV 2013).

3.2 Erhaltung des Dauergrünlands

Die Erhaltung des Dauergrünlands besteht als Anforderung bereits seit einigen Jahren als sogenannte anderweitige Verpflichtung auf Regionsebene („Cross Compliance“, zuletzt in VERORDNUNG (EG) 73/2009 2009). Als Bestandteil des Greenings wird sie zur Beihilfevoraussetzung. Danach ist es landwirtschaftlichen Betrieben verboten, eine als Dauergrünland genutzte Fläche zu pflügen, um sie als Ackerland zu nutzen, sofern ein Referenzbestand an Grünlandflächen im Betrieb unterschritten wird. Der Umbruch von Dauergrünland zu Ackerland wird für einen Teil der Treibhausgas-Emissionen verantwortlich gemacht (EU-DOKUMENT SEC (2011) 1153 FINAL/2). Außerdem verlieren viele Pflanzen und Tiere dabei ihren Lebensraum.

3.3 Ökologische Vorrangflächen

Die dritte Bedingung betrifft die Einrichtung sogenannter ökologischer Vorrangflächen (öVF). Damit sind Brachflächen, Terrassen, Pufferstreifen und Landschaftselemente gemeint, die in einem Umfang von bis zu 7% der Ackerfläche je Betrieb, ab 15 ha betrieblicher Acker- und Dauerkultur-Fläche, eingerichtet werden müssen. Aus dem gemeinsamen Grenzverlauf der landwirtschaftlichen Flächen, z. B. mit Waldflächen oder Wasserläufen, können nach Vorgabe der Mitgliedsstaaten ggf. weitere Flächenanteile abgeleitet und als öVF eingestuft werden. Eine Unterteilung dieser öVF in permanente (Landschaftselemente) bzw. temporär nutzungsabhängige (Brachen) ist aus Sicht der Agrarverwaltung sinnvoll. Schließlich kann auch die landwirt-

schaftliche Nutzung z. B. mit stickstoffbindenden Pflanzen oder mit bestimmten Agrarumweltmaßnahmen das Kriterium einer Vorrangfläche erfüllen. Die Liste privilegierter Kulturen wird durch den Mitgliedsstaat festgelegt.

4 Fernerkundungskontrolle

4.1 Diskussion von Fernerkundungsverfahren für Agraranwendungen

Zusammen mit der Einführung der Satellitenfernerkundung als zulässiges Verfahren des Integrierten Verwaltungs- und Kontrollsystems (InVeKoS) sind bereits eine Vielzahl verschiedener Studien zur landwirtschaftlichen Fruchtartenerkennung aus den damals zur Verfügung stehenden Spektraldaten mit 28,5 m (Landsat TM) oder 20 m (SPOT-XS) durchgeführt worden. Ohne auch nur annähernd die Vielzahl der Untersuchungen hier würdigen zu können, sei auf ALBERTZ (2007) und COLWELL (1983), sowie als Beispiele jüngster Arbeiten auf BARETH (2008) und BARETH & WALDHOFF (2012) verwiesen. Allerdings hat sich für die schärferen Anforderungen der Agrarverwaltung schnell herausgestellt, dass die Ergebnisse nicht operationell verwendet werden können. Schließlich kann keine Verwaltung riskieren, einem antragstellenden Landwirt seine Prämie ganz oder teilweise mit dem Hinweis zu versagen, dass mit einer Wahrscheinlichkeit von z. B. 85% seine Angaben falsch seien. Aus Gründen der fehlenden Gerichtsfestigkeit und des enormen Zeitdrucks während der Bearbeitung hat sich das Verfahren der Computer Assisted Photo Interpretation (CAPI) auf Anraten der Gemeinsamen Forschungsstelle Ispra etabliert, auf das im Folgenden auch eingegangen wird. Dieses Vorgehen ist inzwischen durch die „Common Technical Specifications“ (CTS) als verpflichtender Vertragsbestandteil für die von der EU anerkannten Agrarkontrollen innerhalb des InVeKoS festgelegt (COMMON TECHNICAL SPECIFICATIONS 2013, Sektionen 40 und 43.3).

Klassifizierungen werden allerdings fallweise für bestimmte Fragestellungen zur Vorprozessierung eingesetzt. Dann sind sie aber

eher ein zusätzlicher und unverbindlicher Informationslayer für die CAPI Operateure, um den Blick auf die Problemstellen der Abgrenzung zu richten. So lassen sich für die Kontrolle der Winterbegrünung als erosionsmindernde Maßnahme Klassifizierungen als

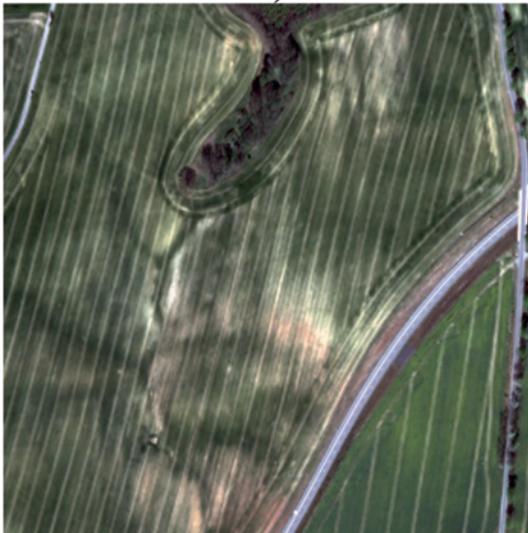
Suchfilter einsetzen, weil dort nur ein Kriterium (offener Boden) gegenüber allen anderen Bodenbedeckungen geprüft wird.



a)



b)



c)



d)

Abb. 1: Beispiele für die Nutzungsinterpretation von Agrarflächen aus WorldView-2 Aufnahmen vom 28.4.2012 aus der Kontrollzone mit der anonymisierenden EU-Kodierung „THVL“. Von oben links nach unten rechts: a) Die breiten Aufhellungen links resultieren aus der Behandlung der Vorkultur, b) In der Umrandung wird Einfluss des Saatzeitpunktes oder der Sorte erkennbar, c) Einfluss der Bodenunterschiede durch ehemalige Bachverläufe und sandige Einsprengsel, d) Bodenunterschiede bewirken lokale Wechsel von Feuchte und Bodenbedeckung und die stärkere Bodenfeuchte planierter Abflussrinnen in Richtung auf das feuchte Wäldchen im Südosten. © European Space Imaging 2012.

4.2 Operationelle Verfahren der Fernerkundungskontrolle

Die im vorhergehenden Kapitel genannten Greening-Bedingungen können im Rahmen der Fernerkundungskontrolle wie folgt überprüft werden.

Fruchtwechsel / Anbaudiversifizierung

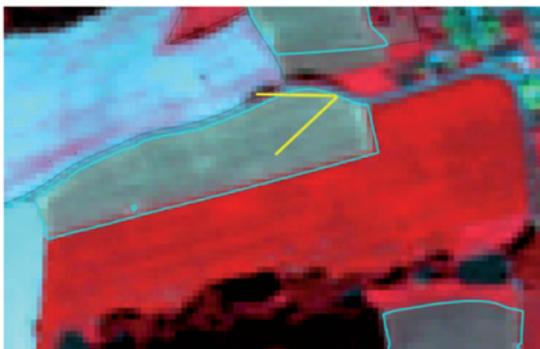
Die Feststellung der Flächennutzung erfolgt im Rahmen der Fernerkundung bei der EF-TAS GmbH durch visuelle Interpretation, die eine unbekannte Fläche mit Referenznutzungen aus der aktuellen Kartierung der Kontrollzone vergleicht. Automatisierte Klassifikationsverfahren haben sich in diesem Projekt aus nachfolgend genannten Gründen bisher nicht durchsetzen können. Bereits für die Flächenabgrenzung hat der Bearbeiter die landwirtschaftliche Kultur ständig vor Augen. Ein erfahrener Interpret benötigt daher für die Nutzungsinterpretation jeder Fläche, die nach der Flächenabgrenzung erfolgt, nur noch wenige Sekunden. Außerdem berücksichtigt ein geschulter Bearbeiter bei der Interpretation in sinnvoller Weise die Abweichungen im Erscheinungsbild der Kulturen infolge Auswinterung, Trockenheit, Überschwemmung, Nährstoffmangel und anderes (Abb. 1 a–d).

Für eine zweistufige Flächenkontrolle, in der in einem ersten Schritt nur die Flächenabgrenzung für alle Flächen durchgeführt

würde und in einem zweiten Schritt die Ergebnisse der automatischen Nutzungsbestimmung eingesetzt würden, ist in der geringen verfügbaren Zeitspanne zwischen Dateneingang etwa um den 10. Juni und Abgabe der Ergebnisse vor Ende Juli keine Zeit. Vor diesem Hintergrund steht der Aufwand für die Durchführung einer automatisierten Klassifizierung, die erforderlichen manuellen Nachkontrollen und Korrekturen sowie die Einarbeitung der Ergebnisse in die Geometriedaten der Flächenabgrenzung in einem ungünstigen Verhältnis zum klassischen Verfahren. Für die vorliegenden attribuierten Nutzungen können die Anzahl der unterschiedlichen Kulturen und deren Flächenanteil leicht über eine Datenbankauswertung bestimmt werden. Damit kann die erste Bedingung des Greenings als prüfbar durch Fernerkundung angesehen werden.

Umbruchverbot von Dauergrünland

Die Nutzungsänderung von Dauergrünland zu Ackerland wird im laufenden Jahr im Rahmen der Nutzungsinterpretation erkannt. Voraussetzung ist die Erfassung des Dauergrünlandreferenzbestandes auf landwirtschaftlichen Flächen. Für Kontrollgebiete, die außerhalb der jährlichen Fernerkundungskontrollzonen liegen, könnte auch die Auswertung einer Frühjahrs-Satellitenaufnahme ausreichen. Die Verschneidung von beantragten Dauergrün-



a)



b)

Abb. 2: Beispiel für die Kontrolle des Greening-Kriteriums „Umbruchverbot von Dauergrünland“ aus der Kontrollzone mit der anonymisierenden EU-Kodierung „THVL“. a) die auf dem HR-Satellitenbild vom 25.5.2012 detektierten Flächen unbedeckten Bodens auf Dauergrünlandflächen laut LPIS-Kategorisierung weisen auf den Umbruch hin, b) die spätere Feldinspektion zeigt den Anbau von Luzerne (Blickrichtung WSW). Satellitenbild: SPOT 5 Xi distributed by SpotImage, © CNES 2012.

landflächen mit dem Ergebnis „unbedeckter Boden“ einer automatisierten Klassifizierung liefert den Hinweis für einen Umbruch von Dauergrünland entgegen dem bestehenden Umbruchverbot (Abb. 2 a und b). Somit ist die zweite Greening-Bedingung ebenfalls ohne großen Aufwand mittels der Fernerkundungskontrolle kontrollierbar.

Ökologische Vorrangflächen

Die ökologischen Vorrangflächen (öVF) sollen u. a. durch Brachflächen, Terrassen, Pufferstreifen und Landschaftselemente gebildet werden. Für die permanenten Landschaftselemente, zu denen unter anderem Hecken, Baumreihen, Feldgehölze, Feuchtgebiete und Feldraine gehören, liegen bereits viele Flächen als Geometrien im landwirtschaftlichen Kataster vor (MERKBLATT LANDSCHAFTSELEMENTE UND VERBUSCHUNG 2013), die als ökolo-

gische Vorrangflächen eingestuft werden können (Abb. 3 a–d). Ihre Lokalisierung ist damit abgeschlossen und es bedarf nur der stichprobenhaften Überprüfung der Erhaltung und Änderungen der Ausdehnung.

Die Anlage von Pufferstreifen erfolgte bisher unter der Beantragung sogenannter Blühstreifen oder Uferrandstreifen oder gar Brachstreifen. Diese werden am Rand von Ackerflächen in einer bestimmten Breite angelegt und entweder mit reduzierter Intensität (vor allem Düngung) bewirtschaftet, bzw. direkt mit einer Mischung verschiedener Blühpflanzen besät oder aus der Produktion genommen (Abb. 4 a–b). Sie werden durch den Antragsteller separat ausgewiesen und können daher schon anhand der eingereichten Antragsunterlagen hinsichtlich ihrer ungefähren Lage und Ausdehnung identifiziert und analog zur Fruchtartenermittlung bestimmt werden.

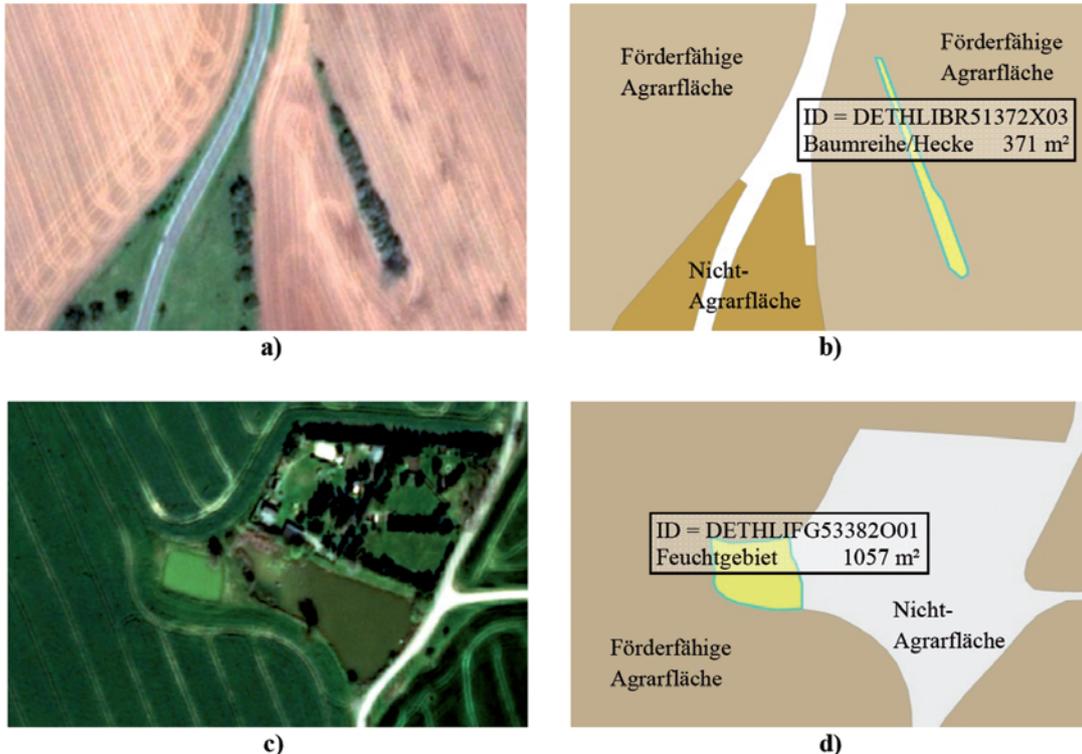


Abb. 3: Beispiel für die Kontrolle des Greening-Kriteriums „Ökologische Vorrangfläche“ aus der Kontrollzone mit der anonymisierenden EU-Kodierung „THVL“. a) Hecke in förderfähiger Größe innerhalb einer förderfähigen Agrarfläche, b) GIS-Darstellung der Hecke, c) Feuchtgebiet am Rand einer förderfähigen Agrarfläche (hier Wintergetreide mit typischen Fahrgassen der Bewirtschaftung), d) GIS-Darstellung des Feuchtgebietes. Ausschnitte einer WorldView-2-Aufnahme vom 28.4.2012, © European Space Imaging 2012.

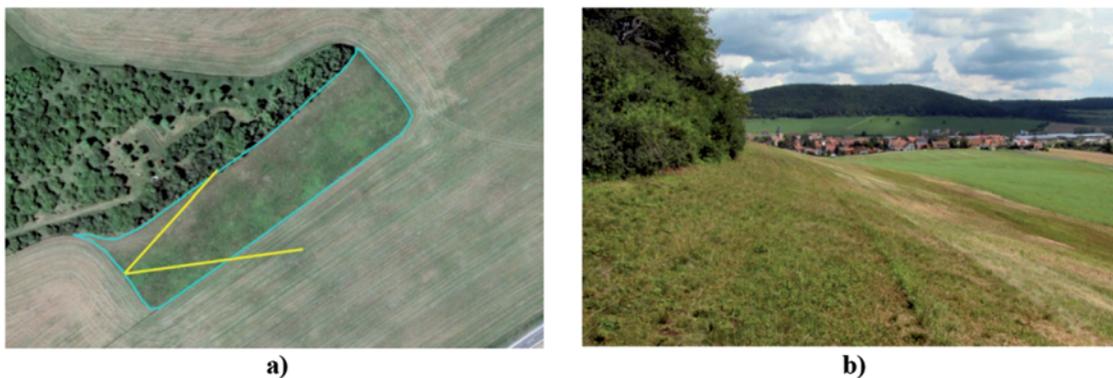


Abb. 4: Beispiel für die Kontrolle des Greening-Kriteriums „Ökologische Vorrangfläche“ in der Ausprägung „Brachfläche“ aus der Kontrollzone mit der anonymisierenden EU-Kodierung „HBUL“. a) Brachfläche in förderfähiger Größe in problematischer Hanglage innerhalb einer förderfähigen Agrarfläche, b) Ergebnis der Feldkontrolle, Blickrichtung NE. Ausschnitt eines Digitalen Orthophotos vom 26.5.2012, © Thüringer Landesverwaltungsamt 2012.



Abb. 5: Beispiel für die Kontrolle des Greening-Kriteriums „Ökologische Vorrangfläche“ in der Ausprägung „Pufferstreifen/Blühstreifen“ aus der Kontrollzone mit der anonymisierenden EU-Kodierung „HBUL“. a) Pufferfläche in förderfähiger Größe nördlich und teilweise südlich des nach Westen laufenden Baches innerhalb von förderfähigen Agrarflächen, b) Ergebnis der Feldkontrolle, Blickrichtung E. Ausschnitt eines Digitalen Orthophotos vom 26.5.2012, © Thüringer Landesverwaltungsamt 2012.

Entlang von Gewässerläufen oder Waldstücken ist ebenfalls eine Anlage von Pufferstreifen im Rahmen des Greenings denkbar. Die Abb. 5 a–b zeigt anhand des dunklen Striches einen Bachverlauf, zu dem nördlich und südlich die vorgeschriebenen Pufferabstände eingehalten werden. Während diese in dem Frühjahrsbild noch unbedeckten Boden zeigen, obwohl sie bereits mit einer Mischung verschiedener Blühpflanzen besät wurden, findet die spätere Feldkontrolle den ausgeprägten Blühstreifen vor, der entsprechend der Verordnung den möglichen Eintrag von Dünger und Pflanzenschutzmitteln auf Abstand halten soll.

Eine GIS-Auswertung mit Nachbarschaftsanalyse in Gewässerlayer oder Waldrandlayer würde dann diejenigen landwirtschaftlichen Referenzflächen herausfiltern, auf denen entsprechende Greening-Pufferstreifen angelegt werden könnten bzw. müssten, sobald eine Bewirtschaftung in enger Nachbarschaft der entsprechenden Layer erfolgt.

Die Kontrolle bestimmter Kulturen, die ebenso das Kriterium der öVF erfüllen, erfolgt analog zur bisherigen Überprüfung der Betriebsprämienflächen im Rahmen der Fernerkundungskontrolle.

5 Ausblick

Nach gegenwärtigem Verhandlungsstand zu den Direktzahlungen sind viele der vorgesehenen Greening-Bedingungen mittels Fernerkundung kontrollierbar. Bestimmte Attribute können jedoch nur durch zusätzliche Vor-Ort-Kontrollen überprüft werden, insbesondere wenn eine geforderte Flächennutzung sich in den Bilddaten nicht von anderen Flächennutzungen unterscheidet. Solche Attribute betreffen unter anderem einen reduzierten Einsatz von Düngemitteln und/oder Pestiziden auf Ackerteilflächen mit weniger als 5 m oder 10 m Abstand von Gewässern. Die Auswertung von Gewässer- und Waldrandlayern wird den Aufwand der Fernerkundungskontrollen erhöhen.

Die Bedeutung der Fernerkundungskontrolle im Rahmen der Gemeinsamen Agrarpolitik wird auch über 2014 hinaus bestehen bleiben. Für die gegenwärtig 15,8 Mill. km² beihilfefähiger landwirtschaftlicher Fläche (EU-27) werden nach dem Stand von 2012 eine Beihilfesumme von 45 Mrd. € aus EU-Haushaltsmitteln und 13 Mrd. € aus Haushaltsmitteln der Mitgliedsstaaten aufgewendet. Die Gesamtkosten der Fernerkundung einschließlich der Satellitenaufnahmen haben daran einen Anteil von ungefähr 100 Mill. €, also lediglich 0,2 Prozent. Für die an der Weiterentwicklung der Verfahren beteiligten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler und an der Durchführung beteiligten Unternehmen und Verwaltungen stellt dieser Arbeitsumfang eine jährlich wiederkehrende Herausforderung von europaweiter Bedeutung dar.

Copyrights

Für die Rechte an den Bilddaten gilt: © European Space Imaging 2012 (für WorldView-2-Aufnahmen der Kontrollzone THVL), SPOT5-Xi distributed by SpotImage, © CNES 2012 (für HR-Aufnahmen der Kontrollzone THVL) sowie © Thüringer Landesverwaltungsamt 2012 (für Orthophotos der Kontrollzone HBUL).

Danksagung

Die Autoren danken dem Joint Research Center der Europäischen Kommission in Ispra (JRC) für die Bereitstellung der WorldView-2-Bilddaten und der Spot 5 Xi-Bilddaten sowie für die Genehmigung der Verwendung im Rahmen dieses Artikels.

Literatur

- ALBERTZ, J., 2007: Einführung in die Fernerkundung. – 3. Aufl., Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt.
- BARETH, G., 2008: Multi-Data Approach (MDA) for enhanced land use and land cover mapping. – XXI ISPRS Congress: Beijing, China.
- BARETH, G. & WALDHOFF, G., 2012: Regionalization of Agricultural Management by using the Multi-Data Approach (MDA). – International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science **XXXIX** (B8): 225–230.
- BMELV, 2013: Entscheidung über die GAP nach 2013 – Verfahren und Zeitplan. – <http://www.bmelv.de/shareddocs/standardartikel/landwirtschaft/agrarpolitik/gap-reformentwicklung.html> (13.6.2013).
- COLWELL, R.N., 1983: Manual of Remote Sensing. – American Society of Photogrammetry, Falls Church, VA, USA.
- COMMON TECHNICAL SPECIFICATIONS, 2013: Allgemeines Lastenheft der Europäischen Kommission für die Agrarkontrolle mit Hilfe der Fernerkundung. – <http://marswiki.jrc.ec.europa.eu/wikicap/index.php/category:cts> (13.6.2013).
- EU-DOCUMENT SEC (2011) 1153 FINAL/2: Commission Staff Working Paper, Impact Assessment, Common Agricultural Policy towards 2020, Annex 2, http://ec.europa.eu/agriculture/policy-perspectives/impact-assessment/cap-towards-2020/report/annex2_en.pdf (13.6.2013).
- MERKBLATT LANDSCHAFTSELEMENTE UND VERBUSCHUNG, 2013: Definitionen zur Ausweisung von Landschaftselementen und zur Abgrenzung von Verbuschung im Rahmen der Zahlungen für Betriebsprämie, Ausgleichszulage für benachteiligte Gebiete und KULAP ab Antragsjahr 2013. – Thüringer Ministerium für Landwirtschaft, Forsten und Naturschutz, http://www.thueringen.de/imperia/md/content/thueringenagrar/zahlstelle/2013/mb_defle.pdf (13.6.2013).
- WALDHOFF, G., CURDT, C., HOFFMEISTER, D. & BARETH, G., 2012: Analysis of Multitemporal and Multisensor Remote Sensing Data for Crop Ro-

tation Mapping. – ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science **I-7**: 177–182.

VERORDNUNG (EWG) 3508/92, 1992: Verordnung zur Einführung eines integrierten Verwaltungs- und Kontrollsystems für bestimmte gemeinschaftliche Beihilferegelungen. – Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften L/355/1–5, Luxembourg.

VERORDNUNG (EG) 1698/2005, 2005: Verordnung über die Förderung der Entwicklung des ländlichen Raums durch den Europäischen Landwirtschaftsfonds für die Entwicklung des ländlichen Raums (ELER). – Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften L/277/1–40, Luxembourg.

VERORDNUNG (EG) 73/2009, 2009: Gemeinsame Regeln für Direktzahlungen im Rahmen der gemeinsamen Agrarpolitik und mit bestimmten Stützungsregelungen für Inhaber landwirtschaftlicher Betriebe und zur Änderung der Verordnungen (EG) Nr. 1290/2005, (EG) Nr. 247/2006, (EG) Nr. 378/2007 sowie zur Aufhebung der Verordnung (EG) Nr. 1782/2003.

Anschriften der Autoren:

Dr. CORDT BÜKER, EFTAS Fernerkundung Technologietransfer GmbH, Oststraße 2-18, D-48145 Münster, Tel. +49-251-1330735, Fax +49-251-1330733, e-mail: cordt.bueker@eftas.com

THOMAS LETTAU, Thüringer Ministerium für Landwirtschaft, Forsten, Umwelt und Naturschutz, Referat 33, Beethovenstraße 3, D-99096 Erfurt, Tel. +49-361-3799255, Fax +49-361-3799209, e-mail: thomas.lettau@tmlfun.thueringen.de



Einsatz von Change-Detection-Methoden bei der Fortführung von Versiegelungs- und Gebäudedatenbeständen

HEINER RÖSSMANN, JOACHIM PEYKER, ANDREAS VÖLKER & ADRIAN KLINK, Münster

Keywords: change detection, classification, update of paved surfaced area, photogrammetry

Zusammenfassung: Dieser Beitrag beschreibt ein in der Praxis eingeführtes und automatisiert ablaufendes Verfahren, bei dem auf Grundlage aktueller Orthophotos sowie eines normalisierten Digitalen Oberflächenmodells Veränderungen in einem Versiegelungsdatensatz bestimmt werden. Ziel des Verfahrens ist es, den bisherigen aufwändigen und fehlerträchtigen visuellen Vergleich von aktuellem Bildmaterial und zu aktualisierendem Datenbestand zu ersetzen und den Anteil manueller Arbeiten aus wirtschaftlichen Gründen gering zu halten. Im ersten Schritt wird eine objektbasierte Klassifizierung durchgeführt und mit den vorliegenden Gebäude- und Versiegelungsdaten verglichen. Aufgrund einer hohen Zahl von Fehlklassifizierungen, die durch Umklappeffekte im Orthophoto, Lage-differenzen von Versiegelungs- und Luftbilddaten oder Ähnlichkeiten von unbelaubten Bäumen und Dachstrukturen hervorgerufen werden, können die ermittelten Änderungen nicht als endgültiges Ergebnis der Veränderungsdetektion verwendet werden.

In einem zweiten Arbeitsschritt ist es erforderlich, die vorläufigen Änderungen im Rahmen eines Filterungsprozesses zu verifizieren. Für alle potentiellen Änderungen werden Form- und Größenparameter berechnet. Mittels empirischer Methodik können in Trainingsgebieten geeignete Schwellwerte für die Größenklassen und geometrische Kompaktheitsmaße bestimmt werden, mit denen sich Fehldetektionen und tatsächliche Veränderungen gut differenzieren lassen. Um zu gewährleisten, dass eine hohe Zahl der Veränderungsfälle erkannt wird, werden die Schwellwerte bei ihrer Festsetzung mit Sicherheitszuschlägen versehen. Dies bedingt im Gegenzug eine höhere Anzahl von angezeigten Änderungen, die tatsächlich keine Fortführungsfälle darstellen. Da diese Fehldetektionen einfach und schnell durch den Bearbeiter bei der Übernahme der Fortführungsergebnisse in den Versiegelungsdatenbestand erkannt werden, ist der zusätzliche Arbeitsaufwand hierfür gering.

Summary: *Application of Change Detection Methods for the Update of GIS Data of Sealed Surfaces and Buildings.* This paper describes an automated approach for the change detection of sealed surfaces based on current ortho photos combined with a normalized digital surface model. The method has been developed to improve the update process by reducing the work of visually comparing current images with archived data. The target is an optimization of both costs and quality by replacing a part of the manual search.

The first step is an object-based classification that is applied to compare the present status with existing sealing data. Due to lay-over effects, off-sets of sealing and aerial image data, and the similarity of leafless trees and roofs, a high misclassification-rate prevents the immediate use of the detected changes as the final result.

In a second step a filtering process is applied to the results based on shape and size. Three training areas are used to calibrate thresholds for size categories and geometric compactness in order to distinguish real and misclassified changes. Since a manual removal of the wrong changes is easy, priority is given to retain a complete set of real changes in order to achieve the best results.

1 Motivation

Der Aufbau von qualifizierten Geodaten ist regelmäßig mit einem erheblichen zeitlichen und wirtschaftlichen Aufwand verbunden. Dieser Aufwand ist nur dann zu rechtfertigen, wenn durch kontinuierliche Aktualisierung (Fortführung) ein Veralten der Daten verhindert und damit die Brauchbarkeit der Daten sichergestellt wird. Dabei stellt die Datenaktualität insbesondere in städtischen Ballungsgebieten wegen der hohen Veränderungsquote eine Herausforderung dar.

Geodatenaktualisierungen erfolgen entweder laufend oder in regelmäßigen Zyklen. Häufig werden Veränderungen durch Verwaltungstätigkeiten ausgelöst. Die Teilung von Flurstücken wird z. B. im Liegenschaftskataster durch örtliche Vermessungen erfasst, deren Ergebnisse dann in den Katasterdatenbestand eingepflegt werden. Fehlen verlässliche Informationen über einzelne Veränderungen, werden diese im Rahmen einer turnusmäßigen Aktualisierung bestimmt.

Orthophotos stellen eine wichtige Grundlage für zyklische Fortführungsarbeiten dar. Durch Vergleich des Bildinhaltes mit den aktualisierenden GIS-Daten können die Fortführungsfälle ermittelt und Änderungen mit Hilfe der Orthophotos (DOP) digitalisiert werden. Liegen orientierte Luftbilder vor, können auch 3D-Daten durch stereophotogrammetrische Auswertung bearbeitet werden.

Im vorliegenden Projekt werden abflussrelevante versiegelte Flächen regelmäßig in einem Zeitraum von 2 – 5 Jahren, d. h. je nach Datenverfügbarkeit, aktualisiert. Thematisch werden diese nach Dachflächen, öffentlichen Verkehrsflächen sowie privat versiegelten Flächen, welche zusätzlich in KFZ-befahrene und nicht befahrene Flächen untergliedert werden, differenziert.

Unser neues Verfahren wurde auf der Grundlage einer Aufgabenstellung des Lippeverbandes, einem großen Wasserverband in Nordrhein-Westfalen, entwickelt. Der Lippeverband besitzt für Planung und Betrieb von wasserwirtschaftlichen Anlagen wie Kanalnetzen, Kläranlagen oder Regenrückhaltebecken ein Kataster der versiegelten Flächen (VAUPEL & RÖSSMANN 2008), dessen Fortführung der Erprobung des neuen Verfah-

ren diene. Bisher wurden die Veränderungen durch eine operateurgestützte, manuelle Durchmusterung, nämlich die Überlagerung der aktuellen Orthophotos mit den fortzuführenden Versiegelungsdaten, bestimmt und für die Änderungsarbeiten im GIS-Datensatz gekennzeichnet. Der Durchmusterungsprozess ist sehr zeitaufwändig und auch fehlerträchtig bezüglich der vollständigen Erfassung sämtlicher Änderungen. Insofern ist es naheliegend, Veränderungen nicht durch visuellen Bildvergleich, sondern mit Hilfe automatisierter Veränderungsdetektion festzustellen (engl.: change detection). Dabei sollen im vorliegenden Fall die Mindestanforderungen, Detektion der Flächenänderungen im Gebäudebestand größer als 80 m² und entsprechende Änderungen der versiegelten Flächen größer als 150 m², erfüllt werden.

2 Veränderungsdetektion in der Fernerkundung

In der Fernerkundung werden Verfahren, die Analysen bzgl. Veränderungen des Oberflächenzustandes der Erde durchführen, als Veränderungsdetektion bezeichnet. Ein themenübergreifendes, sehr differenziertes Methodenreview zur Veränderungsdetektion bietet SINGH (1989). Ein Überblick über deren Verwendung im Umweltmonitoring findet sich bei COPPIN et al. (2004).

Methoden zur Veränderungsdetektion werden häufig in zwei Gruppen geteilt: Bild-zu-Bild-Vergleiche (Prä-Klassifizierung) entstehen durch die Differenzbildung der Spektralwerte zweier Bilder, die ggf. durch vor- oder nachgelagerte Transformationen und Filterungen präzisiert werden. Als Post-Klassifizierung werden Verfahren bezeichnet, die zu verschiedenen Zeitpunkten erzeugte Interpretationen eines Gebietes vergleichen, was zur Voraussetzung hat, dass mindestens zwei vollständige Klassifizierungen des gesamten Gebietes vorliegen (LANG & BLASCHKE 2007). Auch die Kombination beider Ansätze ist möglich, indem eine vorhandene Klassifizierung anhand aktueller Bilddaten auf spektrale oder geometrische, direkt oder indirekt detektierbare Änderungsindikatoren geprüft wird (BÜSCHER et al. 2008, LANGANKE & LANG 2004).

MAS (1999) vergleicht die Methoden Kanal- und Indextdifferenzbildung, selective principal components analysis, direct multi-date classification sowie Post-Klassifizierung. Es wird gezeigt, dass Post-Klassifizierungs-Methoden in der Regel genauere Ergebnisse liefern. Bild-zu-Bild-Vergleiche reagieren häufig zu sensibel auf Unterschiede in der Bodenfeuchte oder der Vegetationsphänologie. Auch lassen Post-Klassifizierungs-Methoden direkte Rückschlüsse auf die jeweiligen Klassenwechsel zu. Als weiterer Vorteil wird die Möglichkeit genannt, bei der Post-Klassifizierung spektral sehr ähnliche Klassen mit hohem Verwechslungspotential zu einer gemeinsamen Klasse zu generalisieren, um Fehlauseisungen zu verringern.

Im städtischen Umfeld beziehen sich Veränderungenskartierungen häufig auf die Detektion von Gebäuden: BOUZIANI et al. (2010) beschreiben eine objektbasierte Klassifizierung von Gebäuden, die auf einer präzisen Modellierung der Objektklassen und ihrer Änderungswahrscheinlichkeiten aufbaut und deren Ergebnis mit bestehenden kartographischen Daten abgeglichen wird. Neue Gebäude werden zu 90% (mit 80% ihrer Fläche) gefunden, jedoch weicht die Lagegenauigkeit mit 3 – 4 Pixeln häufig von den exakten Konturen der Gebäude ab. CHAMPION et al. (2009) vergleichen Luftbilder, Satellitenbilder und LIDAR-Daten als Input für vier verschiedene Gebäude-Veränderungsdetektionsmethoden: eine an Primitiven orientierte Matchinganalyse, eine objektbasierte DSM- und CIR-Orthophoto-Klassifizierung, eine geometriebasierte Gebäudedetektion sowie ein pixelbasierter Dempster-Shafer-Fusionsprozess. Generell lassen sich mit den beschriebenen Ansätzen 80% – 90% der Gebäude verifizieren, so dass sie keiner weiteren manuellen Prüfung bedürfen. Probleme bestehen jedoch häufig in der Erkennung sehr kleiner Änderungen.

Die im Folgenden beschriebene Methode nutzt einen Post-Klassifizierungsansatz und erfasst nicht nur Änderungen von Gebäuden, sondern bezieht auch verschiedene versiegelte Oberflächen als charakteristische Merkmale städtischer Räume in das Verfahren mit ein. Diese objektbasierte Klassifizierung wird mit GIS-basierten Filterprozessen kombiniert, die Fehlklassifizierungen erheblich reduzieren.

3 Verwendete Daten und Projektgebiet

Das durch den Auftraggeber definierte Projektgebiet im Bereich der Stadt Oer-Erkeschwick weist eine Fläche von etwa 34 km² auf. Außerdem wurden orientierte Luftbilder und Orthophotos (DOP) mit einer Bodenauflösung von 20 cm, ein amtliches digitales Geländemodell mit einer Gitterweite von 10 m und die fortzuführenden Versiegelungsflächen zur Verfügung gestellt. Der Versiegelungsdatensatz hat den Aktualitätsstand Frühjahr 2007 und weicht in der Lage gegenüber den Orthophotos vom März 2012 um bis zu 2 m ab. Im Mittel beträgt der Versatz etwa 0,7 m. Die Ursache hierfür liegt in der Arbeitsweise begründet, mit der Anfang der 90er-Jahre die photogrammetrische Erstaufnahme der versiegelten Flächen beim Auftraggeber durchgeführt wurde. Im Gegensatz zum heute üblichen Vorgehen wurden die Luftbilder nicht im Rahmen einer Aerotriangulation in einem Zuge orientiert, sondern modellweise auf der Grundlage von analogen topographischen Karten, die durch bergbaubedingte Bodenbewegungen veraltet waren und insofern keine geometrisch exakten Einpassunterlagen darstellten. Die Abweichungen sind unsystematisch und könnten nur aufwändig durch eine feinstufige blockweise Transformation beseitigt werden. Die Lagerichtigkeit steht jedoch gemäß dem Einsatzzweck der Daten für die Mengenermittlung von Niederschlagswasser aus ökonomischen Gründen hinter einer hinreichenden Flächentreue zurück. Die Eignung der Daten zur automatischen Veränderungsdetektion stand daher bei der Festlegung der Fortführungsregeln durch den Auftraggeber naturgemäß nicht im Vordergrund. Für das nachfolgend beschriebene Verfahren muss daher der Umstand besondere Berücksichtigung finden, dass Bild- und fortzuführende Vektordaten nicht exakt deckungsgleich sind. Bereits existierende und dokumentierte Change-Detection-Verfahren, die diese besonderen Ausgangsbedingungen berücksichtigen, waren im Projektzeitraum nicht zu ermitteln.

4 Segmentierung

Bei der zur Veränderungsdetektion eingesetzten objektbasierten Klassifizierung werden die Orthophotos in spektral homogene Bereiche unterteilt (Segmentierung). Hierbei kommt die Software Definiens Developer 7 (eCognition) zum Einsatz. Der angewendete Segmentierungsalgorithmus basiert auf dem Fractal Net Evolution-Ansatz von BAATZ & SCHAPE (1999). Da der Algorithmus auch hierarchische Segmentierungen ermöglicht, wird er „Multiresolution Segmentation“ (MRS) genannt und verwendet Inhomogenitäts- (scale), Form- (shape) und Kompaktheitsparameter (compactness).

Angewandt wird ein für großflächige Bearbeitungen geeignetes lineares Verfahren, in dem auf die Segmentierung eine überwachte Klassifizierung (siehe Abschnitt 5) folgt. Entsprechend gewählte Segmentierungsparameter (siehe Tab. 1) ermöglichen eine weitestgehend scharfe Abgrenzung von Objekten wie z. B. Gebäuden, Straßen und Wegen. Zusätzlich wird aus einem digitalen Oberflächen- und einem digitalen Geländemodell ein Differenzmodell (normalisiertes digitales Oberflächenmodell) abgeleitet. Da für das Projekt kein geeignetes Oberflächenmodell zur Verfügung stand, wurde dieses mit Hilfe des Programms MATCH-T DSM (INPHO) aus den orientierten Luftbildern generiert (LEMAIRE 2008). Das normalisierte digitale Höhenmodell wird genutzt, um spektral ähnliche benachbarte Bild-



Abb. 1: Segmentierung eines RGB-Luftbildes (DOP: © Aerowest).

bereiche voneinander zu trennen, die aber zu verschiedenen Objekten gehören, z. B. graues Dach und angrenzende Asphaltfläche. Es wird im eingesetzten Verfahren bewusst eine Übersegmentierung verwendet, d. h. Objekte werden in mehrere Bildsegmente zerlegt. Dies vermindert fehlerhafte Grenzziehungen und Mischspektren bei der Klassifizierung. Im Folgeschritt werden Segmente einer Klasse zu größeren Objekten zusammengefasst, so dass ein hierarchischer Aufbau von Bildobjekten über mehrere Ebenen erfolgt.

Die Ergebnisse der Segmentierungsstrategie zeigen gute Übereinstimmung mit den Realobjekten in den Bilddaten (siehe Abb. 1). Die Polygongrenzen des Versiegelungs- und Gebäudedatensatzes werden unverändert in den Segmentierungsprozess übernommen, was bei der Änderungsdetektion (siehe Abschnitt 6) den direkten Vergleich der Klassifizierungsergebnisse mit den Objekten des fortzuführenden Datensatzes ermöglicht. DURO et al. (2013) stellen unterschiedliche Segmentierungsstrategien für verschiedene Veränderungsdetektionsansätze gegenüber. Der hier gewählte Ansatz wird als hybride Methode zum Vergleich verschiedenartiger Quellen bezeichnet.

Tab. 1: Segmentierungseinstellungen für Multiresolution Segmentation (MRS).

Segmentierung	Segmentierungsparameter			Layergewichtung			
	scale	shape	compactness	R	G	B	DSM
MRS	10	0.1	0.7	3	3	1	0
MRS (merge only)	15	0.3	0.3	1	1	3	0
	20	0.1	0.1	5	5	1	0
	25	0.1	0.1	3	4	3	0
MRS	15	0.3	0.3	1	3	1	10

5 Klassifizierung

Die Klassifizierung der Bildobjekte erfolgt hierarchisch anhand ihrer spektralen Eigenschaften, den zugeordneten Höheninformationen des normalisierten digitalen Oberflä-

chenmodells sowie geometrischer Merkmale wie Form und Größe. Folgende Charakteristika der Klassen bestimmen maßgeblich das Regelwerk (siehe Abb. 2):

- ‚Schatten‘ werden anhand der (geringen) Helligkeit der Bildobjekte klassifiziert.
- Die Trennung von ‚Vegetation‘ und ‚Nicht-Vegetation‘ erfolgt per modifiziertem Grünindex (1) mit den Schwellwerten $\geq 0,07$ für ‚Vegetation‘ und $\leq 0,05$ für ‚Nicht-Vegetation‘. Die Restmenge wird als ‚vegetationsarm‘ klassifiziert.
- ‚Gebäude‘ (hoch, niedrig) und ‚bodennahe versiegelte Flächen‘ werden durch das normalisierte Höhenmodell differenziert. Hierbei gilt ein Schwellwert für ‚niedrige Baukörper‘ (Garagen / Schuppen) von $h \geq 1,7$ m und für ‚hohe Gebäude‘ von $h \geq 3,2$ m, kleinere Werte werden der Klasse ‚Versiegelung / Boden‘ zugeordnet.
- Eine weitere Unterteilung der ‚Nicht-Vegetation‘ findet anhand der spektralen Eigenschaften statt. Diesbezüglich werden ‚graue‘, ‚rote‘ und ‚sonstige‘, z. B. gelbliche und bräunliche, Bodenflächen unterschieden. Zur besseren Differenzierung wird der RGB-Farbraum in den IHS-Farbraum (Intensity, Hue, Saturation) gewandelt.

- Die Höhentrennung wird auch für ‚Schatten‘ und ‚Vegetation‘, z. B. Baum und niedrig, durchgeführt.
- Selbiges gilt für die ‚vegetationsarme Klasse‘ als Übergang zwischen ‚Vegetation‘ und ‚Versiegelung‘.
- Formkriterien (Breiten-/Höhenverhältnis) und Nachbarschaften werden verwendet, um Versiegelungsflächen als geschlossene ‚Verkehrsflächen‘ zu erkennen.

Die Grundlage für derartige Ansätze bildet häufig Farbinfrarot-Bildmaterial. LI et al. (2007) nutzen 4-Kanal-Bilder mit den Kanälen Rot, Grün, Blau (RGB) und nahem Infrarot (NIR) zur Detektion von Wasser, Schatten, Vegetation, Gebäuden und Straßen, ZHOU et al. (2009) setzen für ihre Untersuchungen 3-Kanal-CIR-Daten (Colour-Infrared: NIR, Rot und Grün) ein.

Im vorliegenden Projekt muss hingegen auf die Informationen des NIR-Kanals verzichtet werden, da nur RGB-Bilder zur Verfügung stehen. Für die Klassifizierung der Vegetation wird deshalb statt des üblicherweise eingesetzten normalisierten differenzierten Vegetationsindex (NDVI), der die Infrarotinformationen berücksichtigt, ein modifizierter Vegetationsindex für grün ($VI_{\text{grün}}$) eingesetzt (KLINK et al. 2008):

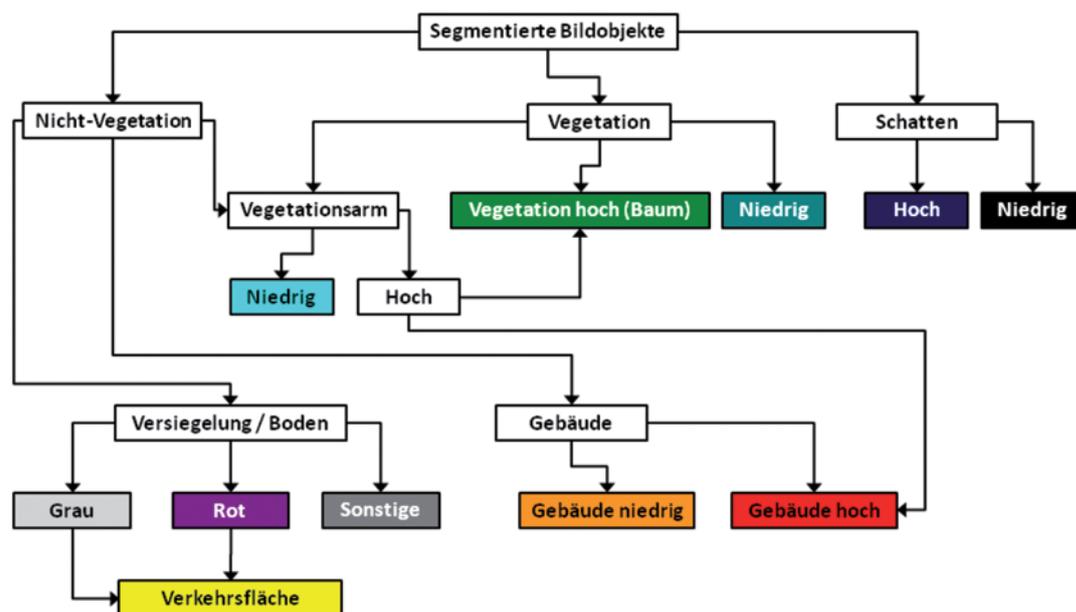


Abb. 2: Schematischer Ablauf der Klassifizierung.

$$VI_{\text{grün}} = \frac{(\alpha+\beta) \times \text{Grün} - \alpha \times \text{Rot} - \beta \times \text{Blau}}{(\alpha+\beta) \times \text{Grün} + \alpha \times \text{Rot} + \beta \times \text{Blau}} \quad (1)$$

mit

$$\alpha = 1$$

$$\beta = 2$$

Bei Nahaufnahmen empfehlen RICHARDSON et al. (2007) eine gleiche Gewichtung der Kanäle Rot und Blau, verzichten jedoch auf eine Normalisierung, d. h. es wird nur die einfache Differenz aus zweimal Grün reduziert um Rot und Blau verwendet. Andere Autoren, z. B. MOTOHKA et al. (2010) empfehlen auf den blauen Kanal gänzlich zu verzichten, da dieser am stärksten durch atmosphärische Effekte beeinflusst wird. Eigene Untersuchungen zeigen, dass ein Grünindex mit höherer Gewichtung des blauen und geringerer Gewichtung des roten Kanals sehr gute Klassifizierungsergebnisse im Hinblick auf die Veränderungsdetektion von Versiegelungsflächen liefert. Bei der im Vergleich zu Satellitenbildern geringen Aufnahmehöhe von hochauflösenden Luftbilddaten zeigen sich atmosphärische Effekte überwiegend nur in Schattenbereichen, die als eigene Klasse in die Veränderungsdetektion eingehen. Die geringere Gewichtung des Rotkanals kann bei Vorbelaubungsbildflügen mit den häufig in der Vegetation vorkommenden Gelbtönen erklärt werden, weil dabei die Unterschiede des Rot- und Grünkanals auch bei Vegetation gegen Null tendieren. Vergleichbare Effekte werden auch im von GTELSON et al. (2002) postulierten robusten Verfahren zur Klassifizierung von Vegetation mit gelben und grünen Blattpigmenten beschrieben, das mit einer anderen Zielstellung auf Satellitenbilder angewandt wurde. Dort wird der Vorteil der normalisierten Grün-Rot-Differenz gegenüber dem NDVI zur Unterscheidung verschiedener Vegetationszustände hervorgehoben. Gerade diese Unterscheidbarkeit ist für die Veränderungsdetektion von Versiegelungsflächen jedoch unerwünscht und wird bewusst minimiert.

Ein elementares Problem bei der Klassifizierung ergibt sich aus dem Aufnahmezeitpunkt des zur Verfügung stehenden Luftbildmaterials. Dieses wird regelmäßig im Frühjahr vor Eintritt der Belaubung erstellt, um für ma-

nuelle operateurgestützte Auswertungen eine gute Bodensicht zu gewährleisten, die nicht durch belaubte Bäume gestört wird. Spektral können unbelaubte Bäume im RGB-Farbraum kaum von Gebäuden unterschieden werden. Außerdem haben Bäume eine vergleichbare Höhe, so dass eine Trennung anhand der Daten des normalisierten digitalen Oberflächenmodells ebenfalls nicht möglich ist. Der Klassifizierungsprozess wird deshalb so gesteuert, dass alle Gebäude korrekt klassifiziert werden, auch unter Inkaufnahme von fehlklassifizierten Bäumen. Durch dieses Vorgehen wird sichergestellt, dass alle Veränderungen im Gebäudebestand erfasst werden. Die Klassifizierungsfehler in der Gebäudeklasse (unbelaubte Bäume) können mit Hilfe von Form- und Größenparametern identifiziert werden. Diese Fehlerbereinigung wird im vorliegenden Projekt nicht bei der Klassifizierung selbst durchgeführt, sondern erst im Rahmen einer Nachbearbeitung der Ergebnisse der Veränderungsdetektion (siehe Abschnitt 6), bei der

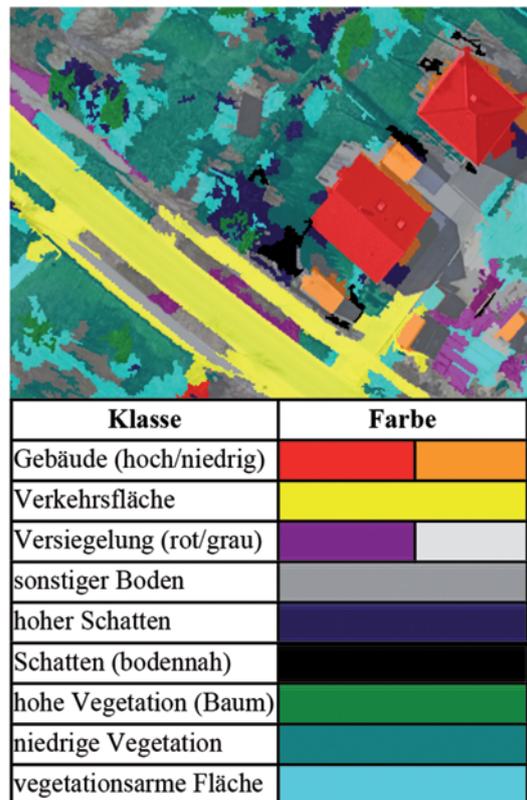


Abb. 3: Klassifizierung der Bildobjekte (mit Legende).

Tab. 2: Zuordnungsmatrix der Veränderungsdetektion.

Ergebnis der Veränderungsdetektion		Versiegelungs- und Gebäudedaten		
		Gebäude	Versiegelung	Vegetations- und offene Bodenflächen
Klassifizierung	Gebäude (hoch/niedrig)	bestätigt	neues Gebäude	neues Gebäude
	Verkehrsfläche	Gebäudeabriss	bestätigt	neue Versiegelung
	Versiegelung (rot/grau)	Gebäudeabriss	bestätigt	neue Versiegelung
	sonstiger Boden	Gebäudeabriss	–	–
	hoher Schatten	–	–	–
	Schatten (bodennah)	Gebäudeabriss	–	–
	hohe Vegetation (Baum)	Nachbearbeitung	–	–
	niedrige Vegetation	Gebäudeabriss	Versiegelung entfällt	bestätigt
	vegetationsarme Flächen	Gebäudeabriss	–	–

insbesondere räumliche GIS-Abfragen und GIS-Operationen erforderlich sind.

Um bei der Veränderungsdetektion auch spektral schwierig zu klassifizierende Objekte den Objektklassen des Versiegelungs- und Gebäudedatensatzes zuordnen zu können, werden anhand der Objekthöhen Unterklassen gebildet, wie z. B. ‚niedrige Gebäude‘, z. B. Garagen und Schuppen, und ‚hoher Schatten‘, z. B. Schatten auf Gebäuden. Darüber hinaus werden ‚versiegelte Flächen‘ auf Basis ihrer spektralen Merkmale in die Unterklassen ‚rote‘ und ‚graue‘ Versiegelung eingeteilt, um Fehlklassifizierungen zu minimieren und erst im Anschluss durch geometrische Merkmale zusammenhängende ‚Verkehrsflächen‘ erkennen zu können (siehe Abb. 3). So werden beispielsweise Asphaltfahrbahn und benachbarter Rad- und Fußweg fusioniert.

6 Veränderungsdetektion

Bei der Veränderungsdetektion auf Basis einer Post-Klassifizierung werden die Ergebnisse zweier Klassifizierungen miteinander verglichen (siehe Abb. 4). Die zu aktualisierenden Versiegelungs- und Gebäudedaten sind das Ergebnis einer früheren photogrammetrischen Auswertung. Diese werden den aktuellen, automatisch klassifizierten und in den Orthophotos erkennbaren Landbedeckungsklassen gegenübergestellt.

Zunächst werden die Gebäude in beiden Datensätzen miteinander verglichen und bei Übereinstimmung als unverändert gekennzeichnet. Das Vorliegen von ‚hohem Schatten‘ wird ebenfalls als Indiz für unveränderte Gebäude gewertet. Hingegen weisen Klassen mit geringen Objekthöhen, wie z. B. ‚vegetationsarme Flächen‘ oder ‚sonstige Bodenflächen‘, auf einen Gebäudeabriss hin (siehe Tab. 2). Lageungenauigkeiten zwischen Bilddaten und Höhenmodell führen zwar zur fehlerhaften Annahme eines Gebäudeabrisses, jedoch sind die betroffenen Flächen in der Regel vergleichsweise klein und können über Regeln zur Mindestflächengröße eliminiert werden.

Neue Gebäude- und Versiegelungsflächen sind häufig infolge von Verdeckungen im Bildmaterial oder durch Schattenwurf in Einzelflächen zergliedert. Um dieser unerwünschten Separation entgegenzuwirken, wird versucht, die Lücken in den Änderungsflächen zu schließen. Hierzu werden benachbarte ‚Schatten‘ und ‚vegetationsarme Flächen‘ den detektierten Neuf Flächen bei Vorliegen ausreichender Form- und Größenparameter zugeschlagen.

Nutzungsänderungen innerhalb der bodennahen Klassen lassen sich nur schwer ermitteln. Eine Änderungsdetektion ist hier in der Regel für kleine Flächen nicht möglich. Auch beim Vorliegen größerer Flächen sind ermittelte Änderungen mit einer großen Unsicherheit behaftet. So kann der durch Standortauf-

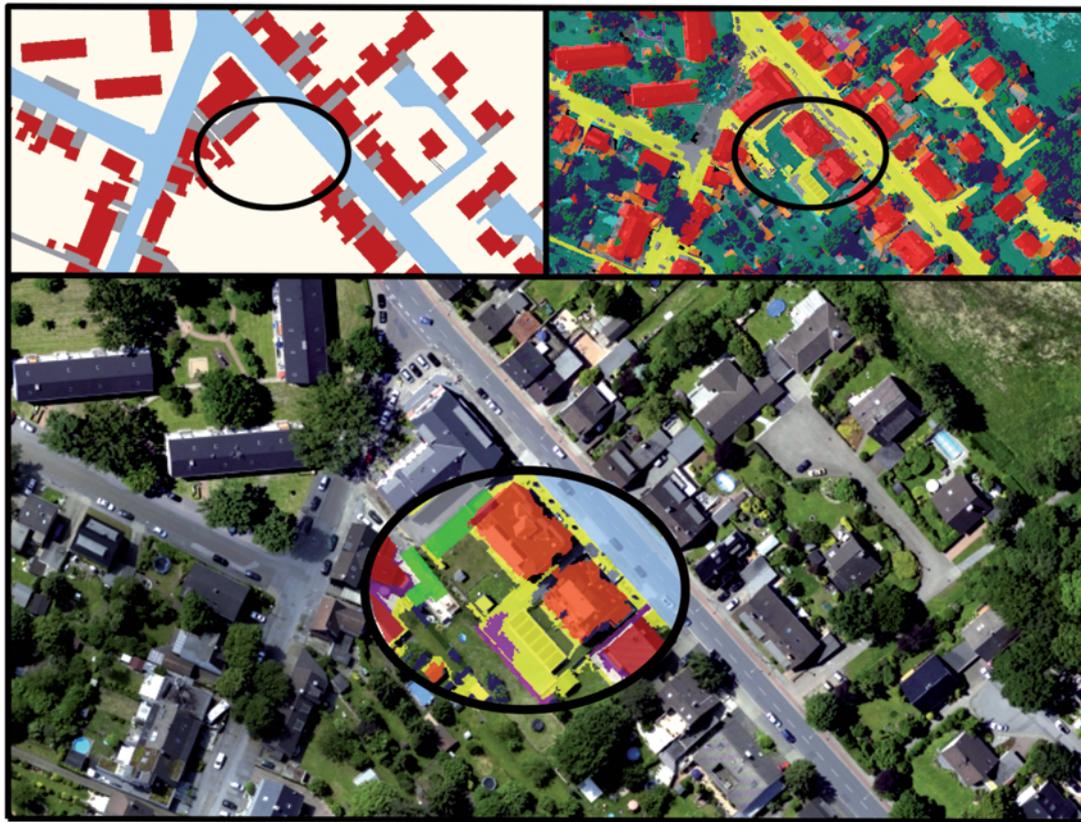


Abb. 4: Veränderungsdetektion (oben links: Ausgangsdatensatz, oben rechts: Klassifizierung, unten: Differenzen, orange: neue Gebäude, gelb: neue Versiegelung, grün: Gebäudeabgang, violett: unbestimmt; *DOP: © Aerowest*).

gabe von Industrie- und Gewerbebetrieben bedingte Wechsel von versiegelten Bodenflächen in die Klasse ‚vegetationsarm‘ nicht sicher detektiert werden. Der Übergang von Vegetationsflächen zu versiegelten Bodenflächen wird bei relevanter Größe aber zuverlässig als Veränderung erkannt.

7 Nachgeordnete Filtermethoden

Durch den unbelaubten Bildflug ergeben sich für die Effizienz des eingesetzten Change-Detection-Verfahrens zusätzliche Herausforderungen. Aus der spektralen Ähnlichkeit der Bildpixel von unbelaubten Baumkronen und Dachflächen und deren vergleichbaren Verteilung in der Höhe resultiert ein erhöhter Anteil von Fehldetektionen. Höhere, insbesondere kompakt gewachsene Baumkronen und solche mit Grenzlage zu anderen Gebäuden, wer-

den als ‚neue Gebäude‘ ausgewiesen. Gleichwohl ist die Detektion der tatsächlich gesuchten neuen Dachflächen weiterhin ähnlich erfolgreich wie bei der Prozessierung belaubter Bildflüge. Weitere Fehlklassifizierungen werden durch die im Orthophoto versetzt abgebildeten Dächer (Umklappeffekt) in Kombination mit einem im Bereich der Hauswände nicht steil genug abfallenden digitalen Oberflächenmodell verursacht. Letzteres resultiert aus der Standardüberdeckung der Bildflugstreifen von 30%, die zu vergleichsweise großen sichttoten Räumen im Streifenüberlappungsbereich führt, in denen keine DSM-Generierung möglich ist. Auch der Lageversatz zwischen originalem Versiegelungs- und Gebäudedatensatz und Bildmaterial führt oftmals zu vermeintlichen Gebäudeerweiterungen. Addieren sich die Effekte, können diese Erweiterungen die projektbezogene Mindestgröße neuer Gebäude von 80 m² deutlich überschreiten.

Tab. 3: Schwellwerte für das nachgeordnete Filterverfahren.

Change-Detection-Flächen	Schwellwerte zur Selektion
neue Gebäude < 80 m ²	nicht projektrelevant
200 m ² > neue Gebäude ≥ 80 m ²	K1 > 0,32 v K2 > 10
neue Gebäude > 200 m ²	K1 > 0,4 v K2 > 12
Gebäudeabgang ≥ 50 m ²	K1 > 0,15 v K2 > 2
Gebäudeabgang < 50 m ²	nicht projektrelevant
neue versiegelte Flächen < 150 m ²	nicht projektrelevant
neue versiegelte Flächen ≥ 50 m ²	K2 > 3
Abgang versiegelter Flächen	keine weitere Filterung

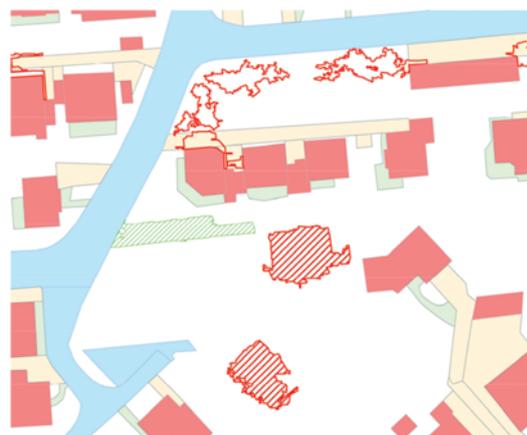
Für Gebäudeabgänge stellt sich generell eine andere Situation dar. Die hier vergleichsweise selten verursachten Fehldetektionen unterscheiden sich bezogen auf Form und Größe nicht von den korrekten Detektionen und werden daher im vorliegenden Projekt durch die eingesetzten und nachstehend beschriebenen Methoden bewusst weniger stark gefiltert.

Der durch die Fehldetektionen bedingte Aufwand für die nachgelagerte manuelle Verifikation der postulierten Neubebäude soll jedoch im Interesse eines insgesamt wirtschaft-

lichen Verfahrens gering gehalten werden. Die nachgeordnete Filterung hat deshalb die Aufgabe, die vegetationsbedingten Fehldetektionen signifikant zu reduzieren, ohne zugleich Qualitätsabstriche bei den korrekt gefundenen Gebäudeveränderungen hinnehmen zu müssen. Für neue Bodenversiegelungen gilt diese Maßgabe eingeschränkt ebenso. Auch hier sollten jedoch die Filtermethoden weniger stark in den Änderungsdatensatz eingreifen, da hier die Größen- und Formenvielfalt keine zuverlässige Unterscheidung beispielsweise zwischen hell rückstrahlenden Rohböden und tatsächlich versiegelten Flächen zulässt.

Bei einer Klassifizierung stellt die Differenzierung von Baumkronen und Gebäuden für das menschliche Auge aufgrund der unterschiedlichen Art der Begrenzung in der Regel keine Schwierigkeit dar. Während Gebäude häufig geradlinige Randlinien und eine kompakte Form aufweisen, sind Baumkronen eher unregelmäßig begrenzt und haben eine unbestimmte, diffuse Form. Um die Unterschiede für einen automatischen Prozess zu parametrisieren, wurden für jedes detektierte Änderungspolygon Umfang (U), Fläche (A), geometrische Kompaktheit K1 (A/U^2) und größenabhängige geometrische Kompaktheit K2 (A/U) berechnet.

Zur Ermittlung geeigneter Parametersätze für die Aufdeckung der Fehldetektionen wurden drei verschieden strukturierte Trainingsgebiete mit jeweils einer Größe von 1 km² manuell an einer Stereostation ausgewertet, wobei durch das Vieraugenprinzip eine hohe

**Abb. 5:** Eliminierte scheinbare Gebäudeerweiterungen.**Abb. 6:** Detektierte Neubebäude (schraffiert) und Baumkronen (offen) nach Filterung.

Tab. 4: Reduktionsbilanz der Filterung.

Change-Detection-Datensatz 2007/2012	Neue Gebäude	Gebäudeabgang	Neue versiegelte Flächen
(Projektgebiet 34 km ²)	> 80 m ²	> 50 m ²	> 150 m ²
CD Datensatz (Rohwerte)	1675	147	727
CD Datensatz gefiltert	367	85	112
verifizierte Polygone	340	60	88

Güte des erzielten Ergebnisses gewährleistet wurde. Ausgewählt wurden drei Gebiete, die möglichst allgemeingültig die unterschiedlichen Möglichkeiten der relativen Lage der problematischen Vegetationspolygone zu Gebäuden repräsentieren:

- Laubbaumbestände bzw. Gehölzflächen durchmischt mit verstreuter Bebauung,
- baumreiche Altstadtbereiche bzw. Zonen geschlossener Bebauung,
- typische Vorortssituation mit Einzelbebauung und heterogener Gartenvegetation.

Der Datensatz der drei Trainingsgebiete enthielt sowohl die tatsächlichen Gebäudeveränderungen als auch die Änderungen der versiegelten Bodenflächen.

In einer räumlichen Abfrage wurden diejenigen Change-Detection-Polygone selektiert, die mit den tatsächlich geänderten Polygonen der Trainingsgebiete korrespondieren. Daraus ließen sich im Anschluss die Schwellwerte für Größenklassen und Kompaktheitsmaße empirisch ableiten, die für den Trainingsdatensatz zu keiner Eliminierung von korrekten Änderungspolygonen führen, gleichzeitig aber die Polygone mit Fehldetektionen stark reduzieren. Durch Versuchsreihen stellte sich dabei heraus, dass ein mehrstufiges Verfahren, das für verschiedene Größenklassen unterschiedlich definierte Schwellwerte für K1 vorsieht, die besten Ergebnisse produziert. Ähnliche Überlegungen ergaben sich für die Bodenneuversiegelungen und die Gebäudeabgänge (Abriss) als zielführend, jedoch mit jeweils angepassten Parametern. Letztlich wurden geringe Sicherheitsaufschläge für die jeweiligen Schwellwerte (siehe Tab. 3) angesetzt, um die Restunsicherheit zu minimieren, die durch die begrenzte Größe und somit Aussagefähigkeit der Trainingsgebiete bedingt ist. Abb. 5 zeigt

Beispiele für die Eliminierung vermeintlicher Gebäudeerweiterungen durch Umklappeffekte (violette Signatur). Abb. 6 illustriert die erfolgreiche Unterscheidung von tatsächlichen Gebäudezugängen (schraffierte Signatur) von baumkronenbedingten Fehldetektionen (Signatur ungefüllt).

Für das Projekt wurde die Reduzierung der Fehldetektionen (siehe Tab. 4) um ca. den Faktor 50 bei Neugebäuden und ca. den Faktor 27 bei den Bodenneuversiegelungen erreicht. Den 1335 ursprünglichen Fehldetektionen in der Klasse ‚Neugebäude‘ stehen nach der Filterung 27 verbliebene Fehldetektionen gegenüber, was eine erhebliche Aufwandsreduzierung bei der manuellen Prüfung und Einarbeitung bedeutet. Bei Gebäudeabgängen ist die Verminderung der Menge an Fehldetektionen zwar prinzipbedingt deutlich geringer, aber auch hier konnten die Fehldetektionen noch um den Faktor 3,5 verringert werden. Versuchsweise schärfere Schwellwerte brachten zwar weitergehende Reduzierungen, sorgten aber für erste Anzeichen dafür, dass ungewollt erste korrekte Änderungspolygone aus der Prüfmenge eliminiert werden.

8 Fazit und Ausblick

In diesem Artikel wurde ein Verfahren zur Änderungsdetektion versiegelter Flächen vorgestellt, das auf einer objektbasierten Klassifizierung beruht. Fehlklassifizierungen können durch einen empirisch basierten, nachgeordneten Filterprozess in erheblichem Umfang reduziert werden. Das Gesamtverfahren kann so gestaltet werden, dass einerseits nahezu sämtliche realen Änderungen im Rahmen der Projektvorgaben detektiert werden und gleichzeitig fehlerhafte Änderungen, die tat-

sächlich keinen Änderungsfall darstellen, nur einen geringen Umfang einnehmen. Es konnte gezeigt werden, dass das Change-Detection-Verfahren die visuelle Durchmusterung von Luftbildern, die bisher in den Fortführungsprojekten angewendet wurde, ersetzen kann und eine hohe Erkennungsquote erreicht wird. In einem methodisch vergleichbaren Vorgängerprojekt, für das zusätzlich manuelle Durchmusterungsergebnisse vorlagen, konnte belegt werden, dass das automatische Verfahren sowohl fall- als auch flächenbezogen vollständigere Ergebnisse liefert. Die summierten Änderungsflächen, die übereinstimmend durch die operateurgestützte Durchmusterung und durch das parallel durchgeführte automatische Verfahren detektiert wurden, weisen eine Flächengröße von 6,4 ha auf. Durch das automatische Verfahren wurden 0,58 ha Fläche fehlerhaft zusätzlich gefunden (9%). Hingegen betrug die zusätzlichen, nur durch das operateurgestützte Verfahren detektierten Flächen 0,26 ha (4%). Neben der Zeitersparnis, die sich je nach Projektgröße zwischen 20% und 40% des Gesamtaufwandes bewegt, ist somit eine Verbesserung mindestens der flächenbezogenen Vollständigkeit zu erwarten.

Das hier vorgestellte Verfahren kann insbesondere durch eine Verbesserung der digitalen Gelände- und Oberflächenmodelle und damit ein präziseres Differenzhöhenmodell weiter optimiert werden. Um auch kleinere als im Projekt geforderte Änderungsflächen zuverlässig detektieren zu können, wäre eine automatische blockweise Entzerrung des Ausgangsdatensatzes wünschenswert.

Danksagung

Der Artikel wurde im Rahmen eines Projektes des Lippeverbandes und der EFTAS Fernerkundung Technologietransfer GmbH erstellt. Die Autoren bedanken sich für die kooperative Zusammenarbeit und für die Bereitstellung des Luftbildmaterials sowie der weiteren Projektdaten.

Literatur

- BAATZ, M. & SCHAPE, A., 1999: Object-oriented and multi-scale image analysis in semantic networks. – 2nd international symposium on operationalization of remote sensing, 16–20 August 1999, ITC, Enschede, The Netherlands.
- BOUZIANI, M., GOÏTA, K. & HE, D.-C., 2010: Automatic change detection of buildings in urban environment from very high spatial resolution images using existing geodatabase and prior knowledge. – *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* **65** (1): 143–153.
- BÜSCHER, O., BUCK, O., LOHMANN, P., HOFMANN, P., MÜLLER, S., SCHENKEL, R.U. & WEISE, C., 2008: Einsatz von Change Detection Methoden zur Fortführung von DeCOVER-Objektarten. – *PFG – Photogrammetrie, Fernerkundung, Geoinformation* **2008** (5): 395–407.
- CHAMPION, N., ROTTENSTEINER, F., MATIKAINEN, L., LIANG, X., HYYPPÄ, J. & OLSEN, B.P., 2009: A test of automatic building change detection approaches. – *CMRT09*: 3–4.
- COPPIN, P., JONCKHEERE, I., NACKAERTS, K., MUYS, B. & LAMBIN, E., 2004: Digital change detection methods in ecosystem monitoring: a review. – *International Journal of Remote Sensing* **25**: 1565–1596.
- DURO, D.C., FRANKLIN, S.E. & DUBÉ, M.G., 2013: Hybrid Object-based Change Detection and Hierarchical Image Segmentation for Thematic Map Updating. – *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* **79** (3): 259–268.
- GITELSON, A.A., ZUR, Y., CHIVKUNOVA, O.B. & MERZLYAK, M.N., 2002: Assessing Carotenoid Content in Plant Leaves with Reflectance Spectroscopy. – *Photochemistry and Photobiology* **75**: 272–281.
- KLINK, A., LÜCKE, C., VÖLKER, A., HÖKE, S. & ROLF, M., 2008: Semiautomatische Luftbildauswertung zur Erfassung von Siedlungs- und Verkehrsflächen als Unterstützung des nachhaltigen Flächenmanagements. – *PFG – Photogrammetrie, Fernerkundung, Geoinformation* **2008** (5): 441–451.
- LANG, S. & BLASCHKE, T., 2007: Landschaftsanalyse mit GIS. – Ulmer, UTB 8347, Stuttgart.
- LANGANKE, T. & LANG, S., 2004: Strukturelle Indikatoren zur Beurteilung von Habitatqualität im europäischen Naturschutz. – *Habitatmodelle – Methodik, Anwendung, Nutzen*. Leipzig: UFZ-Berichte: 141–145.
- LEMAIRE, C., 2008: Aspects of the DSM Production with High Resolution Images *ISPRS XXXVII* (B4): 1143–1146.

- LI, X., ZHAO, S., RUI, Y. & TANG, W., 2007: An object-based classification approach for high-spatial resolution imagery. – Conference Volume 6752, Geoinformatics 2007. Remotely Sensed Data and Information, Nanjing, China.
- MAS, J.-F., 1999: Monitoring land-cover changes: a comparison of change detection techniques. – *International Journal of Remote Sensing* **20** (1): 139–152.
- MOTOKA, T., NASAHARA, K.N., OGUMA, H. & TSUCHIDA, S., 2010: Applicability of Green-Red Vegetation Index for Remote Sensing of Vegetation Phenology. – *Remote Sensing* **2010** (2): 2369–2387, doi: 10.3390/rs2102369.
- RICHARDSON, A.D., JENKINS, J.P., BRASWELL, B.H., HOLLINGER, D.Y., OLLINGER, S.V. & SMITH, M.-L., 2007: Use of digital webcam images to track spring green-up in a deciduous broadleaf forest. – *Oecologia* **152**: 323–334.
- SINGH, A., 1989: Review Article Digital change detection techniques using remotely-sensed data. – *International Journal of Remote Sensing* **10** (6): 989–1003.
- VAUPEL, W. & RÖSSMANN, H., 2008: Siedlungswasserwirtschaftliche Management- und Planungsunterlagen erhalten mehr Sicherheit durch photogrammetrische Methoden. – PFG – Photogrammetrie, Fernerkundung, Geoinformation **2008** (5): 433–440.
- ZHOU, W., HUANG, G., TROY, A. & CADENASSO, M.L., 2009: Object-based land cover classification of shaded areas in high spatial resolution imagery of urban areas: A comparison study. – *Remote Sensing of Environment* **113** (2009): 1769–1777.

Anschrift der Autoren:

Dipl.-Ing. HEINER RÖSSMANN, Dipl.-Geogr. JOACHIM PEYKER, Dipl.-Landschaftsökologe ANDREAS VÖLKER & Dipl.-Ing. (FH) ADRIAN KLINK, EFTAS Fernerkundung Technologietransfer GmbH, Oststr. 2-18, D-48145 Münster, Tel. +49-251-133070, Fax: +49-251-1330733, e-mail: {heiner.roessmann}{joachim.peyker}{andreas.voelker}{adrian.klink}@eftas.com

Manuskript eingereicht: Mai 2013

Angenommen: Juli 2013



Monitoring Services for Food Security – Successful Transfer of Technology to the Sudanese Government

CARSTEN HAUB, LUCA KLEINWILLINGHÖFER, JÖRN BROCKMANN, KLAUS-ULRICH KOMP, MÜNSTER & SVEN GILLIAMS, Mol, Belgium

Keywords: Technology transfer, multi scale services, seasonal monitoring, agricultural mapping, food security, data fusion, GMES, GMFS, Sudan

Summary: Food security remains a raising challenge between poverty reduction and population growth worldwide but for us with direct concerns in Africa. The initiative of the European Space Agency (ESA) for a service element called Global Monitoring for Food Security (GMFS) is being designed to apply remote sensing and GIS services for food security purposes. Several African countries were addressed not only to use such specific information but to benefit from a transfer of technology and institutional strengthening.

The paper provides as one of the first articles a comprehensive essay about the successful technology transfer of ESA GMFS services to selected government authorities. It particularly discusses the frame conditions of agriculture in Sudan and the corresponding GMFS services for Sudan. After a brief introduction of the applied methods a stronger focus shall be given on the operational results of this six years collaboration with the Federal Ministry of Agriculture and Irrigation of Sudan. There were a wide range of state-of-the-art techniques involved, such as the combined use of medium and high resolution remote sensing data, the integration of optical and radar data as well as the incorporation of agronomic ground sampling. The full documentation of the technological developments goes beyond this paper, but is freely available via the cited references and at www.gmfs.info. Until today documentations which are covering the entire process from scientific developments to the successful implementation at beneficiary institutions are rarely available. Especially the combination of research and development work, professional training and the implementation of operational Earth Observation & Geographic Information System based services emphasizes not only the success of the project but furthermore may rise hope to contribute to the amelioration of the food security situation in Africa.

Zusammenfassung: *Monitoringdienste für die Ernährungssicherung – Erfolgreicher Technologietransfer für die Regierung des Sudan.* Das Thema Ernährungssicherung bleibt eine ständige Herausforderung zwischen Armutsbekämpfung und weltweitem Bevölkerungswachstum, allerdings für uns mit direktem Bezug zu Afrika. Die Europäische Weltraumagentur (ESA) entwickelte ein Dienstleistungselement namens *Global Monitoring for Food Security* (GMFS, Globales Monitoring für Ernährungssicherung), um verschiedene Erdbeobachtungs- und GIS-Dienste im Rahmen der Ernährungssicherung anzuwenden. Mehrere afrikanische Staaten wurden ausgewählt, um nicht nur die Ergebnisse zu nutzen, sondern vom Technologietransfer und der Institutionenförderung zu profitieren.

Der Beitrag stellt als einer der ersten den erfolgreichen Technologietransfer von ESA GMFS-Diensten zu ausgewählten Regierungsbehörden vor. Insbesondere diskutiert er die Rahmenbedingungen für die Landwirtschaft im Sudan und die dafür geeigneten GMFS-Dienste für den Sudan. Nach einer kurzen Einführung in die angewandten Methoden soll ein stärkerer Fokus auf die operativen Ergebnisse dieser sechsjährigen Zusammenarbeit mit dem Bundesministerium für Landwirtschaft und Bewässerung des Sudan gerichtet werden. Eine umfangreiche Auswahl von Anwendungen entsprechend des Standes der Technik wurde genutzt, wie etwa die kombinierte Nutzung von mittel- und hochaufgelösten Fernerkundungsdaten, die Integration von optischen und Radar-Daten sowie die Einbeziehung landwirtschaftlicher Feldstichproben. Eine vollständige Dokumentation der technischen Entwicklungen würde den Rahmen dieses Beitrags sprengen, ist aber unter www.gmfs.info frei verfügbar.

Bis heute liegt wenig Dokumentation über den gesamten Prozess der wissenschaftlichen Entwicklungen bis hin zur erfolgreichen Umsetzung vor.

Speziell die Kombination von Forschungs- und Entwicklungsarbeiten, professionellem Training und die Einführung operationeller Erdbeobachtungs- und GIS-Dienste unterstreicht nicht nur den

Erfolg des Projekts, sondern gibt vielmehr Anlass zur Hoffnung, einen Beitrag zur Verbesserung der Ernährungssicherung in Afrika leisten zu können.

1 Introduction

The worried questions on the Earth's life-sustaining capacity in view of more than seven billion people to be fed are of overall importance for the political, ecological and economic survival of mankind. Therefore, the issue of food security is a primary concern of many international institutions like the World Bank, United Nations World Food Programme (WFP), United Nations Food and Agricultural Organisation (FAO), Joint Research Centre (JRC) of the European Union (EU) and many national institutions of the public development aid. The project series of Global Monitoring for Food Security (GMFS) is part of the European Space Agency's (ESA) contribution to the EU / ESA Global Monitoring for Environment and Security (GMES) programme, recently renamed as Copernicus. The GMFS project aims to 1) establish a platform to provide operational Geoinformation services for crop monitoring in support of Food Security Monitoring Systems and to 2) sustainably serve policy makers and operational users. It is an ESA Earth Watch GMES Service Element which started in 2003 by a first phase. Since 2006 EFTAS is part of the extended second and third project phase, which will be funded until September 2013. The recent last funding phase focuses on the sustainable transfer of operational services to the user community aiming at a continuation by the involved African ministries beyond the funding period of the ESA project (HAUB & GILLIAMS 2010).

Although the whole project setup of GMFS covers a total of nine African countries (GMFS 2013a) this paper focuses particularly on the promising results achieved in Sudan. The engagement in Sudan was recommended by the GMFS advisory board consisting of FAO, WFP and JRC upon request of the Federal Ministry of Agriculture and Irrigation (FMoAI) of Sudan. The main reason was the demand for assistance in monitoring the high-

ly varying cropping conditions and the related vulnerability of the people in Sudan. The encouraging cooperation has been realized with strong commitments from both sides covered through a high level Memorandum of Understanding with the FMoAI.

2 Agriculture in Sudan

In many African countries, information on the annually cultivated land is not available. Mapping of the main cultivated areas is therefore a first step towards a better understanding of annual cultivation in these countries and an important input for generating statistics on agriculture production.

The agro-climatic zoning of Sub-Saharan Africa is mostly based on the precipitation zones. The equatorial zones with nearly permanent vegetation periods have almost no dry seasons in the inner tropical zone, which has been traditionally a forest based farming system. In the adjacent sub-equatorial and sub-sahelian zones with distinct dry season there is mostly enough precipitation for cropping of roots and cereals. Farther away from the equator agro-pastoral schemes with millet and sorghum are common, mostly suitable only for extensive rain fed agriculture due to the very short vegetation periods affected by a certain natural variability. This is the case for the central and northern half of the Sudanese territory. The seasonal variability of cropping in these areas is largely depending on intensity, duration and distribution of rain which as well significantly varies from year to year. Related to this the total of the cropped area in a given growing season can differ significantly from the previous growing seasons. As a result, large differences in crop production from season to season are affecting the subsistence of the local population. Huge parts of Sudan's agriculture are affected by this kind of tremendous seasonal variation. Fig. 1 shows

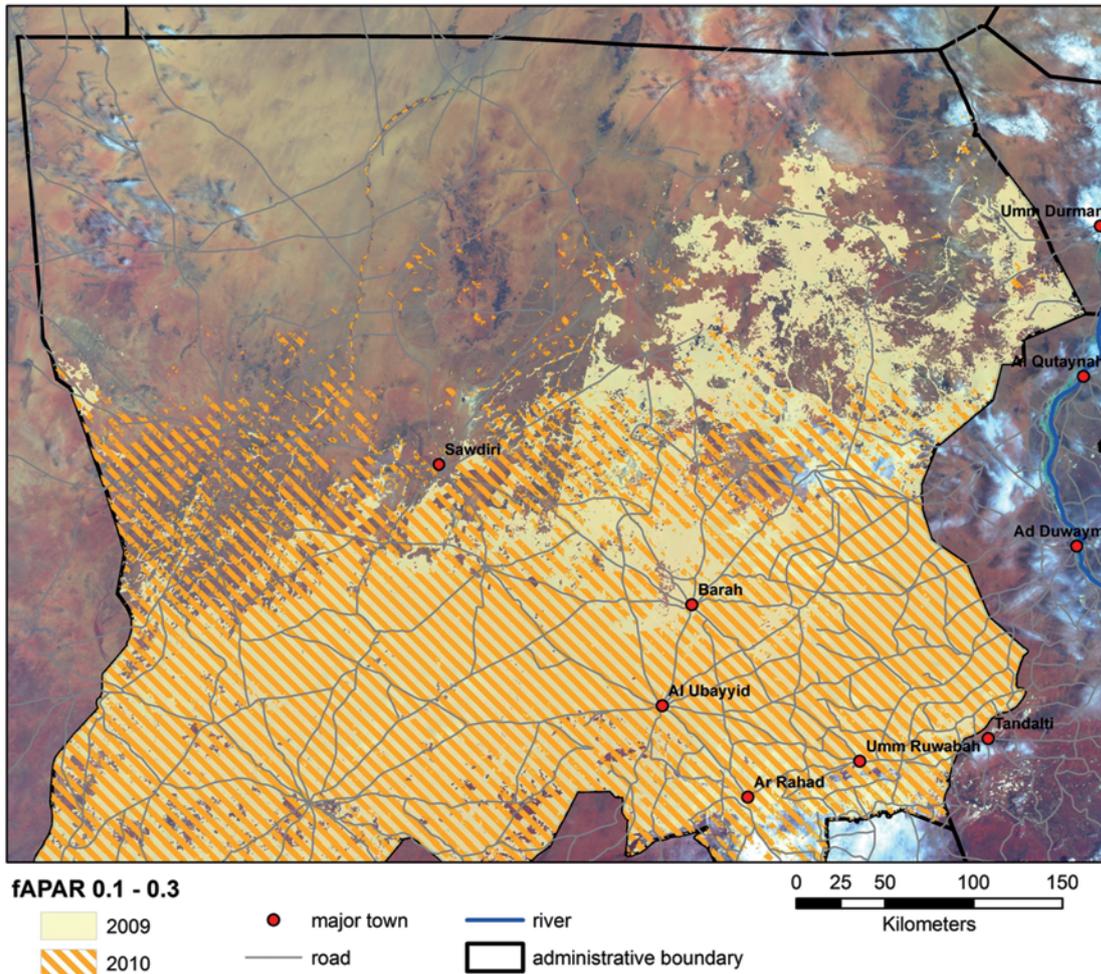


Fig. 1: Annual change of agriculture in North Kordofan, Sudan. The map shows the distribution of potential rain fed areas for the crop seasons 2009 (light yellow) and 2010 (hatched, light brown) (BROCKMANN et al. 2011). Source: False colour composite ENVI-SAT MERIS FR (2010-09-12 – bands 13-5-1) overlaid with MERIS FR level 2 fAPAR data from 2009 versus 2010.

the distribution of the overall vegetation and the related potential rain fed areas for the crop seasons 2009 (light yellow) and 2010 (hatched, light brown) in North Kordofan State, Sudan (BROCKMANN et al. 2011).

The annual precipitation in the central part of Sudan ranges between 150/200 mm and 400/500 mm with strong local variations. Large areas in central Sudan are depending on traditional rain fed agriculture mainly in small scale subsistence farming (Fig. 2). These conditions are causing high vulnerability of certain parts of the Sudanese population. About 60% of the Sudanese people who are depending on subsis-



Fig. 2: Millet field in North Kordofan, Sudan 2011.

tence agriculture are living in rural areas with an average population density of 14 – 17 people per km².

3 Agricultural Monitoring Services by Means of Remote Sensing

In the above given context the FMoAI is considering that Earth Observation (EO) technologies are one of the most important means to strengthen the agricultural monitoring framework in Sudan. In this regard the FMoAI requested the GMFS partnership to investigate advanced EO contributions in particular for the assessment on traditional rain fed areas. Therefore, the yearly monitoring of agricultural extent and condition constitutes a real information demand of the Sudanese administration, which has been addressed through the definition of key GMFS services. Nowadays, these services provide processing routines for a seasonal monitoring and the mapping of the seasonal cultivated area using medium and high resolution satellite data. For future continuation these services have been developed for the use of the forthcoming ESA Sentinel missions 1-3. As such the potential service continuation is expected to last until 2020.

The cooperation between the FMoAI and the GMFS partnership started in 2007 during the second project phase of GMFS (2005 – 2009) (HAUB et al. 2008). Within the third stage of GMFS (GMFS3), lasting from 2010 – 2013, two major agricultural mapping products have been investigated, following recommendations of the FMoAI: 1) an indicative inter-seasonal map on vegetation growth dynamics by means of medium resolution satellite data (MR) and 2) a high resolution (HR) cultivated area map based on optical and synthetic aperture radar (SAR) data.

Along all activities extra attention was drawn to the compliance of the GMFS products and processes with the day-to-day workflows of the FMoAI and the systematic participation of the users in the entire processing chain by dedicated consultancies and professional trainings. The following chapters depict the applied methods, the status of the product outcomes and the degree of technology

transfer and integration into the institutional framework of the FMoAI.

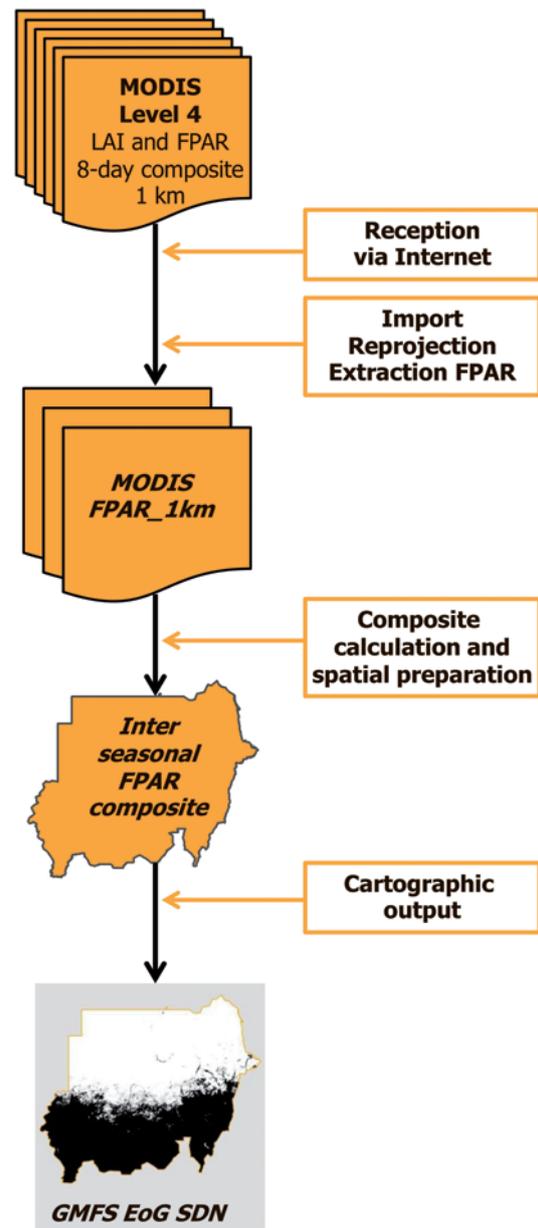


Fig. 3: Processing scheme of the indicative inter-seasonal growth map (GMFS EoG SDN). (LAI = leaf area index, FPAR = Fraction of Absorbed Photosynthetically Active Radiation, EoG = Extent of vegetation Growth, EoG SDN = EoG in Sudan).

3.1 Seasonal Monitoring by Remote Sensing of Medium Resolution

With the aim of having at least indicative but regular information about the distribution of overall vegetation and potential agricultural production during the growing season, the indicative inter-seasonal monitoring services forms the basis to get standardized monthly maps. These maps are generated by means

of bio-physical indicators covering the entire Sudan. The extraction of these parameters is based on the *Fraction of Absorbed Photosynthetically Active Radiation* indicators, a bio-physical variable directly correlated with the primary productivity of the vegetation (GOBRON et al. 2004). For the GMFS product a processing chain has been originally defined on the basis of the ENVISAT MERIS indicator called *fAPAR* and had to be adapted after the

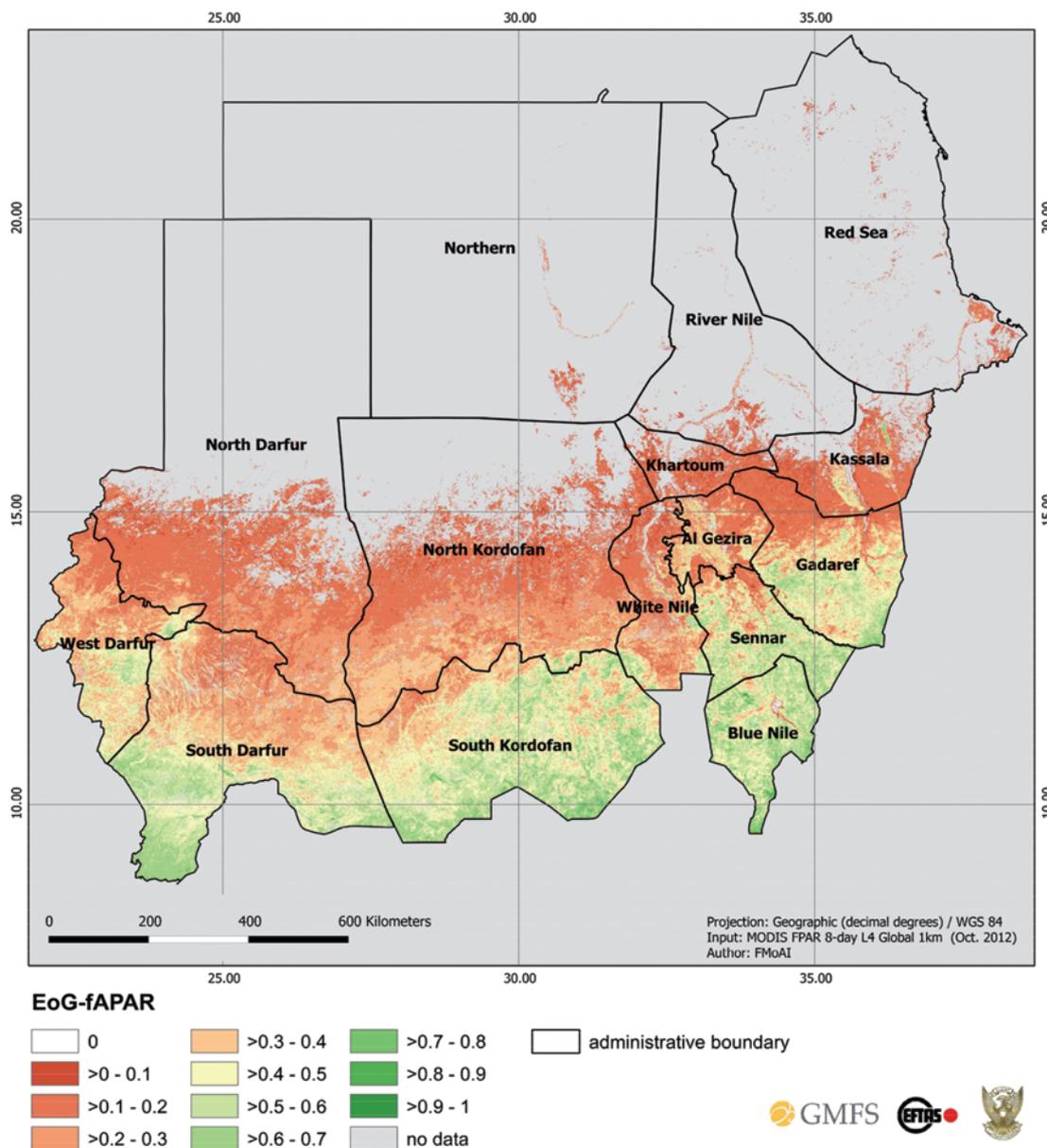


Fig. 4: Indicative inter-seasonal growth map in Sudan – October 2012 (based on MODIS FPAR), processed by FMoAI, Sudan.

loss of ENVISAT to the *fPAR* indicator from the Terra MODIS sensor (Fig. 3). Based on its origin, the GMFS monitoring product is called indicative *fAPAR Extent of vegetation Growth* (EoG-*fAPAR*) and reflects the fraction of the solar energy which is absorbed by the vegetation within each pixel. It is foreseen to use Sentinel 3 satellite data once it will be available in the coming years. More information is available in the technical specifications in GMFS (2013e).

Further analysis steps as requested by the FMoAI had been elaborated and systematically embedded into an open source GIS environment. The following figures show 1) an example of an EoG map of a given month (Fig. 4), 2) a change map of a given month compared to the same month of the previous year (Fig. 5) and 3) a map comparing a given month with the five years average as a standard reporting parameter of the FMoAI (Fig. 6).

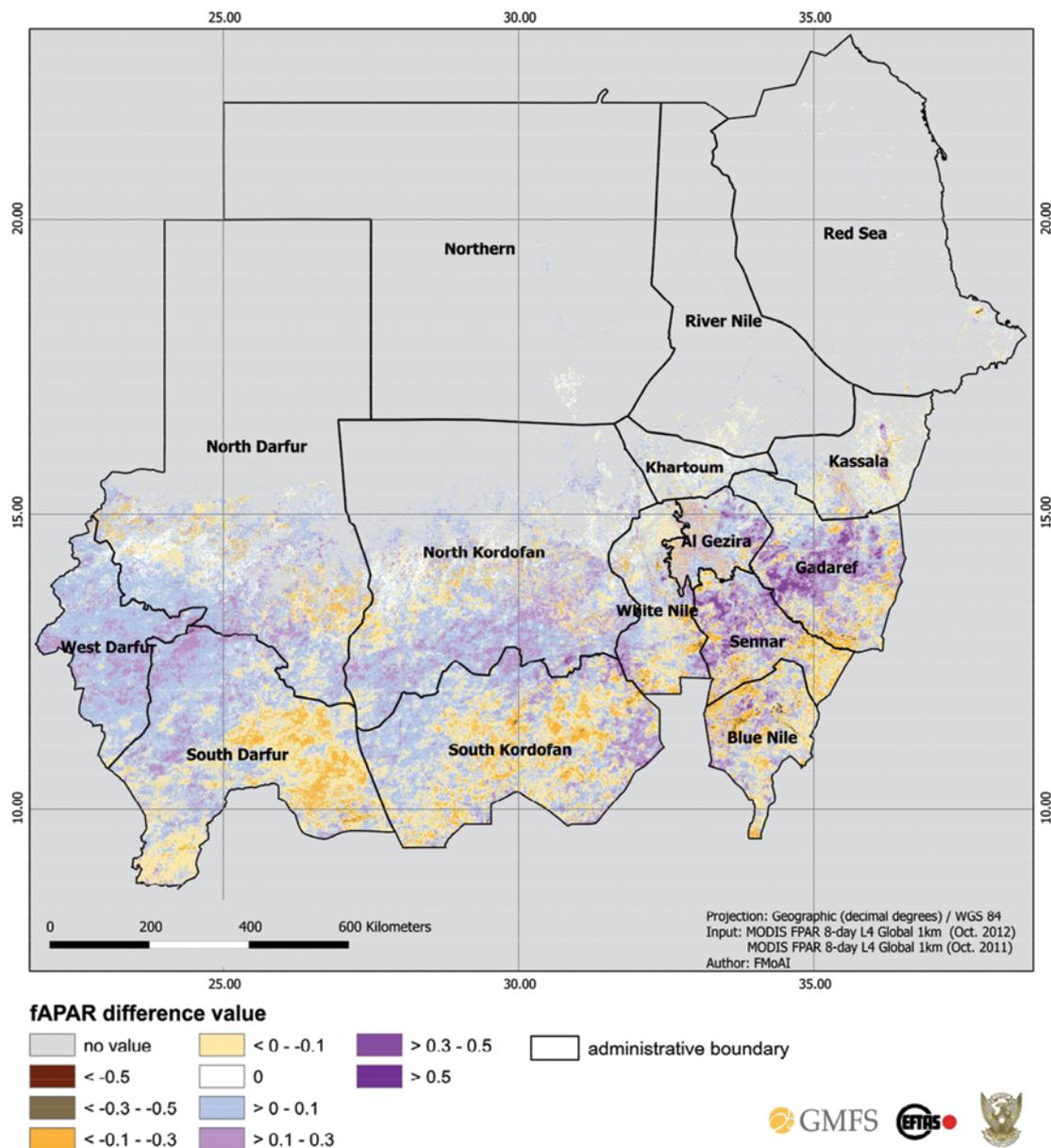


Fig. 5: Indicative inter-seasonal growth map in Sudan – October 2012 versus October 2011 (based on MODIS FPAR), processed by FMoAI, Sudan.

3.2 Mapping Cultivated Area by High Resolution Remote Sensing

Throughout the participative evaluation processes since 2006 it was a clear request of the Sudanese users to get solutions to monitor the traditional rain fed areas at an appropriate scale. Therefore, a first step was to establish procedures which are capable of mapping the spatial extent and agro ecological condi-

tions in Sudan with high resolution satellite data (10 m – 20 m) and to start with a *cultivated area mask (CuA)*. As agreed in this project the generation of a cultivated area map at state level would be an adequate intermediate solution. It would cover the official reporting level of the FMoAI for official purposes and could serve as a next step for future developments towards crop estimates. The recent CuA product discriminates two classes, *cultivated* and

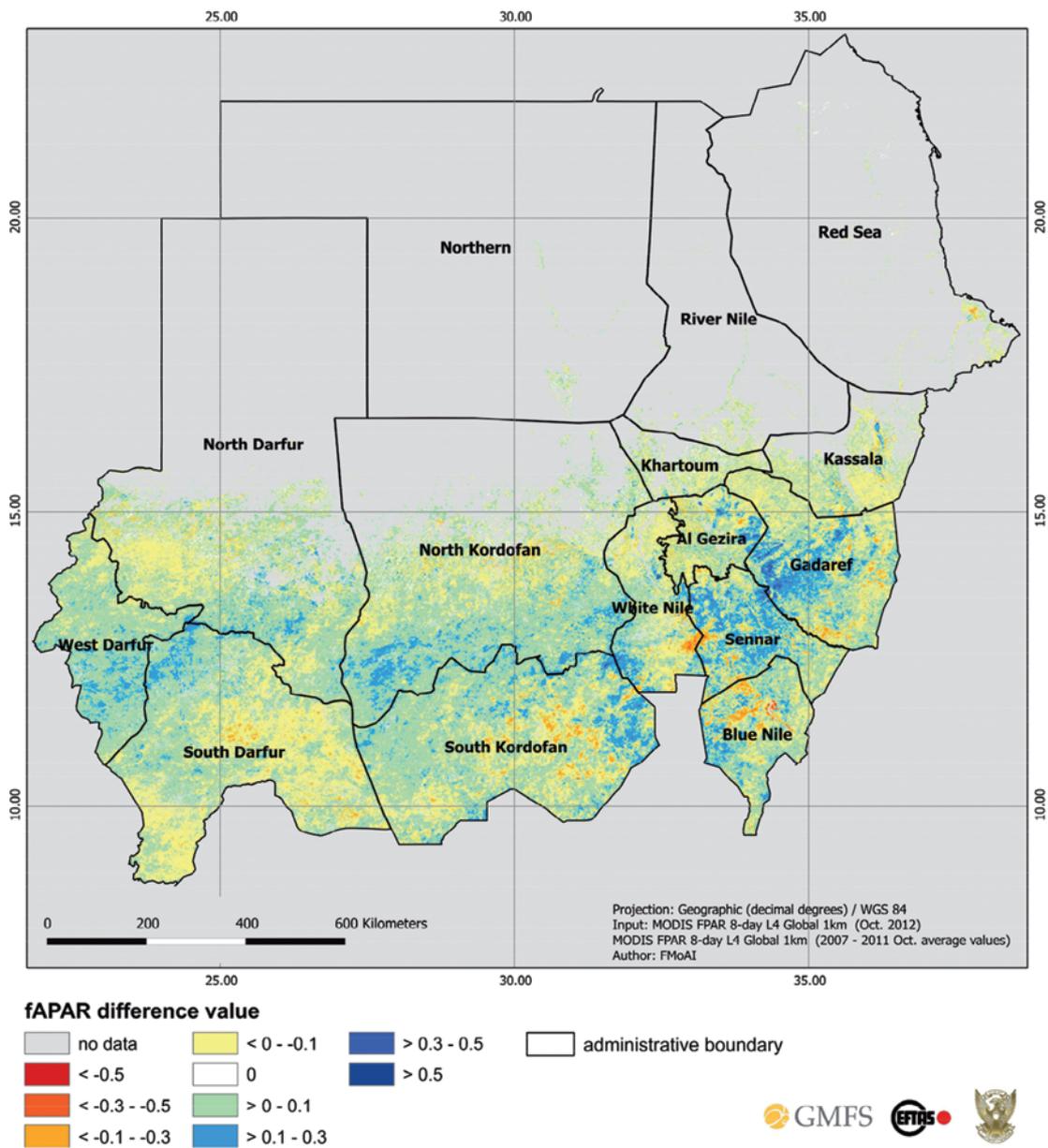


Fig. 6: Indicative inter-seasonal growth map change in Sudan – October 2012 versus the five years average (based on MODIS FPAR), processed by FMoAI, Sudan.

non cultivated land. Cultivated land contains the major annual rain fed crops in Sudan such as Sorghum, Millet, and Sesame. Non-cultivated land contains bare soil, natural vegetation, rocks, water, artificial area and other non cultivated areas such as fallow land. North Kordofan state (approximately 240,000 km²) has been selected as pilot area in order to 1) explore the feasibility of high resolution processing routines, 2) to test the accessibility and availability of relevant HR satellite data

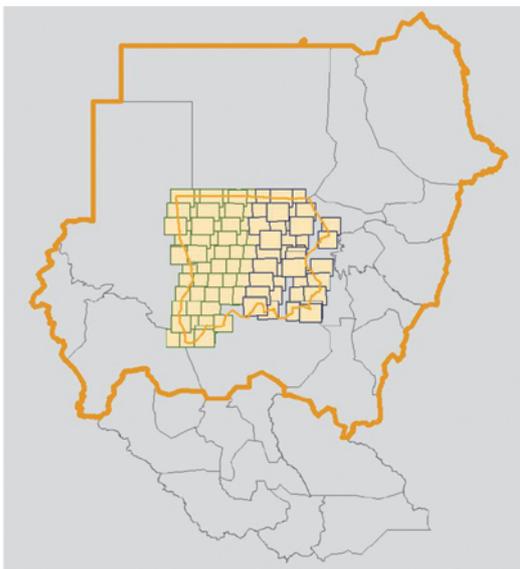


Fig. 7a: Schematic overview of SPOT 4 coverage North Kordofan (early season acquisition window, 6.7.2010).

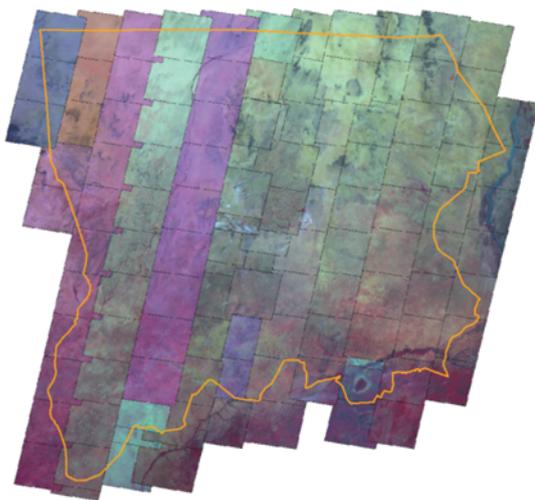


Fig. 7b: SPOT 4 coverage of North Kordofan (June / July & September / October 2010).

for this task over Sudan and 3) to explore the service applicability to provide one full GMFS high resolution CuA map at state level.

Beyond the generation of a map, one additional aim of the CuA product was to provide an entire and robust work flow to the FMoAI, capable of allowing them to operationally apply this implementation with a medium to long term vision. Provided that the Sentinel satellites 1 and 2 will be operational in due time this will be technically the case until 2020 (GMFS 2013b). The generation of the CuA product is based on optical and SAR data. For this pilot two cloud free SPOT 4 coverages over North Kordofan were acquired in 2010, processed and controlled as optical input for the CuA classification (Figs. 7a and 7b).

To cover the SAR component, another sensor of the Envisat satellite has been used – the ASAR sensor, an Advanced Synthetic Aperture Radar operating at C-band with the choice of five polarisation modes. Due to capacity requirements of ASAR the acquisitions had to be split. One part of the data was acquired for the eastern part of North Kordofan in 2010 and another for the western part of North Kordofan in 2011 (Fig. 8). The acquisition mode was Single Look Complex with a H/H polarization.

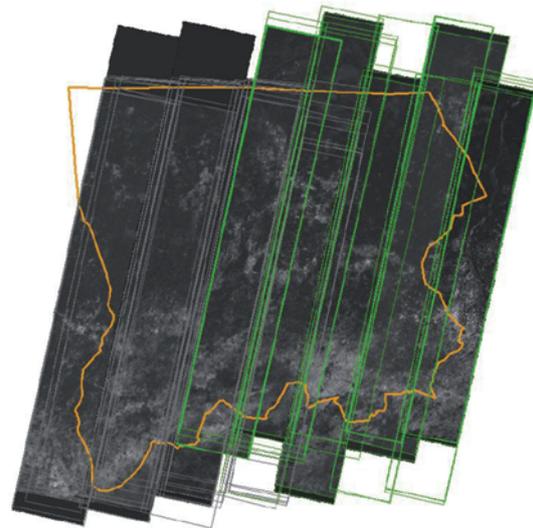


Fig. 8: Radar coverage of North Kordofan by ENVISAT ASAR IM (ASA-IMS 1P, advanced synthetic aperture radar, C-band with choice of five polarisation modes, split into two parts due to capacity limitation of ASAR) grey 2011, green 2010.

The ASAR data were processed with FOODSECURITYscape® software provided by SARMAP in the frame of the GMFS3 project. As SAR input for the classification the Span Ratio between an early (April – May) and late (August – September) ASAR acquisition was used. The Span Ratio represents the ratio calculated between the maximum value and the minimum value of all input data for each pixel. Originally, it was envisaged to generate the maps of Crop Growth Extend by the FOODSECURITYscape® processing (GMFS 2013a). Unfortunately this turned out to be impossible because of unfavourable frequencies and viewing angles of the ASAR sensor. That changed due to an orbital change of the EN-

VISAT satellite during the peak of the main agricultural season in Sudan in October 2011.

For the generation of the cultivated area product the software ALIS© was used. ALIS© is an EFTAS development using a support vector machine training algorithm with a kernel function that applies a maximum margin hyper plane if linear classification is not possible (SCHÖLKOPF & SMOLA 1999). This tool allows access to advanced remote sensing processing embedded into easy to use interfaces for operators who are no remote sensing experts (KOMP & HAUB 2012).

In a final processing step the classification results of cultivated area were intersected with the Sudan Land Cover Database 2010, a vec-

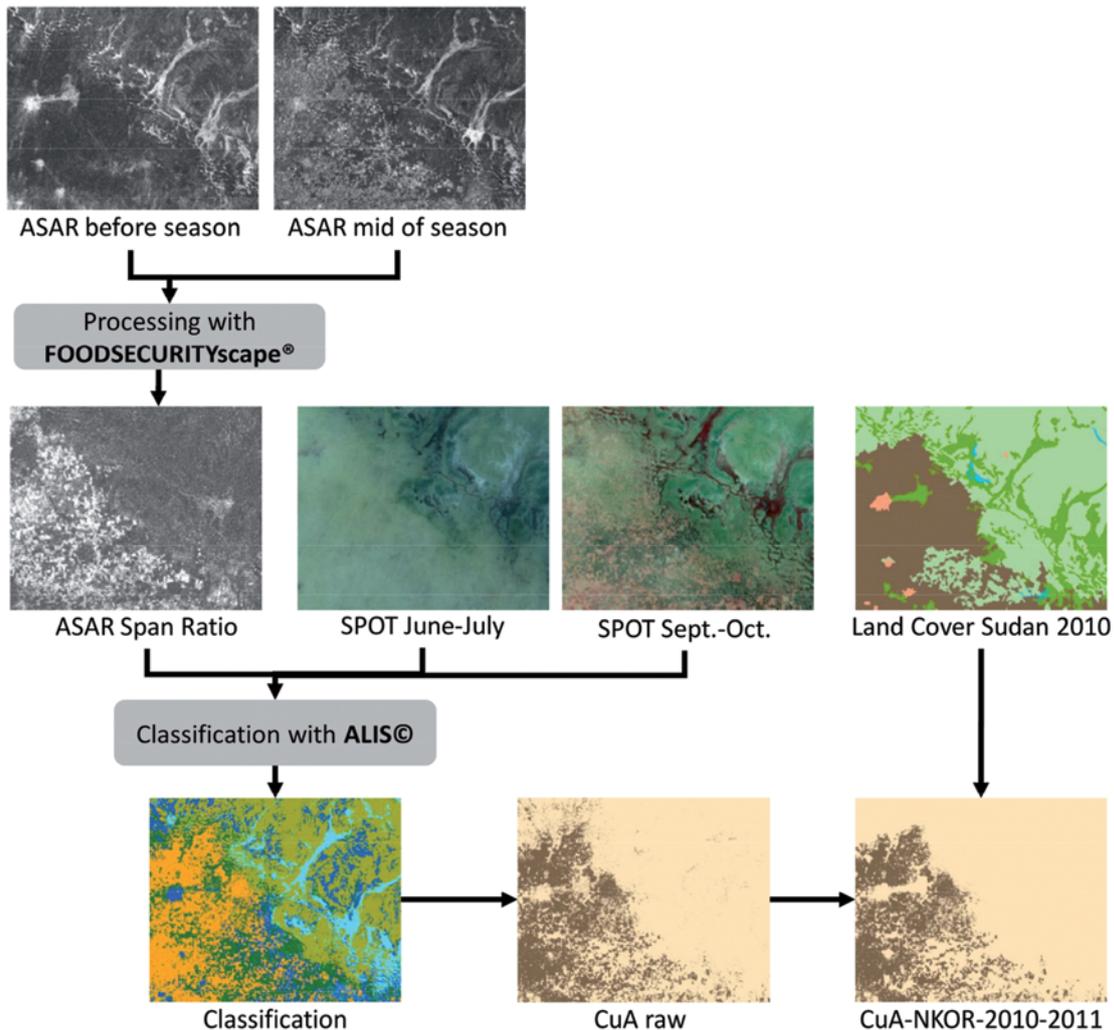


Fig. 9: Work flow to generate maps of cultivated area over North Kordofan (NKOR) by operating ALIS© (ASAR = advanced SAR of ENVISAT, CuA = cultivated area mask).

tor dataset according to the FAO Land Cover Classification System (LCCS) (SIFSIA 2013). The full work flow is shown in a flow chart in Fig. 9 and the final cultivated area map of the agricultural campaign 2010 – 2011 for North Kordofan is shown in Fig. 10. It could be proved that the developed CuA processing chain integrating FOODSECURITYscape® and ALIS© achieved the initial assumptions. Although further efforts are needed to reduce the omission and commission errors the over-

all accuracy of the final CuA product is close or above the requested 85% (for more detail see GMFS 2013f).

3.3 Capacity Building

The ultimate GMFS3 objective in Sudan was to bring the agricultural monitoring services to the FMoAI and to integrate these developments into its actual workflows. Therefore,

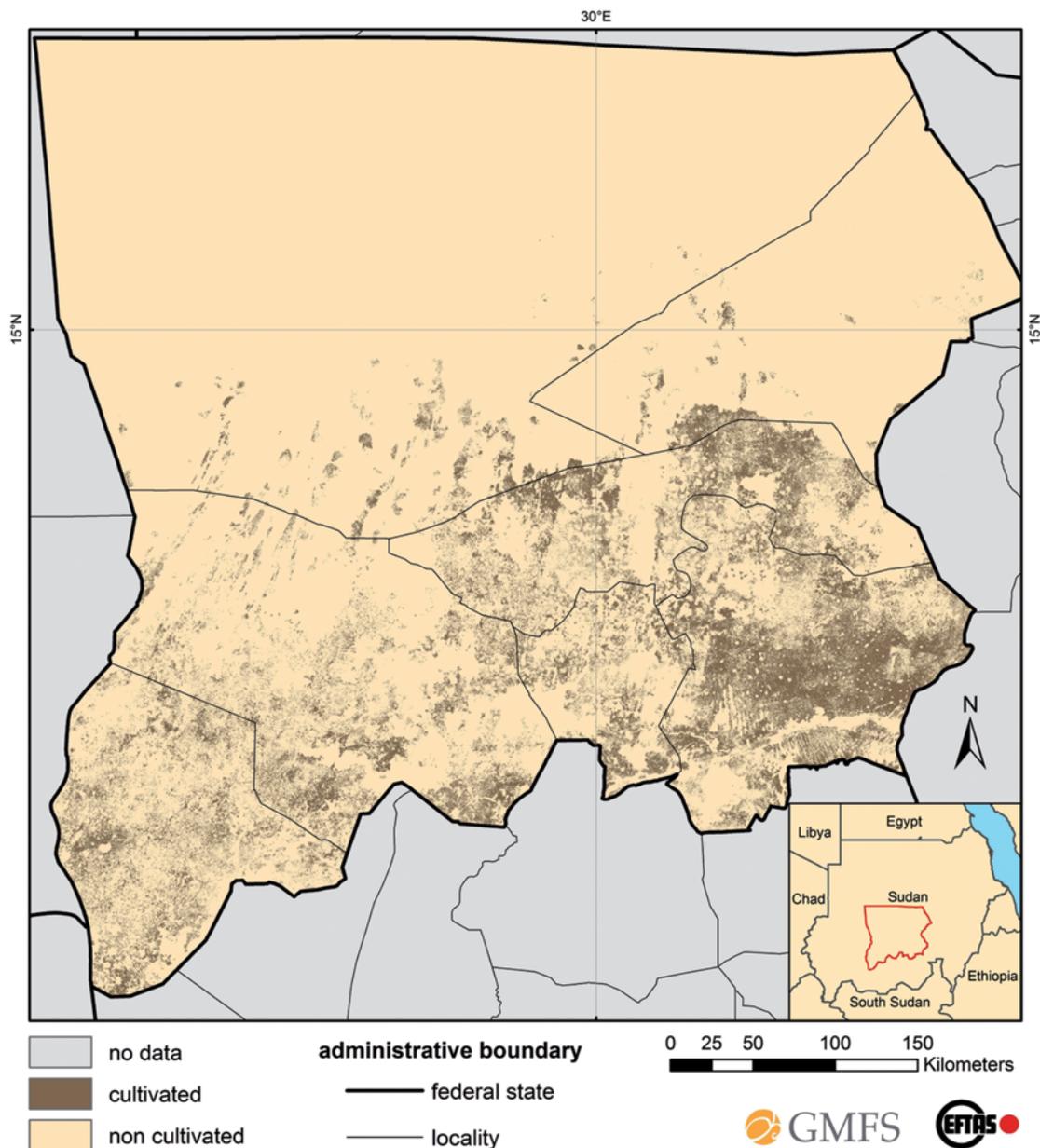


Fig. 10: Cultivated Area in North Kordofan of the campaign 2010 – 2011.



Fig. 11: Training Lab at the FMoAI – Sudan systematically provided with GIS and EO software through EFTAS.

comprehensive training and know how transfer was provided by EFTAS aiming at a sustainable continuation of the methods in Sudan. Beside both mapping components another component on training and consultancy was dedicated to this target and to assist the FMoAI. While implementing and using the above described GMFS mapping products and processing chains, the other component addressed the support and strengthening of the optimisation of agricultural monitoring and surveys, conducted by the regular consultancy missions. Training on geo data handling and field work methodologies had been carried out to a core group of experts at the FMoAI following a “training of trainers” principle.

In this respect a number of training units were realized in Sudan and Germany during the past years. Further to this, the FMoAI's computer-lab, a cluster of server connected GIS working stations and training room with about 50 PCs, was equipped with dedicated open source EO and GIS software packages to access, process and analyse all incoming data. All activities were closely followed up by EFTAS through an intensive exchange and on-the-spot support (Fig. 11).

4 Technology Transfer, Service Outcomes and Integration at the FMoAI Sudan

Almost all initiated service components have been successfully implemented under real conditions during the past years and in close

collaboration with and finally taken over by the FMoAI (GMFS 2013c and 2013d). This was a joint effort of the FMoAI and EFTAS together with the capacity building project – Sudan Institutional Capacity Programme: Food Security Information for Action (SIFSIA-N) of the EU and FAO Rome.

Only the high resolution mapping service, which is recently still under development may need more research in order to achieve full integration into the agricultural statistical framework. For the high resolution mapping component it could be proved, that both data availability in terms of optical and SAR coverage as well as the performance of the high resolution processing of cultivated area maps is capable of providing adequate geoinformation at state level in Sudan. With a view to Sentinel-1 and -2 it is expected that both disordered frequencies and viewing angles will be eliminated so that further research can be addressed to improve the accuracy of the products and to optimize the current processing chain.

The medium resolution best suitable for the extend of growth products has been used in a number of applications, such as

- seasonal monitoring on a monthly basis,
- 5 years comparisons in compliance with the standard FMoAI reporting scheme,
- field work routing overlaid with street data,
- independent source for cross verification of field mission results.

All this contributed to the establishment of a GIS & Remote Sensing Unit under the Agricultural Statistics department of the General Administration of Planning & Agricultural Economics of the FMoAI. This unit was established stepwise with substantial support through the ongoing GMFS capacity building since 2006. In particular, the dedicated “hands on” training scheme and consultancy missions conducted by EFTAS on different hierarchical levels had been appreciated by the FMoAI.

Since then this newly founded unit has taken over the GMFS processing, has given training courses using the GIS training lab, has provided presentations to a number of departments within the FMoAI, and has joined international conferences in order to report about the achieved knowledge transfer through GMFS (KHOJALI 2012, ISMAIL 2013).



Fig. 12: Customised maps of the Extend of vegetation growth for the official field survey campaign of the FMoAI.

The full impact of the production of the Extend of Growth Map (EoG) and post processing routines were reached for the first time in 2012. The GIS & Remote Sensing Unit took charge to fully organize the preparation of the main official crop and agriculture assessment survey of the Food Security Technical Secretariat of the FMoAI. Dedicated EoG maps were processed, printed and provided to each field team (Fig. 12) and were finally integrated into the final survey report for the state wise comparisons with the information collected in the fields, during experts interviews or extracted from other data, such as rain fall data.

5 Conclusions

The GMFS Agricultural Monitoring Services which were performed in Sudan have been successfully transferred during the past years into the day-to-day work of the FMoAI as the prime user within GMFS. This was achieved in close collaboration with the Remote Sensing Authority in Khartoum, SIFSIA-N, FAO Rome, the Regional Centre for Mapping of Resources for Development, Nairobi, and ESA.

The GMFS partnership consolidated multi-scale agricultural monitoring services by providing spatial information on key variables at dedicated spatial, temporal and thematic resolutions affecting food security in Sudan (GMFS 2013c). GMFS contributes to the development and provision of operational service chains as well as to an improved access to satellite data for the Sudanese government.

The GMFS components for Sudan reached a level on which the FMoAI could take over the established process chains, absorb them into a newly founded GIS&RS unit and supply its departments with recent EO data. With a particular emphasis on the forthcoming ESA Sentinel satellite missions, a long-term service sustainability of those services can be technically ensured until 2020. As such GMFS and ESA have strongly contributed to the geospatial institutional strengthening of the Sudanese Ministry of Agriculture and Irrigation.

In the light of HAUB & GILLIAMS (2010) basic requirements for a successful continuation of these services in Sudan after the project funding period are 1) financial continuity, which the FMoAI is partly taking charge of already but more essential is 2) reliable and efficient access to satellite data.

GMFS Sudan is a successful example for sustainable technology transfer. It demonstrates robustness of the processing technology, reliability of data acquisitions through sensor independency, accurateness of the products, timeliness of the output information, and autonomous processing in the hands of the users. As such GMFS routines have the potential to contribute to the decision making until at least 2020.

Copyrights

ENVISAT Data: © EUROPEAN SPACE AGENCY, Via Galileo Galilei, I-00044 Frascati, Italy (Fig. 1: MERIS FR, Figs. 8 – 9: ASAR IMS)

SPOT data: provided by European Space Agency (ESA) as Third Party Mission data in the frame of GMFS © CNES 2010, Distribution Astrium Services / Spot Image (Fig. 7b: SPOT 4 coverage).

GMFS3 data: Acknowledgement is made to the GMFS3 partnership, the Federal Ministry of Agriculture and Irrigation, Sudan and the European Space Agency (Figs. 2 – 7a, Figs. 9 – 13).

Sudan Land Cover Data: © SIFSIA Sudan, FAO Rome.

Acknowledgement

Special thanks shall be addressed to the Federal Ministry of Agriculture and Irrigation of Sudan which committed at a high political level over the entire project period and to its involved experts. Without this, the successful and encouraging cooperation would have been impossible. We further appreciate the very fruitful cooperation with the Regional Center for Mapping of Resources for Development, Nairobi, which was the Regional GMFS Coordinator in East Africa in stage 3.

We also thank SARMAP and particularly FRANCESCO HOLECZ for the great support, provision and customization of FOODSECURITYscape and PETER HAUB, dip systems, for the inspiring consultancy on the implementation of HALCON applications. The GMFS Consortium is composed of the following institutions: VITO – Belgium, EFTAS – Germany, SARMAP – Switzerland, University of Liège – Belgium, Conzortio ITA – Italy, EARS – Netherlands and GeoVille – Austria. GMFS was funded by ESA.

References

- BROCKMANN, J., HAUB, C. & KOMP, K., 2011: Global Monitoring for Food Security Stage 3 (GMFS 3). – PFG – Photogrammetrie, Fernerkundung Geoinformation **2011** (3): 194–195.
- BYDEKERKE, L., HOLECZ, F., HAUB, C., TYCHON, B., RAGNI, P., VIGNAROLI, P., HENDRICKX, G. & HEYLEN, C., 2007: The global Monitoring for Food Security project: using ENVISAT MERIS and ASAR for monitoring agriculture in Africa. ESA Living Planet Symposium 2007, Proceedings ESA SP-636, July, 2007: 5 p., Montreux, Switzerland. <https://earth.esa.int/envisatsymposium/proceedings/sessions/4S3/462609by.pdf> (07.05.2013).
- GOBRON, N., AUSSDAT, O., PINTY, B., TABERNER, M. & VERSTRAETE, M., 2004: Medium Resolution Imaging Spectrometer (MERIS) – Level 2 Land Surface Products, JRC Publication No. EUR 21387 EN, Ispra, Italy.
- GMFS – GLOBAL MONITORING FOR FOOD SECURITY (2013a): Services Prospectus. – http://www.gmfs.info/uk/publications/gmfs3_docs/GMFS3_S03_v3.1.pdf (13.7.2013).
- GMFS – GLOBAL MONITORING FOR FOOD SECURITY (2013b): Services Operation Reports AM SDN. http://www.gmfs.info/uk/publications/gmfs3_docs/GMFS3_S06_ASO_SDN_v2.1.pdf (5.5.2013).
- GMFS – GLOBAL MONITORING FOR FOOD SECURITY (2013c): Services Utility Reports ASO & AM SDN. – http://www.gmfs.info/uk/publications/gmfs3_docs/GMFS3_U07_ASO_SDN_v2.1.pdf (5.5.2013).
- GMFS – GLOBAL MONITORING FOR FOOD SECURITY (2013d): Services Utility Reports AM SDN. – http://www.gmfs.info/uk/publications/gmfs3_docs/GMFS3_U07_AM_SDN_v2.1.pdf (5.5.2013).
- GMFS – GLOBAL MONITORING FOR FOOD SECURITY (2013e): Services Technical specifications. – http://www.gmfs.info/uk/publications/gmfs3_docs/GMFS3_S05_v3.2.pdf (5.5.2013).
- GMFS – GLOBAL MONITORING FOR FOOD SECURITY (2013f): Services Validation Reports AM SDN. – http://www.gmfs.info/uk/publications/gmfs3_docs/GMFS3_C06_AM_SDN_v2.3.pdf (5.5.2013).
- HAUB, C., IJAIMI, A.A., NABEEL, A.M., ELSHEIKH EL-BASHIR, H., KHAMALA, E., BYDEKERKE, L., HOLECZ, F., TYCHON, B., RAGNI, P., VIGNAROLI, P., HENDRICKX, G. & HEYLEN, C., 2008: Crop mapping services for the Sudanese Government in frame of the ESA Global Service Element “Global Monitoring for Food Security”. – PFG – Photogrammetrie, Fernerkundung, Geoinformation **2008** (5): 409–419.
- HAUB, C. & GILLIAMS, S., 2010: GMFS service integration and know how transfer to Africa. – ESA Living Planet Symposium 2010, session “GMES – Global Monitoring for Environment and Security – for Land Applications”: 5 p., Bergen, Norway.
- ISMAIL, E., 2013: Food Security Monitoring Using Space Technologies in Sudan. – International Workshop on Integrated Use of Space Technologies for Food and Water Security, Islamabad, Pakistan. – <http://www.suparco.gov.pk/pages/un-workshop.asp> (5.5.2013).
- KHOJALI, N. (2012): Using remote sensing and GIS technology to monitor the agricultural production. – United Nations Workshop on Space Technology Applications for Socio-Economic Benefits, Santiago de Chile, Chile. – <http://www.spaceworkshop-chile2012.cl/en/> (5.5.2013).
- KOMP, K.-U. & 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 the Photo-

- grammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences **XXXIX** (B8): 265–270.
- SCHÖLKOPF, B. & SMOLA, A.J., 1999: Learning with Kernels. – MIT Press, London, UK.
- SHAWE-TAYLOR, J. & CRISTIANINI, N., 2004: Kernel Methods for Pattern Analysis. – Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- SIFSIA (2013): Sudan Land Cover Mapping. – http://www.fao.org/sudanfoodsecurity/sifsia-news/detail/en/?dyna_fef%5Buid%5D=52733 (5.5.2013).

Address of the Authors

CARSTEN HAUB, LUCA KLEINWILLINGHÖFER, JÖRN BROCKMANN & KLAUS-ULRICH KOMP, EFTAS Fernerkundung Technologietransfer GmbH, Oststraße 2-18, D-48145 Münster, Tel.: +49-251-13307-0, Fax: +49-251-13307-33, e-mail: {carsten.haub}{luca.kleinwillinghoefer}{joern.brockmann}{klaus.komp}@eftas.com

SVEN GILLIAMS, Flemish Institute for Technological Research - VITO NV, Boeretang 200, B-2400 Mol, Belgium, Tel.: +32-14335511, Fax: +32-14335599, e-mail: sven.gilliams@vito.be

Manuskript eingereicht: Mai 2013

Angenommen: Juli 2013



Surveying European Landscape Dynamics

CARSTEN HAUB, KERSTIN QUILTZ, DIRK LINDEMANN, Münster & ELLI LESKINEN, Kuopio, Finland

Keywords: land use, land cover, landscape monitoring, area statistics, European area frame survey, LUCAS

Summary: Observing and monitoring of European landscape dynamics has moved a big step forward. Just recently preliminary results from a 2012 field survey on land cover and land use within the framework of LUCAS have been published by Eurostat covering all 27 European Union (EU) member states. Eurostat is the statistical office of the EU and responsible for providing precise statistics at EU scale. After more than a decade of development, Eurostat has achieved a consolidated approach through the “Land Use/Cover Area frame statistical Survey – LUCAS”. It focusses on the current status, and – in combination with the previous LUCAS survey in 2009 – became an instrument to extract land use and land cover change dynamics in Europe with statistical precision for the first time. LUCAS is a stratified area frame survey on the basis of a regular point grid covering the whole European Union and has become an operational Eurostat standard to provide geostatistic information.

It was initiated as a pilot in 2000 and evolved since then through various test surveys in different European member states and by a number of scientific studies. Since 2009 it is running operationally and was executed in 2012 covering for the first time all EU27 member states.

Next to the methodical summary this paper aims to report about the successful implementation of the official estimation framework for land use and land cover data in Europe and the availability of such a tremendous data source. Until recently this was not available at the given level of detail and precision.

Area frame survey techniques and other means of landscape monitoring had been discussed since decades (BENEDETTI et al. 2010). The evolution of and decisions regarding LUCAS have been documented by various scientific papers. The reader is now invited to follow the references to the freely accessible documents including the technical specification.

Zusammenfassung: *Kartierung der Landschaftsdynamik Europas.* Die Erfassung und Überwachung dynamischer für die europäische Landschaft bedeutender Prozesse ist einen wichtigen Schritt vorangekommen. Erst kürzlich wurden vorläufige Ergebnisse einer umfassenden Feldkartierung in 2012 zur aktuellen Entwicklung europäischer Landnutzung und Landbedeckung in allen 27 EU-Mitgliedsstaaten von Eurostat im Rahmen von LUCAS veröffentlicht. Eurostat ist die Statistikbehörde der Europäischen Union und verantwortlich für die Bereitstellung von statistischen Daten auf europäischer Ebene. Nach einer mehr als 10-jährigen Entwicklung hat Eurostat mit der Kartierung “Land Use/Cover Area frame statistical Survey – LUCAS” erstmalig alle Staaten der EU anhand dieser konsolidierten Methodik erfasst. Der Schwerpunkt der neuen Kartierung liegt auf der Erfassung des aktuellen Zustands. In Kombination mit der vorangegangenen Kartierung von 2009 ist zum ersten Mal ein Instrument entstanden, mit dem Veränderungsdynamiken der Landnutzung und Landbedeckung in Europa einheitlich und detailliert extrahiert werden können. LUCAS ist eine stratifizierte Flächenstichprobe auf der Basis eines regelmäßigen Punktrasters, das die gesamte Europäische Union abdeckt. Sie ist zu einem operationellen Eurostat-Standard geworden, um geostatistische Informationen bereitzustellen.

Die LUCAS-Erfassung wurde im Jahr 2000 als Pilotprojekt eingeführt und im Rahmen verschiedener Testkartierungen und Studien schrittweise entwickelt und konsolidiert. Seit 2009 läuft LUCAS als operationelles Projekt und wurde 2012 zum ersten Mal für alle 27 Mitgliedstaaten der EU durchgeführt.

Dieser Artikel soll neben einer methodischen Zusammenfassung die erfolgreiche Implementierung der Erfassung von Landbedeckungs- und Landnutzungsdaten in Europa sowie deren Verfügbarkeit als umfangreiche Datenquelle herausstellen. Bis vor kurzem waren diese Daten auf dem

This paper provides a summary of the current methodical status, reflects the outcomes of the LUCAS 2012 survey in selected countries, and furthermore recommends investigating the free available LUCAS database which can be a tremendous basis for future research.

jetzigen Stand bezüglich Details und Präzision nicht verfügbar.

Techniken zu Flächenstichproben und zu anderen Verfahren für das Landschaftsmonitoring werden seit Jahrzehnten diskutiert (BENEDETTI et al. 2010). Die Entwicklung von und Entscheidungen betreffend LUCAS wurden in verschiedenen wissenschaftlichen Veröffentlichungen dokumentiert. Diese frei verfügbaren Veröffentlichungen und die technischen Spezifikationen können interessierte Leser über die angegebenen Referenzen finden.

Der vorliegende Beitrag gibt einen Überblick über den aktuellen methodischen Status, reflektiert die Ergebnisse der LUCAS-Kartierung 2012 in ausgewählten Ländern und soll anregen, den frei verfügbare LUCAS Datenbestand, der eine wichtige Basis zukünftiger Untersuchungen sein kann, zu erkunden.

1 Introduction

The statistical magazine of European statistics SIGMA, published by Eurostat explains: "The Land use/cover area frame survey (LUCAS) was initially developed to deliver, on a yearly basis, European crop estimates for the European Commission. With time, the survey has become essential in providing policy-makers and statisticians alike with increasing amounts of data on different forms of land use in Europe and proved to be a useful tool in the area of environmental monitoring." LUCAS is developed and executed by Eurostat, the statistical office of the EU representing the European Commission (EC). Its task is to provide high quality statistics at European level (EUROPEAN COMMISSION EUROSTAT 2013).

Today, the principle LUCAS methodology is consolidated and implies a fully harmonized procedure. The georeferenced area frame sampling survey is based on a stratified point grid and provides precise in-situ information on landscape, biodiversity, selected agro-environmental parameters – as well as land cover, land use and landscape dynamics related through its changes.

Approaches to area estimates in various applications, including and excluding remote sensing, have been widely discussed during the past decades. The most recent works are from Gallego (GEOSS 2008) and BENEDETTI (2010). In general, various attempts had been

executed on a European scale to extract area estimates by means of remote sensing. CZAPLEWSKI (1992) has explored already the bias of purely remote sensing based estimators. Recently GALLEGO et al. (2010) discussed the technical limitations of remote sensing in view of the statistical requirements and con-

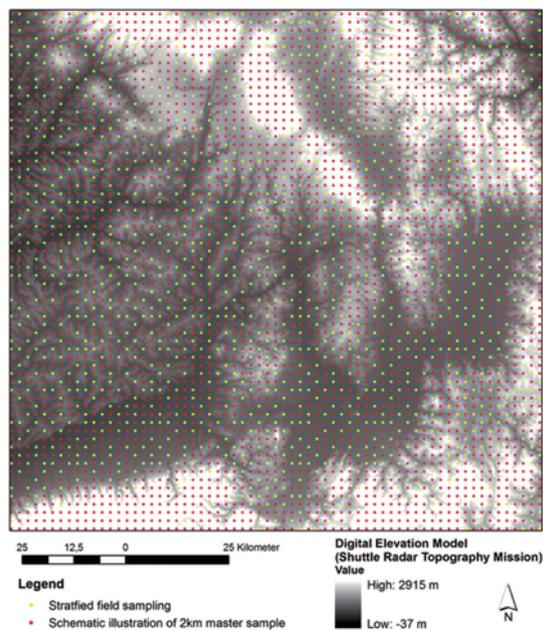


Fig. 1: LUCAS two stage sampling design, yellow: stratified field sample, red: schematic illustration of a 2 km grid as a master sample, background image: digital elevation model by Shuttle Radar Topography Mission © Nasa.

cluded that the omission and commission errors of remote sensing products must be significantly lower than the expected statistical coefficient of variances. As such remote sensing approaches for area estimation in a European context proved to be insufficient and are the main reason for implementing the field survey based area frame approach, which has been used in Europe in a number of countries on a national level, e.g. in France, Italy and Bulgaria.

In the following, the LUCAS strategy will be explained. The recent sampling is a two-phase sampling approach. In the first phase the master sample consists of a regular grid of points spaced 2 km into each cardinal direction and covering all EU member states with approximately one million points. Each point was photo-interpreted and assigned to one out of 7 pre-defined land cover strata. From this stratified master sample a sub-sample (“field sample”) is extracted for each field survey campaign. See a schematic illustration of the two stage sampling in Fig. 1 – the original master sampling is not publically available.

The early LUCAS approaches are described by DELINCÉ (2001) and the EUROPEAN COMMISSION EUROSTAT (2003). The introduction of a new sampling design and improved instructions are explained by JACQUES & GALLEGRO (2005) as well as by MARTINO & FRITZ (2008).

Various test surveys in different European member states (2001/2002, 2003, 2005/2006, 2007, 2008) and a number of scientific studies (2002, 2005, 2006–2008) were carried out. The survey started on an operational basis with the campaigns in 2009 at the EU23 level. The last year’s campaign in 2012 covered all 27 EU member states for the first time, representing an area of about 4.3 Mio km².

This is a result of 13 years of close inter-institutional collaboration between Eurostat, the EC Directorates General (DG) for Agriculture, the DG for Environment, the EC Joint Research Centre (JRC), the European Environment Agency (EEA), the National Statistics Authorities of the member states, and numerous research institutions as well as private companies. According to the EUROPEAN COMMISSION EUROSTAT (2010) they achieved all together:

- a high level of harmonization and standardization of the data collection,
- a consolidated standard questionnaire and nomenclature for the data collection,
- a very high completeness of data and meta-data,
- a powerful tool for the validation at the level of data providers,
- transparent documentation of the data validation system, including,
 - different actors/levels of control,
 - various training steps,
 - continued monitoring of the work,
 - independent data quality checks,
 - full traceability of corrections and enhancement procedures,
- a combination with a good ability to react quickly and flexibly to specific user demands for tailor-made data extractions.

The results of LUCAS form the basis of spatial and territorial analyses and are increasingly crucial for policy planning in many respects. They are also used for nature protection, forest and water management, urban and transport planning, agricultural policy, natural hazards prevention and mitigation, soil protection & mapping, monitoring climate change and biodiversity (EUROPEAN COMMISSION EUROSTAT 2013).

Next to Eurostat the most prominent users for LUCAS data are JRC, GMES / Copernicus, EEA and CORINE Land Cover. The LUCAS 2012 survey is co-financed by the following Directorates-General of the European Commission: DG Agriculture and Rural Development, DG Enterprise and Industry, DG JRC, and DG Environment.

2 LUCAS Approach

The main LUCAS principle is the detection of land use and land cover as separate parameters by means of in-situ field observations. In this sense land cover is understood as the physical coverage of the Earth’s surface and land use as the socio-economic function of the land (EUROPEAN COMMISSION EUROSTAT 2012a). In LUCAS, land cover data is discriminated in 69 classes and land use data in 33 classes. The data is observed by visiting each point and a transect line, which originates at the LUCAS

sample point and extends 250 m towards the east. (Fig. 2).

Along these geographically defined and statistically sampled transect lines all changes in land cover and the occurrence of linear elements are recorded – with the aim to monitor and to compare the heterogeneity of European landscapes.

Furthermore, each LUCAS sample point and its transect are documented by a consistent set of digital landscape and transect photos. The landscape photos are taken at the point in each cardinal direction (north, east, south, west, Fig. 3) (EUROPEAN COMMISSION EUROSTAT 2012a and 2012b).

In addition to these obligatory survey components the multi-purpose concept of LUCAS allows the addition of special environmental

parameters into the monitoring, such as the soil sample survey in LUCAS 2009 (see section 3 below).

All surveyors are bound to technical instructions defined by Eurostat to ensure the data comparability of the observed features. For storage and transmission all data, landscape photos and recorded GPS tracks have to be entered into a specially designed Data Management software Tool (DMT) (see EUROPEAN COMMISSION EUROSTAT 2012a). This is mandatory for any LUCAS data processing and ensures an unbiased and a safe storage and transmission of the data. This DMT is a closed system which logs any processing step and allows full supervision of eventual non sampling errors. It is also used as a primary base for quality control at each administrative level.



Fig. 2: Schematic illustration of LUCAS point and transect in Bulgaria. Landscape photo © European Union, source: LUCAS 2012.



Fig. 3: Schematic illustration of LUCAS point and cardinal directions of landscape photos in Bulgaria. Landscape photo © European Union, source: LUCAS 2012.

3 Recent Outcomes

The most recent outcome is the consolidated LUCAS approach as described in section 2. This has been achieved through various test surveys and scientific studies, as described below.

The surveys which have been carried out between 2001 and 2007 demonstrated the general feasibility of the LUCAS procedure. In parallel, a number of scientific studies tried to explore the possibilities of extracting parts of the LUCAS observables by means of Remote Sensing (RS) or by extracting those from other data sources such as national statistics. The latter turned out to be incompatible in terms of timing and nomenclature. The approach of employing remote sensing proved to be not as effective as the field surveys. Despite the outcomes and in addition to the general limitations of remote sensing based estimations (see section 1 above) the feasibility of exploring synergies between LUCAS requirements and remote sensing means had been investigated by Eurostat and JRC studies (GOSEPATH et al. 2002, HAUB et al. 2005). It was clearly identified that neither digital orthophotos with accuracies in the range of today's very high resolution satellite data (< 0.5 m ground resolution) nor sensors with coarser resolutions (10 m – 20 m) can contribute any information

of added value to the given LUCAS strategy. The discrimination between land use and land cover would require unacceptable changes of the concept such as a simplified nomenclature, in order to match with the information that can be extracted from remote sensing data. In the LUCAS application, costs and accuracy of remote sensing approaches do not lead to a more economical solution. The required statistical precision cannot be provided sufficiently by means of remote sensing, but are most efficiently met by in-situ surveys.

Further studies have been carried out to assess the multiple use of LUCAS field survey-data. As one of the outcomes of the prospective study 20 EU legislations were identified to which LUCAS can contribute relevant reporting or monitoring variables. A total of 121 parameters were found which could have an impact on the implementation of the legislations or would assist to fulfil reporting duties (HAUB et al. 2007). In particular the EUROPEAN COMMISSION (2007) identified the following strengths of LUCAS:

- high thematic precision,
- high representativeness,
- harmonized survey approach,
- accurate change detection,
- flexible survey structure,
- fast execution (up-to-date information).

The successful realisation of the LUCAS 2009 survey finally proved that the entire LUCAS procedure has become fully operational. The first results of the 2009 survey were published by Eurostat nine months after the end of the survey via the Eurostat website (EUROPEAN COMMISSION EUROSTAT 2013), as well as results on the following landscape indicators:

- land cover,
- land use,
- landscape indicators,
 - landscape richness,
 - landscape structure,
 - landscape dissection,
 - landscape Shannon diversity Index,
 - landscape Shannon evenness Index,

at EU23 level have been published by PALMIERI et al. (2011).

3.1 Overall Status of LUCAS

The 2012 survey campaign is currently the main achievement in the LUCAS framework. It was the largest LUCAS campaign so far and includes all 27 EU member states. The total point sample consists of 270,276 points, of which most were visited in the LUCAS 2009 survey.

This draws a precise picture of the land use changes during the past three years.

Additionally, the LUCAS 2012 results contribute directly to different Copernicus services, previously known as Global Monitoring for Environment and Security (GMES). In the framework of the CORINE land cover database update – which is as well linked to 2012 as a reference period – LUCAS will contribute the recent and harmonized ground truthing.

The field campaign was completed in November 2012, the data flow and the data correction ended in March 2013 and preliminary results were released on the Eurostat website in May 2013.

3.2 LUCAS Soil Component

Besides the land use/cover survey campaign, the LUCAS soil component which has been incorporated in the LUCAS 2009 survey in EU23 has in 2012 been completed for the remaining countries.

It is aimed to improve the quality of soil modelling and monitoring in Europe. This exercise is jointly organised by Eurostat, DG Environment, and DG JRC. The outcome of the soil component will be used for a number of purposes, including updating European soil maps, validating soil models, and measuring the quantity of organic carbon in soil (EUROPEAN COMMISSION EUROSTAT 2012a).

During the survey in 2009 soil samples have been collected in EU23 from more than 20,000 LUCAS point locations. These samples, weighing around 11 tonnes in total, are stored at the European Soil Archive Facility at the JRC in Ispra, Italy. The samples have been analysed for the parameters texture, organic matter content, pH, and heavy metals, in order to assess the state of the soil across Europe (EUROPEAN COMMISSION JRC 2012). The

remaining soil samples were collected in 2012 in Romania and Bulgaria at 2,091 additional locations, and on Malta and Cyprus (19 and 90 samples respectively) in 2009/2010 in cooperation between the JRC and the Maltese and the Cyprian soil survey organisations. To conclude, it was the first widespread soil survey of

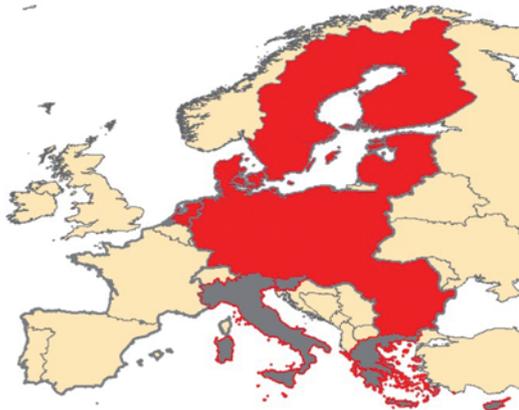


Fig. 4: Overview of LUCAS 2012 Lot 3 and 4 (red) and the technical cooperation with Lot 5 aiming at harmonized technical approaches (grey).

the EU (EUROPEAN COMMISSION JRC 2012) including all EU member states. First results of this database and derived information on the regional variability of cropland topsoil properties were published by TÓTH et al. (2013).

3.3 Outcomes of LUCAS 2012 in selected Countries

The following section provides an insight to the LUCAS 2012 survey in selected countries. This closer look is given to the survey in northern, central and south eastern EU-countries, which were grouped in 2012 into Lot 3 and Lot 4 (Fig. 4).

Those countries were covered with 136,621 sample points and observed by a partnership of 10 institutions under the leadership of EFTAS: eoVision (AT), Ministry of Agriculture and Food (BG), GEODIS Brno (CZ), Vides Eksperti (Baltics), Geodézia (HU), GEODIS Romania (RO), IBS GEO-CAD (PL), VUPOP (SK), FORAN (SE) and EFTAS (DE, DK, FI). For both lots EFTAS was in charge of the tech-

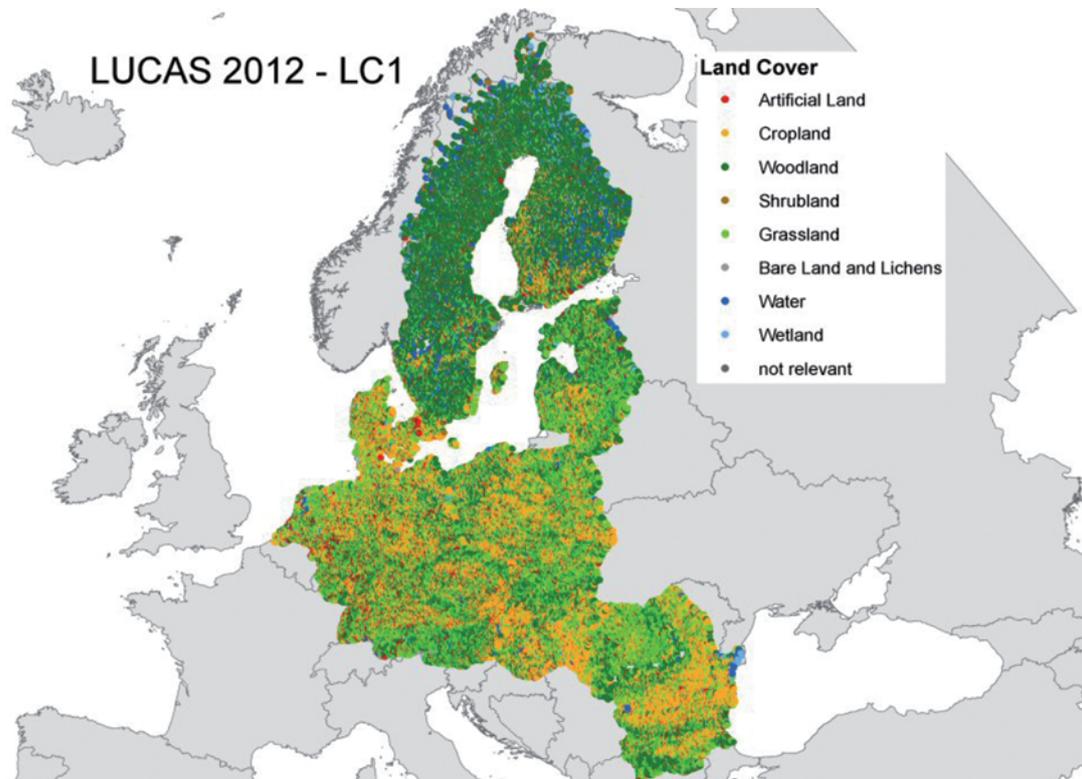


Fig. 5: LUCAS 2012 – Main Land Cover Lot 3 and 4 © Eurostat.

nical coordination, quality control, reporting and the contractual as well as the financial management with Eurostat and the subcontractors.

The Lots 3 and 4 of the LUCAS survey 2012 were successfully carried out between April and November 2012. In order to achieve this goal, 281 surveyors worked in the field with an average workload of approximately 490 points per working package. The median observation distance of 2 m documents a high accessibility of the sample points, varying from 1 to 3 metres in the different countries. In the selected 14 countries 85% of the points were reached closer than 100 m, compared to the predefined positions. Only 6% were above 100 m. For additional 9% of points photo interpretation in the field was necessary due to accessibility limitations. This was done by means of recent orthophoto maps which were available for each point as part of an individual field survey document. The maps in Figs. 5 and 6 display the distribution of the main observed land cover and land use classes throughout the 14 countries.

All surveyed points underwent different quality checks, at first by the regional office in each country and then by the central office at EFTAS. There, the EFTAS team verified each dataset before the final delivery. This gradual control procedure guaranteed a high consistency of the datasets which is an utmost requirement for statistical usability. In order to ensure that Eurostat finally achieves precise estimates it is part of the technical obligations and part of the contract to deliver 99% of compliant data. As such all data had been channeled through an interactive and visual quality control process by means of the DMT consisting of:

- automatic plausibility checks during the data entry of the surveyors.
- verification of the documentation of the survey condition. Those are comprehensively recorded with standardized metadata.
- verification of standardized landscape photos and track logs as important measure to trace non-sampling errors.
- clarification and correction of inconsistencies.

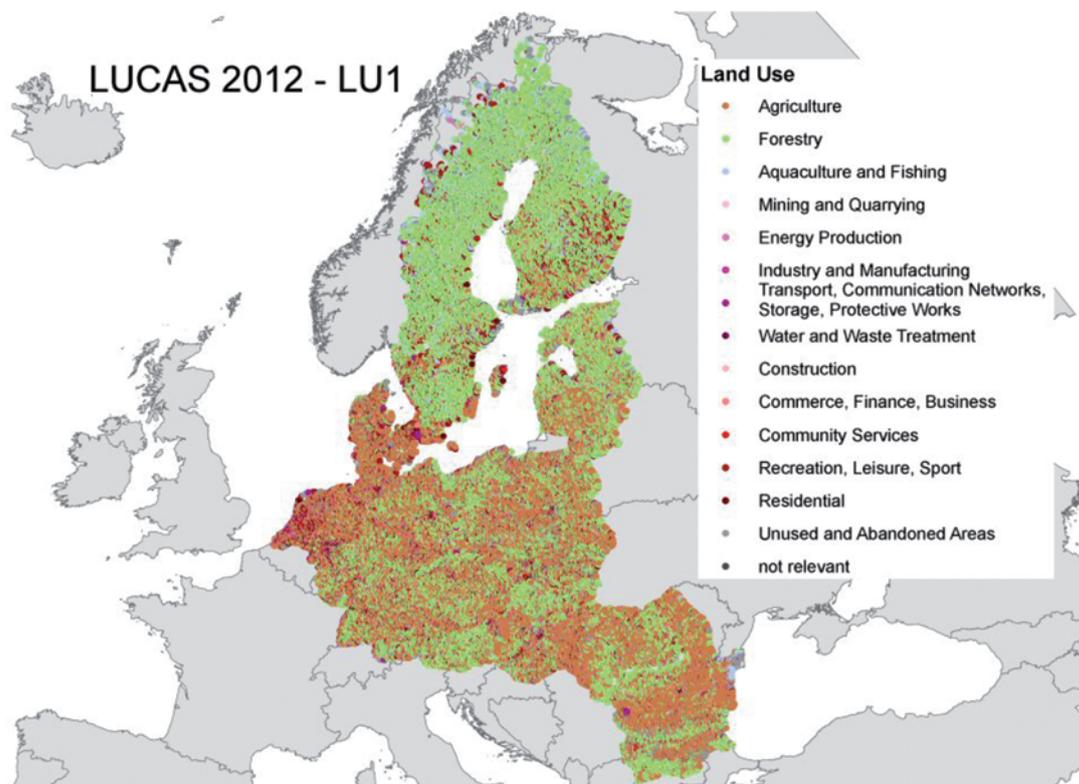


Fig. 6: LUCAS 2012 – Main Land Use Lot 3 and 4 © Eurostat.

The 2012 survey campaign was successfully executed and delivered in time with a very low internal rejection rate in the above selected countries of 0.32%.

4 Conclusions

This paper is a report of a practical application with a potentially high relevance for researchers. It introduces the LUCAS dataset and methodology. Although the technology is not new, such a detailed and complete land cover and land use database has never been available at this scale before.

The article provides a summary of the LUCAS 2012 outcomes in 14 European member states, which jointly built the dataset collected under the leadership of EFTAS:

- LUCAS samples: 136,621,
- area: about 2.3 Mio km²,
- population: more than 210 Mio.,
- survey period: less than 8 months,
- internal rejection rate: 0.32%,

The reasons to opt for an in-situ survey and against remote sensing were discussed recalling the goal of a precise area estimation framework under European conditions at a European scale. Despite of ideas to extract the geostatistic information required by LUCAS from other sources such as national statistics or remote sensing there is currently no other precise, reliable and more cost efficient approach than LUCAS. Even if all required information defined by the LUCAS survey could be extracted from other sources, still huge costs would exist for achieving the required low omission and commission errors and for harmonizing the sampling time and the nomenclature.

Given that stakeholders tend to mix both concepts frequently, the following comparison shall illustrate that there are currently no alternatives to LUCAS in Europe: even if all required variables could be extracted from remote sensing data, the simple price per km² for a recent very high resolution (VHR) satellite image (around 25 €/km²) would be 10 times higher than the costs of LUCAS 2012 for the same area. Whereas it is questionable that any VHR satellite constellation would be effective enough to cover the whole of Europe

within less than the nine month survey period without clouds – not to count additional processing costs for achieving less than 1% omission and commission errors.

These facts are illustrating the strength of the European LUCAS survey framework. It is a consolidated approach which provides precise information on land use and land cover dynamics in a reliable and cost effective way. Beyond the generation of area estimates it allows the extraction of agro-environmental indicators at a continental scale.

In addition to the outcomes of the numerous pilot surveys and scientific studies executed by Eurostat and JRC in the past 13 years, the 2012 survey proved that it is unique in the world and has currently no alternative in Europe. Its strengths are:

- level of detail,
- harmonized technical approach over 27 EU member states,
- nomenclature standards, common field observations instructions, the mandatory data entry tool,
- the requested common quality assurance and quality control system with a very low level of maximum 1% of inconsistencies,
- execution within one particular vegetation period,
- feasibility at the given cost ranges,

The whole survey approach meets the growing demand for precise agro-environmental land use and land cover dynamics information. It is also the basis for currently ongoing projects to explore the feasibility of a similar approach for African authorities (GMFS 2012).

Copyrights

Any results of LUCAS or rights thereon, including copyright and other intellectual or industrial property rights obtained in performance of the LUCAS survey, are owned solely by the European Union represented by Eurostat on behalf of the European Commission.

In addition to this, any industrial or intellectual property right which existed prior to the LUCAS project is owned by the responsible field work contractors.

Fig.1: Background image SRTM © NASA.

Fig. 2: Landscape pictures are copyright by the European Union represented by Eurostat on behalf of the European Commission.

The given information and stated opinions expressed in this paper are those of the EFTAS only and do not represent the European Commission's official position.

Acknowledgement

First of all we would like to thank the LUCAS team at Eurostat and JRC for the cooperation and guidance.

Special thanks shall be given to the EFTAS LUCAS 2012 partnership and all our involved surveyors and colleagues, represented by GERALD MANSBERGER (eoVision), YAVOR YORDANOV (Ministry of Agriculture and Food, Bulgaria), MILOŠ SEDLÁČEK (GEODIS), VITA TURUKA (Vides Eksperti), HUNG TRAN QUOC (Geodézia), MICHAŁ WYCZALEK and WALDEMAR SOWINSKI (IBS GEO-CAD), CIPRIAN PRICOP (GEODIS Romania), VLADIMIR HUTAR (VUPOP) and TOBIAS JONMEISTER (FORAN). We also thank Agriconsulting and Kityry for the great cooperation.

References

- BENEDETTI, R., BEE, M., ESPA, G. & PIERSIMONI, F., 2010: *Agricultural Survey Methods*. – 1st ed., Wiley, West Sussex, UK.
- CZAPLEWSKI, R.L., 1992: Misclassification bias in areal estimates. – *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* **58** (2): 189–192.
- DELINCÉ, J., 2001: A European approach to area frame survey. – *Conference on Agricultural and Environmental Statistical Applications in Rome (CAESAR)* **2001** (2): 463–472, <http://www.ec-gis.org/> & <http://mars.jrc.ec.europa.eu/mars/Bulletins-Publications/A-European-Approach-to-Area-Frame-Surveys> (12.7.2013).
- EUROPEAN COMMISSION EUROSTAT, 2003: *The LUCAS survey – European statisticians monitor territory*. – 26 p., Working Papers and Studies, theme 5 Agriculture and Fisheries. ISSN 1725-0714, KS-AZ-03-001-EN-N, Office for official Publications of the European Communities.
- EUROPEAN COMMISSION, 2007: *Report from the Commission to the Council and the European Parliament on implementation of Decision No 1445/2000/EC on the application of aerial-survey and remote-sensing techniques to the agricultural statistics*. – 13 p., <http://www.ipex.eu/IPEXL-WEB/dossier/dossier.do?code=COM&year=2007&number=0552> (7.5.2013).
- EUROPEAN COMMISSION EUROSTAT, 2010: *Peer Review LUCAS*. – 11 p., LUCAS reference Metadata in Euro SDMX, Annex 3, Eurostat. http://epp.eurostat.ec.europa.eu/cache/ITY_SDDS/en/lan_esms.htm (12.7.2013).
- EUROPEAN COMMISSION EUROSTAT, 2012a: *LUCAS 2012 Technical reference document C-1: General implementation, Land Cover and Use, Water management, Soil, Transect and Photos*. – 66 p., European Commission, <http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/lucas/methodology> (12.7.2013).
- EUROPEAN COMMISSION EUROSTAT, 2012b: *LUCAS 2012 Technical reference document C-3: Land Use and Land Cover nomenclature*. – 83 p., European Commission, <http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/lucas/methodology> (12.7.2013).
- EUROPEAN COMMISSION EUROSTAT, 2013: *European Commission – Eurostat – Your key to European statistics*. – <http://ec.europa.eu/eurostat> (7.5.2013).
- EUROPEAN COMMISSION JRC, 2012: *European Soil Portal, Soil projects – LUCAS*. – <http://eusoiils.jrc.ec.europa.eu/projects/lucas/> (7.5.2013).
- EUROPEAN COMMISSION EUROSTAT, 2013: *“LUCAS – a multi-purpose land use survey – Statistics Explained*. – http://epp.eurostat.ec.europa.eu/statistics_explained/index.php/lucas_%e2%80%94_a_multi-purpose_land_use_survey (7.5.2013).
- GALLEGO, F.J., 2004: Remote sensing and land cover area estimation. – *International Journal of Remote Sensing* **25**: 3019–3047.
- GALLEGO, F.J., CARFAGNA, E. & BARUTH, B., 2010: Accuracy, objectivity and efficiency of remote sensing for agricultural statistics. – BENEDETTI, R., BEE, M., ESPA, G. & PIERSIMONI, F. (eds.): *Agricultural Survey Methods*: 194–211.
- GEOSS, 2008: *Best practices for crop area estimates with Remote Sensing*. – GRSSS Workshop, Ispra, Italy, http://www.earthobservations.org/documents/cop/ag_gams/GEOSS%20best%20practices%20area%20estimation%20final.pdf (7.5.2013).
- GMFS, 2012: *Global Monitoring for Food Security – Services Prospectus*. – European Space Agency Earth Watch GMES Services Element, ESA ESRIN/Contract No. 4200019402/05/I-LG: 33p., www.gmfs.info (12.7.2013).
- GOSEPATH, A., SARADETH, S. & OBERSTADLER, R., 2002: *Role of photo interpretation in the LUCAS survey*. – Interim report of Contract No. 200161100003: 35 p., Eurostat.

- HAUB, C., ALMODOVAR, J.R. & SOHLMAN, M., 2005: Estimation of land cover change by photo-interpretation on the LUCAS Area Frame. – 66 p., Final project report of the Contract N° 22640-2004-12 FISC ISP DE, Joint Research Centre, Ispra, Italy.
- HAUB, C., GOBIN, A., EIDEN, G., BROCKMANN, J., BUCK, O., CROI, W. & MÜTERTHIES, A., 2007: Prospective Study on the potential use of LUCAS. – Final project report of the Contract N° 61103.2005.001-2006.157: 52 p., Eurostat.
- JACQUES, P. & GALLEGRO, F.J., 2005: The LUCAS 2006 project – A new methodology. – Workshop on Integrating Agriculture and Environment: CAP Driven Land Use Scenarios: 26–27, Belgrate, <http://mars.jrc.ec.europa.eu/mars/bulletins-publications/the-lucas-2006-project-A-new-methodology> (12.7.2013).
- MARTINO, L. & FRITZ, M., 2008: New insight into land cover and land use in Europe. – Eurostat – Statistics in focus, theme **33/2008**: 8 p., ISSN 1977-0316, KS-SF-08-033-EN-N, European Union.
- PALMIERI, A., DOMINICI, P., KASANKO, M. & MARTINO, L., 2011: Diversified landscape structure in the EU Member States. – Eurostat – Statistics in focus, theme 21/2011: 12 p., ISSN 1977-0316, KS-SF-11-021-EN-N, European Union.
- TÓTH, G., JONES, A. & MONTANARELLA, L. (2013): The LUCAS topsoil database and derived information on the regional variability of cropland topsoil properties in the European Union. – Environmental Monitoring and Assessment **185** (3): 17 p., ISSN 0167-6369.

Addresses of the Authors

CARSTEN HAUB, KERSTIN QUILITZ & DIRK LINDEMANN, EFTAS Fernerkundung Technologietransfer GmbH, Oststraße 2-18, D-48145 Münster, Tel.: +49-251-13307-0, Fax: +49-251-13307-33, e-mail: {carsten.haub}{kerstin.quilitz}{dirk.lindemann}@eftas.com

ELLI LESKINEN, EFTAS Fernerkundung Technologietransfer GmbH, Sannakkolamentie 1 a 42, FIN-70200 Kuopio, Finland, e-mail: elli.leskinen@eftas.com

Manuskript eingereicht: Mai 2013

Angenommen: Juli 2013



DEM Generation from High Resolution Satellite Imagery

KARSTEN JACOBSEN, Hannover

Keywords: digital elevation models, satellite imagery, image matching, accuracy

Summary: Digital height models (DHM) covering larger areas can be generated by means of optical or synthetic aperture radar (SAR) images taken from space. An overview of the sensors and the characteristics of generated height models is given. With very high resolution optical satellite stereo pairs a system accuracy of 1.0 ground sampling distance (GSD) standard deviation can be reached. Of course this is not the accuracy of a DEM, which is also influenced by interpolation and includes areas with limited contrast and vegetation, leading to lower quality. In addition, the difference between digital surface models (DSMs), describing the visible surface, and digital terrain models (DTMs), describing the bare ground, has to be respected. The same problem exists for SAR images used by either interferometric SAR (InSAR) or by radargrammetry if no InSAR configuration is available. It has to be ascertained whether existing regional or nearly worldwide DEMs can be used instead of especially produced elevation models. The SRTM DEM and ASTER GDEM are both available, free of charge via the Internet, but their resolution and accuracy are limited. Higher resolution DEMs, such as the SPOT DEM (also named Reference 3D) or Next-Map, are not free of charge and they do not cover the whole earth. This will also be the case for the TanDEM-X height model, which will be available in 2014. If more detailed DEMs are required, they can be determined by automatic image matching of very high resolution satellite imagery.

Zusammenfassung: Erzeugung von Höhenmodellen aus hochauflösten Satellitenbildern. Digitale Höhenmodelle, die eine größere Fläche erfassen, können mittels optischer oder Radar-Weltraumbilder erstellt werden. Es wird ein Überblick über die Sensoren und die Charakteristik der erstellten Höhenmodelle gegeben. Mit sehr hoch auflösenden optischen Satellitenbildstereopaaren kann eine Systemgenauigkeit von etwa 1,0 Bodenpixelgröße erreicht werden. Die Systemgenauigkeit ist nicht die Genauigkeit eines DHM, das durch Bereiche mit niedrigerem Kontrast, Interpolation und Vegetation beeinflusst sein kann. Zusätzlich sind die erzeugten digitalen Oberflächenmodelle nicht identisch mit einem DHM, das die Höhe des Erdbodens beschreibt. Das gleiche Problem existiert für die mittels Interferometrischem Radar oder Radargrammetrie erstellten Höhenmodelle. Bevor Höhenmodelle erstellt werden, sollte überprüft werden, ob nicht auch vorhandene weltweite oder regionale Höhenmodelle benutzt werden können. Nahezu weltweite Höhenmodelle wie das SRTM DHM und ASTER GDEM sind heute kostenlos verfügbar. Ihre Auflösung und Genauigkeit ist begrenzt. Verfügbare höher auflösende DHM wie Reference 3D oder NextMap sind nicht kostenlos. Dieses wird auch für das TanDEM-X Global DEM gelten, das in der Basisversion 2014 über ASTRIUM vertrieben wird. Werden detailliertere Höhenmodelle benötigt, können sie mittels sehr hoch auflösender optischer Stereobildpaare erstellt werden.

1 Introduction

Traditionally, height models have been based on aerial images. With the improved resolution of optical and radar satellites, space images provide a range of ground resolutions which overlap the resolution range of aerial images, so it is a question of economy and access to aerial imagery that dictates which

source should be used to generate a height model. Nearly worldwide height models, or at least those covering large areas, are generally based on data from space-borne platforms because of limited access to aerial imagery. For local areas as well, it is sometimes more economic to use space images instead of organizing a photo flight. Digital height models (DHM) can be generated with optical stereo

pairs or even tri-stereo models, with synthetic aperture radar (SAR) image pairs by interferometric SAR (InSAR) or by radargrammetry. Before DHMs meeting specified requirements are acquired, it should be checked if they are available free of charge. A DHM can be characterized by its accuracy, resolution and the vertical location of its points. Usually, digital surface models (DSM) with points located on the visible surface are initially generated. Only with L- and P-band radar can the vegetation be penetrated so as to directly produce DEMs with 'bare-ground' points with the exception of points coinciding with buildings. In all other cases, DEMs have to be generated by filtering and manual post processing. Morphological characteristics partially dictate the point spacing, i.e. the resolution of the DHM. Resolution is influenced by the roughness of the terrain, and in the case of data fusion, surface detail can be lost if the merged DHMs are not accurately registered in planimetry.

2 Accuracy Figures

Accuracy figures are related to data with normally distributed height discrepancies, usually computed in relation to reference height models with at least the same accuracy as the investigated DHM. Normally distributed discrepancies are based on a presupposed optimal fitting together of the DHMs, which implies the absence of shifts in X, Y and Z. Horizontal shifts between height models are common and they can be caused by orientation and datum problems. A check for such shifts is required before analysis of the accuracy of DHMs. The adjustment of the height model fitting is based on the height differences and the terrain inclination ($DX = Dh / \tan(\text{inclination } X)$, where DX is an unknown shift and Dh is the height difference to the reference DHM):

$$SZ = \sqrt{\frac{\sum (v - m)^2}{n - u}} \quad (1)$$

Here, SZ is the standard deviation of Z, v is the height discrepancy, m the mean, n the number of observations and u the number of unknowns. Also, the median absolute deviation (MAD) is given as

$$MAD = \text{median of } |v| \quad (2)$$

and the normalized median absolute deviation (NMAD) as

$$NMAD = MAD * 1.4815 \quad (3)$$

Moreover,

LE90 = linear error, 90% probability (threshold value); for a normal distribution $LE90 = SZ * 1.65$

LE95 = linear error, 95% probability (threshold value); for a normal distribution $LE95 = SZ * 1.96$

CE90 = circular error, 90% probability (threshold value); for a normal distribution and equal standard deviation values in X and Y, $CE90 = SX * 2.146$

In the case of normally distributed observations, SZ is identical to NMAD, both having a probability value of 68%. If the observations are not normally distributed, generally because of the presence of large discrepancies, SZ will be larger than NMAD because SZ is more influenced by large discrepancies. A normal distribution requires the same condition for all observations and this usually is not the case for the heights of a DHM. At first we have a dependency upon the terrain inclination, which can be appreciated, but in the case of matching optical images, we may also have different object contrast. Or, in the case of SAR, we may have problems with foreshortening, total reflection by water surfaces or poor back scatter in dry sand deserts. These different conditions can be included in an error map, but not all height models have such error maps. Thus, there can be shortcomings in the assumption of normally distributed height discrepancy values, especially if a DSM is compared with a DEM. Of course it is not correct to compare a DSM to a DEM; this causes asymmetric deformation of the frequency distribution. The influence of vegetation and buildings cannot be handled as a standard deviation. In such a case the investigation should be carried out within just the open bare ground areas, not including trees and buildings. However, open areas may also have individual trees or buildings, requiring a filtering for objects not belonging to the bare earth (PASSINI et al. 2002, DAY et al. 2013).

3 High and Very High Resolution Optical Satellites

Today, approximately 15 satellites with very high resolution (VHR) optical systems, of 1 m ground sampling distance (GSD) or better, provide imagery for civilian use. The theoretical imaging capacity per day for this whole group of optical satellites is approximately 20 times higher than for IKONOS and QuickBird together. Nevertheless, even with this many VHR optical satellites the goal of close to worldwide coverage with stereo models is unrealistic. Coverage of such an extensive geographic area is only feasible with lower resolution stereo satellites such as SPOT 5 HRS with 5 m GSD in flight direction, Cartosat-1

with 2.5 m GSD, Ziyuan 3 with 3.2 m GSD, or ASTER with 15 m GSD. Even so, several years of data acquisition from these sensors are required for near-global DEM coverage.

Height models should be based on stereo pairs with images taken at approximately the same time. This requires a fast and agile satellite rotation if the images are to be recorded within the same orbit, within approximately 1 minute. The matching of images having larger time differences invariably causes problems due to variations of object illumination and changes in shadows. QuickBird needs approximately 50 s for a rotation of 35°, so the stereo pair alone can be recorded within a single orbit covering a given local area of interest. The stereo imaging coverage per pass is

Tab. 1: Optical satellites able to generate stereo pairs from the same orbit by rotating the satellite. The values surrounded by brackets, e.g. (0.41), show the physical resolution while for legal reasons the finest resolution is restricted to 0.50 m.

Satellite	Launch	GSD pan (m)	GSD ms (m)	Swath in nadir (km)	Flying height (km)
IKONOS	1999	0.81	3.24	16.5	680
QuickBird	2001	0.62	2.48	16.5	450
Formosat-2	2004	2	8	24	888
Kompsat 2	2006	1	4	15	685
Cartosat-2	2007	1	-	10	635
WorldView-1	2007	0.5	-	17.6	496
GeoEye-1	2008	(0.41)	(1.65)	15.2	684
THEOS	2008	2	15	22	822
Cartosat-2A	2008	1	-	10	635
WorldView-2	2009	(0.46)	(1.84)	16.4	770
Cartosat-2B	2010	1	-	10	635
Pleiades 1B	2011/12	0.7	2.8	51.1	506
Kompsat-3	2012	0.7	2.8	15	685
SPOT-6	2012	2.0	8.0	60	694
planned					
Kompsat-3A	2013	0.7	2.8	15	685
GeoEye-2	2013	(0.34)	(1.36)	14.5	681
WorldView-3	2014	(0.31)	(1.24)	13.1	617
Cartosat-3	2014	0.33	-	21	600
DMC-3 (3 satellites)	2014	1	4	22.6	630
SPOT-7	2014	2.0	8.0	60	694

better for IKONOS and GeoEye-1, requiring only 28 s. It is even more favourable for Pleiades with their approximate 18 s for rotation to capture a stereo image pair, and it is currently optimal for WorldView, which requires approximately 10 s. The sensors with more rapid rotation can take additional images along with a stereo pair, or more than one stereo pair in the same orbit, thus making them more economical.

As shown in Tab. 1, a higher number of today's optical satellites can take stereo pairs from the same orbit. For precise georeferencing, ground control points (GCP) have to be used. The number of GCPs can be reduced for a block of images by block adjustment, but GCPs may not always be available.

Tab. 2 shows the specified accuracy of direct georeferencing, which employs only the recorded sensor orientation. Whereas direct georeferencing may prove satisfactory for a given stereo model application, especially

for WorldView-1, -2, GeoEye-1 and Pleiades 1B, for other satellites the sensor orientation warrants improvement by relative orientation before computation of a stereo model and a subsequent fit of this stereo model to a reference DHM such as the SRTM DEM. With this method, Euromap generates the EURO-MAPS 3D from Cartosat-1 stereo imagery to a location accuracy of $CE90 = 15$ m, corresponding to $SX = SY = 7$ m.

The choice of orientation model for a scene of space images is today dominated by bias corrected rational polynomial coefficients (RPC). The RPCs are delivered together with the images and usually have only to be corrected by shift values (bias correction). In some cases correction via a 2D affine transformation is required, but this is indicated by discrepancies at GCPs. With geometric reconstruction, the same accuracy is reached as with bias corrected RPC. Approximate models such as the 3D-affine transformation or

Tab. 2: Specified accuracy of direct sensor orientation.

Sensor	SX = SY	CE90
IKONOS	7 m	15 m
QuickBird	9 m	23 m
Orbview-3	12 m	25 m
WorldView-1	2 m	5 m
WorldView-2	2 m	5 m
GeoEye-1	2 m	5 m
Pleiades 1B	2 m	3 m
Cartosat-1 / with in-flight calibration	200 m / 30 m	(Euromap CE90 = 15 m)
KOMPSAT-2	37 m	80 m

Tab. 3: Accuracy of stereo scene orientation determined with independent check points.

	SX, SY	SZ	GSD	SX, SY	SZ
SPOT-3	8.4 m	4.1 m	10 m	0.8 GSD	0.4 GSD
MOMS	3.5 m	4.5 m	4.5 m	0.8 GSD	1.0 GSD
Cartosat-1	1.5 m	2.5 m	2.5 m	0.6 GSD	1.0 GSD
IKONOS	1.0 m	1.7 m	1 m	0.7 GSD	1.7 GSD
ASTER	10.8 m	14.6 m	15 m	0.7 GSD	1.0 GSD
GeoEye-1	0.3 m	0.5 m	0.5 m	0.6 GSD	1.0 GSD
WorldView-2	0.5 m	0.3 m	0.5 m	1.0 GSD	0.6 GSD

direct linear transformation (DLT) should be avoided, especially since they require more well distributed 3D GCPs and generally have limited accuracy in mountainous areas.

Tab. 3 demonstrates the object point accuracy of satellite stereo pairs based on geometric reconstruction and bias corrected RPCs. Irrespective of the GSD value, the standard deviations SX and SY are usually below 1.0 GSD, and in the range of 1.0 GSD for SZ. Of course, this is the system accuracy at well defined object points and not the anticipated accuracy of a DSM determined by automatic image matching. A DEM is influenced by areas with low contrast, vegetation, buildings and terrain roughness.

Fig. 1 shows a quality image, which indicates the range of correlation coefficient values obtained in an area-based least squares

matching adjustment. The figure highlights the uniformly high correlation coefficient values found in open areas, and the lower values in forests where the image matching is not as good. Failure for water bodies is also indicated. A threshold for the correlation coefficients of 0.6 would eliminate 8% of the matched points. This can be accepted because such areas can also be interpolated from the neighbourhood. Pixel-based matching, such as semi-global matching (SGM) (HIRSCHMÜLLER 2005), has no advantage in such an area, with its high percentage of forest. However, this is different in mountainous and build up areas (ALBEID et al. 2011), where pixel-based matching can more precisely determine edges and thus allow a point spacing of one or two GSD, as opposed to area-based matching

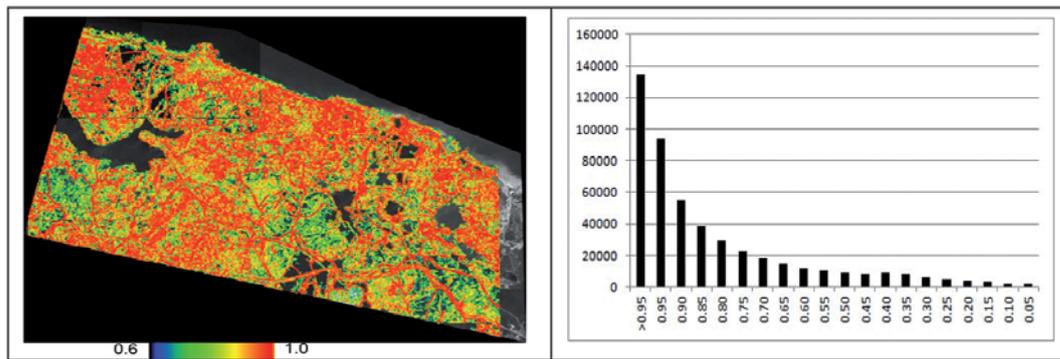


Fig. 1: Left: quality image of WorldView-2 image matching (size of correlation coefficient), Black Sea coast close to Istanbul, right: frequency distribution of correlation coefficients ~ 8% below the threshold of $r = 0.6$ – dominantly located in forested areas.

Tab. 4: Accuracy analysis of WorldView-2 DSM Istanbul, absolute accuracy and as function of the terrain inclination with the slope α .

	SZ	NMAD
WV-2 DSM against WV-2 DSM, open area	0.86 m $0.66 \text{ m} + 1.79 \text{ m} \cdot \tan\alpha$	0.69 m $0.50 \text{ m} + 1.29 \text{ m} \cdot \tan\alpha$
WV-2 DSM against reference DTM	3.65 m $3.25 \text{ m} + 5.58 \text{ m} \cdot \tan\alpha$	2.23 m $2.05 \text{ m} + 5.17 \text{ m} \cdot \tan\alpha$
WV2 DSM against reference DTM, open areas without quarries	2.21 m $1.85 \text{ m} + 3.93 \text{ m} \cdot \tan\alpha$	1.72 m $1.28 \text{ m} + 3.24 \text{ m} \cdot \tan\alpha$
WV-2 DSM against laser DSM	3.12 m $3.12 \text{ m} + 0.0 \text{ m} \cdot \tan\alpha$	1.40 m $1.40 \text{ m} + 0.0 \text{ m} \cdot \tan\alpha$
WV-2 DSM against laser DSM, open areas without quarries	1.05 m $0.83 \text{ m} + 2.28 \text{ m} \cdot \tan\alpha$	0.71 m $0.62 \text{ m} + 1.96 \text{ m} \cdot \tan\alpha$

where the minimum point spacing of the generated DHM is generally three GSD.

The area shown in Fig. 1 overlaps with an independent WorldView-2 stereo pair, which was recorded in the same orbit. The corresponding height model is based on different GCPs than the first DHM, allowing a comparison between both (Tab. 4). In addition, the DHM has been compared with a reference DEM from the Turkish survey administration. The presence of both vegetation and severe terrain height changes in quarries adversely influences the accuracy estimation, as also illustrated in the analysis restricted to open areas only, not influenced by quarries. In addition, a laser scanning DSM was used as reference surface model (Tab. 4). Because of datum problems all DHM have been shifted by adjustment to the same vertical and horizontal datum.

As usual, the influence of the terrain inclination is obvious in this partially mountainous area. The Koppe formula $SZ = A + B \cdot \tan(\text{terrain slope})$ generally fits well with the accuracy determined for different terrain slope classes. In the open areas, corresponding for flat terrain, the two independent WorldView-2 DSMs agree to a standard deviation for a single DSM of $0.66 \text{ m} / 1.414 = 0.47 \text{ m}$, or with a NMAD of 0.35 m, which is below 1.0 GSD. Against the reference DEM, the difference is larger because of the limited accuracy of the reference model. In addition, it is important here to also analyse the bare open areas that exclude the quarries, so as to avoid the influence of vegetation and steep slopes. The difference between the WorldView-2 DSM and

the lidar DSM amounted to $SZ = 1.05 \text{ m}$, with a smaller resulting value for NMAD of 0.71 m. Nevertheless, the definition of the surface via the laser beam is different to that derived via image matching, especially given that the low vegetation undergoes seasonal variation.

The frequency distributions in Fig. 2 are typical. If the whole area without any separation is analyzed together, the frequency function is asymmetric and shows a higher number of larger discrepancies than the normal distribution, due to the inclusion of forest and changed quarry areas. The normal distribution related to NMAD fits better to the determined frequency function than the normal distribution based on SZ. The frequency function limited to the open areas (right hand side of Fig. 2) shows a better approximation to the normal distribution based on SZ than is the case for the whole area, but here also the normal distribution based on the NMAD better describes the real frequency function. This can be shown for nearly all height models, independent of the data source. The comparison of the two WorldView-2 DSMs indicate a system accuracy of $SZ = 1.0 \text{ GSD}$ or even slightly better. A similar system accuracy is also achieved with nearly all optical satellite stereo pairs. But the system accuracy is not the accuracy of a height model; at first the influence of trees and buildings has to be respected and areas with lower image contrast cannot be avoided. The influence of buildings and single trees or groups of trees can be eliminated by filtering of the DSM (PASSINI et al. 2002, DAY et al. 2013), but the effect of filtering forest areas is limited if insufficient ground points are

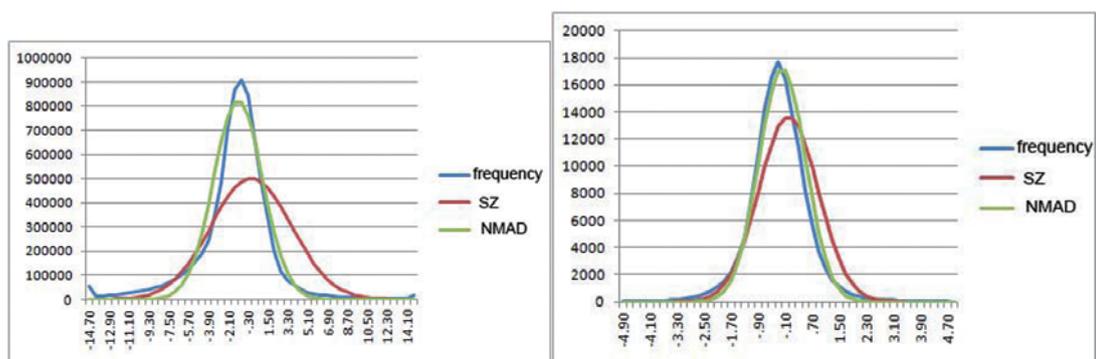


Fig. 2: Frequency distribution of discrepancies, left: WorldView-2 DSM against reference DEM, right: WorldView-2 DSM against independent WorldView-2 DSM for open areas.

available. Only by laser scanning in the leaf-off period, or by long wavelength radar, can the ground height be accurately determined in forest areas. Poor image contrast may also be caused by the spectral range of the imager. For example, Cartosat-1 covers the spectral range from $0.50\ \mu\text{m}$ up to $0.85\ \mu\text{m}$, including the near infrared, which provides good contrast in forest regions, while SPOT 5 HRS as well as SPOT 5 are limited to the wavelength range of $0.48\ \mu\text{m}$ up to $0.70\ \mu\text{m}$, which includes little of the infrared range. The histogram for SPOT images is therefore limited to just a few different grey values in forest areas. As an example, a Reference 3D DSM (from SPOT 5 HRS stereo sensor) at the Black Sea region in Turkey, close to the Bulgarian border, needed gap filling by SRTM height values for at least 60% of the area (BÜYÜKSALIH & JACOBSEN 2008) because of matching problems in the forest areas, while a DSM based on a Cartosat-1 stereo pair had only small gaps and these were in areas covered by clouds.

The advantage of pixel-based matching, namely semi-global matching in this case, against area-based matching by least squares is illustrated in Fig.3 (ALOBEID et al. 2011). The uneven surface in the lower left corner is caused by trees and the shape of the buildings is better with SGM. On the other hand, the height determined in the centre of the building is approximately the same and the overall accuracy is similar to that from area-based matching. Instead of stereo pairs, tri-stereo models with three images of the same scene

can be employed (TACK et al. 2009). This has advantages in steep mountainous regions and in cities with high buildings where some areas may be occluded in one image, but are present in the other two. Matching is then possible with the nadir and one of the oblique images. In addition, the over-determination of the DHM by three images may improve the accuracy or, more importantly, may lead to better identification of blunders. Of course such blunders may also be determined by filtering and/or manual inspection of the stereo model, which is a process generally required for all height models.

4 Height Models by spaceborne SAR

Height models can be generated by InSAR with an InSAR-configuration having 2 antennas close together, as with the SRTM mission that had a base length of 80 m and a flying elevation of 233 km (BAMLER et al. 2003). The TanDEM-X mission realises its base length by using two SAR satellites in a Helix-configuration (EINER et al. 2013). In the absence of an InSAR-configuration, problems with the phase correlation exist for SAR-image pairs not taken simultaneously, which necessitate a solution by radargrammetry with a much larger base (CAPALDO et al. 2011). InSAR-configurations have the advantage of covering large areas in a short time, as exemplified by the shuttle radar topography mission (SRTM)

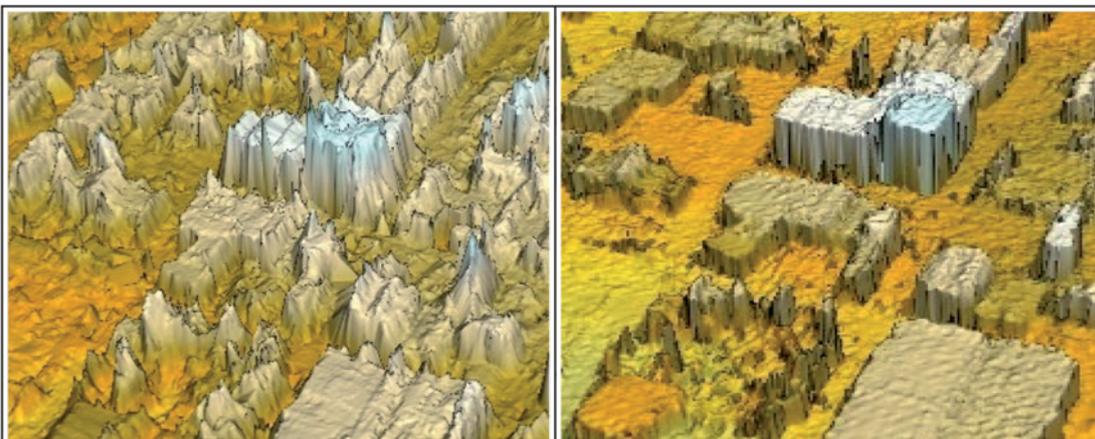


Fig. 3: Left: DSM by least squares matching, right: DSM by semi-global matching.

covering the world from 56 °S up to 62.25 °N latitude within 11 days in February 2000. The TanDEM-X-mission will cover the entire world within 2 years, with higher resolution and repeated acquisition from different directions to reduce the influence of radar layover. These missions operate with short wavelength X- and C-band radar which does not penetrate vegetation, so as with optical images, a DSM will be generated.

5 Regional to Worldwide Height Models

The generation of height models requires the satellite stereo pair, or tri-stereo pair, along with the matching operation and inspection of the DHM, so it is not free of expense. For this reason, the alternative of using existing height models should be investigated. GMTED 2010, SRTM DSM and ASTER GDEM are height models that are free of charge and readily available. They may well be suitable for a given application, but it may also be economic to use commercial versions of these DHMs. The DHMs are in most cases referenced to geographic coordinates, and corresponding

to this the point spacing is provided in arc-seconds, with 1.0 arcsec at the equator corresponding to 30.9 m. The point spacing and the accuracy are the main criteria for a DHM; the point spacing corresponds to the morphologic details if the DHM has been generated correctly. In the case of the first version of the ASTER GDEM this was not the case. The ASTER GDEM2 is based on stereo models of the ASTER stereo satellite which has a 15 m GSD and all available stereo models were averaged. In the case of the first version of ASTER GDEM the horizontal shifts between the individual DHMs caused by orientation uncertainty were not accounted for and so morphologic details were lost. This was not the case with ASTER GDEM2 available since mid of 2011, and now the morphologic details correspond to the point spacing, as is the case for all the height models listed in Tab. 5.

The accuracy specification for nominally global height models is complex. In Fig. 4 the average of root-mean-square differences for SRTM DHM and ASTER GDEM against a reference DTM is shown. The left-most three columns in the figure show just the root-mean-square height discrepancies. In the case of the centre three columns, RMS height discrepan-

Tab. 5: Worldwide and large-area height models.

Height model	Coverage of land area	Spacing	SX, SY	SZ _{absolute} <20%	SZ _{relative} <20%	Remark
GMTED 2010	100%	7.5 arcsec	Depending upon data source			dominated by SRTM
SRTM	-56° up to 62.25°	3 arcsec	3.5 m – 5 m	6 m – 8 m	4 m	C-band
Aster GDEM2	-83° up to 83°	1 arcsec	10 m	10 m	6 m	15 m GSD, several stereo models
Elevation 30 (SPOT DEM)	43%	1 arcsec	14 m	12 m	6 m	Based on SPOT 5 HRS
Reference 3D	43%	1 arcsec	6 m	5 m	3 m	SPOT DEM improved
NEXMap World 30	100%	1 arcsec	3.5 m – 5 m	5 m	4 m	dominated by SRTM
NEXMap	7%	5 m	1 m	0.6 m – >1.8 m	0.6 m – >1.8 m	airborne-InSAR X-band
TanDEM-X Global DEM	100% available 2014	0.4 arcsec	<4.7 m	<6 m („in meter – range“)	1.2 m	homogenous, actual, DSM later DTM

cies after correction for shifts in X, Y and Z between the respective DSMs and the reference DTM are shown. Note here that following an improved horizontal registration, there is no longer an accuracy difference between ASTER GDEM first version and GDEM2. All height models in Tab. 5 are DSMs with points on top of vegetation and buildings, so a strong influence of the vegetation and buildings is included. If the investigation is limited to open areas, with elimination of remaining non-ground points through filtering, the height discrepancies decrease further, as indicated in the right-hand three columns of Fig. 4. In addition, there is a dependency of the DHM accuracy on terrain inclination, corresponding to the Koppe formula. For open and relatively flat areas, the RMS height difference against the reference DTM for ASTER GDEM is around 6 m, and for SRTM close to 4 m. This is a typical example for the accuracy specification of height models – the influence of the vegetation and the buildings are not reflected via the standard deviation. It is a problem of DHM specification that has to be removed if a DTM is required. In general the accuracy numbers before shift are stated as the absolute accuracy, while after shift they are termed relative accuracy since they are free of the influence of orientation.

Independent of the filtering of model points not belonging to the bare ground, including elimination of blunders, a manual check of the height model, e.g. by 3D-shaded view, should always be made as a part of the quality control process.

The ASTER GDEM depends upon the number of images used for the determination of the individual ground point. This information is provided in a quality file together with the height model. The number of images per point changes depending upon geographic location, and also within a single scene. Based on 12 test areas the relationship $SZ = 19.1 \text{ m} - 0.72 \cdot (\text{number of images / point})$ has been determined for the ASTER GDEM, and this corresponds to $SZ = 17.6 \text{ m}$ for 2 images and $SZ = 3.2 \text{ m}$ for 22 images. This implies that the accuracy of ASTER GDEM is not as homogenous as the SRTM DSM. Nevertheless, in spite of the lower accuracy, it has the advantage of better morphologic details with its 1 arcsec point spacing. By this reason, Intermap generated the NextMap World30 DEM as a fusion of the SRTM DSM and ASTER GDEM, with improved absolute location accuracy via registration with height profile points from ICESat. In addition to the SRTM C-band data from the USA, the German-Italian SRTM X-band data are available with 1arcsec point spacing, but the area coverage is less than for the SRTM C-band height data. Elevation 30 and Reference 3D are based on the SPOT 5 HRS stereo sensor. They are currently available for approximately 43% of the Earth's landmass, though stereo scenes cover most parts of the world. Additional height models can be generated by ASTRIUM upon request. Reference 3D was improved by post-processing for better orientation and for elimination of blunders. Gaps, especially in forest areas, have been filled in most cases by SRTM data, with

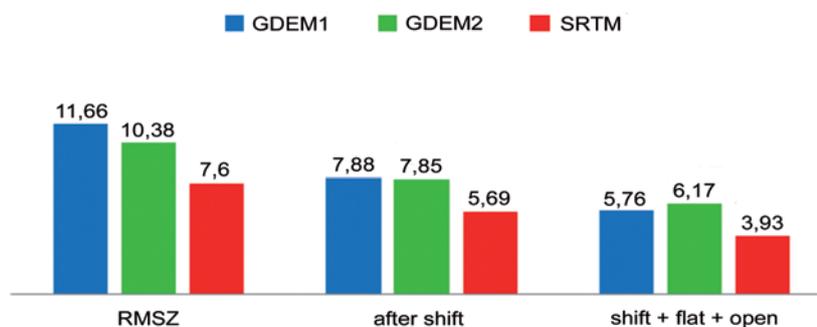


Fig. 4: RMS height discrepancies of SRTM and ASTER GDEM against reference height models, as averaged over 12 test areas distributed worldwide.

gaps in the SRTM DSM having often been filled with SPOT 5 HRS data.

NextMap, based on aerial InSAR, is available for West-Europe, large parts of the USA, and areas in Indonesia and Australia. The accuracy is strongly dependent upon radar lay-over, so it has a stronger accuracy variation, between $SZ = 0.6$ m and $SZ > 1.8$ m. A major change for worldwide height models will come in 2014 with the release of the TanDEM-X Global DEM. A large part of the data acquisition has always been completed. The Basic version without manual checking for blunders will be initially available. This will be followed by the checked DSM-version and later a DTM-version. The relative accuracy is specified as a standard deviation of 1.2 m within a $1^\circ \times 1^\circ$ scene (111^2 km² at the equator). Originally, the absolute standard deviation for the height was specified as 6 m, but according to EINEDER et al. (2013), accuracy will be in the “metre range” due orientation refinements determined from ICESat and sea level heights. Together with this hitherto unobtainable high accuracy and 0.4 arcsec grid spacing (12 m at the equator) for large-area height models, TanDEM-X DEM will be clearly better than all other DHMs with the exception of height models from very high resolution optical satellites, but they cannot cover very large regions.

6 Conclusion

The determination of height models based on space images now overlaps in accuracy and resolution with determinations based on aerial images. Space images have the advantage of global coverage and global access. With very high resolution optical satellite images, available with up to 0.5 m GSD, a system accuracy of approximately 0.5 m standard deviation for the height can be reached for vegetation-free areas with good contrast. A height model usually includes parts with suboptimal contrast and the influence of vegetation and buildings, so the accuracy of the DTM is generally not as good. Similar problems exist with InSAR using short X- or C-band wavelengths. The influence of vegetation and buildings can be reduced by filtering and additional manual in-

spection, but in forest areas with not enough points on the solid ground, filtering from DSM to DEM is limited. Independent of the lower accuracy for steeper terrain, the comparison of a DHM with a reference DEM will show in most cases larger height discrepancies than might be anticipated within a normal distribution. This is due to the influence of remaining vegetation and buildings, along with areas exhibiting problems of image matching or radar overlay. The NMAD better describes the frequency distribution of the majority of height differences than the standard deviation, but it should be anticipated that larger discrepancies will occur. Only by filtering, together with final manual revision, can the percentage of larger height errors be reduced. Nevertheless, a high level of accuracy and resolution can today be reached by DEM-determination from space images, indeed the accuracy is invariably higher than the national DEMs produced in several countries by their survey administrations. With the TanDEM-X Global DEM, a new level of worldwide height modeling accuracy will be reached. With VHR optical space images even better accuracy and resolution are possible, but worldwide coverage via VHR stereo models is today not economically feasible, so only local and regional DHMs from such imagery can be anticipated for the foreseeable future. In instances where highest accuracy and resolution are not required, existing readily available large-area DHMs should not be overlooked.

References

- ALOBED, A., JACOBSEN, K., HEIPKE, C. & ALRAJHI, M., 2011: Building Monitoring with Differential DSMs. – ISPRS Hannover Workshop 2011, International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing **XXXVIII-4/W19**.
- BAMLER, R., EINEDER, M., KAMPES, B., RUNGE, H. & ADAM, N., 2003: SRTM and beyond: current situation and new developments in spaceborne InSAR. – Hannover Workshop 2003, <http://www.ipi.uni-hannover.de/fileadmin/institut/pdf/bamler.pdf> (3.7.2013).
- BÜYÜKSALIH, G. & JACOBSEN, K. 2008: Digital Height Models in Mountainous Regions based on Space Information. – EARSel Workshop Remote Sensing – New Challenges of High Resolution, Bochum 2008.

- CAPALDO, P., CRESPI, M., FRATARCANGELI, F., NASCETTI, A. & PIERALICE, F., 2011: DSM generation from high resolution COSMO-SKYMED imagery with radargrammetric model. – Hannover Workshop, International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing Vol **XXXVIII-4/W19**.
- DAY, D., JACOBSEN, K., PASSINI, R. & QUILLEN, S., 2013: A Study on Accuracy and Fidelity of Terrain Reconstruction after Filtering DSMs produced by Aerial Images and Airborne LiDAR Surveys. – ASPRS Annual Convention 2013, Baltimore, MD, USA.
- EINER, M., BAMLER, R., CONG, X., GERNHARDT, S., FRITZ, T., ZHU, X., BALSS, U., BREIT, H., ADAM, N. & FLORICIOIU, D., 2013: Globale Kartierung und lokale Deformationsmessungen mit den Satelliten TerraSAR-X und TanDEM-X. – Zeitschrift für Vermessungswesen **1/2013**: 75–94.
- HIRSCHMÜLLER, H., 2005: Accurate and Efficient Stereo Processing by Semi-Global Matching and Mutual Information. – IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, CVPR'05 **2**: 807–814, San Diego, CA, USA.
- PASSINI, R., BETZNER, D. & JACOBSEN, K., 2002: Filtering of Digital Elevation Models. – ASPRS annual convention 2002, Washington D.C., USA.
- TACK, F., GOOSSENS, R. & BÜYÜKSALIH, G., 2009: Semi-automatic city model extraction from tri-stereoscopic vhr satellite imagery. – International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing XXXVIII-3/W4.

Address of the Author:

Dr.-Ing. KARSTEN JACOBSEN, Leibniz Universität Hannover, Institut für Photogrammetrie und Geoinformation, D-30167 Hannover, Nienburger Str. 1, Tel.: +49-511-762-2485, Fax: +49-511-62-2483, e-mail: jacobsen@ipi.uni-hannover.de

Manuskript eingereicht: April 2013

Angenommen: Juni 2013



UAV@LGL – Pilotstudie zum Einsatz von UAV im Rahmen der Landesvermessung in Deutschland

MICHAEL CRAMER, NORBERT HAALA, MATHIAS ROTHERMEL, BENEDIKT LEINSS & DIETER FRITSCH, Stuttgart

Keywords: UAV, Structure-from-Motion, Aerotriangulation, dichte Punktwolken

Zusammenfassung: Die flexible Verwendung von unbemannten Fluggeräten für geodätisch-photogrammetrische Anwendungen wurde bereits verschiedentlich gezeigt, bislang allerdings meist im privatwirtschaftlichen Umfeld. Ein Nachweis der Eignung dieser Technologie für Anwendungen im Rahmen der Landesvermessung stand bislang für Deutschland zumindest noch aus. Im Rahmen einer Pilotstudie des Landesamtes für Geoinformation und Landentwicklung Baden-Württemberg und des Instituts für Photogrammetrie der Universität Stuttgart wurde daher das Potenzial der UAV-basierten photogrammetrischen Datenerfassung unabhängig evaluiert. Zum Einsatz kamen zwei unterschiedliche Kamerasysteme für eine Anwendung im Bereich der Flurneuordnung. Die Georeferenzierung der Bilder erfolgte mittels Structure-from-Motion und photogrammetrischer Bündelausgleichung. Durch Verwendung des Verfahrens der dichten Punktwolkengenerierung wurden anschließend hochauflösende Oberflächenmodelle erzeugt. Die Ergebnisse der Studie konnten alle Anforderungen des Landesamts erfüllen. Damit steht aus Sicht der Landesvermessung ein komplett neues Verfahren für die flexible und auch kostengünstige Datenerfassung zur Verfügung. Neue harmonisierte Grundsätze zur Erteilung von allgemeinen Aufstiegsereulabnissen sollten mittelfristig auch die formal-juristische Seite der Flugbeantragung vereinfachen.

Summary: *UAV@LGL – Pilot Study of the Use of UAV for National Mapping in Germany.* The flexible use of unmanned airborne systems (UAV) in geodetic-photogrammetric applications has already been demonstrated on several occasions, but mostly in the private sector environment. A proof of the suitability of this technology in the context of national mapping was not available so far – at least in Germany. Therefore, a pilot study of the Landesamt für Geoinformation und Landentwicklung Baden-Württemberg – the official mapping agency of Baden-Württemberg – and the Institute of Photogrammetry at University of Stuttgart was initiated to independently estimate the potential of UAV-based photogrammetric data acquisition. Two different camera systems were used for a land management application scenario. The georeferencing of the images was performed using Structure-from-Motion and photogrammetric bundle adjustment. By using the method of dense stereo matching point clouds of highly resolved surface models were created. The results of the study were able to meet all requirements of national mapping. From the national mapping's point of view a completely new method for the flexible and cost effective data capture is available. New harmonized guidelines for the general flight permission should be published in medium term to simplify the formal-legal side of flight applications.

1 Einleitung

Die flexible, aktuelle und hochauflösende Erfassung von Luftbildern kleinräumiger Gebiete ist ein Anwendungsfeld, welches für die Verwendung von unbemannten Fluggeräten zugeschnitten ist. Diese werden mit den Kürzeln UAV für Unmanned Aerial Vehicles oder

RPAS für Remotely Piloted Aircraft Systems bezeichnet. RPAS wurde von der Internationalen Zivilluftfahrt-Organisation ICAO geprägt. Im Zuge der Integration von unbemannten Fluggeräten soll kenntlich gemacht werden, dass es sich bei RPAS um vollwertige Flugzeuge handelt, die von einem Pilot vom Boden aus gesteuert werden (ICAO 2011). Weitere

Details zur Terminologie können BLYENBURGH (2012) entnommen werden. In diesem Beitrag wird durchgängig der Begriff UAV verwendet, auch weil das hier präsentierte Projekt unter dem Titel UAV@LGL durchgeführt wurde. Bemannte Bildflüge mit klassischen Luftbildflugzeugen und großformatigen Kamerasystemen lassen sich aus Kostengründen für kleinräumige Anwendungen kaum einsetzen. Diese Lücke kann durch UAVs sinnvoll geschlossen werden. Auch im Rahmen der Aufgaben der Landesvermessung gibt es Anwendungen, bei denen der Einsatz von UAVs sinnvoll erscheint. Hier sind z. B. Flurneorderungsverfahren zu nennen, die oftmals kleinräumig stattfinden und einen hohen Bedarf an aktuellen Bilddaten haben. Derartige Verfahren werden in enger Abstimmung mit den betroffenen Eigentümern durchgeführt. Der jeweilige Stand der Arbeiten ist der Teilnehmergemeinschaft kontinuierlich und vor allem anschaulich zu präsentieren. Hier bietet sich natürlich vor allem die photogrammetrische Aufnahme an. Aktuell (Stand März 2013) laufen alleine nur in Baden-Württemberg über 450 Flurneorderungsverfahren. Diese Verfahren umfassen in etwa 10% der Landesfläche. Das belegt deutlich, dass bei Eignung der UAV-Technologie zur zeitnahen und mehrfachen Datenerfassung ein potenzieller Markt existiert.

Das Landesamt für Geoinformation und Landentwicklung Baden-Württemberg (LGL BW) hat in Kooperation mit dem Institut für Photogrammetrie (ifp) der Universität Stuttgart das Pilotprojekt UAV@LGL durchgeführt, in dem stellvertretend für alle Landesvermessungsbehörden in Deutschland das Potenzial der UAV-gestützten Datenerfassung im Rahmen eines Flurneorderungsverfahrens untersucht werden sollte. Dazu liegen zwei UAV-Flüge mit unterschiedlichen Kameras vor, und zwar mit der Canon IXUS 100 und der Ricoh GXR Mount A12 kombiniert mit Zeiss Objektiv. Der Fokus der Auswertungen liegt dabei auf der Analyse des Genauigkeitspotenzials der 3D-Punktbestimmung im Rahmen der Aerotriangulation (AT). Die orientierten Bilder werden anschließend benutzt, um dichte digitale Oberflächenmodelle (DOM) zu generieren. Hierzu wird ein modifizierter Semi-Global Matching Ansatz einge-

setzt, um Stereo-Korrespondenzen zu bestimmen. Die rekonstruierten Oberflächenmodelle werden hinsichtlich Genauigkeit und Vollständigkeit evaluiert.

Die Anforderungen des LGL und die in der Studie abzuleitenden Geodaten (Produkte) sind wie folgt:

- orientierte Luftbilder, Bodenauflösung mindestens 10 cm,
- digitale Orthophotos, Bodenauflösung mindestens 10 cm, Lagegenauigkeit < 1 Pixel,
- 3D-Modelle, Gitterweite 1 m, Strukturelemente (Bruchkanten), Höhen- und Lagegenauigkeit < 10 cm,
- Luftbildschrägaufnahmen aus vordefinierten Positionen und Aufnahmerichtungen,
- 3D-Modellierung markanter topographischer oder touristischer Objekte (Landmarken).

Neben Anwendungen im Rahmen der Flurneordnung können UAVs prinzipiell für all diejenigen Aufgaben der (Landes-)Vermessung eingesetzt werden, die sich auf lokal beschränkte Bereiche beziehen. Das LGL BW denkt z. B. an die 3D-Erfassung von Kreuzungen und Kreisverkehren. Studien zum Einsatz von UAVs in der Katastervermessung wurden in der Schweiz (MANYOKY et al. 2012) und in den Niederlanden durchgeführt (VAN HINGSBERG et al. 2013). Das IGN Frankreich testet in Kooperation mit einem französischen Energieversorger die UAV-gestützte 3D-Vermessung von Flussdeichen an der Rhône (CRAMER et al. 2013b). Die britische Landesvermessung erwägt die Verwendung von UAVs unter anderem zur Aktualisierung von Geländemodellen in lokal eingeschränkten und schwer zugänglichen Bereichen, z. B. Erosion von Steilküsten (CRAMER et al. 2013b).

Bei dem hier vorliegenden Beitrag handelt es sich um eine gekürzte und in Teilen ergänzte Version des Beitrags, der für die Dreiländertagung / 33. Wissenschaftliche-Technische Jahrestagung der DGPF in Freiburg eingereicht wurde (CRAMER et al. 2013a).

2 UAV-Plattformen

Die Entscheidung für eine Trägerplattform hängt wesentlich von der geplanten Anwendung ab. Entscheidend sind dabei vor allem

die Größe des Gebiets, die Anforderungen an die Nutzlast und die zu realisierende Aufnahmegeometrie. Je nach Antriebskonzept muss zwischen Starr- und Rotorflüglern unterschieden werden, wobei beim Einsatz von Starrflüglern von einer größeren Flächenleistung ausgegangen werden kann. Im Unterschied dazu erlaubt es ein Rotorflügler sehr flexible Aufnahmerichtungen zu realisieren, was für spezielle Anwendungen wie die 3D-Rekonstruktion von einzelnen Objekten, z. B. Gebäuden, vorteilhaft sein kann. Die erforderliche Nutzlast wird durch das Gewicht der Kamera und gegebenenfalls weiterer Zusatzsensoren festgelegt. Dieses legt die dann notwendige UAV-Gewichtsklasse fest. Die allgemein akzeptierten Einteilungen in UAV-Gewichts- bzw. Systemklassen können BLYENBURGH (2012) entnommen werden. Die UAVs der Mini- (maximales Startgewicht (maximum take off weight, MTOW) < 30 kg, Reichweite < 10 km) bzw. Micro-Kategorie (MTOW < 5 kg, Reichweite < 10 km) sind zahlenmäßig am stärksten verbreitet, was den überwiegenden Einsatz von kleineren Systemen für demnach kleinere Projektgebiete als ein Hauptanwendungsfeld für UAVs nachweist. Die im Pilotprojekt eingesetzten UAVs sind ebenfalls der Kategorie Micro zuzuordnen.

Die beiden eingesetzten Starrflügler wurden vom Institut für Flugmechanik und Flugregelung (iFR) der Fakultät Luft- und Raumfahrttechnik & Geodäsie der Universität Stuttgart zur Verfügung gestellt. Durch die Kooperationen mit dem ifp fanden seit Sommer 2011 erste photogrammetrische Bildflüge statt. Die Erstflüge wurden mit dem Multiplex Twinstar II Träger durchgeführt, einem Starrflügler mit zwei Elektromotoren, einer Spannweite von 1,4 m und einem Abfluggewicht von ca. 1,3 kg. Die Nutzlastkapazität von ca. 300 g erlaubt es, eine kleine Digitalkamera mitzuführen. Die maximale Flugzeit liegt bei ca. 20 min.

Für die Erstbefliegung im Rahmen des UAV@LGL Projekts wurde die Twinstar II zusammen mit der Canon IXUS 100 IS im März 2012 (Frühjahrsbefliegung, vor Belaubung) über dem Projektgebiet geflogen. Die Kamera Ricoh GXR Mount A12 hat inklusive des Objektivs ein Gesamtgewicht von ca. 650 g, das für die Twinstar II zu groß ist. Da-

her wurde die Zweitbefliegung mit dem Flugzeug Maja der Firma Bormatec durchgeführt. Diese Plattform ist ebenfalls kommerziell verfügbar und besitzt eine höhere Nutzlastkapazität, denn sie wurde für die Aufnahme von Equipment, z. B. für Luftbilddaufnahmetechnik, ausgelegt (BORMATEC 2013). Der Rumpf kann dazu in fast kompletter Länge aufgeklappt werden. Das einmotorige Flugzeug besitzt eine Luftschraube am Heck hinter dem Leitwerk, besteht aus expandiertem Polypropylen (EPP) und kann wie die Twinstar II auf dem Rumpf gelandet werden. Das Flugzeug ist wie die Twinstar II mit dem iFR onboard Computersystem ausgestattet. Die sonstigen technischen Daten lauten wie folgt: Spannweite 220 cm, Länge 120 cm, Abfluggewicht 3,5 kg, inklusive Kamera 650 g, Akku 545 g und Elektronik 300 g. Die Flugzeit liegt bei ca. 30 min. Der Zweitflug fand im August 2012 bei voller Belaubung statt.

Die Abb. 1 zeigt beide Trägersysteme und die jeweilige Kamerainstallation. Während in der Twinstar II die Kamera mit faserverstärktem Klebeband in einer Rumpfaussparung befestigt wurde, ist in der Maja eine Pertinaxplatte im Flugzeugrumpf montiert, an der die Kamera mittels Objektivgewinde fixiert werden kann. Zusätzlich befindet sich vor dem Objektiv eine mittels Servo verschiebbare Klappe, die zur Landung vor die Optik geschoben wird, um diese vor Verschmutzungen und Beschädigungen zu schützen.

3 Kamerasysteme

Die Aufnahme der Bilder erfolgte mit zwei verschiedenen Kamerasystemen. Für die Erstbefliegungen mit der Twinstar II wurde eine Canon IXUS 100 IS Kompaktdigitalkamera mit 12 MPix (3000 x 4000 pix) eingesetzt. Die Kamera hat eine nominelle Brennweite von 5,9 mm. In Kombination mit einer 1/2.3“ CCD – korrespondierende CCD-Fläche 4,62 x 6,16 mm², Bilddiagonale 7,7 mm – realisiert die Kamera einen maximalen Bildwinkel von ca. 66°, im regulären Kleinbildformat entsprechend einer Weitwinkelbrennweite von ca. 35 mm. Die einzelnen Pixel auf der CCD haben nur eine Größe von 1,54 x 1,54 µm², was sich negativ auf die Empfindlichkeit bzw. das

Rauschverhalten der Kamera auswirken kann. Wie viele andere Modelle der Consumer-Klasse verfügt auch diese Kamera über einen optischen Bildstabilisator, der vor allem dazu dienen soll, bei schlechten Lichtverhältnissen ohne Einsatz eines Stativs verwacklungsfreie Aufnahmen mit längeren Verschlusszeiten zu ermöglichen. Zu dem Zeitpunkt, als die Kamera als optischer Sensor für diese Plattform ausgewählt wurde, standen photogrammetrische Belange nicht im Mittelpunkt. Die Kamera wurde in erster Linie wegen ihres geringen Gewicht von 140 g ohne Akku und der für Canon-Kameras typischen Schnittstelle, dem so genannten Canon Hack Development Kit (CHDK), ausgewählt. Über diese Schnittstelle wird direkt in die Funktionalität der Kamera eingegriffen, so dass der Flugzeugrechner die Kamera auslösen kann.

Im Vergleich zum Standardmodell wurde die Kamera an zwei Stellen modifiziert, um Bildunschärfen bei der Canon-Kamera wäh-

rend der Aufnahmen aus bewegten Trägern möglichst zu vermeiden. Dazu wurde zum einen das innerhalb der Optik befindliche Neutraldichtefilter (ND-, oder Graufilter) mittels der CHDK-Firmware deaktiviert, welches die Original-Kamerafirmware bei hellem Umgebungslicht standardmäßig aktiviert. Als zweite Maßnahme wurde die Bildstabilisierung mechanisch durch Verklebung der beweglichen Linse an geeigneter Stelle im Innern des Objektivs deaktiviert. Diese beiden Modifikationen führten bei der Zweitbefliegung zu deutlich besseren Ergebnissen als bei den Erstbefliegungen im Jahr 2011 (CRAMER & HAALA 2012).

Alternativ zur Canon wurde eine zweite Kamera beschafft, die speziell unter Berücksichtigung der Anforderungen für einen photogrammetrischen Bildflug ausgewählt wurde. Auswahlkriterien waren unter anderem eine hohe Auflösung des Bildsensors bei möglichst großem Bildformat, geringes Gesamtgewicht,

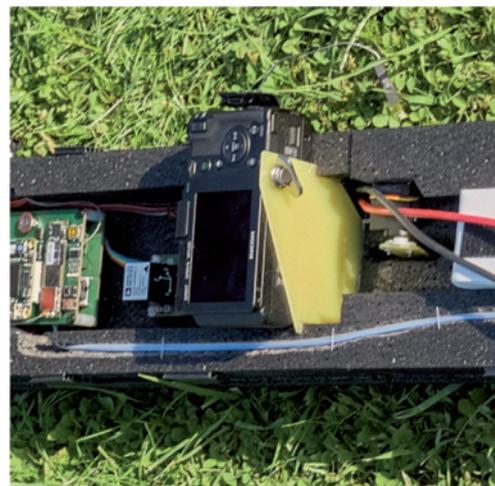


Abb. 1: UAV-Trägersysteme: Twinstar II mit Canon IXUS 100 (links) und Maja mit Ricoh GXR Mount A12 (rechts).

geringes Gesamtvolumen bei dennoch stabilem Gehäuse, keine beweglichen Teile in der Optik, z. B. für Bildstabilisierung oder Sensorreinigungssystem, gute Festbrennweiten-Optik bevorzugt mit manueller direkter mechanischer Fokussierung und eine kabelgebundene Auslösung des Verschlusses. Ausgewählt wurde letztlich die Kamera Ricoh GXR Mount A12. Die GXR-Modellreihe ist ein modular aufgebautes Kamerasystem, das vom Konzept her einer klassischen Messkamera mit möglichst fest vorgegebener Kamerageometrie entspricht. Das gewählte Modul Mount A12 verfügt als einziges über einen Anschluss für Wechselobjektive (Leica-M-Bajonett) und erlaubt so die Kombination mit hochwertigen Objektiven von Leica bzw. kompatiblen Objektiven, z. B. von Zeiss oder Voigtländer. Im Rahmen dieses Projekts wurde ein Zeiss Bion T* 21mm f/2.8 beschafft. Das nun zur Verfügung stehende Kamerasystem hat folgende wesentliche Kenngrößen: Bildsensor CMOS, 4288 x 2848 pix, Pixelgröße 5,5 x 5,5 μm^2 , 23,6 x 15,7 mm^2 (APS-C), Bilddiagonale 2,83 cm, maximaler Bildwinkel ca. 68°. Damit ist die Bildgeometrie nahezu identisch mit der der Canon IXUS 100, so dass für beide Kameras identische Bildflüge, d. h. identische Blockgeometrie, geplant werden konnten. Die jedoch im Vergleich zur Canon deutlich größere Pixelgröße und die höhere Qualität der Optik ließen in Bezug auf Bild- und Punktmeßqualität bei nachfolgenden Auswertungen bessere Ergebnisse erwarten.

Um die möglichst aktuelle innere Geometrie der Kamera zu erfassen – eine der wesentlichen Vorgeben in der photogrammetrischen Bildauswertung – wurde direkt vor jedem Bildflug eine Vor-Ort-Kalibrierung mit einem mobilen 2D-Testfeld vorgenommen (CRAMER et al. 2013a). Bei den weiteren Auswertungen wurde dann immer diejenige Kalibrierung verwendet, die zeitlich am nächsten zu den Bildflügen lag. Der Vergleich der Ergebnisse der Kalibrierungen der beiden Kameras zeigt, dass die Ricoh/Zeiss-Kamera eine höhere Objektraumgenauigkeit liefert. Die Genauigkeit der Bildpunktmessung liegt für die Canon im Bereich von 1/10 pix. Für die Ricoh/Zeiss-Kamera konnten Werte unter 5% der Pixelgröße erzielt werden (CRAMER et al. 2013a).

4 UAV-Datenerfassung und Genauigkeitsuntersuchungen

4.1 Bildflüge Hessigheimer Felsengärten

Die empirischen Testflüge wurden im Gebiet der Hessigheimer Felsengärten durchgeführt, das Gebiet in dem das LGL auch seine Maßnahmen zur Flurneuordnung vorgenommen hat. Das Gebiet liegt unmittelbar am Neckar und zeichnet sich durch steile Weinberglagen aus. Für die UAV-Befliegungen wurde ein ca. 1000 m x 400 m großes Gebiet definiert, welches in einem klassischen photogrammetrischen Bildverband erfasst werden sollte. Dazu wurden insgesamt 5 Längsstreifen und zwei Querstreifen mit hohen Überdeckungsverhältnissen von ca. 80% innerhalb des Streifens und ca. 70% zwischen benachbarten Streifen geplant. Diese hohe Überdeckung diente einerseits dazu, die für einen UAV-Flug deutlich größeren Abweichungen vom Normalfall aufzufangen. Vor allem bei geringeren Querüberdeckungen kann es sonst zu ungenügender Verknüpfung zwischen Nachbarstreifen kommen. Die hohe Überlappung ist aber auch für die spätere Generierung dichter Oberflächenmodelle hilfreich. Die Abb. 2 (links) zeigt die Flugplanung mittels IGIPlan. Anhand dieser GoogleEarth-Visualisierung kann auch die anspruchsvolle Geländetopographie vermittelt werden. Die Flüge wurden derart geplant, dass eine nominelle Bodenpixelgröße (GSD) von 4,5 cm – 7,3 cm realisiert wird. Die starke Variation der GSD liegt an Geländehöhenunterschieden von ca. 100 m. Ebenfalls sind die Überdeckung der Flugstreifen im Gelände und die Lage der signalisierten Pass- und Kontrollpunkte in der Abbildung angedeutet. Insgesamt konnte im Rahmen der weiteren Auswertungen auf 33 im Projektgebiet durch Farbmarkierungen signalisierte Punkte zugegriffen werden, die im Vorfeld der Flugkampagnen vom LGL vermarktet und mit GPS eingemessen worden waren. Die Standardabweichung dieser Objektpunkte liegt bei etwa 1 cm.

Der rechte Teil der Abb. 2 zeigt die Flugtrajektorie für den Ricoh/Zeiss-Test. Nach Übergabe der Kontrolle vom Pilot an den Autopilot fliegt das UAV die geplanten Fluglinien ge-

mäß den vorgegebenen Wegpunkten aus der Flugplanung automatisch ab, wobei der Pilot am Boden jederzeit den Autopilot deaktivieren kann. Für den Autopilot werden als Wegpunkte nur die Anfangs- bzw. Endpunkte der photogrammetrischen Streifen in entsprechender Reihenfolge übernommen. Die einzelnen Projektionszentren sind hier nicht von Bedeutung, da die Kamera während des Bildflugs in festen Zeitabständen ausgelöst wird

(Auslöseintervall 1,5 s). Unter Berücksichtigung der üblichen Fluggeschwindigkeit von ca. 20 m/s führt das dann zu der gewünschten Überdeckung in Flugrichtung. Das Auslöseintervall wird in der aktuellen Konfiguration nicht an die momentane Geschwindigkeit angepasst, so dass die Basislängen leicht variieren.

Die Abb. 3 zeigt die Bildverbände Canon Flug (207 Bilder) bzw. Ricoh/Zeiss-Befliegung

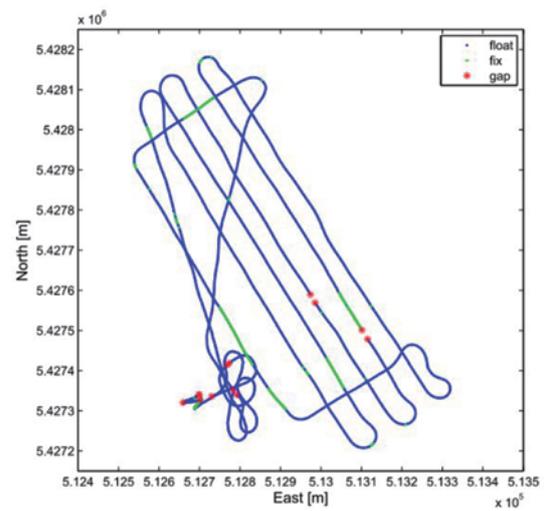
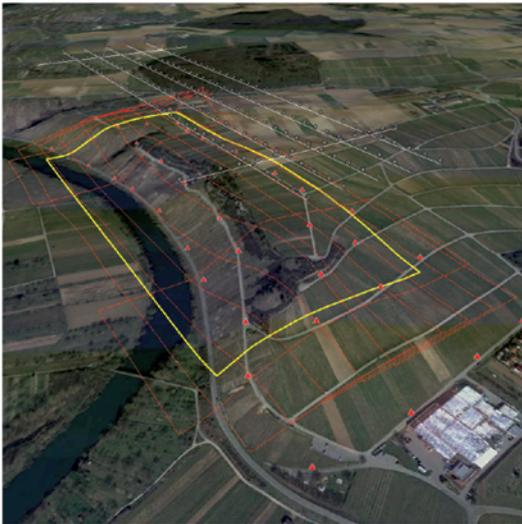


Abb. 2: Projektgebiet Hessigheim mit überlagertem Flugplan und Streifenabdeckung (links) und die bei der Ricoh/Zeiss-Befliegung realisierte Flugtrajektorie aus der differentiellen GPS-Phasen-Auswertung (rechts).

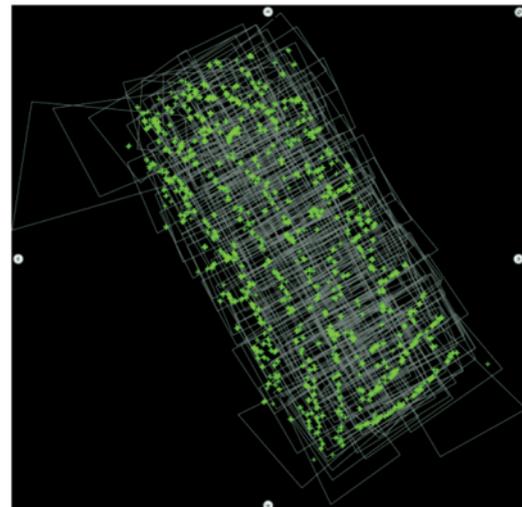
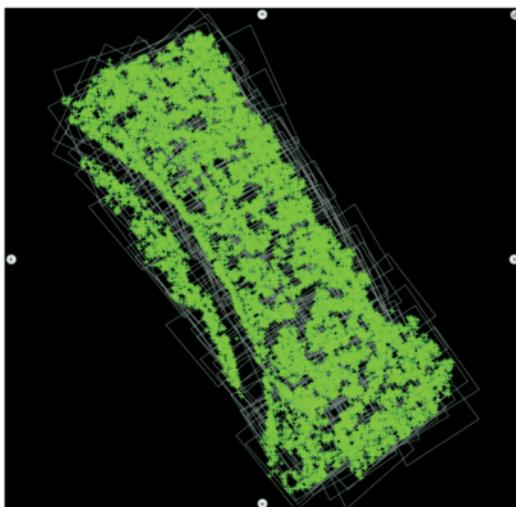


Abb. 3: Bildflüge Hessigheim: Blockgeometrie Canon Flug vom 23.3.2012 (links) und Ricoh/Zeiss Befliegung vom 23.8.2012 (rechts) mit automatischen Verknüpfungspunktmessungen aus Match-AT Auswertung.

(190 Bilder). Die Bildüberdeckungen entsprechen weitestgehend den Vorgaben, wobei aufgrund des festen Auslöseintervalls und der nicht stabilisierten Kameraaufhängung Abweichungen von den nominellen Überdeckungsverhältnissen auftreten können. Die maximalen Abweichungen aus der Horizontalen variieren beim Canon Flug zwischen -18° und 12° für den Rollwinkel (ω), und zwischen -16° und 15° für den Nickwinkel (ϕ). Für die Ricoh/Zeiss Befliegung liegen die Variationen zwischen -15° und 12° für Roll- und zwischen -18° und 30° für den Nickwinkel. Bei Standardbildflügen mit bemannten Flugzeugen liegen diese Abweichungen i.d.R. unter $\pm 5^\circ$. Diese starken Abweichungen vom Nadirfall ziehen gewisse Modifikationen für den späteren photogrammetrischen Auswerteprozess nach sich. Dies wird im nachfolgenden Abschnitt erläutert.

4.2 Prozessierungskette

Die photogrammetrische Auswertung der UAV-Bildverbände zerfällt in mehrere Arbeitsschritte (Abb. 4). Zunächst werden die im Vorfeld bestimmten Kalibrierparameter der Kamera in den Bildern angebracht, und zwar die Korrektur der Bildhauptpunktlage und die Korrektur der Objektivverzeichnung, sodass „quasi verzeichnungsfreie“ Bilder ausgewertet werden. Über ein Structure-from-

Motion (SfM) Verfahren werden die Bilder miteinander verknüpft und die Orientierung der Bilder bestimmt. Die Verknüpfung wird über SIFT-Punkte realisiert. Der SfM-Ansatz kommt ursprünglich aus der Computervision und erlaubt die Auswertung von im Prinzip beliebig angeordneten Bildverbänden. Ein Beispiel für einen derartigen SfM-Ansatz ist das Softwaresystem Bundler, das innerhalb des Photo Tourism Projektes entwickelt wurde (SNAVELY et al. 2008). Die Auswertung der in diesem Artikel beschriebenen UAV-Bildatensätze wurde durch die in ABDEL-WAHAB et al. (2011 & 2012) beschriebene SfM-Implementierung realisiert, die auf einer Modifikation des Ansatzes von FARENZENA et al. (2009) basiert. Als Ergebnis des SfM-Verfahrens liegen die ausgeglichenen 3D-Koordinaten aller Verknüpfungspunkte und die äußere Orientierung aller Bilder in einem lokalen Koordinatensystem vor. Der Datumsübergang vom lokalen Koordinatensystem in das gewünschte Geländekoordinatensystem (hier UTM-Koordinaten) wird über die Projektionszentren aus der GPS-Bahnberechnung realisiert.

Die SfM-Auswertung ist eine Vorverarbeitung, um für jedes Bild die Elemente der äußeren Orientierung zur Verfügung zu stellen, die dann ins UTM-Koordinatensystem transformiert werden. Damit ist eine hinreichend gute Vororientierung gewährleistet, so dass auch in einer klassisch photogrammetrischen Auswertesoftware (hier Match-AT) eine automati-

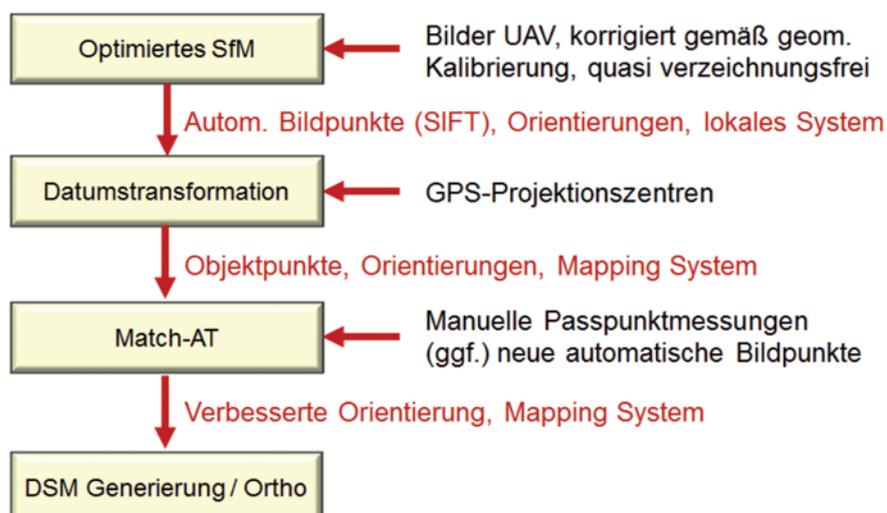


Abb. 4: Am ifp realisierte Prozesskette zur UAV-Bilddatenauswertung.

sche Verknüpfungspunktmessung erfolgreich durchgeführt werden kann. Standardmäßig gehen Programme wie Match-AT von Senkrechtaufnahmen aus. Aufgrund der hohen Dynamik der UAV-Plattform muss von starken Abweichungen vom Normalfall ausgegangen werden (siehe oben), so dass die üblicherweise implementierten Verfahren der Näherungswertbeschaffung unter Umständen nicht zur Lösung führen. In der neuen Programmversion von Match-AT ist die Näherungswertbeschaffung für die Orientierungselemente für UAV-Bildverbände erweitert worden, so dass sich unter Umständen die Notwendigkeit der SfM-Vorprozessierung der Bilder künftig erübrigt. In Match-AT erfolgen dann die manuelle Messung der Pass- und Verknüpfungspunkte und die weitere Auswertung nach dem Standardverfahren.

Eine ausschließliche Auswertung der Bilder basierend auf dem SfM-Verfahren ist möglich, sofern ein Übergang in das Koordinatensystem der Landesvermessung erfolgen kann. Diese Funktionalität bietet beispielsweise die Software Pix4D Software. Sie basiert auf SfM-Verfahren und realisiert die quasi vollständige automatische Auswertung von Bildern von der Georeferenzierung bis zu dichten Oberflächenmodellen (KÜNG et al. 2011). Der Datumsübergang wird durch manuelle Passpunktmessung realisiert oder erfolgt über die direkt gemessenen GPS-Projektionszentrumskordinaten. Eine nachfolgende Aero-triangulation, wie sie hier mit Match-AT vorgenommen wurde, ist nicht mehr notwendig. Eine parallele Auswertung des Datenmaterials mit einer derartigen Software wurde nicht durchgeführt.

4.3 Automatische Aero-triangulation

Die Aero-triangulation der beiden Bildverbände wurde mit der Software Match-AT von Trimble/inpho durchgeführt. Das Match-AT-Projekt wurde mit den Resultaten aus der SfM-Auswertung aufgesetzt. Anschließend erfolgt die manuelle Messung aller signalisierten Punkte. Durch die hohe Überlappung zwischen den Bildern können bis zu 30-fach verknüpfte Punkte bestimmt werden. Anschließend müssen die automatischen Verknüp-

fungen hergestellt werden. Dazu wurden zunächst die bereits durch SfM über SIFT durchgeführten Punktzuordnungen nach Match-AT importiert und eine passpunktbasierte Auswertung durchgeführt (SfM-Pkte). Die Ergebnisse befinden sich in Tab. 1. Die Tabelle zeigt neben der Anzahl der verwendeten Pass- und Kontrollpunkte (PP/KP) und dem geschätzten Wert von σ_0 die mittlere geschätzte Genauigkeit (Standardabweichung, innere Genauigkeit) der Geländepunkte und die RMS-Werte aus den Differenzen an den Kontrollpunkten (äußere Genauigkeit). Das σ_0 der AT mit Verwendung der SfM-Verknüpfung liegt für beide Bildflüge im Bereich von knapp besser 1 pix, was sehr gut mit der zu erwartenden Genauigkeit der SIFT-Punktzuordnung korrespondiert. Bei SIFT handelt es sich um eine merkmalsbasierte Punktzuordnung. Wird die Punktübertragung mit Match-AT vorgenommen, d. h. eine Kombination von merkmalsbasierter und zusätzlicher grauwertbasierter Zuordnung (AAT-Pkte), werden zwar wesentlich weniger Verknüpfungspunkte gefunden. Die Qualität dieser Zuordnung ist aber deutlich besser und liegt im Bereich von 1/3 pix. Prinzipiell wäre es natürlich auch möglich, die gefundenen SIFT-Punkte aus dem SfM durch eine nachgeschaltete grauwertbasierte Zuordnung zu verbessern (REMONDINO 2006). Dieses wurde hier aber nicht vorgenommen. Die oben genannten Werte für σ_0 ergaben sich sowohl für den Canon- als auch für den Ricoh/Zeiss-Flug. Die höhere Qualität der Punktzuordnung wirkt sich auch positiv auf die innere und äußere Genauigkeit der Objektpunktbestimmung aus. Im Vergleich zur nominellen Bodenpixelgröße von 4,5 cm – 7,3 cm liegen die absoluten Genauigkeiten im deutlichen Sub-Pixel Bereich, wobei sich kaum Unterschiede in den Objektpunktgenauigkeiten aus Canon- bzw. Ricoh/Zeiss-Auswertung erkennen lassen. Dies ist insofern erstaunlich, als dass im Rahmen der Auflösungsuntersuchungen der beiden Kameras (CRAMER et al. 2013a) Qualitätsunterschiede beim Auflösungspotenzial des Ricoh/Zeiss-Systems im Vergleich zur Canon-Kamera nachgewiesen wurden. Bei den Vergleichen zwischen beiden Systemen muss aber berücksichtigt werden, dass die realisierte Match-AT-Verknüpfung für den Canon-Bildflug im Frühjahr vor Einsetzen

der Belaubung im Vergleich zur Befliegung mit der Ricoh/Zeiss-Kamera bei voller Belaubung im Hochsommer deutlich besser ist. Der Einfluss der Vegetation ist auch aus Standard-Photogrammetrie-Anwendungen bekannt. Die SIFT-Punktzuordnung ist weniger anfällig gegenüber Störungen durch Vegetation, was sich an der in beiden Fällen deutlich größeren Anzahl von Verknüpfungspunkten zeigt. Für die Ricoh/Zeiss-AT wurden die SfM-Punkte auf 27.367 Punkte ausgedünnt. Ursprünglich wurden 103.787 Punkte durch das SfM-Verfahren erzeugt, wobei die eigentliche SIFT-Punktzuordnung gar nicht bis zu untersten Pyramidenstufe (maximale Auflösung) fortgesetzt wurde, da sonst für den Ricoh/Zeiss-Flug deutlich über 300.000 Punkte generiert worden wären. Dies zeigt die bessere radiometrische Qualität der Ricoh/Zeiss-Bilder.

Für beide Bildverbände wurde auch die Rolle von Zusatzparametern in der AT untersucht. Zur Anwendung kamen die Polynommodelle von Ebner (12 Parameter (SC 12)) und Grün (44 Parameter (SC 44)), die in Match-AT implementiert sind. Für die Ricoh/Zeiss-Konfiguration zeigen sich im Objektraum kaum Veränderungen. Die Absolutdifferenzen an den Kontrollpunkten scheinen eher etwas größer zu werden. Für die Canon ist eine leicht-

te Verbesserung der RMS-Werte, vor allem in der Vertikalen zu erkennen. Insgesamt ist nur ein geringer Einfluss der Zusatzparameter sichtbar, was auf die gute Vorabkorrektur der Bilder und eine ausreichende geometrische Stabilität der Kamera hinweist.

Abschließend wurde für die Ricoh/Zeiss-Befliegung eine GPS-gestützte AT bei signifikant reduzierter Passpunktanzahl durchgeführt. Aufgrund von streifenabhängigen Systematiken zwischen GPS und Photogrammetrie wurden je Flugstreifen Offset und Driftkorrekturen für die GPS-Projektionszentren angesetzt. Die für die GPS-Positionen in der AT geschätzten RMS-Werte nach Offset/Driftkorrektur betragen je ca. 0,45 m für Ost-, Nord- und Vertikalkoordinate. Details zur eingesetzten GPS-Hardware und Trajektorienberechnung finden sich in CRAMER et al. (2013a). Die erzielten Objektraumgenauigkeiten sind im Vergleich zur rein passpunktbasierten Auswertung mit vielen Passpunkten etwa um den Faktor 1,5 schlechter. Eine GPS-gestützte AT mit nur 4 Passpunkten in den Blockecken ist zwar möglich. Bei der hier vorliegenden Qualität der GPS-Trajektorienbestimmung müssen aber Einbußen in der Genauigkeit hingenommen werden.

Tab. 1: Ergebnisse der Aerotriangulation mit Match-AT.

	PP/KP	σ_0 (pix)	Std.Abw. (m)			RMS (m) (aus KP)		
			Ost	Nord	Vertikal	Ost	Nord	Vertikal
<i>Canon, 202 Bilder</i> SfM-Pkte (Anzahl: 165.970)	22/11	0,7	0,036	0,032	0,141	0,050	0,037	0,095
AAT-Pkte (Anzahl: 8.011)	22/11	0,3	0,008	0,007	0,024	0,030	0,023	0,050
AAT-Pkte, SC 12	22/11	0,3	0,007	0,007	0,022	0,024	0,021	0,044
AAT-Pkte, SC 44	22/11	0,3	0,007	0,007	0,022	0,022	0,021	0,037
<i>Ricoh/Zeiss, 190 Bilder</i> SfM-Pkte (Anzahl: 27.367)	22/11	0,7	0,034	0,030	0,110	0,031	0,037	0,058
AAT-Pkte (Anzahl: 1.439)	22/11	0,3	0,018	0,015	0,049	0,029	0,024	0,043
AAT-Pkte, SC 12	22/11	0,3	0,018	0,015	0,048	0,028	0,028	0,051
AAT-Pkte, SC 44	22/11	0,3	0,017	0,015	0,048	0,027	0,029	0,051
AAT-Pkte, GPS, Off/Drift	4/29	0,3	0,024	0,021	0,062	0,040	0,074	0,083

4.4 Generierung dichter Oberflächenmodelle

Für die Erzeugung dichter 3D-Punktwolken und Oberflächenmodelle wurde ein Ansatz basierend auf dem Semi-Global Matching Verfahren von HIRSCHMÜLLER (2008) genutzt. Dieses Verfahren führt eine Stereozuordnung für jedes einzelne Pixel durch und erzeugt somit sehr dichte 3D-Punktwolken. Darüber hinaus ermöglichen die sich stark überlappenden Bildverbände eine kombinierte pixelweise Zuordnung mehrerer sich überdeckender Stereobildpaare. Somit stehen pro Pixel mehrere redundante Stereomessungen zur Verfügung, was eine erhebliche Steigerung von Genauigkeit, Vollständigkeit und Zuverlässigkeit der daraus abgeleiteten 3D-Punktwolke ermöglicht (HAALA 2011). Aus Bildern großformatiger digitaler Luftbildkamerasysteme können so 3D-Punktwolken mit einer Genauigkeit im Subpixelbereich gewonnen werden (HAALA & ROTHERMEL 2012a/b). Analog zu diesen Untersuchungen wurde zur Auswertung der UAV-Aufnahmen das am Institut für Photogrammetrie entwickelte System SURE (ROTHERMEL et al. 2012) eingesetzt. Dabei konnten aufgrund der ähnlichen Blockkonfiguration für die Aufnahmen mit der Canon IXUS 100 und der Ricoh/Zeiss beide Datensätze mit identischer Parametrisierung für die Auswahl der Stereopaare, die dichte Zuordnung und die Triangulation prozessiert werden. Mittlerweile existieren verschiedene Implementierungen zur bildbasierten Erzeugung dichter 3D-Punktwolken, die aktuell in einem Vergleichstest auf ihr Genauigkeitspotenzial hin untersucht werden. Dieser Test wurde von der EuroSDR (European Spatial Data Research) initiiert. Eine abschließende Publikation über diesen Test steht noch aus. Der aktuelle Status kann unter EUROSDR (2013) eingesehen werden.

Üblicherweise ermöglichen Befliegungen mit großformatigen Luftbildkamerasystemen vor allem in Kombination mit einer stabilisierten Plattform eine gute Übereinstimmung zwischen geplanter und tatsächlich erfasster Bildüberdeckung. Im Gegensatz dazu verursacht die relativ große Bewegungsdynamik einer UAV-Plattform häufig eine vergleichs-

weise heterogene Überdeckung der erfassten Bilder. Um dennoch eine automatisierte Auswahl optimaler Bildpaare für die dichte Zuordnung zu ermöglichen, wurde ein Initialisierungsschritt realisiert. Hierfür wurden zunächst alle Bilder des Blocks auf 1/256 der ursprünglichen Auflösung reduziert. Aus Bildpaaren, deren Projektionszentren nicht weiter als 150 m voneinander entfernt lagen, wurden dann Stereomodelle gebildet, um 3D-Punkte zu bestimmen. Die aus allen Stereomodellen kombinierte und auf einen Punktabstand von 3 m ausgedünnte Punktwolke diente der Analyse der Schnittgeometrie der unterschiedlichen Bilder und der anschließenden automatischen Festlegung der nach Überlappung und Schnittwinkel optimalen Stereobildpaare. Mit diesen Stereomodellen wurde schließlich die Bestimmung der 3D-Punkte in der höchsten Auflösung wiederholt.

Für die Ricoh/Zeiss-Befliegung ergaben sich aus dieser Initialisierung für jedes der 190 Bilder bis zu 24 Stereomodelle. Insgesamt wurden so 2003 Bildpaare generiert und zur Oberflächenrekonstruktion genutzt. Analog dazu ergaben sich für den Canon-Bildverband mit 207 Bildern insgesamt 2170 Stereopaare. Da aufgrund der großen Überdeckung für jedes Pixel eines Basisbildes mehrere mögliche Stereopartner zur Verfügung standen, war eine hoch redundante Bestimmung des zugehörigen 3D-Punktes möglich. Dabei wurden fehlerhafte Parallaxenschätzungen eliminiert und das Rauschen der erzeugten 3D-Punktwolke vermindert. Letztlich wurde ein 3D-Objektpunkt nur dann generiert, wenn er aus mindestens zwei Stereomodellen konsistent bestimmt werden konnte.

Aus diesen sehr dichten 3D-Punktwolken wurden dann Digitale Oberflächenmodelle (DOM) abgeleitet, wobei als Gitterweite des resultierenden Rasters die mittlere GSD der Flüge von 6 cm gewählt wurde. In der Regel standen pro Rasterzelle mehrere 3D-Punkte aus der dichten Stereozuordnung zur Verfügung. Um eine ausreichende Zuverlässigkeit des Gitters zu gewährleisten, wurde Zellen mit weniger als drei Punkten kein Höhenwert zugewiesen. Für alle anderen Zellen wurde aus den darin liegenden 3D-Punkten sowohl die Höhe als auch der Farbwert durch Bildung des Medians bestimmt. Die Abb. 5 zeigt ex-

emplarisch das aus der Ricoh/Zeiss-Befliegung generierte Oberflächenmodell für das Testgebiet. In den sehr steilen und sichteingeschränkten Bereichen, z. B. Felsen und Weinbergmauern, können aufgrund der senkrechten Blickrichtung keine Höhenwerte berechnet werden.

Zur Bestimmung des Rauschens der rekonstruierten Oberfläche wurden ebene Regionen genutzt. Geeignete 3D-Referenzobjekte, die eine absolute Kontrolle der Vertikalgenauig-

keit erlauben, standen im Befliegungsgebiet nicht zur Verfügung. Das Standard-DGM der Landesvermessung ist zu gering aufgelöst und kann mit seiner angegebenen Genauigkeit von besser als 0,5 m nicht als Referenz dienen. Für die Bestimmung des Punktrauschens wurden daher die in Abb. 6 dargestellten 30 Gebiete auf zwei Straßen manuell definiert. Aus den darin befindlichen Rasterpunkten wurde je eine Ebene durch Kleinste-Quadrate-Schätzung bestimmt, wobei der orthogonale



Abb. 5: Oberflächenmodell des Testgebiets aus Ricoh/Zeiss Befliegung.



	Straße oben	Straße unten
Canon	30 mm	42 mm
Ricoh	20 mm	22 mm
Canon 3σ	29 mm	40 mm
Ricoh 3σ	19 mm	21 mm

(Relative) Vertikalgenauigkeit
DOM (Std. Abw.)

Abb. 6: Ebene Testbereiche zur Bestimmung des Punktrauschens und ermittelte Genauigkeiten (Standardabweichung).

Punkt-zu-Ebenen-Abstand minimiert wurde. Eine mögliche Wölbung der Straßenoberfläche quer zur Fahrtrichtung (Fahrbahnprofil) wird hierbei vernachlässigt. Aufgrund des variierenden Bildmaßstabs wurden Gebiete von unterer und oberer Straße getrennt untersucht. Für den Canon-Flug ergab sich für die obere Straße mit einer GSD von 6 cm eine Standardabweichung von 30 mm. Für die untere Straße mit einer GSD von 8 cm betrug die Standardabweichung 42 mm. Für den Ricoh/Zeiss-Datensatz ergaben sich für die obere Straße 20 mm und die untere Straße 22 mm. Zur Eliminierung potenzieller Ausreißer wurden alle Punkte mit Abständen $> 3\sigma$ eliminiert und Standardabweichungen aus den verbleibenden Punkten erneut berechnet. Dabei ergaben sich für den Canon-Flug 29 mm und 40 mm für die obere und untere Straße, bei der Ricoh/Zeiss-Befliegung lagen die Werte bei 19 mm und 21 mm.

Generell führte die Stereozuordnung mittels SGM in Bereichen mit geringer Textur, wie sie in den 30 Testregionen vorlag, eher zu einer Glättung der rekonstruierten Oberfläche, so dass die Werte mit stark variierenden Höhen ein etwas stärkeres Messrauschen aufweisen dürften. Dennoch ist die Standardabweichung (Rauschen) für den Ricoh/Zeiss-Flug im Bereich von $\frac{1}{2}$ GSD durchaus beeindruckend.

5 Aufstiegsgenehmigung

Die in den vorangegangenen Kapiteln dargestellten Ergebnisse der Untersuchungen zur UAV-gestützten Geodatenerfassung in der Landesvermessung haben deutlich gezeigt, dass aus technologischer Sicht UAVs erstmals eine Möglichkeit zur kleinräumigen, aktuellen und flexiblen Aufnahme von entsprechenden Projektgebieten liefern. Derartige Aufnahmeverfahren standen bislang noch nicht zur Verfügung, vor allem wenn man den vergleichsweise niedrigen Kostenrahmen betrachtet.

Ein limitierender Faktor ist allerdings das Verfahren zur Erlangung von Aufstiegsgenehmigungen für UAVs, zumindest zum Zeitpunkt der in 2012 durchgeführten Flugbeantragung. Für die Durchführung der Befliegung

Hessigheim wurde das komplette Verfahren zur Erlangung einer Einzelaufstiegserlaubnis beim Regierungspräsidium Stuttgart durchlaufen. Die Erteilung der Aufstiegserlaubnis hat sich letztlich über einen Zeitraum von ca. 2 Monaten hingezogen. Genehmigt wurde dann ein nur 2 x 15-minütiges Flugfenster, zuzüglich Funktionstest. Die zum Teil sehr restriktiven Auflagen waren de facto vor Ort kaum erfüllbar, obwohl die Hauptzufahrtswege in das Projektgebiet durch Aufsichtspersonal für den Flugzeitraum bestmöglich abgesperrt wurden.

Da die Aufstiegsgenehmigung als Einzelfallentscheidung ausgesprochen wurde, muss ein derartiges Genehmigungsverfahren für eine ähnliche Befliegung in einem anderen Gebiet nochmals durchlaufen werden. Dieses schränkt den flexiblen Einsatz von UAV momentan noch stark ein.

Allerdings sind auf verschiedenen nationalen und internationalen Ebenen intensive Bestrebungen im Gange, UAVs als Flugzeuge in den Luftraum zu integrieren und die Verfahren zur Aufstiegsgenehmigung zu harmonisieren und zu vereinfachen. Praktisch zeitgleich zu dem hier durchgeführten Antragsverfahren hat das Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung im Juni 2012 gemeinsame Grundsätze des Bundes und der Länder für die Erteilung der Erlaubnis zum Aufstieg von unbemannten Luftfahrtsystemen veröffentlicht (BMVBS 2012). Anhand dieser Grundsätze wird nun auch in Baden-Württemberg über die Aufstiegserlaubnis entschieden. Die Anwendbarkeit der Richtlinie beschränkt sich auf folgende Kriterien:

- Sichtkontakt zum Steuerer,
- keine ausschließliche Nutzung für Sport oder Freizeitgestaltung,
- maximale Flughöhe von 100 m über Grund,
- Gesamtmasse maximal 25 kg.

Im Rahmen dieser Grundsätze können die Länder nun eine Allgemeinerlaubnis zum Aufstieg von unbemannten Luftfahrtsystemen bis zu 5 kg Gesamtmasse erteilen. Diese allgemeine Fluggenehmigung soll laut Empfehlung für zwei Jahre und länderübergreifend gelten. In der derzeitigen Verwaltungspraxis ist die Erlaubnis jedoch in einem Bundesland zu beantragen und wird dann in den meisten anderen, aber nicht allen, anerkannt. Die Dauer der

Gültigkeit variiert je nach Bundesland zwischen einem und drei Jahren. Ähnliche Unterschiede gelten für die Bearbeitungsgebühren. Abweichungen von den Kriterien der Allgemeinerlaubnis, z. B. bei Flug über Ortschaften oder in größeren Flughöhen, machen weiterhin Einzelbeantragungen notwendig. Die allgemeine Aufstiegserlaubnis soll zukünftig auf Fluggeräte bis 25 kg erweitert werden.

Parallel hat die UAV-Dach (Deutschsprachige Arbeitsgruppe für Unbemannte Luftfahrzeuge (UAV), (UAV-DACH 2013) und der BDLI (Bundesverband deutscher Luft- und Raumfahrtindustrie, BDLI 2013) ein Konzept zum sicheren Betrieb von unbemannten Luftfahrtsystemen (UAS) unter 150 kg erarbeitet. Dieses Dokument ist dem BMVBS Anfang 2013 zugesandt worden. Es dreht sich hierbei um die weitere Klassifikation der UAVs und die Zuweisung von klassenindividuellen Gefährdungspotenzialen. Aufgrund derartiger Dokumente und Initiativen wird in wenigen Jahren ein einheitliches Verfahren für die UAV-Aufstiegsgenehmigungen erwartet.

Auch auf europäischer Ebene finden entsprechende Harmonisierungen statt. Hier sind die Initiativen im Rahmen der EU, z. B. Commission Staff Working Document „Towards a European strategy for the development of civil applications of Remotely Piloted Aircraft Systems (RPAS)“ (EU 2013) oder die Arbeiten im Rahmen von JARUS (JARUS 2013), zu nennen. Bereits im Sommer 2013 soll die EU-Roadmap zur Integration von UAV in den Luftraum vorgelegt werden. Ab 2016 soll laut EU die europaweite Integration von UAV in den Luftraum erfolgen. Damit werden UAV-Anwendungen mittelfristig auch aus genehmigungstechnischer Sicht einfacher und grenzüberschreitend durchführbar sein.

6 Zusammenfassung

Im Rahmen des Pilotprojekts UAV@LGL wurde erstmals im Rahmen deutscher Vermessungsverwaltungen die Verwendung von UAVs für Anwendungen der Landesvermessung untersucht.

Die Bilder wurden mit zwei unterschiedlichen Kamerasystemen über dem Projektgebiet erfasst und ausgewertet. Die Bildorientierung

wurde mit Standard-AT-Programmen durchgeführt. Lediglich die vor-Ort-Kamerakalibrierung und Vororientierung bedingen einen gewissen Mehraufwand. Für diese sind zusätzliche Software bzw. andere Ansätze notwendig (SfM-Verfahren). Es ist jedoch davon auszugehen, dass klassische AT-Programme in naher Zukunft zumindest um diese SfM-Verfahren ergänzt werden. Die dichte Punktwolkengenerierung wurde ebenfalls sehr zeitnah in photogrammetrische Arbeitsabläufe integriert. Es wurde der Nachweis erbracht, dass auch mit relativ einfachen Kamera- und Trägersystemen 3D-Objektpunktbestimmungen im Sub-Pixelbereich (absolute Genauigkeit) möglich sind.

Die 3D-Oberflächenmodelle wurden mit Verfahren des Dense-Matching flächendeckend mit höchster Auflösung generiert. Für jedes Pixel liegt ein Höhenwert vor. Damit kann das Oberflächenmodell mit einer Rasterweite von einem Pixel (6 cm) generiert werden. Für die Oberflächenmodellgenerierung konnten relative Höhengenaugigkeiten (Rauschen) im Bereich von $\frac{1}{2}$ Pixel (Standardabweichung) nachgewiesen werden.

Eine explizite Modellierung von touristischen oder topographischen 3D-Landmarken, hier z. B. Kletterfelsen, wurde nicht durchgeführt, da die Bildaufnahme aus Starrflüglern vor allem für steile Regionen durch Schrägbilder ergänzt werden sollte. Prinzipiell ist festzuhalten, dass für eine derartige Anwendung Rotorflügler zu bevorzugen sind, da man mit diesen flexiblere Flugpfade kreisförmig um das aufzunehmende Objekt mit quasi beliebig dichter Bildüberdeckung realisieren kann.

Aufgrund der Resultate der Studie kann die UAV-gestützte Datenerfassung in operationellen Anwendungen der Landesvermessung als erfolgreich betrachtet werden. Die geforderten Produkte wurden abgeleitet, die Genauigkeiten konnten übererfüllt werden. Die flexible Verwendung derartiger Plattformen wurde jedoch durch das zum Zeitpunkt der Flugbeantragung geltende Genehmigungsverfahren zur Erlangung einer Aufstiegserlaubnis limitiert. Es ist aber davon auszugehen, dass sich in den nächsten Jahren weitere Änderungen bei den Verfahren zur Erlangung von Aufstiegsgenehmigungen ergeben.

Danksagung

Unser besonderer Dank gilt dem LGL Baden-Württemberg für die Finanzierung dieser Studie. Viele LGL-Mitarbeiter haben uns in der praktischen Durchführung der Studie jederzeit bestmöglich unterstützt. Dank gilt auch den Kollegen vom iFR der Universität Stuttgart, ohne die diese UAV-Befliegungen nicht durchführbar gewesen wären.

Literatur

- ABDEL-WAHAB, M., WENZEL, K. & FRITSCH, D., 2011: Reconstruction of Orientation and Geometry from large Unordered Datasets for Low Cost Applications. – LC3D Workshop, Berlin.
- ABDEL-WAHAB, M., WENZEL, K. & FRITSCH, D., 2012: Efficient Reconstruction of Large Unordered Image Datasets for High Accuracy Photogrammetric Applications. – ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences **I** (3): 1–6, Melbourne, Australia.
- BDLI, 2013: <http://www.bdli.de/> (18.6.2013).
- BLYENBURGH, P., 2012: RPAS Yearbook 2012/13 – The global perspective, http://www.uvs-info.com/index.php?option=com_content&view=article&id=244&Itemid=280 (18.6.2013).
- BMVBS, 2012: http://www.luftverkehr.de/index.php?option=com_content&view=article&catid=63:brd-bekanntmachungen-nfl-1&id=2109:c2012-1-161 (18.6.2013).
- BORMATEC, 2013: http://bormatec.com/index.php?option=com_content&view=article&id=78&Itemid=59&lang=en (18.6.2013).
- CRAMER, M. & HAALA, N., 2012: Genauigkeitspotential der photogrammetrischen Bildauswertung für Daten unbemannter Luftfahrzeuge. – 32. DGPF-Jahrestagung: 428–440, Potsdam.
- CRAMER, M., HAALA, N., ROTHERMEL, M., LEINSS, B. & FRITSCH, D., 2013a: UAV-gestützte Datenerfassung für Anwendungen der Landesvermessung – das Hessigheim-Projekt. – 33. DGPF-Jahrestagung, 3-Ländertagung: 450–469, Freiburg.
- CRAMER, M., BOVET, S., GÜTLINGER, M., HONKAVAARA, E., MCGILL, A., RIJSDIJK, M., TABOR, M. & TOURNADRE, V., 2013b: On the use of RPAS in national mapping – the EuroSDR point of view. – UAV-g 2013: Rostock, Beitrag eingereicht.
- EU, 2013: <http://register.consilium.europa.eu/pdf/en/12/st13/st13438.en12.pdf> (18.6.2013).
- EUROSDR, 2013: <http://www.ifp.uni-stuttgart.de/euroedr/ImageMatching/index.en.htm7> (18.6.2013).
- FARENZENA, M., FUSIELLO, A. & GHERARDI, R., 2009: Structure and motion pipeline on a hierarchical cluster tree. – ICCV Workshop on 3-D Digital Imaging and Modeling: 1489–1496.
- HAALA, N., 2011: Multiray Photogrammetry and Dense Image Matching. – FRITSCH, D. (ed.): Photogrammetric Week '11: 185–195, Wichmann.
- HAALA, N. & ROTHERMEL, M., 2012a: Dense Multiple Stereo Matching of Highly Overlapping UAV Imagery. – The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences **XXXIX** (B1): 387–392, Melbourne, Australia.
- HAALA, N. & ROTHERMEL, M., 2012b: Dense Multi-Stereo Matching for High Quality Digital Elevation Models. – PFG – Photogrammetrie, Fernerkundung, Geoinformation **2012** (4): 331–343.
- HIRSCHMÜLLER, H., 2008: Stereo Processing by Semi-Global Matching and Mutual Information. – IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence **30** (2): 328–341.
- ICAO, 2011: ICAO Cir 328, Unmanned Aircraft Systems (UAS), Order Number: CIR328, http://www.icao.int/Meetings/UAS/Documents/Circular%20328_en.pdf (18.6.2013).
- JARUS, 2012: <http://www.jarus-rpas.org/> (18.6.2013).
- MANYOKY, M., THEILER, P., STEUDLER, D. & EISENBEISS, H., 2012: Anwendung von UAVs in der Katastervermessung. – AVN (Allgemeine Vermessungsnachrichten) **2012** (1): 24–28.
- KÜNG, O., STRECHA, C., BEYELER, A., ZUFFEREY, J.-C., FLOREANO, D., FUA, P. & GERVAIX, F., 2011: The accuracy of automatic photogrammetric techniques on ultra-light UAV imagery. – IAPRS **XXXVIII-1/C22**, UAV-g 2011: 1–6, Zurich, Switzerland.
- REMONDINO, F., 2006: Detectors and descriptors for photogrammetric applications. – IAPRS **XXXVI** (3): 1–6, Bonn.
- ROTHERMEL, M., WENZEL, K., FRITSCH, D. & HAALA, N., 2012: SURE: Photogrammetric Surface Reconstruction from Imagery. – LC3D Workshop 2012, Berlin.
- SNAVELY, N., SEITZ, S. & SZELISKI, R., 2008: Modeling the World from Internet Photo Collections. – International Journal of Computer Vision **80** (2): 189–210.
- UAV-DACH, 2013: <http://www.uavdach.org/> (18.6.2013).
- VAN HINGSBERG, W., RIJSDIJK, M. & WITTEVEEN, W., 2013: UAS for cadastral applications. – GIM International **27** (3): 20–25, http://www.gim-international.com/issues/articles/id1968-UASs_for_Cadastral_Applications.html (18.6.2013).

Adressen der Autoren:

Dr.-Ing. MICHAEL CRAMER, Prof. Dr.-Ing. NORBERT HAALA, Dipl.-Ing. MATHIAS ROTHERMEL, Prof. Dr.-Ing. DIETER FRITSCH, Universität Stuttgart, Institut für Photogrammetrie (ifp), D-70174 Stuttgart, Tel.: +49-711-685-84118, -83383, -84094, -83386, e-mail: {michael.cramer}{norbert.haala}{mathias.rothermel}{dieter.fritsch}@ifp.uni-stuttgart.de

and. geod. BENEDIKT LEINSS, Ödweilerhofstraße 8, D-73104 Börlingen, e-mail: ben.leinss@web.de

Manuskript eingereicht: April 2013
Angenommen: Juni 2013



Cornice Detection Using Façade Image and Point Cloud

WOLFGANG BRANDENBURGER, Euskirchen, MARTIN DRAUSCHKE & HELMUT MAYER,
Neubiberg

Keywords: architectural model, LOD3, façade interpretation, window detection, RANSAC

Summary: We propose an approach for the automatic detection of cornice structures above windows. It combines the edges from a rectified façade image and the geometrical information of a 3D point cloud derived from a set of images, e.g. using MAYER et al. (2012). Based on the detection of the façade plane in the point cloud and the segmentation of its outline we detect windows to restrict the search space for cornices. Analysing the 3D points as well as the detected edges we are able to reliably distinguish between triangular, arch-shaped and horizontal cornices. This is demonstrated by experiments for façades from Freising, Munich and Schwabach.

Zusammenfassung: *Detektion von Fensterverdachungen in Fassadenbildern und Punktwolken.* In dieser Arbeit wird ein Ansatz für die automatische Detektion von Fensterverdachungen und Gesims vorgestellt. Dieser kombiniert die Kanten eines entzerrten Fassadenbildes mit der geometrischen Information einer 3D-Punktwolke, die aus einer Bildmenge abgeleitet wird, z. B. nach MAYER et al. (2012). Ausgehend von der Detektion der Fassadenwand als Ebene und der Bestimmung ihrer Begrenzung werden Fenster detektiert, um den Suchraum für Verdachungen einzuschränken. Durch Analyse der 3D-Punkte und der detektierten Kanten kann zuverlässig zwischen bogenförmigen Fensterverdachungen, Dreiecksgiebeln und Gesims unterschieden werden. Das wird in Experimenten auf Fassaden aus Freising, München und Schwabach gezeigt.

1 Introduction

Three-dimensional (3D) city models are often used for tourism or for architecture and city planning. Especially in these domains, building models with details such as façade ornaments can be very important for a realistic visual appearance.

As state-of-the-art, most buildings in larger cities are modelled in a simple way, often with level of detail (LOD) 1 or 2 according to the CityGML standard (GRÖGER et al. 2012). This means that they only consist of planar walls possibly texturized using a façade image, and simple roof structures. Often only landmarks and important tourist locations of a city are manually modelled with more details as the automatic enrichment of building models with façade details (LOD3) is a very challenging research goal in photogrammetry and com-

puter vision. The Internet of things is another application for high resolution interpreted 3D scenes. According to LEBERL et al. (2012), information down to 3 cm resolution is needed for virtual navigation through urban spaces. Therefore, also the recognition of small details on building façades will be required for realistic models of the environment.

LEBERL et al. (2012) derive large and highly detailed 3D models of urban spaces from various data sources. Aerial images are used to generate coarse building and landscape models, whereas laser scans and terrestrial images from mobile sensing platforms are employed for the determination of models with more detail. If these results can be merged with future results of automated approaches for the interpretation of façades such as HOHMANN et al. (2009), the combination will make automatic

building modelling feasible both at city scale and at an individual building scale.

Due to the reliance on laser scans, a large budget is required for city modelling using the methods described in HOHMANN et al. (2009). In contrast, MAYER et al. (2012) show a more affordable way for obtaining information about 3D geometry. They combine terrestrial images and possibly images from unmanned aircraft systems to generate highly precise point clouds whose point densities are high enough to reconstruct building surfaces (NGUATEM et al. 2012).

In this article, we present an approach for detecting cornices at façades using terrestrial images and point clouds derived from such images. It is structured as follows: In section 2, we review recent work on detecting façade parts in images or point clouds. Façade plane and window detection are summarized in section 3, before we present our new approach for cornice detection in section 4. After presenting experiments in section 5, we conclude with suggestions for future work in section 6.

2 Related Work on Automatic Detection of Architectural Elements

In this section, we give an overview on recent work regarding the detection of façade parts in images. Some authors propose to increase the detection rate by making use of the multiple occurrences of many façade elements such as windows. This leads to grammar-based approaches which are mainly used for interpreting entire façades. Because this is a recent trend, we also review work on façade parts in 3D.

LEE & NEVATIA (2004) is one of the more recent publications on the automatic detection of windows in images. Their approach is limited to façades with a regular placement of windows, because they analyse cumulative image gradients in column and row direction. Furthermore, their approach is usually applied to low resolution projections of aerial images on façade planes, whose vertical alignment is known. Thus, terrestrial façade images are often too challenging for this approach. REZNIK & MAYER (2008) particularly

focus on this later type of images. An implicit shape model (ISM) is used to derive window centres and window borders from already recognized window corners. Furthermore, the information criterion from AKAIKE (1973) is applied for improving the alignment of windows by arranging them in a row or column structure. This approach has two important limitations: Firstly, it does not perform well if windows are different in size, and secondly, windows with round arches cannot be detected. Both approaches, LEE & NEVATIA (2004) as well as REZNIK & MAYER (2008), analyse individual windows, and the results are integrated into 3D building models including the depth of the windows.

The following three papers only use single façade views without any 3D information. WENZEL & FÖRSTNER (2012) propose a bag-of-words approach to detect façade parts. They aggregate segmented edges to curves and compare those with previously learnt aggregates. Thus, façade parts limited to windows, entrances and balconies are identified. Another general approach for detecting visibly distinguishable elements of façades has been proposed by JAHANGIRI & PETROU (2008). Various blob-like image structures are detected. Auto-correlation between the detected elements is performed to determine candidate vectors for repetitions. Since windows are often the most frequent façade parts, the main modes of the autocorrelation function correspond to repetitive window patterns. Therefore, their regular structure can be used to improve the extraction results with respect to the window alignments. We think that it is possible to detect cornices in high resolution images employing this procedure, but then also many other blob-like structures will probably be obtained as false detections. A similar procedure for detecting repetitive façade parts has been proposed by ZENG et al. (2011). As they focus on larger entities such as windows surrounded by shutters, cornices as well as the plain wall, their approach is not applicable to detect cornices only.

We know about only one work which explicitly tried to detect cornices in images without using 3D information. In an internal note, ŠOCHMAN (2007) confesses that his workflow using Haar-like features does not work well

for detecting triangular cornices with a boosting classifier.

SIMON et al. (2011) proposed a grammar-based approach for segmenting a rectified façade image into non-overlapping parts such as windows, balustrades of balconies and doors. The façade is successively decomposed into parts using a grammar specifically designed for Haussmannian buildings in Paris, i.e., buildings constructed in the late 19th century Paris. For modern buildings or buildings of other styles a different grammar must be learnt. Thus, this approach cannot easily be transferred to buildings in other cities and from other epochs. RIPPERDA (2008) presented a more general approach for façade interpretation, and furthermore, she combines image and depth information from laser scans. She focuses on windows and doors, although her grammar seems to have potential to model the window's surrounding including artistic façade parts such as cornices, analogously to WONKA et al. (2003).

BECKER & HAALA (2008) employ laser scans to automatically detect windows with mullions and transoms. They decompose the façade into cells and try to find homogeneous parts representing the plain wall, the window pane or parts along 3D edges representing window borders. The cells are merged to model the façade with windows and doors. The depth of these façade parts is determined by reconstructing 3D edges from an image pair. Although BECKER & HAALA (2008) were able to reconstruct details of windows behind the wall, they did not model anything in front of the wall.

HOHMANN et al. (2009) present the project CityFit, which has the goal of an automatic reconstruction of the entire city of Graz from mobile laser scans and images. Although the scope of the project also comprises the model-

ling of details such as cornices and other ornaments, only results for the automatic segmentation of modern, plain façades have been published so far.

BECKER & HAALA (2008) and REZNIK & MAYER (2008) demonstrate that 3D information is very helpful to reconstruct building façades showing windows slightly behind the wall. Thus, we think it could be also useful to detect façade parts such as cornices, which are outside the main plane corresponding to the wall, particularly in combination with image analysis.

3 Façade Plane and Window Detection

Our approach for façade interpretation is based on images acquired using hand-held consumer cameras. By means of the reconstruction technique of MAYER et al. (2012) we obtain a very precise 3D point cloud with a back projection error in the range of 0.1 to 0.2 pixels. This approach allows the reconstruction of a medium-density point cloud from wide baseline image sets combining feature-based least squares matching and robust bundle adjustment. We obtain only about 1% of the number of 3D points that could be acquired by dense matching, e.g., HIRSCHMÜLLER (2008). As will be shown in our experiments, this is often enough for achieving good results for detecting cornices.

As a first step for preprocessing the data, one of the images showing a façade of one building is selected and rectified by projecting it to the façade plane (Fig. 1). An individual façade is only interpreted by the related rectified image. In downtown scenes usually only one façade or at most two façades are visible, the latter if the building is situated at a corner



Fig. 1: Projection and homography matrix for mapping 3D points and pixels of the rectified image.

of a block. In the corner case, the façades must be selected one by one, and the preprocessing steps and the cornice detection have to be performed twice. So far, we manually determine a homography to rectify the selected view, but this step can also be done automatically following (MAYER 2007), if the vertical direction of the scene is known. The correspondence between point p_m of the point cloud and the pixel q_n in the rectified image is given by

$$q_n = H_k \cdot P_k \cdot p_m, \quad (1)$$

where P_k is the projection matrix for transferring a 3D point into the k^{th} image, and H_k is the homography for rectifying the k^{th} image (Fig. 1), i.e. relating the image coordinate reference system (crs) to another crs with its (X,Y) plane identical to the façade itself.

Our approach for cornice detection is based on two further automated preprocessing steps, for which the correspondence between the point cloud and the rectified image is assumed to be already established. We start with detecting the façade plane and continue with the detection of windows employing the gradient-based approach of LEE & NEVATIA (2004).

We approximately locate the façade plane in the point cloud using the RANSAC-based robust plane fitting approach by NGUATEM et al. (2012). RANSAC (FISCHLER & BOLLES 1981) yields correct approximations. However, they are not necessarily of high quality. As a consequence, we improve the plane detection by

the following steps, where we also consider the visual appearance of the 3D points near the façade.

Assuming, that we know the scale of the point cloud, we can extract the 3D points which are located at maximum 0.1 m in front of or behind the façade plane. In a following step we filter out all 3D points belonging to small structures such as ornaments and window frames in order to finally define the façade with an accuracy of a few millimetres. This is done by an inspection of the image trying to segment the wall of the façade without ornaments and windows, i.e., we analyse each pixel regarding the fulfilment of three conditions: 1) The intensity values in the neighbourhood have a small variance since unstructured parts of façades are often homogeneous regarding their radiometric intensity. 2) The distance of points in the neighbourhood of the plane is small. 3) The variance of these distances is also small. Additionally, morphological operations are used to remove isolated façade points and smooth the border of the segmented façade (Fig. 2). Using (1) we determine all 3D points lying on the segmented façade's wall and finally complete the plane detection by a least-squares adjustment using all those 3D points leading to a more precise façade plane. As a positive consequence, we are now able to identify 3D points which lie only slightly behind or in front of the plane.

After locating the façade plane, we manually extract the boundary of the façade restricted



Fig. 2: Segmentation of rectified façade image. We show all pixels which correspond to the façade plane in blue. They are homogeneous with respect to the intensity values. The corresponding 3D points are close to the plane and their variance with respect to the distance is low. In magenta we show the results of window detection and in red the detected triangular cornices.

to the upper floors in the rectified image, because windows at ground floor often look differently (RIPPERDA 2008), and we employ the window detection of LEE & NEVATIA (2004). Large façades in city centres and especially of historical buildings usually have regularly arranged windows. Thus, we expect reasonable results when locating windows by adding up gradients in row and column directions. In Fig. 2, the detected windows are shown. Their locations and sizes are not correct regarding the column direction, but the results still lie in an acceptable range. If a façade does not show an array-like window pattern, the gradient-based window detection might be substituted by the corner-based detection at the core of the ISM-based approach (REZNIK & MAYER 2008).

Concluding this section, in the preprocessing steps we have selected the image for façade interpretation, we have rectified it, and we have determined the correspondence between the 3D points of the point cloud and the pixels of the rectified image. Using this information, we are able to exactly detect the façade plane, to extract the upper floors, and to detect the windows.

4 Cornice Detection

4.1 Object Models and Search Space for Cornices

Cornices are façade parts which protrude from the façade plane, and lie directly above windows. They have no other function than decoration, supposed to make a façade appear livelier by casting little shadows (KOEPEF & BINDING 2005). Typically, the width of a cornice is directly related to the width of the window beneath with the cornice usually being a little bit wider. Furthermore, cornices typically have a moderate height. We consider relative position as well as size for cornice detection.

The three most frequently appearing types of cornices in central European cities are shown in Fig. 3. A *horizontal cornice* consists of a flat and thin roof. Sometimes smaller ornamental structures which protrude from the façade less prominently are below the roof. A *triangular cornice* shows a triangle with a horizontal base and two oblique sides of equal

length. Sometimes the base is a little bit behind the upper two roof sides, or it is replaced by artistical ornaments below the upper roof sides. An *arch-shaped cornice* shows the top part of an arch and is nearly always aligned with a horizontal edge below. Sometimes there are ornaments inside the arch. We model each detected cornice by one of the three shapes: a rectangle for horizontal cornices, a triangle for triangularly shaped cornices and a section of a circle above a chord for arch-shaped cornices.

When detecting windows using LEE & NEVATIA (2004) an array structure is obtained. We identify a detected window by the two indices i and j corresponding to the position in the array. Hence, we may parameterize each detected window W_{ij} by the four-tuple $(x_{ij}, y_{ij}, w_{ij}, h_{ij})$ describing the position of its centre (x_{ij}, y_{ij}) in the image and its spatial extents with width w_{ij} and height h_{ij} . We restrict the search space for cornices to the top border of window W_{ij} , the bottom line of the window above $W_{i-1,j}$ and the two windows $W_{i,j-1}$ and $W_{i,j+1}$ to the left and to the right (Fig. 3). If there are no neighbouring windows, the search space is restricted by the boundary of the façade.

We have analysed three strategies for cornice detection which are explained in the following subsections. Using the first strategy, we detect cornices by means of the structure of their appearance in the point cloud, while in

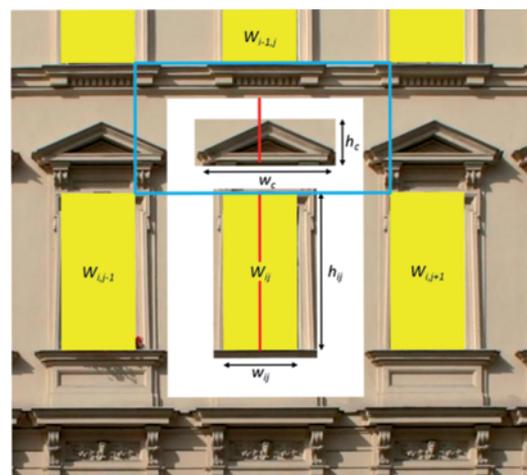


Fig. 3: Clipped façade view with detected windows in yellow and the search space for a cornice above window W_{ij} in blue and the centreline of window W_{ij} in red.

the second we detect cornices based on edge detection in the rectified image. The third strategy is based on a combination of the former two strategies. We have implemented all three strategies using the following parameters: Threshold θ_g is used for inspecting the protrusion of a hypothesis, the two parameters δ and ν are used for finding straight lines and arcs in an edge map, and the threshold θ_e is used for inspecting the position of a hypothesis in relation to the corresponding window.

4.2 Cornice Detection Based only on 3D Geometry

Firstly, we want to determine if the analysis of the 3D geometry of the point cloud corresponding to pixels in the search space is sufficient for cornice detection. For this purpose we discretised the search space into quadratic patches with the size $w_{ij}/10 \times w_{ij}/10$. For each patch we determine the average Euclidean distance of its corresponding 3D points from the façade plane. Significant ornaments in front of the wall will cover several patches, so that they will lead to a connected set of patches with an average distance above a threshold θ_g . We derive a binary image showing all patches with 3D points in front of the façade as foreground and use morphological operations to determine the patches forming the largest

connected component. This component is regarded as hypothesis for a cornice and we test if its width w_c and height h_c in the coordinate reference system of the rectified image fulfils the two constraints

$$w_{ij} \leq w_c \leq 2 * w_{ij}, \quad h_c \leq \frac{1}{2} h_{ij}. \quad (2)$$

If the test is successful, the foreground component is classified as a cornice. This method does not lead to a decision about the cornice type because the shape of a cornice can only be derived from its boundary, i.e. from detected edges.

4.3 Cornice Detection Based only on Edges in the Image

Here, we analyse extracted edges in the rectified image using (CANNY 1986). For obtaining robust results, we suppress small details by low-pass filtering. In the resulting edge map, we search for straight edges and arcs (Fig. 4). We employ RANSAC to estimate the parameters of a straight edge or an arc from a set of edge pixels. All candidates for straight lines or arcs are accepted for further analysis if they are supported by a number ν of connected pixels, i.e., these pixels are adjacent and have a distance to the straight edge or the arc of less than δ pixel.

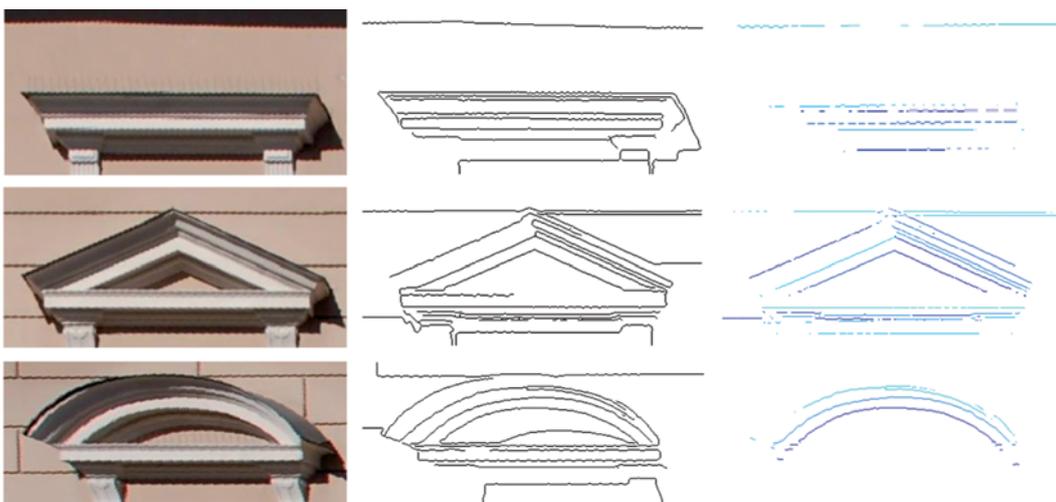


Fig. 4: RANSAC-based search for prominent straight edges and arcs. Left column: Image parts showing the three considered cornice types. Centre column: Edge maps obtained from CANNY (1986). Right column: Detected straight edges (both upper rows) and arcs (bottom row).

We remove all straight lines with an absolute angle larger than 45° to the horizontal line. We choose such a large value, because most triangular cornices are obtuse-angled, i.e., the angles with the base must be less than 45° . Similarly, we remove all arcs without any supporting edge pixels in the neighbourhood of the arc's zenith.

We implemented a simple decision tree to decide if the extracted lines and arcs provide sufficient evidence for the presence of a cornice. We first check if we can find arcs whose centre lie at maximum θ_e pixels away from the vertical centreline of the detected window below the search space (Fig. 3). If there is also a horizontal line below an arc, this combination of the arc and the horizontal line is considered to be a hypothesis for an arch-shaped cornice. Otherwise, we check if there is a triangular cornice. This is true if we find two straight lines with equal absolute slope that are symmetrical to a vertical line and whose intersection is less than θ_e pixels away from the vertical centreline of the corresponding window. If there is also a horizontal line below this line pair, a hypothesis for a triangular cornice is generated. All possible hypotheses for triangular cornices are collected and analysed in an additional step. If no triangular cornice can be found, we finally check for a horizontal cornice. In this case, we must find at least two horizontal (parallel) edges.

If several line pairs or arcs fulfil the detection criterion of the decision tree, we first select all hypotheses which are symmetric with respect to the window's centreline, and we se-

lect the hypothesis whose top corner is highest above the window as the final result. Different cornice shapes do not have to be considered, because this hypothesis selection is performed in one of the steps of the decision tree. In all three cases we also determine the tolerance range depending on the perspective distortion of the original image, because we have to deal with small distortions concerning all objects in front of the façade plane (Fig. 3) since we only determined a homography instead of constructing an orthophoto.

4.4 Combination of 3D-Geometry and Edges in the Image

The performance of the cornice detection approach based on extracted edges depends on the values of the parameters θ_e , δ and ν (rectilinearity and symmetry of the cornice to the window) while the performance of the approach based on 3D geometry depends on the allowed ranges of the cornice's width w_c and height h_c and on the value of the parameter θ_g (third dimension). First, we implemented the edge detection and carefully searched for proper values of the parameters θ_e , δ and ν . However, we either obtained false detections caused by shadows and façade paintings, or missed the cornices.

Finally, we found that in a combination of both approaches, edge detection and 3D, we can set the range as proposed in (2) and tune the parameters θ_g , θ_e , δ and ν almost without increasing the false detection rate (Fig. 5). We

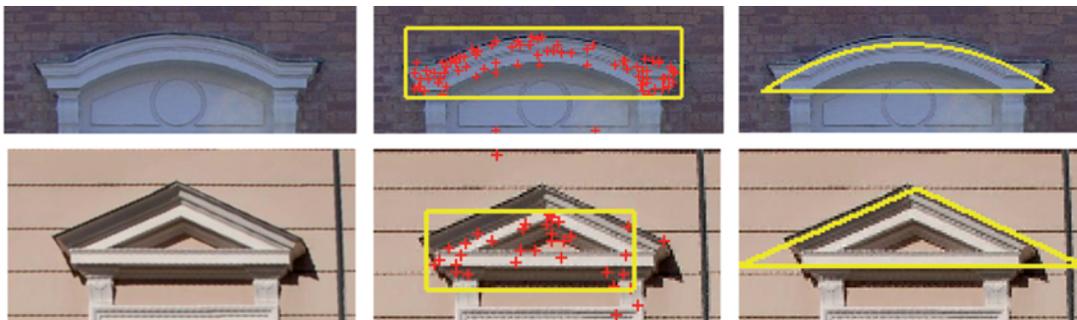


Fig. 5: Combining 3D geometry and edges in the image for cornice detection. Left column: image parts showing the two considered cornice types. Centre column: geometry-based cornice detection using a low threshold for acceptance. Right column: cornice hypothesis based on detected edges using low thresholds employing CANNY (1986). Both results are merged for reliable cornice detection.

included the test on the geometrical plausibility of a large structure located in front of the façade plane (section 4.2) in the edge-based decision tree for the cornice detection (section 4.3). In other words, each decision in the decision tree is confirmed by the additional check for a 3D structure in front of the façade. If the edge detection part finds a potential cornice, this object is then tested for its third dimension and accepted if it is higher than the threshold value θ_g above the wall.

5 Experiments

We tested all three variants of our approach with ten image sets, each showing one historic, medium-size façade from the city centres of the Bavarian cities Freising and Munich as well as the Franconian city Schwabach. Each image set consisted of at least seven images and the reconstruction of the point cloud was done using the approach of MAYER et al. (2012). Each point cloud contained about 9,000 3D points with a point density mostly between 20 and 50 points per m².

In our experiments we used the following parameter values. In the geometry-based approach, we have chosen the range for the cornice's width and height according to (2) and set $\theta_g = 0.05$ m. The latter value has been chosen to be slightly smaller than typical protrusions of cornices. For the edge-based approach, we smoothed the image with a small Gaussian filter with $\sigma = 1$ before calculating the gradients to handle the large radiometric variation in the

façade images. The two thresholds $\theta_{c1} = 0.01$ and $\theta_{c2} = 0.1$ were used for non-maximum suppression and for tracing the edges with hysteresis thresholding, respectively, when employing (CANNY 1986). The two parameters θ_e and δ were derived from the width w_{ij} of the window and under consideration of the image resolution. This yielded $\theta_e \approx 0.1$ m and $\delta = 1 - 2$ pixel. Additionally, the parameter ν was chosen $\nu = w_{ij} / 2$. When combining both approaches, we changed the values of the parameters to $\theta_g = 0.03$ m, $\theta_e \approx 0.3$ m, $\delta = 3 - 5$ pixels and $\nu = w_{ij} / 3$.

The parameters for all three variants of our approach were chosen to avoid false detections. As a consequence, we did not recognize all existing cornices. The best results were obtained when combining information of the 3D geometry with the detected 2D edges (section 4.4). The detection results for triangular and arch-shaped cornices were significantly better than for horizontal cornices. We think that this is due to the characteristic shape of both cornice types while horizontal lines are often not reliable to distinguish horizontal cornices from horizontal shadows or textures.

In Tab. 1 we summarize the results of our experiments. The ten façades found in the different datasets contain a total of 95 windows in upper floors, i.e., 95 search spaces for cornice detection. In this experiment we did not consider shop windows or windows of cellars and dormers, because we had restricted the solution to the upper floors in one of the preprocessing steps and because usually these windows are not crowned by cornices. Six-

Tab. 1: Detection rates for the proposed of cornice detection regarding the three variants of our approach. In the first experiment (section 4.2), we only analysed the 3D geometry and did not explicitly classify the type of cornice. In the second experiment (section 4.3), we only analysed detected edges and automatically classified the type of cornice. In the third experiment (section 4.4), we combined both approaches including the cornice type selection. There were no false positives.

	windows without cornices	cornices all	cornices arch-shaped	cornices triangular	cornices horizontal
Ground Truth	16	79	39	21	19
Geometry (4.2)	16 (100 %)	52 (66 %)	29 (74 %)	16 (76 %)	7 (37 %)
Edges (4.3)	16 (100 %)	50 (63 %)	32 (82 %)	18 (86 %)	0 (0 %)
Combination (4.4)	16 (100 %)	61 (77 %)	32 (82 %)	18 (86 %)	11 (58 %)

teen of the 95 windows were not crowned by a cornice. We never detected a false positive. The detection rate of the 79 cornices was valid for all three variants of our approach. In the geometry-based approach (section 4.2) we did not classify the shape of the detected cornice. For the evaluation, we manually determined the shape-specific detection rates.

Mostly a low density of the point cloud in the area of a cornice leads to a non-detection of the cornice. Furthermore, many horizontal lines had a very weak contrast with the façade wall, i.e., the edge detection should be set more sensitive for detecting horizontal cornices. Since we did not know the type of a cornice in advance, the cornice detection should probably be performed multiple times with different parameters. Consequently, the different results would have to be merged and analysed, e.g. according to their overlap. This will be part of future work.

In our experiments, we were also challenged by partial occlusions. Cornices of some images were occluded by wires, which did not disturb the recognition. Larger occlu-

sions, e.g. by trees, did not occur in our experiments. We suspect that our algorithm is not robust enough concerning such disturbances. Yet, since we acquire several images, we expect to see each cornice completely at least in one image. Thus, we could merge the results for cornice detection from different views.

We show two results for the combined approach with detected cornices in Fig. 6. Although the sizes and the positions of the detected windows were not always correct, the cornice detection often turned out to be satisfactory. It even returns good results for cornices above pairs of windows as shown at Fig. 6, bottom right.

6 Summary and Future Work

We have presented an approach for detecting cornices in rectified façade images and point clouds. The rectified façade images are derived from images together with highly precise medium-density point clouds. After detecting the façade plane and the windows we



Fig. 6: Results of cornice detection for façades from Freising (top row) and from Schwabach (bottom row) in Germany. All images were manually rectified. The image at top left is limited to the upper floors and shows the detected cornices in red and 3D points in front of the façade in blue. The other three images show the whole façade with detected windows in upper floors and cornices in red. Note that the cornices above the twin windows in the image at bottom right were successfully detected, because the window detection returned one window instead of two.

define search spaces for cornices crowning the windows. We consider three different cornice types: horizontal, triangular and arch-shaped. They are the most frequent types in European cities. In the experiments we obtained the best results if we considered information about 3D geometry together with straight edges or arcs detected in images.

Cornice detection could be improved by using denser point clouds. Since we employed the reconstruction approach of MAYER (2012), we only obtained a medium-density point cloud. If we used a dense matching approach such as semi-global matching (HIRSCHMÜLLER 2008), we could generate much denser point clouds, having one 3D point for each pixel.

A further improvement would be the full automation of our approach, i.e., by an integration of further steps of the automatic façade extraction by NGUATEM et al. (2012). This can only be achieved if images of complete street blocks are acquired. Particularly, NGUATEM et al. (2012) can be used to detect balconies and oriels, which make the detection of the façade plane more difficult. We should also avoid a rectification of the image using a homography, because 3D structures in front of or behind the façade plane are projected to wrong positions in the image. If several façades of a street block have to be analysed, we also need to employ a façade segmentation, e.g., after WENDEL et al. (2010). The use of orthophotos will eliminate this problem in the future. It is also planned to analyse several rectified views and merge their results. Additionally, further cornice styles like the shell-shaped cornices of Rococo will be considered for the future work.

Acknowledgements

The authors would like to thank their colleagues JAN BARTELTSEN and WILLIAM NGUATEM for support when reconstructing the scene by using the software of MAYER et al. (2012). Furthermore, we would like to thank the anonymous reviewers for their critical remarks and the editor FRANZ ROTTENSTEINER for many suggestions which have helped to considerably improve this paper.

References

- AKAIKE, H., 1973: Information Theory and an Extension of the Maximum Likelihood Principle. – **2nd International Symposium on Information Theory**: 267–281.
- BECKER, S. & HAALA, N., 2008: Integrated LIDAR and Image Processing for the Modelling of Building Facades. – PFG – Photogrammetrie, Fernerkundung, Geoinformation **2008** (2): 65–81.
- CANNY, J., 1986: A Computational Approach to Edge Detection. – *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* **8** (6): 679–698.
- FISCHLER, M.A. & BOLLES, R.C., 1981: Random Sample Consensus: A Paradigm for Model Fitting with Application to Image Analysis and Automated Cartography. – *Communications of the ACM* **24** (6): 381–395.
- GRÖGER, G., KOLBE, T.H., NAGEL, C. & HÄFELE, K.-H. (eds.), 2012: OGC City Geography Markup Language (CityGML) Encoding Standard. Version 2.0.0, OGC Doc. No. 12-019, Open Geospatial Consortium 2012.
- HIRSCHMÜLLER, H., 2008: Stereo Processing by Semi-global Matching and Mutual Information. – *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* **30** (2): 328–341.
- HOHMANN, B., KRISPEL, U., HAVEMANN, S. & FELLNER, D., 2009: CityFit: High-Quality Urban Reconstruction by Fitting Shape Grammars to Images and Derived Textured Point Clouds. – *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* **38** (5/W1).
- JAHANGIRI, M. & PETROU, M., 2008: Fully Bottom-Up Blob Extraction in Building Facades. – **9th International Conference on Pattern Recognition and Image Analysis**.
- KOEPF, H. & BINDING, G., 2005: *Bildwörterbuch der Architektur*. – Fourth Edition, 678 p., Alfred Kröner Verlag, Stuttgart.
- LEBERL, F., MEIXNER, P., WENDEL, A. & IRSCHARA, A., 2012: Automated Photogrammetry for Three-Dimensional Models of Urban Spaces. – *Optical Engineering* **51** (2): 1–12.
- LEE, S.C. & NEVATIA, R., 2004: Extraction and Integration of Window in a 3D Building Model from Ground View Images. – *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition II*: 113–120.
- MAYER, H., 2007: 3D Reconstruction and Visualization of Urban Scenes from Uncalibrated Wide-Baseline Image Sequences. – PFG – Photogrammetrie, Fernerkundung, Geoinformation **2007** (3): 167–176.

- MAYER, H., BARTELTSEN, J. HIRSCHMÜLLER, H. & KUHN, A., 2012: Dense 3D Reconstruction from Wide Baseline Image Sets. – Outdoor and Large-Scale Real-World Scene Analysis – 15th International Workshop on Theoretical Foundations of Computer Vision, Lecture Notes in Computer Science **7474**: 285–304.
- NGUATEM, W., DRAUSCHKE, M. & MAYER, H., 2012: Finding Cuboid-Based Building Models in Point Clouds. – The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences **39** (B3): 149–154.
- REZNIK, S. & MAYER, H., 2008: Implicit Shape Models, Self-Diagnosis, and Model Selection for 3D Facade Interpretation. – PFG – Photogrammetrie, Fernerkundung, Geoinformation **2008** (3): 187–196.
- RIPPERDA, N., 2008: Grammar Based Facade Reconstruction Using rjMCMC. – PFG – Photogrammetrie, Fernerkundung, Geoinformation **2008** (2): 83–92.
- SIMON, L., TEBOUL, O., KOUTSOURAKIS, P. & PARAGIOS, N., 2011: Random Exploration of the Procedural Space for Single-View 3D Modeling of Buildings. – International Journal of Computer Vision **93** (2): 253–271.
- ŠOCHMAN, J., 2007: Evaluation of the AdaBoost IPM. – Unpublished, internal note of project “eTraining for Interpreting Images of Man-Made Scenes (eTRIMS)”.
- WENDEL, A., DONOSER, M. & BISCHOF, H., 2010: Unsupervised Facade Segmentation Using Repetitive Patterns. – 32nd DAGM conference on Pattern Recognition: 51–60.
- WENZEL, S. & FÖRSTNER, W., 2012: Learning a Compositional Representation for Facade Object Categorization. – The International Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences **I** (3): 197–202.
- WONKA, P., WIMMER, M., SILLION, F. & RIBARSKY, W., 2003: Instant Architecture. – ACM Transactions on Graphics **22** (4): 669–677.
- ZENG, G., GAN, R. & ZHA, H., 2011: Building Facade Interpretation Exploiting Repetition and Mixed Templates. – First Asian Conference on Pattern Recognition: 652–656.

Addresses of the Authors:

Dipl.-Ing. WOLFGANG BRANDENBURGER, Amt für Geoinformationswesen der Bundeswehr, Dezernat III 1 (1) Geländeanalyse, Frauenberger Straße 250, D-53879 Euskirchen; Tel: +49-2251-953-4637, e-mail: wolfgangbrandenburger@bundeswehr.org

Dr.-Ing. MARTIN DRAUSCHKE, Univ.-Prof. Dr.-Ing. HELMUT MAYER, Bundeswehr University Munich, Institute of Applied Computer Science, D-85577 Neubiberg, Germany; Tel: +49-89-6004-3454, -3429, Fax: -3906, e-mail: {martin.drauschke},{helmut.mayer}@unibw.de

Manuskript eingereicht: Mai 2013

Angenommen: Juli 2013

Berichte der Arbeitskreise der DGPF

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

Bericht von der Jahrestagung

Im Gegensatz zu den vergangenen Jahren, in denen eine eigenständige Arbeitskreissitzung mit mehreren Einzelbeiträgen durch den Arbeitskreis organisiert werden konnte, ist in diesem Jahr nur ein einziger Beitrag eingereicht worden, der in eine Sitzung des Arbeitskreises zur Interpretation von Fernerkundungsdaten integriert worden ist.

ROBERT ECKARDT von der Universität Jena stellte den aktuellen Stand des Projekts SAR-EDU vor, das vom DLR initiiert wurde, um den Fachkräftemangel im Bereich der Radarfernerkundung zu lindern. Das Projekt soll die Vermittlung von Basiswissen der SAR-Fernerkundung für andere Lehrstühle und Einrichtungen erleichtern, um eine größere Community und mehr Studenten zu erreichen, und die hohe Einstiegshürde zum Erlernen der Technologie verringern. SAR-EDU wird in diesem Jahr eine einwöchige kostenlose Summer School vom 23.–26.9.2013 unter dem Motto „Teach the Teachers“ anbieten. Anmeldung und weitere Infos zu der spannenden Veranstaltung unter: http://sar-edu.uni-jena.de/sites/summer_school_13.html

Weitere und geplante Aktivitäten

Änderung in den Regularien für die Vergabe des Karl Kraus Nachwuchspreises. Obgleich die Anzahl der Teilnehmer an dem Karl Kraus Nachwuchspreis im letzten Jahr wieder erfreulicherweise gestiegen ist und die Auswahl der

drei Preisträger durch die Jury immer eine gewisse Qual bedeutet, um die besten von vielen exzellenten Einreichungen herauszufiltern, führt die bisherige Regelung zu einer gewissen Frustration, da viele Teilnehmer ein sehr gutes Poster gemacht haben und dann doch nicht zum Zuge kommen. Deshalb wurde über ein neues Format diskutiert. Dabei soll durch die Jury eine Short-List (zwischen 8 – 12 Bewerber) erstellt werden. Diejenigen, die auf die Short-List kommen, werden eingeladen und müssen auch keine Konferenzgebühren entrichten. In einer speziellen Sitzung sollen die Bewerber ihre Ergebnisse vorstellen. Die Beurteilung erfolgt vor Ort in einer Session durch die Kommission. Die Gewinner sollen auf der Konferenz bekannt gegeben und gewürdigt werden. Die genauen Details werden rechtzeitig bei der Auslobung des nächsten Karl Kraus Nachwuchspreises kommuniziert.

Neben der DGPF-Jahrestagung war die mittlerweile 9. GIS-Ausbildungstagung am 13./14. Juni 2013 in Potsdam ein weiteres Highlight, bei dem sich viele Mitglieder des Arbeitskreises trafen und austauschten. Alle Vorträge der 9. GIS-AT sind über das Internet abzurufen: <http://gis.gfz-potsdam.de/index.php?id=436>

GÖRRES GRENZDÖRFFER, Rostock

Bildanalyse und Bildverstehen

Arbeitsgebiete – Terms of Reference

- Geometrische Bildverarbeitung
- Merkmalsextraktion und -nutzung
- Semantische Modellierung

Bericht von der Jahrestagung

Im Rahmen der 33. wissenschaftlich-technischen DGPF-Tagung an der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg fanden zwei Sitzungen des Arbeitskreises mit verschiedenen Beiträgen zur Bildanalyse statt. Die erste Sitzung am ersten Tagungstag eröffnete JOHANNES SCHNEIDER (Rheinische Friedrich-Wilhelms-Univer-

sität, Bonn) mit seinem Beitrag *Lösung von Orientierungsaufgaben der Photogrammetrie mit konvexer Optimierung*. Er gewann in diesem Jahr mit dem Thema seiner Masterarbeit den 1. Preis des Karl Kraus Nachwuchspreises. Im Rahmen seines Vortrages erläuterte er die Möglichkeiten und Randbedingungen des Einsatzes konvexer Optimierung zur Lösung von grundlegenden Orientierungsaufgaben. Der zweite Beitrag zum Thema *Zuordnung von 3D-Gebäudemodellen und IR-Videosequenzen mit Linienverfolgung* wurde von DOROTA IWASZCZUK (TU München) gehalten. Mit diesem Beitrag wurde über die Fortführung von Arbeiten berichtet (vgl. PFG 5/2012). Die erste Sitzung wurde von UTA GRIWODZ (conTerra GmbH, Koautor MARKUS BELLINGHOFF) mit ihrem Beitrag *Traditionelle Luftbilder in 3D* abgerundet. In diesem Beitrag wurde die kombinierte Nutzung von Luftbildern und 3D-Punktwolken beschrieben.

Am Mittag des zweiten Tagungstages fand die zweite Arbeitssitzung des Arbeitskreises statt. Die Sitzung startete mit dem Beitrag *Dekonstruktion von Fensterverdachungen und Gesimsen in Fassadenbildern und Punktwolken* von WOLFGANG BRANDENBURGER (Universität der Bundeswehr, München), der hiermit das Thema seiner Masterarbeit vorstellte (siehe auch Artikel in diesem Heft). SILVIO TRISTAM (Humboldt Universität zu Berlin) setzte den Reigen von Beiträgen mit Ergebnissen von Masterarbeiten zum Thema *3D-Bildanalyse mit Scene Flow-Algorithmen* fort. Der Beitrag beschäftigte sich mit der Bewegungsanalyse basierend auf 3D-Punktwolken unter Verwendung des ICP-Konzeptes und einer Octree-Struktur zur Erhöhung der Performanz. Der letzte reguläre Beitrag von ERIC MATTI (Fachhochschule Nordwestschweiz, Koautor STEPHAN NEBIKER) beschäftigte sich mit der *geometrie- und farbbasierten Punktwolkenklassifizierung von komplexen Laserscanningszenen mittels überwachter SOM-Klassifizierung*. Den Abschluss der Sitzungen des Arbeitskreises bildete der Beitrag *Der ISPRS-Test über automatische Objekterkennung und 3D-Gebäuderekonstruktion: Überblick und aktueller Stand* von FRANZ ROTTENSTEINER (Leibniz Universität, Hannover).

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass das Vortragsprogramm des Arbeitskreises

wieder sehr abwechslungsreich war und ein breiter Themenfächer aufgespannt wurde. Es ist zu begrüßen, dass viele jüngere Kollegen das Forum des Arbeitskreises nutzten. Die gut besuchten Sitzungen überzeugten durch die intensiven Diskussionen.

UWE WEIDNER, Karlsruhe

Hyperspektrale Fernerkundung

Arbeitsgebiete

- Innovative Methoden und Verfahren in der hyperspektralen Fernerkundung
- Qualitative und quantitative Probleme der Datenerhebung
- Abbildende und nicht-abbildende Spektrometer
- Multimediale Wissenskommunikation und Visualisierung von Forschungsergebnissen

Bericht von der Jahrestagung

Der Arbeitskreis Hyperspektrale Fernerkundung hatte in der diesjährigen Dreiländertagung der DGPF in Freiburg i. Br. zwei Sitzungen. Die Vielfältigkeit der Anwendungs- und Forschungsgebiete der eingereichten Beiträge war eindeutig zu erkennen. Die diesjährigen Beiträge zeigten Forschungsergebnisse aus den Bereichen Bodenwissenschaften, Ökologie, Bildverarbeitung sowie Sensortechnik. Leider mussten die Sitzungen wegen mehreren Absagen gekürzt werden. Im Folgenden wird ein kurzer Überblick der gehaltenen Vorträge gegeben.

Der erste Vortrag der Sitzung *Hyperspektrale Fernerkundung I* war ein Beitrag von MICHAEL DENK von der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, der über die neusten Erkenntnisse des Ringversuches SpecTour berichtete. Dabei wurde auf das Verfahren der Datenauswertungen näher eingegangen. ANDRÁS JUNG (Universität Ulm) hat die Entwicklung der neuartigen hyperspektralen Framekamera UHD 285 vorgestellt und deren anwendungsorientierte Möglichkeiten diskutiert. AKPONA OKUJENI (Humboldt Universität zu Berlin) hat die zweite Sitzung des Arbeitskreises begonnen und seine Regressionsalgorithmus-Entwicklung vorgestellt, die die

quantitative Kartierung von Stadtgebieten ermöglicht. Er hat besonderen Wert auf den theoretischen Part seiner Forschung gelegt. UWE KNAUER (Fraunhofer IFF, Magdeburg) hat die Sitzung mit den Aspekten der Boresight Kalibrierung für hyperspektrale Bilder geschlossen.

Wir bedanken uns bei allen Teilnehmern für ihre Beiträge, Ihr Interesse an den Aktivitäten des Arbeitskreises sowie die lebhaften Diskussionen.

Weitere und geplante Aktivitäten

Das Projekt SpecTour wird weiterhin gepflegt und erweitert und bis zum Ende des Jahres 2013 abgeschlossen.

ANDRÁS JUNG, Halle
JONAS FRANKE, München

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

In diesem Jahr wurden vom Arbeitskreis zwei Sitzungen mit insgesamt neun Vorträgen organisiert, die jeweils als Schwerpunkte die Themenbereiche Radarfernerkundung und Flugzeuglaserscanning behandelten. In der ersten Session mit dem Themenschwerpunkt Vegetationsanalyse stellte WERNER MÜCKE (Technische Universität Wien) eine neue Methode vor, liegendes Totholz mittels hochaufgelöster Full Waveform Laserdaten zu detektieren. Hierbei wird zunächst die Echobreite genutzt, um Reflexionen des Laserstrahls am Waldboden- und in nachwachsender Verjüngung von Reflexionen an Totholz zu trennen. Die nachfolgende Detektion von Totholz erfolgt mit Methoden der Bildverarbeitung in einem Rasterbild, das die isolierten Totholzstämme

enthält. Es gelingt weiterhin eine Unterscheidung des Totholzes hinsichtlich des Verfallzustandes bzw. eine Volumenabschätzung des Totholzes. REIK LEITERER (Universität Zürich) stellte eine neue Methode vor, Verjüngungen aus Full Waveform Daten zu ermitteln. Die Klassifikationsgenauigkeit liegt bei ca. 75% und setzt eine hohe Punktdichte voraus. Das gleiche Thema behandelte anschließend WEI YAO (Hochschule München). In seinem Ansatz wird eine Segmentierung der Verjüngung über eine 3D Segmentierung mit Normalized Cuts erreicht. Die Genauigkeit der flächenmäßig bestimmten Verjüngung liegt bei 60%. Im letzten Beitrag dieser Session berichtete MICHAEL SCHMITT (TU München) über einen neuen Ansatz zur Detektion von Einzelbäumen aus hochaufgelösten single-pass InSAR-Daten. Diese Technologie ist noch relativ neu und nutzt das kurzwellige Ka-Band, das im Mittel in höheren Sphären des Blattwerks gestreut wird.

In der zweiten Sitzung mit dem Fokus auf Radarfernerkundung stellte MICHAEL SCHLUND (Astrium Geo-Information Services) eine Studie vor, in der TanDEM-X Daten für die Klassifikation der Vegetationsbedeckung und Waldstruktur verwendet wurden. Es zeigt sich, dass die Kohärenz als wichtigstes Merkmal zur Genauigkeitssteigerung beiträgt. Im nächsten Vortrag präsentierte STEFAN ERASMI von der Georg-August-Universität Göttingen eine interessante Studie, um archäologische Stätten mit Hilfe von hochaufgelösten Radardaten zu erfassen. Es wurden sowohl Amplitudenbilder als auch interferometrisch erzeugte Oberflächenmodelle ausgewertet. Danach stellte GÜNTER SAUR (Fraunhofer IOSB) eine Studie zur Ko-Registrierung von so genannten MiSAR-Bildfolgen, welche mit einer Drohne aufgenommen wurden, vor. Die Methode funktioniert rein bildbasiert ohne Wissen über die RADAR-Prozessierung und den Flugpfad. OLIVER MAKSYMCIUK (TU München) widmete sich schließlich der Erkennung von Fahrzeugen in SAR-Daten hoher Auflösung. Da man hier die Dopplerverschiebung nicht nutzen kann, wurde ein Multiskalenansatz gewählt, der auf morphologischen Merkmalen basiert. Im letzten Vortrag dieser Session schließlich stellte ROBERT ECKHARD von der Friedrich Schiller Universität Jena ein neu-

es Webportal für die anwendungsorientierte SAR-Fernerkundung vor.

Neuer stellvertretender AK-Leiter

Während der Tagung leitete erstmalig PETER KRZYSZEK (Hochschule München) eine Session dieses Arbeitskreises und trat damit die Nachfolge von BORIS JUTZI (KIT Karlsruhe) an.

Weitere und geplante Aktivitäten

Der Sensorverbund der vom DLR betriebenen Schwestersatelliten TerraSAR-X und TANDEM-X hat nunmehr die Landmassen der Erde ein zweites Mal vollständig im Einmalüberflugmodus abgedeckt. Gegenwärtig erfolgen weitere Messungen, die auf schwierige Flächen wie Gebirgslagen fokussieren. Erste Zwischenprodukte in Form von Interferogrammen wurden vom DLR zu wissenschaftlichen Zwecken bereitgestellt. Die Auswertung daraus abgeleiteter Höhenmodelle sowie natürlich das endgültige Produkt wird in den nächsten Jahren ein Schwerpunkt des Arbeitskreises sein.

Beim Flugzeuglaserscanning werden zunehmend Full Waveform Lasersysteme mit erhöhter Pulsrate und erweiterter Flughöhe eingesetzt. Wegen der Vorteile im Vegetationsbereich liegt ein Fokus der wissenschaftlichen Methodenentwicklung bei der Waldstrukturanalyse und im Besonderen bei der Detektion von Verjüngungen und liegendem Totholz.

UWE SÖRGEL, Hannover
PETER KRZYSZEK, München

Standardisierung und Qualitätssicherung

Bericht von der Jahrestagung

Auf der Jahrestagung 2013 fanden zwei Sessions des Arbeitskreises Standardisierung und Qualitätssicherung statt. Der Schwerpunkt hierbei lag auf der Präsentation und sich anschließenden Podiumsdiskussionen zu aktuellen Normungsprojekten des DIN-Normungsausschusses „Photogrammetrie und Ferner-

kundung“ (NA 005-03-02 AA). Die Vorstellung der Vorhaben gab den Mitgliedern des Arbeitskreises die Gelegenheit, durch Diskussion und Anregungen die Ausschussarbeit auf eine breitere Basis zu stellen.

Zunächst referierte KLAUS-ULRICH KOMP über die Neufassung der DIN-Norm 18740-4 „Anforderungen an digitale Luftbildaufnahmen“. Mehr als ein Jahrzehnt nach der Vorstellung einer digitalen Luftbildmesskammer auf der ISPRS-Konferenz 2000 in Amsterdam sind inzwischen verschiedene digitale Kameras im Einsatz, haben sich im Markt etabliert und somit die analogen Messkammern ersetzt. Dabei haben die generelle Verbesserung der Bildqualität, das Signal-Rausch-Verhältnis und der Dynamik-Umfang sowie die Möglichkeit der spektralen und radiometrischen Kalibrierung diesen Technikwechsel beschleunigt. Im Rahmen der periodischen Überprüfung eingeführter Standards bei neueren technischen Entwicklungen wurden die grundlegenden Normen zum Bildflug mit analoger Kamera und den Anforderungen an die photogrammetrischen Messkammern (DIN 18740-1) und die Anforderungen an die Digitalisierung analoger Luftbilder und an photogrammetrische Scanner (DIN 18740-2) ersatzlos gestrichen und relevante Anforderungen im Hinblick auf den Einsatz digitaler Sensorsysteme in die Neubearbeitung der Anforderungen an digitale Luftbildaufnahmen und digitale Kameras integriert. Mit der Neubearbeitung wurde gleichzeitig der Geltungsbereich entsprechend dem Stand der Technik erweitert und umfasst nun auch Flugzeug- und Satellitenplattformen sowie Bilddatensätze, die damit hergestellt werden. Die Überarbeitung wird im Laufe des Jahres 2013 abgeschlossen sein und als DIN 18740-4 die bisherige Fassung ersetzen.

Anschließend wurde mit einem Beitrag „Anforderungen an die Bildqualität optischer Fernerkundungsdaten“ durch RALF REULKE ein Normungsvorhaben vorgestellt, welches noch am Anfang seiner Erarbeitung steht. Photogrammetrie und Fernerkundung stellen Verfahren bereit, die aus Bilddaten geometrische und thematische Informationen gewinnen und verarbeiten. Zur Erfassung von Bilddaten existiert eine Vielzahl von Flugzeug- und Weltraumsensoren. Aus der absoluten

geometrischen und radiometrischen Kalibrierbarkeit ergeben sich neue Möglichkeiten für die Erstellung abgeleiteter Produkte, da diese Kameras die Eigenschaften hoher geometrischer Qualität mit denen radiometrischer Standards von Erdbeobachtungssystemen verbinden. Der Beitrag gab einen ersten Überblick über die aktuelle Diskussion und die Möglichkeiten der Normung.

Den Entwurf der DIN-Norm 18740-6 „Anforderungen an digitale Höhenmodelle“ stellte SVEN BALTRUSCH vor. Die Norm behandelt die Schwerpunktthemen Begriffsdefinitionen, Erfassen und Modellieren von Höhendaten und die Spezifikation von Höhenmodellen. Insbesondere die unterschiedlichen Modellarten und ihre Abgrenzungen werden in der Norm behandelt. Die einzelnen Modelle und ihre Inhalte sowie die erforderlichen Vorgehensweisen werden aufgeführt. Der Entwurf wurde in einer öffentlichen Runde fachlich diskutiert.

Die Normen zu den Begriffen der Photogrammetrie und Fernerkundung (DIN 18716-1, 18716-2 und 18716-3) aus der Mitte der 90er Jahre wurden vor dem Hintergrund des Paradigmenwechsels von analoger Luftbildaufnahme mit Film/Filterkombinationen zur digitalen Aufnahme und Prozessierungstechnik durch den Normungsausschuss überprüft und vollständig überarbeitet. Das Ergebnis wurde durch KLAUS-ULRICH KOMP vorgestellt. So wurden nicht nur Begriffe der analogen Photogrammetrie eliminiert oder entsprechend der neuen Verwendung überarbeitet. Außerdem wurde auch der konvergierenden Aufzeichnungstechnik von flugzeuggetragenen und satellitengetragenen Sensorsystemen Rechnung getragen und die Terminologie angepasst.

Neben den Beiträgen des Normungsausschusses DIN NA 005-03-02 AA wurden durch SVEN BALTRUSCH in einem Beitrag „AdV-Standards für 3D-Geobasisdaten“ aktuelle Standards der Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland (AdV) für 3D-Geobasisdaten vorgestellt. Aktuell erfordern zunehmend alle geo-bezogenen Aufgabenstellungen die dritte Dimension. Moderne Computertechnik ermöglicht vielen Bereichen der Verwaltung, Wissenschaft und Wirt-

schaft die Anwendung von Digitalen Höhenmodellen für Simulationen, Prognosen bis hin zu Versorgungs-, Funknetz- und Raumplanungen. Die AdV hat dieses Potential erkannt und das Angebot an dreidimensionalen Geodaten entsprechend erweitert.

Die Sessions des Arbeitskreises wurden durch den Vortrag „Sind das landesweite Netzwerk von Grenzen und die Grenzsteine ein Weltkulturerbe?“ von PETER WALDHÄUSL abgerundet. Der Referent schilderte ein österreichisches Vorhaben, durch das Grundgrenzen und Grenzsteine zum seriellen und transnationalen Weltkulturerbe ernannt werden sollen. Österreich tritt mit dem Wunsch zur Unterstützung an Fachkollegen seiner beiden befreundeten Nachbarn Deutschland und Schweiz heran.

SVEN BALTRUSCH, Schwerin

Optische 3D-Messtechnik

Arbeitsgebiete – Terms of Reference

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

Bericht von der Jahrestagung

An der 33. wissenschaftlich-technischen DGPF-Tagung an der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg konnte sich der Arbeitskreis durch zwei Sitzungen am 28. Februar und am 1. März präsentieren. Die vorgestellten acht Beiträge der beiden Sitzungen hatten in diesem Jahr ihre Schwerpunkte in der Nahbereichsphotogrammetrie (Kameramodell, Kamera- und Systemkalibrierung) und im terrestrischen Laserscanning (Mobiles System und Sensorkombination). Ca. 60 Teilnehmer nahmen an der ersten Sitzung über Nahbereichsphotogrammetrie teil, während zur zweiten Sitzung am Freitag ca. 40 Interessierte kamen.

Die erste Sitzung wurde mit dem 3. Preisträger des Karl Kraus Nachwuchspreises 2013 eröffnet. ALEXANDER HANEL (TU München)

präsentierte seine Abschlussarbeit mit dem Thema *Orientierungsgenauigkeit eines Multi-Kamerasystems bei Roboterbewegungen in einer Fahrzeugkarosserie*, die in Zusammenarbeit mit der BMW AG Deutschland erfolgte. In dem zweiten Beitrag stellte HEIDI HASTEDT (Jade Hochschule Oldenburg) ihre Untersuchungen zum Genauigkeitspotential eines hybriden Kamerasystems aus RIM- und RGB-Kamera vor. Das hybride Aufnahmesystem besteht aus einem 3D-Range-Imaging System (PMD CamCube 3.0) und einer hochauflösenden RGB-Kamera (AVT Stingray F125), mit dem durch Monoplotting 2.5/3D-Szenen aus den Tiefen- und Bilddaten momentan mit einer Genauigkeit von 15 – 30 mm rekonstruiert werden können. Anschließend präsentierte DOMINIK RUESS (DLR Berlin) eine analytische Lösung für heterogene Stereokamerasysteme mit generischen Abbildungsmodellen, um einen beliebigen Bildpunkt einer Kamera in seine Epipolar-Repräsentation der zweiten Kamera zu transformieren. Zum Abschluss der ersten Sitzung wurden von MATHIAS BURGER (FH Mainz/i3mainz) Ansätze zur Modellierung und Kalibrierung einer 2D/3D Sensorkombination vorgestellt. Das System besteht ähnlich wie bei der Jade Hochschule in Oldenburg aus einer ToF-Kamera (PMD CamCube 3.0) und einer farbfähigen Industriekamera, welches in einem Testfeld simultan kalibriert wird, um es später z. B. für Aufgaben in der Automatisierungstechnik einzusetzen.

Auch die zweite Sitzung des Arbeitskreises Optische 3D-Messtechnik am Freitag war gut besucht. Es wurden interessante Beiträge aus unterschiedlichen Bereichen vorgestellt. So präsentierte DOMINIK RUESS (DLR Berlin), wie sich Kamera-Abbildungsmodelle mit Hilfe von Kugelflächenfunktionen allgemein beschreiben lassen. Anschließend stellte THOMAS DARR (TU München) seine Untersuchungen zur Genauigkeit der photogrammetrischen Positionsbestimmung eines im Innenraum von Fahrzeugen geführten Messsystems vor. Aus wissenschaftlicher Sicht besonders interessant war der Vortrag von ALEXANDER SCHLICHTING (Leibniz Universität Hannover) über die Bewertung inertialer Messsysteme mittels Laserscannern. Abgerundet wurde die Sitzung mit der Präsentation eines Beitrages von ALESSANDRO CEFALU (Uni Stuttgart) über

die Kombination photogrammetrischer Verfahren und terrestrischem Laserscanning in der Baudokumentation. Neben den genannten Fachvorträgen wurden außerdem zwei Poster über die Anwendung von UAVs in photogrammetrischen Projekten im Rahmen einer 5-minütigen Kurzpräsentation von MARTIN SAUERBIER (MFB-GeoConsulting GmbH, Messen/Schweiz) und ANETTE ELTNER (TU Dresden) vorgestellt, deren Vorträge am Vortag durch einen Fehler im Tagungsprogramm ausgefallen waren.

Insgesamt war das Vortragsprogramm des Arbeitskreises wieder sehr abwechslungsreich – dies trotz der Oldenburger 3D-Tage, die als jährliches Highlight des Arbeitskreises nur zwei Wochen vorher stattgefunden hatten. Die Sitzungen waren gut besucht und die Beiträge wurden intensiv diskutiert.

Weitere und geplante Aktivitäten

Am 19. Juni 2013 wurde die Fachtagung Mobile Mapping 2013 an der Fachhochschule Nordwestschweiz in Muttenz bei Basel veranstaltet, bei der die Arbeitskreise Optische 3D-Messtechnik sowie Sensoren und Plattformen bei der Schweizer Gesellschaft für Photogrammetrie und Fernerkundung (SGPF) als Mitveranstalter auftraten (www.3dgi.ch/mm2013).

Beim Kolloquium *Denkmäler3.de – Von low-cost bis high-tech – 3D-Dokumentation in Archäologie & Denkmalpflege* im LWL Industriemuseum Zeche Zollern in Dortmund in der Zeit 16. – 18. Oktober 2013 tritt der Arbeitskreis als Co-Veranstalter mitverantwortlich auf (www.denkmaeler3.de).

Am 12. und 13. Februar 2014 werden die 13. Oldenburger 3D-Tage stattfinden, bei denen der Arbeitskreis Optische 3D-Messtechnik als Mitveranstalter eingebunden sein wird (www.jade-hs.de/3dtage).

Weitere Infos über relevante Veranstaltungen sind auf der Webseite des Arbeitskreises zu finden: www.dgpf.de/neu/dgpf/nahbereich.htm

THOMAS KERSTEN, Hamburg
DANILO SCHNEIDER, Dresden

Fernerkundung in der Geologie

Arbeitsgebiete – Terms of Reference

Die Diskussion im Arbeitskreis soll den interessierten Fachkollegen und auch Fachleuten der wissenschaftlichen Nachbardisziplinen als Forum und Erfahrungsaustausch über den Einsatz neuer Fernerkundungs- und GIS-Entwicklungen vorrangig für geologische Interpretationen dienen. Eine zentrale Rolle spielen Ergebnisse und Erfahrungen mit lokalen und regionalen Strukturinterpretationen, 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 und Karst, Tsunami, Gletscherbewegungen u. a.).

Bericht von der Jahrestagung

Schwerpunkte der Arbeitskreissitzung auf der Jahrestagung waren Fernerkundungsinterpretationen zur Analyse geologischer Strukturen. Den ersten Sitzungsbeitrag „*Automated Multitemporal Landslide Identification in Kyrgyzstan Using Satellite Remote Sensing Data*“ präsentierte ROBERT BEHLING (GFZ Potsdam). Aufbauend auf mehrjährigen Feldarbeiten zur Kartierung von Hangrutschungen am Ostrand des Ferganabeckens wurde ein Ansatz zur automatisierten Hangrutschungsidentifikation im regionalen Maßstab vorgestellt. Bei vegetationsbedeckten Hängen und benachbarten Hangfüßen kann bei multitemporalen Interpretationen plötzlicher Verlust der Vegetation ein Indikator für diese Massenbewegungen sein. Bis in Folgejahre hinein lassen sich diese Bereiche auch noch als Vegetationsanomalien detektieren. Hierzu wurden auch multisensorielle Datensätze verarbeitet (400 Datensätze von Landsat, SPOT, IRS-1C, ASTER, ALOS und RapidEye aus den letzten 25 Jahren). Für den Zeitraum 2009 – 2012 lagen 13 komplette Überdeckungen mit RapidEye-Daten als Zeitschnitte vor, aus denen objektbasierte NDVI Zeitserien abgeleitet wurden. Die Ergebnisse

konnten im September 2012 im Feld validiert werden, wobei etwa 100 Hangrutschungen zwischen 500 und 250.000 m² Fläche korrekt durch den Ansatz identifiziert worden waren.

Im zweiten Beitrag stellte GERWIN WULF (Uni Freiburg) in seinem Beitrag „*Structural analysis of Martian impact craters using several remote sensing data*“ Fernerkundungsinterpretationen von Impakt-Kratern auf dem Mars vor. Verfügbar sind jetzt vom Mars hochaufgelöste Fernerkundungsdaten, die strukturgeologische Detailanalysen von Marskratern, ihrer Entwicklungsgeschichte und des Impaktvorgangs erlauben. Die Autoren nutzten dazu das Mars Global GIS Dataset des NASA Planetary Data System (PDS). In der Kombination von MOLA (Mars Orbiter Laser Altimeter) für das DEM, THEMIS (Thermal Emission Imaging System), Viking Mosaiks und hochaufgelösten HiRISE-, HRSC- und CTX-Aufnahmen gelangen Interpretationen, die den Mechanismus des Impakts besser erklären, so z. B. die Ableitung der Impakttrajektoren aus den Deformationen, Aufwölbungen der bedrocks, Kartierung der Impakt-generierten Bruchdeformationen, Hauptbruchsysteme parallel zu den Impakttrajektoren etc. Hierbei wird auch der Ansatz verfolgt, Impaktkrater auf der Erde, die durch Erosion, Verwitterung und Vegetationsbedeckung schwerer zu interpretieren sind, neu zu analysieren.

Verbesserte Möglichkeiten zur geologischen Strukturinterpretation stellt auch der dritte Vortragsbeitrag in den Mittelpunkt. ELENA BECKENBACH (Uni Stuttgart) berichtete über „*Verzögerungsfreie, interaktive Bearbeitung sehr großer hochgenauer LIDAR-Datensätze – ein effizientes Werkzeug zur geologischen Interpretation von Höhenmodellen im regionalen Maßstab*“. Große Datenmengen wie z. B. das LIDAR-basierte Geobasisdatenmodell von Baden-Württemberg mit Auflösung vom 1 m (horizontal) und 15 cm (vertikal) erreichen einen Umfang von 1 TB und sind mit verfügbaren Softwarelösungen kaum zu beherrschen. Will man diese sehr großen und hochgenauen DHM interaktiv und verzögerungsfrei für detaillierte geomorphologische Interpretationen mit Tools nutzen, war dazu eine Lösung nötig. Die von den Autoren entwickelte Software *TerrainView* ermöglicht,

den gesamten Datensatz in unterschiedlichen Zoom-Stufen zu visualisieren und in einem zweiten Bildschirm eine 3D-Ansicht zu analysieren sowie spezielle Analysetools einzusetzen. Für Strukturgeologen wurde hier eine vielfältige Anwendung eröffnet. Im Vortrag wurden eindrucksvolle Detailinterpretationen von der Oberrheinebene, z. B. Detektion jüngster fluviatiler und äolische Ablagerungen in Gebieten geringster Reliefunterschiede, und im Bodenseegebiet (Glazialdynamik und Stadien des würmzeitlichen Rheingletschers) dargestellt.

Weitere und geplante Aktivitäten

In der Arbeitskreissitzung verwies FRIEDRICH KÜHN auf die 2011 vereinbarte Kooperation mit der Geological Remote Sensing Group (GRSG), einer „Special Interest Group“ der Britischen Geological Society, London, und kündigte an, dass geplant sei, das GRSG-Jahresmeeting 2013 in Deutschland abzuhalten. Auf Initiative von FRIEDRICH KÜHN und CORNELIA GLÄSSER wird es vom 9. bis zum 11. 12. 2013 in Berlin stattfinden. Die interessierten Fachkollegen unseres Arbeitskreises sind dazu eingeladen. Das ist eine sehr gute Möglichkeit, sich im internationalen Rahmen zu geologischen Fernerkundungsproblemen auszutauschen. Wir hoffen darum auch auf vielfältige Beiträge aus unserem Arbeitskreis. Der Conference Call ergeht per E-Mail an die Mitglieder im Arbeitskreis sowie über die Website der DGPF.

KAI HAHNE, BGR Hannover, Geologe und langjähriges Mitglied im Arbeitskreis, wird ab diesem Jahr in der Leitung des Arbeitskreises mitwirken und löst FRIEDRICH KÜHN ab, dem wir für viele Jahre aktiver Mitarbeit in der Arbeitskreisleitung herzlich danken.

HANS-ULRICH WETZEL, Potsdam

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 Sensor-komponenten sowie zur Ableitung/Definition neuer Aufgabenstellungen für Sensorsysteme
- Modellierung/Simulation der Sensoren und Aufnahmesysteme auch unter Berücksichtigung der Auswertelgorithmen zur Objekt- und 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

Im Rahmen des wissenschaftlichen Programms der 33. Wissenschaftlich-Technischen Jahrestagung der DGPF verantwortete der Arbeitskreis Sensoren und Plattformen zwei Sitzungen, die auf gewohnt reges Interesse stießen. Eröffnet wurde die erste Sitzung durch LUDWIG HOEGNER von der Technischen Universität München. In seinem Beitrag präsentierte er ein Verfahren zur automatischen Koregistrierung einer 3D Punktwolke von einer Time-of-Flight Kamera mit Aufnahmen einer thermischen Infrarotkamera. Nach diesem eher dem Nahbereich zuzuordnenden Szenarium beschäftigte sich der folgende Beitrag von TILMAN BUCHER mit Anwendungen des am Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) entwickelten Modularen Luftbildkamerasystems (MACS). Die Auswertung von Daten dieser Kamera stand ebenso im Mittelpunkt des Beitrags von ALEXANDER WIEDEN (DLR). Dabei wurde ein Ansatz zur Georeferenzierung unter Nutzung von Referenzorientierungen vorgestellt, wie er insbesondere für solche Bilddaten eines Mehrkopfkamerasystems mit relativ schmalen Öffnungswinkel und schleifender Schnittgeometrie geeignet ist. Den Abschluss der ersten Sitzung bildete der Beitrag von MICHAEL CRAMER von der Universität Stuttgart. Hier wurde das sehr beachtliche Genauigkeitspotential der UAV-gestützten photogrammetrischen Erfassung von hochaufgelösten 3D Punktwolken, Digitalen Oberflächenmodellen und Orthophotos am Beispiel von Anwendungen der Landesver-

messung aufgezeigt (siehe auch Artikel in diesem Heft).

Eine gute Alternative zur UAV-Befliegung relativ kleinräumiger Bereiche ist die Bilddatenerfassung mit einem GyroCopter, wie DIETER FRITSCH (Universität Stuttgart) im Eröffnungsbeitrag der zweiten Sitzung des Arbeitskreises darstellte. Zum einen konnte durch den Einsatz einer DigiCAM-50 Kamera eine gute geometrische und radiometrischen Qualität der Daten erreicht werden. Zum anderen lassen sich durch den Einsatz eines solchen Tragschraubers insbesondere bei der Befliegung bebauter Gebiete eine Reihe von Problemen vermeiden, die sich zumindest nach derzeitiger Rechtslage bei der Beantragung von Fluggenehmigungen für UAV ergeben. Die Nutzung unterschiedlicher Sensoren für die dynamische Erfassung linearer Infrastrukturen unter und über der Erde diskutierte MARTIN RUB (BSF Swissphoto) am Beispiel von Korridorprojekten wie dem Gotthard Basistunnel und der Autobahn St. Gallen. Dabei wurden im Hinblick auf Produktionskosten, Genauigkeit und Messgeschwindigkeit unterschiedliche Sensoren wie flugzeuggestützte Handheld-Laserscanner oder Kameras mit mobilen terrestrischen Erfassungsmethoden verglichen. Einen Überblick über die Möglichkeiten zur satellitengestützten Erstellung von großflächigen Höhenmodellen aus hochauflösenden optischen Daten und Radaraufnahmen gab KARSTEN JACOBSEN, Leibniz Universität Hannover (siehe auch Artikel in diesem Heft). Mittlerweile ist durch die pixelbasierte Stereozuordnung die Erstellung von DOM in einer Auflösung analog zur GSD der genutzten optischen Bilder möglich. Demgegenüber steht der generelle Vorteil von SAR-Systemen, dass die Bildaufnahme nicht durch Wolkenbedeckung beeinträchtigt ist, was naturgemäß die zeiteffiziente Erfassung großer Flächen ermöglicht. Den Abschluss der Sitzungen des Arbeitskreises Sensoren und Plattformen bildete der Vortrag von STEPHAN NEBIKER (Fachhochschule Nordwestschweiz) zur integrierten Georeferenzierung von luft- und bodengestützten Stereobilddaten im Straßenbereich. Dabei stellte er Strategien vor, wie die Schwierigkeiten der direkten Georeferenzierung mobiler Plattformen im urbanen Raum aufgrund der oft stark eingeschränkten Satel-

litenabdeckung durch die Kombination mit hoch aufgelösten Luftbilddaten überwunden werden können.

Weitere und geplante Aktivitäten

In Zusammenarbeit mit der Schweizerischen Gesellschaft für Photogrammetrie und Fernerkundung (SGPF) und dem AK Optische 3D-Messtechnik wurde die Fachtagung Mobile Mapping 2013 organisiert. Ein gesonderter Bericht zu dieser Veranstaltung erscheint in diesem Heft.

Der AK Sensoren und Plattformen beteiligt sich derzeit am Benchmark on Image Matching der EuroSDR. Es untersucht das Potential der dichten Bildzuordnung für die großflächige und effiziente Erfassung hochgenauer Höhenmodelle im urbanen und ländlichen Raum und setzt dabei unter anderem auf Ergebnisse des DGPF-Kameraevaluierungsprojekts auf.

NORBERT HAALA, Stuttgart

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 AK von DGfK und DGPF war bei der Jahrestagung der DGPF in Freiburg (Dreiländertagung) vom 27. Februar bis zum 1. März 2013 mit zwei Sessions vertreten, die gemeinsam mit dem Arbeitskreis Geoinformation unter der Bezeichnung „3D-Stadtmodelle, Geoinformation“ vorbereitet und geleitet wurden. Sie zeigten interessante 3D-Anwendungen, insbesondere aber neueste Entwicklungen im Bereich der Forschung auf. Einen Schwerpunkt bildete dabei die Ableitung von Fassadendetails aus unterschiedlichen Ausgangsdaten.

Weitere und geplante Aktivitäten

Mitte April trafen sich die AK-Mitglieder zu einer weiteren Sitzung in Oldenburg. Die Sitzung fand in den Räumen der Jade-Hochschule Oldenburg statt und diente wie immer auch dem Erfahrungsaustausch der Mitglieder. Auf der Tagesordnung stand ebenfalls die Besichtigung des Labors für virtuelle Welten. Es wird von mehreren Instituten, u.a. dem Institut für Angewandte Photogrammetrie und Geoinformatik, für Anwendungen in den Bereichen Geoinformation, Architekturinformatik und Audiologie betrieben. Ausgestattet mit einer großen Anzahl von Lautsprechern, die mit speziellen Audio-Programmen gesteuert werden, verstärkt es den räumlichen visuellen Eindruck durch akustische Effekte. Die Mitglieder des AK sahen einige Visualisierungsprojekte aus der 3D-Stadt- und Landschaftsmodellierung und erste Versuche mit der sogenannten Wellenfeldsynthese.

Im Rahmen der Nachwuchsförderung prämierte der Arbeitskreis herausragende studentische Abschlussarbeiten, um junge Menschen anzuspornen, sich mit dem Themenkomplex der 3D-Stadtmodelle zu beschäftigen. So wird drei (inzwischen ehemaligen) Studenten die Teilnahme an der 26. „International Cartographic Conference“ im August 2013 in Dresden ermöglicht. Die prämierten Arbeiten werden dort mindestens mit einem Poster publiziert. Zwei beschäftigten sich mit „augmented reality“ und eine mit der Visualisierung von Tag- und Nachteffekten, natürlich im Kontext von 3D-Stadtmodellen. Die drei Nachwuchskräfte sind darüber hinaus eingeladen, ihre Arbeiten mit einem Kurzvortrag beim Workshop 3D-Stadtmodelle im November in Bonn vorzustellen.

Die Vorbereitungen für diesen Workshop in der Zeit 19. – 20.11.2013 laufen auf Hochtouren. Während der AK-Sitzung in Oldenburg wurden bereits Vorschläge diskutiert und die Anregungen aus den Feedback-Bögen der letzten Veranstaltung bewertet. Geplant sind Beiträge zu den LoD2- und LoD3-Modellen der Bundesländer und zu den neuesten IT-Trends. Einen Schwerpunkt wird die Visualisierung bilden, und es wird Vorträge aus dem benachbarten Ausland geben – von Anfang an guter Brauch beim mittlerweile fünften Work-

shop des Arbeitskreises, immer im November und immer im Bonner Universitätsclub!

BETTINA PETZOLD, Wiesbaden

Gemeinsame Jahrestagung des DGfG-Arbeitskreises „Fernerkundung“ und des DGPF-Arbeitskreises „Auswertung von Fernerkundungsdaten“, 4. – 5.10.2012 in Bochum

Zum ersten Mal wurde auf Anregung des Sprechergremiums vom 4. bis 5. Oktober 2012 in Bochum unter dem Motto „Fernerkundung – Von der wissenschaftlichen Entwicklung zur Praxisreife“ die Jahrestagung des AK Fernerkundung der DGfG gemeinsam mit dem DGPF-Arbeitskreis „Auswertung von Fernerkundungsdaten“ durchgeführt. Das Treffen unter der Leitung von CARSTEN JÜRGENS (Ruhr-Universität Bochum) konnte mit insgesamt 75 Teilnehmern als Erfolg gewertet werden, denn es wurden durchweg aktuelle und forschungsorientierte Beiträge aus den verschiedenen Fernerkundungsstandorten geboten.

Auch in diesem Jahr wurden Workshops zu praktischen Fernerkundungsanwendungen (u.a. Objektorientierte Bildanalyse, Change Detection) geboten, die nicht nur wertvolle Anregungen lieferten, sondern auch dem mehrfach in den Keynotes formulierten „need for education“ Rechnung trugen. Ergänzt wurden die Workshops durch mehrere Software-Präsentationen mit Hinweisen auf Neuentwicklungen im Bildverarbeitungsbereich. Die beiden Keynotes von MICHAEL SCHAEPMAN (Universität Zürich) und JOACHIM HILL (Universität Trier) widmeten sich dem Monitoring von Prozessen mit aus Fernerkundungsdaten abgeleiteten Indikatoren und betonten die zukünftige Notwendigkeit der Verknüpfung der Aufnahmephysik mit den Umweltbedingungen. Dieser Forschungsbedarf zeigte sich auch in den wissenschaftlichen Präsentationen zu den Themen Vegetationsanalyse, Desertifikation, Glaziologie, aber auch den eher human-geographisch geprägten Bereichen urbane Fernerkundung bzw. humanitäre Hilfe (z. B. die Beobachtung von Flüchtlingslagern) die

alle das Motto des Arbeitskreistreffens von der Entwicklung zur Praxisreife aufgegriffen und ebenso wie die zahlreichen Poster-Präsentationen hervorragend umsetzen konnten.

Am zweiten Tag konnte GUNTER MENZ (Universität Bonn) in einem eher technisch ausgerichteten Vortrag mit dem SENTINEL-Satellitenprogramm der ESA einen Ausblick auf die nähere Zukunft gewähren. Dabei lag der Schwerpunkt auf dem für Juni 2014 zum Start vorgesehenen optischen SENTINEL-2 System, von dem vor allem verbesserte Vegetationsindizes zu erwarten sind.

Ein Teil der Präsentationen wurde in der vergangenen Ausgabe der PFG in Form eines Sonderheftes veröffentlicht. Insgesamt zeigten alle Präsentationen eine im internationalen

Vergleich hohe Qualität der Studien, so dass man der weiteren Entwicklung des wissenschaftlichen Nachwuchses im Bereich geographische Fernerkundung gespannt entgegenblicken kann.

Das Konzept der gemeinsamen Tagung mit dem Arbeitskreis „Auswertung von Fernerkundungsdaten“ der DGPF hat sich bewährt und wird im Jahr 2013 beim nächsten gemeinsamen Arbeitskreistreffen unter dem Motto „*Synergie durch unterschiedliche Systeme*“ in der Zeit 26. – 27. September 2013 in Tübingen fortgesetzt werden.

Im Namen des Sprechergremiums des AK Fernerkundung der DGfG

VOLKER HOCHSCHILD, Tübingen

Berichte von Veranstaltungen

ISPRS Hannover Workshop „High Resolution Earth Imaging for Geospatial Information“, 21. – 24.5.2013, Leibniz Universität Hannover

Die gemeinsame Tagung der ISPRS-Arbeitsgruppen I/4, III/4, IV/2 und VII/2, unterstützt von der ISPRS-Kommission I, der Arbeitsgruppe IV/1 und der „International Academy of Astronautics“ (IAA), fand vom 21. bis 24.5.2013 an der Leibniz Universität Hannover statt. Die lokale Organisation wurde vom Institut für Photogrammetrie und GeoInformation (IPI) unter der Leitung von CHRISTIAN HEIPKE, KARSTEN JACOBSEN, FRANZ ROTTENSTEINER und UWE SÖRGEL durchgeführt.

Entsprechend der beteiligten Arbeitsgruppen waren die Themen „*Geometric and Radiometric Modeling of Optical Airborne and Spaceborne Sensors*“ (WG I/4), „*3D Scene Analysis*“ (WG III/4), „*Global Status of Mapping and Geospatial Database Updating*“ (WG IV/2), „*DEM Generation and Surface Deformation Monitoring from SAR Data*“ (WG VII/2) und „*Methods for the Update and Verification of Geospatial Databases*“ (WG IV/1) vertreten. Durch die gemeinsame Veran-

staltung der Arbeitsgruppen aus den ISPRS-Kommissionen I, IV und VII wurden sowohl Themen hinsichtlich Sensoren als auch die Interpretation von Fernerkundungsdaten bis hin zur Überprüfung der Daten in Geoinformationssystemen (GIS) diskutiert. Der im Zweijahresrhythmus stattfindende ISPRS Hannover Workshop hat sich nach den erfolgreichen Austragungen in den letzten Jahren mittlerweile als international ausgerichtete Veranstaltung etabliert. Er erreicht nicht nur Wissenschaftler aus universitären Einrichtungen und Forschungsinstituten, sondern auch die Industrie, staatliche Organisationen und private Unternehmen. Damit bietet er eine ideale Plattform zur Diskussion neuester Entwicklungen und zukünftiger Trends.

Insgesamt konnten 126 Teilnehmer aus 29 Ländern von fünf Kontinenten während des Workshops begrüßt werden. Neben fünf Keynote-Vorträgen, fanden 39 Präsentationen in 10 Vortragsblöcken und 38 interaktive Posterpräsentationen statt. Da während der Posterpräsentation kein Vortragsprogramm parallel angeboten wurde, und die Poster strategisch günstig in der Nähe des Kaffeebuffets aufgehängt waren, nutzen viele Teilnehmer die Zeit für intensive Diskussionen mit den Autoren.

Die Publikationen des Workshops sind frei verfügbar auf der Seite der ISPRS (www.isprs.org) unter <http://www.int-arch-photogramm-remote-sens-spatial-inf-sci.net/XL-1-W1/>. In diesem Zusammenhang ist zu erwähnen, dass eine Sonderausgabe des „ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing“ geplant ist, in welcher die besten Beiträge der Veranstaltung sowie zusätzliche, hochwertige Beiträge, die dem Themengebiet entsprechen, publiziert werden. Einsendeschluss für diese Veröffentlichungen ist der 30.9.2013.

Die Veranstaltung wurde offiziell von UWE SÖRGEL eröffnet, gefolgt von Grußworten des Technischen Direktors der IAA, RAINER SANDAU und des Generalsekretär der ISPRS, CHRISTIAN HEIPKE. In diesem Rahmen wurden auch die Gewinner der 5 Reisestipendien beglückwünscht, die die ISPRS Stiftung TIF zur Verfügung gestellt hatte (siehe Abb. 1). Anschließend folgten die ersten beiden von insgesamt fünf Keynote-Vorträgen. RANGANATH NAVALGUND von der Indian Space Research Organisation (ISRO) referierte über „*Earth Observation in Early Warning Systems*“ und RAINER SANDAU nach einer kurzen Pause über „*Global Space Cooperation – New Activities for Disaster Management and Climate*

Change“. Auch die nachfolgenden drei Veranstaltungstage wurden durch Keynotes eröffnet; LORENZO BRUZZONE (Universität Trient) sprach über „*Current scenario and challenges in the analysis of multitemporal remote sensing images*“, CHARLES TOTH (The Ohio State University) über „*Remote Sensing Sensors and Platforms: The Trends*“ und MICHEAL McCULLAGH (University of Nottingham) über „*Crowd-Sourcing Mapping – Letting Amateurs into the Temple?*“.

Neben den eingeladenen Vorträgen gab es 10 nach thematischen Inhalten organisierte Vortragsblöcke. Sie umfassten folgende Themen „*Image analysis*“, „*Space geometry*“, „*DTM*“, „*Analysis of urban areas by SAR*“, „*Laser scanning*“, „*New sensors*“, „*Operational remote sensing*“, „*Orientation*“, „*High resolution space borne SAR*“ und „*Remote sensing applications*“.

Wichtig für das Gelingen der Veranstaltung war neben dem wissenschaftlichen Programm auch das Einräumen von zusätzlichen Zeitfenstern, wie z. B. der *Social Events*, die Raum für Diskussion zwischen den internationalen Teilnehmern boten sowie den Austausch und das Knüpfen von Verbindungen ermöglichten. Am ersten Abend trafen sich die Teilnehmer



Abb. 1: Gewinner der TIF-Reisestipendien: Ewelina Rupnik, Marta Kubiak, Faith Karanja, Khelifa Djerriri und Henrique Candido de Oliveira (von links nach rechts) mit Christian Heipke (2. von links).



Abb. 2: Invited talks von RANGANATH NAVALGUND (links) und CHARLES TOTH (Mitte), Poster session (rechts).

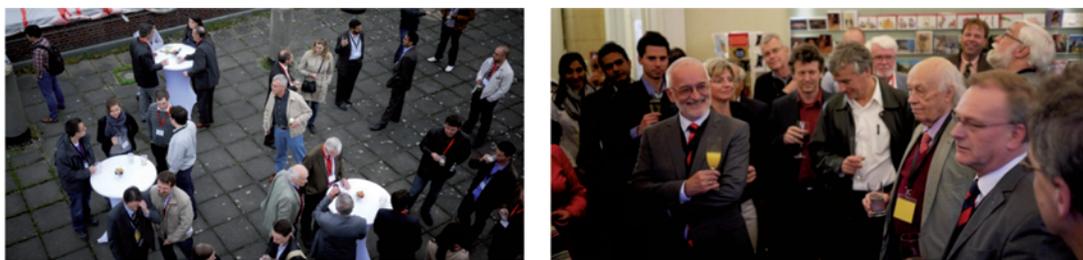


Abb. 3: Social events auf dem Messdach (links) und im Wilhelm-Busch-Museum (rechts).

bei der *Get together party* auf dem lokalen Messdach. Hier wurden sie nicht nur mit einem wunderschönen Blick über die Herrenhäuser Gärten und die Stadt, sondern auch mit einem opulenten Buffet empfangen. Am zweiten Abend trafen sich alle Teilnehmer zum *Workshop Dinner* im Wilhelm-Busch-Museum, wo sie dank der Unterstützung von Hexagon mit einem luxuriösen Abendessen verwöhnt wurden. Ergänzend gilt besonderer Dank Hexagon und speziell HARTMUT ROSENGARTEN nicht nur für die Organisation der interessanten Masterclass am Donnerstagnachmittag, sondern auch für die generelle Unterstützung des Workshops.

Großer Dank gilt auch dem Team um CHRISTIAN HEIPKE, UWE SÖRGEL zusammen mit CLAUDIA SANDER, ANNETTE RADTKE und UWE BREITKOPF sowie weiteren zahlreichen Helfern, die diese Tagung mit großem Einsatz exzellent organisierten. Dies beinhaltete sowohl die Vorbereitung der Konferenz, die Durchführung des technischen Programms als auch die Bewirtung der Teilnehmer.

Lassen Sie uns mit einem Wunsch abschließen: Wir würden uns freuen, Sie 2015 in Hannover alle wieder zu sehen.

ANTJE THIELE, Karlsruhe
PETRA HELMHOLZ, Perth, Australien

Fachtagung „Mobile Mapping“ 2013 am 19. Juni 2013 in Muttenz, Schweiz

Das Institut Vermessung und Geoinformation der Hochschule für Architektur, Bau und Geomatik (Fachhochschule Nordwestschweiz, FHNW) veranstaltete am 19. Juni 2013 zum zweiten Mal die Fachtagung *Mobile Mapping 2013* (MM2013) in Muttenz, Schweiz. Die Zusammenstellung des Vortragsprogrammes erfolgte durch STEPHAN NEBIKER (FHNW), NORBERT HAALA (Universität Stuttgart) und THOMAS KERSTEN (HafenCity Universität Hamburg), während die Organisation der Fachtagung und die Tagungsleitung in den Händen von STEPHAN NEBIKER und seinem Team der

FHNW Muttenz lag. Unterstützt wurde die Veranstaltung von der Schweizerischen Gesellschaft für Photogrammetrie und Fernerkundung (SGPF) und der Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie, Fernerkundung und Geoinformation (DGPF), vertreten durch die Arbeitskreise Sensoren und Plattformen und Optische 3D-Messtechnik. Die MM2013 war nach 2011 die zweite Konferenz im deutschsprachigen Raum, die sich ausschließlich der Thematik *Mobile Mapping* in all ihren Ausprägungen widmete. Die Fachtagung richtete sich an ein breites Fachpublikum aus Geomatik, Bauingenieur- und Gemeindeingenieurwesen mit einem Interesse an Mobile Mapping Systemen sowie an deren Anwendungsmöglichkeiten und -potentialen. Die 130 Teilnehmer der Veranstaltung waren erfreulicherweise überwiegend Interessierte aus dem Anwenderbereich, aus Hochschulen und von Systemherstellern, so dass ein interessantes Forum für Diskussionen zwischen Anwendern, Herstellern und Hochschulangehörigen geboten werden konnte. In einer attraktiven und von den Besuchern sehr gut angenommenen Ausstellung begleitend zur Fachtagung nutzten elf Aussteller (Hersteller, Betreiber und Hochschulen) die Gelegenheit, ihre Systeme und Entwicklungen vorzustellen. In fünf Sitzungen zu den Themenbereichen „Einführung & Grundlagen“, „Erfassungstechnologien & -szenarien“, „Praxis/Industrie/Anwendungen“, „Forschung & Entwicklung“ und „Trends & Ausblick“ wurden insgesamt 16 Vorträge gehalten. Zwei Sitzungen wurden parallel gehalten.

Nach einer kurzen Begrüßung durch STEPHAN NEBIKER und BRUNO SPÄNI (Direktor der

Hochschule für Architektur, Bau und Geomatik in der FHNW) zeigte CHRISTIAN KÄSER (Bundesamt für Straßen (ASTRA), Bern) in seiner Keynote-Präsentation auf, welche Herausforderungen der Infrastrukturunterhalt am Beispiel des Schweizerischen Nationalstraßennetzes darstellten. Trotz eines kontinuierlich wachsenden Verkehrsaufkommens (Verdreifachung seit 2009) und der zunehmenden Stautunden (ca. 19.000 h/a) sind die Straßen sicherer geworden. Dennoch führen der Verfall der Straßen durch Zeit, Witterung und Verkehr und der Einfluss von Baustellen zu Verlusten in der Leistungsfähigkeit, Verfügbarkeit, Sicherheit und Umweltverträglichkeit. Durch ein optimiertes Erhaltungsmanagement versucht man, die Kosten der Betreiber, der Straßennutzer und der Gesellschaft volkswirtschaftlich zu minimieren. Dabei muss die Funktionalität der Straßen durch entsprechende Koordination der erforderlichen Baustellen aufrecht gehalten werden. Wichtige Grundlage dafür sind ein funktionierendes Fachinformationssystem und entsprechende Daten über den Zustand, die Substanz und die Maßnahmen. Darüber hinaus präsentierte STEPHAN NEBIKER in einer Übersicht die Trends und Entwicklungen im Mobile Mapping seit der letzten Fachtagung 2011. Dabei liefern sich Nokia, Google und Microsoft eine „Schlacht um die Daten und die Karten“ für mobile Internetanwendungen der Gegenwart und Zukunft. Bei der Erfassungssensorik geht der Trend in Richtung Multibeam-Scanner, integrierte Systeme (plug-and-drive), Datenfusion von flugzeuggestützten und terrestrischen Systemen, integrierte Georeferenzierung und 3D-Bilddaten.



Begrüßung der Teilnehmer der Fachtagung Mobile Mapping 2013 an der FHNW Muttenz durch STEPHAN NEBIKER (links) und Überreichung eines kleinen Präsentes an den Vortragenden ANDREAS PROKOPH durch THOMAS KERSTEN (rechts).

Für die webbasierte Nutzung und Visualisierung der großen Datenmengen hat sich HTML5 als wichtiger Fortschritt herausgestellt. Offene Fragen bleiben immer noch beim Datenschutz und beim Mobile Mapping in Innenbereichen.

Die Fachtagung hat gezeigt, dass Geodäten die mobile Datenerfassung in entsprechender Genauigkeit beherrschen. Aber in der Algorithmen, der Klassifikation von Punktwolken, Szenenrekonstruktion und bei Benchmarks können sie noch sehr viel von der Robotik/Computer Vision lernen. Dieses Mal bildeten die Aspekte wie Systemintegration und -kalibrierung sowie Automation in der Datenerfassung den Schwerpunkt der Tagung, doch gerade die Verarbeitung der erfassten Daten wie z. B. Urban Modeling kam vielleicht etwas zu kurz. Dennoch stellte die Fachtagung eine wichtige Fortsetzung dieser Thematik im deutschsprachigen Raum dar, um das Potential und die Änderungen seit 2011 dieser sich rasant entwickelnden Technologie einem breiten Publikum aufzeigen zu können. Dem FHNW-Team um STEPHAN NEBIKER gilt besonderer Dank für die hervorragende Organisation und Durchführung dieser gelungenen Veranstaltung. Die Vorträge stehen im Internet unter dem folgenden Link www.3dgi.ch/mm2013 für Interessierte zur Verfügung.

THOMAS KERSTEN, Hamburg
NORBERT HAALA, Stuttgart

16th Brazilian Remote Sensing Symposium (XVI SBSR), 13. – 18. April 2013 in Foz do Iguaçu, Brazil

The *Brazilian Remote Sensing Symposium* (SBSR), a biannual national event of the Brazilian remote sensing community, was held in Foz do Iguaçu this year. The city Foz do Iguaçu, with the proximity to the famous and worldwide known Iguaçu Waterfalls, is located at the West of Paraná State on the border to Paraguay and Argentina.

The SBSR, starting 35 years ago with only a few people, has developed to a premier event in the region, attracting people from outside Brazil and a total of about 2,000 attendees. The Brazilian National Institute for Space Research (*Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais* – INPE) and the Latin American Association on Remote Sensing (*Sociedade de Especialistas Latino-americanos em Sensoriamento Remoto* – SELPER) are the organizers of SBSR. Over the years, the Brazilian remote sensing community has seen steady increase, with a growing interest in applications and, additionally, research and developments. Consequently, a high number of contributions were submitted to the symposium. 75% of the 1,619 full paper submissions were accepted for publication. The final program included 192 oral presentations in 24 Plenary Sessions, several hundred papers in the Panel Sessions



From left to right: EDSON MITISHITA (UFPR, Brazil), BORIS JUTZI (KIT, Germany), ANA PAULA KERSTING (Lactec, Brazil), CHARLES TOTH (OSU, USA), and JORGE CENTENO (UFPR, Brazil).

and the remaining submissions in the Poster Sessions.

Prior to SBSR, eight two-day lecture courses were provided on various geospatial topics, ranging from recent developments in research and applications to technological advancements and emerging applications. The instructors were internationally known experts, coming from Brazil and many other countries. The course on *New Advancements in Airborne LiDAR Technology* was supported by the ISPRS Technical Commission I and locally organized by EDSON MITISHITA and JORGE CENTENO, both from UFPR (University of Paraná, Brazil), who provided the basic materials. CHARLES TOTH (The Ohio State University, USA) and BORIS JUTZI (Karlsruhe Institute of Technology, Germany) provided a review on the state-of-the-art of airborne LiDAR technology, and ANA PAULA KERSTING (Lactec, Brazil) discussed applications and industry developments. Most of the lectures stimulated fruitful discussions, as the audience was quite interested and engaged. Besides the two-day course, the ISPRS TC I representatives actively participated in a half-day workshop in the regular program.

In summary, the conference including the two-day lectures was extremely well-organized by the SBSR team and the hospitality during the entire event was exceptional. Clearly, the attendees benefited from a strong technical program and evidently enjoyed the socials too. For more details see www.dsr.inpe.br/sbsr2013.

BORIS JUTZI, Karlsruhe
CHARLES TOTH, Columbus, Ohio, USA

12. Internationales 3D-Forum Lindau, 19. und 20. März 2013

Im März 2013 fand in der Inselhalle Lindau das 12. Internationale 3D-Forum Lindau statt. Es nahmen 190 Besucher und 20 ausstellende Firmen aus fünf Ländern an der Veranstaltung teil. Mit den Schwerpunktthemen 3D-Stadtmodelle in Architektur und Stadtplanung, landesweite 3D Gebäudemodelle und INSPIRE 2D und 3D boten die Veranstalter CLAUS BIHL (Stadt Lindau) und ACHIM HELLMEIER (Ingenieur-

urbüro Real.IT, Aalen) dem Fachpublikum aus Wirtschaft, Wissenschaft und Verwaltung einmal mehr ein hochinteressantes und aktuelles Programm. Neben diesen Schwerpunktthemen standen wieder Anwendungen von und mit 3D-Stadtmodellen im Vordergrund der Veranstaltung.

Partner der Veranstaltung waren die Gesellschaft für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement (DVW), die Deutsche Gesellschaft für Photogrammetrie, Fernerkundung und Geoinformation (DGPF) und das Virtual Dimension Center (VDC) Stuttgart/Fellbach. Hauptsponsor der Veranstaltung war die Firma Esri Deutschland GmbH.

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

Die Begrüßung und Eröffnung am ersten Tag übernahm in Vertretung des Oberbürgermeisters der Stadt Lindau der Stadtbaudirektor GEORG SPETH. Er wies u.a. darauf hin, dass bei der Stadt Lindau in den nächsten Jahren auch größere Bauprojekte wie der neue Bahnhof und das neue Kongresszentrum anstehen und diese Projekte natürlich auch unter Zuhilfenahme des 3D-Stadtmodells Lindau geplant werden.

Anschließend folgte der Eröffnungsvortrag von THOMAS KOLBE, Direktor des Lehrstuhls für Geoinformatik der Technischen Universität München und Präsident der DGPF mit dem Beitrag *INSPIRE 2D und 3D – Was kommt da auf uns zu?* KOLBE gab dem Auditorium nicht nur einen sehr guten Überblick, sondern zeig-



Abb. 1: Veranstaltungsort Inselhalle Lindau.

te auch die nächsten Etappen dieser für die Geoinformation sehr wichtigen europäischen Richtlinie auf.

Der nächste Beitrag folgte von ELKE ACHLEITNER von der Stadt Linz, Österreich. Frau ACHLEITNER stellte das interaktive Stadtmodell der Stadt Linz vor, welches vor allem durch seinen hohen Realisierungsgrad, seine vielseitigen Anwendungen und seine Detailtreue überzeugte.

Im dritten Beitrag am Vormittag stellte BERTHOLD KLAUSER vom Landesamt für Geoinformation Stuttgart/Karlsruhe das Projekt LoD2 des Landes Baden-Württemberg vor und zeigte, dass Baden-Württemberg interessante Produkte für die Nutzer bereitstellt.

Im letzten Vortrag vor der Mittagspause referierte ARTHUR CLEMENT von der Stadt Luzern, Schweiz, über die starke Nachfrage am neuen virtuellen und physischen 3D-Stadtmodell von Luzern. Überrascht hat hier vor allem, dass neben den virtuellen Gebäudemodellen auch die physischen Modelle sehr gefragt sind.

Bevor dann die Mittagspause begann, stellten die Veranstalter die ausstellenden Firmen in Kurzporträts vor.

Den zweiten Teil des Vortragsprogramms eröffneten CHRISTIANE RADIES von der Technischen Universität München und JAN LIEBSCHER von der Stadt München mit einem gemeinsamen Beitrag über moderne Bebauungsplanung in 3D unter Zuhilfenahme neuester Softwarelösungen zur prozeduralen Generierung von Planungsszenarien. Besonders interessant für die Zuhörer war hier sicherlich, wie schnell



Abb. 2: Thomas Kolbe beim Eröffnungsvortrag.

damit entsprechende Planungsvarianten simuliert werden können.

Die Thematik 3D Stadtmodelle in der Stadtplanung wurde von WOLFF STOTTELE vom Architektur- und Planungsbüro Elwert & Stottele, Ravensburg, fortgesetzt. In gestalterisch sehr schönen und auch praxisnahen Beispielen zeigte STOTTELE als Architekt und Stadtplaner auf, wie nützlich 3D-Stadtmodelle in der Planungsphase sind und stellte abschließend fest, dass sie darin immer stärker an Bedeutung gewinnen.

Der nächste Beitrag von GÜNTER GRONAU von der EnBW Regional AG, Stuttgart (Energie Baden-Württemberg) beschäftigte sich mit den Anforderungen an 2D und 3D Geo- und Gebäudemodelle für Planung und Betrieb eines Energieunternehmens. Auch hierbei kam zum Ausdruck, dass der Trend klar in Richtung 3D geht.

Den vortraglichen Abschluss des ersten Tages machte JOACHIM RIX vom Fraunhofer-Institut für Graphische Datenverarbeitung (IGD) Darmstadt mit seinen Ausführungen über neueste Techniken und Trends bei der WEB Geo/3D-Visualisierung. Diese schnell fortschreitende Thematik wird sicherlich auch in den folgenden Jahren immer wieder auf der Tagesordnung stehen.

Der erste Veranstaltungstag klang dann schon traditionell am Abend in gemütlicher Atmosphäre zur Starkbierzeit im mittelalterlichen Gasthaus Sünfzen auf der Insel Lindau aus, wo neben Speis und Trank alte Bekanntschaften gepflegt und neue Kontakte geknüpft wurden.

Am zweiten Tag standen am Vormittag drei Vertiefungsthemen auf dem Programm: Beginnend mit dem Thema *3D-Rekonstruktionen mit Tiefenkameras*, wo über neue Kameratechnologien mit der entsprechenden Software referiert wurde, folgte der zweite Block mit der Überschrift *Softwarelösungen und Standards für 3D-Stadtmodelle*. Hier wurde ein sehr interessanter und kompakter Überblick über diese Thematik gegeben. Den Abschluss bildete ein sehr praxisnaher Beitrag über die dritte Dimension im amtlichen Vermessungswesen Deutschlands, wo die bundesweiten Aktivitäten der Adv (Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen) im Fokus standen.

Die Vertiefungsthemen wurden von GÜNTER POMASKA (Fachhochschule Bielefeld), VOLKER COORS (Hochschule für Technik, Stuttgart) und ULRICH GRUBER (Resortleiter ALKIS, 3D-Geobasisdaten, Kreis Recklinghausen) präsentiert.

Am Nachmittag fanden drei Firmen- und ein CityGML-Workshop statt. Neben der Firma Esri, die ihre weiteren Aktivitäten im 3D-Bereich und GIS mit der CityEngine aufzeigte, waren die Firmen UVM Systems und VirtualCitySystems (VCS) präsent. UVM berichtete über die Nutzung von Mobile Mapping Daten für die Stadtmodellierung und Visualisierung. VCS stellte das webbasierte Verwalten, Verteilen und Veröffentlichen von 3D-Geodaten auf der Basis von CityGML und der 3DCity-DB vor.

Der CityGML Workshop mit Experten aus der SIG3D und der Standard Working Group des OGC fand bereits zum dritten Mal in Lindau statt und beschäftigte sich neben dem praktischen Einsatz von CityGML mit der Qualitätsprüfung von 3D-Stadtmodellen.

Die Veranstaltung ging gegen 17 Uhr zu Ende. Sie kann nicht nur wegen der hohen Teilnehmer- und Ausstellerzahl als voller Erfolg gewertet werden, sondern auch wegen der guten Resonanz bei allen Beteiligten.

Das nächste Internationale 3D-Forum Lindau findet am 6. und 7. Mai 2014 statt (www.3d-forum.li).

ANDREAS LINDENMÜLLER, Lindau
ACHIM HELLMMEIER, Aalen

Hochschulnachrichten

Technische Universität Wien, Dissertation Michael Vetter

Mag. MICHAEL VETTER promovierte am 10.6.2013 am Department für Geodäsie und Geoinformation der Technische Universität Wien mit der Arbeit „*Airborne laser scanning terrain and land cover models used in hydrological and hydraulic studies*“ zum Dr. techn.

1. Gutachter: Prof. Dr. WOLFGANG WAGNER, TU Wien, Department für Geodäsie und Geoinformation, Forschungsgruppe Fernerkundung;

2. Gutachter: Prof. Dr. GÜNTER BLÖSCHL, TU Wien, Centre for Water Resource Systems (CWRS).

Kurzfassung: Seit einigen Jahren wird Airborne Laser Scanning (ALS) als Methode zur Erfassung von topographischen Daten herangezogen. Die meisten ALS Sensoren nehmen neben den X,Y,Z Koordinaten auch die Signalamplitude (auch Intensität genannt) als dreidimensionale Punktwolke auf, wobei zwischen single, multiple-echos und fullwaveform Aufnahmesystemen unterschieden wer-

den kann. Für Anwendungen im Bereich der Hydrologie oder der Hydraulik werden meist Digitale Oberflächenmodelle (DOM) oder Digitale Geländemodelle (DGM) im Rasterformat verwendet, welche aus der 3D Punktwolke abgeleitet werden. Diese Modelle werden durch Filterung und Klassifikation der Punktwolke in Boden-, Vegetations- oder Gebäude- und andere Klassen berechnet. Meist werden Geländemodelle zur Berechnung von Gerinnenetzwerken, Volumensabschätzungen von Wasserkörpern, der Berechnung von Überflutungsflächen und der Fließgeschwindigkeiten in hydrodynamisch-numerischen Modellen herangezogen. Diese Analysen basieren zum größten Teil auf den originalen Geländemodellen, die nicht speziell optimiert wurden.

In der vorliegenden Dissertation werden Methoden zur Verbesserung von DGM sowie der Generierung von Inputparametern für hydro-relevante Fragestellungen vorgestellt und diskutiert. Das Ziel der Dissertation ist es, das vorhandene Potential von hochauflösenden ALS Daten für hydrologische und hydraulische Studien aufzuzeigen und nutzbar zu machen. Der Vorteil von räumlich hoch auflösen-

den ALS Daten gegenüber räumlich gering-aufgelösten topographischen Daten ist der hohe Detailgrad an Geländeinformationen, wobei dieser bei hydrologischen und hydraulischen Fragestellungen oft auch negative Auswirkungen hat. Neben der hohen Detailgenauigkeit der topographischen Informationen beinhalten ALS Daten zusätzlich die Intensitätsinformation und verfügen zudem über eine gute vertikale Verteilung der Messungen. Anhand von ausgewählten Anwendungen wird gezeigt, wie solche negativen Geländeeinflüsse minimiert werden können und wie aus den ALS Daten Objekte aber auch spezielle Parameter für hydraulische und hydrologische Fragestellungen berechnet werden können.

Das Hauptaugenmerk der Arbeit liegt auf der Verbesserung bestehender Methoden zur Generierung hydrologischer und hydraulischer Merkmale aus ALS Daten bei maximaler Automation. Einleitend wird auf die aktuelle Situation im Bereich Laser Fernerkundung eingegangen. Dabei werden neben den Aufnahmeprinzipien die verschiedenen Sensorplattformen und die abgeleiteten Rastermodelle vorgestellt. Zudem wird auf aktuelle technologische Trends eingegangen. Im ersten Methodenteil der Dissertation wird ein Ansatz vorgestellt, bei dem ein 1m-DGM für die Ableitung von Gerinnenetzwerken optimiert wird. Normalerweise werden nur selten 1m-DGMs für die Ableitung von Gerinnenetzwerken basierend auf Fließakkumulationmethoden herangezogen, da der hohe Detailgrad der topographischen Informationen sowie die im Geländemodell enthaltenen Straßen einen negativen Einfluss haben. Meist werden räumlich gering aufgelöste Geländemodelle verwendet, bei denen Straßen und topographische Kleinstrukturen durch eine Glättung (z. B. low pass filter) eliminiert werden. Dabei geht gleichzeitig der hohe Detailgrad und die hohe räumliche Auflösung verloren, welche schließlich nicht mehr für die Gerinneberechnung vorhanden sind. Durch Eliminieren der anthropogenen Strukturen, hauptsächlich der Straßen, kann ein optimiertes DGM erstellt werden, bei dem die negativen Einflüsse der Straßen auf die Fließakkumulationmethoden minimiert werden. Der Ergebnisvergleich zwischen Netzwerken, die auf dem optimier-

ten 1m-DGM und denen, die auf dem original 1m-DGM, einem 5m optimierten oder einem geglätteten 5m-DGM basieren, zeigen eine Verbesserung von rund 9% bei der Vollständigkeit bzw. Genauigkeit.

Im zweiten methodischen Teil wird ein punktwolkenbasierter Ansatz zur Wasseroberflächenklassifikation basierend auf Geometrie- und Radiometriedaten erläutert. Durch die Interaktion des Laserstrahls einer bestimmten Wellenlänge mit der Wasseroberfläche können ALS Intensitätsdaten optimal zur Detektion von Wasseroberflächen eingesetzt werden. Wasseroberflächen sind vor allem in der Erstellung von Landbedeckungskarten aber auch für die Berechnung von hydrodynamisch-numerischen Modellen wichtig. Die genaue Lage der Wasserfläche nimmt bei der hydrodynamisch-numerischen Berechnung einen hohen Stellenwert ein, da diese für die Integration von Flusssohlenmodellen aber auch für die Zuweisung von Rauigkeitsparameteren verwendet wird. Weiters wird, ausgehend von der Wasseroberfläche, ein Flusssohlenmodell errechnet. Zudem wird eine zusätzliche Methode zur Wasseroberflächenableitung basierend auf Rasterdaten vorgestellt. Durch die Kombination von Wasseroberfläche und terrestrisch gemessenen Flussquerprofilen wird ein Flussbettmodell berechnet, das mit dem bestehenden DGM vereinigt wird. Das neu berechnete DGM mit der integrierten Flusssohle kann für hydrodynamisch-numerische Modellierungen aber auch für die Berechnung von Flusssohlenveränderungen zwischen zwei Hochwasserereignissen herangezogen werden. Die Vorteile der Methode sind, dass die hochauflösenden Geländedaten aus dem ALS erhalten und mit dem Flusssohlenmodell ergänzt werden. Die Qualität des abgeleiteten Flusssohlenmodells hängt dabei primär von den Abständen der verwendeten Flussquerprofile ab.

Im letzten Methodenteil wird ein punktwolkenbasierter Ansatz zur hydraulischen Rauigkeitsbestimmung vorgestellt. Ausgehend von Geometriedaten der 3D Punktwolke werden die vertikalen Strukturen der Vegetation analysiert und verschiedene Landbedeckungsklassen berechnet, welchen schließlich Manning Werte zugewiesen werden. Die Vorteile dieser Methode sind die vollautomatisierte

Analyse, die hohe Reproduzierbarkeit der Ergebnisse sowie die kurze Rechenzeit. Mit dieser Methode wird ermöglicht, dass die Geometrie und die Rauigkeitsdaten von ein und derselben Befliegung abgeleitet werden und beide als Input für hydrodynamisch-numerische

Modellierungen dienen können. Daher kann sichergestellt werden, dass alle Inputdaten (Geometrie und Rauigkeiten) von exakt einem Zeitpunkt stammen, was bis dato nicht der Fall gewesen ist.

Neuerscheinungen

STROBL, J., BLASCHKE, T., GRIESEBNER, G. & ZAGEL, B. (Hrsg.) 2013: *Angewandte Geoinformatik 2013 – Beiträge zum 25. AGIT-Symposium Salzburg, 2013*. Wichmann-Verlag, 672 Seiten. ISBN 978-3-87907-533-1.

Das Zentrum für Geoinformatik der Universität Salzburg veranstaltete vom 3. bis zum 5. Juli 2013 bereits das 25. „Symposium für Angewandte Geoinformatik (AGIT)“. Dieses Forum für Anwender von Geoinformationssystemen (GIS) und verwandten Methoden und Technologien dokumentiert als zentrale Informationsdrehscheibe jährlich den „Stand der Praxis“. Der AGIT-Tagungsband hat sich als Jahrbuch der Geoinformatik etabliert, bietet eine wertvolle Standortbestimmung und ist richtungweisend hinsichtlich neuer Entwicklungen. Die Vielfalt der Beiträge gibt für den individuellen Interessenbereich neue Anregungen, Informationen und kritische Perspektiven.

LUHMANN, T. & MÜLLER, C. (Hrsg.) 2013: *Photogrammetrie Laserscanning Optische 3D-Messtechnik – Beiträge der Oldenburger 3D-Tage 2013*. Wichmann-Verlag, 442 Seiten. ISBN 978-3-87907-528-7.

Das Institut für Angewandte Photogrammetrie und Geoinformatik der Jade Hochschule Wilhelmshaven/Oldenburg/Elsfleth veranstaltete vom 13. bis 14.2.2013 die 12. Oldenburger 3D-Tage. Diese Veranstaltung bildet eine wichtige Plattform für Fachleute aus den Bereichen Photogrammetrie, Geodäsie und in-

dustrieller Messtechnik. Mit ca. 230 Teilnehmern gilt sie als eine der wichtigen Veranstaltungen in diesem Bereich. Die Beiträge in diesem Werk dokumentieren für die Themengebiete Photogrammetrie, Laserscanning und optische 3D-Messtechnik die neuesten Forschungsergebnisse und Anwendungsbeispiele aus Wissenschaft und Praxis. Folgende Themenschwerpunkte werden behandelt: Dynamische Prozesse, Oberflächenerfassung, Navigation von Objekten und Sensoren, Mobile Systeme und Plattformen, Neue Sensoren und Systeme, Messunsicherheit und Standardisierung.

BUHMANN, E., ERVIN, S. & PIETSCH, M. (Hrsg.) 2013: *Digital Landscape Architecture 2013* at Anhalt University of Applied Sciences (Peer Reviewed Proceedings). Wichmann-Verlag, 400 Seiten, ISBN 978-3-87907-527-0.

Dieses Werk beinhaltet die Tagungsbeiträge der internationalen Tagung „Digital Landscape Architecture 2013“, welche die Hochschule Anhalt (FH) im Rahmen des Studiengangs „Master of Landscape Architecture“ in Dessau und Bernburg vom 30. Mai bis zum 1. Juni 2013 veranstaltet hat. Die ca. 40 Fachbeiträge (in Englisch) befassen sich mit folgenden Schwerpunkten: GeoDesign-Konzepte, Lehre von GeoDesign in der Landschaftsplanung, GeoDesign-Fallstudien in der Regional- und Stadtplanung, mobile Devices für GeoDesign, Landschaftsinformationsmodell und Standardisierung und interaktive virtuelle Landschaften.

Mitteilung der DGPF

Kommission „Recht und Geodaten“, erster gemeinsamer Facharbeitskreis der Gesellschaften DGfK, DGPF und DVW

Mit der Konstituierung der Gemeinsamen Kommission Recht und Geodaten der Deutschen Gesellschaft für Kartographie e.V. (DGfK), der Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie und Fernerkundung e.V. (DGPF) und der Gesellschaft für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement e.V. (DVW) nimmt die Zusammenarbeit der Geo-Fachverbände auf operativer Ebene zunehmend Gestalt an.

Ganz im Sinne der Bremer Erklärung zur Verbändezusammenarbeit bündelt die gemeinsame Kommission fachliches Wissen und Arbeiten sowie gemeinsame Interessen der im Geoinformationswesen tätigen und in den Verbänden organisierten Personen – seien es Geodäten, Photogrammeter, Kartographen oder Juristen – vor allem zu den rechtlichen Aspekten beim Erheben, Verarbeiten, Bereitstellen und Nutzen der Geoinformationen. Mitglieder aus allen drei Fachverbänden tragen ihr Wissen und ihre Erfahrungen aus den jeweiligen Fachgebieten zusammen, erörtern diese und geben die Ergebnisse in Form von Empfehlungen, Stellungnahmen, Veröffentlichungen und Beiträgen in Symposien an die Verbandsgremien, an die Verbandsmitglieder und an die Öffentlichkeit weiter.

Neben den „klassischen“ Rechtsbereichen Urheber- und Verlagsrecht sowie Datenschutzrecht treten zunehmend Auswirkungen von EU-Richtlinien (z. B. INSPIRE) und Rechtsnormen zur digitalen, elektronischen Datenverarbeitung in den Fokus. Objekte des fachlichen und rechtlichen Interesses sind nicht mehr nur Karten und Geodaten – sei es in analoger oder digitaler Form, seien sie öffentlichen oder privaten Ursprungs – sondern zunehmend auch Geodatendienste, die den rechtlichen Normen zur Datenkommunikation unterliegen.

Aufgrund dieses breiten Spektrums war es nur konsequent, das Wissen und die Interessen der Geo-Fachverbände in einer Gemeinsamen Kommission zu bündeln, die aus der früheren Kommission Recht und Kartographie der DGfK hervorgegangen und satzungsmäßig bei dieser angesiedelt ist. Die Präsidien aller drei Gesellschaften begrüßten und unterstützten die Initiative der Kommission von Anfang an und stellten die strategische Bedeutung gemeinsamer Aktivitäten und Kooperationen der am „Geo-Markt“ Handelnden ganz besonders heraus.

Die Gemeinsame Kommission Recht und Geodaten wird von DIETRICH DIEZ geleitet. Er ist Jurist und Referatsleiter im Landesamt für Geoinformation und Landentwicklung Baden-Württemberg.

Weitere Mitglieder sind:

- MARTINA BRAUNE, Landesbetrieb Landesvermessung und Geobasisinformation Brandenburg,
- Dr. RITA EGGERT, Kartographin und Juristin,
- BERTHOLD KLAUSER, Abteilungsleiter im Landesamt für Geoinformation und Landentwicklung Baden-Württemberg,
- ERNEST McCUTCHEON, Geschäftsführer von InGeoForum,
- MICHAEL RÖSLER-GOY, Landesamt für Vermessung und Geoinformation Bayern,
- WOLFGANG SCHMID, Stadtmessungsamt der Landeshauptstadt Stuttgart,
- BERNHARD SPACHMÜLLER, stellvertretender Vorsitzender des Verbandes der kartografischen Verlage in Deutschland.

Die Mitarbeit in der Kommission steht jedem Interessierten offen, der Rechtsfragen aus seiner beruflichen Praxis einbringen kann und Lösungen zum gemeinsamen Nutzen erarbeiten möchte.

Ansprechpartnerin für die DGPF: MARTINA BRAUNE (martina.braune@geobasis-bb.de)

Ansprechpartner für die DGfK: DIETRICH DIEZ (dietrich.diez@lgl.bwl.de)

Ansprechpartner für den DVW: BERTHOLD KLAUSER (berthold.klauser@lgl.bwl.de)

Veranstaltungskalender

2013

11. – 17. November: **SSG2013 - ISPRS TC II, III, IV & VII Joint Meeting** (u.a. mit CMRT 2013, Laser Scanning 2013, ISA 2013; s.u.), in **Antalya**, Türkei. isprs2013-ssg.org

11. November: **ISA2013**, Image Sequence Analysis for Object and Change Detection, in **Antalya**, Türkei. tnt.uni-hannover.de/isprs/isa13

11. – 13. November: **Laser Scanning 2013**, in **Antalya**, Türkei. cirgeo.unipd.it/laserscanning2013

12. – 13. November: **CMRT2013**, City Models, Roads, and Traffic, in **Antalya**, Türkei. pf.bv.tum.de/isprs/cmrt13/

26. – 29. November: **3D GeoInfo 2013** in **Istanbul**, Türkei. 3dgeoinfo.com

8. – 15. Dezember: **ICCV2013**, International Conference on Computer Vision, **Sydney**, Australien. iccv2013.org

9. – 11. Dezember: Geological Remote Sensing Group (**GRSG**) in **Berlin**. grsg.org.uk

10. – 11. Dezember: **LowCost 3D** in **Berlin-Adlershof**. lc3d.net

12. – 13. Dezember: **3D NordOst 2013**. 3d-nordost.de

2014

1. – 6. Februar: **SPIE Photonics West 2014** in **San Francisco**, USA. spie.org/photonics-west.xml

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

Weitere Konferenzen und Workshops finden sich beispielsweise unter: isprs.org/calendar/
iris.usc.edu/Information/Iris-Conferences.html

Korporative Mitglieder

Firmen

AEROWEST GmbH
 AICON 3D Systems GmbH
 aphos Leipzig AG
 Becker GeoInfo GmbH
 Bernhard Harzer Verlag GmbH
 Blom Deutschland GmbH
 Brockmann Consult GmbH
 bsf swissphoto GmbH
 Büro Immekus
 CGI Systems GmbH
 con terra GmbH
 DB Netz AG
 DELPHI IMM GmbH
 Deutsches Bergbau-Museum
 EFTAS Fernerkundung Technologietransfer GmbH
 ESG Elektroniksystem- und Logistik-GmbH
 Esri Deutschland GmbH
 EUROPEAN SPACE IMAGING
 Eurosense GmbH
 fokus GmbH
 g.on experience gmbh
 GAF GmbH
 GeoCart Herten GmbH
 GeoContent GmbH
 Geoinform. & Photogr. Engin. Dr. Kruck & Co. GbR
 geoplana Ingenieurgesellschaft mbH
 GEOSYSTEMS GmbH
 GGS - Büro für Geotechnik, Geoinformatik, Service
 Hansa Luftbild AG
 IGI - Ingenieur-Gesellschaft für Interfaces mbH
 ILV Ingenieurbüro für Luftbilddauswertung und
 Vermessung
 Imetric 3D GmbH
 Infoterra GmbH
 INVERS - Industrievermessung & Systeme
 ITT Visual Information Solutions Germany
 J. Linsinger ZT-GmbH
 Jena-Optronik GmbH
 Leica Geosystems GmbH
 Linsinger ZT GmbH
 Luftbilddatenbank-Würzburg
 Messbildstelle GmbH
 Microsoft Photogrammetry
 MILAN Geoservice GmbH
 M.O.S.S. Computer Grafik Systeme GmbH
 PHOENICS GmbH
 PMS - Photo Mess Systeme AG
 RIEGL Laser Measurement Systems GmbH
 RWE Power AG, Geobasisdaten/Markscheidewesen
 technet GmbH
 Terra-Messflug GmbH
 TRIGIS Vermessung + Geoinformatik GmbH
 Trimble Germany GmbH
 trimetric 3D Service GmbH
 Wichmann, VDE Verlag GmbH
 Z/I Imaging Ltd.

Behörden

Amt für Geoinformationswesen der Bundeswehr
 Bayerische Landesanstalt für Wald und
 Forstwirtschaft
 Bundesamt für Kartographie und Geodäsie
 Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft
 und Verbraucherschutz
 Hessisches LA für Bodenmanagement und
 Geoinformation
 Innenministerium NRW, Gruppe Vermessungswesen

Institut für Umwelt- und Zukunftsforschung
 LA für Geoinformation und Landentwicklung, BW
 LA für Vermessung und Geoinformation, Bayern
 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 Pirna
 Stadt Bocholt, Fachbereich 31
 Stadt Düsseldorf, Vermessungs- und Katasteramt
 Stadt Köln, Amt für Liegenschaften, Vermessung
 und Kataster
 Stadt Wuppertal, Vermessung, Katasteramt und
 Geodaten
 Thüringer LA für Vermessung und Geoinformation

Hochschulen

BTU Cottbus, Lehrstuhl für Vermessungskunde
 FH Frankfurt a.M., FB 1, Studiengang
 Geoinformation
 FH Mainz, Institut für Raumbezogene Informations-
 und Messtechnik
 Jade Hochschule, Institut für Angewandte
 Photogrammetrie und Geoinformatik
 HCU HafenCity Universität Hamburg, Geomatik
 HfT Stuttgart, Vermessung und Geoinformatik
 HS Bochum, FB Vermessung und Geoinformatik
 HS Karlsruhe, Fakultät für Geomatik
 HTW Dresden, FB Vermessungswesen/Kartographie
 LUH Hannover, Institut für Kartographie und
 Geoinformatik
 LUH Hannover, Institut für Photogrammetrie und
 Geoinformation
 MLU Halle, FG Geofernerkundung
 Ruhr-Uni Bochum, Geographisches Institut
 RWTH Aachen, Geodätisches Institut
 TU Bergak. 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 Photogr.
 TU Clausthal, Institut für Geotechnik und
 Markscheidewesen
 TU Darmstadt, Institut für Photogrammetrie und
 Kartographie
 TU Dresden, Institut für Photogrammetrie und
 Fernerkundung
 TU München, FG Photogrammetrie und
 Fernerkundung
 TU Wien, Institut für Photogrammetrie und
 Fernerkundung
 Uni Bonn, Institut für Photogrammetrie
 Uni Göttingen, Institut für Waldinventur und
 Waldwachstum
 Uni Heidelberg, IWR Interdisziplinäres Zentrum für
 Wissenschaftliches Rechnen
 Uni Kassel, FB Ökologische Agrarwissenschaften
 Uni Kiel, Geographisches Institut
 Uni Stuttgart, Institut für Photogrammetrie
 Uni Würzburg, Geographisches Institut
 Uni zu Köln, Geographisches Institut

