

PRG

Photogrammetrie Fernerkundung Geoinformation

Journal for Photogrammetry, Remote Sensing
and Geoinformation Science

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

Jahrgang 2016, Heft 4

Hauptschriftleiter:
Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Kresse

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

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



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



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

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



International Society
for Photogrammetry
and Remote Sensing

DAGM

Deutsche Arbeits-
gemeinschaft für
Mustererkennung e.V.



GeoUnion
Alfred-Wegener-Stiftung

Herausgeber:

© 2016 Deutsche Gesellschaft für Photogrammetrie, Fernerkundung und Geoinformation (DGPF) e.V.

Präsident: Prof. Dr. Uwe Stilla, Technische Universität München, Fachgebiet Photogrammetrie und Fernerkundung, Arcisstraße 21, 80333 München, Germany, Tel. +49-89-289-22671

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

Published by: E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele u. Obermiller), Johannesstraße 3A, 70176 Stuttgart, Germany, Tel.: +49-711 351456-0, Fax: +49-711 351456-99, e-mail: mail@schweizerbart.de
Internet: <http://www.schweizerbart.de>

© Gedruckt auf alterungsbeständigem Papier nach ISO 9706-1994

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

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

Verantwortlich für den Inhalt der Beiträge sind die Autoren.

ISSN 1432-8364 / e-ISSN 2363-7145

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

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

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

Erscheinungsweise: 6 Hefte pro Jahrgang.

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

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

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

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

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

PFG – Jahrgang 2016, Heft 4

Inhaltsverzeichnis

Originalbeiträge

STEINER, C., WIGGENHAGEN, M. & HEIPKE, C.: Highspeed Stereo-Endoskopie für eng begrenzte Messvolumina.	181
Toś, C.: The Use of a Modified Camera for the Classification of Sedimentary Rocks	191

Beiträge aus Wissenschaft und Praxis

MAGER, A., WIRKUS, L. & SCHOEPFER, E.: Impact Assessment of Oil Exploitation in South Sudan using Multi-Temporal Landsat Imagery	211
ŁUBCZONEK, J.: Geoprocessing of High Resolution Imageries for Shoreline Extraction in the Process of the Production of Inland Electronic Navigational Charts.	225

Mitteilungen

Berichte von Veranstaltungen

European Geoscience Union (EGU) General Assembly 2016, 17. – 22. April 2016, Wien, Österreich	237
FOSSGIS und AGIT 2016, 4. – 8. Juli 2016, Salzburg, Österreich.	237

Hochschulnachrichten

Jade-Hochschule, Ehrendoktorwürde für Thomas Luhmann	240
Karlsruher Institut für Technologie, Dissertation Martin Weinmann	239
Karlsruher Institut für Technologie, Dissertation Thomas Fuhrmann	240
Technische Universität München, Dissertation Janja Avbelj	241
Universität Osnabrück, Dissertation Jakub Bieniarz	242

Gesellschaftsnachrichten

Neuer Vorstand der DGPF.	244
Hansa-Luftbild-Preis 2016.	244
Neuer Vorstand und neue Kommissionen der ISPRS.	244

Praxisbericht

WeBest – Automatisierte Korrektur und Mapping von Fassadenthermographien auf 3D-Gebäudemodelle	246
---	-----

Persönliches

Nachruf auf Gunnar Rogwalder	257
--	-----

Ausschreibungen

Karl-Kraus-Nachwuchsförderpreis.	259
Wettbewerb 3D-Stadtmodelle	260

Veranstaltungskalender	261
----------------------------------	-----

Korporative Mitglieder	262
----------------------------------	-----

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



Highspeed Stereo-Endoskopie für eng begrenzte Messvolumina

CHRISTINA STEINER, Ingolstadt, MANFRED WIGGENHAGEN & CHRISTIAN HEIPKE, Hannover

Keywords: Photogrammetrie, Bildverarbeitung, Endoskopie, Fahrzeugsicherheit

Zusammenfassung: Die Auswertung photogrammetrischer Bilder von Crashversuchen mittels stationärer Kameras ist eine etablierte Methode zur Analyse von Fahrzeug- und Dummy-Bewegungen und liefert wichtige Informationen zur Beurteilung von Berechnungsmodellen zur Crashesimulation. Für eine zuverlässige Validierung der Modelle ist es von Bedeutung, auch die Vorgänge im Inneren des Fahrzeugs zu kennen. Dies kann mit Hilfe der Auswertung von Bildern mitfahrender Kameras geschehen, wird jedoch bisher kaum durchgeführt, da sich die Kameraorientierung während des Crashversuchs ändern kann und eine Referenzierung im Objektraum dadurch erschwert wird. In diesem Artikel wird ein Beitrag zur Lösung der genannten Probleme beschrieben. Es werden zwei Glasfaserendoskope an Onboard-Hochgeschwindigkeitskameras angeschlossen und als Stereomesssystem eingesetzt. In den Auswertungen der durchgeführten Versuche ist zu sehen, dass eine Relativbewegung zwischen Kamera und Endoskop-Okular, die sich als Bildhauptpunktverschiebung auswirkt, die Messgenauigkeit in Abhängigkeit von der Bewegungsrichtung beeinträchtigen kann. Um diese Auswirkungen zu minimieren, wurde eine Methode entwickelt, die es ermöglicht, die Verschiebung des Bildhauptpunktes zu korrigieren. Mit Hilfe dieser Korrekturmethode konnte das Endoskop-Messsystem so verbessert werden, dass die Messung von Strecken im Inneren des Fahrzeugs während des Crashversuchs mit einer Genauigkeit von wenigen Millimetern möglich ist.

Summary: *Highspeed Stereo-Endoscopy for narrow measurement spaces.* The photogrammetric processing of crash test images acquired by stationary cameras is an established method for the analysis of vehicle and dummy movements. This method provides important information for the evaluation of crash simulation models. For a reliable validation of those models, however, it is important to also consider potential movements and deformations in the interior of the car. Such information can be gathered by analyzing images of so called on-board cameras, which are mounted on the moving vehicle during the crash. However, since image orientations may change during the experiment and thus referencing the results to a world coordinate system becomes cumbersome. In this article we describe possibilities to solve these issues. Two fiberscopes are connected to two onboard high-speed cameras and are used as a stereo measurement system. In controlled tests we show that depending on the alignment of the cameras with the direction of vehicle movement during the crash a relative movement between camera and endoscope eyepiece can be observed, which adversely affects the measurement accuracy. We interpret this movement as a change in the coordinates of the principal point and develop a correction method based on the fact that the image of the endoscope is projected as a circle on the CCD sensor of the camera. We show that in this way an accuracy of distances measured in the viewing field of the cameras of a few mm can be reached.

1 Einleitung

1.1 Hintergrund

Die Dokumentation und Auswertung von hochdynamischen Prozessen mit Hilfe von Highspeed-Kameras gehört in der Fahrzeugsicherheit seit Jahren zum täglichen Geschäft der Automobilhersteller. Gefordert wird dabei in der Regel eine Nachbarschaftsgenauigkeit von Punkten im Objektraum im Bereich weniger mm. Moderne Kameras leisten Aufnahmefrequenzen von über 1 000 Hz, die es ermöglichen, die schnellen und komplexen Bewegungen während eines Crashtests aufzuzeichnen und mit Methoden der Bildverarbeitung und Photogrammetrie in der notwendigen Güte auszuwerten. Die Analyse der Bildsequenzen sowie deren Abgleich mit vorher durchgeführten virtuellen Crashtests sind ein elementarer Beitrag zur Entwicklung von Fahrzeugen (vgl. RAGUSE et al. 2005). Der Crashvorgang wird sowohl mit sogenannten stationären Kameras als auch – zur Überwachung des Innenraums – mit mitfahrenden („onboard“) Kameras aufgezeichnet. Anders als mit stationären Kameras, ist die präzise Messung von Fahrzeugbewegungen mit Hilfe der onboard eingesetzten Kameras bisher nicht etabliert. Grund dafür sind die Bewegungen und Deformationen, denen die zu beobachtenden Objekte und Aufnahmesysteme unterliegen. Dadurch sind kaum Möglichkeiten vorhanden, das Aufnahmesystem im Raum zu referenzieren (äußere Orientierung), ebenso können nur schwer stabile Verhältnisse im Aufnahmesystem (innere Orientierung) garantiert werden.

Zur Lösung der genannten Probleme wurde ein neues Onboard-Aufnahmesystem entwickelt, das es ermöglicht, trotz der beengten Platzverhältnisse im Inneren eines Fahrzeugs präzise Messungen von dreidimensionalen Bewegungen zu erhalten. Das Aufnahmesystem besteht aus zwei Glasfaserendoskopen, die an zwei mitfahrenden Hochgeschwindigkeitskameras angeschlossen sind und bildet aufgrund der geringen Größe und des flexiblen Schlauches der Endoskope ein vielseitig einsetzbares Stereomesssystem.

Im folgenden Text wird auf die Untersuchungen eingegangen, die durchgeführt wurden, um das Genauigkeitspotential des Messsystems zu

bestimmen. Hierbei wird vor allem auf die Bestimmung der Nachbarschaftsgenauigkeit und von dreidimensionalen Relativbewegungen Wert gelegt. Weiterhin wird eine Methode vorgestellt, die es ermöglicht, die Einflüsse einer instabilen inneren Orientierung auf die Messwerte zu minimieren, indem vorhandene Bewegungen des Bildhauptpunktes geeignet korrigiert werden.

1.2 Stand der Wissenschaft und Technik

Der Einsatz sogenannter Glasfaserendoskope ist vor allem in der Medizin weit verbreitet und dort ein beliebtes Mittel zur Diagnostik und minimalinvasiven Chirurgie (vgl. KILIAN 2005). Hierbei spielt vor allem die Verbesserung der Bildqualität (vgl. WINTER 2008) eine wichtige Rolle, bei der die Faserendoskope gegenüber starren Linsenendoskopen im Nachteil sind. Ebenfalls im Interesse der Forschung liegt die Navigation der Endoskope im Untersuchungsraum (vgl. WENGERT et al. 2006), bei der beispielsweise Ergebnisse von Voruntersuchungen wie CT (Computertomographie)- und MRT (Magnetresonanztomographie)-Aufnahmen genutzt werden. Um die fehlende Tiefeninformation beim Einsatz einzelner Endoskope auszugleichen, werden verschiedene Ansätze verfolgt. Dazu zählen unter anderem die Verwendung von 3D-Endoskopen mit zwei CCD-Sensoren am distalen Ende (vgl. YOSHIDA et al. 2003) und der Anschluss von Time-of-Flight Kameras an Glasfaserendoskopen (LANGE 2006).

Um Endoskope für präzise Messungen nutzen zu können, muss deren Abbildungsgeometrie bekannt sein. Während die Kalibrierung von optischen Messsystemen zu den selbstverständlichen Methoden der Photogrammetrie gehört, um optimale Ergebnisse zu erhalten, gewann die Kalibrierung von Endoskopen erst relativ spät an Bedeutung. Die Verzeichnung solcher Faserendoskope ist meist mit dem bloßen Auge zu erkennen und hat daher eine Größenordnung, die korrigiert werden muss (vgl. HELFERTY et al. 2001). Mit den Auswirkungen von Bildkorrekturen auf die Kalibrierung und Messung beschäftigen sich RUPP et al. (2006). Mit der in dieser Arbeit

beschriebenen Anwendung ist am ehesten das Aufnahmesystem von KLAR (2005) vergleichbar. Der Autor kombiniert ebenfalls Highspeed-Kameras und Glasfaserendoskope zur Aufzeichnung von Bewegungen, lehnt diesen Aufbau jedoch als Messsystem aufgrund unzureichender Genauigkeit ab.

Bei den meisten in der Literatur beschriebenen Einsatzszenarien handelt es sich, sowohl in der Medizin als auch in der Technik, weitestgehend um Echtzeitanwendungen zur Inspektion und Operation. Sie unterscheiden sich vor allem in der Geschwindigkeit der aufzeichnenden Bewegungen und im Zeitpunkt der Auswertung von der hier beschriebenen Anwendung, die im post-processing durchgeführt wird. Die vorliegende Arbeit beschreibt ein Stereomesssystem, das speziell für die Anwendung bei hochdynamischen Vorgängen entwickelt worden ist und die Messung von präzisen 3D-Relativbewegungen ermöglicht. Dazu trägt der neu entwickelte Korrekturansatz bei, der die Auswirkungen der Relativbewegung zwischen Endoskop und Kamera kompensiert, die durch die beim Sicherheitsversuch auf das Messsystem wirkenden Beschleunigungen verursacht werden. Eine detailliertere Beschreibung des Systems und eine ausführliche Analyse der Ergebnisse sind STEINER (2015) zu entnehmen.

2 Technische Versuchsausrüstung

Das entwickelte Aufnahmesystem besteht aus zwei Kameras und zwei Endoskopen. Bei Glasfaserendoskopen entsteht das Bild hinter dem Objektiv, dem so genannten distalen Ende und wird auf den Querschnitt des Faserbündels projiziert. Von dort wird das Bild faserweise transportiert und anschließend durch das Okular auf den Flächensensor der Kamera projiziert (vgl. Abb. 1). Für die weiteren Untersuchungen wird vorausgesetzt, dass das Glasfaserbündel keinen Einfluss auf die geometrischen Abbildungseigenschaften hat. Aufgrund der verwendeten Endoskope hoher Fertigungsqualität kann diese Voraussetzung als gegeben angesehen werden.

Die verwendeten Glasfaserendoskope der Firma Olympus haben eine Länge von 1,90 m, bestehen aus ca. 30.000 Einzelfasern, die zu einem Bündel, also einem Glasfaserstrang, zusammengefasst sind. Durch ein Edelmetallgeflecht sind sie vor Beschädigungen geschützt. Bei einem Faserdurchmesser von 3 μm und einem Bündeldurchmesser von 0,8 mm enthält das Bündel ca. 270 Einzelfasern im Durchmesser. Durch die kreisförmige Anordnung der Fasern und die feste Blende im Objektiv des Endoskops entsteht eine nahezu kreisförmige Abbildung auf dem Sensor der angeschlossenen Kamera (vgl. Abb. 2 links).

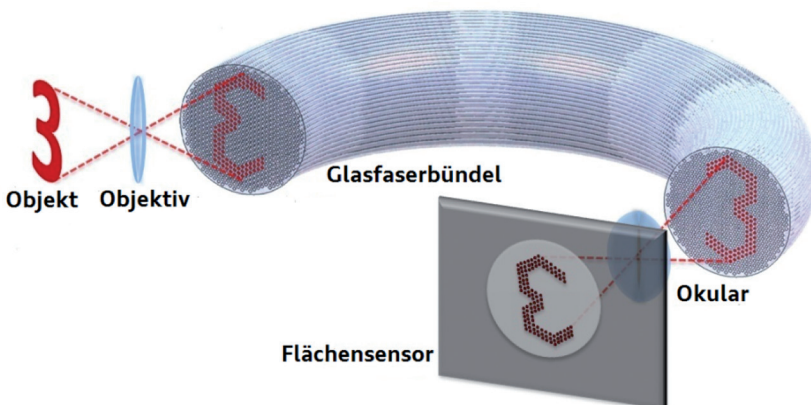


Abb. 1: Schematischer Strahlengang eines Glasfaserendoskops.

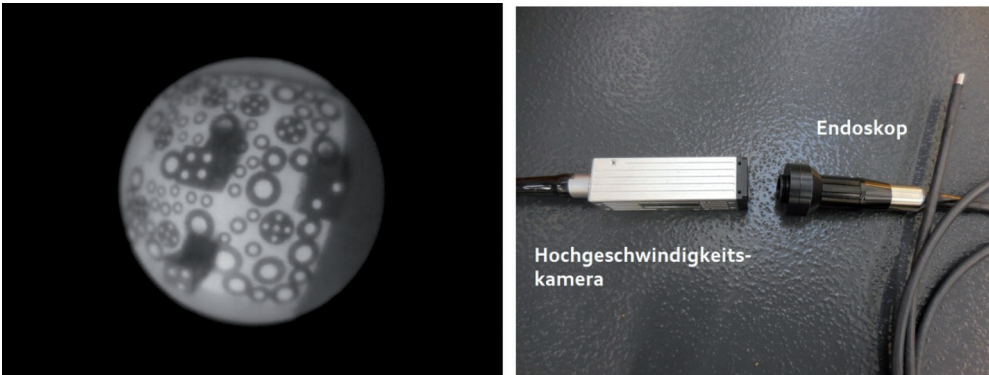


Abb. 2: Links: Kreisförmige Abbildung einer Glasfaserendoskopaufnahme. Zu sehen ist das für die Kalibrierung genutzte Testfeld. Rechts: Hochgeschwindigkeitskamera mit anzuschließendem Endoskop.

Als Kameras werden standardmäßig in Fahrzeugsicherheitsversuchen eingesetzte GX-5 von NAC Image Technology verwendet. Sie ermöglichen eine maximale Auflösung von 640×480 Pixeln bei einer Bildfrequenz von 1 000 Bildern pro Sekunde. Über den Objektivanschluss werden die Endoskope an die Kameras angeschlossen (vgl. Abb. 2 rechts). Die für die Experimente verfügbaren Endoskope hatten leicht unterschiedliche Kamerakonstanten. Der kreisförmige Bildausschnitt der Endoskope überdeckt einen Teil der Sensorfläche. Der jeweilige Durchmesser entspricht ca. 338 bzw. 300 Pixeln, der Unterschied ist durch die Fertigung der Endoskope zu erklären. Die Größe einer auf den Sensor projizierten Faser ist demnach in etwa gleich der Pixelgröße. Aus Sicht der Signaltheorie ist dies nicht ideal, laut Abtasttheorem sollte die Pixelgröße unterhalb der Hälfte des Faserdurchmessers liegen, um keinen Informationsverlust zu erleiden. Derartige Sensoren standen jedoch nicht zur Verfügung. Durch eine gemeinsame Steuerungseinheit wird eine Synchronität der beiden Kameras zueinander von 0,01 ms gewährleistet, die hier ausreichend ist.

3 Experimentelle Untersuchungen

3.1 Geometrische Kalibrierung

Gemäß den Ausführungen in Kapitel 2 können die Abbildungseigenschaften des Stereo-Endoskops zumindest näherungsweise mit den Gesetzen der Zentralprojektion und damit mit den bekannten Kollinearitätsgleichungen beschrieben werden. Um die zugehörigen Sensorparameter zu bestimmen, wird eine geometrische Kalibrierung durchgeführt. Verwendet wird dazu eine in Größe und Format auf das System abgestimmte Testtafel. Die Genauigkeit der Punkte dieser Tafel beträgt ca. 0,1 mm. Für die Bestimmung der inneren Orientierung werden vier gekippte und vier um je 90° gedrehte Aufnahmen (GODDING 1993) erstellt.

In den Aufnahmen werden die Bildkoordinaten der zuvor vermessenen Passpunkte bestimmt und gehen als Beobachtungen in eine Bündelausgleichung ein. Als Ergebnisse für die innere Orientierung werden die Kamerakonstante, der Bildhauptpunkt sowie die radialsymmetrische Verzeichnung nach BROWN (1976) bestimmt. Die tangential-asymmetrische Verzeichnung wird nicht mit berechnet, da sich in Voruntersuchungen gezeigt hatte, dass hohe Korrelationen zwischen tangential-asymmetrischer Verzeichnung und der y-Koordinate des Bildhauptpunktes beste-

Tab. 1: Ergebnisse der acht geometrischen Kalibrierungen für Endoskop 1.

Parameter	Mittelwerte	Mittlere Standardabweichung
c (mm)	2,0637	0,0131
X_H (mm)	-0,1418	0,0068
Y_H (mm)	0,0048	0,0071
A_1 (1/mm ²)	-0,1182	0,0027
A_2 (1/mm ⁴)	0,0091	0,0008

hen. Es wurden acht Kalibrierungen unter gleichbleibenden Bedingungen durchgeführt, um die Wiederholbarkeit der Ergebnisse zu prüfen.

Die Ergebnisse, in Tab. 1 beispielhaft für ein Endoskop dargestellt, zeigen durch die kleinen Standardabweichungen, dass die innere Orientierung gut bestimmbar und das Aufnahmesystem damit für präzise Messungen geeignet ist. Die Ergebnisse für das zweite Endoskop sind vergleichbar und werden deshalb nicht dargestellt. Im Detail ist zu den in Tab. 1 dargestellten Ergebnissen zu bemerken, dass wir Highspeed-Kameras verwenden, die nicht primär für Messzwecke gefertigt sind. Einseitige Abweichungen der Sensorlage relativ zur optischen Achse, wie sie hier durch den recht großen Wert der x-Koordinate des Bildhauptpunktes um Ausdruck kommen, sind durchaus realistisch.

3.2 Versuche zum Stereomesssystem

Um die Tauglichkeit des Endoskop-Kamera-Systems als Stereomesssystem zu untersuchen, wurden verschiedene Versuche auf einem Verzögerungsschlitten durchgeführt. Der Schlitten ermöglicht die Nachbildung eines Crashpulses ohne die Deformationen, die auf den Prüfkörper bei einem Gesamtfahrzeugversuch wirken, indem der Körper erst auf eine vorgegebene Geschwindigkeit gebracht und dann kontrolliert mit konstanter (negativer) Beschleunigung abgebremst wird. Der gesamte Vorgang dauert etwa 0,3 s. Diese Versuchsart ermöglicht einen vereinfachten Versuchsaufbau ohne Verdeckungen, mit ausrei-

chender Beleuchtung und mit reproduzierbaren Versuchsbedingungen und damit eine Untersuchung der Genauigkeit des Stereomesssystems unter idealen Bedingungen.

Die Endoskope wurden als provisorisches Stereosystem mit einer Basislänge von ca. 0,1 m aufgebaut. Abb. 3 zeigt diesen Versuchsaufbau. Die Optiken wurden auf die Kalibriertafel ausgerichtet, die hier als Versuchsobjekt dient und die zusammen mit den Kameras und den Endoskopen auf dem Schlitten befestigt wird. Der rote Pfeil zeigt die Bewegungsrichtung des Schlittens an, die optischen Achsen der Kameras liegen also in etwa parallel zur Bewegungsrichtung. Zunächst wurde die äußere Orientierung vor Versuchsbeginn einmalig berechnet und dann als konstant angenommen. In jedem (synchron) aufgenommenen Bildpaar wurden die Bildkoordinaten der Passpunkte gemessen und die Objektkoordinaten mit bekannter Orientierung per Vorwärtsschnitt berechnet. Die sich daraus ergebenden Strecken wurden mit den vorab bekannten Streckenlängen verglichen. Dadurch zeigte sich, dass die äußere Orientierung der Endoskope mit dem provisorischen Stereoaufbau nicht als konstant angesehen werden konnte. Über die ständig sichtbare Kalibriertafel wurden daraufhin für jeden Zeitpunkt die äußere Orientierung sowie die Objektkoordinaten neu bestimmt. Auf diese Art ergaben sich Abweichungen zwischen gemessener und Sollstrecke im mm-Bereich (für Details s. STEINER 2015).

Für die weiteren Versuche wurde der Stereoaufbau stabilisiert, so dass tatsächlich von einer konstanten äußeren Orientierung ausgegangen werden konnte (der Nachweis findet sich in STEINER 2015). In Aufbauten, in denen

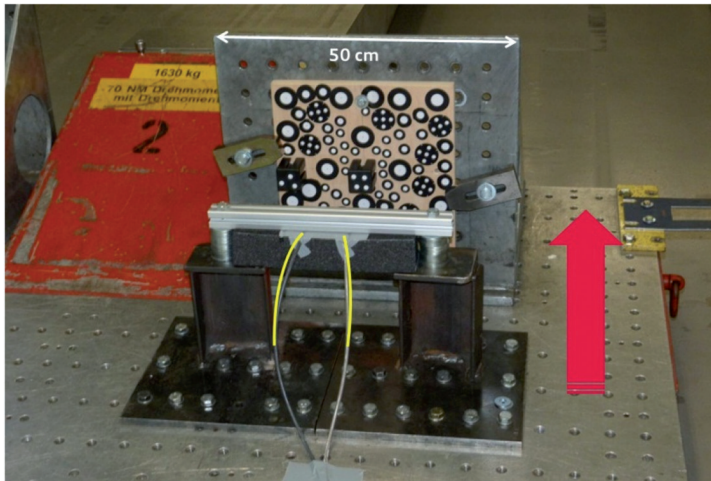


Abb. 3: Versuchsaufbau des Stereomesssystems mit Kalibriertafel auf dem Verzögerungsschlitten, der rote Pfeil entspricht der Bewegungsrichtung, die gelben Linien markieren die Endoskopschläuche.

die optischen Achsen der Kameras senkrecht zur Bewegung statt wie vorher parallel dazu ausgerichtet waren, zeigte sich ein Effekt, der in den Versuchsaufnahmen deutlich als eine Relativbewegung zwischen Kamera und angeschlossenem Endoskop zu erkennen war, und zwar an einer Bewegung des Kreisausschnittes auf dem Flächensensor (vgl. Abb. 4). Die Abbildung zeigt Aufnahmen aus einem Fahrzeugversuch, bei dem ein mit Messmarken versehener Autositz vermessen wurde. Die durchgehende rote Linie markiert in den Aufnahmen den Rand des Endoskopaus-

schnitts zu Beginn der Aufnahmesequenz, die gestrichelte Linie kennzeichnet den Kreisausschnitt in den drei später aufgenommenen Momentaufnahmen.

Die Vermutung lag nahe, dass die Ausrichtung der Kameras relativ zur Bewegungsrichtung des Schlittens ausschlaggebend für Auftreten und Größe der Relativbewegung zwischen Kamera und Endoskop war. Je nach Ausrichtung wirken die Beschleunigungen entweder in Richtung der optischen Achsen oder senkrecht dazu auf die Befestigung zwischen Endoskop und Kamera.

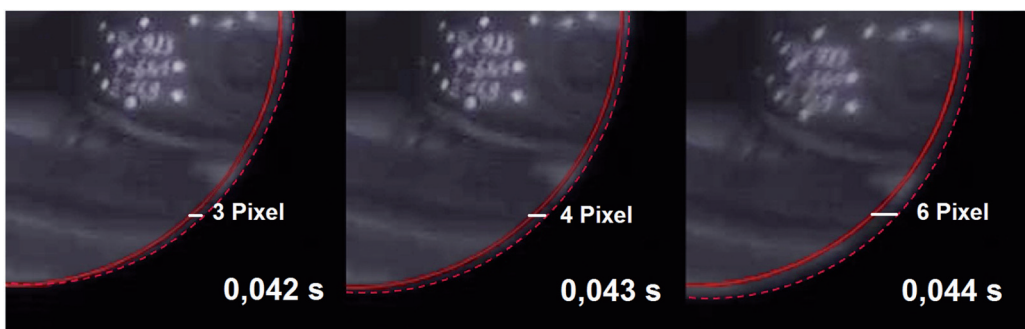


Abb. 4: Verschiebung des Endoskopkreischnitts auf dem Sensor: drei Momentaufnahmen, jeweils mit Begrenzung des Kreischnitts (durchgezogene Linie) und Verschiebung relativ zur ersten Aufnahme (gestrichelte Linie).

3.3 Bewegungskompensation Kreisausschnitt

Um zu bestätigen, dass die Ausrichtung der Kameras relativ zur Bewegungsrichtung Einfluss auf die Größe der Relativbewegung zwischen Endoskop und Sensor hat, wurden zwei weitere Schlittenversuche durchgeführt. Dabei wurde der gleiche Versuchsaufbau wie bei dem Schlittenversuch zuvor gewählt und jeweils nur die Ausrichtung der Kameras variiert. Beim ersten Aufbau wurden die Kameras parallel zur Bewegungsrichtung ausgerichtet, beim zweiten Versuch senkrecht dazu. Zum Vergleich wurde kontinuierlich jeweils eine Strecke auf der Kalibriertafel während des gesamten Versuchs gemessen.

Die Messergebnisse mit parallel zur Bewegungsrichtung montierten Kameras entsprachen den in Abschnitt 3.2 erzielten Ergebnissen und damit den Erwartungen an die erreichbare Genauigkeit von wenigen mm. Das Ergebnis der Messungen bei senkrecht zur Bewegungsrichtung ausgerichteten Kameras ist für eine Strecke in Abb. 5 dargestellt. Der Abstand der beiden Punkte auf der Tafel ist während des Versuchs als konstant anzunehmen, daher sollte auch die Streckenmessung keine größeren Abweichungen zeigen. Jedoch sind deutliche Längenänderungen von mehr als 10 mm im Zeitbereich zwischen 0,03 s und 0,05 s zu erkennen. Vergleicht man dieses Ergebnis mit dem aufgezeichneten Video des Versuchs, zeigt sich, dass in diesem Zeitfenster die größte Bewegung des Kreisausschnittes auf dem Sensor stattfindet.

Die Bewegung des Endoskops relativ zur Kamera hat zur Folge, dass sich auch die optische Achse und damit der Bildhauptpunkt bewegt. Der in der Kalibrierung bestimmte und als konstant angenommene Bildhauptpunkt ist also als Bezugspunkt für die Bildkoordinaten nicht über die gesamte Messung hin gültig. Es wurde daher eine Methode entwickelt, die Auswirkungen der Bildhauptpunktbewegung zu korrigieren.

Für die Entwicklung der Korrekturmethode wurde angenommen, dass sich der Mittelpunkt des kreisförmigen Ausschnittes, d.h. des Abbildes des Endoskops auf dem Sensor (vgl. Abb. 2), genauso bewegt wie der Bildhauptpunkt; dabei soll die Verschiebung des Endoskops relativ zur Kamera parallel zur Bildebene verlaufen. Unter dieser Voraussetzung kann man die Veränderung der Lage des Kreismittelpunktes bestimmen und diese dann als rechnerische Korrektur auf die gemessenen Bildkoordinaten anbringen.

Um die Korrekturwerte zu ermitteln, macht man sich zunutze, dass sich der Endoskopausschnitt nahezu kreisförmig auf dem Sensor abbildet, mit einer identifizierbaren Kante am Übergang der belichteten zur nicht-belichteten Sensorfläche. Mit Hilfe einer Schwellwertfunktion wird diese Kante im Bild identifiziert und dann über einen Schwerpunktoperator der Mittelpunkt des Kreises mit einer Genauigkeit von ca. 0,1 Pixel bestimmt. Dies wird für jedes Einzelbild der Versuchsaufnahme durchgeführt, daraus ergeben sich die Mittelpunkte der jeweils bestimmten kreisförmigen Ausschnitte. Nimmt man an,

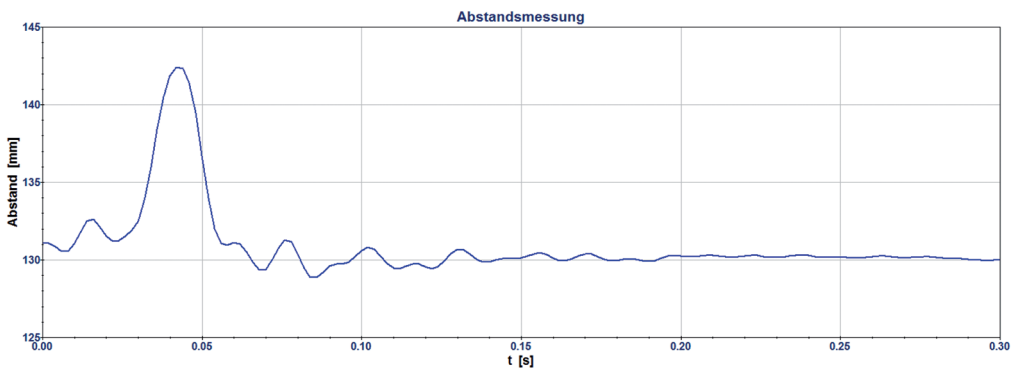


Abb. 5: Streckenmessung zwischen zwei Punkten mit senkrecht zur Bewegungsrichtung ausgerichteten Kameras.

dass das erste Bild den in der geometrischen Kalibrierung bestimmten Bildhauptpunkt besitzt, kann der zugehörige Kreismittelpunkt als Bezugspunkt für die in den folgenden Bildern berechneten Kreismittelpunkte herangezogen werden. Trägt man die ermittelten Relativverschiebungen als Funktion der Zeit auf, entstehen die Kurven wie in Abb. 6 gezeigt. Dargestellt sind die Verschiebungen des Kreismittelpunktes für beide Endoskope in x-Richtung, die in etwa parallel zur Bewegungsrichtung verläuft. Hier ist ebenso wie in der Streckenmessung aus Abb. 5 eine deutliche Veränderung im Zeitbereich zwischen 0,03 s – 0,05 s zu sehen. Dies bestärkt die Annahme, dass sich die Bewegung des Kreismittelpunktes und des Bildhauptpunktes entsprechen.

Bringt man die ermittelten Relativverschiebungen als Korrekturwerte auf die gemessenen

Bildkoordinaten der Streckenmessung an, erhält man die in Abb. 7 in grün dargestellte korrigierte Messkurve. Zum Vergleich ist in blau nochmal die Streckenmessung mit den unkorrigierten Bildkoordinaten zu sehen, der rote waagerechte Strich stellt den Sollwert dar. In der Darstellung zeigt sich deutlich die Verbesserung der Streckenmessgenauigkeit, die durch die Korrektur erreicht werden konnte.

Die verbleibenden Schwankungen der grünen Kurve liegen bei weniger als 2 mm und sind wahrscheinlich auf Restfehler bei der Kreismittelpunktbestimmung sowie auf weitere Fehlereinflüsse zurückzuführen; als Beispiel sei die teilweise nicht optimale Bildqualität genannt, die die Bestimmung der Bildkoordinaten negativ beeinflusst hat.

Es könnte also eine geeignete Methode entwickelt werden, die es ermöglicht, die Auswir-

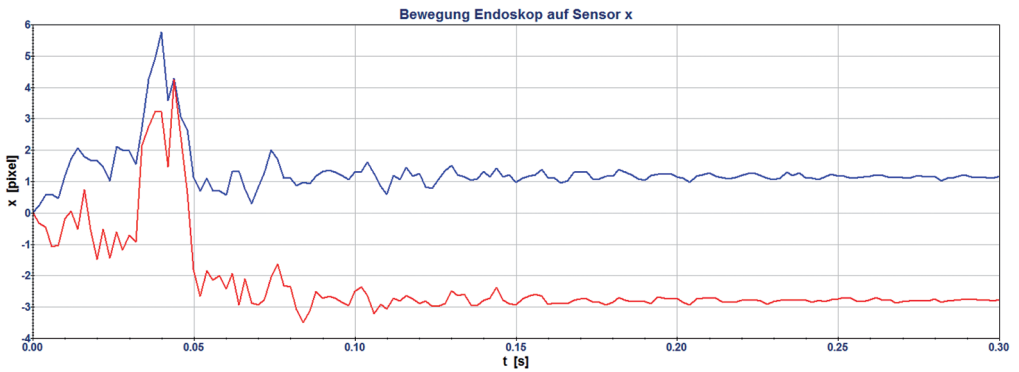


Abb. 6: Relativverschiebung der Endoskopkreisausschnitte in x-Richtung, blau: Endoskop 1, rot: Endoskop 2.

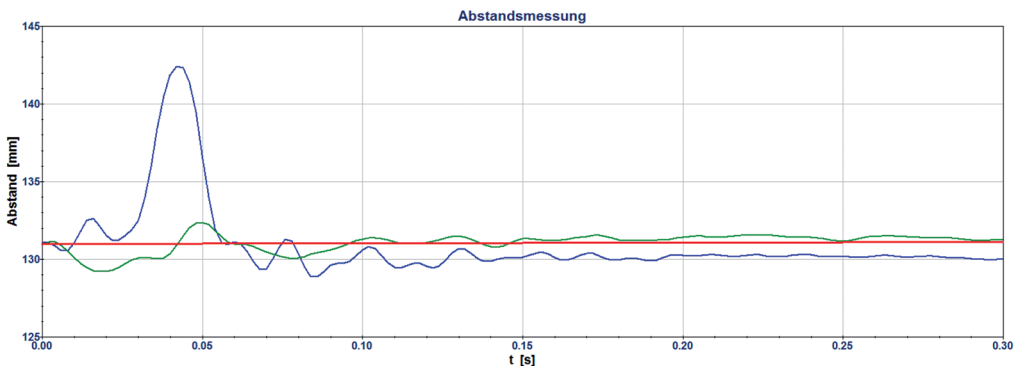


Abb. 7: Streckenmessung mit unkorrigierten (blau) und korrigierten (grün) Bildkoordinaten; Rot dargestellt ist der Sollwert der Strecke.

kungen der instabilen Bildhauptpunktlage zu minimieren. Mit Hilfe dieser Korrekturmethode ist es möglich, mit dem Stereomesssystem Streckenmessungen mit einer Nachbarschaftsgenauigkeit von wenigen Millimetern durchzuführen.

4 Bewertung und Ausblick

In diesem Beitrag wurde die Entwicklung eines Endoskop-Stereomesssystems vorgestellt, das es ermöglicht, präzise dreidimensionale Relativbewegungen im Innenraum eines Fahrzeugs während eines Crashversuchs mit einer Genauigkeit von wenigen Millimetern durchzuführen. Dabei wurden Herausforderungen gelöst, wie die geometrische Kalibrierung eines Endoskop-Kamera-Aufnahmesystems sowie die Orientierung des Messsystems in einer sich deformierenden Umgebung im Fahrzeug. Eine spezielle Halterung für die Endoskopspitzen ermöglicht eine Fixierung der relativen Position der Endoskope zueinander und hält damit die äußere Orientierung des Stereosystems konstant.

Wie sich in den durchgeführten Versuchen zeigte, ist die Bildhauptpunktlage der Aufnahmesysteme aufgrund von Bewegungen zwischen Endoskop und Kamera nicht konstant. Um diese Auswirkungen auf die Messung zu minimieren, wurde eine Methode entwickelt, diese Relativbewegung zu bestimmen und daraus Korrekturwerte abzuleiten.

Sowohl bei Schlittenversuchen als auch bei Versuchen im Fahrzeug zeigte sich als weitere hier nicht diskutierte Problematik die starke Abhängigkeit des Messsystems von den Lichtverhältnissen. Die Bildqualität nimmt bei schlechteren Lichtverhältnissen sehr schnell ab, so dass die Messung der Bildkoordinaten von markierten Punkten stark beeinträchtigt ist. Ein großes Potential für Verbesserungen besteht nach Ansicht der Autoren darin, das Versuchsobjekt beispielsweise durch leistungsstarke LEDs besser auszuleuchten oder lichtempfindlichere Kamerasensoren zu verwenden.

Danksagung

Die Erstautorin dankt ihren Kollegen bei der AUDI AG für ihre fortwährende Unterstützung ihrer Forschungsarbeiten und der Schaffung der dafür notwendigen Rahmenbedingungen. Die Inhalte dieses Beitrags wurden als Vortrag auf den Oldenburger 3D-Tagen 2016 präsentiert. Den Oldenburger Kollegen danken wir für diese Präsentations- und Austauschplattform.

Literatur

- BROWN, D.C., 1976: The bundle adjustment – progress and prospects. – *The International Archives of Photogrammetry*, **XXI (3)**, Helsinki, Finland.
- GODDING, R., 1993: Ein photogrammetrisches Verfahren zur Überprüfung und Kalibrierung digitaler Bildaufnahmesysteme. – *Zeitschrift für Photogrammetrie und Fernerkundung* **2/93**: 82–90.
- HELFFERTY, J.P., ZHANG, C., McLENNAN, G. & HIGGINGS, W.E., 2001: Videoendoscopic Distortion Correction and Its Application to Virtual Guidance of Endoscopy. – *IEEE Transactions on Medical Imaging* **20 (7)**: 605–617.
- KILLIAN, A., 2005: Konzepte zur Entwicklung einer neuen Generation medizinischer Endoskope. – Dissertation, Fachgebiet Mikrotechnik, Technische Universität Berlin.
- KLAR, M., 2005: Design of an endoscopic 3D Particle Tracking Velocimetry system and its application in flow measurement within a gravel layer. – Dissertation, Ruprecht-Karl Universität Heidelberg.
- LANGE, R., 2006: 3D Time-of-Flight distance measurement with custom solid-state image sensors in CMOS/CCD-technology. – Dissertation, Fakultät Elektrotechnik und Informatik, Universität Siegen.
- RAGUSE, K., DERPMANN-HAGENSTRÖM, P., KÖLLER, P. & WOLF, A., 2005: Abgleich von Versuch und Simulation beim Crashtest anhand präzise überlagerter Visualisierung von Film und Berechnungsanimation. – *VDI Berichte* **1900**: 181–190.
- RUPP, S., WINTER, C. & WITTENBERG, T., 2006: Camera Calibration from Fiberscopic View with Accuracy Evaluations. – *Bildverarbeitung für die Medizin*: 424–428.

- STEINER, C., 2015: Highspeed Stereo-Endoskopie für eng begrenzte Messvolumina. – Dissertation, Wissenschaftliche Arbeiten der Fachrichtung Geodäsie und Geoinformatik der Leibniz Universität Hannover, ISSN 0174-1454, Nr. 317.
- WENGERT, C., CATTIN, P.C., DUFF, J.M., BAUR, C. & SZÉKELY, G., 2006: Markerless endoscopic registration and referencing. – Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention, MICCAI: 816–823.
- WINTER, C., 2008: Automatische Bildrestaurierung für faseroptische Systeme am Beispiel von Fiberskopen. – Dissertation, Technische Fakultät der Universität Erlangen-Nürnberg, Fraunhofer-IRB-Verlag.
- YOSHIDA, T., Inoue, H., Hara, A., Umezawa, A., Ohtsuka, K., Endo, S., Tamegai, Y., Kashida, H., Tanaka, J. & Kudo, S., 2003: Newly developed 3D endoscopic system: preliminary experience. – Endoscopy **35**: 181–184.

Adresse der Autoren

Dr.-Ing. CHRISTINA STEINER, AUDI AG Ingolstadt, 85045 Ingolstadt, Tel.: 0841-89-575326, christina.steiner@audi.de

Dr.-Ing. MANFRED WIGGENHAGEN & Prof. Dr.-Ing. CHRISTIAN HEIPKE, Leibniz Universität Hannover, Institut für Photogrammetrie und Geoinformation, Nienburger Straße 1, D-30167 Hannover, Tel.: 0511-762-2482, e-mail: {wiggenhagen} {heipke} @ipi.uni-hannover.de

Manuskript eingereicht: April 2016
Angenommen: Juli 2016



The Use of a Modified Camera for the Classification of Sedimentary Rocks

CEZARY TOŚ, Cracow, Poland

Keywords: modified camera, classification, sedimentary rocks

Summary: The article presents studies on the possibility of using a modified NIR digital camera to carry out an initial classification of sedimentary rock formations. The study has been conducted in the limestone mine “Czatkowice” in Poland. For this purpose, samples of the formations typical for that deposit have been photographed in four channels: blue (B: 380 nm – 520 nm), green (G: 440 nm – 620 nm), red (R: 560 nm – 720 nm), and near infrared (NIR: 820 nm – 1,100 nm). The recorded images of each of the samples have been compared against the spectral curves prepared on the basis of the studies carried out with a field spectrometer. This comparison has been carried out using earlier prepared sensitivity characteristics for the modified camera. However, in contrast to other NIR devices, the wide sensitivity range in the NIR channel resulted in a lack of a clear spectral peak. The hypothesis about the usefulness of a modified camera in recognition of sedimentary rocks has been verified by analysing the results of the classification of rock samples and a fragment of the quarry wall. This classification has been made using channels in the visible range and in the near infrared. The accuracy of the classification measured by the kappa index of agreement (KIA) has been increased when using the NIR channel. The study indicated that in some cases a modified camera can be a cheaper alternative to professional equipment recording near infrared channel.

Zusammenfassung: Die Nutzung einer modifizierten Kamera zur Klassifikation von Sedimentgesteinen. Dieser Beitrag präsentiert eine Potenzialstudie zur Nutzung einer modifizierten digitalen Nahinfrarotkamera zu einer ersten Klassifikation von Felsformationen am Beispiel des Kalksteinbruchs “Czatkowice” in Polen. Typische die Lagerstätte charakterisierende Gesteinsproben wurden in vier Kanälen aufgezeichnet: blau (B: 380 nm – 520 nm), grün (G: 440 nm – 620 nm), rot (R: 560 nm – 720 nm), und nahes Infrarot (NIR: 820 nm – 1.100 nm). Die aufgezeichneten Bilddaten der einzelnen Proben wurden mit spektralen Profilen aus Aufnahmen mit einem Feldspektrometer verglichen. Dieser Vergleich wurde durchgeführt unter Verwendung der vorgefertigten Empfindlichkeitseigenschaften für die modifizierte Kamera. Durch einen relativ breiten Empfindlichkeitsbereich konnte kein Peak im NIR-Kanal erfasst werden, wie das für andere NIR-Kameras möglich ist. Die Hypothese, dass die modifizierte Kamera sich zur Erkennung von Sedimentgesteinen eignet, wurde durch die Analyse der Klassifikationsergebnisse der Gesteinsproben und einem Ausschnitt der Steinbruchwand verifiziert. Bei dieser Klassifikation wurden verschiedene Kanalkombinationen getestet. Die Genauigkeit der Klassifikation gemessen mit dem Kappa Index of Agreement (KIA) konnte durch die Hinzunahme des NIR channels verbessert werden. Die Ergebnisse zeigen, dass diese einfache Modifikation der Kamera als kostengünstige Alternative zur professionellen NIR-Kamera angesehen werden kann.

1 Introduction

The technique of classifying rocks using multispectral and hyperspectral imaging has been popular for quite some time now. It is conducted to carry out geological research, primarily on the basis of satellite or aerial images. Ground-based equipment is used much more seldom for that purpose. Recently, ground-based hyperspectral cameras have been applied much more frequently and studies are carried out on the possibility of using laser scanners for such classifications. This type of equipment is relatively expensive and difficult in operation.

Commonly used digital cameras register light in the visible range and in three channels, namely red (R: 560 nm – 720 nm), green (G: 440 nm – 620 nm), and blue (B: 380 nm – 520 nm). Introducing a minor modification to a digital camera and using inexpensive filters make it possible to register light in the near infrared range (NIR: 820 nm – 1,100 nm). Using such a modified camera as a research tool for geological applications is a very rare case. For instance, SULISTIYANTI et al. (2009), or SULISTIYANTI et al. (2010) investigated the possibilities of a modified camera to register thermal images. SULISTIYANTI et al. (2014) also used it for the detection of air pollution. Moreover, it was proposed that NIR data could actually prove to be remarkably useful in colour consistency assessment, to estimate the incident illumination, as well as to detect the location of different illuminants (FREDEMBACH & SUSSTRUNK 2009). VERHOEVEN (2008) quotes the possibility of using a modified camera in archaeological research.

This article analyses the suitability of a modified camera to carry out a classification of formations in the wall of the “Czatkowice” Limestone Mine. Today, the assessment of a quarry wall composition and, consequently, of the quality of excavated material, is based on laboratory-based testing of samples and on in situ analysis performed by a geologist. The use of a remote observation technique would significantly facilitate their work, if a geologist had access to a preliminary classification of formations. Employing a simple method of photographing with a modified camera could become such a technique.

2 Digital Camera – Application in Rock Classification and Possibilities of Camera Modification

Physico-chemical properties of rock materials related to the capacity of the minerals to absorb or reflect electromagnetic radiation are the basis of remote sensing methods used in geology. The spectral ranges primarily used in these studies include the visible (VIS), near infrared (NIR) and short-wave infrared (SWIR) ranges. But also mid infrared (MIR) and thermal infrared (TIR) spectral ranges have been utilized (VAN DER MEER et al. 2012). Remote sensing in geology is based on the fact that minerals are characterized by specific absorption of the radiation due to electronic processes in the mineral lattice in the VIS and NIR and by vibrational processes in the SWIR spectral ranges. These processes include, among others, the following: crystal field effects, charge-transfer, colour centres, transitions to the conduction band, and overtone as well as combination tone vibrational transitions (HUNT 1980). The processes in the MIR and TIR spectral ranges include, for instance, volume scattering effects, as well as emissivity and temperature interference. Therefore, a characteristic set of spectral peaks can be defined for the individual minerals in order to enable the identification of the minerals during laboratory tests using spectroscopy.

There are numerous studies in this field, e.g. HUNT (1977) and EDWARDS et al. (2005) on the spectral characteristics of carbonate minerals, on REE fluorocarbonates (Rare Earth Elements) (TURNER et al. 2014), or on mudstone (LIU et al. 2016). Rock formations consist of various minerals with characteristic spectral peaks that may superimpose (BROWN 2006). Also, the shape of the spectral curve is affected by grain size (BALDRIDGE et al. 2009). A larger grain has a greater internal path where photons may be absorbed. Thus, reflectance decreases with increasing grain size. However, using hyperspectral data analysis methods, e.g. band calculation, feature mapping, expert systems or spectral deconvolution, it is possible to determine not only the type of minerals but also their quantity in the rocks (ASADZADEH & DE SOUZA FILHO 2016, KUOSMANEN & LAITINEN 2008, HAEST et al. 2012).

Outside the laboratory, multispectral and hyperspectral imaging at satellite or aircraft levels are used for geological cartography (CIAMPALINI et al. 2012, CHEN et al. 2007, KRUSE 2015, GOETZ 2009). Multispectral imaging often has a reduced capability to identify individual rock formations due to the limited number of recorded spectral channels and a usually lower spectral resolution (GOETZ 2009). However, the use of a small number of channels in combination with the methods of supervised classification makes it possible to distinguish between rock formations without specifying their exact mineral composition, as shown by KOVACEVIC et al. (2009). This can be done if the studied rocks have unique spectral characteristics in the recorded channels. For instance, for the cartography of dolomitic rocks, it is recommended to use three channels (Nos. 6, 8 and 7) in the SWIR range from the ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflectance Radiometer) satellite. For carbonates, in turn, it is recommended to use channels of the TIR range (Nos. 13 and 14) or again three channels (Nos. 7, 8 and 9) recorded in the SWIR. Rocks containing iron compounds are easy to identify in images using a combination of channels Nos. 1 and 2 (VIS), 3 (NIR) and 4 (SWIR) (VAN DER MEER et al. 2012).

Digital cameras are devices that enable recording of three spectral channels in the VIS range and, despite their simplicity, they are

also used in geological studies. MENGKO et al. (2000) and PIRARD (2004) use digital cameras with narrow bandwidth interference filters to identify minerals in rocks, NURDAN & NIHAT (2010) apply neural networks based image analysis for the same purpose, and TARQUINI & FAVALLI (2010) determine rock texture on the basis of collimated RGB images. LEPISTO et al. (2005) investigated bedrock properties by analysing the digital images. CHATTERJEE et al. (2010) and PATEL & CHATERIEE (2016) analysed data from a digital camera with supervised classification methods to determine the quality of the limestone used at a cement plant. The use of a digital camera is not limited to laboratory testing. For instance, PENASA et al. (2014), FRANCESCHI et al. (2009) and TOŚ (2014) study the suitability of scanning data including RGB channels and, additionally, intensity of laser beam reflection to classify sedimentary rocks in the working face of a quarry. Those works inspired the author to carry out investigations on the use of a modified camera recording NIR. The NIR channel could complement the scanning data obtained from the laser scanner.

The detector of a digital camera is a matrix of sensors. CMOS (Complementary Metal-Oxide-Semiconductor) or CCD (Charge Coupled Device) sensors are used most commonly. The light-sensitive area, called photodiode, collects photons during the exposure time (NAKAMURA 2006, THEUWISSEN 1995). All detectors applied in both types of sensors register

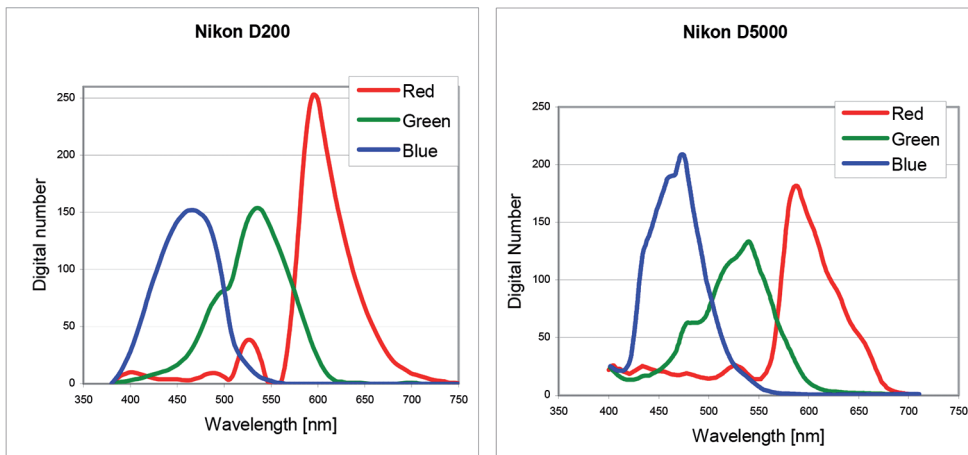


Fig. 1: Spectral sensitivities of: a) Nikon D200 adapted from Image Engineering (NIKOND200 2015), and b) Nikon D5000 adapted from BONGIORNO et al. (2013).

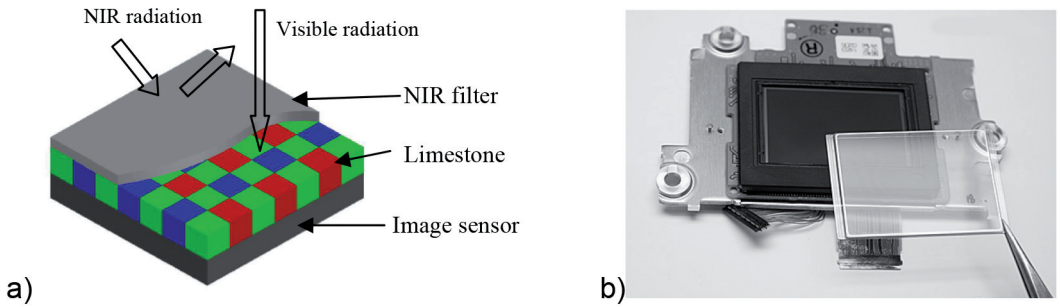


Fig. 2: a) A sensor with Bayer and infrared filters adopted from VERHOEVEN (2008), b) removal of the NIR filter (NIKOND70 2015).

light in the same spectrum. Each sensor contains a system of filters arranged in the form of a checkboard. The checkboard is composed of individual filters each of which transmits light in selected wavelengths. Each of the charge-coupled devices is covered with a single filter, which means that it only registers light of a desired wavelength (NAKAMURA 2006) (Fig. 1). The Bayer filter is an example of such an arrangement (Fig. 2a).

Cameras are equipped with an additional NIR filter installed on the sensor (Fig. 2a), since the Bayer filter does not cut off radiation in the NIR region. The NIR filter factory-installed on the sensor has to be replaced with a different filter that transmits radiation in the full range of sensitivity of charge-coupled devices, in order to increase the camera's sensitivity to infrared radiation. A filter replacement is not complicated. The pro-

cess is depicted in Fig. 2b. When this is done, charge-coupled devices will register radiation in the range from 280 nm to approximately 1,100 nm. The diagram (Fig. 3) demonstrates the adjusted spectral response curves for a Nikon D200 camera in the range 380 nm – 1,000 nm. The diagram has been prepared by LDP LLC (MAXMAX 2015) and presents RGB values of the light coming from a monochromator, registered by the camera. The values have been normalised with the data generated by a spectrometer that measures the frequency and intensity of the light that falls on the sensor (MAXMAX 2015).

When analysing the diagram, one will see that the curves for the R and B values are similar in the range above 850 nm. The G values are much smaller, on the other hand. It is required to use an additional filter on the sensor or on the lens in order for the camera to reg-

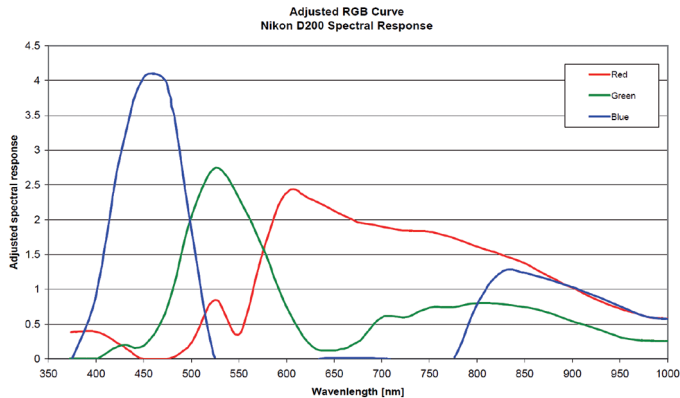


Fig. 3: Nikon D200-adjusted spectral response curves adapted from LDP LLC (MAXMAX 2015).

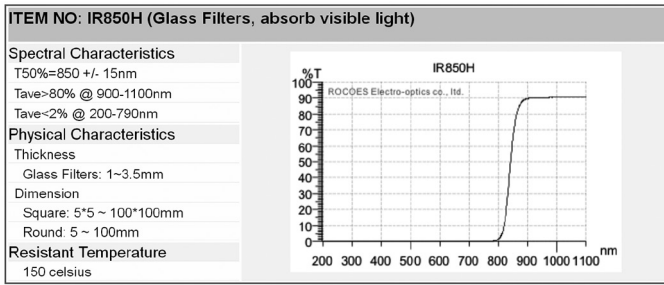


Fig. 4: Spectral characteristics of the IR 850H filter (RocoES 2015).

ister NIR radiation only. The experiment was based on the use of the IR 850H lens filter. Fig. 4 demonstrates the effect of this filter.

The combination of the characteristics demonstrated in Figs. 3 and 4, and a silicon sensitivity curve for the 1,000 nm – 1,100 nm curve from DARMONT (2009) has made it possible to determine the approximate relative spectral sensitivity of the camera (1) (Fig. 5):

$$\frac{Qr_{\lambda}}{Qr_{max}} = T_{\lambda} \cdot SR_{\lambda} \tag{1}$$

where: Qr_{λ} – The relative spectral sensitivity of the camera for a given wavelength, T_{λ} – Filter transmission (Fig. 4), and SR_{λ} – Spectral response (Fig. 3) for $\lambda < 1,000$ nm and for $\lambda > 1,000$ nm (DARMONT 2009, Fig. 5).

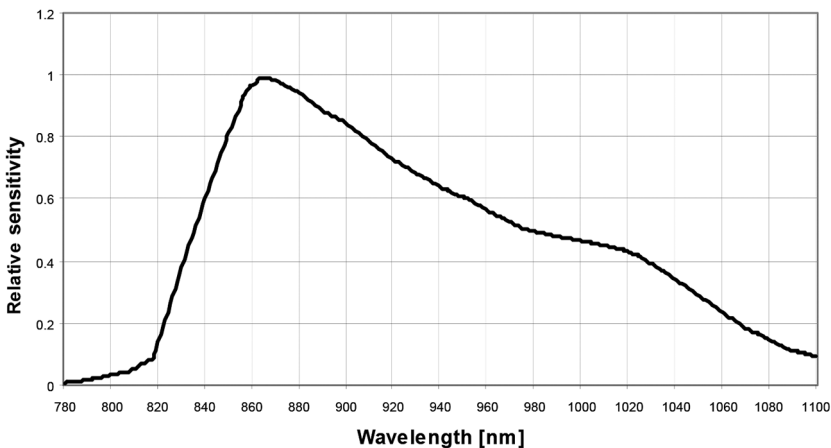


Fig. 5: The approximate relative spectral sensitivity of the modified camera.

The analysis of Fig. 5 makes it possible to conclude that the characteristics of the camera's sensitivity in the NIR region is not at optimum, because it has a wide range and lacks a strong peak.

3 Assumptions and Course of the Study

The studies conducted here had two objectives: (i) to verify the usefulness of a modified camera as an inexpensive research tool in geology and (ii) to determine the possibilities of using such a camera for a specific purpose, i.e., rock classification in the “Czatkowice” Limestone Mine.

The studies were conducted in several stages. The first stage involved the collection of typical samples of the rocks present in the

Czatkowice deposit, and their geological classification. This was followed by spectrometric observations of the samples under laboratory conditions in order to determine the spectral characteristics of the individual rock formations. The obtained spectral curves also enabled a preliminary assessment of rock separability in the channels used by the modified camera. The next stage included taking photographs of the samples under laboratory conditions and the following processing steps:

- Preparation of NIR pixel values for each sample and comparison of those values to the spectral curves.
- Determination of the pair-wise separability of the rock classes in the RGB and RGB+NIR channels, which is a key requisite for a correct classification.
- Supervised classification using the set of NIR, RGB and RGB+NIR data, and accuracy assessment.

The comparison of the brightness of NIR image pixels for the individual samples to the spectral curves will determine, if the camera is useful as a research tool. A strong dependence between those data will indicate that the sensitivity of the camera has been correctly determined (Fig. 5). The calculation of the pair-wise separability of classes for samples recorded on VIS+NIR photographs will, in turn, enable to assess the suitability of the method in the conditions of the Czatkowice limestone deposit. A significant increase of the pair-wise separability of classes for the set of RGB+NIR channels in relation to the RGB set will indicate the potential of the method for classifying the rocks in Czatkowice. The next stage of the study was the classification of the supervised samples of rocks using different VIS+NIR channels and assessment of its accuracy. The final stage was the verification of the method under field conditions for a fragment of the quarry wall. All of the stages listed above are described in detail in the following chapters.

4 Laboratory Tests of Rock Samples

The starting point was the results of the spectrometric studies of rock samples from the Czatkowice Limestone Mine, carried out by the author. The mine is located on the western slope of Krzeszowka Valley, in Czatkowice, approximately 20 km west of Cracow, in the south-western part of the Cracow-Czestochowa Upland. The geological characteristics of the study area are determined by its setting in the Krzeszowka Fault and Debnik Anticline, in the southern part of the Cracow-Silesia Monocline. The outcrops of the Czatkowice Quarry are marine sediments formed in the lower carboniferous era (Tournasian and Visean) and are represented by limestones and dolomites. In the sub-surface, particularly in the south section of the quarry deposits, sandy-clay sediments of the lower and middle Jurassic eras are prevalent, with Quaternary clay sediment cover (GRUDZIŃSKI 1972). The samples have been classified by a geologist as follows (Toś 2014) (Fig. 6):

- Sample 1 – limestone, dolomitic, microcrystalline, dark beige, slightly stromatolitic texture. This sample represents rock formations of Tournasian age which are the oldest within Czatkowice Quarry.
- Sample 2 – limestone, microcrystalline with heavily weathered surface, pink-dark-beige, stromatolitic texture, rock formations of Tournasian age.
- Sample 3 – limestone, microcrystalline, beige. Contains some fragments of silica and calcite crystals and veinlets partings, approximately 2 mm – 4 mm wide. Forms the main deposits extracted at the Czatkowice Quarry. Rock formations of Visean age.
- Samples 4 and 6 – limestone, microcrystalline, dark grey to black (bituminous limestone), stromatolitic texture. Rock formations of Tournasian age.
- Sample 5 – dolomitic limestone, microcrystalline, light to dark beige. Contains calcite crystals 1 mm in diameter and some calcite veinlets 2 mm – 3 mm wide. Latest rock formations of Tournasian age.



Fig. 6: Samples from the Czatkowice Limestone Mine: microcrystalline limestone (1); weathered limestone (2), (7); silicated limestone (3); bituminous limestone (4), (6); dolomitic limestone (5); sandstone (8); coarse crystalline calcite (9).

- Sample 7 – limestone, microcrystalline, rock formations of Visean age (represents the same rocks as sample 3). However, the study was carried out on a heavily weathered surface, dusky-red, creamy-brown.
- Sample 8 – quartz-sandstone, do not react with hydrochloric acid, heavily weathered, reddish-creamy-brown. Part of the late and middle Jurassic sandstone deposits.
- Sample 9 – calcite, cream-yellowish-brown. The calcite crystals are up to 10 cm high and 2 cm – 3 cm in diameter. Calcite is a mineral formed within Visean limestone as a result of intense karstification, creating approximately 10 cm wide, coarse-grained calcite veins.

The examination was carried out using the FIELD SPEC 3 in-field spectrometer. The spectral resolution of that device is 3 nm (in the 350 nm – 1,400 nm range) and 10 nm (in the 1,400 nm – 2,500 nm range), and it has a sampling interval of 1.4 nm to 2 nm. The field of view is 25 degrees. This enables reflectance recording in 2,151 channels in the 350 nm – 2,500 nm range. The study was conducted using two ASD lamps lighting the sample from both sides in relation to the position of the fibre-optic cable used for the measurement. The distance between the lamps and the samples was approximately 40 cm, and the distance from the detector was approximately 10 cm.

The fibre-optic cable and lamps were set not to cast a shadow on the measured samples. ASD lamps can focus or disperse the stream of the emitted light. During the experiment, they were set to an intermediate value. The instrument was calibrated using a white standard (spectralon). During the study, the same standard was also used for verification. The instrument was set to record reflectance. No additional spectral smoothing was done. 15 measurements were made for each sample at randomly selected points on the surfaces visible in Fig. 6. The measurement results (in the form of average values calculated based on observations) were presented in the form of spectral curves (Fig. 7).

The results of the spectrometric studies based on the analysis of the spectral curves registered for the samples indicate:

- There are no significant differences among the light reflection coefficients registered for limestones, dolomitic limestones, and silicated limestones (samples 1, 3, and 5).
- Bituminous limestones (samples 4 and 6) demonstrate a low light reflection coefficient in the entire VIS-NIR region, which facilitates their distinguishing.
- Weathered limestone (samples 2 and 7), coarse crystalline calcite (9), and sandstone (8) can be distinguished among all other limestone types in the R or NIR regions. Distinguishing these formations

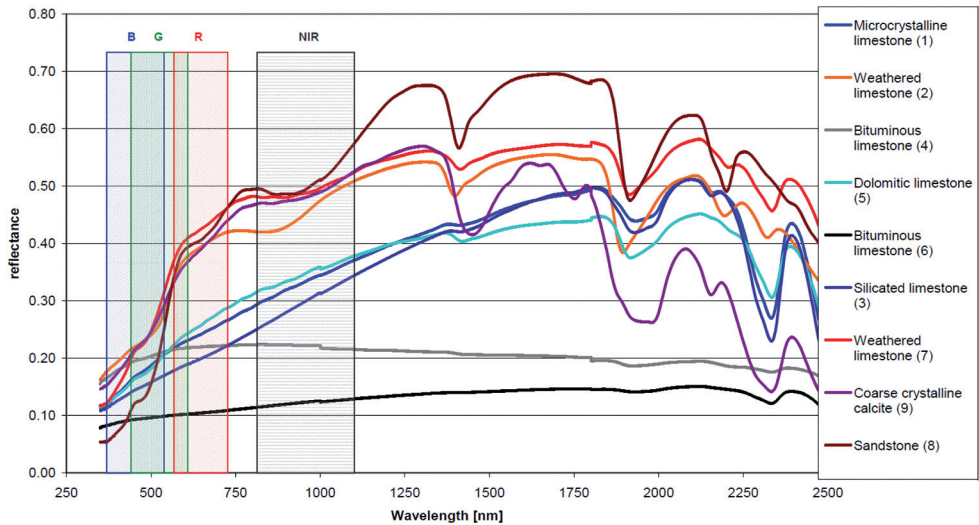


Fig. 7: Spectral curves of the studied dry samples (Toś 2014) and the R, G, B and NIR channel sensitivity ranges of the applied cameras.

from limestones is quite important, because they combined with soil overburden form the so-called ground-rock mass that is disposed to landfills.

Comparing the obtained spectral curves to the data of similar rock formations collected in USGS or ASTER spectral libraries (CLARK et al. 2007, BALDRIDGE et al. 2009) demonstrates that they are fairly atypical. This is caused by, among other factors, weathering of the minerals in samples 2 and 7, as well as surface oxidation of samples 1, 3, and 5. The shape of the spectral curves for the sandstone (8) and crystalline calcite (9) is, to a large extent, caused by the admixture of iron compounds (producing the characteristic coppery colour). The research has also proven that the moisture of rocks has a major impact on the reflection coefficient. This may influence the obtained classification results. The samples were soaked in water for 1 minute, pulled out and left for 3 minutes in order to remove excess water. Then, they were subject to observations. The examination method was the same as for the dry samples. The average values of the observations are indicated in Fig. 8.

Wet rocks have lower reflectance. A large change of the spectral curves is particularly noticeable for the weathered rocks and sandstone. Those formations have fairly high po-

rosity. The impact of moisture content on reflectance becomes particularly massive, in the area of water absorption spectra (around 1,950 nm, 1,450 nm, and 970 nm). Under good weather conditions the surface of the quarry wall in the Czatkowice Limestone Mine is dry. Therefore, photographs of nine dry samples were made in natural light, using a standard Nikon D5000 camera and a modified Nikon D200 camera with the IR 850H filter. All images were superimposed on each other, using the PI-3000 photogrammetry software. The RMS alignment error for images on twelve ground control points was 0.75 pixel. The photographs were subject to further studies.

5 Comparing the Brightness of Pixels Registered with the NIR Camera against the Spectral Curves of Samples

The suitability of the modified camera as a research tool can be verified, when we compare the images registered with the modified camera against the spectral characteristics of the analysed objects. In this case, it is necessary to obtain a strong correlation between those quantities.

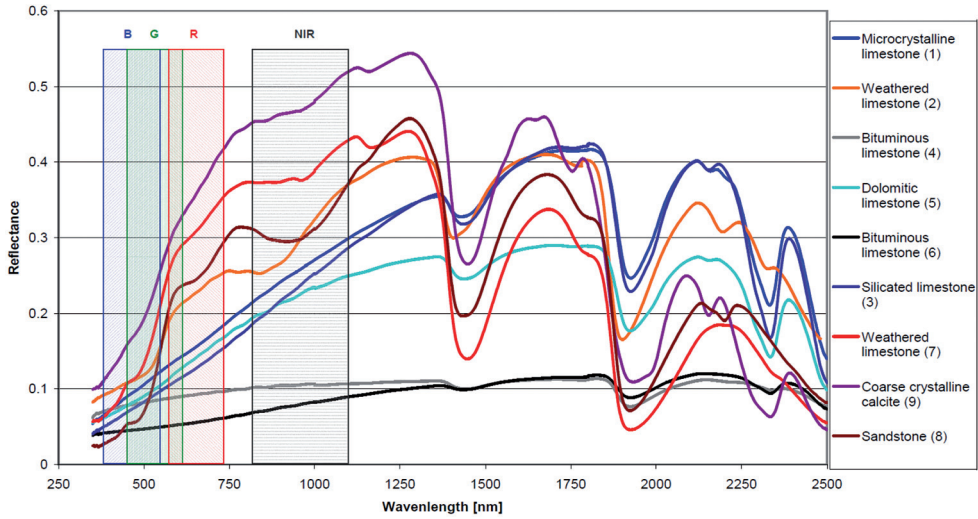


Fig. 8: Spectral characteristics of the wet samples (Toś 2014) with the channel ranges of the applied cameras.

It is difficult to find a relationship between the pixel value in an image and light reflection coefficients determined during spectrometric studies, because the charge-coupled device registers a wide range of radiation as demonstrated in Figs. 1 and 5. The spectral resolution of the spectrometer is 1 nm. According to the Lambertian image formation model, the camera's sensor response ρ to the light reflected by an object may be calculated on the basis of the following (2):

$$\rho = \int E(\lambda) \cdot S(\lambda) \cdot Q_s(\lambda) d\lambda \quad (2)$$

where $E(\lambda)$ is spectral power distribution (SPD) of light, which is incident upon the surface; $S(\lambda)$ denotes surface reflectance, and $Q_s(\lambda)$ sensor sensitivities. If only one image is analysed, it can be assumed that the $E(\lambda)$ function is constant for all samples. If spectrometer measurements of objects and the spectral sensitivity of the camera are known the $\rho_{i,j}$ coefficient calculated according to (3) is in proportion to the quantity of light reflected from the i -sample and registered by the detector in the j -band.

$$\rho_{i,j} = \sum_{\lambda_{\min}}^{\lambda_{\max}} \left(\frac{S_{\lambda,i} \cdot Q_{r,\lambda,j}}{\lambda_{\max} - \lambda_{\min}} \right) \quad (3)$$

where λ_{\min} and λ_{\max} constitute the minimum and maximum wavelength of light registered by the detector, while $S_{\lambda,i}$ is the light reflection coefficient of the each sample registered by the spectrometer for a given wavelength. $Q_{r,\lambda,j}$ is the relative spectral sensitivity of the camera in the j -band for a given wavelength (Figs. 1 and 5).

The $\rho_{i,j}$ coefficient was calculated for all samples. Fig. 9 demonstrates the relationship between the mean pixel value of each sample and the $\rho_{i,j}$ coefficient for the NIR and R channels. The study suggests that there is a strong correlation between those quantities. The determination coefficients for the NIR and R channels are 0.92 and 0.85, respectively.

6 Suitability of the Modified Camera for Classifying Rocks at the Czatkowice Limestone Mine

The verification of the thesis that a modified camera can be used to classify rock formations at the Czatkowice Limestone Mine consisted in the comparison of the separability factor for pairs of classes against different sets of spectral bands. The obtained images made it possible to define nine classes corresponding

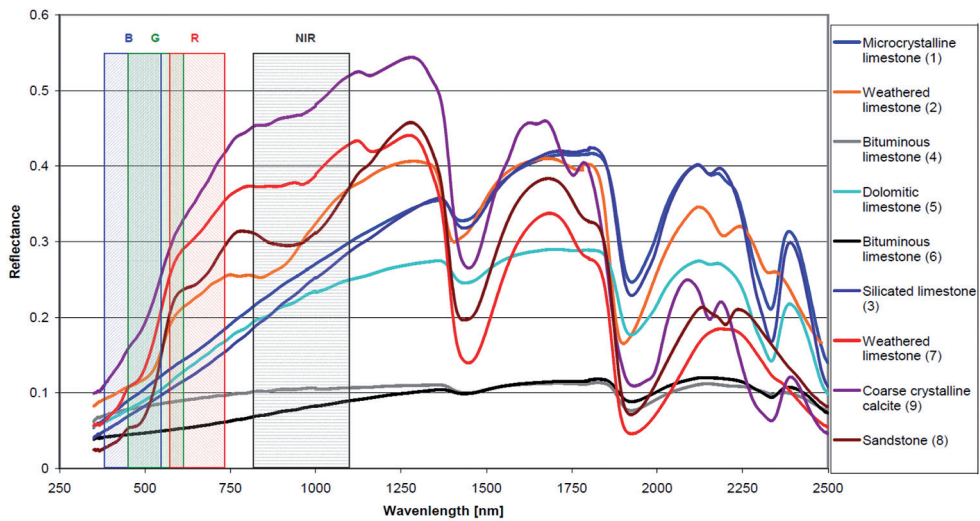


Fig. 9: Comparison between mean value of sample pixels against the ρ_1 coefficient for the *NIR* and *R* bands.

to each of the samples. The separability factor was determined for all pairs of classes, in the form of transformed divergence (TD), in the RGB, GB+NIR, RB+NIR, RG+NIR, and RGB+NIR band sets (Tab. 1). This coefficient gives results in the range from 0 to 2,000. Any value above 1,600 indicates good separability (RICHARDS 1993).

The overall TD values exceeding 1,600 for each set of channels show good separability for all combinations (Tab. 1). The best sepa-

rability factor for samples was achieved when the analysis was carried out for the full set of 4 channels. A slightly better separability in relation to the RGB channel set could also be obtained by replacing the red channel (R) or green channel (G) with the infrared channel (NIR). Furthermore, when analysing TD values for each pair of classes, one can notice that none of the analysed sets of channels could statistically separate the following pairs of samples (Tab. 1):

Tab. 1: Transformed divergence coefficient (TD) for selected pairs of samples.

Pair of samples	Bands				
	RGB	GB+NIR	RB+NIR	RG+NIR	RGB+NIR
1 – 3	862	940	1,002	839	1,108
4 – 6	644	716	661	727	867
7 – 9	845	814	897	845	923
2 – 9	1,909	1,794	1,540	1,233	1,921
3 – 5	1,950	1,821	1,964	1,738	1,967
1 – 4	1,142	1,990	1,989	1,992	1,993
1 – 6	1,368	1,982	1,981	1,980	1,985
3 – 4	1,613	1,979	1,994	1,988	1,995
3 – 6	1,528	1,917	1,967	1,938	1,969
Overall TD	1,823	1,878	1,874	1,819	1,905

- 1 – 3 (microcrystalline limestone – limestone);
- 4 – 6 (bituminous limestone – bituminous limestone);
- 7 – 9 (weathered limestone – calcite).

The low TD values for the first two pairs can be attributed to the similar composition of the samples; for the third pair, the similarity is due to the presence of iron compounds resulting in the similar spectral characteristics of both rocks in the considered bands. When the R channel is replaced with the NIR channel, the separability factor is reduced for the following pairs: 2 – 9 (weathered limestone – calcite) and 3 – 5 (dolomitic limestone – limestone), while the TD coefficient is increased significantly for the following pairs (Tab. 1):

- 1 – 4 (microcrystalline limestone – bituminous limestone);
- 1 – 6 (microcrystalline limestone – bituminous limestone);
- 3 – 4 (limestone – bituminous limestone) and
- 3 – 6 (limestone – bituminous limestone).

If all four channels are included in the analysis, the TD coefficient is increased for all pairs of classes, when compared with the RGB channel set.

7 Classification of Rock Samples

The analysis of TD values, spectral curves and the mineral composition of limestone samples lead to the conclusion that it is extremely difficult to distinguish between limestones and dolomitic or silicated limestones. This is due to the small admixtures of dolomite and silica and the limited diagnostic capabilities in the channels which were used for the analysis of those formations. In these circumstances, limiting the number of classes to the 5 basic types, i.e., limestones (samples 1, 3, and 5), bituminous limestones (samples 4 and 6), sandstone

(sample 8), coarse crystalline calcite (sample 9), and weathered limestone (samples 2 and 7) should increase the reliability of the classification. The classification of basic rock types was carried out for three sets of channels (RGB, GB+NIR, and RGB+NIR), using the MLC technique (Maximum-Likelihood Classification, RICHARDS 1993). However, this method is sensitive to various light conditions. Consequently, a similar classification was done using the spectral angle mapper (SAM) method. This method is not affected by solar illumination factors (KRUSE et al. 1993). The SAM classification uses the same training polygons as in the MLC method, and the angle threshold of classification was specified as 20 deg. The results of the analyses were compared with prepared true images. Tab. 2 presents the kappa index of agreement (KIA) that determines the accuracy of the classification (ROSENFELD & FITZPATRICK-LINS 1986). Fig. 10 demonstrates a comparison between truth images and the results of the classification carried out for different methods and sets of channels.

The results of the classification greatly improved, when the NIR channel was applied. The best KIA was achieved for the set of four channels. In the MLC (Fig. 10 b, c) there is a noticeable adverse impact of sample illumination. But the SAM method produced less favourable results (Fig. 10 d, e). The impact of illumination was reduced (which is particularly noticeable in the case of the sandstone), but classification errors occurred particularly for samples with a non-uniform surface (weathered limestone and coarse crystalline calcite).

8 Verification of the Method in Field Conditions

Besides testing under laboratory conditions, some preliminary actions were taken to verify the method in field conditions. The subject

Tab. 2: KIA (kappa index of agreement) for the MLC and SAM classifications of the basic rock types based on various sets of bands.

Bands	RGB	GB+NIR	RGB+NIR
MLC overall kappa	0.7550	0.8095	0.8375
SAM overall kappa	0.4980	0.5816	0.6299

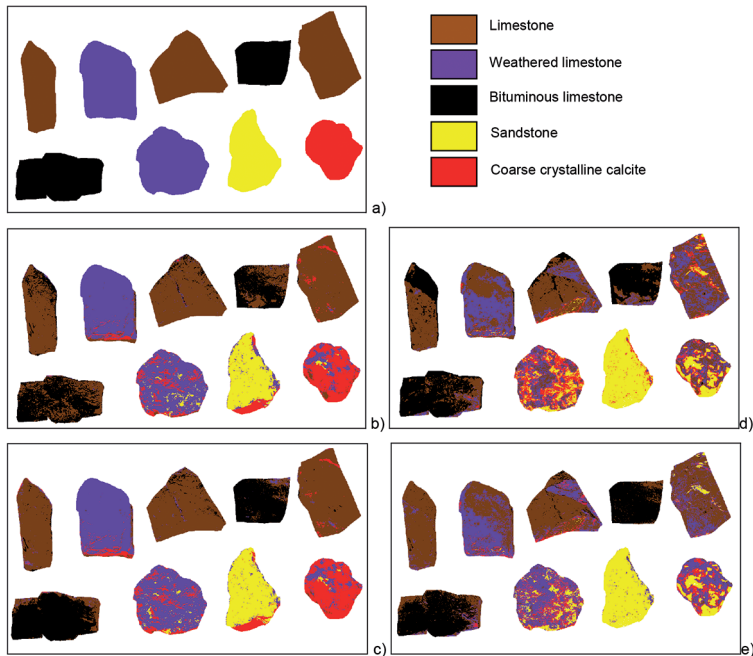


Fig. 10: Classification of the main rock types: True image (a) and classification results: b) MLC based on the RGB channels, c) MLC based on the RGB+NIR channels, d) SAM classification based on the RGB channels, e) SAM classification based on the RGB+NIR channels.

of examination is a fragment of a quarry wall (Figs. 11 and 12) with the following rock formations identified around its area: limestones, bituminous limestone, coarse crystalline calcite, which is the main component of karst formations, and additionally some shales.

The photographs were recorded on the 15th of September at 11:00 am under cloudless skies. Dry weather conditions before image acquisition ensured minimal moisture content of the rocks. The photographs were taken 15 m away from the quarry wall. A geological classification of wall fragments was performed. The places subject to classification were marked with paint so that they could later be used for the definition of the training polygons in the classification (Fig. 13).

One of the significant differences between field and laboratory conditions is lighting. The surface of the quarry wall was highly irregular, which resulted in overshadowing a great portion of the surface, if exposed to the sun. The removal of the shadow from the images becomes possible with the use of methods

commonly implemented in satellite remote sensing. For example, GILES (2001) suggested an automatic shadow detection algorithm, based on the geometric properties of the terrain. In the case of a quarry wall, it is required to carry out an additional measurement, using photogrammetry or laser scanning, in order to acquire information about its geometry. Another method to detect and remove shadows from images consists in a radiometric analysis of the properties of image fragments (DARE 2005). However, because no shadow correction could be implemented at this phase of research due to the absence of the required additional information shadows or irregularly illuminated parts of wall were excluded by permitting the presence of unclassified pixels in the classification. Properly defined training polygons made it possible to count all the pixels located in the shaded areas as unclassified (Fig. 14).

Unshaded areas on an irregular quarry wall are also characterized by a certain variability of illumination. That impact can be limited

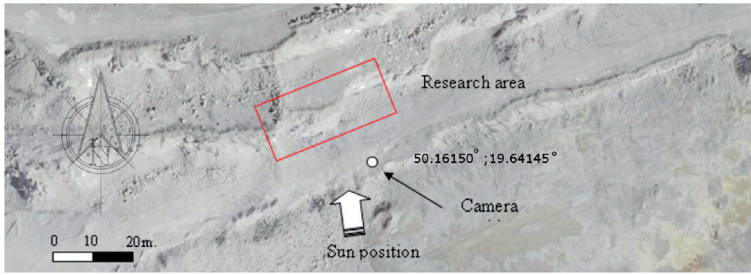


Fig. 11: Location of the examined object.



Fig. 12: Fragment of the quarry wall – image in the NIR channel.

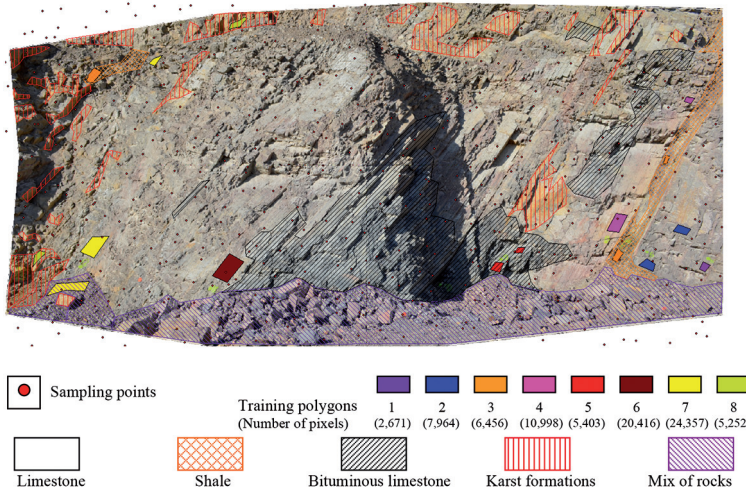


Fig. 13: Geological classification of the quarry wall, sampling points and training fields for the classification. 1: microcrystalline limestone with wavy texture, grey-brown (creamy); 2: microcrystalline limestone, uniform, cream-coloured, with black cherts with a height of 3 cm – 5 cm; 3: shale, brown with weathered light-olive layers (presence of brown clay); 4: microcrystalline limestone, pink, stromatolitic texture; 5: microcrystalline bituminous limestone, uniform texture, dark grey to black; 6: creamy microcrystalline limestone, uniform, hard, with dark grey cherts with a height of 5 cm – 7 cm and a length of over a dozen cm, parallel to stratification; 7: microcrystalline limestone, grey, with a slight tint of brown, uniform texture; 8: coarse crystalline calcite, colourless, and with a weathered coppery-yellow surface.

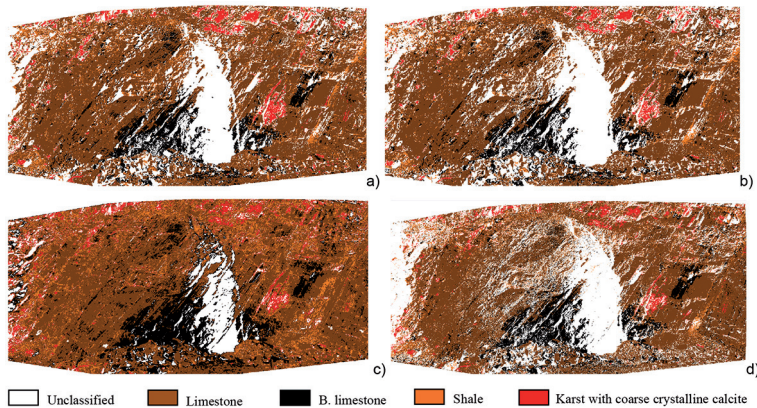


Fig. 14: Classifications results for rock formations a) MLC method based on RGB channels; b) MLC method based on RGB+NIR channels; c) SAM method based on RGB channels; d) SAM method based on RGB+NIR channels.

using a method that is less susceptible to that variability, e.g. SAM. For assuring the comparability to the laboratory tests, two methods were used to classify the formations in the deposit: MLC and SAM.

The same training polygons were used for both methods. Eight classes defined by the geologist were reduced to four basic types of rocks (Fig. 12): Limestone (classes: 1, 2, 4, 6, 7); Shale (class 3); Bituminous limestone (class 5); Karst with coarse crystalline calcite (class 8). For MLC, in order to eliminate the highly shaded areas, 10% of unclassified pixels were allowed, and in the SAM method the maximum classification angle was specified to be 3 degrees. The classification results are presented in Fig. 14.

The classification was verified based on 500 control points. Stratified random sampling was used. The strata were defined on the basis of initial classification of the quarry wall (Fig. 13). After this, control points, were verified geologically during a site inspection. The number of control points in the strata amounted to: Limestone -337, Bituminous limestone -80, Karst with coarse crystalline calcite -31, Shale -19, Background -36. Unfortunately some of points were located in unclassified areas (Fig. 14). The classification accuracy and KIA were determined for the remaining (Tabs. 3 and 4).

Unlike in the laboratory conditions, both classification methods exhibited similar accuracy. One of the causes are the illumination conditions (to which the MLC is very susceptible), which were less favourable than in the laboratory. In both cases, the accuracy of classification was slightly better, when an additional NIR channel was used. However, a more in-depth analysis of results leads to the conclusion that the increased accuracy of classification was to a large extent caused by the fact that some of the incorrectly classified pixels are not classified at all after the inclusion of the NIR channel into classification.

Upon consideration of the individual rocks, it can be observed that:

- For Karst formations containing coarse crystalline calcite, the introduction of the NIR channel does not result in a relevant change of classification accuracy (Fig. 15 a).
- NIR improved the identification of bituminous limestone in the two methods (Fig. 15 b).
- The numerical data in Tabs. 4 and 5 indicate a large error of shale classification, as confirmed by the reference images (Fig. 16 a and b), although a certain improvement is noticeable in the MLC after the introduction of the NIR channel.

Tab. 3: Accuracy of the MLC classifications.

RGB channels					
classification \ True	Limestone	Shale	Bituminous limestone	Calcite	Total
Limestone	215	41	10	6	272
Shale	7	4	0	0	11
Bituminous limestone	11	3	28	0	42
Calcite	2	2	0	16	20
Total	235	50	38	22	345
Classification accuracy 0.76, KIA 0.46					
Classification accuracy 0.80, KIA 0.54 – for all (305) control points which remained classified for each method.					
RGB+NIR channels					
classification \ True	Limestone	Shale	Bituminous limestone	Calcite	Total
Limestone	214	30	11	3	258
Shale	5	5	0	0	10
Bituminous limestone	7	2	32	0	41
Calcite	2	1	0	13	16
Total	228	38	43	16	325
Classification accuracy 0.81, KIA 0.56					
Classification accuracy 0.84, KIA 0.59 – for all (305) control points which remained classified for each method.					

9 Discussion

The results obtained in the field investigations are of reduced accuracy in comparison to those received under laboratory conditions. In order to determine the reasons, it is necessary to begin with an in-depth analysis of the laboratory results. None of the examined rock formations exhibits diagnostic spectral features at least for the wide channels recorded by the camera. Under such conditions, rock classification is based on differences in the general albedo of the individual formations. The spectral curves in Fig. 7 indicate that the limestones present in the deposit have very similar characteristics, which prevents them from being distinguished within the sensitivity ranges of the cameras. Exceptions from this are bituminous limestones, which have low reflectance in RGB and NIR channels. Other formations in the deposit and weathered limestone demonstrate much higher reflection coefficients

in R and NIR channels than limestone, which enables their discrimination during laboratory tests. However, the examined surfaces of the samples depicted in Fig. 6 have a fairly uniform structure. Under natural conditions, the degree of weathering or oxidation of the limestone surface is highly variable. Classification based on differences in the general albedo of the individual formations would then produce much worse results. An additional factor present under natural conditions is the fineness of the material. The pixel value recorded by the camera depends on the reflection of light from multiple small grains. This problem is referred to as spectral mixture (GIROUARD et al. 2004). It is particularly noticeable in the classification of shale using the SAM method (Fig. 16b). SAM is susceptible to this phenomenon. In places, where considerable fragmentation of rocks is present, there are high local variations in the spectral property of a surface resulting from, for instance, shading effects, humidity

Tab. 4: Accuracy of the SAM classifications.

RGB channels					
classification \ True	Limestone	Shale	Bituminous limestone	Calcite	Total
Limestone	237	43	24	13	317
Shale	13	3	0	1	17
Bituminous limestone	19	3	41	0	63
Calcite	5	3	1	18	27
Total	274	52	66	32	424
Classification accuracy 0.71, KIA 0.39					
Classification accuracy 0.76, KIA 0.45 – for all (305) control points which remained classified for each method.					
RGB+NIR channels					
classification \ True	Limestone	Shale	Bituminous limestone	Calcite	Total
Limestone	207	23	14	9	253
Shale	9	7	0	0	16
Bituminous limestone	6	1	35	0	42
Calcite	3	1	0	14	18
Total	225	32	49	23	329
Classification accuracy 0.80, KIA 0.55					
Classification accuracy 0.81, KIA 0.56 – for all (305) control points which remained classified for each method.					

fluctuations and rock material displacements. These variations caused that these areas have been wrongly classified as shales.

In the investigated area Karst formations occur which develop along faults. They have the form of coarse crystalline calcite veins and dripstones. They are accompanied by a concentration of iron compounds that give them a specific colour. Dripstones are composed of cryptocrystalline or fine crystalline calcite, with colour ranging from white to yellow-brown. The dripstones are present in the vicinity of calcite veins, and they may also cover limestone. Classification using surface imaging does not enable distinguishing between the rocks present under those dripstones. This can be done only by directly examining the rocks.

The comparison of the obtained results to other similar studies should begin with the study that is most similar (Toš 2014). That

study concerned the use of scanning data from terrestrial laser scanner (TLS) for the classification of the same rock samples. In that paper, photographs in the RGB channels were also used, but the intensity of laser beam reflection (I) was recorded instead of the NIR channel in modified camera. The correlation between the spectral curves and I value is lower (coefficient of determination $R^2 = 0.65$) than that obtained in this study for the NIR channel ($R^2 = 0.92$). The accuracy of classification using the RGB+I data from TLS operating with a wavelength of 785 nm was also inferior (KIA = 0.77) to the accuracy achieved in the presented paper (KIA = 0.83). Better values were reported by FRANCESCHI et al. (2009) investigating the dependence between the intensity of laser beam reflection (1,535 nm) and clay abundance in the quarry wall of the limestone mine. The coefficient of determination was 0.85. Those values indicate that the use of

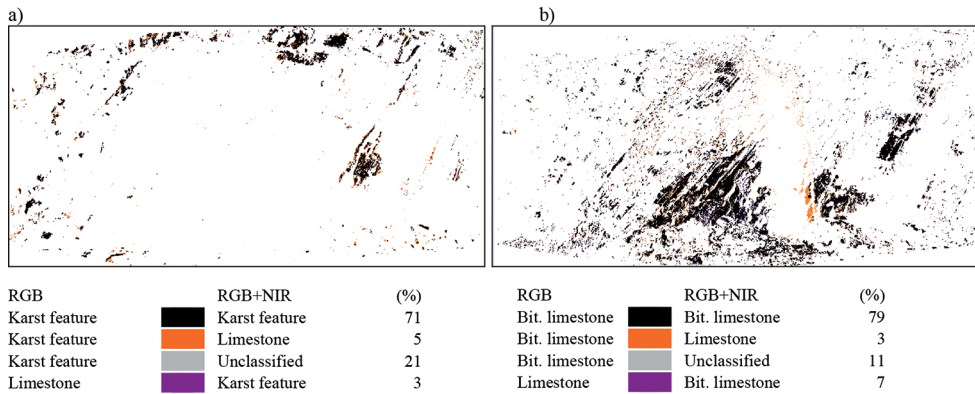


Fig. 15: Comparison of MLC classifications using RGB and RGB+NIR channels: a) for Karst formations containing coarse crystalline calcite; b) for bituminous limestone.

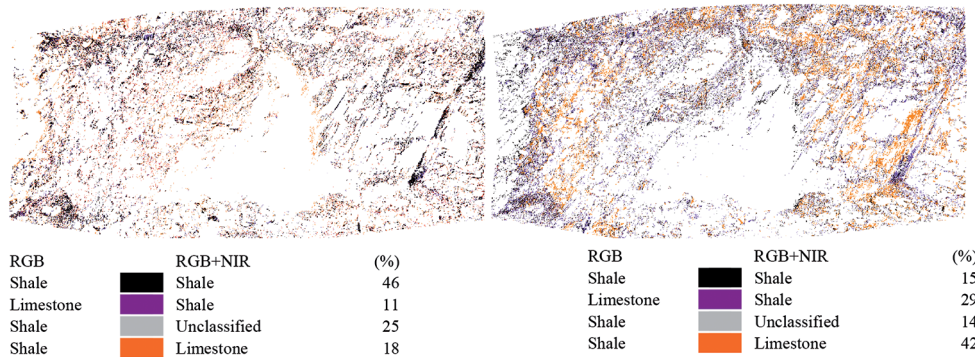


Fig. 16: Comparison of shale classifications using RGB and RGB+NIR channels: a) MAXLIKE; b) SAM.

a modified camera may produce results comparable to scanning data. On the other hand, PATEL & CHATERIEE (2016) presented a method of limestone classification with an impressive accuracy (classification accuracy = 0.94). That method only uses photographs in the RGB channels. The authors achieved such a high accuracy owing to the use of a probabilistic neural network and, which is equally important, performance of the tests under controlled laboratory conditions using samples that were collected already after blasting works. This eliminated other interfering factors that had such a large impact on the results obtained in this study.

10 Conclusions

Charge-coupled devices in digital camera are sensitive for near infrared. It is considered a flaw in the majority of cases and manufacturers install appropriate filters, in order to counteract that. When such filters are eliminated, it is possible to register light in the entire visible spectrum, and additionally in the 780 nm – 1,100 nm range. The sensitivity characteristics of the modified camera in the NIR region are not as good as of the equipment designed for that purpose alone. The primary flaw is the wide range of the RGB and NIR channels. However, the images registered with such a device can provide some valuable data. Alternatively, it is possible to apply special tools,

e.g. ground-based hyper-spectral cameras, although they are far more expensive.

The article targeted the possibility of classifying rock formations at the Czatkowice Limestone Mine using the modified camera. The tests were carried out in laboratory conditions and with stable lighting, making sure that the humidity level of the samples was at its minimum. In such conditions, it was possible to obtain a strong correlation ($R^2 = 0.92$) between the brightness of the pixels registered with the modified camera and the results of spectrometric observations of rock samples. Furthermore, it was proven that the results of classification for the rock formations present in the deposit were improved, when the R channel was replaced with the NIR channel. It is particularly advantageous to apply a full set of RGB+NIR channels, as it will result in a high level of classification accuracy (KIA 0.83).

However, the tests carried out in field conditions returned worse results. The accuracy of rock classification was KIA = 0.56, when using the RGB+NIR set of channels. Still, the final result was better, than the one obtained for the classification based on RGB channels (KIA = 0.46). It depends on a number of factors. They include, among others, changeable lighting conditions and various levels of weathering, oxidation, grain size and humidity, concerning the rock formations present in the deposit, as well as surface contamination. In the Czatkowice Limestone Mine, where the rock formations have very similar spectral characteristics, the above-mentioned factors have a decisive impact on the correctness of classification. This limits the possibilities of using that solution to mapping rock formation in the quarry wall of that mine. However, this does not prevent the modified camera from being useful in the tests of rocks with other spectral characteristics in the VIS+NIR range.

Acknowledgements

I would like to express my gratitude to the Management of the Czatkowice Limestone Mine for the possibility of carrying out the tests, and to RAFAŁ GWOZDZ, Ph.D. (Eng.), for the geological verification of the samples.

References

- ASADZADEH & DE SOUZA FILHO, C.R., 2016: A review on spectral processing methods for geological remote sensing. – *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* **2016** (47): 69–90; doi: 10.1016/j.jag.2015.12.004.
- BALDRIDGE, A.M., HOOK, S.J., GROVE, C.I. & RIVERA, G., 2009: The ASTER Spectral Library Version 2.0. – *Remote Sensing of Environment* **2009** (113): 711–715.
- BONGIORNO, D.L., BRYSON, M., DANSEREAU, D.G. & WILLIAMS, S.B., 2013: Spectral characterization of COTS RGB cameras using a linear variable edge filter. – *SPIE Digital Photography* **9** (86600N), Burlingame, CA, USA; doi:10.1117/12.2001460.
- BROWN, A.J., 2006: Spectral curve fitting for automatic hyperspectral data analysis. – *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* **44**: 1601–1608.
- CHATTERJEE, S., BHATTACHERJEE, A., SAMANTA, B. & PAL, S.K., 2010: Image-based quality monitoring system of limestone ore grades. – *Computers in Industry* **16**: 391–408.
- CHEN, X., WARNER, T.A. & CAMPAGNA, D.J., 2007: Integrating visible, near-infrared and short-wave infrared hyperspectral and multispectral thermal imagery for geological mapping at Cuprite, Nevada. – *Remote Sensing of Environment* **2007** (110): 344–356; doi:10.1016/j.rse.2007.03.015.
- CIAMPALINI, A., GARFAGNOLI, F., ANTONIELLI, B., MORETTI, S. & RIGHINI, G., 2012: Remote sensing techniques using Landsat ETM+ applied to the detection of iron ore deposits in Western Africa. – *Arabian Journal of Geoscience* **6** (11): 4529–4546; doi: 10.1007/s12517-012-0725-0.
- CLARK, R.N., SWAYZE, G.A., WISE, R., LIVO, E., HOFFEN, T., KOKALY, R. & SUTLEY, S.J., 2007: USGS digital spectral library splib06a. – U.S. Geological Survey, Digital Data Series **231**; <http://speclab.cr.usgs.gov/spectral.lib06>. (10.6.2015).
- DARE, P.M., 2005: Shadow analysis in high-resolution satellite imagery of urban areas. – *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* **71** (2): 169–177; doi: <http://dx.doi.org/10.14358/PERS.71.2.169>.
- DARMONT, A., 2009: Spectral Response of Silicon Image Sensors. – White paper; <http://www.aphesa.com/downloads/download2.php?id=1> (10.6.2015).
- EDWARDS, H.G.M., VILLAR, S.E.J., JEHLICKA, J. & MUNSHI, T., 2005: FT-Raman spectroscopic study of calcium-rich and magnesium-rich carbonate minerals. – *Spectrochimica Acta Part A* **2005** (61): 2273–2280; doi: 10.1016/j.saa.2005.02.026.
- FRANCESCHI, M., TEZA, G., PRETO, N., PESCI, A., GALLAGRO, A. & GIRARDI, S., 2009: Discrimination between marls and limestones using intensity data from terrestrial laser scanner. – *ISPRS Journal of*

- Photogrammetry and Remote Sensing **64** (6): 522–528; doi: 10.1016/j.isprsjprs.2009.03.003.
- FREDEMBACH, C. & SUSSTRUNK, S., 2009: Illuminant Estimation and Detection Using Near infrared. – IS&T/SPIE Electronic Imaging, Digital Photography **5** (7250): 18–22, San Jose, CA, USA.
- GILES, P., 2001: Remote sensing and cast shadows in mountainous terrain. – Photogrammetric Engineering & Remote Sensing **67** (7): 833–839.
- GIROUARD, G., BANNARI, A., EL HARTI, A. & DESROCHERS, A., 2004: Validated spectral angle mapper algorithm for geological mapping: comparative study between quickbird and landsat-tm. – XXth ISPRS Congress, Geo-Imagery Bridging Continents **2004**: 12–23, Istanbul, Turkey.
- GOETZ, A.F.H., 2009: Three decades of hyperspectral remote sensing of the Earth: a personal view. – Remote Sensing Environment **2009** (113): 5–16; doi: 10.1016/j.rse.2007.12.014.
- GRUZINSKI, R., 1972: Przewodnik geologiczny po okolicach Krakowa. – Polish Geological Publishing House, Warsaw, Poland.
- HAEST, M., CUDAHY, T., LAUKAMP, C. & GREGORY, S., 2012: Quantitative mineralogy from infrared spectroscopic data. I. Validation of mineral abundance and composition scripts at the Rocklea channel iron deposit. – Economic Geology **2012** (107): 209–228; doi: 10.2113/econgeo.107.2.209.
- HUNT, G.R., 1977: Spectral signatures of particulate minerals in the visible and nearinfrared. – Geophysics **42** (3): 501–513; doi: 10.1190/1.1440721.
- HUNT, G.R., 1980: Electromagnetic radiation: The communication link in remote sensing. – SIEGAL, B.S. & GILLESPIE, A.R. (eds.): Remote sensing in geology, 5–45, John Wiley, New York, NY, USA.
- KOVACEVIC, M., BAJAT, B., TRIVIC, B. & PAVLOVIC, R., 2009: Geological Units Classification of Multi-spectral Images by Using Support Vector Machines. – Intelligent Networking and Collaborative Systems, International Conference ICONOS **2009**: 267–272; doi: 10.1109/INCOS.2009.44.
- KRUSE, F.A., BOARDMAN, J.W., LEFKOFF, A.B., HEIDEBRECHT, K.B., SHAPIRO, A.T., BARLOON, P.J. & GOETZ, A.F.H., 1993: The Spectral Image Processing System (SIPS) – Interactive Visualization and Analysis of Imaging Spectrometer Data. – Remote Sensing of Environment **44**: 145–163.
- KRUSE, F.A., 2015: Comparative analysis of airborne visible/infrared imaging spectrometer (AVIRIS), and hyperspectral thermal emission spectrometer (HyTES) longwave infrared (LWIR) hyperspectral data for geologic mapping – Algorithms and Technologies for Multispectral, Hyperspectral, and Ultraspectral Imagery XXI. – SPIE 9472: 94713–94727; doi: 10.1117/12.2176646.
- KUOSMANEN, V.V. & LAITINEN, L.J., 2008: Quantitative mineral assessment of apatite, calcite/dolomite, and phlogopite powder mixtures by using VSWIR reflectance. Geosci. – Remote Sensing IEEE Transactions **46**: 1774–1782.
- LEPISTO, L., KUNTTU, I. & VISA, A., 2005: Rock image classification using color features in Gabor space. – Journal of Electronic Imaging **14** (4): 040503-040503-3; doi: http://dx.doi.org/10.1117/1.2149872.
- LIU, E., SONG, Y., WANG, H., LIU, H., AYOKO, G.A., FROST, R.L. & XI, Y., 2016: Vibrational spectroscopic characterization of mudstones in hydrocarbon-bearing depression, South China Sea: Implications for thermal maturity evaluation. – Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy **153**: 241–248; doi: 10.1016/j.saa.2015.08.031.
- MAXMAX, 2015: https://www.maxmax.com/spectral_response.htm (13.5.2015).
- MENGKO, T.R., SUSILOWATI, Y., MENGKO, R. & LEKSONO, B.E., 2000: Digital image processing technique in rock forming minerals identification. – Circuits and Systems 2000, IEEE APCCAS 2000, The 2000 IEEE Asia-Pacific Conference **2000**: 441–444, Tianjin, China; doi: 10.1109/APCCAS.2000.913531.
- NAKAMURA, J., 2006: Image Sensors and Signal Processing for Digital Still Cameras. – Taylor & Francis, Boca Raton, FL, USA.
- NIKOND200, 2015: http://www.image-engineering.de/library/tests/nikon_d200_spectral_sensitivities.pdf (12.5.2015).
- NIKOND70, 2015: http://www.lifepixel.com/tutorials/infrared-diy-tutorials/nikon-d70-d70s (10.6.2015).
- NURDAN, A.B. & NIHAT, Y., 2010: Mineral identification using color spaces and artificial neural networks. – Computers & Geosciences **36** (1): 91–97; doi: http://dx.doi.org/10.1016/j.cageo.2009.04.009.
- PATEL, A.K. & CHATERIEE, S., 2016: Computer vision-based limestone rock-type classification using probabilistic neural network. – Geoscience Frontiers, Progress of Machine Learning in Geosciences **7** (1): 53–60; doi: 10.1016/j.gsf.2014.10.005.
- PENASA, L., FRANCESCHI, M., PRETO, N., TEZA, G. & POLITO, V., 2014: Integration of intensity textures and local geometry descriptors from Terrestrial Laser Scanning to map chert in outcrops. – ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing **93**: 88–97; doi: 10.1016/j.isprsjprs.2014.04.003.
- PIRARD, E., 2004: Multispectral imaging of ore minerals in optical microscopy. – Mineralogical Magazine **68**: 323–333; doi: 10.1180/0026461046820189.
- ROCOES, 2015: http://rocoes.com.tw/dichroic/optical/coldmiro.htm (6.6.2015).
- RICHARDS, J.A., 1993: Remote Sensing Digital Image Analysis. – Springer-Verlag, New York, NY, USA.

- ROSENFELD, G.H. & FITZPATRICK-LINS, K., 1986: A Coefficient of Agreement as a Measure of Thematic Classification Accuracy. – *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* **52** (2): 223–227.
- SULISTIYANTI, S.R., SETYAWAN, A. & SUSANTO, A., 2009: Histogram Characterizations of Infrared Images Captured by a Modified Digital Camera. – *International Journal of Electronic Engineering Research (IJEER)* **1** (4): 329–336, Research India Publications (RIP), ISSN 0975 – 6450.
- SULISTIYANTI, S.R., WIDODO, T.S., SUSANTO, A. & SUPARTA, G.B., 2010: Noise Filtering on Thermal Images Acquired by Modified Ordinary Digital Camera. – *International Conference on Electronics and Information Engineering (ICEIE 2010)* **2**: 462–464, Kyoto, Japan, ISBN 978-1-4244-7679-4; doi: 10.1109/ICEIE.2010.5559817.
- SULISTIYANTI, S.R., KOMARUDIN, M., HAKIM, L. & YUDAMSON, A., 2014: Study of environmental condition using wavelet decomposition based on infrared image. – *International Conference on Information Technology, Computer and Electrical Engineering (ICITACEE)* **1**: 172–176, Semarang, Indonesia, ISBN 978-1-4799-6431-4; doi: 10.1109/ICITACEE.2014.7065736.
- TARQUINI, S. & FAVALLI, M.A., 2010: Microscopic information system (MIS) for petrographic analysis. – *Computers & Geosciences* **36** (5): 665–674; doi: 10.1016/j.cageo.2009.09.017.
- THEUWISSEN, A.J.P., 1995: *Solid-State Imaging with Charge-Coupled Devices*. – Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands.
- Toś, C., 2014: The possibilities of using the terrestrial scanning data for classification of rocks in limestone mine “Czatkowice” – Reports on Geodesy and Geoinformatics **97**: 80–90, Warsaw, Poland; doi: 10.2478/rgg-2014-0013.
- TURNER, D., BENOIT, R. & GROAT, L.A., 2014: Visible and short-wave infrared reflectance spectroscopy of REE fluorocarbonates. – *American Mineralogist* **99**: 1335–1346; doi:10.2138/am.2014.4674.
- VERHOEVEN, G., 2008: Imaging the invisible using modified digital still cameras for straightforward and low-cost archaeological near-infrared photography. – *Journal of Archaeological Science* **35** (12): 3087–3100, Elsevier, ISSN 0305-4403; <http://dx.doi.org/10.1016/j.jas.2008.06.012>.
- VAN DER MEER, F.D., VAN DER WERFF, H.M.A., VAN RUITENBEEK, F.J.A., HECKER, C.A., BAKKER, W.H., NOOMEN, M.F., VAN DER MEIJDE, M., CARRANZA, E.J.M., DE SMETH, J.B. & WOLDAI, T., 2012: Multi- and hyperspectral geologic remote sensing: A review. – *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* **14** (1): 112–128; doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jag.2011.08.002>.

Address of the Author:

Ph.D eng. CEZARY Toś, Institute of Geotechnics S-2, Cracow University of Technology, ul. Warszawska 24, 31-155 Kraków, Poland, phone: +48 12 628-28-68, e-mail: ctos@wis.pk.edu.pl

Manuskript eingereicht: Februar 2016
Angenommen: Juli 2016



Impact Assessment of Oil Exploitation in South Sudan using Multi-Temporal Landsat Imagery

ALEXANDER MAGER, Oberpfaffenhofen, LARS WIRKUS, Bonn & ELISABETH SCHOEPFER, Oberpfaffenhofen

Keywords: remote sensing, natural resources, land cover change, landscape monitoring, South Sudan

Summary: This scientific report examines the spatial impacts of oil exploitation in Melut County, South Sudan, at six points in the time span between 1999 and 2011, based on Landsat satellite data. Three features were analysed: cropland, oil well pads and roads. Feature extraction consisted of pixel- and object-based classification approaches as well as on-screen digitization. Land cover classification was performed as a base for further object-based classification of cropland areas and oil well pads. Spatial analysis of the relationship between the detected features was performed. Apart from a sharp decline in cropland areas between 1999 and 2002, croplands increased steadily over time and more than doubled in size. Oil infrastructure grew enormously in size throughout the whole time series from a single pad in 1999 to 555 pads in 2011. The example exhibited the potential of Earth observation as a tool to support the field of peace and conflict research (MAGER 2013).

Zusammenfassung: *Untersuchung des Einflusses der Erdölförderung im Süd-Sudan auf die räumliche Entwicklung basierend auf multitemporalen Landsat-Bildern.* Dieser Beitrag untersucht die räumlichen Auswirkungen der Erdölförderung in Melut County im Süd-Sudan anhand von sechs verschiedenen Zeitpunkten zwischen 1999 und 2011 basierend auf Landsat Satellitendaten. Drei Objektarten wurden analysiert: Ackerflächen, Ölbohrstellen und Straßen. Die Objekterfassung bestand aus pixel- und objektbasierten Klassifikationsmethoden sowie Digitalisierung. Landbedeckungsklassifikationen wurden als Basis für weitere Klassifikationen von Ackerland und Ölbohrstellen durchgeführt. Eine Analyse bezüglich der räumlichen Zusammenhänge zwischen den erfassten Objekten wurde durchgeführt. Abgesehen von einem starken Rückgang der Ackerflächen zwischen 1999 und 2002 stieg die Fläche der landwirtschaftlich genutzten Gebiete stetig an und verdoppelte sich in ihrer Größe. Über die gesamte Zeitreihe hinweg wuchs die Erdölinfrastruktur enorm, und zwar von einer Ölbohrstelle im Jahr 1999 auf 555 Ölbohrstellen im Jahr 2011. Die Studie zeigt das Potential der Erdbeobachtung als unterstützendes Werkzeug in der Friedens- und Konfliktforschung auf (MAGER 2013).

1 Introduction

Oil plays a vital role in the economy of the Republic of South Sudan, which gained independence from the Republic of Sudan only in 2011. Six years after the conclusion of the ‘Comprehensive Peace Agreement’ (CPA) between the government of Sudan and the Su-

dan People’s Liberation Movement/Army (SPLM/A) in 2005, a referendum on the 9th of July 2011 ended not only this six-year interim phase and four decades of bloody North-South conflict but even more so sealed the split of South Sudan from Sudan. Since its secession South Sudan is the most oil-dependent country in the world. Almost all of the state bud-

get is oil revenue. Right after its independence oil represented 98% of South Sudan's state revenue. In the more recent years, the exact share is unclear because of the frequent disruptions to the country's oil production (EIA 2014). According to the WORLD BANK (2015) the oil revenues currently account for around 60% of South Sudan's gross domestic product. Most of the oil production capacity is located in South Sudan, whose proved oil reserves account for 3.5 billion barrels, being more than twice as high as those of Sudan (EIA 2014). Nevertheless, being a landlocked country, South Sudan still remains dependent on Sudan. It still is forced to use Sudan's pipelines and port to export its oil. Armed civil conflicts within South Sudan and continued tensions between the two countries, partly violent, but also disagreements over oil revenue sharing have cut down oil production from both countries over the past few years with the consequence of severe economic crisis in both countries (EIA 2014, GRAWERT 2013).

The development of the oil fields took place against the backdrop of Sudan's second civil war, which lasted from 1983 to 2005. The discovery of oil added a major economic component to the conflict and deepened the divide between North and South. The central government in Khartoum tried to achieve full control of the oil fields, a majority of which is located in the South. Hence, oil exploration was mostly limited to the central and south-central regions of the unified Sudan at that period. Thousands of people were evicted from their homes in order to secure undisturbed development of the fields. Villages were destroyed, people killed and thousands forcefully displaced (ROBINSON 2003, TERMINSKI 2011). Apart from the bloodshed, oil field development led to big-scale environmental problems. Crop patterns changed, poorly constructed roads led to drain blockages which caused droughts and floods and polluted ponds pose a danger for humans and animals alike (BICC 2013, ECOS 2006, ECOS 2009, ECOS 2014).

Earth observation is capable of providing important information about such processes on the ground. Remote sensing data are used as an independent source of data to complement local information. This is in particular important for regions where traditional means

of survey are not possible due to geographic or financial considerations, or limitations in time. Other hindering factors might be great travel distances, security concerns, or both. In the above-described context the use of satellite images seems to be most suitable. However, so far only a few studies have documented the benefits of remote sensing within the context of impact assessment of oil exploitation. PRINS (2009) compared Landsat satellite data for the years 1999, 2000, 2001 and 2005 for parts of Melut County in Sudan and utilized Quickbird data in order to investigate the land use development during the preliminary phase of oil exploration. SERGEY & OGANES (2009) and AKSYONOV (2006) investigated the impacts of oil extraction on the Russian landscape using Landsat data. Even though they focus on oil spills, which is not of concern for this study, they also captured oil infrastructure from satellite data and analyzed the possibilities and limits of doing so. Russia was also the focus for HESE & SCHMULLIUS (2009) who, amongst other features, classified oil well pads from Landsat-5 data. Landsat-7 data was used by DUNCAN et al. (2014) to assess the impact of oil exploration activities in the Sahara. In 2014, PLANK et al. presented an automated feature extraction procedure based on the combination of a pixel-based unsupervised classification of polarimetric synthetic aperture radar data (PolSAR) and an object-based post-classification. All these studies utilize the principle of change detection, i.e. the process of identifying differences in the state of an object or phenomenon by observing it at different times (SINGH 1989), for monitoring the different features of interest.

This paper provides an overview of oil-related developments in Melut County, located in the Upper Nile region, in South Sudan for the period from 1999 to 2011. The objective of the study was to map human activity in the context of oil extraction and to assess its impacts in the area of interest (AOI). In order to document the spatio-temporal development of the oil fields and impacts on their surroundings, six points in time were chosen. The study aimed at answering the following research questions: What changes can be observed by means of remote sensing? What spatial connections exist between those ob-

served changes? Can they be explained with existing knowledge about events related to oil production? In order to answer the questions, a three-step approach was followed: (1) An initial land cover classification was performed in order to gather core environmental information; (2) classes of interest were extracted using both semi-automatic (pixel- and object-based) and manual classification techniques, and (3) the extracted features were being used to map the state of the AOI at the aforementioned points in time and to analyse the relationships between them. One key assumption of this study is that the development of oil infrastructure leads to a loss of cropland areas (ECOS 2011, 2014). Taken together, an overall picture of the situation and its development over time was expected to emerge.

2 Study Area

The majority of south-sudanese oil reserves are located in the oil-rich Muglad and Melut rift basins, which extend also into the Republic of Sudan (EIA 2014). The study area (Fig. 1) is located in Upper Nile state, one of South Sudan's ten states, which cover large parts of the Melut basin. It includes Melut County, one of the thirteen counties of Upper Nile State,

comprising of 478 villages as well as parts of the counties Renk, Maban, Baliet, Fashoda. Melut County historically has been inhabited by Dinka. After the signing of the CPA and the formation of the Government of Southern Sudan (GOSS) the former seven sections, which were governed by paramount chiefs of various Dinka sub-groups, were turned into seven Payams. Two Paymas, Melut and Paloiich, are of special interest to this study.

The Dinka of the northern Upper Nile region practise agriculture more than cattle breeding and hunting. They adopted to the climate conditions in this area in a way that they move between areas near to the river Nile during dry seasons and the areas of their origins during rainy seasons where they then practised agriculture (ECOS 2014). Agriculture, which was largely practised in this area, vanished almost entirely during wartime due to forced displacement of locals by the Sudanese Armed Forces (SAF). According to PRINS (2009), the same is true for the Western Upper Nile region of South Sudan, where oil concession Block 5A is located.

The size of the AOI is approximately 10,500 km² (104 km × 101 km). BICC (2013) estimates the number of persons living in Melut County to be approximately 70,000 for mid-2013. As of 2011, the AOI comprises four oil

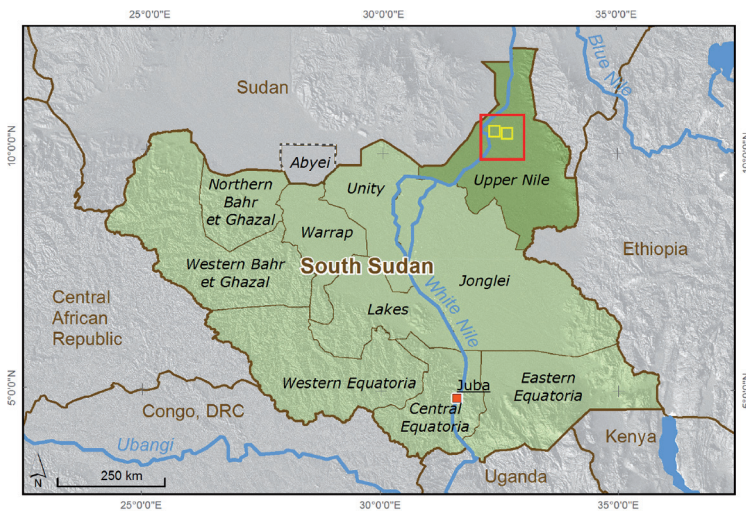


Fig. 1: The study area (red square) with the two subsets for cropland classification (yellow squares) and the regional setting of South Sudan.

fields: Paloich, Adar Yale, Gumry and Mu-leeta. Exploration of the Paloich field began in 2001. In order to make way for oil exploration and to ensure undisturbed oil production, the government of Sudan continued to forcefully displace thousands of people in Melut and Maban Counties after the signing of the CPA in 2005. Hundreds of villages were affected by the construction of oil well pads, roads, ponds and other infrastructure. Some villages vanished completely (BICC 2013, ECOS 2011, ECOS 2014, HUMAN RIGHTS WATCH 2003). ECOS (2014) states that “Assuming that on average a village consists of 100 people, this means that the lives of about 38,000 people have been affected by oil industry development in some way or another in Melut County.”

3 Data

The main data sources for this study were Landsat-5 TM and Landsat-7 ETM+ images. The area of interest is completely covered by Landsat paths 173 and 172 of row 53. Six points in time (1999, 2002, 2004, 2006, 2009, 2011) were chosen based on events that occurred in

the study area as well as data availability (Tab. 1). The first one – 1999 – was of interest because it showed the state of the area before oil production started. The second point in time – 2002 – supposedly not only showed the first stages of oil field expansion but also the effects of the heavy fighting that took place between 1999 and 2002 as mentioned in chapter 1. In the year 2004, displaced people and persons that had fled the areas started to return to Melut County (BICC 2013). The last date in the list – 2011 – was set as an endpoint of the time series upon design of the study in mid-2012. The fact that early 2011 was the last time for which Landsat-5 imagery of the area of interest was available also contributed to this decision. The two remaining dates in-between – 2006 and 2009 – were chosen in order to keep the time interval of two to three years between dates. In May 2003 the Scan Line Corrector (SLC) in the ETM+ instrument failed. Thus, additional data were selected for the years 2004 and 2006 in order to fill the data gaps which are caused by the SLC’s failure.

Landsat-5 data was available for 2009 and 2011, which were used to keep the number of images that contain gaps to a minimum. For

Tab. 1: Overview of satellite imagery. Additional data used to overcome the SLC’s failure are marked with an asterisk.

Satellite	Sensor	Acquisition date	Spatial resolution	Path/Row
Landsat-7	ETM+	29.11.1999	15 m (pansharpened)	172 / 053
Landsat-7	ETM+	06.12.1999	15 m (pansharpened)	173 / 053
Landsat-7	ETM+	23.12.2002	15 m (pansharpened)	172 / 053
Landsat-7	ETM+	30.12.2002	15 m (pansharpened)	173 / 053
Landsat-7	ETM+	26.11.2004*	15 m (pansharpened)	172 / 053
Landsat-7	ETM+	12.12.2004	15 m (pansharpened)	172 / 053
Landsat-7	ETM+	03.12.2004*	15 m (pansharpened)	173 / 053
Landsat-7	ETM+	19.12.2004	15 m (pansharpened)	173 / 053
Landsat-7	ETM+	18.12.2006	15 m (pansharpened)	172 / 053
Landsat-7	ETM+	04.02.2007*	15 m (pansharpened)	172 / 053
Landsat-7	ETM+	25.12.2006	15 m (pansharpened)	173 / 053
Landsat-7	ETM+	10.01.2007*	15 m (pansharpened)	173 / 053
Landsat-5	TM	18.12.2009	30 m	172 / 053
Landsat-5	TM	09.12.2009	30 m	173 / 053
Landsat-5	TM	06.01.2011	30 m	172 / 053
Landsat-5	TM	13.01.2011	30 m	173 / 053

preprocessing, a tasseled cap transformation as developed by KAUTH & THOMAS (1976) was performed on all images. It resulted in a three-band feature space. The first band corresponds to brightness. The second represents greenness. The third band indicates wetness and relates to soil and surface moisture (LILLESAND et al. 2008). For this study, the third band proved to be suitable for identifying human-made structures with very little or no surface moisture such as oil well pads. Landsat-7 data was pansharpened by merging the panchromatic 15 m-band with a layer stack of the bands 1-2-3-4-5-7 to produce colour images, which in turn feature a resolution of 15 m instead of 30 m (LILLESAND et al. 2008).

4 Methodology

The methodological workflow (Fig. 2) consisted of three main steps: (1) Classification, (2) feature extraction as well as (3) analysis and visualization. The objective of the first step was to assess the applicability of semi-automatic classification approaches both pixel- and

object-based. In the second step the features of interest (cropland, roads and oil well pads) for the impact assessment of oil exploitation were derived. In order to achieve the highest accuracy possible the classes were manually digitized. The derived classes served as input for the third step that focused on the mapping of the state of the oil fields for every point in time as well as on analysing their spatial connections to the extracted features.

4.1 Classification

Land cover was classified using pixel-based and object-based approaches for two selected time periods, i.e. 2002 and 2009 with 15 m and 30 m spatial resolution, respectively. Five classes were defined: 'Water', 'Wetland', 'Burned Area', 'Savanna-Dense' and 'Savanna-Sparse'. Burned areas can be seen as indicator for grazing activities (PRINS 2009, GRAWERT 2012). The two savanna classes were introduced to account for vegetation density trends that frequently occur in such landscapes.

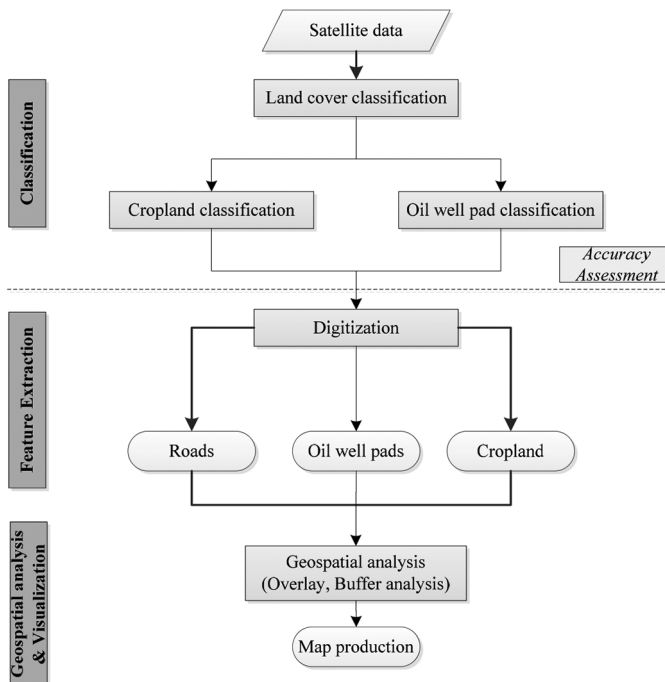


Fig. 2: Methodological workflow.

For the pixel-based classification a supervised maximum-likelihood approach was selected. The method is based on training areas, which numerically describe the spectral attributes of the classes to be mapped (LILLESAND et al. 2008).

At the turn of the millennium the concept of image segmentation, which is not new in computer vision (HARALICK & SHAPIRO 1985, PAL & PAL 1993), was transferred to the remote sensing domain in order to complement the more traditional pixel-based methods (BAATZ & SCHÄPE 2000, BLASCHKE & STROBL 2001, ADDINK et al. 2012). Object-based image analysis (OBIA) (BLASCHKE 2010, CHEN et al. 2012, HUSSAIN et al. 2013, BLASCHKE et al. 2014) was employed using the Cognition Network Language (CNL) (BAATZ et al. 2008). The segmentation algorithm used is a multi-resolution segmentation as defined in BAATZ & SCHÄPE (2000). An initial segmentation was applied to separate water from vegetation followed by a second segmentation with a smaller scale parameter. The class descriptions are mainly based on spectral features and various ratios of the bands. The following indices proved to be highly suitable for the class separation: Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) (ROUSE et al. 1974), Modified Soil-Adjusted Vegetation Index (MSAVI) (QI et al. 1994), Burned Area Index (BAI) (CHUVIECO et al. 2002) and Bare Soil Index (BSI) (AZIZI et al. 2008).

Two additional classifications were performed to test the identification of further classes. The distinction of cropland and non-cropland areas was tested on two subsets measuring 25 km × 25 km each. The previously defined ruleset in CNL was enhanced by introducing geometrical and contextual information and applied accordingly. In addition, a ruleset was developed to classify oil well pads in the whole study area. The well pads are characterized by flattened, unvegetated squares measuring 100 m × 100 m. Accordingly, the class description is based on geometrical information and brightness values.

To quantify the quality of the classifications, an accuracy assessment was performed (CONGALTON 1991). Since no ground reference data were available, the classified images were compared to the original satellite imagery and

evaluated by visual interpretation. A stratified random sampling approach was chosen to perform the accuracy assessment. For each land cover classification, a minimum of 50 sample points per class and a total of 500 sample points were randomly selected. The number of sample points increased with the total number of pixels per class, ranging from 50 in the least populated class ('Water') to more than 200 in the 'Savanna-Sparse' class.

4.2 Feature Extraction

Based on visual inspection of the imagery as well as the expert knowledge of involved researchers, three landscape features were found to be of interest for the analysis of the impact of oil exploitation, namely 'Cropland', 'Roads' and 'Oil well pads'. The features can be described according to the satellite data as follows: (1) 'Oil well pads' are mostly clear and distinct features. The oil well pads measure approximately 100 m in width and length and are used to drill for oil. Oil pads are characterized by a squared shape and bright ground. It has to be noted that no information of the status, i.e. active or inactive, of the pad can be given. Pads which are used for water injection were also considered under the same category. This is permitted in the context of this study since man-made structures themselves were more important than the exact use of the pads. (2) The feature class 'Road' covers a variety of features that are used for transport between different places. They include paved and unpaved roads, simple tracks as well as routes specifically built to connect oil well pads to the road network. Due to their long and narrow shape, roads are most often easily identifiable. (3) The feature class 'Cropland' covers all areas used for agricultural purposes. It includes small and big scale farming. Small scale farming comprises rain fed agriculture being done without the help of motorized machinery. The plots of land that are cultivated this way are quite small and heterogeneous. On the other hand big scale farm lands have a distinctive shape and compactness.

For all six points in time (1999, 2002, 2004, 2006, 2009, 2011), cropland, roads, and oil well pads were digitized. The manual interpretation

was supported by the use of high resolution satellite imagery available in Google Earth as well as by information provided by experts with local knowledge about the area.

4.3 Analysis and Visualization

Geospatial feature analysis comprised (1) cropland change analysis, (2) buffer-distance analysis and visual overlay analysis regarding the relationship between cropland and road network, and (3) grid-based oil field development analysis.

For step (1), a variety of GIS operations based on overlaying different data layers were employed to create new vector layers containing gained, lost and unchanged cropland areas. These areas were then visualized in change maps (Fig. 5). Step (2) aimed at investigating the changes of cropland areas and their relation to the road network. In order to determine whether road development influenced cropland areas in positive or negative ways, buffer-distance analyses as well as overlay analyses were performed. For buffer analysis, dis-

tances of 500 m, 1,000 m, 2,500 m, 5,000 m, 10,000 m and 20,000 m were chosen. Overlay analysis consisted of superimposing the ‘new roads layer’ with the ‘lost cropland areas layer’ to visually determine whether or not spatial connections can be observed. For the final feature analysis step (3), the area of interest was divided into 10,200 grid cells measuring 1 km² each. For each grid cell, the number of oil well pads contained therein was counted. The values were then separated into five classes, based on the distribution of the data (Fig. 3). For an analysis of the oil wells’ influence on cropland, lost and gained cropland areas were laid on top of a similar grid which contained newly set up oil well pads only.

5 Results

To quantify the quality of the land cover classifications, an accuracy assessment was applied. The land cover classifications reached a generally high level of accuracy with the object-based approach being slightly more accurate than the pixel-based approach (Tab. 2).

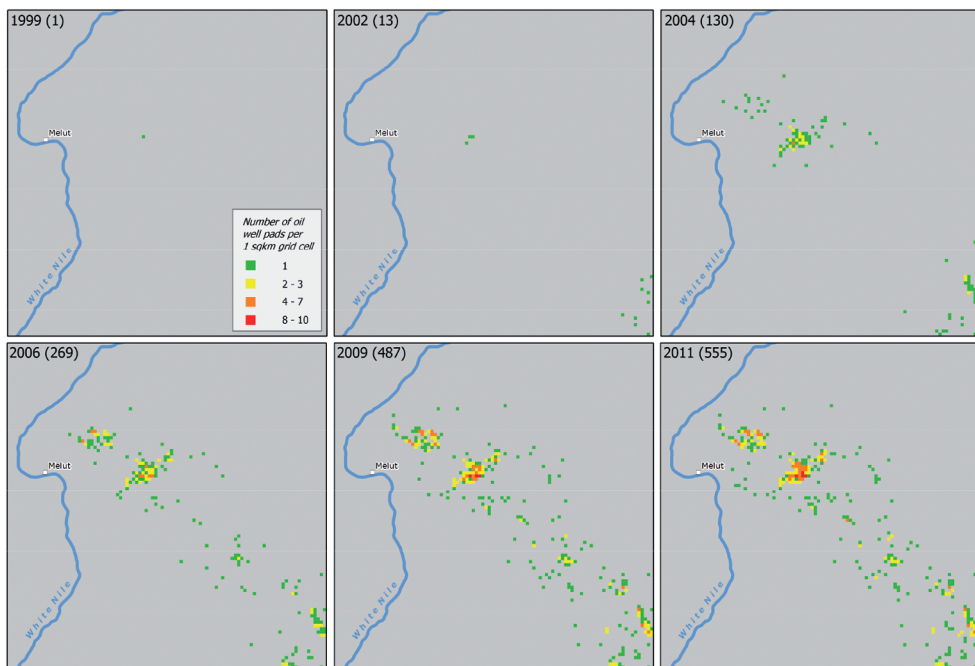


Fig. 3: Oil field development from 1999 to 2011 (number of oil well pads per 1 km² grid cell; grey: 0, green: 1, yellow: 2 – 3, orange: 4 – 7, red: 8 – 10).

Spectral similarity caused some confusion between the classes ‘Savanna-Dense’ (densely vegetated) and ‘Savanna-Sparse’ (sparsely vegetated). Tabs. 3 and 4 show that, in the maps of 2002, the approaches based on both, pixels and objects, led to low levels of accuracy for the classification of densely vegetated savanna. This confusion was also reported in other vegetation mapping approaches conducted in savannas, e.g. by CORD et al. (2010). Classification of the 2009 image resulted in very similar outcomes.

As mentioned above, the land cover was classified in order to create an additional source of information as well as a base for further classification of cropland and oil well

pads. With regard to the first purpose, large scale land cover changes could not be linked to oil exploitation activities. The main reason for major changes in land cover appearance were different states of vegetation as well as different burned area patterns. While the former were caused by seasonal conditions at image acquisition time, the latter can be linked to agricultural activities (GRAWERT 2012) as well as grazing and bush fires (PRINS 2009).

Cropland was classified on two subsets of 25 km × 25 km each. The accuracy assessment (Tab. 5) indicates the challenge of mapping cropland in savanna landscapes, where fire scars can seldom directly linked to one natural land cover (natural bush fire) or land

Tab. 2: Overall accuracy of the land cover classifications using pixel- and object-based approaches.

	2009, Pixel (30 m)	2009, Object (30 m)	2002, Pixel (15 m)	2002, Object (15 m)
Overall Accuracy	85.00 %	86.20 %	84.60 %	86.40 %
Overall Kappa	0.7978	0.8123	0.7827	0.8071

Tab. 3: Class-wise accuracy of the 2002 land cover classifications using pixel-based approaches.

	Water	Wetland	Burned Area	Savanna-Dense	Savanna-Sparse
Producer’s Accuracy	89.58 %	90.20 %	82.86 %	78.95 %	84.52 %
User’s Accuracy	86.00 %	85.19 %	86.14 %	60.81 %	91.40 %
Kappa	0.8451	0.8350	0.8245	0.5577	0.8353

Tab. 4: Class-wise accuracy of the 2002 land cover classifications using object-based approaches.

	Water	Wetland	Burned Area	Savanna-Dense	Savanna-Sparse
Producer’s Accuracy	100.00 %	89.47 %	85.15 %	93.33 %	82.40 %
User’s Accuracy	94.00 %	96.23 %	89.58 %	51.85 %	93.64 %
Kappa	0.9338	0.9574	0.8695	0.4709	0.8727

Tab. 5: Accuracy of the cropland classifications.

Subset	Producer’s accuracy	User’s accuracy
A	68.25 %	83.02 %
B	69.01 %	43.90 %

use activities, and in general a high spectral confusion among cropland and natural vegetation classes occur (CORD et al. 2010, FORKUOR et al. 2014). This result also supports the use of visual feature extraction for a more accurate delineation of cropland areas in the study region.

The accuracy of the object-based classification of the oil well pads for the whole study area reached low accuracies (Producer's accuracy: 54.62%, User's accuracy: 34.68%). Locally, classification results were satisfying, however, again, visual features seemed to be preferable for accurate mapping of oil well pads using Landsat data.

5.1 Feature Extraction

A significant decrease in cropland areas occurred as observed on images dating from 1999 and 2002. More than 160 km² of former farm lands were not used as such anymore. Similar cropland area decline was observed by PRINS (2009) in another part of South Sudan. From this base, the size of cropland areas rose steadily throughout the years, already before the end of the war in 2005. The level of 1999 was surpassed as identified on the 2006 image. After that, the sum of areas used for agricultural purposes more than trebled to reach 593 km² in 2011, of which 464 km² are located in Melut County (Fig 4a).

The number of oil well pads in the entire study area as identified on the imagery rose from a single one in 1999 to 555 in 2011 (Fig. 4b). According to a report by the NILE RESEARCH INITIATIVE (2013), the combined number of oil well pads from all four oil fields was 601. Taking into account that parts of the Adar Yale field are located outside the AOI and fur-

ther expansion of the fields between 2011 and 2013 seems likely, the number of 555 identified oil well pads for 2011 suggests a very high level of accuracy. Road length expanded from 190 km to 1,085 km.

5.2 Analysis and Visualization

The key objective of the study was to map human activity in the context of oil extraction and to assess its impacts in the area of interest. Thus, focus was put on the analysis of derived features and the visualisation of results. In total, 19 maps were generated to visualize the results of the study. The outcomes of the cropland change analysis were visualized in five maps, which show new, lost and unchanged areas for every change period. Fig. 5 gives an example for the change period 2006 – 2009, when the strongest increase of cropland occurred. A detailed description of the locations of lost and gained cropland can only be given with the help of the maps since no distinctive change pattern emerged that can be transferred to the entire AOI.

According to ECOS (2014) 37 villages in Melut County were lost due to expulsions during war time and over a hundred villages were affected by oil related infrastructure, particularly by the presence of rigs, pipelines, feeder lines and roads, often hampering traditional means of livelihood such as agriculture and cattle grazing or in the worst case even destroying properties of local communities. Returnees or those who managed to stay in their villages during war time and displacement periods usually could not practise agriculture. Security personnel of the oil companies has been preventing locals from carrying out agriculture or other livelihood activities close to

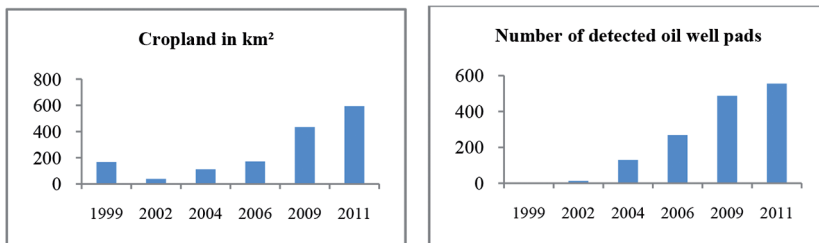


Fig. 4: (a) Changes in cropland and (b) oil well pads in the area of interest.

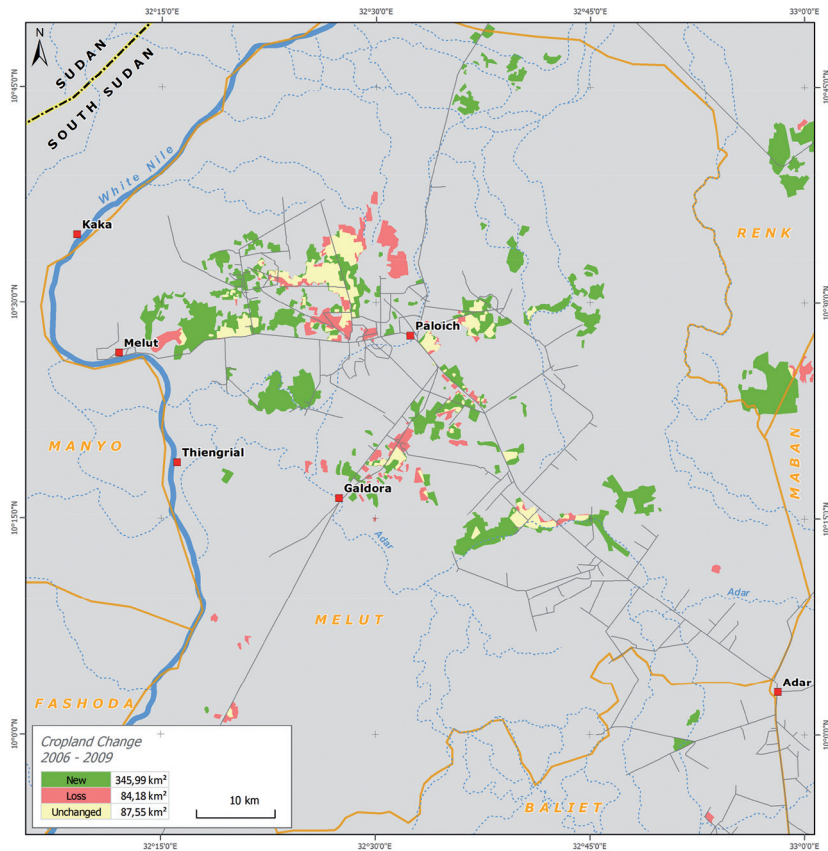


Fig. 5: Change map of cropland for the period of 2006 – 2009 showing the highest increase of cropland after the end of the war in 2005.

rigs and pipelines (ECOS 2014). Those people, whose villages were either lost or affected by activities or infrastructure of the oil industry, were therefore forced to cultivate areas in farer surroundings of their villages.

Spatial analyses of the relationship between the road network and cropland areas alone did not provide clear answers. A mixed picture emerged with many examples where road construction led to a loss of cropland areas. This is also stated in ECOS (2011), i.e. “Agricultural lands were used for roads, pipelines, oil wells, airports in relation to oil exploitation.” On the other hand, examples for new cropland areas that sprung up in close proximity to newly constructed roads abounded. Road construction has enabled access to hitherto inaccessible areas. For some years – 2004, 2006 and 2009 – a lot of new cropland

areas were closer located to new roads than to previously existing ones. One possible explanation seems to be that many of the new roads built in subsequent years often were elevated roads, which unintentional but effectively acted as dams in the rainy season either causing floodings or droughts (ECOS 2014). Because of both effects new cropland areas arose further afield – often times along the new roads which made it easier for the people to access more distant areas.

The same applies for the influence of oil well pads on cropland areas. While many examples for oil well pads replacing croplands were found, new cropland areas seemed to have emerged around newly created oil well pads. Aside the afore mentioned explanation that the forced development of new areas followed the new roads, a lot of cropland also

sprung up as a consequence of the return flow of displaced persons as well as the influx of refugees since 2006 (BICC 2013, ECOS 2014).

Summarizing, satellite data can only provide an “as is” picture, documenting the status quo as shown in the oil field development map (Fig. 3).

6 Discussion

The observed changes are in line with what is known to have happened in the area. As stated above, the period between 1999 and 2002 saw vicious fighting with displacement and flight of thousands of people. A sharp decline of cropland reflects these circumstances. From the year 2004 on, thousands of refugees returned which in turn led to new cropland areas being cultivated all over Melut County. Cropland losses (after war) and parts of newly cultivated areas were direct consequences of the oil field exploration and exploitation activities in the past years, which for various reasons forced people to look for new land. Apart from all the negative effects on people and the environment, the development of the oil fields brought also benefits to the area like improved transport possibilities through the extended and improved road network and as a follow-up access to local and regional markets as well as the extension of the mobile network coverage (ECOS 2014). After the expulsions during war times, numerous villages vanished completely, others like New Paloich were newly established (ECOS 2014). Some began to exhibit signs of socio-economic change with emerging local and regional market integration (BICC 2013).

The observation of both, decrease and increase of cropland where new roads were constructed showed only weak evidence of causal spatial relationships between the development of roads and oil well pads on the one and cropland on the other side. It is beyond dispute that the erection of oil well pads led to the disappearance of croplands and even whole villages. On the other hand, new cropland areas sprung up in very close proximity to new well pads, often alongside the newly built roads. The distance analysis concerning proximity of new roads to new cropland areas showed

that for some years it was likely that new roads enabled new croplands to emerge. Thus, explicit conclusions about the interplay between certain developments could not be made, however, the maps can support site specific discussion and complement ground-truth data as well as local knowledge.

From the methodological point of view, it was shown that Landsat data and related semi-automatic analysis (OBIA) are highly suitable for monitoring land cover classes. It was also demonstrated that object-based image analysis has advantages in the identification of the desired features (cropland, oil wells) as it offers the integration of geometrical and contextual information. However, due to the coarse resolution of the input data semi-automatic approaches are limited in the classification of subtle features such as oil well pad structures. In that case, visual feature extraction may be more suitable.

The oil-rich South Sudan represents a country in transition. A process of nation-building occurs that involves a high level of violence (GRAWERT 2013, WIMMER & MIN 2006). The results revealed in this study show that Earth observation can provide valuable information in such situations, e.g. for conflict research. Due to its unique point of view from space, remote sensing puts apparently isolated incidents into a larger context and adds a new perspective. Earth observation not only provides evidence for the impacts associated with violent conflicts but furthers the understanding of related processes, especially in situations when field access is limited. If combined with secondary or ground truth information a more reliable analysis is possible. The results provided in this research helped to better understand important processes related to oil exploitation in South Sudan by visualizing changes in land use patterns over time.

A potential next step for research would be, based on the geospatial analysis of the oil field evolution, its impacts and changes on land cover and land use (oil pads, road network, cropland, villages), to superimpose other georeferenced data, such as data about the spatial-temporal evolution of violent incidences, or data on refugee camps and migration routes to even further the analysis of interlinkages between organized violence and oil exploration.

Acknowledgement

We would like to express our special thanks to LENA GUESNET and ELKE GRAWERT from BICC for their support and fruitful discussions. We would like to thank FABIAN SELG for preceding work.

References

- ADDINK, E.A., VAN COILLIE, F.M.B. & DE JONG, S.M., 2012: Introduction to the GEOBIA 2010 special issue: From pixels to geographic objects in remote sensing image analysis. – *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* **15**: 1–6.
- AKSYONOV, D.E., 2006: Cumulative Environmental Impact Assessment of Oil Production Using Space Imagery Products. – <http://scanex.com/en/publications/pdf/publication15.pdf> (20.4.2016).
- AZIZI, Z., NAJAFI, A. & SOHRABI, H., 2008: Forest canopy density estimating, using satellite images. – *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, **XXXVII**, Part B8: 1127–1130.
- BAATZ, M., HOFMANN, P. & WILLHAUCK, G., 2008: Progressing from object-based to object-oriented image analysis. – BLASCHKE, T., LANG, S. & HAY, G.J. (eds.): *Object-based image analysis. – Spatial concepts for knowledge-driven remote sensing applications*, Springer, Berlin.
- BAATZ, M. & SCHÄPE, A., 2000: Multiresolution Segmentation: an optimization approach for high quality multi-scale image segmentation. – STROBL, J., BLASCHKE, T. & GRIESEBNER, G. (eds.): *Angewandte Geographische Informationsverarbeitung*, Heidelberg, Wichmann: 12–23.
- BICC, 2013: Oil Investment and Conflict in Upper Nile State, South Sudan. – Bonn International Center for Conversion (BICC), Brief 48, Bonn.
- BLASCHKE, T. & STROBL, J., 2001: What's wrong with pixels? Some recent developments interfacing remote sensing and GIS. – *GeoBIT/GIS* **6**: 12–17.
- BLASCHKE, T., 2010: Object based image analysis for remote sensing. – *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* **65**: 2–16.
- BLASCHKE, T., HAY, G.J., KELLY, M., LANG, S., HOFMANN, P., ADDINK, E., FEITOSA, R.Q., VAN DER MEER, F., VAN DER WERFF, H., VAN COILLIE, F. & TIEDE, D., 2014: Geographic Object-Based Image Analysis – Towards a new paradigm. – *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* **87**: 180–191.
- CHEN, G., HAY, G.J., CARVALHO, L.M.T. & ULDER, M.A., 2012: Object-based change detection. – *International Journal of Remote Sensing* **33** (14): 4434–4457.
- CHUVIECO, E., MARTIN, M.P. & PALACIOS, A., 2002: Assessment of different spectral indices in the red-near-infrared spectral domain for burned land discrimination. – *International Journal of Remote Sensing* **23** (23): 5103–5110.
- CONGALTON, R.G., 1991: A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. – *Remote Sensing of the Environment* **37** (1): 35–46.
- CORD, A., CONRAD, C., SCHMIDT, M. & DECH, S., 2010: Standardized FAO-LCCS land cover mapping in heterogeneous tree savannas of West Africa. – *Journal of Arid Environments* **74**: 1083–1091.
- DUNCAN, C., KRETZ, D., WEGMANN, M., RABELL, T. & PETTORELLI, N., 2014: Oil in the Sahara: mapping anthropogenic threats to Saharan biodiversity from space. – *Philosophical Transactions of the Royal Society B-Biological Sciences* **369** (1643): 1–12.
- EIA, 2014: Country Analysis Brief: Sudan and South Sudan. – U.S. Energy Information Administration, https://www.eia.gov/beta/international/analysis_includes/countries_long/Sudan_and_South_Sudan/sudan.pdf (20.4.2016).
- ECOS, 2006: Oil development in Northern Upper Nile, Sudan. – European Coalition on Oil in Sudan, <http://www.ecosonline.org/reports/2006/melut.pdf> (20.4.2016).
- ECOS, 2009: Sudan, Whose oil? Facts and Analysis. – European Coalition on Oil in Sudan, <http://www.ecosonline.org/reports/2008/dossier%20final%20groot%20web.pdf> (20.4.2016).
- ECOS, 2011: Sudan's Oil Industry after the Referendum. Conference Report. – European Coalition on Oil in Sudan, http://www.ecosonline.org/reports/2011/Oil_conference_report_Dec2010.pdf (20.4.2016).
- ECOS, 2014: Scrutiny of South Sudan's oil industry – Community Relations, Labour Practices and Impact on Land Use Patterns. – European Coalition on Oil in Sudan, http://www.ecosonline.org/reports/2014/Scrutiny_of_South_Sudans_Oil_Industry.pdf (20.4.2016).
- FORKUOR, G., CONRAD, C., THIEL, M., ULLMANN, T. & ZOUNGRANA, E., 2014: Integration of Optical and Synthetic Aperture Radar Imagery for Improving Crop Mapping in Northwestern Benin, West Africa. – *Remote Sensing* **6**: 6472–6499.
- GRAWERT, E., 2012: Information on burned areas. – (Personal communication, October 23, 2012).
- GRAWERT, E. (ed.), 2013: Forging two nations – Insights on Sudan and South Sudan. – 1st ed., 270 p.,

- Organisation for Social Science Research in Eastern and Southern Africa, Addis Abbeba, Ethiopia.
- HARALICK, R.M. & SHAPIRO, L., 1985: Survey: image segmentation techniques. – *Computer Vision, Graphics, and Image Processing* **29**: 100–132.
- HESE, S. & SCHMULLIUS, C., 2009. High spatial resolution image object classification for terrestrial oil spill contamination mapping in West Siberia. – *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* **11**: 130–141.
- HUMAN RIGHTS WATCH, 2003. Sudan, Oil, And Human Rights. – <https://www.hrw.org/reports/2003/sudan1103/sudanprint.pdf> (20.4.2016).
- HUSSAIN, M., CHEN, D., CHENG, A., WEI, H. & STANLEY, D., 2013. Change detection from remotely sensed images: From pixel-based to object-based approaches. – *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* **80**: 91–106.
- KAUTH, R.J. & THOMAS, G.S., 1976: The Tasseled Cap – A Graphic Description of the Spectral-Temporal Development of Agricultural Crops as Seen by LANDSAT. – *Symposium on Machine Processing of Remotely Sensed Data*, Purdue University of West Lafayette, IN, USA. 4B-41 - 4B-51.
- LILLESAND, T.M., KIEFER, R.W. & CHIPMAN, J.W., 2008: Remote sensing and image interpretation. – 6th ed., John Wiley & Sons Ltd., Chichester, Great Britain.
- MAGER, A., 2013: Impact assessment of oil exploitation in Upper Nile State, South Sudan, using multi-temporal Landsat-data. – MSc thesis, Paris-Lodron-University Salzburg, Austria.
- NILE RESEARCH INITIATIVE, 2013: Research on oil business in Melut County in Upper Nile State. – Study report, Catholic Diocese of Malakal, Justice and Peace Department.
- PAL, N.R. & PAL, S.K., 1993: A review on image segmentation techniques. – *Pattern Recognition* **26** (9): 1274–1294.
- PLANK, S., MAGER, A. & SCHOEPFER, E., 2014: Monitoring of Oil Exploitation Infrastructure by Combining Unsupervised Pixel-Based Classification of Polarimetric SAR and Object-Based Image Analysis. – *Remote Sensing* **6**: 11977–12004.
- PRINS, E., 2009: Satellite Mapping of Land Cover and Use in relation to Oil Exploitation in Concession Block 5A in Southern Sudan 1987 – 2006; http://www.ecosonline.org/reports/2009/Satellite_mapping_Block5a_small.pdf (20.4.2016).
- QI, J., CHEHBOUNI, A., HUETE, A.R., KERR, Y.H. & SOROOSHIAN, S., 1994: A Modified Soil Adjusted Vegetation Index. – *Remote Sensing of Environment* **48**: 119–126.
- ROBINSON, C.W., 2003: Risks and Rights: The Causes, Consequences, and Challenges of Development-Induced Displacement. – Occasional Paper, The Brookings Institute-SAIS Project of Internal Displacement, Washington DC, USA.
- ROUSE JR., J.W., HAAS, R.H., SCHELL, J.A. & DEERING, D.W., 1974: Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. – *Goddard Space Flight Center 3d ERTS-1 Symp, Vol. 1, Sect. A*: 309–317.
- SERGEY, M. & OGANES, T., 2009: Landscape Impact Assessment of the Oil and Gas Industry in the Russia using space images interpretation. – XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, INPE: 6711–6717.
- SINGH, A., 1989: Digital change detection techniques using remotely-sensed data. – *International Journal of Remote Sensing* **10**: 989–1003.
- TERMINSKI, B., 2011: Oil-Induced Displacement and Resettlement: Social Problem and Human Rights Issue. – <http://ssrn.com/abstract=2029770> (20.4.2016).
- WIMMER, A. & MIN, B., 2006: From Empire to Nation-State: Explaining Wars in the Modern World, 1861 – 2001. – *American Sociological Review* **71** (6): 867–897.
- WORLD BANK, 2015: South Sudan Overview. – <http://www.worldbank.org/en/country/southsudan/overview> (20.4.2016).

Addresses of the Authors:

ALEXANDER MAGER, German Aerospace Center (DLR), German Remote Sensing Data Center (DFD), D-82234 Oberpfaffenhofen, e-mail: alexander.mager@dlr.de

LARS WIRKUS, Bonn International Center for Conversion (BICC), D-53121 Bonn, e-mail: wirkus@bicc.de

ELISABETH SCHOEPFER, German Aerospace Center (DLR), German Remote Sensing Data Center (DFD), D-82234 Oberpfaffenhofen, e-mail: elisabeth.schoepfer@dlr.de

Manuskript eingereicht: Dezember 2015

Angenommen: Juli 2016





Geoprocessing of High Resolution Imageries for Shoreline Extraction in the Process of the Production of Inland Electronic Navigational Charts

JACEK ŁUBCZONEK, Szczecin, Poland

Keywords: shoreline extraction, mathematical morphology, electronic navigational charts, image processing

Summary: At present, for map elaboration, remote sensing images are used very frequently. By using different methods of image processing, the process of developing the map can be automated, mainly due to the reduced time required to obtain geographical objects in vector form. The paper presents a method for the extraction of shorelines by using high resolution images. The extraction process by using geoprocessing tools of the ArcGIS software is exemplarily illustrated. Because GIS or remote sensing software can have several geoprocessing tools, it is important to investigate the set of tools proposed by the software developer that can be used for image processing. Based on this study, an image geoprocessing routine is proposed, which uses methods such as classification, thresholding, mathematical morphology, and vectorisation. The target use of the extraction method is dedicated to the production of Inland Electronic Navigational Charts.

Zusammenfassung: Geoverarbeitung von hochauflösenden Orthophotos zur Extraktion von Uferlinien für die Herstellung von elektronischen Navigationskarten für die Binnenschifffahrt. Zur Erstellung von Landkarten ist derzeit die Fernerkundung häufig Mittel der Wahl. Unter Verwendung von verschiedenen Bildverarbeitungsverfahren kann die Erstellung von Landkarten automatisiert werden. Hierbei spielt die automatische Erkennung geographischer Objekte eine zentrale Rolle. In diesem Artikel wird die Extraktion von Uferlinien aus hochauflösenden Bildern thematisiert. Anhand eines Beispiels wird der Extraktionsprozess von Uferlinien unter dem Einsatz von Geoverarbeitungswerkzeugen der ArcGIS-Software illustriert. Da solche GIS- oder Fernerkundungssoftware über verschiedene Werkzeuge zur Verarbeitung von Geodaten verfügt, ist eine Prüfung der vom Software-Hersteller angebotenen Werkzeuge zur Bildverarbeitung von Bedeutung. Aufgrund der durchgeführten Prüfungen wurde ein Verfahren zur Bildverarbeitung vorgeschlagen, das solche Verfahren, wie z.B. die Klassifizierung, die Segmentierung, mathematische Morphologie-Analyse und Vektorisierung benutzt. Das vorgeschlagene Verfahren kann bei der Herstellung von elektronischen Navigationskarten für die Binnenschifffahrt herangezogen werden.

1 Introduction

Navigation charts are a part of geoinformation systems (VETTER et al. 2012). Remote sensing imagery is one of the main sources of data used in chart production (ŁUBCZONEK & WŁODARCZYK 2010). Remote sensing imaging gives a better insight into the mapping area,

has a high information capacity and enables chart creation at large scales. Due to the large information capacity, often various methods are used for image processing which are designed to automate the extraction of certain objects. The basic methods already include thresholding and classification, which allow the separation of basic land cover classes. The

current GIS software in addition provides ever-increasing data processing capabilities. It allows for automation, i.e. the creation of data geoprocessing processes, which include a number of consecutive image operations, for example, classification, operations of mathematical morphology, vectorisation, and cartographic generalisation.

One of the basic data used in the production of electronic navigational charts are photogrammetric materials in the form of high resolution orthophotos. Presently, for the purpose of such studies, orthophotos are used with a resolution of several centimetres or decimetres. These materials are characterised by great detail and have a high potential for interpretation. For the production of electronic charts, an important object type is the shoreline which is topologically linked with many other map objects (IENC 2015). Currently, the development of navigation charts is also supported by other studies, such as the reduction of large datasets (STATECZNY & WŁODARCZYK-SIELICKA 2014), fusion of hydrographic data (STATECZNY & BODUS-OLKOWSKA 2014), the development of numerical models of the sea bottom (ŁUBCZONEK 2004, MALEIKA et al. 2012), uncertainty of bathymetric data (WAWRZYNIAK & HYLA 2014), or waterborne laser scanning as the potential source of chart creation (BURDZIAKOWSKI et al. 2015).

The problem of identifying the shoreline of watercourses by using photogrammetric material is mainly challenged by the presence of objects such as vegetation, trees, buildings, engineering constructions, or shallow waters

in its neighbourhood. In case of a good demarcation of water and land, the fundamental problem may be the length and shape of the shoreline, which translates into a significant increase of time required for accurate manual digitization. For the purpose of chart production, it is therefore essential to automate data processing, which should shorten the time needed to develop data and improve its accuracy.

2 Shoreline Extraction Cases

Based on the literature, it can be concluded that different case studies deal with the extraction of the shoreline. These case studies are directly related to the extraction of coastlines or objects which are circumscribed by coastlines, for example, river, land or water bodies. Generally, the case studies utilize different methods for the shoreline or land-water area extraction and various other types of remote sensing data. They address different types of aquatic environments or shorelines, and consider different types of water surface textures. Tab. 1 summarises the case studies found in literature (BUONO et al. 2014, ZHANG et al. 2013, SHI et al. 2010, SAKURAI-AMANO et al. 2002, ZHANG & WANG 2010, LI et al. 2011, HE et al. 2012, YIN & HE 2011, CHEN 2009, KHURSHID et al. 2012, LIU & NIE 2012, DANDAWATE & KINLEKAR 2013, KUPIDURA 2013, YANG et al. 2014, SILVEIRA & HELENO 2009, BASELICE & FERRAIOLI 2013, KLINGER et al. 2011, SCHMIDT et al. 2013).

Tab. 1: Case studies related to the shoreline extraction problem.

	Case studies	Type
1	Extraction method	Edge detection functions, image classifications, artificial intelligence (neural networks and fuzzy logic), morphological operations, watershed algorithm, snakes algorithm, combinations of some above methods, other proposed methods
2	Data	Three-band satellite images, SAR and InSAR data (radar data), DEM, LIDAR data
3	Area of extraction	Sea, riverbeds, flood extend areas, tropical forest, inlands, lakes, icy terrain
4	Shore type	Muddy, sandy, rocky, artificial, icy, also in some cases not specified
5	Water texture	Partly wavy water, water with glares
6	Water type	Sea, river, lake, mixture of river and sea water

Based on analyses summarized in Tab. 1, study cases were related to dedicated areas of the shoreline extraction. Some environmental aspects suggest that the proposed methods have an individual character and are applicable in specified terrain or water body environment.

In this paper, a method of the shoreline extraction is proposed and associated with the acquisition of data in the production process of electronic chart for inland navigation. This concerns navigable watercourses, which are the primary type of data in such electronic charts. The extraction process was realised in the ArcGIS software by combining thresholding and classification methods with morphological operations followed by a vectorization. For the study, high resolution orthoimages were used ranging from visible to near infrared spectra.

3 Study Area

Orthoimages prepared from aerial photographs were used. The analysis was based upon two three-band combinations: RGB

(red, green, blue) and CIR (near infrared, red, green), one four-bands combination: RGB-NIR (red, green, blue, near infrared), and four single bands: R (red), G (green), B (blue), and NIR (near infrared). The spatial resolution of the images was 0.15 m. Such resolution is useful for the proper identification of smaller objects like piles, stones, fishing poles and the identification of various types of shores, i.e., sandy, artificial (both, in good condition and ruined), or overgrown with vegetation. The range of the orthoimage is illustrated in Fig. 1. Fig. 2 illustrates some special cases, which were taken into consideration during the shoreline extraction process. The first case is the natural shoreline, which represents about 90 percent of the investigated shoreline. This line has an irregular shape that is mainly caused by naturally overgrown reeds. The next case is the artificial shoreline, which often occurs in urbanised areas. This shoreline is characterised by regular shapes and straight sections, but sometimes there are places, where the constructions are ruined and therefore the shoreline has an irregular shape. The other cases include water with glares, moored vessels, shadows on the water, and shallow



Fig. 1: Example of an orthoimage used in the study (East Oder River, Szczecin-Podjuchy).

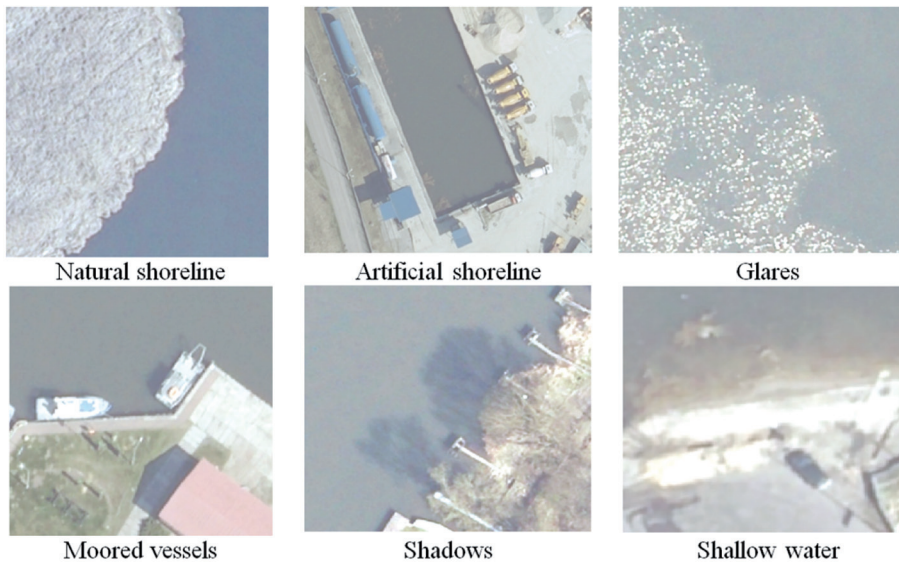


Fig. 2: The different cases considered in the process of the shoreline extraction.

waters. Shadows may cause problems in the process of proper separation of water and land due to the confusing spectral signatures. Glares and vessels should be removed from the water area, because they do not belong to the shoreline class. Shallow waters in turn are sometimes problematic during visual interpretation. Therefore, similar problems may exist during the extraction process.

4 Processing of the Images

A multi-stage data processing using ArcGIS software was used for the shoreline extraction. The first stage involved the separation of ba-

sic classes needed for the shoreline extraction (land and water) from the image. For this purpose thresholding and classification of image content were utilized. The next step included the generalisation of the image content by using mathematical morphology operations, which have been identified as one of the methods for edge detection in remote sensing images (KAUR & GARG 2011). The vectorisation of the shoreline was the last step. The general schema of shoreline extraction is presented in Fig. 3. The extraction of a coastline in ArcGIS software can also be automated. For this purpose, the ArcGIS Model Builder can be applied, which allows automated data processing.

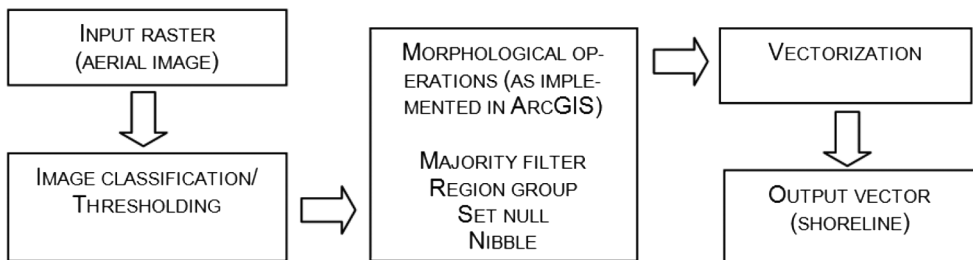


Fig. 3: General schema of the shoreline extraction.

4.1 Thresholding and Classification of Image Content

For thresholding natural breaks methods (JENKS & CASPALL 1971) were used, by means of which the division of image content into two basic classes (land and water) based on one threshold value was performed. For the classification of the image content, both methods were tested, supervised Maximum Likelihood classification and unsupervised Iso Cluster classification.

In order to evaluate the methods, a visual criterion was used, under which the course of natural and artificial shoreline, separation of glares on the water surface, separation of moored ships, lack or existence of shadows situated on the water, and the quality of the extracted line in the area of shallow waters were estimated. Therefore, a point scale ranging from 1 to 5 and additional object weights were introduced (Tab. 2). The point scale and the weights made it possible to compare the effectiveness of the methods. The major weight was applied to the natural shoreline due to its importance – it represents approximately 90% of the completely mapped shoreline. The smaller weights were applied to the objects, proportionally to their importance in the extraction process.

The results of the visual assessment are illustrated in Fig. 4 as the final number of points determined on the basis of the visual assessment. Thresholding and classification methods have been tested on the following compositions: RGB, CIR, RGB-NIR (without thresholding due to the 4 bands) and the individual spectral bands: R, G, B, NIR. For the

Tab. 2: Objects weights for visual assessment.

Type of object	Weight
Natural shoreline	0.50
Artificial shoreline	0.10
Ships	0.05
Shallow waters	0.10
Shadows	0.15
Glares	0.10

three-band combinations, thresholding was performed on their colour maps. The comparison of the assessment results shows that better results were achieved by using unsupervised classification (4 cases) or thresholding (3 cases). The best results were achieved applying the different methods to the near infrared band only. In other words, the best distinction between water and land was observed in the NIR band.

Visual comparison of the results showed that natural and artificial shorelines were determined best over the entire length using the NIR band only. By doing so, there was no significant effect of shadows on the water. Ships and glares were correctly mapped in the sense of their separation from water area. The only drawback of using this method (NIR band) was a poor demarcation of water and land in shallow waters. Because the shallows are small in number in the area under consideration, this drawback was not so important in that study. Tab. 3 shows selected cases of correct and incorrect separation of land and water with a short description of the examples.

The studies also analyzed the computer's processing time and the time for manual dig-

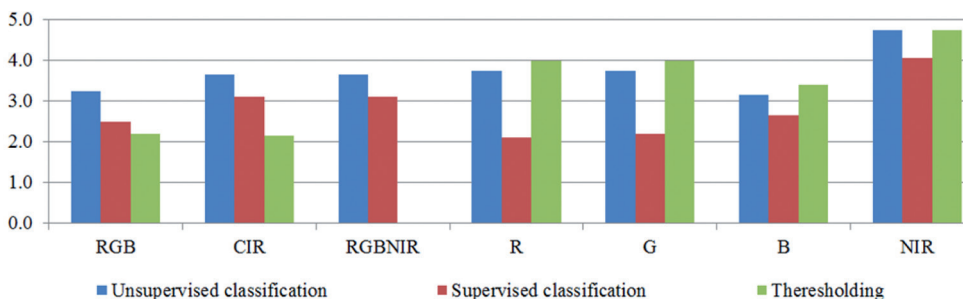
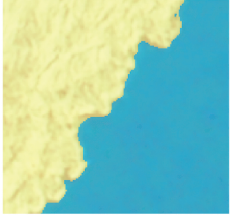




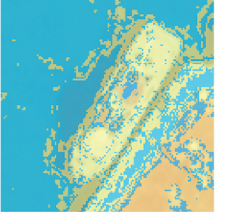





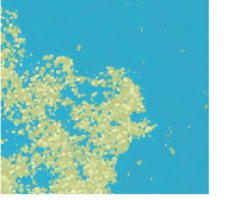


Fig. 4: Cases included in the extraction process of shoreline (vertical scale without dimension).

Shoreline type	Correct separation	Incorrect separation
<p>Natural shoreline</p> <p>Left: unsupervised classification, NIR image – good separation between water and land area</p> <p>Right: supervised classification, RGB image – land class overlaps water area</p>		
<p>Artificial shoreline</p> <p>Left: unsupervised classification, NIR image – good separation between water and land area</p> <p>Right: supervised classification, RGB image – land class overlaps water area, especially in the area of shadows</p>		
<p>Vessels</p> <p>Left: unsupervised classification, NIR image – good separation between vessel and land area</p> <p>Right: thresholding, CIR image – poor results, mixed pixels of water and land area</p>		
<p>Shallow water</p> <p>Left: unsupervised classification, B band image – partially good results, but mixed water and land class</p> <p>Right: unsupervised classification, NIR image – poor result, land class significantly covers shallow water area</p>		
<p>Shadows</p> <p>Left: unsupervised classification, NIR image – good result, water class does not contain shadows cast by the trees</p> <p>Right: supervised classification, RGB-NIR image – poor result, shadows classified as land class</p>		
<p>Glares</p> <p>Left: unsupervised classification, NIR image – good result, glares classified as small pixel groups</p> <p>Right: supervised classification, RGB image – poor result, glares classified as solid class of land</p>		

Tab. 3: Examples of correct and incorrect separation of land and water area.

itization. Geoprocessing of the analysed image, which consisted of 6942 columns and 5021 rows (about 35 Mbytes per channel), lasted about 19 minutes. Manual digitization of the same area took about 42 minutes. Hence, compared to the computer geoprocessing, operator performance of vectorization was twice as long. The processing was performed on a PC with an i7 processor and 16 GB RAM.

4.2 Image Morphology Operations

In the next step, the classified images were processed by using morphological operations. The processing aimed at the removal of misclassified data (mainly holes in a class of land) as well as filtering out irrelevant pixel clusters or single pixels (for example, from the water area). Those clusters represent objects such as ships and glares. Additionally, unwanted pixel clusters can originate from different kinds of port infrastructure, for example dolphins or buoys, as well as from vegetation. In the present study, the following morphological operations as implemented in ArcGIS software were combined: Majority Filter, Region Group, Set Null, and Nibble (ArcGIS 2016). The functionality of these geoprocessing tools is defined as follows:

- Majority Filter – removal of individual cells, which are misclassified in the image; parameters used: (1) Number of neighbours – FOUR.
- Region Group – assigning an identifier for separated group of each cell for later removal; parameters used: (1) Number of neighbours – FOUR, (2) Zone grouping method – WITHIN.
- Set Null – creation of mask of separation cells regions smaller then threshold, which

should be removed; parameters used: (1) Input false raster or constant value -1, (2) Expression – a logical expression that determines the input cells that are to be true or false – value was set as $< 35,000$. Finally, the use of the Set Null tool created a mask for clusters with a pixel number less than 35,000.

- Nibble – eliminates small regions by using mask and replaces them with the closest cell with its value by using previously created mask. This tool allows for the final elimination of the so called holes in the land and water classes.

All morphological operations, that are included in the geoprocessing tools of ArcGIS, are illustrated in Tab. 4. The Majority Filter tool removed single misclassified pixels, the Region Group tool grouped clusters into zones, and the Set Null tool created a mask from clusters with pixel quantity less than the threshold. The threshold was manually set by the operator by analysing previously grouped clusters. The last tool, Nibble, fills the holes based on previously created masks. After this operation, two classes, water and land area, were finally extracted.

A part of the classified image before and after the application of the morphological operations is presented in Fig. 5. It describes the filling of holes in the land and water objects. Holes are incorrectly classified objects, or objects not associated to the main class, here: water or land. Generally, they are objects with smaller size or smaller number of pixels, such as glares, dolphins (port infrastructure), separated ships, and small floating objects.

The last stage of data processing was vectorisation, which is the conversion from a raster to a vector model. This conversion is performed by using the tool Raster To Polygon,

Tab. 4: Result raster images after the application of the geoprocessing tools.

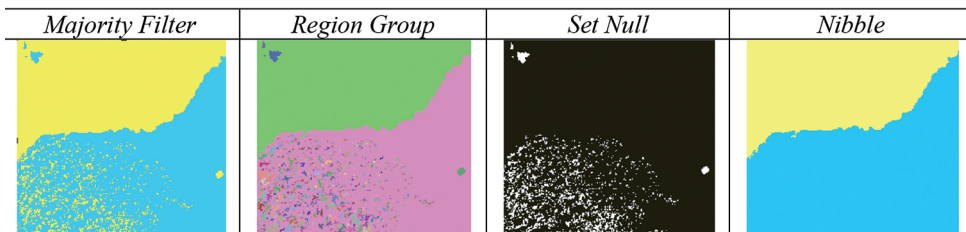




Fig. 5: Left: classified image before the application of morphological operations, middle: classified image after morphological operations, right: vectorized shoreline(subset).

whereas the option ‘Simplified output’ was selected to obtain smooth shoreline shapes, i.e., vectorised lines as close as possible to the object cells edge. Vectorisation ends the process of automated data processing. The shorelines can be stored in a database after the necessary corrections.

5 Accuracy Assessment

In order to assess the accuracy of the shoreline extraction, the mean and maximum errors were calculated from 33 test points which were chosen randomly from the study area. These points were evenly distributed across the coastline to cover the entire area. Three points were located in the areas of shallow water, and 30 test points in the rest of the study area. Such division was justified by the fact that on the basis of visual analysis, the greatest disparity in areas with shallow water was found. Errors were also compared with results of manual classification. The results were summarised in Tab. 5 as average (EA) and maximum (EM) errors. Errors represent residuals (distances) between test points and their orthogonal projections onto the extracted or manually elaborated shoreline. Examples of extracted shorelines are illustrated in Fig. 6.

Noticeable problems occurred in shallow water areas, which has been discussed previously, and in areas, where land objects overlap with the area of water or in the presence of engineering structures. These land objects comprised the crowns of trees, fishing piers, and bridges. In some cases, the outline of the shoreline was drawn along the contours of ships. When the ship was separated from the water after classification or thresholding of the image, it was removed in the process of geoprocessing. The same happened with smaller objects, such as ship mooring devices and various floating objects.

Also, based on the visual assessment, extracted lines were compared with the lines elaborated manually. Measurements of sections of wrongly extracted shorelines were performed manually. For the unsupervised classification and the thresholding, the failure to comply with the reference line was 8.6% and 7.5%, respectively. It can be assumed that the average discrepancies were 8%, which means a correctness of the extraction on the level of 92%. The biggest problems for the methods arose at the sections of shorelines shaded by buildings and partially flooded areas (Fig. 7). In this case, the spectral signatures of water and land were similar, which in turn reduced the accuracy of the classification and

Tab. 5: Accuracy assessment of extracted shoreline.

	Shallow water		Other cases	
	EA	EM	EA	EM
Manual classification	0.72 m	1.34 m	0.40 m	0.67 m
Thresholding	1.09 m	2.48 m	0.09 m	0.23 m
Unsupervised classification	1.74 m	3.18 m	0.10 m	0.31 m

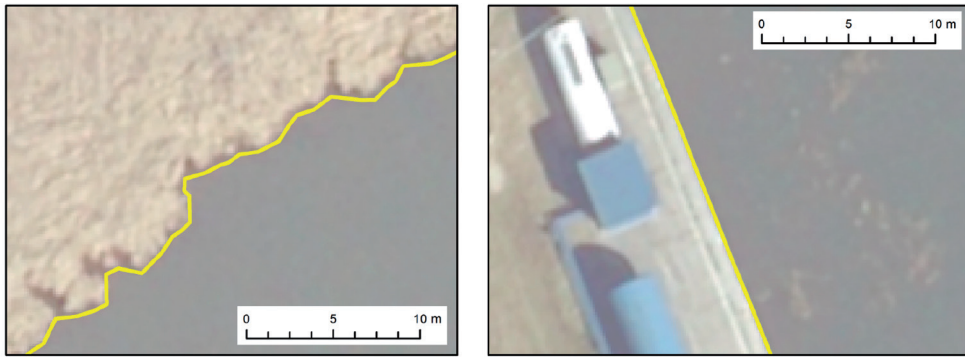


Fig. 6: Examples of extracted shorelines, left: in non-urbanised areas (natural shoreline) and right: in urbanised areas (artificial shoreline).

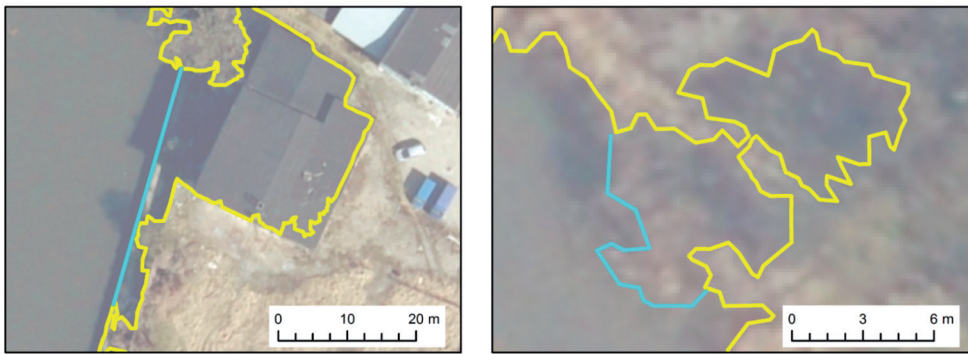


Fig. 7: Cases of misclassified shoreline (blue line), left: roof and shaded berth as part of the water, right: shaded or wet area as part of the water.

subsequently the demarcation between land and water.

6 Summary

Based on the study it can be concluded that high resolution images can be utilized to extract shorelines for electronic chart production. In this case, it is also important to appropriately select the spectral bands. Based on our study it can be stated that the best results were obtained when using NIR images. In the proposed method of distinguishing between two the basic objects (land, water), the best results were obtained by using an unsupervised classification and thresholding. The application of the suggested morphological operations, implemented as ArcGIS tools, extracted the final shoreline as a vector feature. The

shoreline extracted in the presented case study is characterised by a proper shape, which determines the precise boundary between water and land. The calculated average error had a value of about one pixel with a maximum of two pixels. The demanded accuracy listed in the minimum content of Inland ENC's for the shoreline acquisition is less than 1 m (Inland-ECDIS 2015), while the maximum error in our study was only 0.31 m. In the study case, the correctness of the extraction was estimated at 92%. Taking into account the extent of a watercourse in the development of electronic charts, this result is very good. Based on the study, difficulties were experienced in extracting the shoreline in areas of shallow water, which may practically limit the usage of this method in such cases. Regarding the analysed water area, such shallows were of marginal percentage. Hence, this influence was

regarded negligible. The proposed method is also less time consuming compared to manual digitization, which is an important factor during data elaboration for large areas. In order to shorten the processing time, the content of the image can be reduced to the area of interest, e.g. rivers or lake zones.

References

- ArcGIS, 2016: ArcGIS Desktop Help, version 10.3.1.
- BASELICE, F. & FERRAIOLI, G., 2013: Unsupervised Coastal Line Extraction From SAR Images – Geoscience and Remote Sensing Letters, *IEEE* **10** (6): 1350–1354.
- BUONO, A., NUNZIATA, F., MASCOLO, L. & MIGLIACIO, M., 2014: A Multipolarization Analysis of Coastline Extraction Using X-Band COSMO-SkyMed SAR Data – Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, *IEEE* **7** (7): 2811–2820.
- BURDZIAKOWSKI, P., JANOWSKI, A., KHOLODKOV, A., MATYSIK, K., MATYSIK, M., PRZYBORSKI, M., SZULWIC, J., TYSIAC, P. & WOJTCOWICZ, A., 2015: Maritime Laser Scanning as the Source for Spatial Data – Polish Maritime Research **22** (4): 9–14.
- CHEN, A., 2009: River Extraction Based on Knowledge and Fuzzy Classification. – Sixth International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery **3**: 438–441.
- DANDAWATE, Y.H. & KINLEKAR, S., 2013: Rivers and Coastlines Detection in Multispectral Satellite Images Using Level Set Method and Modified Chan Vese Algorithm – 2nd International Conference on Advanced Computing, Networking and Security (ADCONS): 41–46.
- HE, X., HUANG, N. & HUANG, D., 2012: Research and application on digital river network extraction modified routing algorithm based on DEM. – International Conference on Systems and Informatics (ICSAI):1728–1731.
- IENC, 2015: Encoding Guide for Inland ENCs. – 2.4.0 ed., Inland ENC Harmonization Group.
- INLANDECDIS, 2015: Open ECDIS Forum 2015. – <http://ienc.openecdis.org> (25.6.2016).
- JENKS, G.F. & CASPALL, F.C., 1971: Error on Choroplethic Maps: Definition, Measurement, Reduction. – Annals of the Association of American Geographers **61** (2): 217–244.
- KAUR, B. & GARG, A., 2011: Mathematical morphological edge detection for remote sensing images. – 3rd International Conference on Electronics Computer Technology (ICECT) **5**: 324–332.
- KHURSHID, M., HASNAT, K. & FAISAL, M., 2012: River extraction from high resolution satellite images. – 5th International Congress on Image and Signal Processing (CISP): 697–700.
- KLINGER, T., ZIEMS, M., HEIPKE, C., SCHENKE, H. & OTT, N., 2011: Antarctic Coastline Detection using Snakes. – PFG – Photogrammetrie, Fernerkundung, Geoinformation **6** (6): 421–434, Schweizerbart Science Publishers, Stuttgart.
- KUPIDURA, P., 2013, Distinction of lakes and rivers on satellite images using mathematical morphology. – *Biuletyn WAT* **LXII** (3): 57–69.
- LI, Z., LI, M., CHENG, L., LIU, Y. & CAI, W., 2011: Coastline monitoring with CEBERS 02B HR high-resolution data. – 19th International Conference on Geoinformatics:1–5.
- LIU, F. & NIE, Y., 2012: River System Extraction Based on BP Neural Network and DEM Data – International Conference on Industrial Control and Electronics Engineering (ICICEE): 41–43.
- LUBCZONEK, J., 2004: Hybrid Neural Model of the Sea Bottom Surface. – Artificial Intelligence and Soft Computing, *ICAISC* **3070**: 1154–1160, Lecture Notes in Computer Science, Springer.
- LUBCZONEK, J. & WŁODARCZYK, M., 2010: Charting of the shoreline of inland waters using digital remote sensing images. – *Muhammad Scientific Journals* **22** (94): 53–58, Maritime University of Szczecin, Poland.
- MALEIKA, W., PALCZYNSKI, M. & FREJLICHOWSKI, D., 2012: Effect of density of measurement points collected from a multibeam echosounder on the accuracy of a digital terrain model. – *Intelligent Information and Database Systems*: 456–465, Springer Berlin und Heidelberg.
- SAKURAI-AMANO, T., ONUKI, S. & TAKAGI, M., 2002: Automatic extraction of rivers in tropical rain forests from JERS-1 SAR images using spectral and spatial information. – *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, IGARSS '02* (6): 3429–3431.
- SCHMIDT, A., ROTTENSTEINER, F. & SOERGEL, U., 2013: Water-Land-Classification in Coastal Areas with Full Waveform Lidar Data. – PFG – Photogrammetrie, Fernerkundung, Geoinformation **2013** (2): 71–81, Schweizerbart Science Publishers, Stuttgart.
- SILVEIRA, M. & HELENO, S., 2009: Separation Between Water and Land in SAR Images Using Region-Based Level Sets. – *Geoscience and Remote Sensing Letters* **6** (3): 471–475.

- SHI, Y., WU, L., BIAN, F. & LI, X., 2010: Automatic coastline extraction in remotely sensed images using improved watershed algorithm. – 2nd International Conference on Information Science and Engineering (ICISE): 2671–2674.
- STATECZNY, A. & BODUS-OLKOWSKA, I., 2014: Hierarchical Hydrographic Data Fusion for Precise Port Electronic Navigational Chart Production. – *Telematics – Support for Transport, Communications in Computer and Information Science* **471**: 359–368.
- STATECZNY, A. & WŁODARCZYK-SIELICKA, M., 2014: Self-organizing Artificial Neural Networks into Hydrographic Big Data Reduction Process, Rough Sets and Intelligent Systems Paradigms. – *Lecture Notes in Computer Science* **8537**: 335–342.
- VETTER, L., JONAS, M., SCHRÖDER, W. & PESCH, R., 2012: Marine Geographic Information System. – KRESSE, W. & DANKO, D. (eds): *Springer Handbook of Geographic Information*: 439–460.
- WAWRZYŃIAK, N. & HYLA, T., 2014: Managing Depth Information Uncertainty in Inland Mobile Navigation Systems. – *Lecture Notes in Computer Science, Rough Sets and Intelligent Systems Paradigms* **8537**: 343–350.
- YANG, H., LEE, D.-G., KIM, T.-H., SUMANTYO, J.T.S. & KIM, J.-H., 2014: Semi-automatic coastline extraction method using Synthetic Aperture Radar images. – 16th International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT): 678–681.
- YIN, J. & HE, F., 2011: Researching the method of coastline extracted by remote sensing image. – International Conference on Remote Sensing, Environment and Transportation Engineering (RSETE): 3441–3444.
- ZHANG, X. & WANG, Z., 2010: Coastline extraction from remote sensing image based on improved minimum filter. – Second IITA International Conference on Geoscience and Remote Sensing (IITA-GRS) **2**: 44–47.
- ZHANG, H., ZHANG, B., GUO, H., LU, J. & HE, H., 2013: An automatic coastline extraction method based on active contour model. – 21st International Conference on Geoinformatics (GEOINFORMATICS) **2013**: 1–5.

Address of the Author:

PhD Dr.-Ing. Jacek Łubczonek, Maritime University of Szczecin, Institute of Geoinformation, ul. Żolnierska 46, 71-250 Szczecin, Poland, Tel./Fax: +48-91-48-77-177, e-mail: j.lubczonek@am.szczecin.pl.

Manuskript eingereicht: März 2016

Angenommen: Juni 2016



Berichte von Veranstaltungen

European Geoscience Union (EGU) General Assembly 2016, 17. – 22. April 2016, Wien, Österreich

Die diesjährige European Geoscience Union General Assembly fand, wie schon in den Vorjahren, in Wien statt. Insgesamt nahmen 13.650 Wissenschaftler aus 109 Staaten an der EGU teil, darunter 25% Doktoranden und 53% Early Career Scientists unter 35 Jahren. 4.863 Präsentationen, 10.320 Poster und 947 sogenannte PICO-Präsentationen (Presenting Interactive Content), die quasi eine kurze und interaktiv gestaltete Präsentation als Mischung aus Vortrag und Poster darstellen, unterstreichen die Größe und Bedeutung dieser Veranstaltung. Die Beiträge verteilten sich auf 619 verschiedene Sessions.

Die EGU ist eine schwerpunktmäßig auf die Geowissenschaften ausgerichtete Konferenz, wobei geodätische und fernerkundliche Themen mit jeweils mehreren Sessions stark vertreten sind – in diesem Jahr v.a. zu den Bereichen:

- Geodetic Theory and Algorithms
- Reference Frames and Geodetic Observing Systems
- Geodynamics and Earth Fluids
- Satellite Gravimetry, Gravity and Magnetic Field Modeling
- Geodetic Monitoring of the Atmosphere
- General Sessions.

Die Größe der Veranstaltung zeigte jedoch auch einige negative Effekte. Das große Interesse an geodätischen und fernerkundlichen Sessions wurde teils unterschätzt, so dass zum Teil Sitzplätze fehlten oder ungünstig geschnittene Räume belegt werden mussten. Diesen Wachstumstrend sollten die Organisatoren in den künftigen Jahren besser berücksichtigen.

Interessant an der Organisation der EGU ist, dass in jeder Programmgruppe (*Geodesy, Atmospheric Sciences, Geodynamics, Natural Hazards* und 19 weitere) ein Division Meeting durchgeführt wurde, in dem Zahlen und Fak-

ten zur Entwicklung des entsprechenden Fachbereichs genannt und Preisträger gewählt wurden. Im Fall der Geodäsie fiel der Geodesy Division Award auf WITOLD ROHM als Outstanding Young Scientist für seine innovative Forschung im Bereich der GNSS-Meteorologie.

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass die Veranstaltung in Anbetracht ihrer Größe in Summe sehr gut organisiert war, wofür den Verantwortlichen und Helfern herzlich zu danken ist. Ebenso ist der ansprechende auf der Donauinsel direkt an das Austria Vienna Center angrenzende Donaupark hervorzuheben. Sicher werden den Teilnehmern auch die Stadt Wien, ihre prachtvollen Bauten und ihr großes Angebot an Kultur noch lange in guter Erinnerung bleiben.

MARION HEUBLEIN, Karlsruhe

FOSSGIS und AGIT 2016, 4. – 8. Juli 2016, Salzburg, Österreich

Vom 4. bis 8. Juli 2016 fanden in Salzburg die FOSSGIS (Freie Open Source Software für GIS) und die AGIT (Angewandte Geoinformationstagung) als zum Teil gemeinsam durchgeführte Tagungen an der Universität Salzburg statt. Die FOSSGIS wird jährlich an wechselnden Standorten ausgerichtet, während die AGIT jedes Jahr in der ersten Juliwoche – und in 2016 nun schon zum 28. Mal – vom ZGIS (Zentrum für Geoinformationssysteme) der Universität Salzburg organisiert wird. Insgesamt 1.200 Personen waren in dieser Woche in Salzburg, 240 allein für die FOSSGIS registriert und davon wiederum 60 mit einem Kombiticket für beide Tagungen. Als gemeinsamer Tagungstag war der Mittwoch ausgelegt, an dem thematisch überlappende Sitzungen stattfanden. Der eigentlichen FOSSGIS voraus ging am 3.7. ein spezieller OSM-Tag (OpenStreetMap).

AGIT steht für das „Symposium und Expo Angewandte Geoinformatik“, wobei die Veranstaltung mit regelmäßig mehr als 1.000 Besuchern die mit Abstand größte GI-Tagung

und Fachmesse im deutschsprachigen Raum ist und jeweils zusammen mit dem international ausgerichteten GI-Forum stattfindet. Das besondere an der AGIT ist die vielschichtige Ausgestaltung, wozu insbesondere die Expo-Fachmesse zählt, auf der in diesem Jahr 50 Aussteller ihre Produkte aus dem Umfeld der Geoinformation präsentiert haben.



AGIT-Abend vor der imposanten Kulisse des Untersberg-Massivs.

Als ein Leitthema des AGIT Symposiums war in diesem Jahr die Copernicus Initiative der ESA angesetzt. Hier wurde in den drei Sitzungen zunächst von ESA-Verantwortlichen dieses Programm vorgestellt. Anschließend wurden erste praktische Projekte auf Basis von Copernicus Daten präsentiert. Ein weiteres Leitthema der AGIT mit ebenfalls drei Sitzungen war das hochaktuelle Thema „Autonomes Fahren“. Neben den technischen Ent-

wicklungen wurden intensiv juristische und ethische Fragen diskutiert, die sich zwangsläufig ergeben: Wer haftet beispielsweise beim Zusammenstoß von zwei autonom gesteuerten Fahrzeugen? Können Bremsassistenten zwischen Personen und deren Alter und Größe unterscheiden, wenn ein Bremsvorgang mit einem Ausweichmanöver verbunden ist: Wird dann eher eine alte, große Person oder ein Kind geschädigt? Das sind Fragen, die nicht nur in der abschließenden Podiumsdiskussion kontrovers diskutiert wurden, sondern in Zukunft auf gesellschaftlich breiter Basis diskutiert werden müssen.

Fester Bestandteil der AGIT ist seit einigen Jahren auch die Vorführung aktueller Drohnen in einer beeindruckenden Demonstration über dem Nonntal nahe der Festung Hohe Salzburg und quasi im Hinterhof der Universität Salzburg. Hierbei ist bemerkenswert, wie rasant sich die Technik der Fluggeräte von Jahr zu Jahr weiterentwickelt, welche Manöver mit großen Drohnen geflogen werden und von welcher hoher Güte die aufgezeichneten Bilddaten dann sind.

Zahlreiche praxisorientierte Workshops finden ebenfalls im Rahmen der AGIT statt. Sie bieten den Besuchern die Möglichkeit, mit den Entwicklern und Software Trainern ins Gespräch zu kommen und neue Funktionen der Softwareprodukte kennenzulernen. Neben vielfältigen GI-Fachthemen und trotz der großen Besucherzahl ist die AGIT immer auch ein sehr gelungener, fast schon familiärer Treffpunkt für Wissenschaftler und GI-Anwender. Dazu trägt das Ambiente in Sichtweite der Festung Salzburg bei. Das AGIT-Team um JOSEF STROBEL und BERNHARD ZAGEL garantiert mit seinem großem Engagement stets einen harmonischen Rahmen für die Veranstaltung.

MATTHIAS MÖLLER, Universität Bamberg
und Beuth Hochschule Berlin

Hochschulnachrichten



Dr. h.c. THOMAS LUHMANN im Kreis von Angehörigen der Kiewer Nationalen Universität für Konstruktion und Architektur, Ukraine.

Jade-Hochschule, Ehrendoktorwürde für Thomas Luhmann

Die Kiewer Nationale Universität für Konstruktion und Architektur (KNUCA) verlieh Anfang 2016 Prof. Dr. THOMAS LUHMANN den Titel Doctor honoris causa. Die Ehrendoktorwürde erhielt LUHMANN aufgrund seines langjährigen Engagements zur Modernisierung des Studiums im Bereich der Geoinformation, für regelmäßige Gastvorlesungen in Photogrammetrie und Laserscanning sowie für die Organisation eines regelmäßigen Austausches von Wissenschaftlern und Studierenden beider Hochschulen. Daraus hatten sich seit 2014 eine jährliche Blockveranstaltung sowie ein studentisches Austauschprojekt entwickelt, bei dem jeweils eine Projektwoche in Kiew und in Oldenburg verbracht werden.

Seit der Gründung der KNUCA im Jahr 1930 wurden insgesamt sechs Ehrendokortitel vergeben. Mit der Verleihung an THOMAS LUHMANN wurde erstmals ein ausländischer Wissenschaftler mit diesem Titel ausgezeichnet.

Karlsruher Institut für Technologie

Dissertation von Martin Weinmann

Herr Dipl.-Ing. MARTIN WEINMANN wurde am 24. Juli 2015 an der Fakultät für Bauingenieur-, Geo- und Umweltwissenschaften des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) mit der Arbeit *Reconstruction and Analysis of 3D Scenes: From Irregularly Distributed 3D Points to Object Classes* zum Dr.-Ing. promoviert.

1. Referent: Prof. Dr.-Ing. habil. STEFAN HINZ, Karlsruher Institut für Technologie (KIT),
2. Referent: Prof. Dr.-Ing. UWE STILLA, Technische Universität München (TUM).

Kurzfassung:

Die automatische Verarbeitung und Analyse von 3D-Punktwolken stellt in den Bereichen der Photogrammetrie, Fernerkundung, Computer Vision und Robotik ein wichtiges Thema dar. Im Hinblick auf eine allgemeine Anwendbarkeit wird in der vorliegenden Arbeit eine neue und vollautomatisierte Methodik

vorgestellt, welche die wesentlichen Schritte von der Erfassung von 3D-Punktwolken bis hin zur Ableitung von semantischen Objekten in der Szene betrachtet. Diese Methodik umfasst verschiedene Komponenten, welche (i) die Filterung von verrauschten Daten, (ii) die Extraktion von geeigneten Merkmalen, (iii) die angemessene Ausrichtung von mehreren einzelnen 3D-Punktwolken in einem gemeinsamen Koordinatensystem, (iv) die Anreicherung von 3D-Punktwolken mit zusätzlicher Information und (v) die semantische Interpretation von 3D-Punktwolken umfassen. Für jede Komponente werden die Grundlagen sowie der aktuelle Stand der Forschung aufgezeigt. Ferner werden die im Rahmen dieser Arbeit entwickelten Verfahren mit deutlichen Vorteilen gegenüber den bisherigen Verfahren genauer beleuchtet. Basierend auf einer umfassenden Auswertung auf verschiedenen Standard-Datensätzen werden objektive Ergebnisse für verschiedene Schritte in der Datenverarbeitung präsentiert und die Leistungsfähigkeit der entwickelten Methodik im Vergleich zu Standard-Verfahren verdeutlicht.

Im Speziellen zeigen die im Rahmen der vorliegenden Arbeit erzielten Ergebnisse, (i) dass die entwickelten Qualitätsmaße eine angemessene Filterung von verrauschten Daten ermöglichen und sich positiv auf die automatische Ausrichtung von mehreren einzelnen 3D-Punktwolken in einem gemeinsamen Koordinatensystem auswirken, (ii) dass die Extraktion von geeigneten Merkmalen bei der automatischen Ausrichtung von mehreren 3D-Punktwolken sowohl die Genauigkeit als auch die Effizienz der getesteten Verfahren verbessert und sogar eine Ko-Registrierung von 3D- und 2D-Daten, welche mit verschiedenen Sensortypen erfasst wurden, ermöglicht, (iii) dass die vorgestellten Strategien zur punkt-basierten Registrierung von 3D-Punktwolken über ein projektives Scan Matching und ein omnidirektionales Scan Matching zu einer sehr genauen automatischen Ausrichtung von einzelnen 3D-Punktwolken in einem gemeinsamen Koordinatensystem führen, (iv) dass die vorgestellten Strategien einer RANSAC-basierten Homographie-Schätzung und eines projektiven Scan Matchings für eine angemessene Ko-Registrierung von 3D- und 2D-Daten, welche mit verschiedenen Sensortypen erfasst wurden, geeig-

net sind und (v) dass die vorgestellte Strategie zur Erhöhung der Einzigartigkeit von einfachen geometrischen Merkmalen über die Betrachtung einer optimalen Nachbarschaft für jeden individuellen 3D-Punkt sowie die vorgestellte Strategie zur Selektion einer kompakten und robusten Untermenge von relevanten und informativen Merkmalen einen signifikanten, positiven Einfluss auf die Ergebnisse einer 3D-Szenenanalyse haben. Auf diese Weise ermöglichen die entwickelten Verfahren eine effiziente Rekonstruktion und Analyse von großen Bereichen bis auf Stadtgröße und bieten damit großes Potential für zukünftige Forschungsarbeiten.

Die Dissertation wurde über Springer International Publishing veröffentlicht und ist unter dem Link <http://www.springer.com/de/book/9783319292441> verfügbar.

Dissertation von Thomas Fuhrmann

Herr Dipl.-Ing. THOMAS FUHRMANN wurde am 12. April 2016 an der Fakultät für Bauingenieur-, Geo- und Umweltwissenschaften des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) mit der Arbeit „*Surface Displacements from Fusion of Geodetic Measurement Techniques Applied to the Upper Rhine Graben Area*“ zum Dr.-Ing. promoviert.

1. Referent: Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. BERNHARD HECK, KIT,
2. Referent: Prof. Dr.-Ing. habil. STEFAN HINZ, KIT,
3. Referent: Prof. Dr. ir. RAMON HANSEN, TU Delft (Niederlande).

Summary:

Detailed information on the present-day intraplate deformation of the Upper Rhine Graben (URG) is of interest for both researchers and decision makers. The URG is part of the European Cenozoic Rift System and carrying a significant probability for strong earthquakes. Furthermore, anthropogenic activities such as mining, groundwater usage and geothermal energy production may affect the deformation of the complex fault system. Within this work, surface displacements in the URG area bounded by the Rhenish Massif in the north and the Alps in the south are detected with geodetic

measurement techniques. The three considered techniques use (i) terrestrial measurements from precise levelling, (ii) satellite signals received at ground-based GNSS antennas and (iii) spaceborne radar data acquired by SAR satellites.

Levelling data measured in several campaigns between 1867 and 2012 provides detailed insight into the vertical displacements of the investigation area. A least-squares adjustment of a large database of levelling measurements from Germany, France and Switzerland yields vertical displacement rates at 14,098 levelling benchmarks with a mean standard deviation (1σ) of 0.18 mm/a. GNSS signals observed by a network of permanently operating sites are analysed to estimate 3D coordinates. Horizontal and vertical displacement rates are derived from the coordinate time series between 2002 and 2011 at 85 GNSS sites in the URG area. Resulting standard deviations (2σ) of horizontal and vertical site velocities are 0.4 mm/a and 1.3 mm/a, respectively. SAR data acquired by the ERS and ENVISAT missions provide surface displacements along the slant line of sight towards the satellites in two time intervals, 1992 – 2000 and 2002 – 2010, respectively. A combination of displacement time series of both time intervals results in mean standard deviations (2σ) of displacement rates of 0.6 mm/a. The SAR data available at one descending and two ascending tracks covering the whole URG area are analysed, resulting in slant displacement components with different looking directions.

The results of the single-technique analyses provide useful information on the current deformation behaviour of the investigation area. The levelling results reveal uplift tendencies in the Black Forest and in parts of the Vosges Mountains and the Palatinate Forest w.r.t. subsidence in most parts of the URG. Horizontal velocities at GNSS sites evidence a relative southward motion of the Rhenish massif w.r.t. a northward motion of the Alps resulting in sinistral shearing at the URG. Interferometric SAR (InSAR) is most suitable to investigate the temporal and spatial behaviour of surface displacements related to anthropogenic activities in the URG area. In order to exploit the advantages of the three techniques w.r.t. accuracy, sensitivity to different displacement

components and spatial as well as temporal resolution, a new approach for the fusion of displacements from levelling, GNSS and InSAR is presented. The resulting map of 3D surface displacement rates resolves the neotectonic movements in the URG area with unprecedented spatial resolution and accuracy. With mean standard deviations of 0.4 and 0.2 mm/a for the horizontal and vertical velocities, respectively, the combined velocity solution is particularly able to resolve the relative movements of the graben interior. The 3D velocity field contributes to an improved understanding of intraplate deformation processes and strain accumulation in the URG. In addition, the temporal and spatial behaviour of surface displacements related to anthropogenic activities is resolved at several places, providing a fundamental basis for interpretation and discussion, for researchers as well as for decision makers.

Technische Universität München

Dissertation von Janja Avbelj

Ms Dipl.-Ing. JANJA AVBELJ completed her doctorate (Dr.-Ing.) on December 1, 2015, at the Department of Civil, Geo and Environmental Engineering (Ingenieurfacultät Bau Geo Umwelt), Technical University Munich (Technische Universität München, TUM), with the dissertation titled „*Fusion of Hyperspectral Images and Digital Surface Models for Urban Object Extraction*“.

1. Referent: Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. RICHARD BAMLER, TUM, Deutschland
2. Referent: Hon.-Prof. Dr.-Ing. PETER REINARTZ, Universität Osnabrück, Deutschland
3. Referent: Prof. Dr.-Ing. MARKUS GERKE, University of Twente, Niederlande

Summary:

A picture is worth a thousand words! This proverb becomes a new dimension when a picture is a hyperspectral image (HSI) with dozens or even hundreds of spectral bands. How many words is the HSI worth? The HSI is a

source of information about geometry and materials of objects in the image. If besides the HSI also a digital surface model (DSM) is available, which is a source of information about geometry and heights of objects, the joined information value from both datasets is further increased. Thus, the HSI and DSM carry complementary information about the covered area. Moreover, a variation in material and height is represented by edges in HSI and DSM, respectively. More reliable discrimination and delineation of the objects is possible by extracting the knowledge about the edges from these images. The information value from HSI, DSM, and the edge information together are worth more than thousands of words.

The topic of the thesis is the usage of the HSI and DSM for urban object extraction. A method for rectilinear building polygon extraction from HSI and DSM is proposed, which accounts for edge probabilities from both datasets. A new quality measure for evaluation of the extracted building polygons, called Polygons and Line Segments (PoLiS) metric, is defined and compared to already in the community accepted measures. Research questions are discussed in the thesis.

First, the edges in remote sensing images appear at different scales, thus it is shown that the analysis of the image in scale space contributes to more reliable edge probability values. The Gaussian Mixture Model is proposed for joining these edge probabilities detected from multi-modal datasets. The mixing coefficients are defined according to the prior knowledge or according to the confidence probability in order to carry out a fully data-based fusion.

Second, two mathematical models for the adjustment of rectilinear polygons are analysed, one with a strict and the other one with relaxed rectilinear constraint. The main contribution to the adjustment is the introduction of weights, which are derived from fused edge probabilities.

Third, the PoLiS metric is a measure designed for comparison of polygons extracted from RS images. It is a single measure, which quantifies dissimilarities between polygons in shape and their positional accuracy. It is a metric in mathematical sense, compares polygons with different number of vertices and is insen-

sitive to the vertices on polygons' edges. It has been shown that it is monotonic, and has a nearly linear response to small changes in translation, rotation, and scale between the compared polygons. It can be straightforwardly extended to the 3D PoLiS metric.

Finally, the feasibility of joining all the proposed methods in a single processing chain is demonstrated on 17 pairs of HSI-DSM images exhibiting a complex urban area with four Ground Sampling Distances, between 0.3 m and 4.0 m. Joined information from multi-modal images results in better quality of adjusted BP, than relying only on information from one dataset.

Die Dissertation ist veröffentlicht als Forschungsbericht des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (ISRN DLR-FB-2016-07) und parallel online freigeschaltet unter <http://elib.dlr.de/100607/>, sowie auf dem Server der Technischen Universität München <http://mediatum.ub.tum.de/elektronisch/publiziert>.

Gleichzeitig ist die Arbeit in der Reihe C der Deutschen Geodätischen Kommission bei der Bayerischen Akademie der Wissenschaften (ISBN 978-3-7696-5183-6) unter der Nr. 771 online veröffentlicht (<http://www.dgk.badw.de>).

Universität Osnabrück

Dissertation von Jakob Bieniarz

Dipl.-Ing. JAKUB BIENIARZ completed his doctorate (Dr. rer. nat.) on December 2, 2015, at the School of Mathematics/Computer Science, Osnabrück University (Universität Osnabrück), with the dissertation titled „Sparse Methods for Hyperspectral Unmixing and Image Fusion“. The dissertation has been supported by the DAAD-DLR research fellowship implemented by the German Aerospace Center (DLR) and the German Academic Exchange Service (DAAD). The research was conducted at the Remote Sensing Technology Institute of the DLR.

1. Referent: Hon.-Prof. Dr.-Ing. PETER REINARTZ, Universität Osnabrück, Deutschland
2. Referent: Prof. Dr.-Ing. MANFRED EHLERS, Universität Osnabrück, Deutschland

Summary:

In recent years, the substantial increase in the number of spectral channels in optical remote sensing sensors allows more detailed spectroscopic analysis of objects on the Earth surface. Modern hyperspectral sensors are able to sample the sunlight reflected from a target on the ground with hundreds of adjacent narrow spectral channels. However, the increased spectral resolution comes at the price of a lower spatial resolution, e.g. the forthcoming German hyperspectral sensor Environmental Mapping and Analysis Program (EnMAP) which will have 244 spectral channels and a pixel size on ground as large as 30 m × 30 m.

The main aim of this thesis is dealing with the problem of reduced spatial resolution in hyperspectral sensors. This is addressed first as an unmixing problem, i.e., extraction and quantification of the spectra of pure materials mixed in a single pixel, and second as a resolution enhancement problem based on fusion of multispectral and hyperspectral imagery.

This thesis proposes novel methods for hyperspectral unmixing using sparse approximation techniques and external spectral dictionaries, which unlike traditional least squares-based methods, do not require pure material spectrum selection step and are thus able to simultaneously estimate the underlying active materials along with their respective abundances. However, in previous works it has been shown that these methods suffer from

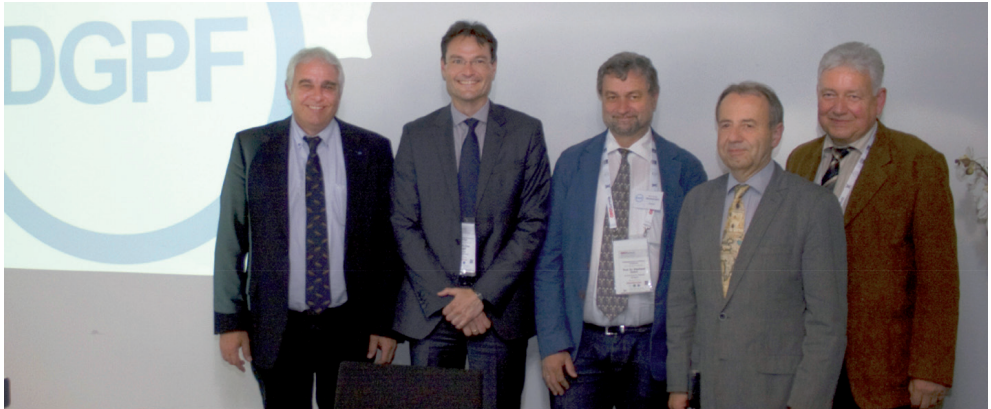
some drawbacks, mainly from the intra dictionary coherence. To improve the performance of sparse spectral unmixing, the use of derivative transformation and a novel two step group unmixing algorithm are proposed. Additionally, the spatial homogeneity of abundance vectors by introducing a multi-look model for spectral unmixing is exploited.

Based on the above findings, a new method for fusion of hyperspectral images with higher spatial resolution multispectral images is proposed. The algorithm exploits the spectral information of the hyperspectral image and the spatial information from the multispectral image by means of sparse spectral unmixing to form a new high spatial and spectral resolution hyperspectral image. The introduced method is robust when applied to highly mixed scenarios as it relies on external spectral dictionaries.

Both the proposed sparse spectral unmixing algorithms as well as the resolution enhancement approach are evaluated quantitatively and qualitatively. Algorithms developed in this thesis are significantly faster and yield better or similar results to state-of-the-art methods.

The dissertation is published online at „Institutionelles repositorium der Universität Osnabrück“ (<https://repositorium.uni-osnabrueck.de/handle/urn:nbn:de:gbv:700-2016030214286>) and in DLR electronic library – elib (<http://elib.dlr.de/103910/>).

Gesellschaftsnachrichten



Neuer Vorstand der DGPF: UWE STILLA, UWE SÖRDEL, EBERHARD GÜLCH, WOLFGANG KRESSE und HERBERT KRAUSS.

Neuer Vorstand der DGPF

Die Mitglieder der Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie, Fernerkundung und Geoinformation e.V. haben bei ihrer diesjährigen Versammlung am 7. Juni in Bern, veranstaltet im Rahmen der Dreiländertagung, den neuen Vorstand gewählt: UWE STILLA (Präsident, TU München), UWE SÖRDEL (Vizepräsident, Universität Stuttgart), EBERHARD GÜLCH (Sekretär, Hochschule für Technik, Stuttgart), HERBERT KRAUSS (Schatzmeister, Köln) und WOLFGANG KRESSE (Hauptschriftleiter, Hochschule Neubrandenburg). Der bisherige Präsident, THOMAS KOLBE wurde mit großem Dank für seine achtjährige Arbeit im Vorstand verabschiedet. Das neue Gesicht im Vorstand ist UWE SÖRDEL.

Hansa-Luftbild-Preis 2016

Der Hansa-Luftbild-Preis wurde in diesem Jahr an PHILIPP GLIRA für seinen Artikel „A Correspondence Framework for ALS Strip Adjustments based on Variants of the ICP Algorithm“ verliehen. GLIRA stellt hier ein Methode zur Ausgleichung von Airborne-Laserscanning-Streifen vor, bei der nicht auf interpolierte Flächen

und Raster zurückgegriffen sondern die Punktwolke selbst verwendet wird. Dadurch werden systematische Fehler vermieden und folglich eine höhere Genauigkeit erreicht.

Die meisten Artikel der PFG habe heute mehrere Autoren. Um den jungen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern eine Chance auf eine Preisträgerschaft zu geben, wurden vor einem Jahr die Statuten des Hansa-Luftbild-Preises dahingehend geändert, dass nur der Erstautor oder die Erstautorin zur Nachwuchsgeneration gehören müssen. PHILIPP GLIRA war Erstautor des Artikels. Die weiteren Autoren waren NORBERT PFEIFER, CHRISTIAN BRIESE und CAMILLO RESSL.

Neuer Vorstand und neue Kommissionen der ISPRS

Während des XXIII. Kongresses der ISPRS in Prag, Tschechische Republik, hat die Generalversammlung der ISPRS einen neuen Vorstand und die neuen Präsidenten der Kommissionen gewählt und im Zuge dessen die Konzentration von bisher acht auf jetzt fünf Kommissionen beschlossen.



Stellvertretend für den Preisträger PHILIPP GLIRA nimmt NORBERT PFEIFER den Hansa-Luftbild-Preis 2016 entgegen. Zum dreiköpfigen Verleihungsrat gehören THOMAS KOLBE (Präsident), PAUL HARTFIEL (Vorstand Hansa Luftbild AG) und WOLFGANG KRESSE (Hauptschriftleiter).

Präsident: CHRISTIAN HEIPKE (Hannover)
 Generalsekretärin: LENA HALOUNOVÁ (Prag, Tschechische Republik)
 Kongressdirektor: NICOLAS PAPARODITIS (Paris, Frankreich)
 1. Vizepräsident: CHEN JUN (Peking, China)
 2. Vizepräsident: CHARLES TOTH (Columbus, OH, USA)
 Schatzmeister: SONGNIAN LI (Toronto, ON, Kanada)

Kommission I „Sensor Systems“: STEFAN HINZ (Karlsruhe)
 Kommission II „Photogrammetry“: FABIO REMONDINO (Trient, Italien)
 Kommission III „Remote Sensing“: JIE JIANG (Peking, China)

Kommission IV „Spatial Information Science“: SISI ZLATANOVA (Delft, Niederlande)
 Kommission V „Education and Outreach“: A SENTHI KUMAR (Dehradun, Indien)

Wir freuen uns sehr, dass zwei Mitglieder unserer Gesellschaft, CHRISTIAN HEIPKE und STEFAN HINZ, in herausragende Funktionen gewählt wurden. Wir gratulieren beiden ganz herzlich und wünschen ihnen eine erfolgreiche Arbeit und viel Ausdauer bei der Bewältigung der neuen und zusätzlichen Belastungen.

Der nächste ISPRS-Kongress, der XXIV., wird 2020 in Nizza in Frankreich stattfinden.

Praxisbericht

WeBest – Automatisierte Korrektur und Mapping von Fassadenthermographien auf 3D-Gebäudemodelle

DIRK MONIEN, Stuttgart, ROLF WILTING, Rheinbach, EGBERT CASPER, MARCUS BRENNENSTUHL & VOLKER COORS, Stuttgart

Keywords: MobileMapping, Fassadenthermographie, automatisierte Rohdatenprozessierung

Zusammenfassung:

Fast 40% des Energieverbrauchs in Deutschland entfallen auf den Sektor Gebäude. Um die Wirksamkeit von Sanierungs- und Effizienzmaßnahmen abschätzen zu können, sind Simulationsmodelle nötig, die auch über größere Gebiete, beispielsweise Stadteile oder Quartiere hinweg, ausreichend genau rechnen können. In diesem Zusammenhang spielen 3D-Stadtmodelle eine wichtige Rolle, da hinsichtlich der Gebäudegeometrien keine beziehungsweise nur wenige Annahmen nötig und damit Abweichungen von der Realität zu erwarten sind. Neben der Geometrie ist der Sanierungsstand von Gebäuden ein wichtiger Indikator, um den tatsächlichen und zukünftigen Energiebedarf abschätzen zu können. Die Sammlung gebäudescharfer Daten ist dabei sehr zeit- und kostenaufwendig, so dass in vielen Fällen auf statistische Durchschnittswerte zurückgegriffen wird, die allerdings stark von tatsächlichen Gegebenheiten abweichen können. Dieser Beitrag beschreibt einen Ansatz, der im Forschungsprojekt WeBest der Hochschule für Technik Stuttgart und der Firma EUROSENSE verfolgt wird. Dabei werden möglichst automatisiert Thermographieaufnahmen aus unterschiedlichen Quellen für eine große Anzahl von Gebäuden aus Rohdaten verarbeitet, mit Hilfe von Korrekturverfahren homogenisiert und durch Verbindung mit 3D-Stadtmodellen zur Energiesimulation beziehungsweise energetischen Bewertung von Bestandsgebäuden herangezogen.

Summary:

Automatic correction and mapping of façade thermography on 3D building models. Buildings use almost 40% of Germany's energy supply. The assessment of the effectiveness of refurbishment and energy efficiency measures over larger areas requires effective simulation tools. In this context, 3D city models are playing an increasing role as they deliver actual building geometries. The renovation standard of a building is an important indicator to estimate current and future energy demand. The collection of data at the level of single buildings is time consuming and expensive, so that statistical average values are often used which can largely differ from actual local conditions.

This contribution addresses an approach pursued in the WeBest research project conducted by the Stuttgart University of Applied Sciences and the company EUROSENSE. Thermal images are automatically processed for a large number of buildings based on different raw data, homogenized by using correction methods and used for energy simulation of existing buildings using 3D city models.

1 Einleitung (Problemstellung)

Der Stadtumbau unter energetischen Gesichtspunkten ist eine der zentralen Herausforderungen im Rahmen der Energiewende. Fast 40% des gesamten Energiebedarfs in Deutschland entfallen laut Bundesministerium für Wirtschaft und Energie auf den Gebäudesektor, wiederum 85% davon auf den Bedarf zur Bereitstellung von Wärme und Trinkwarmwasser (BMWi 2014). Der aktuelle Sanierungsstand von Gebäuden hat dabei entscheidenden Einfluss auf den entsprechenden Wärmebedarf und liefert für Städte und Kommunen wichtige Basisdaten für die Auslegung ihrer Energie- und Umweltschutzstrategien. Die Erstellung von Wärmebedarfsanalysen und -prognosen, Sanierungsvorschlägen und weiteren Empfehlungen zur Energieeinsparung beginnt bei einzelnen Gebäuden und führt über Stadtquartiere und ganze Städte bis hin

zur landesweiten Raumbetrachtungen. Zur Bewertung beziehungsweise Berechnung von Einzelgebäuden existieren diverse herstellereigene (EFFIZIENZHAUS 2016), und unabhängige (Online)Tools, wie beispielsweise das der Deutschen Energieagentur dena (EXPERTENTOOL 2016). Außerdem bieten Finanzdienstleister ebenfalls Energiesparrechner an (ENERGIESPARRECHNER 2016). Sie sind zwar für den einzelnen Gebäudebesitzer hilfreich, aber weniger geeignet, wenn es um die Abschätzung etwaiger Sanierungsmaßnahmen und deren Kosten und Wirksamkeit im Maßstab eines Quartiers oder einer ganzen Stadt geht, da sie in der Regel detaillierte Eingangsdaten benötigen. Für Städte und Kommunen, die im Rahmen ihrer Klimaschutzaktivitäten Sanierungsgebiete definieren und analysieren möchten, ist deren Erhebung zu kosten- und zeitaufwändig. Somit rückt die Erschließung automatisiert gewonnener Informationen in den Fokus der aktuellen Forschungen und Anwendungen. Im Rahmen des Forschungsprojekts „WeBest – Wärmebedarfsprognose von Gebäuden und Stadtquartieren“ untersuchen die Hochschule für Technik Stuttgart und die Firma EUROSENSE als Teilaspekt das Potenzial der Nutzung von großräumig gewonnenen Thermographieaufnahmen für eine standardisierte und vergleichende Berechnung und Prognose des Wärmebedarfs von Wohngebäuden mit Hilfe von 3D-Stadtmodellen (Einordnung in das Projekt siehe Abb. 1).

Das im Folgenden vorgestellte MobileMapping-Verfahren dient der Generierung von Thermographieaufnahmen von Gebäudenfassaden

beziehungsweise von deren äußeren Oberflächentemperaturen. Sie sollen eine Grundlage für eine richtige Interpretation bilden, die in Kombination mit luftgestützter Thermographie von Gebäudedächern aus einem Vorgängerprojekt zumindest theoretisch flächendeckend eine aktuelle und vergleichbare Bewertung der Gebäudehülle erlauben soll. Die Forschungsfrage, die in diesem Beitrag konkretisiert wird, lautet: Lässt sich auf Basis einer Außenthermographie automatisiert darauf schließen, ob eine Fassade nachträglich gedämmt ist? Zwar zeigen beispielsweise BITELLI et al. (2015) für ein Gebiet in Italien einen ähnlich gelagerten Ansatz, beziehen sich jedoch nur auf Luftaufnahmen beziehungsweise die energetische Bewertung von Gebäudedächern. Gebäudefassaden hingegen werden nicht behandelt. IWASZCZUK & STILLA (2014) beschreiben ein Verfahren zur Texturierung von 3D-Gebäudemodellen unter Verwendung von thermographischen Schrägsichtaufnahmen. Hierbei wird allerdings nicht auf die bauphysikalische Interpretation von Thermographien eingegangen, sondern eine weitere wichtige Problemstellung bei einem solchen automatisierten Prozess angesprochen: Die Texturierung von 3D-Gebäudemodellen mit den thermischen Aufnahmen. Verfahren wie SAMATS (HEGARTY & CARSWELL 2009) oder UVM SYSTEMS (UVM 2016) setzen beim Matching von Bilddatei und 3D-Modell manuelle Vorarbeit beziehungsweise eine hochgenaue Koregistrierung voraus. Mit der vorgestellten Methode von IWASZCZUK & STILLA (2014) lassen sich diese Voraussetzungen zwar grundsätzlich reduzieren, nicht aber gänzlich

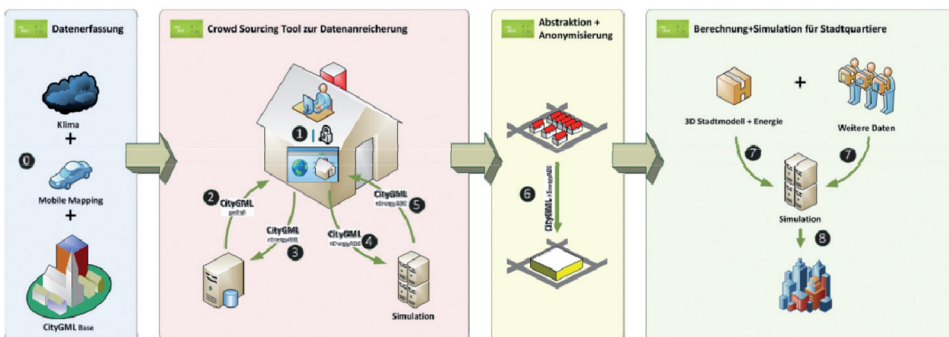


Abb. 1: Bausteine des Projekts WeBest – Wärmebedarfsprognose von Gebäuden und Stadtquartieren.

umgehen (teilautomatisiert). Die Einbeziehung energetischer Gesichtspunkte bleibt zu dem außen vor. Im Projekt WeBest werden neben dem reinen Zusammenbringen von Bilddatei (hier: TIF der Außenthermographie) und 3D-Gebäudemodell energetische Belange mit in den Workflow einbezogen.

In diesem Beitrag werden die Anforderungen, Herausforderungen und Erfahrungen bei der Gewinnung, Bewertung und Nutzung der Thermographiedaten, ihre Integration in 3D-Stadtmodelle und die Möglichkeiten zukünftiger Verwertbarkeit für energetische Bewertungen dargestellt. Die Datenbasis hierfür wurde in zwei Befahrungskampagnen gelegt, deren Ablauf nachfolgend beschrieben wird.

2 Ausführung (Befahrungssystem und Durchführung)

2.1 Wünschenswerte Rahmenbedingungen für Außenthermographien

Um aus Thermographien tatsächlich Rückschlüsse auf die bauphysikalische Qualität eines Gebäudes beziehungsweise wie in diesem Fall einer Fassade ziehen zu können, sollten bei der Aufnahme gewisse Rahmenbedingungen erfüllt sein. Unter anderem sollte (DITTIÉ 2013):

- bewölkter Himmel mit durchgängig geschlossener Wolkendecke vorherrschen;
- während oder kurz vor der Befahrung kein Niederschlag in Form von Regen oder Schnee erfolgt sein (der Verdunstungseffekt kühlt Oberflächen ab und verfälscht damit das Ergebnis);
- es möglichst windstill sein;
- Außentemperaturen von möglichst unter +5 °C beziehungsweise eine Temperaturspreizung zwischen Außentemperatur zum Aufnahmezeitpunkt und (angenommener) Innentemperatur von 12 K vorliegen;
- kein Schnee auf Flächen, z.B. Dächern und Straßen, liegen geblieben sein (Reflexionen).

Die genannten Bedingungen sollten idealerweise über ein bis zwei Tage vor der Befahrung stabil beziehungsweise konstant sein. Beispielsweise sollte keine direkte Sonneneinstrahlung auf die Gebäude am Tag vor der Befahrung erfolgen. Die thermische Speicherkapazität des Gebäudes oder einzelner Bauteile kann zu Fehlinterpretationen der Thermographie führen, indem in der Thermographie hohe Oberflächentemperaturen dargestellt werden, obwohl sich das Gebäude objektiv in einem energetisch effizienten Bereich befindet. Gerade bei der angestrebten automatisierten Auswertung und Weiterverarbeitung ist hierauf zu achten, da die manuelle Nachbearbeitung beziehungsweise Interpretation entfallen soll.

2.2 Durchführung der Messkampagnen

Da weder die Firma EUROSENSE noch die HFT Stuttgart Erfahrungen mit der großräumigen Aufnahme von Außenthermographien vorweisen konnten, wurde zunächst eine Messfahrt in Ludwigsburg durchgeführt, die nur wenige Gebäude umfasste. Sie sollte im Hinblick auf eine weitere, weitaus größer geplante Messkampagne in Essen vorbereiten und wichtige Erkenntnisse liefern.

2.2.1 Messfahrt Ludwigsburg

Am Abend und in der Nacht vom 28.11.2013 auf den 29.11.2013 wurden im Zentrum von Ludwigsburg die ersten Messfahrten bei für die Aufnahme von Thermographien günstigen Wetterbedingungen und Temperaturen um den Gefrierpunkt durchgeführt. Die Aufnahmen beschränkten sich hier auf einen Gebäudekomplex der Stadtverwaltung und ein Museumsgebäude (Abb. 2). Parallel zu den Messfahrten wurden sowohl innerhalb einiger Räume der thermographierten Gebäude als auch an einigen Außenstationen Temperaturwerte im zeitlichen Abstand von 15 Minuten als Referenzwerte aufgezeichnet. Sie dienen später der Kalibrierung des Simulationsmodells zur bauphysikalischen Bewertung der Fassaden. Bei der Durchführung der Messfahrt wurde auf eine konstant niedrige Ge-

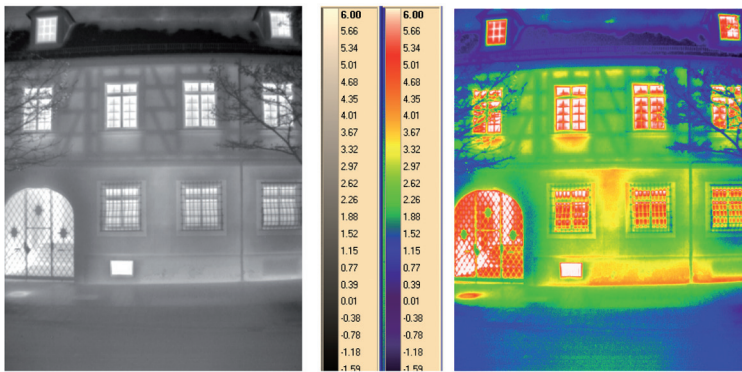


Abb. 2: Fassadenthermographie Verwaltungsbau Ludwigsburg.

schwindigkeit (< 30 km/h) geachtet. In engen Straßen konnte die Fassade nicht vollständig während einer Messfahrt aufgenommen werden. Der Winkel der Kamera musste manuell verstellt und dann der Rest der Fassade in einem zweiten Durchlauf aufgenommen werden.

In Ludwigsburg kam eine Thermalkamera vom Typ FLIR ATS Silver 660M mit einer Auflösung von 640 x 512 Pixeln zum Einsatz. Die abbildbare Temperaturspanne liegt zwischen -20 °C und +50 °C, die thermische Auflösung der Kamera liegt bei 0,025 K. Gleichzeitig kam eine Novatel GPS-Antenne L1/L2 Model 512 auf einer speziell für diese Art von Messungen angefertigten Plattform mit einem ungefähr 1,60 m langem Mast zum Einsatz. Verbunden wurde die Kamera über eine feste Kabelverbindung mit einer Applanix IMU 200Hz POS AV V4.

2.2.2 Messfahrt Essen

Aufbauend auf den Erfahrungen in Ludwigsburg wurde im Vorfeld der deutlich umfangreicheren Befahrung in Essen eine erweiterte

Anforderungsanalyse durchgeführt. Gemeinsam mit der Stadt wurden vier repräsentative Quartiere mit insgesamt etwa 500 Wohngebäuden ausgewählt, die jeweils überwiegend in bestimmten, definierten Baualterklassen mit entsprechenden Bauweisen anzusiedeln sind (Tab. 1).

Die Befahrung wurde durch die Firma IGI im Auftrag von EUROSENSE durchgeführt. Dabei wurde die StreetMapper-Plattform mit einer zusätzlichen Thermographiekamera ausgestattet (Abb. 3). Die DigiTHERM-Kamera mit einem 12,5 mm-Objektiv war mit einem Aufnahmewinkel von ±15° auf der linken Seite des Fahrzeugs in einer Höhe von 2,54 m über Boden installiert, um bestmöglich Fassaden abbilden zu können. Die Kamera verfügt über eine thermische Auflösung von 0,05 K und kann eine Temperaturspanne von -40 °C bis +120 °C abbilden. Mit einer Auflösung von 640 x 480 Pixeln konnten Aufnahmen hoher Qualität gemacht werden. Der parallel eingesetzte Laser Z+F Profiler ist durch seinen Field-of-View von 360° und einer Scanrate von bis zu 1 Million Punkten pro Sekunde ebenfalls in besonderem Maße für die Fassadenerfassung geeignet.

Tab. 1: Befahrungsgebiete in Essen (MFH = Mehrfamilienhäuser, EFH = Einfamilienhäuser).

Baualterklasse	Stadtteil	Bebauung
bis 1918	Rüttenscheid	überwiegend Gründerzeit, überwiegend MFH
1949 – 1959	Frohnhausen	überwiegend Nachkriegsbebauung nach Zerstörungen, MFH
1970 – 1977	Hörsterfeld	überwiegend große Wohneinheiten, MFH
nach 2007	Freisenbruch	überwiegend Neubau, EFH



Abb. 3: Eingesetztes MobileMapping-System der Firma IGI.

Die in der Nacht vom 20.3.2014 auf den 21.3.2014 durchgeführte Befahrung erfolgte entgegen der Befahrung in Ludwigsburg nicht unter den zuvor als wünschenswert definierten Konditionen. Dies war zum einen dem Umstand geschuldet, dass sich das gesamte Mess-equipment samt Fahrzeug und Kamera nicht ohne Weiteres über einen längeren Zeitraum ausschließlich für das Projekt WeBest vorhalten ließ. Zum anderen kam es bei der Befahrung zu Abweichungen von den gewünschten Aufnahmebedingungen. Einerseits waren die Wetterprognosen nicht exakt und der Himmel während der Aufnahmefahrt nicht durchgängig bewölkt, stellenweise sogar wolkenfrei. Andererseits konnten durch teilweise beengte Straßenverhältnisse und die Brennweite des Kameraobjektivs Teile des Befahrungsbereichs nur mit einem Neigungswinkel der Kamera und damit einige Gebäude nur unvollständig aufgezeichnet werden.

2.3 Anforderungen an die Quantifizierung von Störfaktoren

Um aus den gemessenen Temperaturwerten eine Indikation zu den energetischen Eigenschaften der Fassaden zu erlangen, ist eine umfassende Interpretation erforderlich. Uner-

lässlich für diese ist die Quantifizierung beziehungsweise Neutralisierung von Störfaktoren wie Witterungseinflüsse zum Aufnahmezeitpunkt oder Einflüsse durch die Kamerakalibrierung. Auch bei homogener Fassadenkonstruktion zeigen die Thermographieaufnahmen aus der Befahrung in Essen einen deutlich messbaren Temperaturunterschied im vertikalen Verlauf von bis zu 2 K Abweichung. In Abb. 4 ist diese durch die tendenzielle Abnahme der Temperatur mit zunehmender Gebäudehöhe angedeutet. Die Temperatur-Codierung nimmt von roten über gelbe und grüne bis zu blauen Farbtönen hin ab.

Daher müssen im Rahmen der Interpretation die beiden folgenden Problemstellungen gelöst und zahlenmäßig bewertet werden:

- Der Emissionsgrad von Oberflächen und der Aufnahmewinkel stehen bei der Interpretation von Thermographien in direktem Zusammenhang. Bei Aufnahmen, die in dichten Innenstadtbereichen von einem Fahrzeug aus gemacht werden, sind Kippwinkel aufgrund der Brennweite des Kameraobjektivs nicht auszuschließen. Um also den Einfluss des Einfallswinkels bewerten zu können, musste eine Methodik zur Quantifizierung entwickelt werden.

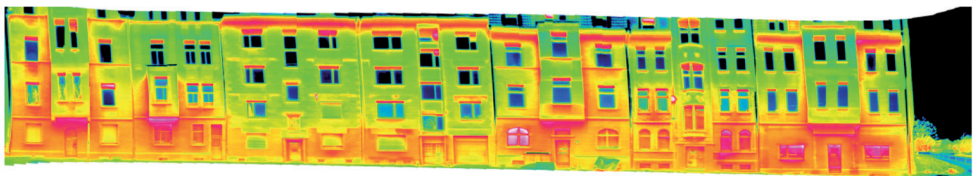


Abb. 4: Panorama-Fassadenthermographie eines Straßenzugs in Essen.

- Herrschen bei der Aufnahme einer Thermographie nicht hinreichend gute Witterungsbedingungen wie beispielsweise eine nicht durchgängig geschlossene Wolkendecke, müssen zur verlässlichen Interpretation Störgrößen wie Abstrahlung und Reflexionen und deren Einfluss beziffert werden (Sky View Factor).

Nachfolgend werden die jeweiligen Auswirkungen untersucht und eine Methode zur Korrektur der Bilddaten vorgestellt. Nach der Korrektur der Rohdaten erfolgt das Matching der Aufnahmen mit den 3D-Gebäudemodellen, was wiederum einige Problemstellungen bereit hielt.

3 Fehleranalyse, Korrektur und Matching

3.1 Fehleranalyse Thermographie

Bei der Suche nach den Ursachen für die inkonsistenten Ergebnisse der Befahrung in Essen wurde der Fokus auf die beiden offensichtlichen Störgrößen gelegt: Die Auswirkungen des an den Bildrändern für Thermographieaufnahmen großen Bildwinkels und dessen Auswirkung auf den Emissionsgrad sowie die Tatsache, dass die Aufnahmen teils bei klarem Himmel gemacht wurden und somit ein intensiver Strahlungsaustausch von Gebäude und Umgebung (Himmel) gegeben war.

3.1.1 Bildwinkelabhängiger Emissionsgrad

Das während der Befahrung in Essen von der Firma IGI eingesetzte Objektiv der Kamera hat eine Brennweite von 12,5 mm, womit es im Weitwinkelbereich angesiedelt ist. Aufnahmen wurden im Hochformat gemacht. Zusätzlich wurde das Kamerasystem um 15° nach oben geneigt, um die Fassaden möglichst vollflächig abzubilden. Dies führt zu einem maximalen Aufnahmewinkel von senkrechten und parallel zur Fahrtrichtung stehenden Flächen wie z.B. Fassaden von 50,5° an der Bildoberseite und von 20,3° an der Bildunterseite. Nach

einigen Zwischenschritten zur Bestimmung von vertikalem Bildwinkel und vertikaler Pixelzahl ließ sich jeder horizontalen Pixelreihe einer Aufnahme ein entsprechender Bildwinkel zuweisen.

Der gerichtete Emissionsgrad von elektrischen Nichtleitern (Dielektrika) lässt sich über den Richtungswinkel (entspricht dem Bildwinkel) und die Brechzahl bestimmen. Die Brechzahl wiederum lässt sich nach der elektromagnetischen Theorie für Dielektrika über die Permeabilitätszahl des Dielektrikums und die Permittivitätszahl des Dielektrikums herleiten (BERNHARD 2014). Für bei Thermographieaufnahmen relevante Baustoffe sind diese jedoch nur schwer oder gar nicht verfügbar. Für Emissionsgrade in Richtung der Flächennormalen – vorliegend wurde stets von einer nach oben hin homogenen Fassadenkonstruktion ausgegangen – gilt jedoch ein einfacherer Zusammenhang, über den sich nach Einsetzen eines gängigen Emissionsgrades für Baustoffe (verputztes Mauerwerk) von 0,94 für die Brechzahl ein Wert von 1,65 ergibt. Die Korrektur erfolgt hierbei nur vertikal, da aufgrund des deutlich größeren Bildwinkels eine relevante Auswirkung auf den Emissionsgrad besteht. Zum Vergleich: Horizontal verlaufend und ausgehend von der Bildmitte beläuft er sich jeweils lediglich auf 25,5°. Der maximale Emissionsgrad ε beträgt somit bei verputztem Mauerwerk 0,94 (Aufnahme senkrecht zur Flächennormalen), der minimale Emissionsgrad liegt bei 0,92 (maximaler Aufnahmewinkel von 50,5° an der Bildoberseite).

Damit zeigt sich die Auswirkung des Weitwinkelbereichs auf den Emissionsgrad, mit welcher alleine die Temperaturabweichung jedoch nicht begründet werden kann. Die in Abhängigkeit vom Abstrahlwinkel zum Bildrand hin nach dem Lambert'schen Gesetz geringer werdende Infrarotstrahlung (Gültigkeit z.B. bei rauen Putzoberflächen, da Diffusstrahler) wird durch die zum Bildrand hin pro Bildpunkt größer werdende, abstrahlende Fläche teilweise kompensiert (FRAUNHOFER ISE 1999).

Das Verhältnis aus Gegenstandsgröße, Kameraabstand zum abgebildeten Objekt und Bildwinkel hat ebenfalls Einfluss auf die Darstellung. Die horizontale Maßstabsänderung wird dabei jedoch genauso wie die horizontale richtungsabhängige Strahlungsänderung in

der Korrektur nicht berücksichtigt, da die vorliegend auftretenden Bildwinkel ausreichend gering und ihre Auswirkungen somit vernachlässigbar sind.

Der ausführliche Berechnungsweg beziehungsweise die Herleitung der jeweiligen Zusammenhänge hätte den Rahmen dieses Artikels bei Weitem überstiegen. Bei Interesse kann Näheres bei den Autoren angefragt werden.

3.1.2 Fassadenhöhenabhängiger Strahlungsaustausch mit der Umgebung

Die Temperatur einer Fassade ist abhängig von ihrer Ausrichtung und ihres direkten Sichtfeldes zu den Oberflächen, die sie umgeben. Strahlungstemperaturen und Größen bestimmen den Strahlungsaustausch zwischen Messobjekt und umgebenden Flächen. Im vorliegenden Fall sind dabei die Strahlungstemperaturen des Himmels, des gegenüberliegenden Gebäudes und des Bodens beziehungsweise der Straße und die jeweilige dazugehörige Einstrahlzahl maßgeblich. Bei den durchgeführten Aufnahmen liegen die Strahlungstemperaturen der die Fassade umgebenden Bauteile und Flächen weitestgehend im selben Bereich. Die Strahlungstemperatur des Himmels liegt demgegenüber jedoch bei bis zu $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$, da die Aufnahmen bei teilweise klarem Himmel gemacht wurden. Somit war zu vermuten, dass die Himmelstemperatur und das dazugehörige Sichtfeld, der sogenannte „Sky View Faktor“, ausschlaggebend dafür sind, dass die Fassaden mit zunehmender Höhe kältere Oberflächentemperaturen aufwiesen, da der Strahlungsaustausch mit dem sehr kalten Himmel bei normaler Bebauung der Umgebung mit der Höhe der Messpunkte über dem Boden zunimmt. Um die damit verbundene Temperaturabweichung beziehungsweise -verfälschung zu quantifizieren, musste zuerst die aus dem Strahlungsaustausch der Oberflächen resultierende Umgebungstemperatur bestimmt werden, wobei alle dafür relevanten Temperaturwerte, d.h. Himmelstemperatur, Bodentemperatur und Temperatur der Nachbargebäude, direkt aus den Rohdaten übernommen werden konnten.

Die Einstrahlzahl zum Nachbargebäude ergibt sich nach der Gleichung für die Bestimmung einer Einstrahlzahl eines Streifens auf eine parallele Rechteckfläche gleicher Seitenlänge. Der Abstand des Gebäudes zum gegenüberliegenden Gebäude wird dabei in Abhängigkeit des Abstands der Kamera zur aufgenommenen Fassade bestimmt. Die Annahme ist hierbei, dass die Straßenmitte die Hälfte der Entfernung zwischen den Gebäuden darstellt, das Auto auf einer Spur fährt, die drei Meter breit ist und sich die Kamera auf deren Mitte befindet. Über weitere Berechnungsschritte konnte mit diesem Verfahren letztlich pixelweise die „wahre“ Oberflächentemperatur des Messobjektes bestimmt werden.

Wiederum hätte eine exaktere Herleitung der Zusammenhänge den Rahmen dieses Artikels überstiegen. Die detaillierten Berechnungsschritte können bei Interesse bei den Autoren angefragt werden.

3.2 Fehlerkorrektur Thermographie

Das Ergebnis der entwickelten Korrekturmethode ist in Abb. 5 anhand eines Beispielgebäudes dargestellt. Hierbei wurde die dargestellte Original-Thermographie mittels des Thermographieauswerteprogramms Infratec IRBIS3 mit einem Emissionsgrad von 0,94 und einer Außentemperatur von 3°C korrigiert. Die Vergleichsaufnahme wurde nach den vorhergehend beschriebenen Kriterien bildwinkelabhängig korrigiert. Dabei zeigt sich im unteren Bereich, in dem die Auswirkung des Bildwinkels vernachlässigbar ist, eine Übereinstimmung bei der gemessenen Temperatur. Der Strahlungsaustausch ist hier auch bei der korrigierten Aufnahme bereits in der Umgebungstemperatur berücksichtigt. Im weiteren Verlauf des Bildes nach oben hin zeigt sich, dass durch die bildwinkelabhängige Korrekturmethode nun auch eine konstante Temperatur der Fassade (einen homogenen Fassadenaufbau vorausgesetzt) dargestellt wird. Bei einer ausreichend genauen Parametrierung unterstreicht dies die prinzipiell gute Funktionalität der entwickelten Methode.

Für die Befahrungsaufnahmen aus Essen erfolgte nach der oben genannten bildwinkelabhängigen Methode dann eine automati-

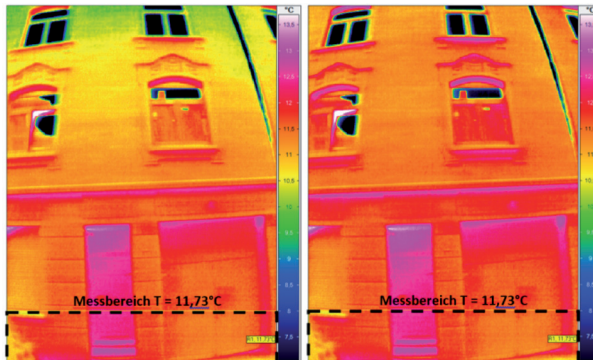


Abb. 5: Vergleich Originalaufnahme (links) mit ganzflächiger Emissionsgrad- und Umgebungstemperaturkorrektur (rechts).

sierte Korrektur der Thermographieaufnahmen. Dabei wurden die Thermographiedateien zunächst als ASCII-Dateien exportiert, mittels VBA-Skript eingelesen und dann pixelweise korrigiert. Die so korrigierten Dateien wurden dann, ebenfalls automatisiert, mittels eines Thermographieprogramms (InfraTec IRBIS3) als Bilddateien (jpeg) exportiert. Um die Vergleichbarkeit der Aufnahmen über das gesamte Befahrungsbereich zu gewährleisten, erfolgte die Farbskalierung nach den im vom Schweizer Bundesamt für Energie geförderten Forschungsprojekt *QualiThermo* entwickelten Kriterien (TANNER et al. 2011).

3.3 Matching

Die hochgenaue geometrische Aufbereitung der Thermographiebilder stellte sich als eine echte Herausforderung im Auswertungsprozess dar. Da in Ludwigsburg nur Einzelhäuser erfasst wurden, war hier eine manuelle Texturierung problemlos möglich. In Essen dagegen wurden mehrere vollständige Straßenzüge mit einer Vielzahl von Gebäuden erfasst, so dass hier eine automatisierte Texturierung angestrebt wurde.

Die Hauptschwierigkeit bestand zunächst darin, einzelne Parameter zur inneren Bildorientierung zu bestimmen. Als Neigungswinkel der Kamera war zudem ein Winkel von 15° mit einer Messgenauigkeit von $\pm 1^\circ$ angegeben. Für die lagegenaue Texturierung ist diese Ge-

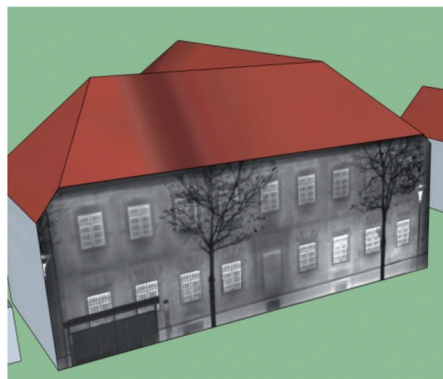
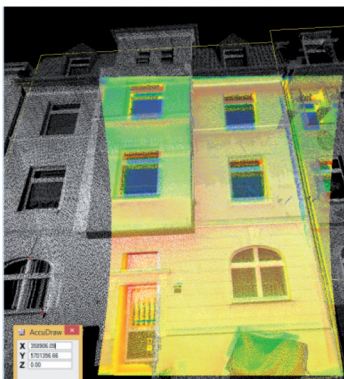


Abb. 6: Links: Matching der Thermographiedaten mit Laserpunktwolke aus Essen, rechts: Matching mit 3D-Gebäudemodell aus Ludwigsburg.

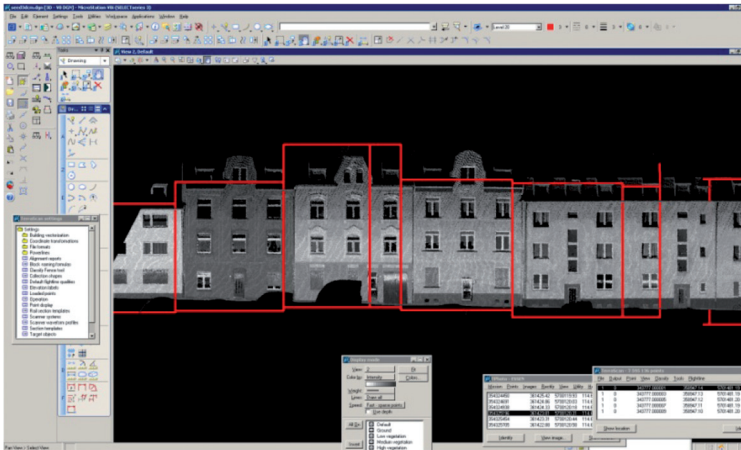


Abb. 7: Lageversätze im Bereich von mehreren Dezimetern zwischen den Laserpunkten und den Gebäudevektoren (roter Kasten = Gebäudefront aus dem 3D-Modell).

naugigkeit allerdings nicht ausreichend. Darüber hinaus führten Abschattungen innerhalb enger Straßenzüge oftmals zu ungenauen GPS-Signalen und somit zu Ungenauigkeiten in der Abbildung der Fahrttrajektorie. Zur Anpassung der Thermaldaten an das Höhensystem DHHN92 der Gebäudevektordaten wurde eine Geoid-Korrektur durchgeführt. Beispiele für das Ergebnis der Verarbeitung finden sich in Abb. 6.

Eine automatisierte Texturierung von ganzen Straßenzügen wies aufgrund der ungenauen GPS-Signale (RMS 0,15 m – 2 m) in einigen Teilen markante Lageversätze, d.h. fehlerhafte beziehungsweise ungenaue Gebäudetexturen, auf (siehe Abb. 7). Vor diesem Hintergrund wurden verschiedene Softwaretools (RhinoTerrain, TerraPhoto) zur teilautomatisierten Gebäudetexturierung getestet und eingesetzt. Insgesamt war der Arbeitsschritt der Georektifizierung der Bilddaten deutlich aufwendiger als erwartet, jedoch konnte die Texturierung der bereitgestellten 3D-Modelle letztendlich mit ausreichend guter Genauigkeit, d.h. mit Lageabweichungen von wenigen Zentimetern für Einzelgebäude, durchgeführt werden.

Trotz dieser Unsicherheiten führte das Matching der Thermographiedaten mit Laserpunkt- wolken beziehungsweise Gebäudemodellen zu aussagestarken Bildern. Fassadenelemente an Gebäudefronten sind aufgrund der sehr hohen

Punktdichte der Laserdaten klar erkennbar; zudem sind durch die Verknüpfung der 2D-Bild- informationen mit 3D-Laserpunkt- wolken bauphysikalische Zusammenhänge, wie beispielsweise Wärmestau unter Erkern oder Auskragungen, gut interpretierbar. Für die energetische Gebäudebetrachtung ist auch das Verhältnis von Fensterfläche zur Gesamtgebäudefläche relevant, da Fenster und Fassade in der Regel (erheblich) unterschiedliche Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Werte) aufweisen. Insofern liefert die Kenntnis der tatsächlichen Fensterflächenanteile einer Fassade genauere Ergebnisse bei einer Wärmebedarfsanalyse. Die Möglichkeiten der automatisierten Ableitung dieses oder weiterer Merkmale soll in weiteren Arbeiten tiefergehend analysiert werden.

Die Qualität der verwendeten 3D-Gebäude- modelle wurde darüber hinaus mit dem von der HFT Stuttgart im Rahmen anderer Projekte entwickelten Werkzeug „CityDoctor“ geprüft, welches geometrische und semantische Eigenschaften von Gebäudemodellen analysiert und gegebenenfalls heilen kann. Dabei wurde festgestellt, dass eine Reihe von Gebäuden nicht als geschlossene Volumenkörper modelliert sind und somit nicht für bauphysikalische Berechnungen verwendbar sind. Darüber hinaus wurden bei den bereitgestellten Gebäuden im LoD2 (Level of Detail) teilweise deutliche Abweichungen bei der Gebäudehöhe und insbesondere bei der Höhe des Übergangs zwischen

Fassade und Dach festgestellt, was ein automatisiertes Mapping von Fassadentexturen auf die Gebäudemodelle zumindest erschwert.

Hieraus ergibt sich, dass eine flächenhafte, automatisch prozessierbare Nutzung von 3D-Texturen für Visualisierungs- und Berechnungszwecke qualitätsgesicherte 3D-Gebäudemodelle mit zuverlässigen Eigenschaften voraussetzt.

3.4 Diskussion

Die Ausführungen beschreiben, dass die Interpretation von flächenhaft gewonnenen Fassadenthermographien ungleich schwieriger ist als beispielsweise die Interpretation von Dachthermographien, wie sie in Flugthermographieprojekten zur Erkennung von Wärmeverlusten über die Gebäudedächer von EUROSENSE mehrfach, unter anderem für die Stadt Essen, erfolgreich durchgeführt wurden.

Die Analyse der gewonnenen Daten bestätigt insgesamt in eindrucksvoller Weise die Notwendigkeit einer Datenerhebung zur Ersterfassung, Auffüllung und Korrektur der Daten, wie im Projekt WeBest konzipiert. Mit Hilfe des beschriebenen Korrekturverfahrens ist es möglich, für Gebäude Thermographieaufnahmen aus unterschiedlichen Datenquellen, die zudem unter unterschiedlichen und teilweise ungünstigen innerstädtischen Umgebungsbedingungen gewonnen worden sind, miteinander zu kombinieren und in einer konsistenten, homogenisierten Darstellung einem Gebäude des virtuellen 3D-Stadtmodells zuzuordnen. Allerdings bedarf es aufgrund deutlich geringerer Auflösungen luftgestützter Thermographieaufnahmen und im Vergleich zu Befahrungen klimatisch stark abweichender Aufnahmebedingungen noch weiterer Anstrengungen bei der automatisierten Korrektur der Thermographieaufnahmen.

Es muss auch festgehalten werden, dass Thermographiedaten in einigen Anwendungen nur eingeschränkt verwendet werden können, und zwar unabhängig davon, ob sie mit Hilfe des in diesem Artikel beschriebenen Korrekturverfahrens gewonnen wurden. Insbesondere gilt dies bezüglich der unvollständigen Abdeckung von gesamten Fassaden in

engen Straßenschluchten. Die Aufnahme lediglich der Frontseite, die Verschattung durch Autos, Bäume oder sonstige Gegenstände im Straßenraum sowie eine schwer automatisch durchführbare Aufteilung und Zuordnung der Fassadenthermographien zu einzelnen Gebäuden lassen die Bereitstellung und Nutzung der Aufnahmen in Verbindung mit dem 3D-Stadtmodell (zunächst) nur für ausgewählte Gebäude oder Straßenzüge zu.

Insbesondere in dicht und geschlossen bebauten Gebieten mit keinen oder nur wenigen Einzelgebäuden besteht die Herausforderung, dass in der Regel lediglich für eine oder wenige Fassaden mit Hilfe des Mobile Mappings Thermographiedaten gewonnen werden und alle rückseitigen Fassaden oder hinten liegenden Gebäudeteile oder Gebäude mit Hilfe einer Massenerfassung (vorerst) nicht erreicht werden können.

4 Ausblick (Nutzung der Ergebnisse)

Die erfassten und aufbereiteten Thermographieaufnahmen und ihre Zuordnung zu einzelnen Gebäuden dienen im Rahmen des Projekts WeBest neben der automatisierten Ableitung von bauphysikalischen Eigenschaften unter anderem dem Zweck, die Kommunikation mit Mietern und Besitzern von Wohneigentum als Zielgruppe zu unterstützen. Ein wesentlicher Bestandteil des Projekts WeBest besteht darin, Energieberechnungen und Simulationen auf der Grundlage von Informationen „aus erster Hand“ durchzuführen und dem Anwender live zur Verfügung zu stellen. Als Kommunikationswerkzeug wurde hierfür im Projekt ein BenchmarkingTool für die Benutzung auf PCs und Mobile Devices entwickelt (Abb. 8).

Mit Hilfe der korrigierten Thermographieaufnahmen kann dabei bei den Anwendern eine Sensibilisierung hinsichtlich des Themas Energiebedarf beziehungsweise Energieeinsparung erreicht werden. Die korrigierten Thermographieaufnahmen stellen eine Konsistenz der Daten über alle Gebäude sicher, so dass eine vergleichbare Darstellung von Gebäudequartieren oder Städten ermöglicht wird und Missverständnisse, beispielsweise bei unterschiedlicher Darstellung benachbarter Ge-

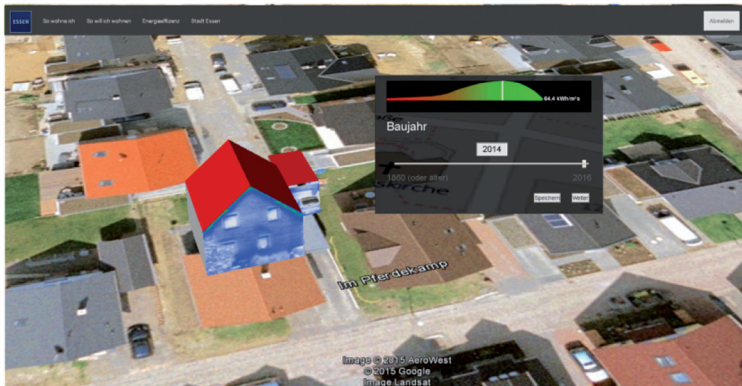


Abb. 8: WeBest BenchmarkingTool – Beispielgebäude mit Textur.

bäude, vermieden werden. Mit dem hier beschriebenen Korrekturverfahren kann dies erreicht werden.

Danksagung

Die dargestellten Ergebnisse wurden im Rahmen des von der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) geförderten Projektes “WeBest - Wärmebedarfsprognose von Gebäuden und Stadtquartieren“ erarbeitet.

Literatur

- BERNHARD, F., 2014: Handbuch der Technischen Temperaturmessung. – 2. Auflage, 2014, Springer Verlag, Berlin.
- BITELLI, G., CONTE, P., CSOKNYAI, T., FRANCI, F., GIRRELLI, V.A. & MANDICINI, E., 2015: Aerial Thermography für Energetic Modelling of Cities. – Remote Sensing **2015** (7): 2152–2170, doi:10.3390/rs70202152.
- BMW I, 2014: <https://www.bmwi-energiewende.de/EWD/Redaktion/Newsletter/2014/22/Meldung/hoher-energieverbrauch-des-gebauedesektor.html> (27.6.2016).
- DITTIÉ, G., 2013: Grundlagen der Bauthermographie. – Präsentation 22. und 23.10.2013, Technische Akademie Esslingen.
- EFFIZIENZHAUS, 2016: https://www.effizienzhaus-online.de/?utm_source=Wohnen&utm_medium=Advertorial&utm_campaign=150424_Wohnen_EK_Fruehjahr15_Advertorial (27.6.2016).
- ENERGIESPARRECHNER, 2016: <http://energiesparrechner.wuestenrot.de/index.php> (27.6.2016).
- EXPERTENTOOL, 2016: <https://tools.dena.de/index.php?id=237> (27.6.2016).
- FRAUNHOFER ISE, 1999: Aufstellung eines Leitfadens zur Anwendung der Infrarothermographie bei instationären Temperaturverhältnissen zur Feststellung versteckter Baufehler. – IR-Thermographie im Bauwesen, Stuttgart: Fraunhofer Informationszentrum RAUM und BAU.
- HEGARTY, J. & CARSWELL, J., 2009: SAMATS - Texture extraction explained. – The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Geoinformation Sciences **38** (5/W1).
- IWASZCZUK, D. & STILLA, U., 2010: Quality measures for textures extracted from airborne IR image sequences. – The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Geoinformation Sciences **38** (3A): 79–84, PCV 2010 – Photogrammetric Computer Vision and Image Analysis.
- TANNER, C., LEHMANN, B. & FRANK, T., 2011: Energetische Beurteilung von Gebäuden mit Thermographie und der Methode QualiThermo. – Bundesamt für Energie BFE, Bern, Schweiz.
- UVM, 2016: <http://www.uvm-systems.com> (27.6.2016)

Anschriften der Autoren:

B.Eng. M.Sc. DIRK MONIEN, Hochschule für Technik Stuttgart, Zentrum für Nachhaltige Energietechnik (zafh.net), D-70174 Stuttgart, Tel.: +49-711-8926-2781, e-mail: dirk.monien@hft-stuttgart.de

Dipl. Geogr. ROLF WILTING, EUROSENSE GmbH, Marie-Curie-Str. 3, D-53359 Rheinbach, Tel.: +49-2226-872800, e-mail: rolf.wilting@eurosense.com

Dr.-Ing. EGBERT CASPER, Hochschule für Technik Stuttgart, Geoinformatik, Schellingstr. 24, 70174 Stuttgart, e-mail: egypt.casper@hft-stuttgart.de

Manuskript eingereicht: Juni 2016
Angenommen: August 2016

Nachruf



Dr. rer. oec. Gunnar Rogwalder verstorben (1950 – 2016)

Am 11. Mai 2016 verstarb im Alter von nur 66 Jahren Dr. rer. oec. GUNNAR ROGWALDER, langjähriger Geschäftsführer und Vorstandsmitglied der Hansa Luftbild Gruppe in Münster. Wir verlieren mit ihm eine dem Geoinformationswesen besonders verbundene Führungspersönlichkeit mit großer unternehmerischer Kompetenz und außergewöhnlichem Charakter.

Sein besonderes Interesse galt stets der arabischen Welt. Mit einfühlsamer Durchsetzungsstärke und besonderer akquisitorischer Nachhaltigkeit machte er die Verbindungen in den Nahen Osten zur Chefsache. Seine hohe interkulturelle Kompetenz, gepaart mit besonde-

ren sprachlichen und verhandlungsorientierten Fähigkeiten, führten zu fruchtbaren Geschäftsbeziehungen mit hochrangigen Vertretern in mehreren arabischen Ländern.

Zu seinen herausragenden Leistungen zählte die Akquisition von drei Großprojekten zur Absteckung, Vermarkung, Vermessung und Dokumentation internationaler Grenzen. Es waren dies zunächst die Grenzprojekte zwischen Saudi Arabien und Oman sowie zwischen Oman und Jemen. Unter Begleitung und enger Kontrolle durch Regierungsvertreter der beteiligten Staaten wurden beide Projekte bis 1996 erfolgreich abgeschlossen. Die Vermessung und Vermarkung der internationalen Grenze zwischen dem Königreich Saudi Arabien und der Republik Jemen von 2000 – 2005 dürfte mit dem Projektabschluss und der Anerkennung der Dokumentation durch die UN als Höhepunkt des unternehmerischen Schaffens von GUNNAR ROGWALDER anzusehen sein. So wie er selbst stets ein Faible für die arabische Welt hatte, so brachten ihm auch die arabischen Geschäftsfreunde Ehrerbietung im besten Sinne des Wortes entgegen.

ROGWALDER wurde am 14.5.1950 in Essen-Kettwig geboren. Nach dem Studium der Wirtschaftswissenschaften an der Ruhr Universität Bochum promovierte er ebendort 1978. Von 1979 bis 1984 war er zunächst in verschiedenen Funktionen als internationaler Manager bei Firmen der Klöckner Gruppe in Duisburg tätig. Für seinen weiteren beruflichen Werdegang war dort der vertrauensvolle Kontakt mit seinem Mentor, Freund und berufsbegleitenden Förderer, Dr. OTMAR FRANZ,

Mitglied des Konzernvorstandes, prägend. 1985 übernahm GUNNAR ROGWALDER die kaufmännische Geschäftsführung der Hansa Luftbild GmbH, an der damals die Klöckner Beteiligungsgesellschaft noch beteiligt war. Eine Gesellschaft, die bereits starke Impulse für internationale Vorhaben in Afrika, Nah- und Fernost neben den bestehenden europäischen Kernmärkten hatte. Nach einem kurzen Gastspiel von 1996 – 1998 als Geschäftsführer einer Tochtergesellschaft der STRABAG AG kehrte er an seinen Platz in Münster zurück, wo er nach kurzer Zeit Vorstandsvorsitzender der zur AG gewachsenen Hansa Luftbild ernannt wurde.

Unter der Leitung des Zweimetermannes ROGWALDER folgten Erwerb und Gründung von Beteiligungsgesellschaften in den Niederlanden, in Spanien und Portugal, Südost-Europa sowie Niederlassungen auf der arabischen Halbinsel, wo er später als CEO der Hansa Luftbild Arabia E.C. in Bahrain wirkte. Für internationale Projekte, etwa in Nigeria und Thailand, forcierte und pflegte er die vertrauensvolle Koordination mit der Klöckner-Gruppe, wie auch die mit der Lufthansa.

GUNNAR ROGWALDER war eine Führungspersönlichkeit, die ihrer großen Verantwortung in einer ruhigen und wirksamen Weise gerecht wurde. Ihm wurde innerhalb und außerhalb

der Firma große Hochachtung entgegen gebracht. In dieser Schaffensphase realisierte er für die von ihm geführte Unternehmensgruppe die anspruchsvollen Führungsprinzipien der Zielorientierung, Verlässlichkeit, Glaubwürdigkeit und des Teamzusammenhalts. Prägend für sein Umfeld war seine natürliche Freundlichkeit gegenüber Kunden, Mitarbeitern und Kooperationspartnern. Er verstand es, dort zu integrieren, wo andere spalten.

Wann immer er konnte, nahm er sich Zeit für seine Ehrenämter in der Industrie- und Handelskammer, im Bereich Außenhandel und mit hohem Engagement im Industrie Pensions Verein. Jugendförderung war ihm ein großes Anliegen, was er mit verständlichen Vorträgen in den Wirtschafts-AGs des städtischen Johann-Conrad-Schlaun Gymnasiums in Münster gern unterstützte.

In tiefer Betroffenheit trauern wir gemeinsam mit den Hinterbliebenen und Freunden um unser ehemaliges Vorstandsmitglied.

Im Namen aller aktiven und ehemaligen Mitarbeiter.

Der Gesellschafter und Vorstand der Hansa Luftbild AG

OTMAR SCHUSTER
PAUL HARTFIEL
WERNER SCHEPER

Ausschreibungen



DGPF
Deutsche
Gesellschaft für
Photogrammetrie,
Fernerkundung und
Geoinformation e.V.



OVG
Österreichische
Gesellschaft für
Vermessung und
Geoinformation

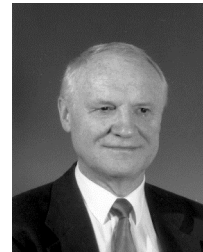


SGPF
Schweizerische
Gesellschaft für
Photogrammetrie und
Fernerkundung

Karl-Kraus-Nachwuchsförderpreis 2017 für Photogrammetrie, Fernerkundung und Geoinformation (Karl Kraus Young Scientists Award 2017)

Zielsetzungen

Der Karl-Kraus-Nachwuchsförderpreis ist ein Preis zur Förderung des wissenschaftlich-technischen Nachwuchses auf den Gebieten der Photogrammetrie, Fernerkundung und Geoinformation sowie ihrer Nachbardisziplinen. Durch den Förderpreis sollen herausragende Diplom-, Bachelor- oder Master-Arbeiten ideell gewürdigt, finanziell honoriert und einer größeren Öffentlichkeit bekannt gemacht werden. Außerdem wird die besondere fachliche Qualifikation der Preisträger herausgestellt.



Der Nachwuchs-Förderpreis wird seit 2003 gemeinsam durch die drei beteiligten Gesellschaften vergeben. Seit 2006 erinnert der Wettbewerb an O. Univ. Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. Karl Kraus (23.4.1939 – 5.4.2006), dem die Ausbildung von Studierenden und die theoretische Forschung im Spannungsfeld von Hochschule und Praxis ein besonderes Anliegen war.

Vergabe des Preises

Die Verleihung des Preises erfolgt grundsätzlich im Rahmen der wissenschaftlich-technischen Jahrestagung der DGPF, die im nächsten Jahr vom 8. bis zum 10. März 2017 in Würzburg stattfinden wird.

Die Preisgelder betragen pro Nachwuchsförderpreis

1. Preis: € 1500.-
2. Preis: € 1000.-
3. Preis: € 500.-

Bewerbungen für den Karl-Kraus-Nachwuchsförderpreis können bis zum **31. Oktober 2016** eingereicht werden. Weitere Informationen zum Karl-Kraus-Nachwuchsförderpreis 2017 findet man unter <http://www.dgpf.de>.

GEMEINSAME KOMMISSION „3D STADTMODELLE“

der Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie, Fernerkundung und Geoinformation (DGPF) und der Deutschen Gesellschaft für Kartographie (DGfK)

Die gemeinsame Kommission „3D-Stadtmodelle“ der Deutschen Gesellschaft für Kartographie e.V. (DGfK) und der Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie, Fernerkundung und Geoinformation (DGPF) prämiiert zur Nachwuchsförderung die beste studentische Abschlussarbeit zum Thema 3D-Stadtmodelle in 2016!

Der Preisträger nimmt an der „28th International Cartographic Conference“ vom 2. bis zum 7. Juli 2017 in Washington, D.C., USA teil. Die Kommission übernimmt dabei alle Tagungsgebühren und gewährt zusätzlich einen Reisekostenzuschuss im Wert von 2.000,- €. Zudem erscheint ein vom Gewinner verfasster Reisebericht in den Fachzeitschriften „PFG – Photogrammetry, Remote Sensing, Geoinformation Science“ und „Kartographische Nachrichten“.

Mit dem Wettbewerb möchte die Kommission „3D-Stadtmodelle“ junge Menschen anspornen, sich in ihrem Studium besonders zu engagieren und dazu ermutigen, sich mit dem Themenkomplex 3D-Stadtmodelle zu beschäftigen.

Teilnahmebedingungen

- Teilnahmeberechtigt sind Studierende (Bachelor- oder Master-Studiengang) sowie Absolventinnen und Absolventen deutschsprachiger Hochschulen (D, A, CH). Für die Prämierung können Arbeiten eingereicht werden, deren Abgabedatum in der Zeit vom 1. September 2015 bis zum 30. Oktober 2016 liegt.
- Studierende bewerben sich mit einem Artikel, in dem die Hauptaussagen und Ergebnisse der Arbeit allgemeinverständlich dargestellt werden und der für eine lokale Tageszeitung geeignet wäre. Der Umfang des Artikels soll eine DIN A4-Seite nicht übersteigen.
- Zusätzlich muss ein Gutachten der betreuenden Professorin / des betreuenden Professors (alternativ das Abschlusszeugnis) und ein Exemplar der Arbeit mit eingereicht werden.

Die Einreichung der Bewerbungsunterlagen erfolgt per E-Mail (pdf-Format). Alle Unterlagen sind spätestens zum 30.11.2016 einzureichen.

Die Benachrichtigung des Gewinners erfolgt bis zum 15.1.2017.

Ansprechpartner

Prof. Dr. Volker Coors
HFT Stuttgart
volker.coors@hft-stuttgart.de

Datenschutz

Die Kommission 3D-Stadtmodelle versichert, dass die ihr überlassenen Unterlagen ausschließlich zum Zwecke der Prämierung genutzt werden.

Über die “International Cartographic Conference”

The Cartography and Geographic Information Society (CAGIS) invites the world of cartography and GIS to come to Washington, DC, July 2 to 7, 2017 for the 28th International Cartographic Conference of the International Cartographic Association. The National Galleries of Art, the Smithsonian Institution, the National Geographic Society, and the Library of Congress will all play a role in this conference.

Website: <http://icc2017.org/>

Veranstaltungskalender

2016

26. – 29. September: **SPIE Remote Sensing 2016** in **Edinburgh**, UK. spie.org/conferences-and-exhibitions/remote-sensing

25. – 28. September: **ICIP 2016 – International Conference on Image Processing 2016** in **Phoenix**, USA. ieeicip2016.org

4. – 7. Oktober: **SIBGRAPI – Conference on Graphics, Patterns and Images 2016** in **São José dos Campos**, Brasilien. gibis.unifesp.br/sibgrapi16

10. – 16. Oktober: **ECCV 2016 – European Conference on Computer Vision 2016** in **Ams-terdam**, Niederlande. eccv2016.org

11. – 13. Oktober: **Intergeo 2016** in **Hamburg**. intergeo.de

16. – 17. Oktober: **GeoAdvances 2016 – ISPRS Workshop on Multi-dimensional & Multi-scale Spatial Data Modeling** in **Istanbul**, Türkei. geoadvances.org/

8. – 11. November: **ICPR 2016 – International Conference on Pattern Recognition 2016** in **Cancun**, Mexiko. icpr2016.org

1. – 2. Dezember: **3D-NordOst 2016** in **Berlin-Adlershof**. 3d-nordost.de

2017

1. – 2. Februar 2017: **Oldenburger 3D Tage** in **Oldenburg**. jade-hs.de/fachbereiche/bauwesen-und-geoinformation/geoinformation/oldenburger-3d-tage

6. – 9. Juni 2017: **ISPRS Hannover Workshop** mit HRIGI17 – High-Resolution Earth Imaging for Geospatial Information, CMRT17 – City Models, Roads and Traffic und EuroCOW – European Calibration and Orientation Workshop. www.ipi.uni-hannover.de/hrigi17.html

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

Korporative Mitglieder

Firmen

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

Behörden

Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft
 Bundesamt für Kartographie und Geodäsie
 Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und
 Verbraucherschutz
 DB Netz AG
 Hessisches LA für Bodenmanagement und Geoinforma-
 tion
 Innenministerium NRW, Gruppe Vermessungswesen
 Institut für Umwelt- und Zukunftsforschung
 LA für Digitalisierung, Breitband, Vermessung und
 Geoinformation, Bayern
 LA für Geoinformation und Landentwicklung, BW
 LA für Vermessung und Geoinformation, Schleswig-Holstein

LB Geoinformation und Vermessung, Hamburg
 LB für Küstenschutz, Nationalpark und Meeresschutz, SH
 Landeshauptstadt Düsseldorf, Vermessungs- und Liegen-
 schaftsamt
 Landesvermessung und Geobasisinformation Nieder-
 sachsen
 Märkischer Kreis, Vermessungs- und Katasteramt
 Regierungspräsident Tübingen, Abt. 8 Forstdirektion
 Regionalverband Ruhr
 Staatsbetrieb Sachsenforst
 Stadt Köln, Amt für Liegenschaften, Vermessung und
 Kataster
 Stadt Wuppertal, Vermessung, Katasteramt und Geodaten
 Thüringer LA für Vermessung und Geoinformation
 Zentrum für Geoinformationswesen der Bundeswehr

Hochschulen

BTU Cottbus, Lehrstuhl für Vermessungskunde
 FH Frankfurt a.M., FB 1, Studiengang Geoinformation
 FH Mainz, Institut für Raumbezogene Informations- und
 Messtechnik
 HCU HafenCity Universität Hamburg, Geomatik
 HFT Stuttgart, Vermessung und Geoinformatik
 HS Bochum, FB Vermessung und Geoinformatik
 HS Karlsruhe für Technik und Wirtschaft, Fakultät für
 Geomatik
 HTW Dresden, FB Vermessungswesen/Kartographie
 Jade Hochschule, Institut für Angewandte Photogramme-
 trie und Geoinformatik
 LUH Hannover, Institut für Kartographie und Geoinformatik
 LUH Hannover, Institut für Photogrammetrie und Geoin-
 formation
 MLU Halle, FG Geofernerkundung
 Rhein Ahr Campus, Anwendungszentrum für multimo-
 dale und luftgestützte Sensorik
 Ruhr-Uni Bochum, Geographisches Institut
 RWTH Aachen, Geodätisches Institut
 TU Bergakademie Freiberg, Institut für Markscheidewe-
 sen und Geodäsie
 TU Berlin, Computer Vision & Remote Sensing
 TU Berlin, Institut für Geodäsie und Geoinformations-
 technik
 TU Braunschweig, Institut für Geodäsie und Photogram-
 metrie
 TU Clausthal, Institut für Geotechnik und Markscheide-
 wesen
 TU Darmstadt, Institut für Geodäsie, FG Fernerkundung
 und Bildanalyse
 TU Dresden, Institut für Photogrammetrie und Ferner-
 kundung
 TU München, FG Photogrammetrie und Fernerkundung
 TU München, Lehrstuhl für Geoinformatik
 TU Wien, Departement für Geodäsie und Geoinformation
 Uni Bonn, Institut für Photogrammetrie
 Uni Göttingen, Abt. Waldinventur und Fernerkundung
 Uni Heidelberg, IWR Interdisziplinäres Zentrum für
 Wissenschaftliches Rechnen
 Uni Kassel, FG Grünlandwissenschaften und Rohstoffe
 Uni Kiel, Geographisches Institut
 Uni Stuttgart, Institut für Photogrammetrie
 Uni Trier, Institut für Umweltfernerkundung und Geoin-
 formatik
 Uni Würzburg, Geographisches Institut
 Uni zu Köln, Geographisches Institut