

HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

Conference Proceedings, Published Version

Bundesanstalt für Gewässerkunde (Hg.)

Wasserstraßenbezogene geodätische Anwendungen und Produkte der Fernerkundung. Kolloquium am 18./19. November 2014 in Koblenz

BfG-Veranstaltungen

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/107653>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Bundesanstalt für Gewässerkunde (Hg.) (2015): Wasserstraßenbezogene geodätische Anwendungen und Produkte der Fernerkundung. Kolloquium am 18./19. November 2014 in Koblenz. Koblenz: Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG-Veranstaltungen, 2/2015). http://doi.bafg.de/BfG/2015/Veranst2_2015.pdf.

Standardnutzungsbedingungen/Terms of Use:

Die Dokumente in HENRY stehen unter der Creative Commons Lizenz CC BY 4.0, sofern keine abweichenden Nutzungsbedingungen getroffen wurden. Damit ist sowohl die kommerzielle Nutzung als auch das Teilen, die Weiterbearbeitung und Speicherung erlaubt. Das Verwenden und das Bearbeiten stehen unter der Bedingung der Namensnennung. Im Einzelfall kann eine restriktivere Lizenz gelten; dann gelten abweichend von den obigen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Documents in HENRY are made available under the Creative Commons License CC BY 4.0, if no other license is applicable. Under CC BY 4.0 commercial use and sharing, remixing, transforming, and building upon the material of the work is permitted. In some cases a different, more restrictive license may apply; if applicable the terms of the restrictive license will be binding.

Verwertungsrechte: Alle Rechte vorbehalten

2/2015

Veranstaltungen

Wasserstraßenbezogene geodätische Anwendungen
und Produkte der Fernerkundung

Kolloquium am 18./19. November 2014 in Koblenz

Koblenz, März 2015

Impressum

Herausgeber: Bundesanstalt für Gewässerkunde
Am Mainzer Tor 1
Postfach 20 02 53
56002 Koblenz
Tel.: +49 (0)261 1306-0
Fax: +49 (0)261 1306 5302
E-Mail: posteingang@bafg.de
Internet: <http://www.bafg.de>

Druck: Druckerei des BMVI, Bonn

ISSN 1866 – 220X

DOI: 10.5675/BfG_Veranst_2015.2

URL: http://doi.bafg.de/BfG/2015/Veranst2_2015.pdf

Zitiervorschlag:

Bundesanstalt für Gewässerkunde (Hrsg.): Wasserstraßenbezogene geodätische Anwendungen und Produkte der Fernerkundung. Kolloquium am 18./19. November 2014 in Koblenz. – Veranstaltungen 2/2015, Koblenz, März 2015, 108 S.;

DOI: 10.5675/BfG_Veranst_2015.2

URL: http://doi.bafg.de/BfG/2015/Veranst2_2015.pdf

Inhalt

Einführung.....	4
UAS – neue Potenziale der Fernerkundung	
Görres Grenzdörffer und Ralf Bill	5
UAS-Einsatz zur DGM-Aktualisierung	
Manfred Gültlinger.....	11
Nutzungspotenziale der Radarinterferometrie zur Detektion von Bodenbewegungen im Umfeld von Bundeswasserstraßen	
Wolfgang Busch.....	18
Ableitung von Flussvorlandrauheiten aus Laserdaten für die hydrodynamisch-numerische Modellierung	
Stefan Hinz, Boris Jutzi, Andreas Kron, Jens Leitloff, Mark Musall, Franz Nestmann und Herbert Brockmann.....	28
Evaluierung der flugzeuggestützten interferometrischen Radartechnik zur Erfassung von Watt- und Küstenvorlandflächen	
Andreas Haase, Holger Dirks und Ulrike Schiller	35
Erprobung der Laserbathymetrie an der Bundeswasserstraße Elbe	
Robert Weiß	44
Einsatz der Laserbathymetrie im Küstenbereich	
Thomas Dehling.....	54
Dense Image Matching vs. Airborne Laser Scanning – Gegenüberstellung zweier Methoden zur Ableitung von Geländeflächen	
Gottfried Mandlbürger, Camillo Ressler und Werner Mücke	60
Bildflüge der Landesvermessung unter effektiven und effizienten Gesichtspunkten	
Sven Baltrusch	67
Hochwasser Juni 2013: Scheiternahe photogrammetrische Ereigniserfassung und Datenmodellierung	
Thore Kiski	74
Oberflächentemperaturen aus der Luft – Thermische Infrarotmessungen an Rhein und Tideelbe	
Katharina Fricke und Björn Baschek	79
Infrastruktur eines modernen Kartenwesens in der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung	
Michael Seifert.....	87
Qualitätssicherung in der Vermessungsverwaltung	
Michael Hovenbitzer.....	96
Potenziale des nationalen Copernicus-Programms	
Alexandra Mause	101

Einführung

Geodatenprodukte der Fernerkundung wie Digitale Geländemodelle, Wasserspiegellagen von Hochwasserereignissen oder Thermalkartierungen gewinnen zur Bearbeitung vielfältiger Aufgabenstellungen wie der Gewässerkunde, des Wasserbaus oder der Ökologie vermehrt an Bedeutung. Verfügbare Trägersysteme:

- Unmanned Aerial Systems (UAS),
- Flugzeuge,
- Satelliten,

verbunden mit den aktuellen Sensorsystemen:

- Digitalkameras,
- Laserscanner,
- Synthetic Aperture Radar,

zeigen neue fachliche und wirtschaftliche Lösungen an. Dies gilt für klein- bis großräumige, hoch auflösende Datenerfassungen von Zuständen und Veränderungen. Letztendlich ist das Ziel die anforderungsgerechte Bereitstellung von gewässerrelevanten Geobasis- und Geofachdaten.

Auf der Veranstaltung wurden aktuelle Entwicklungen, Realisierungen und Nutzerprodukte mit Gewässerbezug vorgestellt und diskutiert. Sie richtete sich vor allem an Nutzer und Produzenten von Geodaten in der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung, aber auch entsprechender Bundes- und Länderverwaltungen der weiteren Verkehrsträger, der Geodäsie, der Wasserwirtschaft oder des Katastrophenschutzes sowie entsprechende Forschungsinstitutionen.

UAS – neue Potenziale der Fernerkundung

Görres Grendörffer und Ralf Bill

1 Einleitung

Der Einsatz unbemannter Luftfahrtsysteme (Unmanned Aerial Systems, UAS) für Geoanwendungen hat in den letzten Jahren eine rasche Verbreitung gefunden. Das liegt einerseits daran, dass die dafür notwendigen Fluggeräte in der Lage sind, ein Gebiet mehr oder weniger autonom systematisch abzufliegen, und andererseits hat sich die hochgenaue automatisierte photogrammetrische Auswertung der Bilddaten wesentlich verbessert. In Abhängigkeit der Präzision der Passpunkte und der Bodenauflösung lassen sich durchaus Genauigkeiten im Zentimeterbereich erzielen, jedoch nur mit entsprechend betriebenem Aufwand und photogrammetrischer Expertise. Allerdings gibt es noch keine verbindlichen Standards oder Richtlinien, was die Qualität der Ergebnisse anbelangt.

Mit UAS-Photogrammetrie ist es möglich, sehr flexibel bildbasierte Geodaten kleiner Gebiete zu erzeugen und biologische, geomorphologische oder auch anthropogene Prozesse, wie z. B. den Baufortschritt an einem Deich, das Wachstum von Pflanzen, die Entwicklung von Verlandungen oder auch die Auswirkungen eines lokalen Dammbrochs zu dokumentieren, auszuwerten und zu analysieren. Zudem sind UAS gegenüber dem Flugzeug nahezu wetterunabhängig, da sie unter den Wolken fliegen können (GRENZDÖRFFER & BILL 2010).

Mittlerweile wächst das Thema über den Einsatz in Forschungseinrichtungen hinaus und mehrere Start-up-Firmen und spezialisierte Unternehmen bieten erste Dienstleistungen an. Auch in Behörden wird über die Anschaffung solcher Geräte nachgedacht.

2 Rechtliche Rahmenbedingungen

Worauf gründet sich die bestehende Regulierung und was darf man heutzutage? Rechtlich einschlägig ist die Luftverkehrsordnung (LuftVO), (§16 Abs. 1 Nr. 7., sowie § 15a Abs. 3). Diese wurde am 18.1.2010 geändert, wobei kurz zusammengefasst folgende Regeln gelten:

- > Im kontrollierten Luftraum ist der Betrieb grundsätzlich verboten, und nur in den zumeist militärischen Flugbeschränkungsgebieten oder unter NOTAM, d. h. exklusiver Luftraumnutzung, kann es Ausnahmen geben.
- > Im unkontrollierten Luftraum (Luftraum (F)-G) sind erlaubnispflichtige Flüge bei einer maximalen Abflugmasse (MTOW) < 25 kg und im Sichtbereich des Piloten etc. möglich (Präventiver Erlaubnisvorbehalt) (LuftVO § 16, Abs. 7). Größere UAS mit einem Gewicht > 25 kg und Flüge außerhalb des Sichtbereichs sind grundsätzlich verboten. Ausnahmen sind grundsätzlich möglich (Repressives Verbot).

Die Abgrenzung zwischen erlaubnisfreiem und erlaubnispflichtigem Flug für Fluggeräte < 25 kg ist der Zweck des Flugs, d. h. ein Flug mit einem UAS, der Sport und Freizeit dient, wird als Modellflug definiert und ist somit erlaubnisfrei. Wenn das gleiche Fluggerät kommerziell oder für wissenschaftliche Zwecke eingesetzt wird, ist der Flug erlaubnispflichtig.

Die Umsetzung der LuftVO erfolgt in der Bundesrepublik Deutschland durch die Landesluftfahrtbehörden. Nach einer erschwerten Anfangsphase gibt es auf der Basis einer nicht bindenden Empfehlung des BMVBS (NFL 161/12) ab Mitte 2012 zwei Klassen von Erlaubnissen, die in den meisten Bundesländern auch 1:1 umgesetzt wird:

1. Allgemeinerlaubnis für < 5 kg Gesamtmasse

Die Erlaubnis gilt für Flüge innerhalb der Sichtweite und beliebige Orte innerhalb des Zuständigkeitsbereichs der jeweiligen (Landes)Luftfahrtbehörde, aber nicht über Menschenansammlungen, Unglücksorten, Katastrophengebieten, Justizvollzugsanstalten, Industrieanlagen, Kraftwerken, militärischen Anlagen, außer der Auftraggeber erlaubt es! Es ist eine Anmeldung eines Flugs innerhalb geschlossener Bebauung beim Ordnungsamt oder der Polizei notwendig. Die Erlaubnis ist maximal 3 Jahre gültig und die Kosten liegen bei 50 bis 200 € (pro Behörde bzw. Bundesland). Die maximal erlaubte Flughöhe liegt bei 100 m (Ausnahmen bis 300 m). Die Verwendung von GPS und Wegpunktnavigation ist in Sichtweite erlaubt.

2. Einzelerlaubnis für > 5 kg oder Verbrennungsmotor oder über gefährlichem Gebiet

Die Erlaubnis ist begrenzt auf einen oder mehrere Orte. Für Einsätze „mit erhöhtem Gefährdungspotenzial“ hat der Steuerer eine Befähigung und die Erfüllung der technischen Anforderungen nachzuweisen. Mehrere Orte oder längere Zeiträume sind möglich.

Mit diesen Regeln liegt die Bundesrepublik innerhalb Europas im Mittelfeld, d. h. die Regeln schränken die freie Nutzung des Luftraums durch UAS zwar ein, aber die Anforderungen an das Luftfahrtgerät und die Qualifikation des Steuerers sind moderat (GRENZDÖRFFER 2013).

3 Potenziale von UAS zur Geodatenerfassung

Im Nachfolgenden soll anhand von zwei Projektbeispielen der Professur für Geodäsie und Geoinformatik das Potenzial von UAS im Bereich Wasserbau und Naturschutz verdeutlicht werden.

3.1 Projekt „Lühesand“

Das Projekt „Lühesand“ wurde in Zusammenarbeit mit der Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) durchgeführt. Ziel der Untersuchungen war es herauszufinden, inwieweit UAS-Befliegungen eine alternative Vermessungsmethode zur Bestimmung von Veränderungen des Deckwerks an schwer zugänglichen Uferbereichen darstellen. Als Beispiel wurde ein 150 m langes Teilstück des Deckwerks auf der Elbinsel Lühesand gewählt (Abb. 1).

Veränderungen am Deckwerk können durch Gezeiten (Ebbe und Flut), Unwetter und den Wellenschlag vorbeifahrender Schiffe verursacht werden. Hinzu kommen während der Wintermonate Eisschollen und Treibeis, die die Uferbereiche beeinflussen. Die nördliche Elbe ist als stark befahrene Bundeswasserstraße mit dem Zugang zum Hamburger Hafen besonderen Belastungen ausgesetzt. Vor diesem Hintergrund bestehen die schützenden Deckwerke der

Uferzonen z. B. aus losen bzw. teilweise vergossenen Steinaufschüttungen (Abb. 1). Die verwendeten Steine sind sehr kantig und haben augenscheinlich einen Durchmesser von etwa 5-30 cm.

Geflogen wurde mit der MD4-1000 der Firma Microdrones und der 12 MP Digitalkamera Olympus PEN E-P2. Um auch kleinste Veränderungen an einzelnen Steinen beobachten und quantifizieren zu können, wurde eine Flughöhe von 20 m gewählt. Daraus resultiert eine Bodenauf Auflösung von 5 mm/Pixel.



Abb. 1: Flugplanung für Projekt „Lühesand“, Flughöhe 20 m (Quelle Hintergrundbild: Google Earth)

Um Veränderungen an der Erdoberfläche zu erkennen, wird ein Vergleich von zwei zeitlich unterschiedlichen Flugepochen durchgeführt. Zu diesen Zwecken wurde ein lokales Festpunktfeld bestehend aus 4 vermarkten Standpunkten erzeugt und tachymetrisch hochgenau vermessen. Diese Festpunkte bilden die Basis für die Vermessung der ausgelegten Marken. Abbildung 2 gibt einen Überblick über die entstandenen Orthophotos der beiden Epochen anhand eines Ausschnitts sowie die Differenz der Oberflächenmodelle.

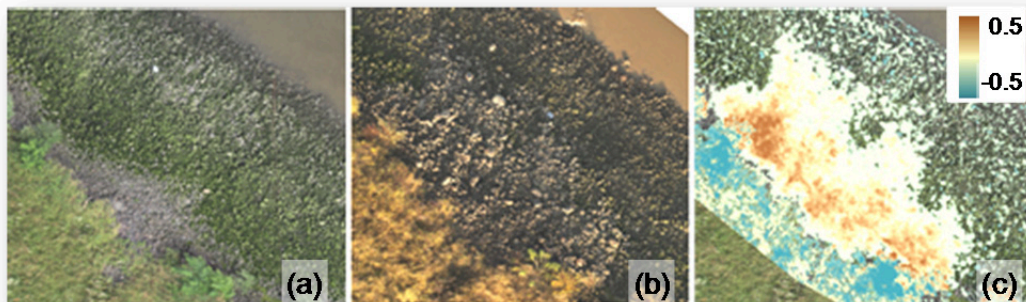


Abb. 2: Gegenüberstellung der beiden Epochen für das Projekt „Lühesand“, a) Epoche 1, b) Epoche 2, c) Differenz der Oberflächenmodelle beider Epochen

Die erste Befliegung (Epoche 1, Abb. 2a) fand am 01.08.2012 bei idealen Wetterbedingungen statt (wenig bis gar kein Wind, wolkenloser Himmel, hochstehende Sonne). Der zweite Flug (Epoche 2, Abb. 2b) fand am 15.11.2012 bei ebenfalls sehr guten Wetterbedingungen statt, jedoch stand die Sonne jahreszeitbedingt sehr tief. Das führt dazu, dass die Bilder etwas brauner bzw. dunkler erscheinen. Nach der Subtraktion der beiden Digitalen Geländemodelle ergeben sich Höhenunterschiede (vgl. Abb. 2c). Deutliche Differenzen bis zu 25 cm sind als Senkung in die Vegetationsbereichen zu interpretieren. Das Deckwerk an sich weist hingegen – bis auf eine etwas größer deformierte Zone (Abb. 2c) – erwartbare Schwankungen auf.

Zusammenfassend kann an dieser Stelle festgehalten werden, dass die ausgewerteten UAS-Aufnahmen ihren Zweck erfüllt haben und eine detaillierte und steingenaue Vermessung möglich ist. Aufgrund des engen tidebeeinflussten Zeitfensters und der rechtlichen Rahmenbedingungen (Sichtflug) sind die Flächenleistungen beschränkt.

3.2 Projekt „Makrophytenerkennung“

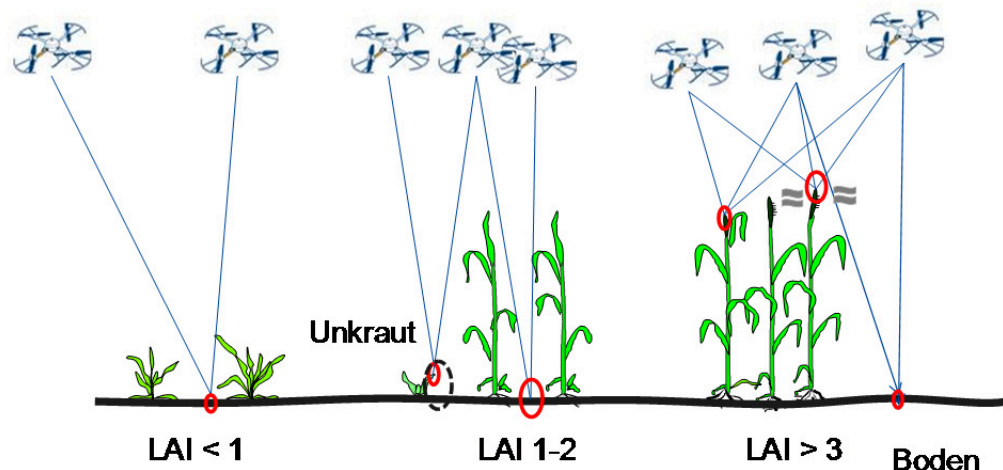
Laut Planfeststellungsbeschluss der WSD Nord vom 23. April 2012 müssen gemäß Anlage 1 Ziffer 4.2 an jeweils 3 Messstellen in Niedersachsen und Schleswig-Holstein im Bereich der Trübungszone in Ergänzung der WRRL-Monitoringaktivitäten jährlich Makrophyten untersucht werden, bis 12 Jahre nach Ausbau. Entsprechend sind auch die dort genutzten Methoden zur Datenermittlung und -auswertung anzuwenden. Neben diesen 6 Standorten werden noch weitere 3 Messstellen in „exponierten Bereichen“ zur Erfassung von Veränderungen von Wellenschlag gefordert.

Im Rahmen eines von der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) geförderten Projekts sollen Luftbildaufnahmen von unbemannten Luftfahrtsystemen (UAS) für eine lagegenaue flächenhafte Erfassung der Pflanzenbestände verwendet werden. Die UAS-Befliegungen sollen zudem im Zusammenhang mit der Vermessung der Topographie zur Ableitung von Erosions- und Sedimentationstendenzen flächenhafte Informationen liefern. Im Zusammenspiel mit DGPS-vermessenen Punkten sind hochgenaue Geländemodelle zur Ableitung von Erosions- bzw. Sedimentationstendenzen und Habitatveränderungen zu erstellen. Um die genannten Prozesse zu dokumentieren und analysieren, sind mehrere Befliegungen zu verschiedenen phänologischen Zeitpunkten notwendig, die zudem räumlich hochgenau georeferenziert sein müssen.

Das Forschungsprojekt hält logistische und technologische Herausforderungen bereit. Bei der Logistik ist die Begrenzung der Befliegungen durch zeitlich enge Befliegungsfenster das Hauptproblem. Befliegungen können nur bei Niedrigwasser und geeigneten Licht- und Witterungsverhältnissen durchgeführt werden. Während die Zeitfenster für UAS-Befliegungen gegenüber klassischen Luftbildbefliegungen generell wesentlich größer sind, da auch unter Wolken geflogen werden kann, bzw. kurze sonnige Abschnitte ausgenutzt werden können, stellt der Wind in Küstennähe in Kombination mit der Tide ein nicht zu unterschätzendes Problem dar.

Technologisch gesehen sind bei der photogrammetrischen Höhenbestimmung von Vegetationsoberflächen zusätzlich zwei Besonderheiten zu beachten:

1. Für erfolgreiches Matching aus mehreren Bildern bzw. eine hochgenaue Positionsbestimmung ist es unabdingbar, dass sich die betrachteten Objekte während der Bildaufnahme nicht bewegen. Das kann bei den zu untersuchenden Flächen nicht ausgeschlossen werden. Gerade bei Röhricht oder Schilf reicht schon wenig Wind, um Probleme zu verursachen.
2. Während die Vegetationsoberfläche bei gröber aufgelösten Daten relativ homogen erscheint, weil innerhalb eines Pixels mehrere Pflanzen und der durch sie geworfene Schatten zu einem Signal verschmelzen (Canopy Level), wird bei Bodenaufösungen von wenigen cm die einzelne Pflanze, der durch sie geworfene Schatten und der Boden dazwischen aufgelöst (Leaf Level). Dadurch wird es prinzipiell möglich, die Höhe eines Bestandes mit Hilfe der 3D-Punktwolke zu erfassen. Allerdings nur dann, wenn der Bewuchs nicht zu dicht ist, bzw. der Blattflächenindex gering ist. Nichtsdestotrotz sind die Schnittbedingungen von Bodenpunkten ungünstig und dadurch auch fehleranfällig, vgl. Abb. 3.



Trennung	+ Viele Bodenpunkte	+ eindeutige Veg.oberfläche	- Windanfälligkeit
Boden – Veg.	- Mindesthöhe Vegetation	- wenige, bzw. ungenaue Bodenpunkte	- keine Bodenpunkte

Abb. 3: Genauigkeiten und Probleme bei der UAS-gestützten photogrammetrischen Erfassung von Vegetationsoberflächen

4 Zusammenfassung und Ausblick

Die gesetzlichen Rahmenbedingungen lassen einen UAS-Betrieb auf absehbare Zeit nur in Sichtweite zu. Aber auch hier gibt eine Fülle von (wirtschaftlich) interessanten Geoanwendungen für UAS. Den skizzierten Projektbeispielen liegt ein standardisierter Workflow in der photogrammetrischen Datenprozessierung zugrunde, der eine Zentimetergenauigkeit ermöglicht. Dafür sind allerdings einige hochgenau eingemessene und möglichst gleichmäßig verteilte Passpunkte notwendig. Um diesen in unzugänglichem Gelände oft schwierigen und aufwendigen Arbeitsschritt einzusparen, sind erste UAS mit einem RTK-Empfänger zur Georeferenzierung auf dem Markt, die eine Absolutgenauigkeit von wenigen cm versprechen. In unwegsamem Gelände werden im allgemeinen Multicopter eingesetzt, da diese nahezu überall starten und landen können und zudem in der Luft an einer Stelle stehen (hoovern) können. Jedoch ist die Akkulaufzeit und die Flächenleistung eines Multicopters relativ gering, zumindest verglichen mit einem Flächenflügler. Um beide Vorteile zu verbinden sind erste senkrecht startende Starrflügel-UAS entwickelt worden, die im Quadrocoptermodus starten und dann die Rotoren umlegen, um als Flächenflügler eine große Flächenleistung zu erbringen.

Literatur

- GRENZDÖRFFER, G. (2013): Ziviler Einsatz unbemannter Luftfahrtsysteme - Informationen zu rechtlichen Aspekten und Innovationen in der Automation der Bildauswertung, In: A. Koch, R. Bill, A. Donaubaue [Hrsg.]: Geoinformationssysteme. Beiträge zum 18. Münchner Fortbildungsseminar. S. 36-45. Wichmann Verlag, Berlin.
- GRENZDÖRFFER, G., R. BILL (2010): Unmanned Airborne Systems (UAS) - moderne und flexible Geodatenerfassung. In: B. Harzer [Hrsg.]: GIS-Report 2010/11 - Software – Daten – Firmen. S. 17-26. Harzer Verlag, Karlsruhe.



Kontakt:

Dr.-Ing. Görres Grenzdörffer

Universität Rostock, Professur für
Geodäsie und Geoinformatik

Justus-von-Liebig Weg 6

18059 Rostock

Tel.: 0381/ 498 3206

Fax: 0381/ 498 3202

E-Mail:

goerres.grenzdorffer@uni-rostock.de

Jahrgang: 1968

1987-1994

Studium der Geographie, Geologie und Bodenkunde
in Tübingen, Stuttgart-Hohenheim und der Louisiana
State University

1994 - 2001

Wissenschaftlicher Assistent (C1) am Institut für
Geodäsie und Geoinformatik an der Universität
Rostock

2001

Wissenschaftler am Zentrum für Agrarlandschafts-
forschung (ZALF)

seit 2002

Wissenschaftler an der Professur für Geodäsie und
Geoinformatik

Interessenschwerpunkte:

Entwicklung von digitalen Low-cost Systemen und
UAV's, Photogrammetrie und digitale Geländemo-
delle sowie Fernerkundung und Precision Farming



Kontakt:

Prof. Dr.-Ing. Ralf Bill

Universität Rostock, Professur für
Geodäsie und Geoinformatik

Justus-von-Liebig Weg 6

18059 Rostock

Tel.: 0381/ 498 3200

Fax: 0381/ 498 3202

E-Mail: ralf.bill@uni-rostock.de

Jahrgang: 1955

1972-1975

Studium des Vermessungswesens an der Fachhoch-
schule Mainz (Ing. grad 1975)

1975-1976

Vordiplom Geodäsie an der Technischen Universi-
tät Berlin

1976-1979

Diplom Geodäsie an der Universität Karlsruhe
(Dipl.-Ing. 1979)

1983

Promotion an der Universität Karlsruhe (Dr.-Ing.)

seit 1994

Professor für Geodäsie und Geoinformatik an der
Universität Rostock

Interessenschwerpunkte:

Geodateninfrastrukturen, Geosensornetzwerke,
Forschungsdateninfrastrukturen und Virtuelle For-
schungsumgebungen

UAS-Einsatz zur DGM-Aktualisierung

Manfred Gültlinger

1 Einleitung

Die Bereitstellung aktueller und qualitätsgesicherter Geobasisinformationen ist eine der wesentlichen Aufgaben der Landesvermessungsverwaltungen der Bundesrepublik Deutschland.

Das Landesamt für Geoinformation und Landentwicklung Baden-Württemberg (LGL) ist daher ständig bestrebt, die kostenintensive Erfassung von Primärdaten, insbesondere von Daten der Fernerkundung und Photogrammetrie, zur Ableitung von Geobasisinformationen nach wirtschaftlichen und qualitativen Gesichtspunkten zu optimieren. Realisiert wird dieses Bestreben einerseits durch die Bündelung des öffentlichen Bedarfs an Fernerkundungsprodukten in Baden-Württemberg durch das LGL mit entsprechender Kostenverteilung und andererseits durch eine ständige Effizienzsteigerung in der Datenerfassung und Datenverarbeitung. Dazu gehört auch die Untersuchung alternativer Datenerfassungsmethoden, wie z. B. der Einsatz unbemannter Flugsysteme (Unmanned Aerial Systems = UAS).

In mehreren Projekten mit unterschiedlichen Systemen und Partnern von Hochschulen und Dienstleistungsunternehmen wurde die Einsatzfähigkeit von UAS-Verfahren zur Aktualisierung der Geobasisinformationen und zur Ableitung photogrammetrischer Produkte für die Flurneueordnungsverwaltung in Baden-Württemberg getestet.

2 Systemübersicht

UAS lassen sich hinsichtlich Trägerplattform, Aufnahmesensoren und Gesamtgewicht unterschiedlichen Kategorien zuordnen (Abb. 1).

In den Testprojekten des LGL kamen ausschließlich Starrflügelssysteme mit Bildkameras und einem maximalen Gesamtgewicht von 5 kg zum Einsatz.

Starrflügler haben derzeit gegenüber den Multicoptersystemen den Vorteil einer deutlich höheren Effizienz in der Flächenleistung.

Ein Verfahren der direkten Georeferenzierung ohne Verwendung von Passpunkten wurde lediglich in einem Projektgebiet untersucht.



Abb. 1: UAS-Kategorien, Einsatz beim Landesamt für Geoinformation und Landentwicklung Baden-Württemberg

3 Rechtslage

Mit dem Ziel, die Sicherheit im Luftraum und am Boden zu gewährleisten sowie die Persönlichkeitsrechte der Bevölkerung zu sichern, bedürfen UAS-Befliegungen stets einer Genehmigung durch die Luftfahrtbehörden der Bundesländer. In Baden-Württemberg werden Fluggenehmigungen durch die vier Regierungspräsidien erteilt.

Unterschieden wird nach einer sogenannten „allgemeinen Aufstiegserlaubnis“ für Fluggeräte bis zu einem Gesamtgewicht von 5 kg und einer Flughöhe von max. 100 m über Grund. Weitere Auflagen sind die ständige Überwachung des Luftraums während der Befliegung mit jederzeitiger manueller Übernahme der Flugzeugsteuerung, Verbot der Überfliegung von Menschen und Tieren sowie versicherungsrechtliche Bestimmungen.

Durch eine „besondere Aufstiegserlaubnis“ kann im Einzelfall auch die Befliegung mit Systemen schwerer als 5 kg, Befliegungshöhen über 100 m oder der Flug über besiedelte Gebiete genehmigt werden.

4 UAS-Projekte

Das LGL untersuchte in den Jahren 2012 bis 2014 mit verschiedenen Partnern in den folgenden Projekten die Einsatzfähigkeit von UAS-Verfahren. Als Referenz für die Genauigkeitsuntersuchungen dienten unterschiedliche Geländeaufnahmen des LGL, von den Daten der landesweiten Laserscanbefliegung, über stereoskopische Frühjahrsbildflüge vor der Belaubung (Bodenauflösung, ground sample distance GSD 10 cm) bis zu terrestrischen Aufnahmen mit GNSS-Verfahren oder terrestrischem Laserscanning.



4.1 Felsengärten Hessigheim

Topographisch anspruchsvolles Weinanbaugebiet mit markanten und touristisch interessanten Felsformationen.

Ziel:

Grundsätzliche Untersuchung der Einsatzfähigkeit von UAS-Verfahren für die Produktion von orientierten Luftbildern, Digitalen Orthophotos (GSD mind. 10 cm), 3D-Modellen Digitales Geländemodell und Digitales Oberflächenmodell (Höhengenauigkeit mind. 10 cm), 3D-Modellen markanter Landmarken und 3D-Visualisierungen.

Projektpartner:

LGL, Universität Stuttgart mit dem Institut für Photogrammetrie (ifp) und dem Institut für Flugmechanik und Flugregelung (IfR), Fa. Weigand AIR, Fa. IGI GmbH.

Flug und Aufnahmesysteme:

Multiplex Twinstar II UAV mit Canon Ixus 100 IS

Bormatec Maja mit Ricoh GXR Mount A12

Gyrocopter mit IGI DigiCAM50

Ergebnis:

Nahezu alle Anforderungen des LGL sind erfüllt. Für die Modellierung markanter Landmarken (Felsformationen) ist der Einsatz von Starrflüglern mit nahezu senkrechter Aufnahme-richtung nicht geeignet. Hierfür ist eine Befliegung mit Multicoptern und optimierter Kameraausrichtung notwendig. Ein Bildflug mit bemanntem Gyrocopter und Mittelformatkamera war auch über besiedeltem Gebiet möglich und lieferte hervorragende 3D-Punktwolken von der Ortslage.

Die Ergebnisse sind detailliert in mehreren Publikationen des ifp veröffentlicht (s. Literatur).



4.2 Hangrutschung Talheim

Hangrutschung im Bereich der Schwäbischen Alb nach Starkregenereignissen im Sommer 2013.

Ziel:

Aufnahme eines nicht begehbaren Geländes und Einsatz eines UAS unter extremen Lichtverhältnissen (Schattenbildung im November) und Witterungsbedingungen (starke Sturmböen).

Projektpartner:

LGL, Universität Stuttgart: Institut für Photogrammetrie (ifp), Universität Tübingen: Geographisches Institut, Fa. senseFly Schweiz

Flug und Aufnahmesysteme:

senseFly Ebee mit Canon Ixus 127 HS

Ergebnis:

Die Bildqualität ist ausreichend, aber nicht optimal. Die Höhengenaugigkeit ist gut (≤ 10 cm) innerhalb des mit sicheren Passpunkten gestützten Bereichs. Außerhalb des Passpunktbereichs entstehen Verkippungen des Geländemodells. Die Ursache wird in den starken Turbulenzen während des Flugs und in der Auswertesoftware vermutet. Spätere Untersuchungen des ifp mit anderen Softwareprodukten ergaben geringfügig bessere Ergebnisse.



4.3 Straßenneubau Aldingen

Neubau einer Verbindungsstraße von der Ortschaft Aldingen zu einem Industriegebiet mit Erd- bzw. Bauschuttdeponie.

Ziel:

Aufnahme des Straßenneubaus mit einem kommerziellen Dienstleistungsunternehmen zur Aktualisierung des Digitalen Geländemodells und der Digitalen Orthophotos.

Projektpartner:

LGL, Fa. German Mapping (GerMAP)

Flug und Aufnahmesysteme:

Smart One C mit Ricoh GR

Ergebnis:

Der Bildflug fand bei ruhigem Wetter mit schwachen einzelnen Windböen statt. Die sorgfältig geplante und professionell durchgeführte Befliegung lieferte sehr gute Ergebnisse in Bildqualität, Lage- und Höhengenaugigkeit.



4.4 Regenrückhaltebecken Wolterdingen

Regenrückhaltebecken mit künstlich aufgeschüttetem Damm und umfangreichen Bauwerken zur Regulierung des Wasserabflusses.

Ziel:

Vergleich unterschiedlicher Datenerfassungsmethoden (UAS-Verfahren, terrestrisches Laserscanning, Standardbildflug) für Anwendungen der Wasserwirtschaftsverwaltung und Untersuchung der Genauigkeit eines UAS ohne Verwendung von Passpunkten.

Projektpartner:

LGL, Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (LUBW), Fa. MAVinci

Flug und Aufnahmesysteme:

Sirius mit Panasonic, LUMIX GX1

Sirius pro mit Panasonic, LUMIX GX1 (Passpunktfreie direkte Georeferenzierung mit System Topcon)

Ergebnis:

Die Ergebnisse stimmen gut mit den Referenzdaten überein. Die positiven Erfahrungen aus früheren Kampagnen wurden bestätigt. Das Verfahren mit direkter Georeferenzierung ohne Passpunkte lieferte geringfügig bessere Ergebnisse als das Verfahren mit Passpunkten. Zwischen beiden Verfahren wurde ein systematischer Höhenversatz von ca. 5 cm festgestellt. Die Qualitätsuntersuchungen sind noch nicht abgeschlossen.

5 Datenprozessierung

Bildflüge mit UAS werden mit sehr hohen Längs- und Querüberdeckungen durchgeführt, wodurch die Anzahl der Luftbilder gegenüber klassischen, großformatigen Bildflügen um ein Vielfaches steigt. Zudem verursacht die höhere Flugdynamik der leichten Kleinfluggeräte stärkere Abweichungen der drei Rotationswinkel vom Normalfall. Die Kamerapositionen lassen sich bei Systemen mit GNSS-Einfrequenzempfängern nur mit eingeschränkter absoluter Genauigkeit ermitteln.

Aus diesen Gründen wird beim LGL zur Bestimmung genäherter Orientierungsdaten das Verfahren „Structure from Motion (SfM)“ eingesetzt. SfM wurde im Bereich der Computer Vision entwickelt und dient zur Rekonstruktion räumlicher Objekte aus unregelmäßig angeordneten Bildaufnahmen mit unterschiedlichen Kameras.

Nach der Vororientierung mit SfM werden die Bilddaten in der klassischen photogrammetrischen Prozesskette mit der Standardsoftware des LGL zu den Produkten Digitale Orthophotos und Digitale 3D-Modelle weiterverarbeitet.

6 Zusammenfassung

Die Ergebnisse aus den UAS-Projekten mit unterschiedlichen Flug- und Aufnahmesystemen haben gezeigt, dass diese Systeme zur teilweise automatisierten Produktion und Aktualisierung von Geobasisinformationen und zur Ableitung photogrammetrischer Produkte für Flurneuordnungsverfahren grundsätzlich geeignet sind. Interaktive, insbesondere stereoskopische Auswertungen der kleinformatischen Luftbilder sind aufgrund der häufigen Modellwechsel und unregelmäßigen Modellbegrenzungen extrem anstrengend und ermüdend.

UAS-Verfahren sind sehr gut geeignet für die Erfassung kleinräumiger Gebiete und stellen dadurch eine sinnvolle Ergänzung zu den etablierten großflächigen Befliegungen dar. Ein großer Vorteil liegt in der hohen Flexibilität der Systeme, wodurch sich das Einsatzpotenzial künftig auch beim LGL noch wesentlich steigern wird.

Der Markt für UAS ist schwer überschaubar. Die Anbieter übertreffen sich mit Angeboten an Hard- und Software, auch für den geodätischen bzw. photogrammetrischen Laien. Qualitätsgesicherte Endprodukte erfordern jedoch den Einsatz einer hochwertigen und zuverlässigen Ausrüstung, eine sorgfältige Organisation und professionelle Durchführung der Befliegung, sowie Sachverstand und Erfahrung bei der Datenverarbeitung.

Die Wirtschaftlichkeit ist für jeden Einzelfall zu untersuchen. Können mehrere, auch über die Landesfläche verteilte Befliegungsgebiete, zu einem Gesamtauftrag zusammengefasst werden, ist der Einsatz klassischer Befliegungssysteme mit großformatigen photogrammetrischen Bildflugkameras i. d. R. wirtschaftlicher als der Einsatz von UAS.

In einer Wirtschaftlichkeitsuntersuchung sind darüber hinaus die Flächenleistung der UAS, die maximale Flughöhe und die dadurch erzwungene Bodenauflösung, die Passpunktbestimmung, die Befliegungskosten, die räumliche Nähe der UAS-Dienstleister zum Befliegungsgebiet d. h. Rüst- und Anfahrtszeiten u. v. m. zu berücksichtigen.

7 Ausblick

Die Weiterentwicklung unbemannter Flugsysteme ist noch immer hochdynamisch und bei Weitem nicht abgeschlossen. Sowohl in der Entwicklung der Fluggeräte als auch der Sensoren sind in Kürze neue Systeme zu erwarten. Dazu zählen Multikamerasysteme, stabilisierte Systemaufhängungen, passpunktfreie direkte Georeferenzierungsverfahren, neue Sensoren der Bild- und Laseraufnahme, Kombilösungen, u. v. m.

Obwohl der Entwicklungsstand ein sehr hohes Niveau erreicht hat, sind noch eine Vielzahl von Fragen zu klären bezüglich Fluggenehmigungsverfahren, Kalibrierung (auch bei Multikamerasystemen), Mehrkanalbildern aus verschiedenen Kameras, Kameraauslösung (Zeit vs. Ort), direkter Georeferenzierung über SAPOS ...

Das LGL wird die Entwicklungen weiter verfolgen, begleiten und diese Systeme auch einsetzen. Grundsätzlich bestimmt jedoch die konkrete Aufgabenstellung die Wahl der optimalen Datenerfassungsmethode, von terrestrischen Verfahren über großflächige flugzeuggetragene Aufnahmemethoden bis zu unterschiedlichen Satellitensystemen.

Der Einsatz von UAS, sowohl mit Starrflüglern als auch mit Multicoptern, schließt aufgrund der hohen Flexibilität eine Lücke in der Reihe der etablierten Erfassungsmethoden, insbesondere für kleinräumige Gebiete, Einzelobjekte und situationsabhängige Aufnahmen.

8 Danksagung

Die erfolgreiche Durchführung der Projekte war nur durch das Engagement der vielen, in Kapitel 4 genannten Institutionen möglich. An dieser Stelle geht ein herzlicher Dank an alle beteiligten Personen, die mit ihrem Einsatz und Sachverstand zum Gelingen der Aktionen beigetragen haben.

Literatur

- FRITSCH, D., A. GRIMM, J. KREMER, M. ROTHERMEL, K. WENZEL (2013): Bilddatenerfassung mit einem Gyrocopter – Erste Erfahrungen zur „Photogrammetrie nach Bedarf“. DGPF-Tagungsband 22
- CRAMER, M., N. HAALA, M. ROTHERMEL, B. LEINSS, D. FRITSCH (2013): UAV-gestützte Datenerfassung für Anwendungen der Landesvermessung – das Hessigheim-Projekt. DGPF-Tagungsband 22
- HAALA, N., M. CRAMER, M. ROTHERMEL (2013): Quality of 3D pointclouds from highly overlapping UAV imagery. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XL-1/W2, UAV-g2013, 4-6 September 2013, Rostock, Germany
- CRAMER, M., N. HAALA, M. GÜTLINGER, R. HUMMEL (2014): RPAS im operationellen Einsatz beim LGL Baden-Württemberg – 3D-Dokumentation von Hangrutschungen. Publiziert in Vortragsband zur DGPF-Jahrestagung 2014, Hamburg, 16.-28.03.2014



Kontakt:

Manfred Gültlinger

Landesamt für Geoinformation und
Landentwicklung Baden-Württemberg
Abteilung Produktion
Kriegsstraße 103
76135 Karlsruhe
Tel.: 0721/ 95980 559
E-Mail:
manfred.gueltlinger@lgl.bwl.de

Jahrgang 1952

Leiter des Referats „Fernerkundung“ beim
Landesamt für Geoinformation und Landentwick-
lung Baden-Württemberg (LGL)

mit den **Aufgabenschwerpunkten:**

- Kompetenzzentrum für Fernerkundung und
Zentrale für photogrammetrische Dienstleistun-
gen für den öffentlichen Bereich in Baden-
Württemberg
- landesweite Bilddaten
(orientierte Luftbilder, Digitale Orthophotos
DOP)
- landesweite 3D-Modelle
(Digitales Geländemodell DGM,
Digitales Oberflächenmodell DOM,
3D-Gebäudemodelle)
- photogrammetrische Dienstleistungen für Flur-
neuordnungsverfahren

Nutzungspotenziale der Radarinterferometrie zur Detektion von Bodenbewegungen im Umfeld von Bundeswasserstraßen

Wolfgang Busch

1 Einleitung

Bodenbewegungen sind dreidimensionale Verformungen (Deformationen) und Translationen von flächenhaften Teilen der Erdoberfläche (mit dem „Boden“ als oberste Schicht der Erdkruste). In Abhängigkeit von ihren Ursachen und dem Aufbau der Erdkruste treten sie lokal/regional meist als Verformungen auf, deren ortsabhängige vertikale und horizontale Komponenten zeitlich unterschiedliche Veränderungen erfahren. Im Versagensfall kann es aber auch zu räumlich begrenzten „Abrissen“ der „Tagesoberfläche“ kommen, die sich als flächenhaftes horizontales Auseinanderdriften oder entsprechende (meist) Absenkungen (Vertikalbewegungen) von Teilen der Erdkruste zeigen.

Der Entstehungsort einer Ursache befindet sich:

- > mehr oder weniger tief im Erdinnern,
- > in der Bodenschicht selbst, aber auch
- > oberhalb des Bodens (auf dem Boden)

und besitzt eine räumliche Ausdehnung, die über die wirksame Zeit genauso veränderlich sein kann, wie die verursachenden Kräfte. Da sich verschiedene Ursachen zeitlich und räumlich verändern und überlagern können, entstehen die an der Tagesoberfläche „sichtbaren“ Verformungen/Bewegungen aus der Summe aller Ursachenanteile in Abhängigkeit von ihrem jeweils unterschiedlichen (räumlichen und zeitlichen) Übertragungsverhalten.

Dieser hier vereinfacht dargestellte multikausale, multiskalige und vierdimensionale Sachverhalt ist für die Auswahl geeigneter Messverfahren sowie die Analyse der gemessenen Bodenbewegungen in Abhängigkeit von der Aufgabenstellung wichtig.

Ursachen für großflächige ($\geq 1 \text{ km}^2$) Deformationen der Geländeoberfläche sind eine oder mehrere anthropogene Maßnahmen oder „natürliche“ Veränderungen, wie z. B.:

- > tektonische und seismische Ereignisse (z. B. Subduktion, Erdbeben, Erschütterungen)
- > Subrosions- und Erosionsvorgänge (z. B. Verkarstung, Salzauslaugung, Gletscherbewegung, Auftauung von Permafrostgebieten, Thermokarst)
- > hydrogeologische und hydrologische Veränderungen (z. B. Grundwasserentzug durch Trinkwassergewinnung, Trockenlegung zur Landgewinnung oder Sumpfungmaßnahmen im Tagebau; Flutung untertägiger Hohlräume; Niederschlag, Vernässung, etc.)

- > geologische und gebirgsmechanische Veränderungen der Erdkruste
(z. B. durch Rohstoffabbau: Steinkohle, Kali und Salz, Erz, Erdgas, Erdöl ...;
Speicherkaavernen und Porenspeicher; untertägige Deponien wie Endlager, CO₂-
Speicher; unterirdische Bauwerke: Tunnel, Kanäle,...)

Die Kenntnis über die in einem Interessensgebiet vorkommenden Ursachen sowie ihre zeitlichen und räumlichen Auswirkungen ermöglichen letztlich erst eine Ermittlung ursachenspezifischer Deformationsanteile, eine Aufgabenstellung, die infolge der Verbesserungen in der Messtechnologie und Auswertetechnik zunehmend an Bedeutung gewinnt.

Eine Verformung der Tagesoberfläche lässt sich primär durch die **Vertikalkomponente** der Bodenbewegungen (Senkung, Setzung, Sackung, Hebung oder allgemein Höhenänderung) beschreiben. Bei Vorliegen spezifischer Ursachen kann aber primär auch eine **Horizontal-komponente** (Translation) auftreten, die an den Rändern des beeinflussten Gebietes zu Zerrungen oder Pressungen führt.

Im Folgenden erfolgt eine Beschränkung auf die **Erfassung von Höhenänderungen**, also die Bestimmung von Gebieten ohne Höhenänderungen sowie mit Senkungen oder Hebungen.

Anzumerken ist, dass es Gebiete ohne Höhenänderungen streng genommen nicht gibt, sie sind nur nicht mit den angewandten Methoden signifikant erfass- und abgrenzbar! Deshalb gibt es in der Landesvermessung eine pragmatische Verabredung, dass Punkte mit Höhenänderungen kleiner als 3 mm/Jahr als stabil betrachtet werden! Dies gilt natürlich nur für einen (bestimmten) Zeitraum und im Sinne eines klassischen Aufgabenverständnisses der Landesvermessung.

Einen Eindruck von messtechnisch erfassten Bodenbewegungen sollen die folgenden Abbildungen vermitteln.

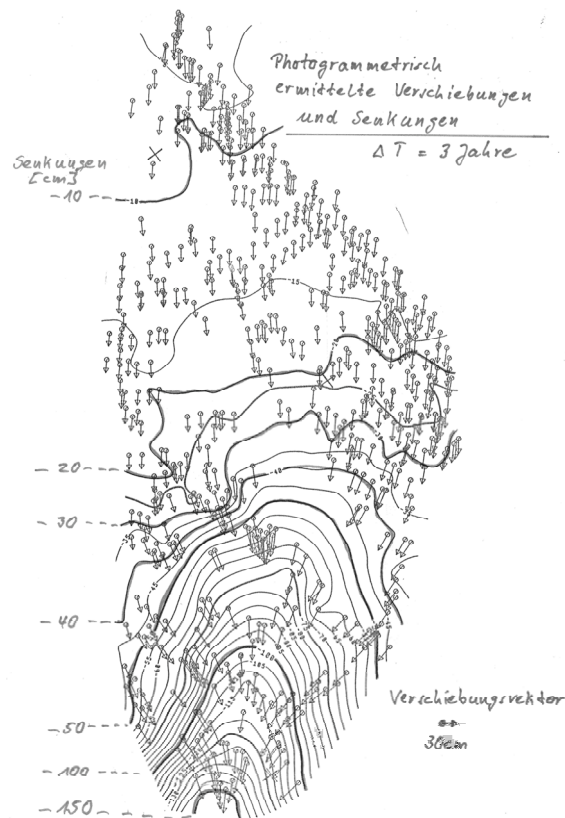


Abb. 1:
Aus Wiederholungsmessungen mittels Luftbild-
photogrammetrie bestimmte Horizontal- und
Vertikalkomponenten, dargestellt als Verschie-
bungsvektoren und Linien gleicher Senkungen

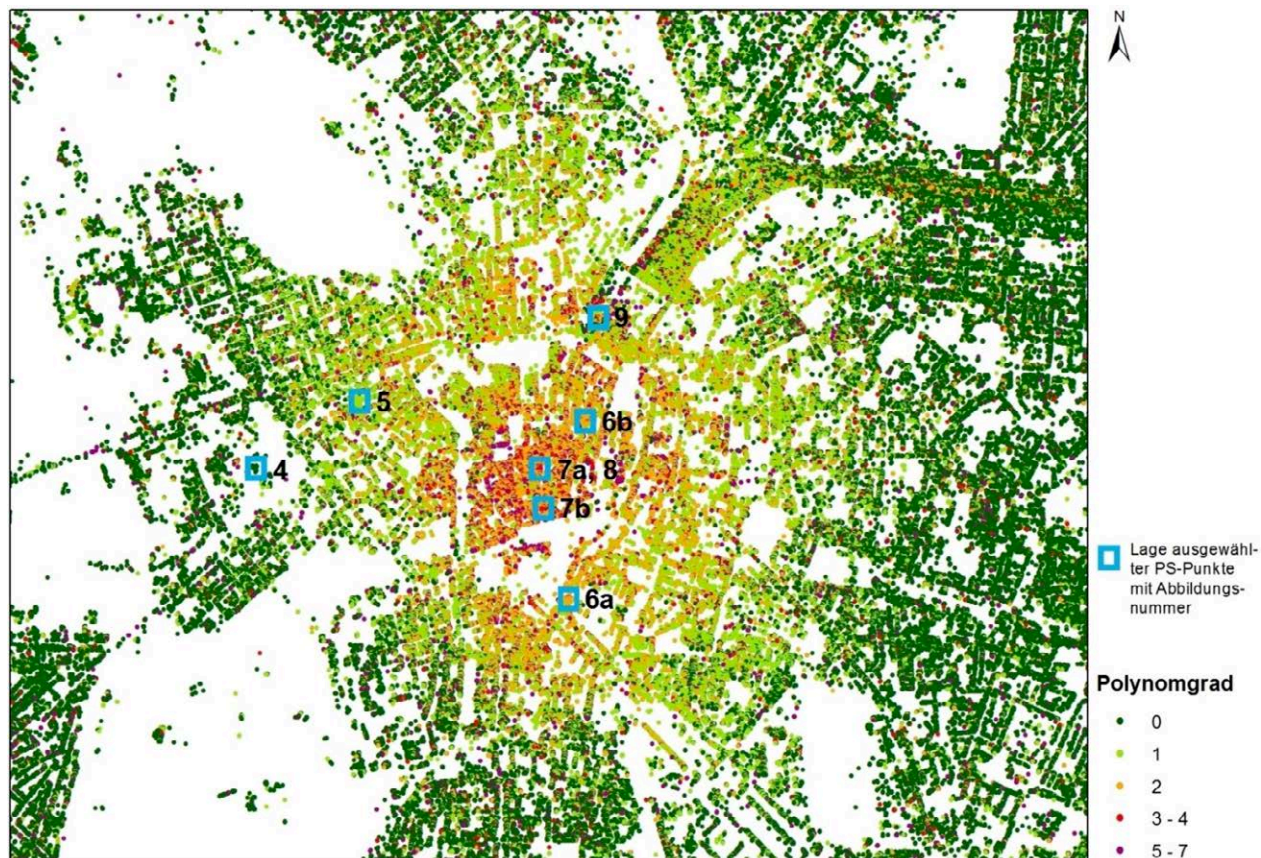


Abb. 2: Räumliche Verteilung von Gebieten mit Höhenänderungen (Polynomgrad ≥ 1) und ohne signifikant erfassbare Höhenänderungen im Untersuchungszeitraum (Polynomgrad 0)

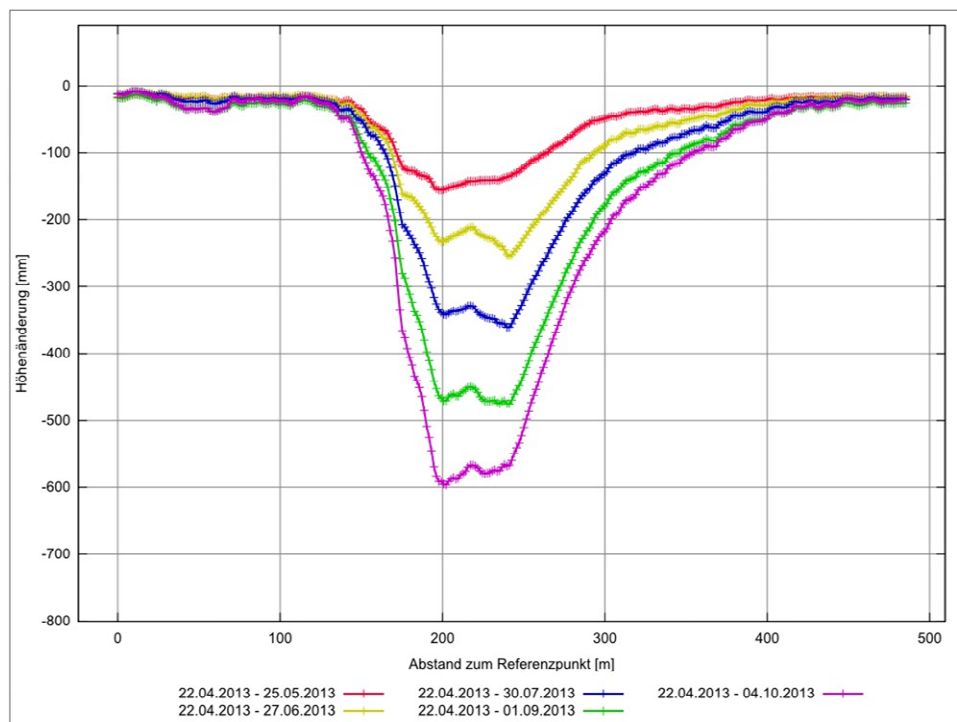


Abb. 3: Zeitlich und räumlich unterschiedliche Höhenänderungen entlang einer Profilspur

2 Punkt oder Fläche – Grundlagen der Radarinterferometrie zur Erfassung von Bodenbewegungen

Geodäten „lieben“ Punkte! Wie wichtig ist der Punkt?

Er ist die Grundlage aller geometrischen Vektormodelle realer natürlicher und künstlicher Objekte. Er ist in seiner dreidimensionalen Lage (mit geodätischen Methoden) messtechnisch am einfachsten und sehr genau zu bestimmen.

Kennt die moderne Fernerkundung einen Punkt? Nein, nicht im streng definierten Sinn!

Sie kennt nur Flächen, die in ihrer kleinsten Ausdehnung Pixel (Rasterzellen) sind.

Somit ist das geometrische Grundelement der Fernerkundung im Allgemeinen eine Fläche!

Das heißt, die Diskretisierung einer Objektoberfläche zur geometrischen und thematischen Beschreibung erfolgt durch Flächenelemente. Alle weiteren Verarbeitungen erfolgen deshalb ursprünglich mittels eines Rasterdatenmodells (in der Geodäsie dagegen meist Vektordatenmodell). Die Raumlage eines Flächenelementes bzw. aller „aufgenommenen“ Flächenelemente („Bild“) erfolgt in einem einheitlichen (z. B. geodätischen) Bezugssystem und ist letztlich das Ergebnis einer Transformation (\Rightarrow Verzerrungen, Lagequalität?).

Hier Punkt und dort Fläche! Beides hat seine Berechtigung, je nach Objekt, Aufgabenstellung und Anforderungen! ... Und was bedeutet das für die Erfassung von Bodenbewegungen?

Da Bodenbewegungen zeitlich variabel, flächenhaft und dreidimensional auftreten, muss zur messtechnischen Erfassung eine Diskretisierung im Raum und in der Zeit erfolgen! Kleine Diskretisierungsintervalle in Raum und Zeit lassen sich wirtschaftlich auch mit den modernen geodätischen elektronischen Sensoren und Messverfahren nicht realisieren. Dagegen bieten die satellitengestützten Verfahren der Radarinterferometrie aufgrund ihres flächenhaften Ansatzes und einer Wiederholrate von mehreren Tagen eine gute Voraussetzung.

Die interferometrische Nutzung/Auswertung aufeinanderfolgender satellitengestützter Radaraufnahmen erfolgt bereits seit vielen Jahren durch zwei unterschiedliche Ansätze:

- > Differenzielle Radarinterferometrie (DInSAR)
- > Persistent Scatterer Interferometrie (PSI)

Da in der Literatur eine Fülle von Lehrbüchern, Dissertationen und Veröffentlichungen über Grundlagen sowie Weiterentwicklungen der Radarinterferometrie vorliegen, sollen im Folgenden ihre für die Erfassung von Bodenbewegungen relevanten Grundlagen und Charakteristika in aller Kürze zusammengefasst dargelegt werden.

2.1 Differenzielle Radarinterferometrie

Ähnlich wie das flugzeuggestützte Laserscanning ist die satellitengestützte Radarfernerkundung ein aktives Fernerkundungsverfahren. Es zeichnet sich dadurch aus, dass es unabhängig von der Tageszeit, Beleuchtungsverhältnissen sowie dem Zustand der Atmosphäre (Wolken, Niederschlag) einsetzbar ist. Zur Erfassung von Bodenbewegungen mittels differenzieller Interferometrie erfolgt ein Vergleich von zwei (zeitlich) unterschiedlichen Aufnahmen mit leicht unterschiedlicher Beobachtungsgeometrie (Basislinie). Messgröße ist eine differenzielle Phase, die um den Einfluss der Topographie korrigiert werden muss. Sie besitzt einen Wertebereich von $-\pi$ bis $+\pi$ und repräsentiert im Idealfall eine Abstandsänderung zwischen dem Satelliten und dem Reflektionsort an der Erdoberfläche. Somit liefert sie in dieser Anwendung keine „absoluten“ Werte, sondern lediglich Werteänderungen, die entsprechend der

Ausbreitungsrichtung (Neigungswinkel) in die Vertikale umgerechnet Höhenänderungen entsprechen. In Abhängigkeit von der sensorspezifischen Bodenauflösung können mehrere terrestrische Objekte pro Auflösungszelle das Reflektionssignal und damit das „Messsignal“ beeinflussen (Abb. 4). In der Praxis können bei Zellengrößen im Bereich weniger Meter bis Zehnermetern relativ homogene „punkthafte“ oder/und inhomogene flächenhafte terrestrische Rückstreuer das Messsignal beeinflussen. Mit Ausnahme künstlicher Radarreflektoren verwendet die satellitengestützte Radarinterferometrie keine vermarkten Messpunkte.

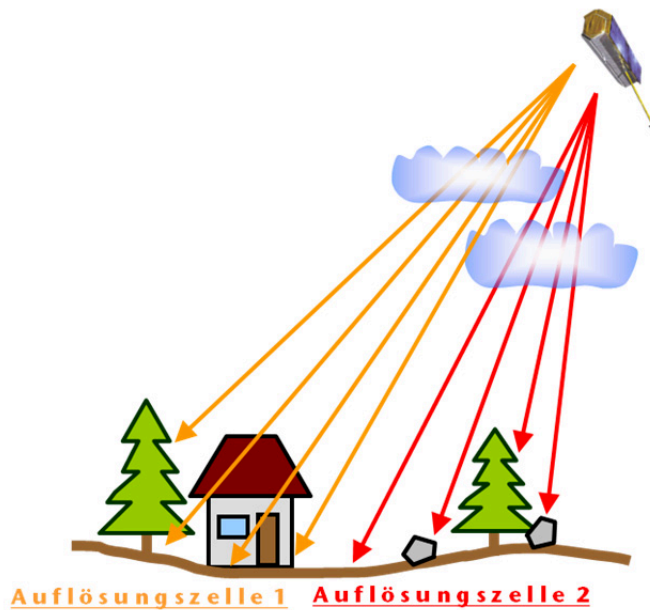


Abb. 4: Radarfernerkundung, Aufnahmeconfiguration und Auflösungszellen

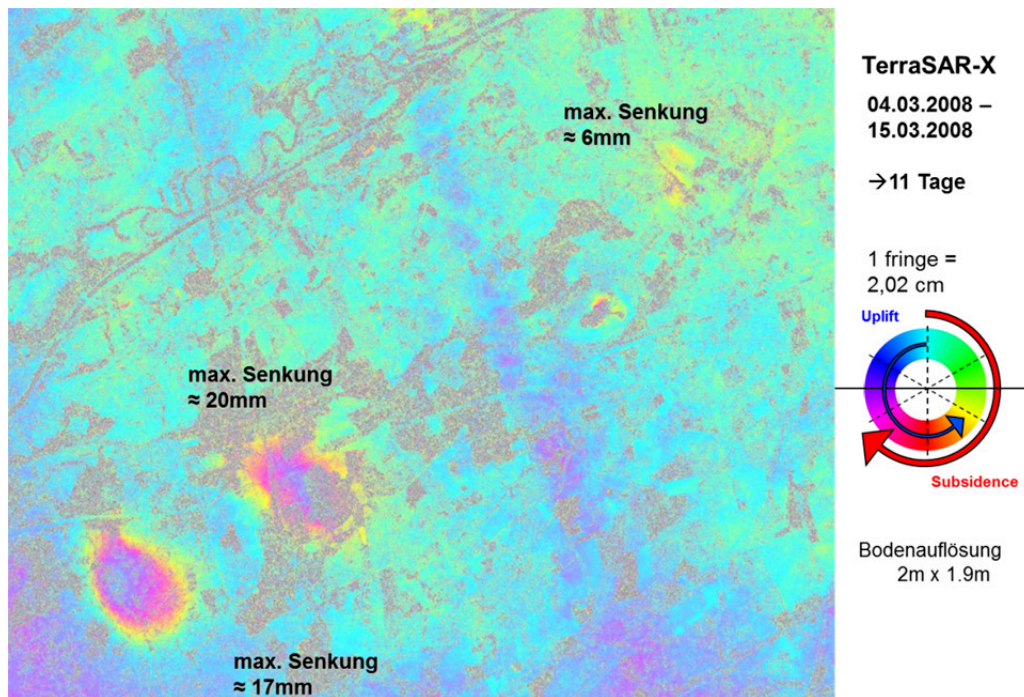


Abb. 5: Differenzielles Interferogramm und interpretierte Höhenänderungen

2.2 Persistent Scatterer Interferometrie (PSI)

Bei diesem Auswerteansatz werden über die Gesamtheit aller Szenen (mindestens 20-30 Szenen) langzeitkohärente „Punkstreuer“ = Permanent oder Persistent Scatterer (PS) gesucht und für die Ermittlung einer Zeitreihe der Höhenänderungen pro PS-Punkt genutzt. Vereinfacht und im Unterschied zum DInSAR-Verfahren könnte dieser Auswerteansatz als ein „Punkt“-Messverfahren bezeichnet werden (trotzdem gilt auch hier die in Abb. 4 gezeigte Situation). Hierbei spielt die Kohärenz der umgebenden Pixel keine Rolle! Die Kohärenzbedingung muss nicht für das gesamte Radarbild erfüllt sein, um Bodenbewegungen zu erfassen!

Aufgrund des Auswerteansatzes liefert diese Methode vor allem in bebauten Bereichen nahezu flächendeckende Informationen über die zeitlichen Veränderungen der Höhenänderungen. Die ermittelten Höhenänderungen besitzen u. a. in Abhängigkeit vom verwendeten Sensor Genauigkeiten im mm-Bereich und sind damit in ihrer Qualität vergleichbar mit den Genauigkeiten nivellistisch bestimmter Höhenänderungen.

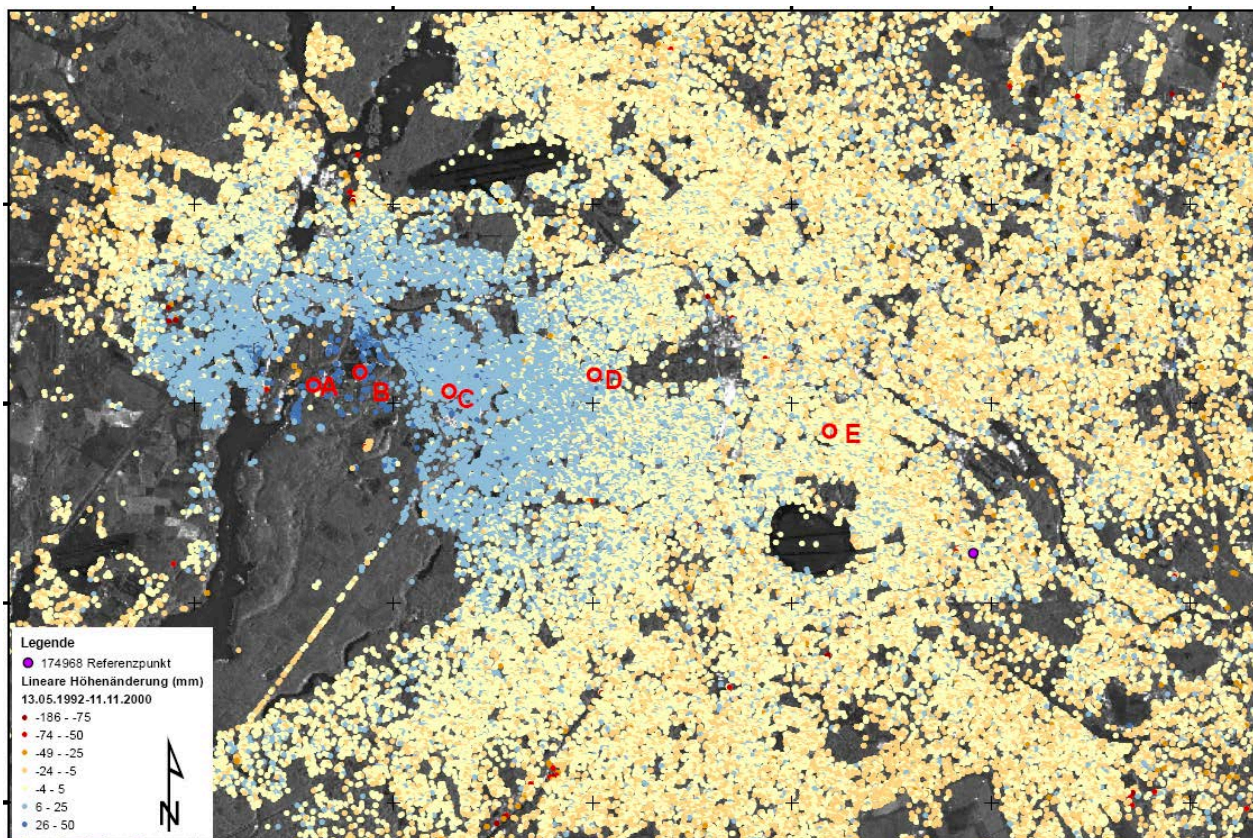


Abb. 6: Persistent Scatterer Punkte mit farbcodierten Höhenänderungsraten

3 Trendmodellierung von PSI-Zeitreihen und Genauigkeiten

Zur weitergehenden Analyse der pro PS-Punkt vorliegenden Zeitreihen der Höhenänderungen wurde am Institut für Geotechnik und Markscheidewesen ein Programm zur Trendmodellierung entwickelt. Dieses basiert auf einer Polynomausgleichung (BUSCH & LINKE 2014). Als Ergebnis dieser automatischen Bestimmung des bestangepassten Polynoms ergeben sich das

Polynommodell (Polynomgrad, siehe Abb. 2), die Restverbesserungen sowie verschiedene Genauigkeitsmaße. Diese für tausende von PS-Punkt-Zeitreihen erhaltenen Ergebnisse erweitern die weiterführende Analyse der ermittelten Bodenbewegungen und erlauben erstmalig eine Genauigkeitsaussage über die Qualität der ermittelten Höhenänderungen (s. Abb. 8).

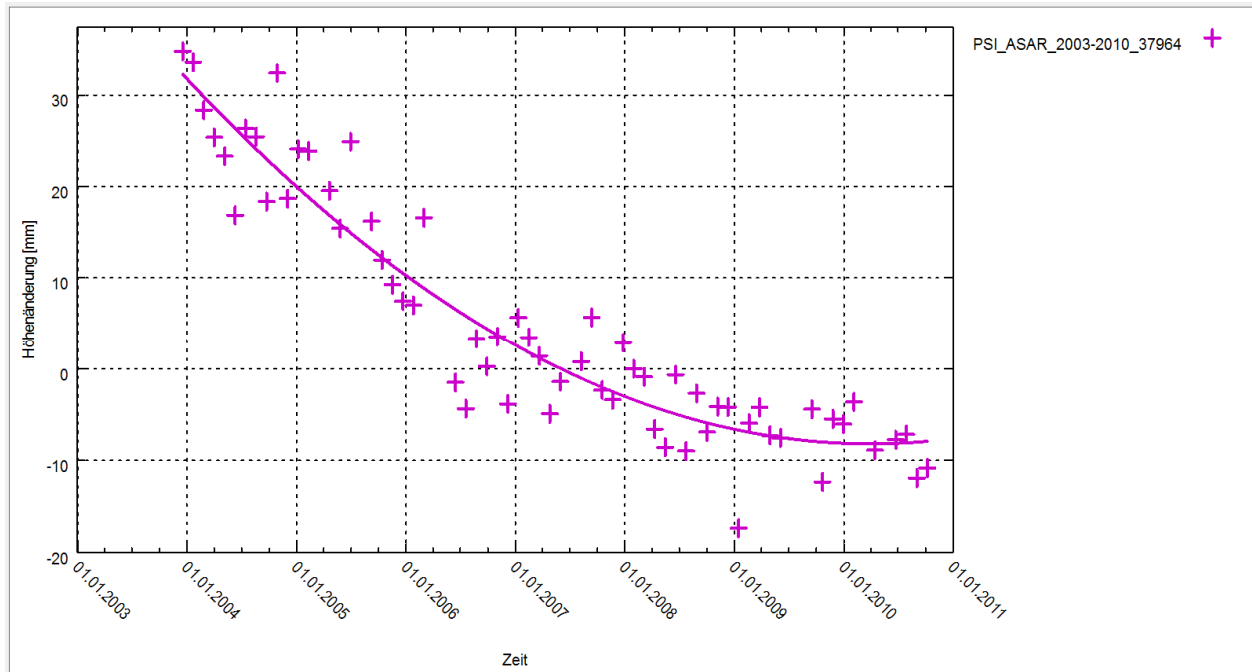


Abb. 7: Zeitreihe der an einem PS-Punkt bestimmten Höhenänderungen und der über eine Polynomausgleichung ermittelte Trend

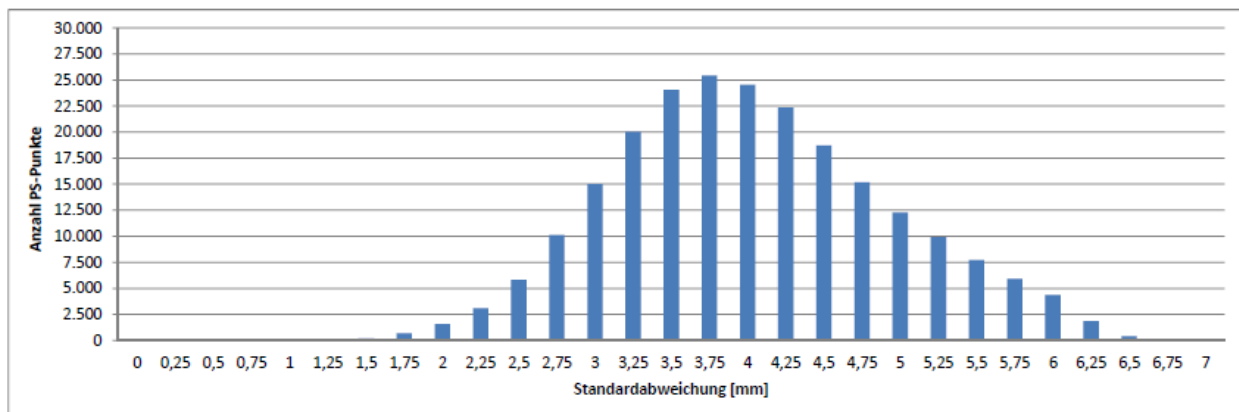


Abb. 8: Histogramm der Standardabweichungen der Höhenänderungswerte

Die Größenordnung und Verteilung (siehe Abb. 8) dieser Standardabweichungen ist, wie eine Fülle von Auswertungen ergeben hat, nicht nur sensor- sondern auch gebietsabhängig. Für verschiedene Sensoren konnten die in Tabelle 1 aufgeführten Standardabweichungen ermittelt werden.

Hinsichtlich der gebietsabhängigen Verteilung der Standardabweichungen sei auf BUSCH & LINKE (2014) verwiesen.

Tabelle 1

Erreichbare Genauigkeiten einer Höhenänderung (Standardabweichung der Gewichtseinheit), ermittelt aus PSI-Zeitreihen ausgewählter Radarsensoren

Sensor	Standardabweichung einer Höhenänderung [mm]
TerraSAR-X (Stripmap)	2 - 3
Radarsat-2 (Standard)	3 - 5
ERS-1/-2	4 - 7
ENVISAT ASAR	4 - 7

Neben der Ableitung „innerer“ Genauigkeiten sollte, wenn möglich, auch der Vergleich mit Höhenänderungen erfolgen, die unabhängig mit anderen Verfahren (z. B. Nivellement) erzielt worden sind. Abbildung 9 zeigt entsprechende exemplarische Beispiele für einen solchen Vergleich von PSI-Zeitreihen mit nivellistisch bestimmten Höhenänderungen. Ein weiteres Beispiel findet sich bei BUSCH & SCHÄFER (2013).

4 Zusammenfassung, Vor- und Nachteile

Zusammenfassend können als charakteristische Vorteile der radarinterferometrischen PSI-Methode gegenüber terrestrischen Verfahren u. a. genannt werden:

- > Erfassung flächenhafter und großräumiger Höhenänderungen, anstatt punkt- oder linienhafter Messnetze, sowie gleichzeitig
- > Erfassung flächenhafter kleinräumiger Höhenänderungen und von ausgewählten Einzelobjekten
- > Abgrenzung von Bereichen mit und ohne Höhenänderung
- > höhere räumliche Auflösung der Ergebnisse (hohe Messpunktdichten)
- > höhere zeitliche Auflösung, aufgrund der relativ vielen Wiederholungsmessungen pro Jahr (in Abhängigkeit vom Sensor)
- > Messverfahren arbeitet berührungslos, d. h. Messobjekt muss nicht „begangen“ werden.

Für die praktische Anwendung sollten u. a. folgende Grenzen der Radarinterferometrie beachtet werden:

- > Signalverluste in Gebieten mit Vegetationsschichten wegen der nicht bis zur Geländeoberfläche reichenden Eindringtiefen
- > Folge: keine flächendeckende Erfassung von Höhenänderungen, räumliche Lücken, inhomogene Informationsverteilung

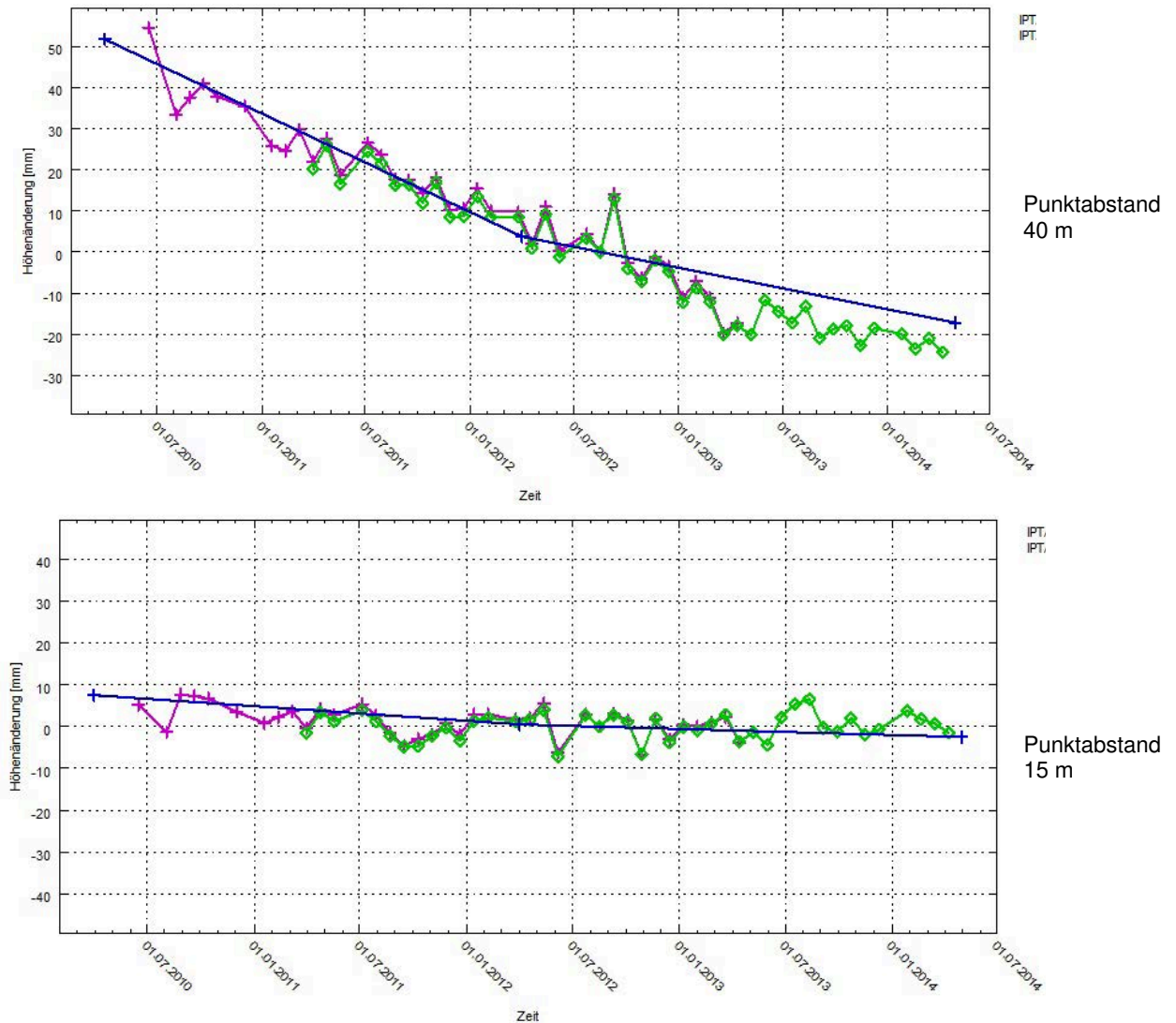


Abb. 9: Validierung der PSI-Höhenänderungen mit Nivellementsergebnissen
(grün – PSI-Ergebnisse, rot – Nivellementsergebnisse)

Literatur

BUSCH, W., J. LINKE (2014): Räumliche Höhenänderungsanalyse auf Grundlage einer automatisierten Ausgleichung massenhaft vorliegender PSI-Zeitreihen mittels Orthogonaler Polynome. AVN Allgemeine Vermessungs-Nachrichten 121, Heft 8/9, S. 298-310

BUSCH, W., M. SCHÄFER (2013): Integration von satellitengestützter Radarinterferometrie und Nivellement zum Monitoring von Höhenänderungen an Corner-Reflektor-Standorten. In: Sörgel, U.; Schack, L.(Hrsg.): Tagungsband Geomonitoring 2013, 14. bis 15. März 2013 in Hannover, S. 25-37



Kontakt:

Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Busch

Technische Universität Clausthal

Institut für Geotechnik und

Markscheidewesen

Abteilung Markscheidewesen und

Geoinformation

Erzstr. 18

38678 Clausthal-Zellerfeld

Tel.: 05323/ 72-2076

E-Mail:

wolfgang.busch@tu-clausthal.de

Jahrgang: 1949

1967-1972

Studium Geodäsie an der Universität Bonn

1972-1982

Wissenschaftlicher Assistent, RWTH Aachen,
Geodätisches Institut

1982

Promotion zum Dr.-Ing., RWTH Aachen

1982-1987

Wissenschaftlicher Mitarbeiter, RWTH Aachen,
Institut für Markscheidewesen

1987-1992

Stellvertr. Leiter, Abteilung Photogrammetrie der
Ruhrkohle AG, Bottrop

Seit 1992

Professor für Markscheidewesen an der
TU Clausthal, Geschäftsführender Leiter des Insti-
tuts für Geotechnik und Markscheidewesen

Ableitung von Flussvorlandrauheiten aus Laserdaten für die hydrodynamisch-numerische Modellierung

Stefan Hinz, Boris Jutzi, Andreas Kron, Jens Leitloff, Mark Musall, Franz Nestmann und Herbert Brockmann

1 Einleitung

Moderne Messtechniken und Methoden der Fernerkundung bieten verschiedene Möglichkeiten, erforderliche Daten für die Strömungssimulation entweder direkt zu erheben oder über erweiterte Auswerteverfahren abzuleiten. Hierzu wurde am Karlsruher Institut für Technologie untersucht, inwieweit eine automatisierte Ableitung von Rauheitsparametern aus Full-Waveform-Airborne-Laserscanner-Daten möglich ist und insgesamt 5 Mrd. 3D-Datenpunkte aus Messungen am Niederrhein analysiert. Es wurden 19 Rauheitsklassen definiert, die sich in Flächennutzung, Vegetationshöhe und -dichte unterscheiden. Die Messdaten innerhalb kartierter Referenzflächen wurden auf charakteristische Muster untersucht. Hierzu wurden statistische, eigenwertbasierte und geometrische Merkmale verwendet. Basierend auf diesen Merkmalen wurde ein Klassifikationsverfahren auf das gesamte Untersuchungsgebiet angewandt. Zur Verwendung der Ergebnisse in der Strömungssimulation wurde ein Filter- und Generalisierungsverfahren entwickelt und angewandt. Als Ergebnis steht ein Verfahren zur Verfügung, mit dem aus hochaufgelösten Full-Waveform-Airborne-Laserscanner-Daten automatisiert Flächen mit einheitlicher Rauheitswirkung in unterschiedlichen Detaillierungsgraden abgeleitet werden können (KRON et al. 2015). Die Untersuchungen wurden im Rahmen eines F&E-Projektes der Bundesanstalt für Gewässerkunde durchgeführt.

2 Festlegung der Rauheitsklassen

Der Widerstand eines Fließgewässers und der angrenzenden Vorländer ergibt sich aus der Überlagerung der auf die Strömung wirkenden Oberflächen- und Formwiderstände. Der Oberflächenwiderstand resultiert aus den Reibungskräften, die bei Überströmen der Geländeoberfläche auf das Fluid wirken. Die Abbildung des Oberflächenwiderstandes in Strömungsmodellen erfolgt flächenhaft, i. d. R. in direkter Abhängigkeit von der Landnutzung. Sind Rauheitselemente vorhanden, die in die Strömung hineinragen, treten zusätzliche Verluste auf, die durch An- und Umströmung der Elemente entstehen. Diese werden über den Formwiderstand abgebildet. Im Hinblick auf die Vegetationshydraulik sind Bäume, Büsche und Sträucher (als Einzelelemente oder in Gruppen) als wesentliche Formwiderstände zu betrachten.

Die Strömungswiderstände der Vegetationselemente werden maßgebend durch das Verhältnis der Fließtiefe zur Wuchshöhe (DVWK 1991) sowie der Bewuchsdichte der Vegetation definiert. Der Begriff der Bewuchsdichte bezieht sich hierbei sowohl auf die Abstände einzelner Vegetationselemente, z. B. Abstände einzelner Bäume und Büsche, als auch auf die Dichte des Blatt- bzw. Astwerks. Die Festlegung der projektspezifischen Rauheitsklassen erfolgt unter Berücksichtigung der Landnutzung sowie in Abhängigkeit der Vegetationshöhe und -dichte (Tabelle 1).

Tabelle 1
Projektspezifisch festgelegte Rauheitsklassen

Rauheitshöhe	Klassenbezeichnung
0 < h < 1,0 m	<i>Wasserflächen</i>
	<i>befestigte Wege und Flächen</i>
	<i>erodierbare Wege und Flächen</i>
	<i>Ackerland</i>
	<i>Grünland</i>
	<i>niedriges Buschwerk, aufgelöst</i>
	<i>niedriges Buschwerk, geschlossen</i>
	<i>Steinschüttungen, Buhne</i>
	<i>Weidezaun</i>
1,0 m < h < 2,5 m	<i>Feuchtgebiete</i>
	<i>mittelhohes Buschwerk, aufgelöst</i>
	<i>mittelhohes Buschwerk, geschlossen</i>
	<i>niedrige Gebäude/Bebauung</i>
h > 2,5 m	<i>hohes Buschwerk, aufgelöst</i>
	<i>hohes Buschwerk, geschlossen</i>
	<i>Baum, ohne/wenig Unterholz</i>
	<i>Baum, mit mitteldichtem Unterholz</i>
	<i>Baum, mit dichtem Unterholz</i>
	<i>hohe Gebäude/Bebauung</i>

Für die Klassen *Buschwerk* und *Baum* erfolgte eine Differenzierung nach der Dichte des Vegetationsbestandes. Für die Klasse(n) *Buschwerk* bezieht sich die Dichte auf den Abstand einzelner Büsche zueinander. Unterschieden wurde hier in *aufgelöstes Buschwerk* (Einzel- bzw. frei stehende Büsche) und *geschlossenes Buschwerk* (Buschreihe). In der Rauheitsklasse *Baum* wurde nach der Dichte des Unterstandes unterschieden. Als Beispiel für *Baum ohne/wenig Unterholz* können Einzelbäume oder kleine Baumgruppen in Parkanlagen oder Grünstreifen, als *Baum mit mitteldichtem Unterholz* bewirtschaftete Waldflächen und als *Baum mit dichtem Unterholz* nicht bewirtschaftete Auwälder genannt werden.

Als Basisdaten für die überwachte Klassifikation werden Flächen für jede Rauheitsklasse benötigt, die als Trainingsflächen für den Klassifikator verwendet werden können. Innerhalb dieser Flächen soll zum einen eine möglichst weitgehende Bedeckung mit der entsprechenden Rauheitsklasse vorliegen (90-95 %), zum anderem sollen diese innerhalb der Klasse eine gewisse „Streubreite“ an Signalen aufweisen, um eine robuste Klassifizierung zu erreichen. Hierzu wurden für jede Rauheitsklasse mehrere, nicht zusammenhängende Flächen kartiert, mit einer Mindestgesamtfläche von ca. 1.000 m² für jede Rauheitsklasse.

3 Klassifizierung und Generalisierung der Full-Waveform-Airborne-Laserscanner-(FW-ALS-)Daten

Für die Klassifikation werden Support Vector Machines (SVM) eingesetzt. Die projektspezifisch festgelegten Rauheitsklassen werden mit Hilfe von Merkmalsvektoren beschrieben und anschließend anhand deren Lage im Merkmalsraum klassifiziert. Die Parametrisierung einzelner Rauheitsklassen wird bei der überwachten Klassifikation durch Training aus Beispieldaten bzw. Referenzdaten gewonnen. Des Weiteren erfolgen eine quantitative Bewertung des Klassifikationsergebnisses und die Generalisierung unter hydraulischen Gesichtspunkten.

Charakteristische Strukturen sind in Abhängigkeit der gegebenen Rauheitsklassen zu erwarten (JUTZI & STILLA 2003). Ebene Strukturen, wie Wiesen oder Ackerland, können unter Umständen durch klein gewählte Nachbarschaften ausreichend beschrieben werden. In Wäldern kann es dagegen notwendig sein, größere Nachbarschaftsbereiche zu wählen, um die darin enthaltenen Baum- und Unterholzstrukturen zu erfassen. Die optimale Nachbarschaftsgröße ist abhängig von den gegebenen Rauheitsklassen und den verwendeten Merkmalen. Für jede Rauheitsklasse wird durch separates Training und Klassifikation die optimale Größe der lokalen Nachbarschaft bestimmt. Deshalb werden für die Klassifikation aus den FW-ALS-Daten signifikante und deskriptive Merkmale unter Berücksichtigung der lokalen Nachbarschaft für 1 m x 1 m große Flächen generiert.

Pro Quadratmeter werden jeweils Merkmale aus vier verschiedenen Kategorien berechnet und zu einem Merkmalsvektor zusammengefasst: (i) statistische Merkmale, (ii) eigenwertbasierte Merkmale (GROSS et al. 2007; WEINMANN et al. 2013; WEINMANN et al. 2014], (iii) Shape Distributions (BLOMLEY et al. 2014] und (iv) ein Höhenhistogramm.

Die Parametrisierung des Klassifikationsverfahrens wird durch 3-fache Kreuzvalidierung bestimmt. Zur Beurteilung der Klassifikationsleistung werden die Maße: *Quality*, *Completeness* und *Correctness* verwendet, welche richtige, falsche und fehlende Zuordnungen berücksichtigen. Wie vermutet, ist die Klassifikation der einzelnen Rauheitsklassen abhängig von der jeweiligen Nachbarschaftsgröße. Für jede Rauheitsklasse wird ein optimal bestimmter Klassifikator zur endgültigen Klassifizierung herangezogen.

Als Ergebnis der Klassifikation liegen für jedes Element des 1 m x 1 m-Rasters im Projektgebiet die Zuordnungswahrscheinlichkeiten zu jeder der 19 Rauheitsklassen vor. In der Strömungsmodellierung sind jeder Zelle eindeutige Beiwerte zur Charakterisierung der Oberflächenrauheit und ggf. der Formrauheit zuzuordnen. Aus diesem Grund wird jedem Quadratmeter zunächst diejenige Rauheitsklasse zugeordnet, die im Rahmen der Klassifikation mit der höchsten Zuordnungswahrscheinlichkeit ermittelt wurde. Die Zuordnung erfolgt zunächst singular für jede einzelne Rasterzelle, d. h. ohne Berücksichtigung der benachbarten Zellen. Dadurch entsteht ein stark heterogenes Rauheitsraster, das für die direkte Anwendung in Strömungsmodellen ungeeignet ist.

Zur „Homogenisierung“ des Rauheitsrasters sowie zur Reduktion der zu verarbeitenden Datenmenge wurde ein mehrstufiges Filter- und Generalisierungsverfahren entwickelt, mit dem Flächen geringer Größe eliminiert werden können (Abb. 1) und gleichzeitig sichergestellt ist, dass kleinräumige, aber hydraulisch relevante Vegetationsflächen bei der Übertragung auf das Berechnungsnetz ausreichend berücksichtigt werden.

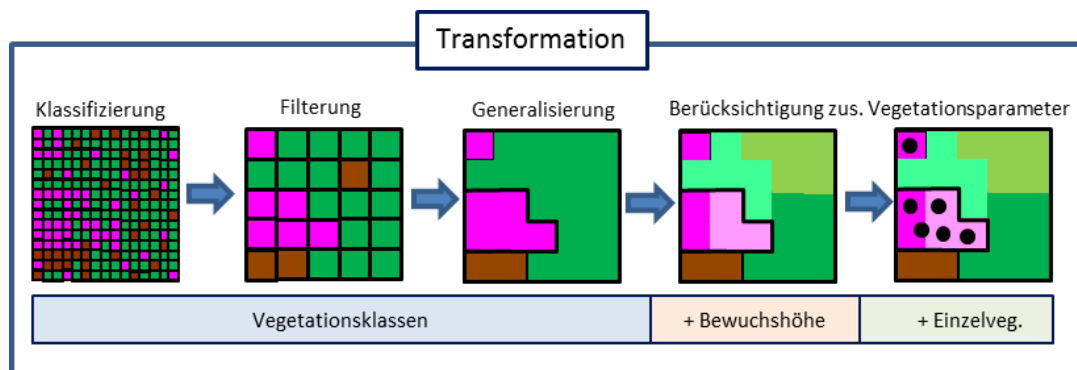


Abb. 1: Projektspezifisch festgelegte Rauheitsklassen

In einem ersten Bearbeitungsschritt werden über einen Mehrheitsfilter isolierte Flächen herausgefiltert. Im Weiteren werden in Abhängigkeit der Rauheitsklasse Mindestgrößen von Flächen mit einheitlicher Rauheit definiert, bei deren Unterschreiten eine Berücksichtigung aus hydraulischer Sicht nicht erforderlich ist. Die jeweilige Parameterkonfiguration der Filterung und Generalisierung kann durch den Benutzer festgelegt werden. So kann sichergestellt werden, dass der Detaillierungsgrad der Rauheitsbelegung an das Strömungsmodell angepasst werden kann. Im Ergebnis liegt ein flächendeckendes generalisiertes Netz mit eindeutiger Zuordnung zu einer der definierten Rauheitsklassen vor. Den einzelnen Teilflächen, die sowohl rasterbasiert als auch als Umrißpolygone vorliegen, können zur Anwendung in der Strömungsmodellierung entsprechende Rauheitsbeiwerte zugewiesen werden. Es besteht weiterhin die Möglichkeit, aus den FW-ALS-Daten ableitbare Vegetationsparameter in der Festlegung der Rauheitsflächen zu berücksichtigen, z. B. die Bewuchshöhe oder Baumabstände, was jedoch nicht in der Zielsetzung des Projektrahmens lag.

4 Bewertung der erzielten Ergebnisse

Neben der qualitativen Evaluierung auf Basis der Referenzdaten (Abb. 2, links) erfolgt eine Validierung der Klassifizierungsergebnisse (Abb. 2, rechts) für das gesamte Projektgebiet über den Vergleich mit Orthofotos sowie Vor-Ort-Kartierungen. Die Ergebnisse stimmen in beiden Fällen weitgehend überein. Folgende auffällige Zusammenhänge konnten direkt aus den Klassifikationsergebnissen abgeleitet werden:

- > Prinzipiell ist eine gute Zuordnung zwischen den einzelnen Referenzklassen und den dazugehörigen Ergebnisklassen gegeben.
- > *Befestigte Wege und Flächen:* Es erfolgt in vielen Fällen eine korrekte Zuordnung. Teilweise ist eine Fehlzuordnung zur Klasse *hohe Bebauung* zu beobachten. Dies ist dadurch zu erklären, dass beide Klassen größtenteils künstliche Objektoberflächen (z. B. Dach oder Asphalt) aufweisen, die üblicherweise eine planare Geometrie und homogene Radiometrie besitzen.
- > *Erodierbare Wege und Flächen, Ackerland, Grünland:* Eine zuverlässige Unterscheidung der Klassen *Erodierbare Wege und Flächen* und *Grünland* ist eingeschränkt möglich. *Ackerland* wird sehr gut erkannt. Bei diesen Klassen handelt es sich um

geometrisch „flache“ Strukturen. Es findet teilweise eine gegenseitige Zuordnung zwischen den Klassen *Ackerland* und *Grünland* statt. Dies ist dadurch erklärbar, dass für viele Flächen eine eindeutige Trennung der beiden Klassen auch in der Realität nicht möglich ist, insbesondere vor dem Hintergrund, dass die Befliegungsdaten in der vegetationsfreien Periode aufgenommen wurden.

- > *Niedriges Buschwerk*: Die Klassen können nicht durchgehend zuverlässig klassifiziert werden. Dies ist vermutlich auch dadurch begründet, dass im Projektgebiet nur wenige Flächen mit niedrigem Buschwerk vorhanden sind, die zudem sehr heterogene Bewuchsstrukturen aufweisen.
- > *Steinschüttung, Buhne, Feuchtgebiet*: Diese Klassen werden mit hoher Zuverlässigkeit zugeordnet.
- > *Mittelhohes Buschwerk*: Die Zuverlässigkeit liegt im mittleren Bereich, bei *geschlossenem Buschwerk* ist eine schwache Verwechslung mit *hohem Buschwerk* gegeben.
- > *Hohes Buschwerk*: *Aufgelöstes Buschwerk* wird sehr gut erkannt, bei *geschlossenem Buschwerk* liegt die Zuverlässigkeit im mittleren Bereich.
- > *Baum*: Grundsätzlich werden nahezu alle Bäume zuverlässig erkannt. Eine Unterscheidung nach der Dichte des Unterwuchses ist jedoch nicht möglich, dies ist an der hohen gegenseitigen Zuordnung der drei Klassen untereinander zu erkennen.
- > *Gebäude*: Sowohl niedrige als auch hohe Gebäude werden sehr gut erkannt.

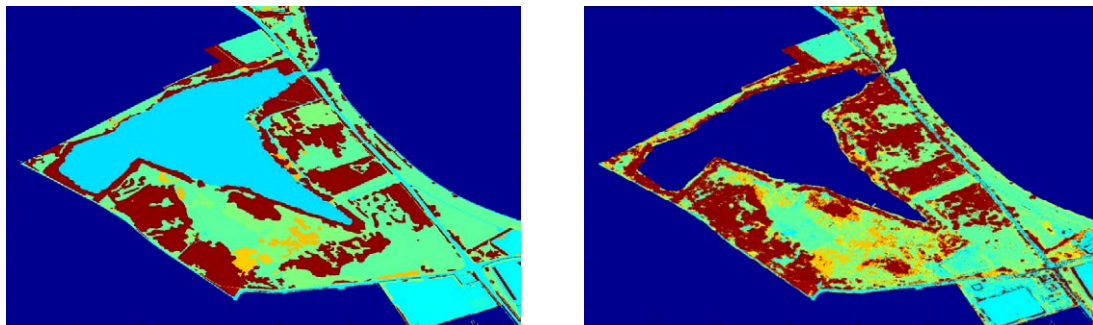


Abb. 2: Exemplarische Visualisierung von Rauheitsklassen (Ausschnitt): Referenzdaten (links) und Klassifikationsergebnis (rechts)

5 Fazit und Ausblick

Die Untersuchungen haben ergeben, dass durch die entwickelten Methoden eine automatisierte Ableitung von Flussvorlandrauheiten für große Modellgebiete möglich ist. Da das Training des Klassifikators auf Referenzflächen erfolgt, ist die Qualität und Größe dieser Flächen ein entscheidendes Kriterium für das resultierende Klassifikationsergebnis. Als Mindestmaß sollte eine Größe von 1.000 m² als Trainingsfläche/Klasse nicht unterschritten werden.

Unter Berücksichtigung der in der Projektlaufzeit gewonnenen Erkenntnisse ergeben sich neue Fragestellungen, die zukünftig bei der Ableitung von Flussvorlandrauheiten angegangen werden müssen.

Insbesondere Vegetationsbereiche weisen aufgrund ihrer jahreszeitlich unterschiedlichen Bewuchsdichten sowie ihrer natürlichen Sukzession keine „statischen“ Strömungswiderstände auf. Dies betrifft beispielsweise Buschwerk im belaubtem (Sommer) bzw. unbelaubtem Zustand (Winter), aber auch Ackerflächen, die in den Sommermonaten bewachsen und in den Wintermonaten vegetationsfrei sind. Um dies bei der Klassifikation zu berücksichtigen, ist eine Erweiterung der Datengrundlage durch multitemporale Erfassung von Vegetationsbereichen sinnvoll und zielgerichtet. Mit den daraus ableitbaren Informationen über die Bewuchsdichte in unterschiedlichen Wachstumsstadien kann die Prognosefähigkeit der Strömungsmodelle zusätzlich verbessert werden.

Prinzipiell kann über eine Erhöhung der Punktdichte (> 4 Punkte pro Quadratmeter) bei der Datenerfassung die Vegetationsdichte und -struktur genauer bestimmt und beispielsweise die Dichteverteilung an die Bewuchshöhe angekoppelt werden. Dadurch ist grundsätzlich eine wasserstandsabhängige Modellierung der Strömungswiderstände möglich.

Eine weitere Verbesserung der Klassifikationsergebnisse ist durch die Einbindung von Verfahren zur Einzelbaumerkennung zu erwarten. Dadurch können gezielt Baumabstände aus den Daten abgeleitet und als Widerstandsparameter in der Strömungsmodellierung berücksichtigt werden.

Literatur

- DVWK (1991): Hydraulische Berechnungen von Fließgewässern, Merkblätter zur Wasserwirtschaft des Deutschen Verbandes für Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V. Heft 220, Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin
- BLOMLEY, R., M. WEINMANN, J. LEITLOFF, B. JUTZI (2014): Shape Distribution Features for Point Cloud Analysis – A Geometric Histogram Approach on Multiple Scales. ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences II-3, 9-16
- GROSS, H., B. JUTZI, U. THOENNESSEN (2007): Segmentation of tree regions using data of a full-waveform laser. International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences 36 (Part 3/W49A): 57-62
- JUTZI, B., U. STILLA (2003): Analysis of laser pulses for gaining surface features of urban objects. 2nd GRSS/ISPRS Joint Workshop on Remote Sensing and data fusion on urban areas, URBAN 2003. IEEE: 13-17
- KRON, A., B. JUTZI, J. LEITLOFF, M. MUSALL, F. NESTMANN, S. HINZ, H. BROCKMANN (2015): Ableitung von Vorlandrauheiten für Strömungssimulationen auf der Basis von Full-Waveform-Airborne-Laserscannerdaten (FW-ALS). 38. Dresdner Wasserbaukolloquium 2015 - Messen und Überwachen im Wasserbau und am Gewässer
- MUSALL, M., P. OBERLE, F. NESTMANN (2011): Hydraulic Modelling, Flood Risk Assessment and Management, Springer Verlag: 187-209
- MUSALL, M., A. KRON, P. OBERLE, C. BEFFA (2008): GIS-gestütztes Werkzeug zur operationellen Hochwassersimulation auf Basis eines 1D/2D-gekoppelten HN-Verfahrens, Internationales Symposium „Neue Anforderungen an den Wasserbau“, ETH Zürich, Mitteilung 208, Band 2

WEINMANN, M., B. JUTZI, C. MALLET (2013): Feature relevance assessment for the semantic interpretation of 3D point cloud data. ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences II-5/W2: 313-318

WEINMANN, M., B. JUTZI, C. MALLET (2014): Semantic 3D Scene Interpretation: A Framework Combining Optimal Neighborhood Size Selection with Relevant Features. ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences II-3, 2014: 181-188

Kontakt:

Prof. Dr.-Ing. Stefan Hinz

Dr.-Ing. Boris Jutzi

Dr.-Ing Jens Leitloff

Institut für Photogrammetrie
und Fernerkundung

Karlsruher Institut für Technologie

Kaiserstraße 12

76131 Karlsruhe

E-Mail: boris.jutzi@kit.edu

Prof. Dr.-Ing. Franz Nestmann

Dr.-Ing Andreas Kron

Dr.-Ing. Mark Musall

Institut für Wasser und
Gewässerentwicklung

Karlsruher Institut für Technologie

Kaiserstraße 12

76131 Karlsruhe

E-Mail: kron@kit.edu

Dipl.-Ing. Herbert Brockmann

Bundesanstalt für Gewässerkunde

Am Mainzer Tor 1

56068 Koblenz

E-Mail: brockmann@bafg.de

Evaluierung der flugzeuggestützten interferometrischen Radartechnik zur Erfassung von Watt- und Küstenvorlandflächen

Andreas Haase, Holger Dirks und Ulrike Schiller

1 Einleitung

Großflächige Vermessungen der Watt- und Küstenvorlandflächen werden an der südlichen Nordseeküste, d. h. von der Ems bis zur Elbe, wiederkehrend und in mehrjährigen Abständen durchgeführt. Ziel dieser Datenerfassungen ist die Herstellung detaillierter Digitaler Geländemodelle der Wasserläufe (DGM-W) und Digitaler Oberflächenmodelle (DOM), die einen möglichst großräumigen synoptischen Zustand der Erdoberfläche wiedergeben. Sie bilden damit eine fundamentale Datenquelle für vielfältige fachwissenschaftliche Aufgaben und Anwendungen, wie sie von den Projektbeteiligten Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG), Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) und der Forschungsstelle Küste des Niedersächsischen Landesbetriebes für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (NLWKN) wahrgenommen werden. Die Geodaten sind unverzichtbar als topographische Simulations- und Validierungsgrundlage hochaufgelöster hydro- und morphodynamischer Modelle, sie bilden die Basis morphologischer Analysen und werden zur Beantwortung komplexer ökologischer und küstenschutzrelevanter Fragestellungen herangezogen.

2 Veranlassung und Anforderungen

Aktuell werden die periodisch trocken fallenden Watten und Vorländer im Küstenraum meist durch Airborne-Laserscanning-(ALS-)Befliegungen erfasst. Als wirtschaftliche Alternative kann nach den jüngsten Entwicklungen die flugzeuggestützte Interferometrische Synthetic Aperture Radar-Abbildung (InSAR) angesehen werden, da sie wetterunabhängig ist und eine bis zu fünfmal höhere Flächenleistung erlaubt. Das Leistungsvermögen dieser Technik war im Rahmen einer Evaluierung aufzuzeigen, wobei zur Datenerfassung das Flugzeug-SAR-System des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) zum Einsatz kam. Das Projekt wurde durch einen Zusammenschluss von BfG (Federführung, Evaluierung, Berichtswesen), BAW (Evaluierung), NLWKN (Evaluierung, Passpunktbestimmung), DLR (SAR-Befliegung, InSAR-Datenprozessierung) und RMK (Evaluierung im Auftrag der BfG) realisiert.

Die fachlichen Anforderungen und die zu liefernden Produkte waren:

1. DOM (1m-Quadratgitter) aus InSAR für:

- Wattflächen:
Höhengenauigkeit (DIN 1995): $U_H = 15\text{cm}$, Lagegenauigkeit: $U_x = U_y = 1\text{ m}$
- Vorlandgelände:
Höhengenauigkeit: $U_H = 15\text{cm}$, Lagegenauigkeit: $U_x = U_y = 40\text{ cm}$

2. Messdatenklassifikation (Wasser-Land-Grenze bzw. Land-Wasser-Maske LWM)

Zudem sollten die bei den Befliegungen gewonnenen Resultate aus Sicht des DLR dazu dienen, eingesetzte und noch im Forschungszustand befindliche Radarsysteme zu optimieren und neben der Prozessierungstechnik auch die Befliegungsparameter für künftige Missionen zu verbessern.

Als Vergleichsdaten für die Evaluierung lagen die Ergebnisse von ALS-Befliegungen (Juist, 18.10.2012 und Jadebusen, 26.03.2013) mit Punktdichten von 3 Punkten/m² vor, die in Form von DOM mit 1-m-Auflösung vom NLWKN zur Verfügung gestellt wurden.

3 InSAR-Grundlagen

Zur Erfassung von Geländedaten mittels Radar werden Seitensicht-Systeme (SLAR) eingesetzt, die Signale im Mikrowellenbereich aussenden, welche anschließend am Bodenobjekt reflektiert und zur Empfangseinheit zurückgestreut werden (DLR 2014).

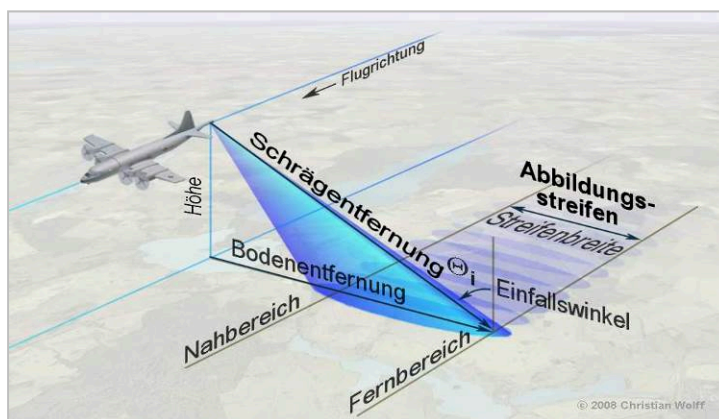


Abb. 1: Prinzipskizze SLAR, side looking airborne radar (WOLFF 2008)

Für jeden Bildpunkt werden so ein Intensitäts- und ein Phasenwert (Signallaufzeit) gemessen. Aus der Rückstreuung können wichtige Informationen über die Eigenschaften und Struktur der Oberfläche abgeleitet werden. Die auf diese Weise aufgenommenen Radar-Rohdaten werden nach der Aufnahme mit einem rechenintensiven Verfahren fokussiert und kalibriert, um insbesondere eine hohe räumliche Auflösung in Flugrichtung und die geforderte Lagegenauigkeit der abgeleiteten Bildprodukte zu gewährleisten. Erst in dieser Nachverarbeitung werden SLAR-Daten zu SAR-Daten (Radar mit synthetischer Apertur) (GUTJAHR 2002).

Die wichtigsten kennzeichnenden Parameter des hier eingesetzten DLR-F-SAR-Systems sind

1. die Mikrowellen Bandbereiche:
 - X-Band: Trägerfrequenz 9,6 GHz (zur Oberflächenerfassung)
 - S-Band: 3,25 GHz (Signaldurchdringung der Vegetation zur Geländeoberflächenerfassung)

2. die Aufzeichnungs-/Empfangsmodi:
 - Einpass (EP, single pass) mit 2 Empfängerantennen am Träger
 - Mehrpass (MP, Dualpass, repeat pass): 2 Empfänger, wiederholte, zeitlich und/oder räumlich versetzte Aufnahme des gleichen Gebietes

4 DLR-Befliegungen

Für die Untersuchungen wurden mehrere Befliegungskampagnen (DLR 2013) durchgeführt. Chronologisch sind dies für die beiden ausgewählten Untersuchungsgebiete der Insel Juist und eines Teilgebietes vom Jadebusen (REIGBER 2014):

- 04/2012: X-Band (2 Streifen mit entgegengesetzter Flug-/Blickrichtung und versetzter Basis)
- 11/2012: X-Band (Untersuchung der Ergebnisse insbesondere von Juist)
- 04/2013: X- und S-Band, wobei das S-Band nur für DLR-Optimierungszwecke verwendet wurde. Erfassung nur im Teilgebiet des Jadebusen
Flughöhen: 2413 m und 2438 m, d. h. Realisierung einer Basis von 25 m

Dabei wurde auf Juist ein ca. 17 km x 2,4 km breiter Streifen aufgenommen (s. Abb. 2), während beim Jadebusen ca. 20 km x 3 km erfasst wurden (s. Abb. 5).

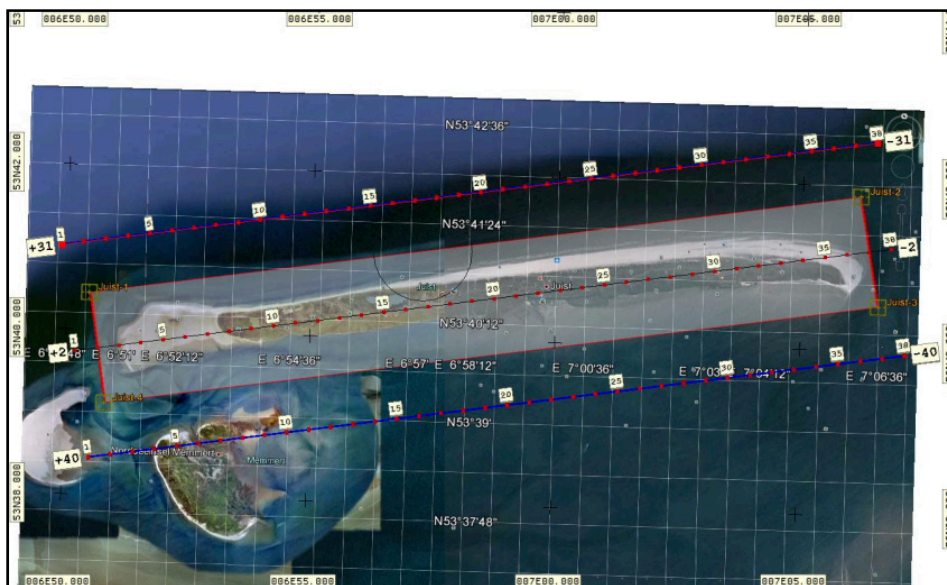


Abb. 2: Flugplanung Juist: Beleuchtung von zwei gegenüberliegenden Seiten

Nach jedem Flug bzw. jeder Befliegungskampagne wurden die Erfassungsdaten analysiert, um dadurch gewonnene Resultate zur möglichen Verbesserung beim nächsten Flug einzubringen. Beispielsweise wurden nach dem April-Flug 2012 für die Zielsetzung: X-Banddaten mit verbessertem SNR (signal-to-noise ratio, d. h. besserer Rauschunterdrückung) die

- > Flughöhe verringert (von 3000 m auf 2438 m),
- > zudem eine vertikale Polarisation gewährleistet,
- > eine manuelle Empfängerverstärkungsregelung durchgeführt.

Für eine verbesserte geometrische Einpassung der Flugstreifen wurden zusätzlich Querstreifen mitbeflogen. Außerdem sind zur Kalibrierung und genaueren Georeferenzierung der interferometrischen Produkte mehrere sogenannte trihedrale Radarreflektoren als Passinformationen vor Ort installiert worden, die 3D-koordinativ eingemessen wurden.

5 Untersuchungen und Ergebnisse

Zusätzlich zu den Fragestellungen hinsichtlich der erreichten Genauigkeit der prozessierten Daten wurden auch andere Qualitätsprüfungen der gelieferten Produkte wie Vollständigkeit, Datenformate, Koordinatensysteme, etc. durchgeführt und protokolliert.

5.1 Juist

Aus den nachprozessierten Erfassungsdaten der Insel Juist wurde vom DLR ein DOM aus Einpassdaten ($DOM_{\text{INSAR/EP}}$) generiert und in Form von $1 \times 1 \text{ km}^2$ -Kacheln als flächen-deckender Tif-Datensatz mit 2-m-Auflösung für das Interessengebiet geliefert.

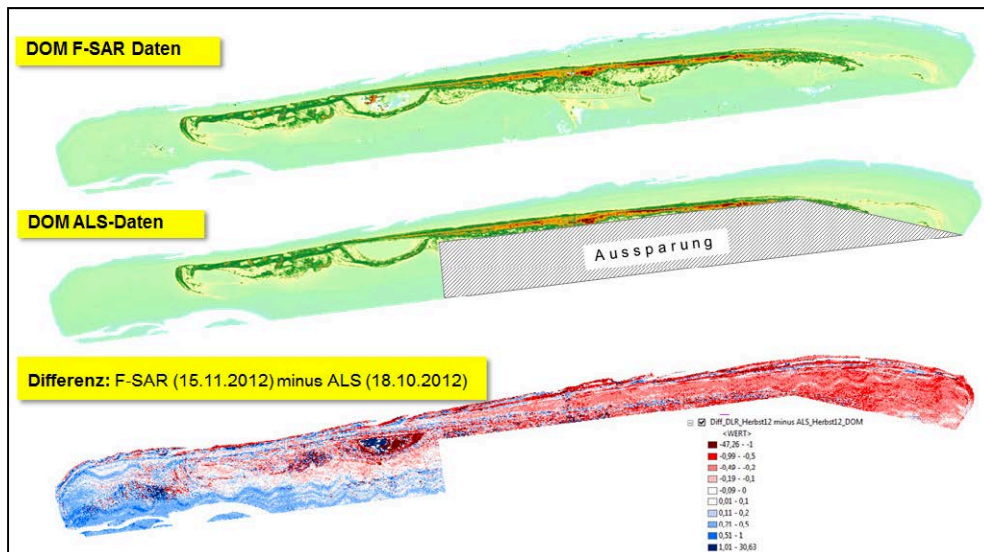


Abb. 3: Einpass-Oberflächenmodell $DOM_{\text{INSAR/EP}}$ von Juist (oben) und Differenzenmodell $DOM_{\text{INSAR/EP}} - DOM_{\text{ALS}}$ (unten) mit deutlich erkennbaren Einflüssen durch fehlerhafte Phasendifferenzen (wellenförmige Ausprägung)

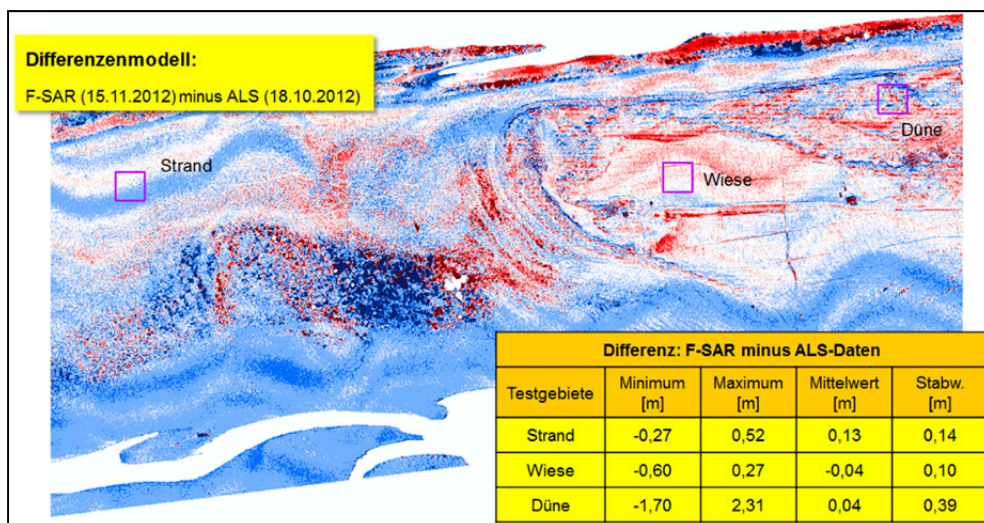


Abb. 4: Differenzenmodell $DOM_{\text{INSAR/EP}} - DOM_{\text{ALS}}$ und Ergebnisanalysen in drei ausgesuchten Testgebieten im westlichen Teil von Juist

Die an das zu liefernde Produkt gestellten Höhengenaugkeitsanforderungen wurden hier erfüllt. Im Vergleich zu den Referenzdaten aus der ALS-Befliegungskampagne (das ALS-DOM wurde als quasi fehlerfrei angenommen) sind aber deutlich sichtbare Restfehler aufgrund von Mehrweegeffekten im InSAR-DOM enthalten. Die niederfrequenten Wellen entlang der Flugrichtung sind auf eine ungenau bestimmte Basislinie zurückzuführen. Eine Verbesserung der gewonnenen Ergebnisse wird mit einer gesteigerten Anzahl von Referenzpunkten für eine zuverlässigere Kalibrierung sowie mit einer optimierten Flugstreifenplanung mit dem Ziel zur Reduktion der Mehrwegeartefakte erwartet.

5.2 Jadebusen

Für den Befliegungsbereich im Jadebusen (s. Abb. 5) wurde neben dem Einpass-DOM auch ein Mehrpass-DOM ($DOM_{\text{INSAR/MP}}$) mit 1-m-Auflösung prozessiert und im gleichen Datenformat geliefert. Allerdings konnten dafür nur ca. 33 % der Befliegungsfläche genutzt werden (s. Abb. 6), weil in den übrigen Bereichen aufgrund diverser Phasenabwicklungsfehler der Radardaten eine Berechnung nicht möglich war.

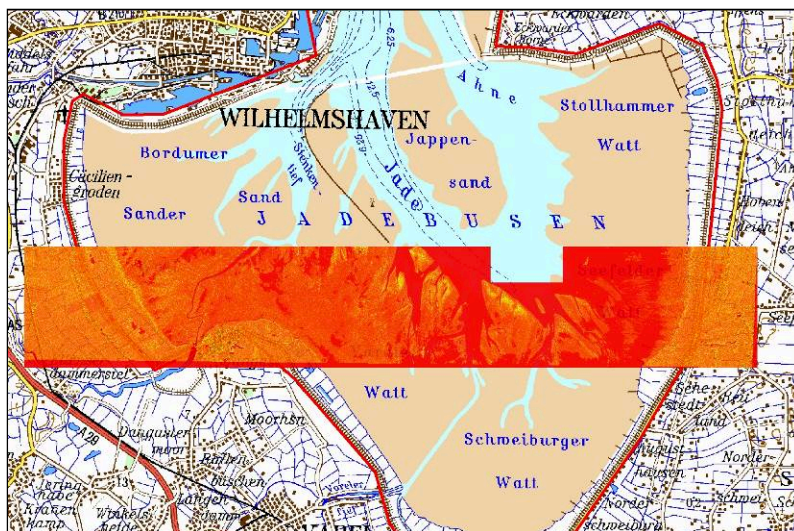


Abb. 5: Radar X-Band Aufnahme im Untersuchungsgebiet vom Jadebusen

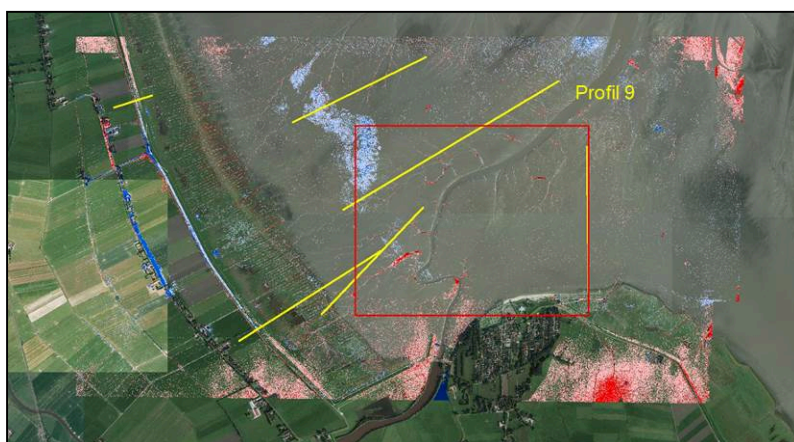


Abb. 6: Differenzenmodell $DOM_{\text{INSAR/MP}} - DOM_{\text{ALS}}$ im Jadebusen mit Orthophoto im Hintergrund

Alle aus interferometrischem Radar erstellten Oberflächenmodelle wurden detailliert untersucht. Dafür wurden primär Differenzenmodelle zu den vergleichbaren ALS-Oberflächenmodellen berechnet und diese getrennt für die Watt- und Vorlandflächen qualitativ und quantitativ beurteilt.

Als zweites Beurteilungswerkzeug wurden diverse Profilsuren in unterschiedlichen Geländeabschnitten festgelegt und mit den DOM verschnitten. Anhand dieser erhaltenen Differenzenprofile konnten weitere Qualitätsbeurteilungen erfolgen. Zusätzlich wird mit diesen Profildarstellungen z. B. auch offenkundig, dass die Differenzen $DOM_{InSAR/MP} - DOM_{ALS}$ einen unruhigen Verlauf haben (vgl. Abb. 7), das Rauschen aber nicht so ausgeprägt wie beim Differenzenprofil $DOM_{InSAR/EP} - DOM_{ALS}$ ist. Dies wird auch bei einer Gegenüberstellung der direkten Profile des $DOM_{InSAR/MP}$ und des DOM_{ALS} bestätigt, wo ebenfalls der unruhigere Verlauf des $DOM_{InSAR/MP}$ gegenüber dem DOM_{ALS} deutlich wird.

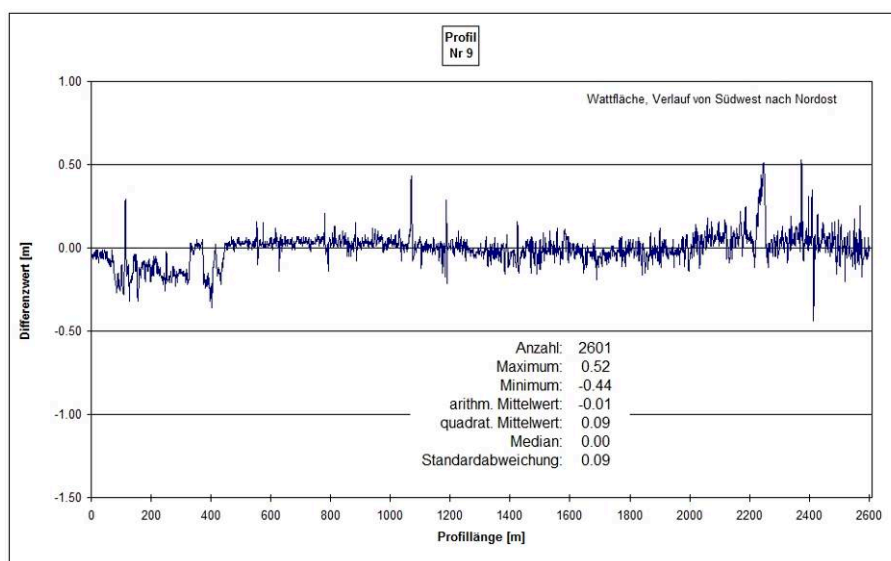


Abb. 7: Differenzenprofil $DOM_{InSAR/MP} - DOM_{ALS}$ im Jadebusen für das Profil 9

5.3 Zusammenfassung

Die wesentlichen Ergebnisse aller hier untersuchten Flächen- und Profilvergleiche lassen sich für die Untersuchungsgebiete auf Juist und im Jadebusen wie folgt zusammenfassen:

- > In großen Bereichen der trocken gefallenen Wattflächen liegen die Höhendifferenzen für Einpass- und Mehrpass-DOM zwischen $\Delta_H = -20$ cm und $\Delta_H = 20$ cm.
- > Größere Differenzen werden vor allem beim $DOM_{InSAR/MP}$ in stärker strukturierten Bereichen wie Prielen und im Vorland bei Vegetation und Bebauung sichtbar.
- > Das Rauschen der Differenzen ist beim $DOM_{InSAR/MP}$ geringer als beim $DOM_{InSAR/EP}$.
- > Systematiken in Form von Offsets, Trends und Kippungen, die vor allem beim EP-DOM auftreten, lassen auf Defizite in der Georeferenzierung schließen.
- > Weitere Artefakte deuten auf Unzulänglichkeiten der automatischen Plausibilisierung und Klassifizierung hin.

Unter Berücksichtigung der Unsicherheiten der DOM_{ALS} -Daten und der erwähnten Restsystematiken sind überschlägig die in der nachfolgenden Tabelle zusammengestellten Unsicherheiten der berechneten Oberflächenmodelle zu veranschlagen.

Tabelle 1

Gegenüberstellung: fachliche Anforderungen (SOLL) – erreichte InSAR-Ergebnisse (IST)
(BROCKMANN, HAASE & SCHUMANN 2014)

Produkt		$U_{x/95}$ [m]	$U_{y/95}$ [m]	$U_{H/95}$ [m]	Anmerkung
0,5 m-SAR-Bild	SOLL	≤ 2 m	≤ 2 m	–	
	IST	≤ 2 m	≤ 2 m	–	Restartefakte vorhanden
DOM_{Watt}	SOLL	≤ 1 m	≤ 1 m	$\leq 0,15$ m	
2 m- $DOM_{InSAR/EP}$	IST	≤ 2 m	≤ 2 m	$\leq 0,50$ m	Restartefakte vorhanden
1 m- $DOM_{InSAR/MP}$	IST	≤ 2 m	≤ 2 m	$\leq 0,25$ m	Restartefakte vorhanden
$DOM_{Vorland}$	SOLL	$\leq 0,40$ m	$\leq 0,40$ m	$\leq 0,15$ m	
2 m- $DOM_{InSAR/EP}$	IST	≤ 2 m	≤ 2 m	$\leq 0,75$ m	Restartefakte vorhanden
1 m $DOM_{InSAR/MP}$	IST	≤ 2 m	≤ 2 m	$\leq 0,30$ m	Restartefakte vorhanden
1 m-Wasser-Land-Maske	SOLL	≤ 2 m	≤ 2 m	$\leq 0,15$ m	
	IST	–	–	–	nicht qualifiziert ableitbar

6 Fazit und Ausblick

Die Ergebnisse zeigen, dass InSAR aktuell ALS in der topographischen Erfassung des Küstenreliefs noch nicht ersetzen kann. Die erreichte Lage- und Höhengenaugigkeit, das Auftreten geometrischer Artefakte, Höhen- und Lageversätze sowie die erzielte Flächenabdeckung entsprechen noch nicht den gestellten Anforderungen. Allerdings bestätigen die Ergebnisse die grundsätzlichen Potenziale des Aufnahmeverfahrens. Verbesserungen werden insbesondere durch eine erweiterte Phasenfilterung, die Berücksichtigung temporärer lokaler Passfelder und/oder permanent verfügbarer Objektinformationen sowie durch eine optimierte Fluganordnung (zeitlich und räumlich) erwartet.

Belastbare Aussagen zur Wirtschaftlichkeit und zum operationellen Betrieb sind zum derzeitigen Stand noch nicht möglich. Durch zielgerichtete F&E-Maßnahmen, die sowohl die Hardware als auch die Datenprozessierung inkludieren, können unter fachlichen und wirtschaftlichen Optimierungsgesichtspunkten nutzergerechte Produkte erwartet werden. Eine Realisierung wird von der BfG in Zusammenarbeit mit den Bedarfsträgern und Forschungseinrichtungen weiterverfolgt.

Literatur

- BROCKMANN, H. (2000): Einsatz flugzeuggestützter Fernerkundungstechniken zur Bearbeitung hydrologischer Fragestellungen, In: Wasserwirtschaft, 90. Jg. Nr. 1, S. 20-60
- BROCKMANN, H., A. HAASE & L. SCHUMANN (2014): Evaluierung der flugzeuggestützten interferometrischen Radar-Technik zur Erfassung trocken fallender Watt- und Küstenvorlandflächen, Bundesanstalt für Gewässerkunde, Bericht BfG-1821

- DIN (1995): Leitfaden zur Angabe der Unsicherheit beim Messen; Deutsche Übersetzung des „Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement“, Herausgeber: DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 1. Auflage 1995, Beuth Verlag GmbH, Berlin, Wien, Zürich
- DLR (2013): Ergebnisbericht für die Daten der F-SAR Befliegung vom April 2013 zum BfG-Projekt: Flugzeuggestützte SAR-Interferometrie zur Erprobung der 3D-Erfassung trocken fallender Wattflächen und Küstenvorländer, Oberpfaffenhofen, 25.11.2013 (unveröffentlicht)
- DLR (2014): http://www.dlr.de/dlr/desktopdefault.aspx/tabid-10382/570_read-431/#gallery/356, 11.02.2014
- GUTJAHR, K. (2002): INSAR-Blockausgleichung, Dissertation, Institut für Geodäsie, Technische Universität Graz
- REIGBER, A. (2014): Das neue flugzeuggetragene Radarsystem F-SAR des DLR und seine Potenziale, Vortrag, BfG-Kolloquium, 18.11.2014 (unveröff.)
- WOLFF, C. (2008): http://www.radartutorial.eu/20.airborne/pic/SLAR-geometry_p.de.jpg, 13.02.2014



Kontakt:

Dipl.-Ing. Andreas Haase

RMK

Breite Str. 32

29221 Celle

Tel.: 05141/ 9060 0

Fax: 05141/ 9060 30

E-Mail: andreas.haase@rmkconsult.de

oder bei der

Bundesanstalt für Gewässerkunde

Tel.: 0261/ 1306 5985

E-Mail: haase.fa-rmk@bafg.de

1983-1989

Studium Geodäsie an der Universität Hannover

1989-1999

Kirchner & Wolf, Hildesheim

seit 1999

RMK, Celle

Projektleiter Photogrammetrie

Schwerpunkte:

- Projektsteuerung
- DGM-Modellierung
- digitale Photogrammetrie
- Airborne Laserscanning
- Qualitätssicherung

seit 2008

Beratungsleistungen im Zusammenhang mit Projekten der Bundesanstalt für Gewässerkunde zur Bereitstellung von Geobasisdaten

Dipl.-Ing. Holger Dirks

Forschungsstelle Küste - Vermessung

NLWKN – BSt. Norden-Norderney

Jahnstr. 1

26506 Norden/Ostfriesland

Tel.: 04931/ 947 212

Fax: 04931/ 947 125

E-Mail: Holger.Dirks@nlwkn-nor.niedersachsen.de

Dipl.-Ing. Ulrike Schiller

Bundesanstalt für Wasserbau

Abteilung Wasserbau im Küstenbereich

Wedeler Landstr. 157

22559 Hamburg

Tel.: 040/ 81908 374

Fax: 040/ 81908 373

E-Mail: ulrike.schiller@baw.de

Erprobung der Laserbathymetrie an der Bundeswasserstraße Elbe

Robert Weiß

1 Einleitung

Ein wesentlicher Auftrag der Bundesanstalt für Gewässerkunde besteht insbesondere in der Beratung der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes. Im Rahmen dieses Auftrages erprobt und evaluiert die BfG neue Verfahren und Systeme zur Erfassung der Topografie von Land- und Gewässerbettflächen. Ein mögliches Verfahren stellt dabei die Laserbathymetrie dar. In der Theorie ermöglicht die Laserbathymetrie eine zeitgleiche Erfassung der Topografie an Land, der Topografie des Gewässerbetts, der Topografie der Wasseroberfläche und damit auch der Land-Wasser-Grenzen. Vor weiterführenden Einsätzen der Laserbathymetrie ist dieses Verfahren im Umfeld der Bundeswasserstraßen zu evaluieren.

2 Grundlagen der Laserbathymetrie

Bei der Laserbathymetrie handelt es sich um eine Erweiterung des klassischen Airborne Laserscannings (ALS). Im Gegensatz zu den herkömmlichen ALS-Systemen basiert die Laserbathymetrie auf Laserlicht im grünen Spektralbereich. Je nach System wird ein grüner Laser allein eingesetzt oder mit einem herkömmlichen Scanner im nahen Infrarotbereich (NIR) kombiniert (Abb. 1). Grünes Laserlicht hat die Eigenschaft, Wasser relativ gut zu durchdringen und wird somit im Gegensatz zu NIR-Laserlicht nicht an der Wasseroberfläche, sondern am Gewässerboden reflektiert. Die Signallaufzeit eines ausgesendeten, am Gewässerboden reflektierten und anschließend wieder empfangenen Laserimpulses beinhaltet somit auch den Weg des Signals durch das Wasser. Unter Berücksichtigung der Lichtgeschwindigkeit im Wasser können die Strecken zwischen der Wasseroberfläche und dem Gewässerboden und damit unter Nutzung des Scanwinkels, der Orientierung und Position im Raum auch die Koordinaten des Gewässerbodens erfasst werden.

Die Ergebnisse des Verfahrens werden durch eine Vielzahl von Einflussfaktoren limitiert. Neben instrumentellen Begrenzungen (z. B. Pulsrate, max. Flughöhe etc.) sind auch rechtliche Rahmenbedingungen einzuhalten (z. B. Maximal- bzw. Minimalflughöhen). Im Wesentlichen wird aber das Verfahren durch die Gewässereigenschaften, insbesondere die Gewässertrübung und die Reflektivität des Gewässerbodens begrenzt. Die Gewässertrübung resultiert aus Schwebstoffteilchen im Wasser. Das einfallende Laserlicht wird an diesen Teilchen diffus in alle Richtungen gestreut, was zu einer starken Signaldämpfung führt. Darüber hinaus bewirken die diffusen Reflektionen eine Aufweitung des Footprints (Abb. 2).

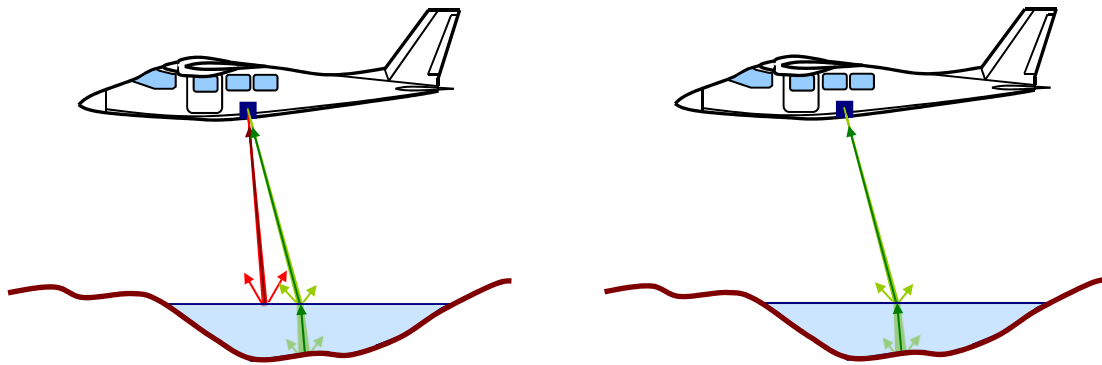


Abb. 1: Prinzip der Laserbathymetrie bei Nutzung einer Laserkombination (NIR+grün, links) und eines grünen Lasers (rechts)

Neben der Signaldämpfung beim Durchdringen des Wasserkörpers ist auch die Reflektivität des Gewässerbodens entscheidend. Je nach Beschaffenheit des Gewässerbodens reflektiert diese das Laserlicht mehr oder weniger gut. Verdeutlicht wird dieser Einfluss in Abb. 3, wo ein typisches Nebengewässer (Altarm Großer Streng/Elbe) dem sehr klaren Rhein bei Schaffhausen gegenübergestellt ist. Aus der linken Abbildung geht hervor, dass im Gegensatz zur rechten Abbildung der Gewässerboden nicht sichtbar ist. Praktisch bedeutet dies, dass das einfallende Sonnenlicht im Wasserkörper diffus gestreut wird, die verbleibenden Reflektionen des Gewässergrunds wieder diffus gestreut werden und letztendlich beim Betrachter kein signifikantes Signal des Gewässerbodens ankommt. Im Gegensatz zur linken Abbildung durchdringt das Sonnenlicht den sehr klaren Rhein bis zum Gewässerboden und wird dort bzw. an den einzelnen Fischen reflektiert. Das reflektierte Signal wird durch das klare Wasser kaum gedämpft und anschließend vom Beobachter erfasst. Dieser kann folglich den Gewässerboden und die einzelnen Fische problemlos erkennen.

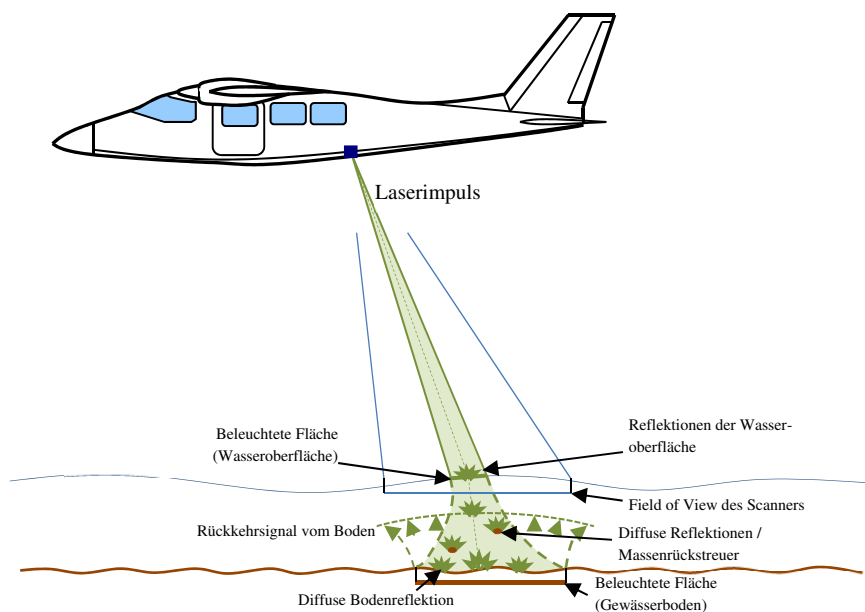


Abb. 2: Diffuse Reflektionen und Aufweitung des Footprints



Abb. 3: Gewässertrübung an einem Altarm der Elbe (links) und am Rheinfluss bei Schaffhausen (rechts)

Bedingt durch die Signaldämpfung und partielle Reflektionen an der Wasseroberfläche ist das vom Gewässerboden reflektierte Signal sehr schwach. Moderne Scanner sind in der Lage, den kompletten Rückkehrimpuls (Full Waveform) aufzuzeichnen, damit dieser ggf. später im Postprocessing mit unter Nutzung optimierter Algorithmen ausgewertet werden kann. In Abb. 4 sind die aufgezeichneten Reflektionen eines Landpunktes (blau) und eines Wasserpunktes (grün) dargestellt. Aus der Abbildung geht hervor, dass die empfangene Energie vom Wasserpunkt wesentlich geringer ist. Weiterhin geht aus dem Rückkehrimpuls hervor, dass die Reflektionsenergie an zwei Stellen maximal ist, bzw. im Rückkehrimpuls zwei Peaks auftreten. Jeder Peak beschreibt somit eine Reflektionsschicht, wobei im Allgemeinen der erste Peak die Reflektion an der Wasseroberfläche und der zweite Peak die Reflektionen an dem Gewässerboden beschreiben. In Abb. 5 und Abb. 6 sind zwei weitere Rückkehrimpulse von Wasserpunkten dargestellt. In Abb. 5 sind eindeutig zwei Peaks zu identifizieren, wobei die Wassertiefe an dieser Stelle $\sim 1,2$ m betrug. Abb. 6 stellt den Rückkehrimpuls eines Wasserpunktes im Flachwasserbereich (Wassertiefe $\sim 0,2$ m) dar. Aus dieser Abbildung geht hervor, dass eine Trennung der Peaks in diesem Fall nicht mehr möglich ist, bzw. die Reflektionen der Wasseroberfläche nicht von Reflektionen des Gewässerbetts zu unterscheiden sind.

Mithilfe der Laserbathymetrie kann folglich nur ein bestimmter Bereich zwischen einer minimalen und maximalen Wassertiefe erfasst werden. Die maximal erreichbare Eindringtiefe wird von den Scannerherstellern häufig über ein Vielfaches der Sichttiefe (auch als Secchitiefe bezeichnet) charakterisiert. Sichttiefen werden im Allgemeinen mithilfe von Secchischeiben bestimmt. In Form und Aussehen normierten Scheiben werden dabei im Wasser soweit abgelassen, bis diese mit dem Auge nicht mehr sichtbar sind. Als Sichttiefe wird dann die so festgestellte Eintauchtiefe der Scheibe bezeichnet.

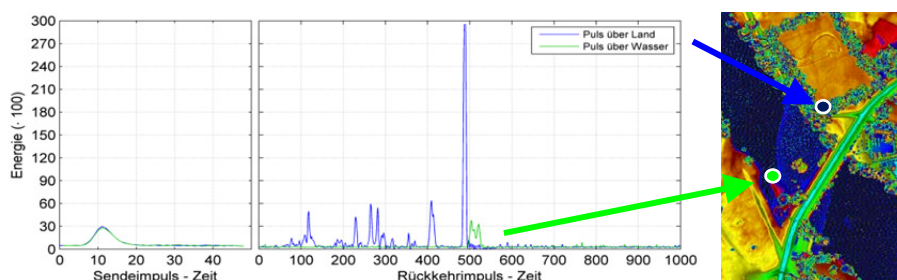


Abb. 4: Rückkehrimpuls einer Landreflektion (blau) und Wasserreflektion (grün)

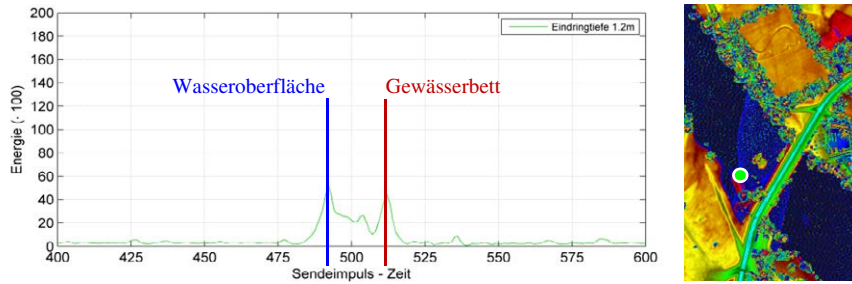


Abb. 5: Rückkehrimpuls einer Wasserreflektion (Wassertiefe ~1,2 m)

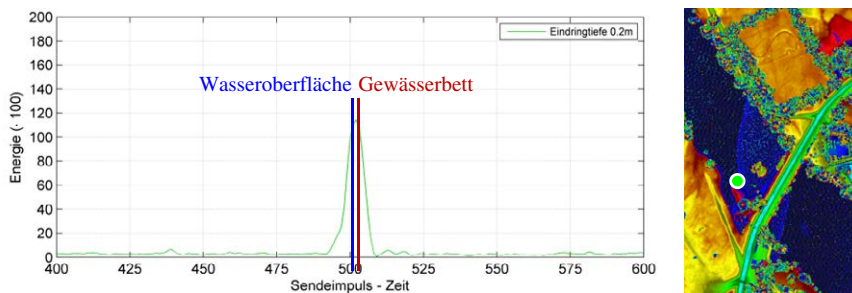


Abb. 6: Rückkehrimpuls einer Wasserreflektion in flachem Wasser

3 Pilotprojekt Elbe/Klöden

In 2013 waren zwei Scannersysteme auf dem Markt verfügbar, deren angegebene Performance für Anwendungen im Bereich der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes ausreichend erschien. In Zusammenarbeit mit dem Wasser- und Schifffahrtsamt Dresden wurden 2014 die bathymetrischen Airborne Laserscanning Systeme AHAB CHIROPTERA und RIEGL VQ820G mit dem Ziel getestet, belastbare Aussagen zu den Möglichkeiten und Grenzen bathymetrischer ALS-Systeme zu erhalten. Als Untersuchungsgebiet wurde die Elbe zwischen Torgau und der Lutherstadt Wittenberg sowie in der Nähe liegende Altarme der Elbe ausgewählt (Abb. 7). Das Projekt beinhaltete neben der eigentlichen Befliegung auch ein umfangreiches Begleitprogramm, welches der Erfassung von Einflussparametern auf die Laserbathymetrie und der Bestimmung von Referenzflächen diente. Neben den Wasserständen und den Schwebstoffkonzentrationen der Elbe werden seit August 2013 wöchentliche Sichttiefenbestimmungen an unterschiedlichen Standorten in der Elbe und umliegenden Altarmen durchgeführt (Abb. 8). Als Referenzflächen wurden neben konventionellen Sportplätzen an drei Standorten paarweise künstliche Referenzflächen mit einer Größe von 1,5 m x 1,5 m ausgebracht und eingemessen. Je Standort war eine Fläche über und eine Fläche unter Wasser installiert. Für die Ableitung eines DGM-W und die Nutzung als weitere Referenzfläche erfolgte unmittelbar vor der ersten Befliegung eine flächenhafte Neuvermessung des Fahrwassers durch ein modernes Flächenpeilsystem und die flächendeckende Vermessung der Altarme mithilfe konventioneller Echolotsysteme.

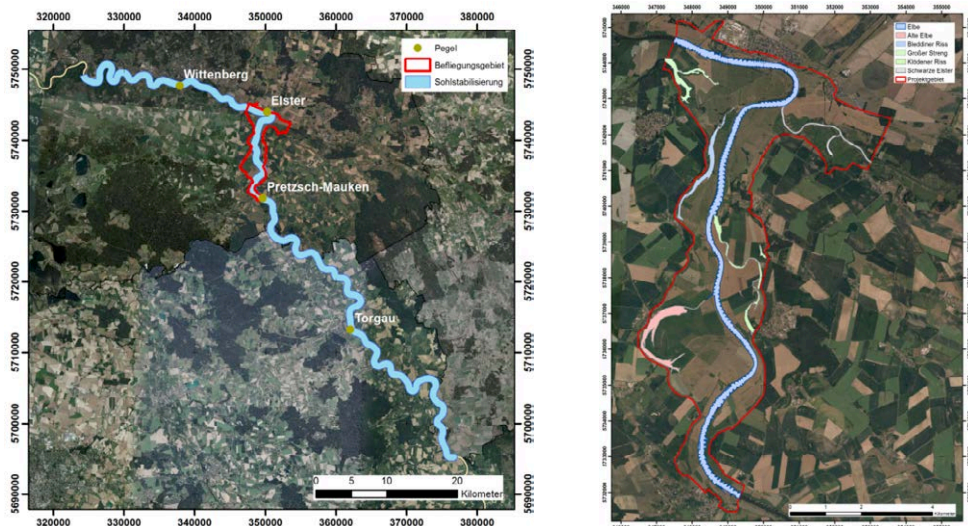


Abb. 7: Untersuchungsgebiet

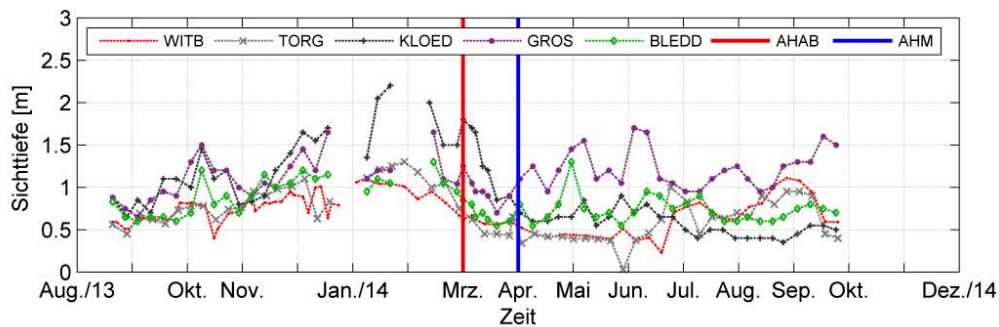


Abb. 8: Im Untersuchungsgebiet erfasste Sichttiefen

Das Untersuchungsgebiet wurde Anfang März 2014 mit dem AHAB CHIROPTERA zweimal aus einer Flughöhe von 300 m gescannt. Auf diese Befliegung folgten Mitte März bzw. Anfang April weitere Befliegungen mit dem RIEGL VQ802G in einer Flughöhe von rund 400 m. Neben den ALS-Punktwolken wurden auch Luftbilder und im Fall des AHAB CHIROPTERA jede bzw. beim RIEGL VQ820G jede zehnte Waveform aufgezeichnet. Die Bewertung beider Systeme erfolgte auf Basis der erreichbaren Punktdichte, der Eindringtiefe und der Genauigkeit gegenüber Referenzflächen. Zum Zeitpunkt beider Befliegungen lag der Wasserstand der Elbe im Bereich des mittleren Niedrigwasserstands. Die zeitnah festgestellten Sichttiefen variierten zwischen 0,4 m und 0,7 m im Bereich der Elbe und zwischen 0,8 m und 1,6 m in den Altarmen.

Bedingt durch die mit 35 kHz relativ geringe Pulsrate des bathymetrischen Kanals, die Full-Waveform-Aufzeichnung und das ellipsoidische Bodenmuster des AHAB CHIROPTERA wurde nur eine relativ geringe Punktdichte erreicht, die zusätzlich ungleichmäßig verteilt war. Bei der Fluggeschwindigkeit von 230 km/h ü.G. ergaben sich je Überflug Punktdichten von etwa 0,3 Pkt/m² bis 0,6 Pkt/m². Eine Aufteilung des Untersuchungsgebiets in 1 m x 1 m große Zellen hat weiterhin ergeben, dass in ~64 % der Zellen keine Beobachtungen und in weiteren 22 % der Zellen nur eine Beobachtung vorhanden sind. Die ursprünglich geforderte Punktdichte von 4 Pkt/m² konnte mit dem System nicht erreicht werden. Der RIEGL VQ820G ist

konstruktiv für eine Pulsrate von bis zu 512 kHz ausgelegt, wobei im Rahmen der Befliegung nur eine Pulsrate von 256 kHz genutzt wurde. Bei einer einfachen Befliegung ergaben sich mittlere Punktdichten von 12 Pkt/m² bis 23 Pkt/m², die im Gegensatz zum AHAB CHIROPTERA homogen verteilt waren (Abb. 9).

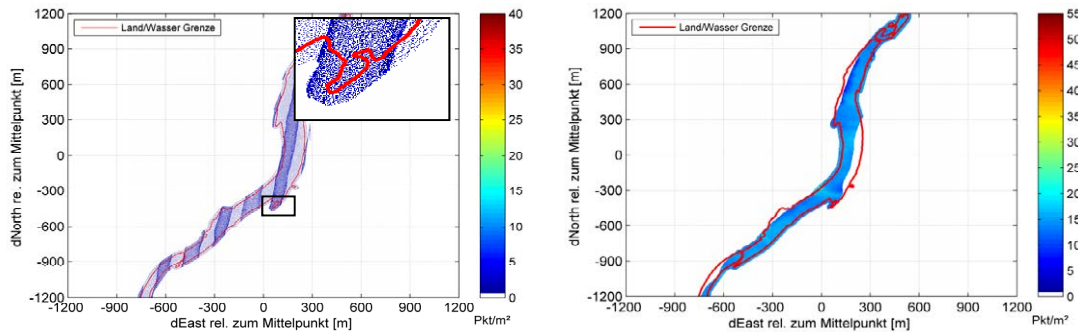


Abb. 9: Punktdichte des AHAB CHIROPTERA (links) und des RIEGL VQ820G (rechts)

Die Eindringtiefe der Systeme variiert je nach Gewässer sehr stark. Mit dem AHAB CHIROPTERA konnten im Bereich der Elbe nur Eindringtiefen von weniger als 0,6 m erreicht werden. Aufgrund der real größeren Wassertiefe ist davon auszugehen, dass es sich bei den empfangenen Echos nicht um Punkte des Gewässerbodens, sondern vielmehr um Rückstreupunkte innerhalb der Wassersäule handelt. Die Eindringtiefen in den Altarmen variierten sehr stark, wobei die Bandbreite von einigen wenigen Reflektionen im Bereich der Wasseroberfläche bis hin zur nahezu flächendeckenden Erfassung des Gewässerbodens reicht. Im Allgemeinen konnten in den Altarmen Eindringtiefen von weniger als 1 m festgestellt werden. Häufig wurden durch die Laserbathymetrie auch Punkte erfasst und als Gewässerbettunkte klassifiziert, deren Höhen zum realen Gewässerbettmodell sehr große Differenzen aufweisen. Bedingt durch die dort auftretende Unterwasservegetation ist davon auszugehen, dass in diesen Fällen die Vegetationsoberfläche und nicht der Gewässerboden erfasst wurde. In einem Fall wurde an einem Tag eine Eindringtiefe von ~2 m erreicht, wobei die zeitgleich festgestellte Sichttiefe ~1,6 m betrug. Aktuell arbeitet die Herstellerfirma AHAB an einem verbesserten Auswertalgorithmus. Dieser soll insbesondere für trübe Gewässer geeignet sein und eine signifikante Steigerung der Eindringtiefe bzw. der Punktdichte am Boden erreichen. Für den Bereich des Klödener Risses lagen die Ergebnisse des neuen Auswertalgorithmus vor, und diese sind in Abb. 10 mit dargestellt. Mit dem RIEGL VQ820G wurden vergleichbare Ergebnisse erzielt, wobei die hohe Eindringtiefe im letzten Altarm nicht reproduziert werden konnte, da zum Zeitpunkt der Befliegung mit dem RIEGL VQ820G in diesem Bereich schlechtere Sichttiefen festgestellt wurden. Das Gewässerbett der Elbe wurde mit keinem System erfasst.

Die Genauigkeit beider Scanner konnte anhand von Referenzflächen überprüft werden. Aufbauend auf den Stützpunkten erfolgte eine Ableitung von Referenzflächenmodellen auf Basis bivariater Polynome, die den ALS-Beobachtungen gegenübergestellt wurden. Im Fall des CHIROPTERA-Systems ergaben sich für alle großen Referenzflächen ähnliche Ergebnisse. Die Beobachtungen lagen zwischen 0,115 m und 0,128 m (topografischer Kanal) und 0,105 m und 0,137 m (bathymetrischer Kanal) über den Referenzmodellen, wobei die Stan-

Standardabweichung der Differenzen zwischen 0,02 m und 0,05 m variierte. Die Differenzen basieren auf direkt georeferenzierten Beobachtungen, bzw. es wurden keine Anpassungen an Referenzflächen vorgenommen. Von den festgestellten Abweichungen lassen sich 0,097 m durch eine nicht korrekt berücksichtigte Antennenhöhe der Referenzantenne erklären. Mit dem RIEGL VQ820G wurde nur eine große Referenzfläche mehrfach überflogen, wobei sich mittlere Abweichungen von 0,03 m mit einer Standardabweichung der Differenzen von etwa 0,02 m ergeben haben. Die Ergebnisse sind in Abb. 12 dargestellt.

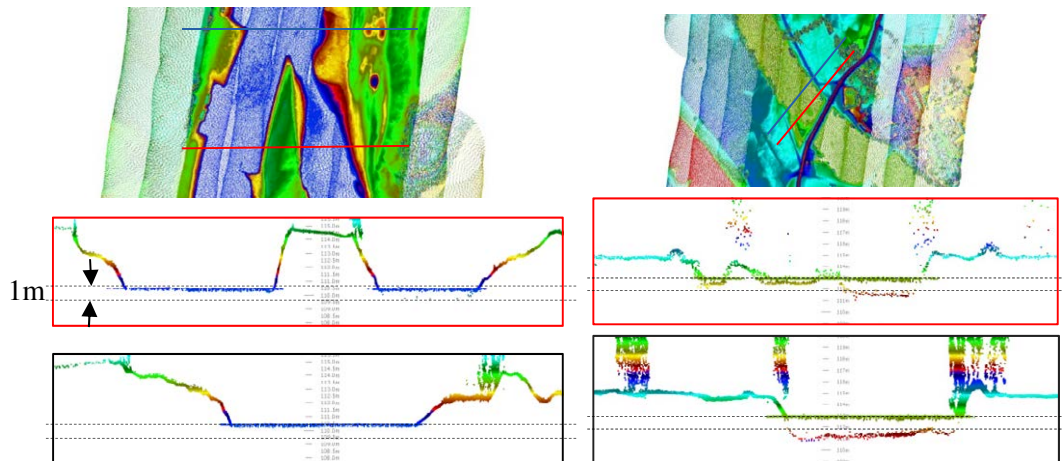


Abb. 10: Eindringtiefen des AHAB CHIROPTERA im Bereich der Elbe (links) und des Altarms Klödener Riss (rechts)

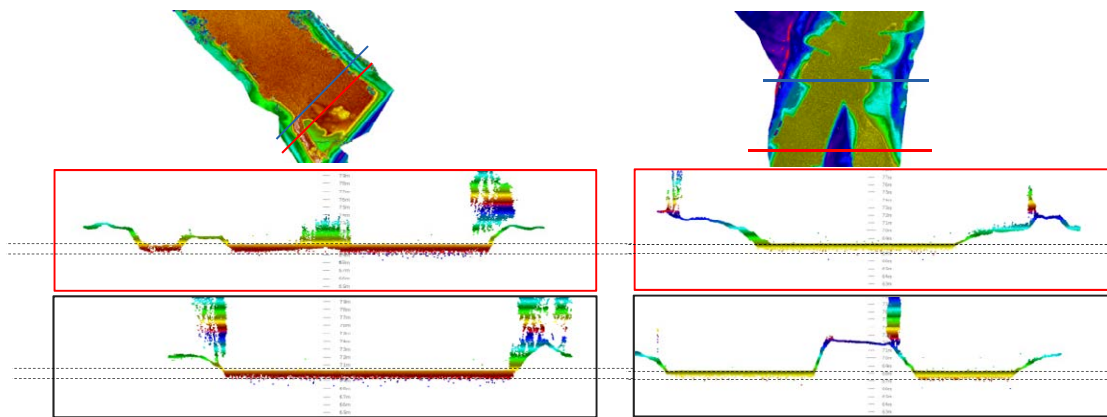


Abb. 11: Eindringtiefen des RIEGL VQ820G im Bereich der Elbe (links) und des Klödener Risses (rechts)

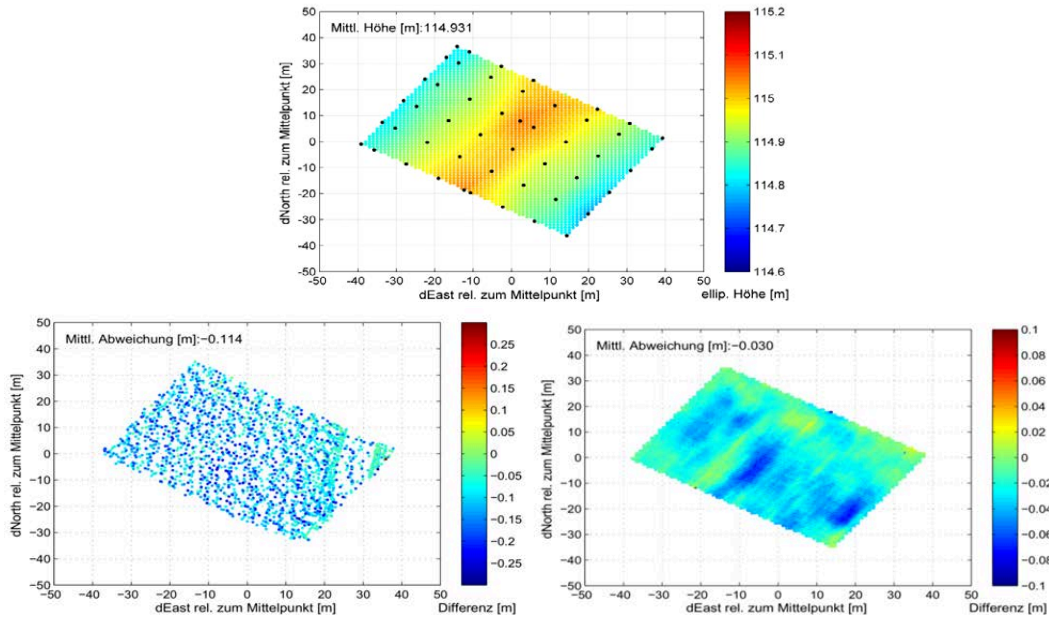


Abb. 12: Referenzfläche (oben) und Differenzen der ALS-Beobachtungen zur Referenzfläche (unten links: AHAB CHIROPTERA, unten rechts: RIEGL VQ820G)

In den Altarmen wurden den erfassten Gewässerbettpunkten die Gewässerbettmodelle auf Basis konventioneller Messmethoden gegenübergestellt. Nach Korrektur der 0,097 m haben sich für den AHAB CHIROPTERA je nach Altarm mittlere Differenzen von -0,05 m bis 0,07 m bei Standardabweichungen von 0,13 m bis 0,18 m herausgestellt (Abb. 13). Bei den in Abb. 13 dunkelblau dargestellten Punkten handelt es sich um fehlklassifizierte Punkte, die nicht in mittlere Abweichungen oder Standardabweichungen eingeflossen sind. Für den RIEGL VQ820G liegen noch keine final klassifizierte Beobachtungen vor, weshalb keine Vergleiche mit den Ergebnissen der Gewässervermessung durchgeführt wurden.

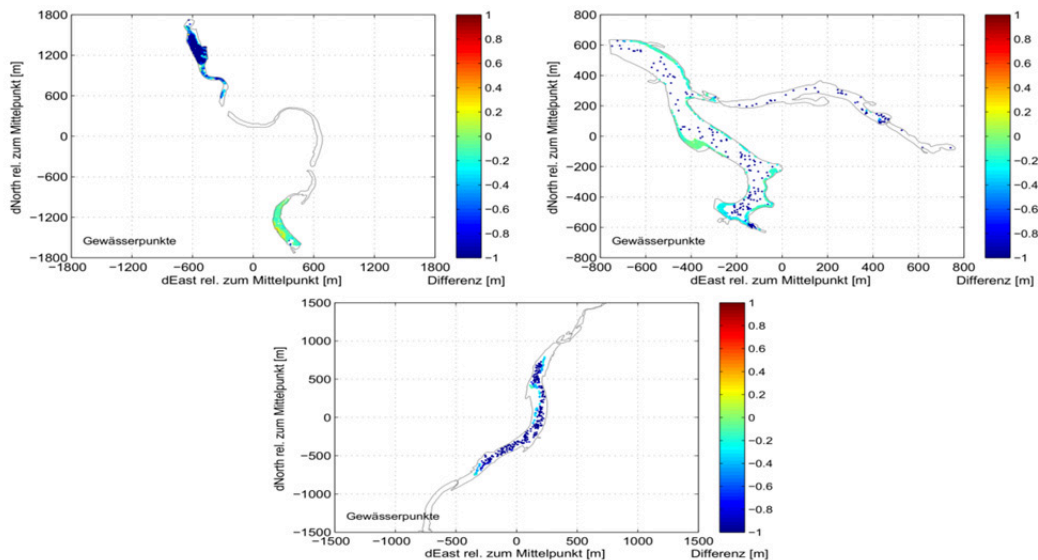


Abb. 13: Differenzen zwischen den Ergebnissen der Gewässervermessung und den ALS-Beobachtungen (AHAB CHIROPTERA) in den Altarmen

Neben den Gewässerbettpunkten wurden durch beide ALS-Systeme auch Punkte auf der Wasseroberfläche erfasst. Vergleiche von georeferenzierten Pegelbeobachtungen und ALS-Beobachtungen in unmittelbarer Pegelnähe haben gezeigt, dass mit beiden Systemen die Höhe der Wasseroberfläche relativ gut erfasst werden konnte. Im Fall des AHAB CHIROPTERA wurden um Umkreis von 50 m rund um den Pegel Elster ALS-Punkte erfasst, wobei die Punktwolke im Mittel 0,091 m über bzw. nach Korrektur um -0,097 m um 0,006 m unterhalb der Wasseroberfläche lag. Die Standardabweichung der Differenzen ist mit 0,03 m relativ gering. Bedingt durch die höhere Pulsrate hat der RIEGL VQ820G im gleichen Umkreis wesentlich mehr Punkte erfasst. Bei mehreren Überflügen ergab sich im Mittel eine Abweichung von 0,078 m, wobei die ALS-Punktwolke unterhalb der realen Wasseroberfläche lag. Die Standardabweichung betrug in diesem Fall ebenfalls 0,03 m (Abb. 14).

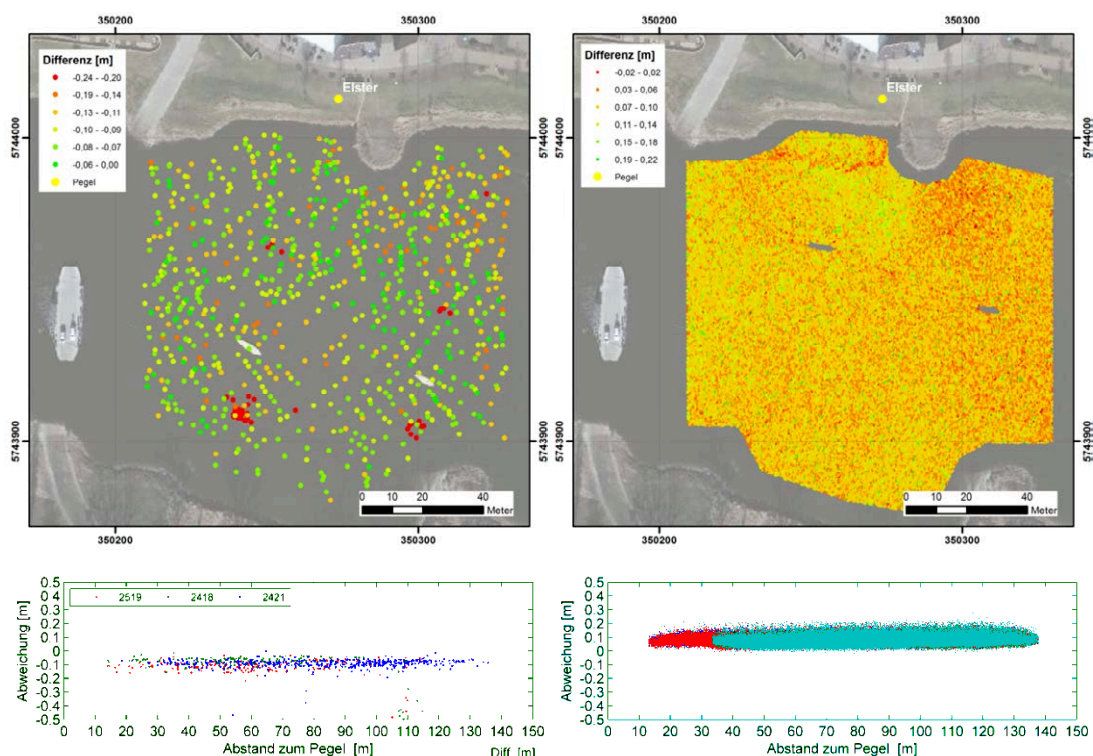


Abb. 14: Differenzen der Wasseroberflächenhöhen mit den Pegelbeobachtungen (links: AHAB CHIROPTERA, rechts RIEGL VQ820G)

4 Zusammenfassung

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass beide Systeme sowohl an Land als auch im Wasser funktionieren, die Erwartungen aber nicht erfüllt werden konnten. Die Ergebnisse an Land sind mit den Ergebnissen konventioneller ALS-Systeme vergleichbar. Bedingt durch die Trübung der Gewässer und die schlechten Reflektionseigenschaften des Gewässerbodens konnten die Laserimpulse die Elbe nicht durchdringen und somit war keine Erfassung des Gewässerbetts der Elbe möglich. Für die Altarme lässt sich keine generell gültige Aussage treffen.

Im Fall von klarem Wasser wurden Eindringtiefen erreicht, die den Herstellerangaben entsprechen haben. Im Fall des AHAB CHIROPTERA wird eine Eindringtiefe von dem 1,3-fachen der Sichttiefe angegeben, was im Rahmen des Projektes bestätigt wurde. Für den RIEGL VQ820G gibt die Herstellerfirma die einfache Sichttiefe an, was ebenfalls bestätigt wurde. Aktuell wird von Seiten der Herstellerfirma des AHAB CHIROPTERA ein neuartiger Algorithmus zur Auswertung der Rückkehrimpulse in trüben Gewässern entwickelt. Erste Ergebnisse deuten darauf hin, dass damit eine gewisse Verbesserung der Eindringtiefe erreicht werden kann und insbesondere die Anzahl der Bodenpunkte gesteigert werden kann. Vergleiche mit Peilbeobachtungen in den Altarmen haben gezeigt, dass die ALS-Gewässerbettpunkte sehr stark streuten, im Mittel aber nahezu immer etwas über der dem Gewässerbettmodell lagen. Es hat sich weiterhin gezeigt, dass die Laserbathymetrie nur dann funktioniert, wenn der Gewässerboden frei von Vegetation ist. Sofern diese vorhanden ist, wird das Laserlicht an deren Oberfläche reflektiert und der Gewässerboden damit nicht erfasst. Neben den Gewässerbettpunkten werden durch die Laserbathymetrie auch Punkte an der Wasseroberfläche erfasst. Vergleiche mit Pegelbeobachtungen haben dabei gezeigt, dass beide Systeme zwar Punkte an der Wasseroberfläche erfassen, die resultierenden Punktwolken aber zum Teil gegenüber der realen Wasseroberfläche verschoben sind.

Kontakt:

Dr.-Ing. Robert Weiß

Bundesanstalt für Gewässerkunde

Am Mainzer Tor 1

56068 Koblenz

Tel.: 0261/ 1306 5289

Fax.: 0261/ 1306 5088

E-Mail: weiss@bafg.de

1997-2003

Studium der Geodäsie an der Technischen Universität Dresden

2003-2005

Technisches Referendariat in der Hessischen Verwaltung für Bodenmanagement und Geoinformation

seit 2005

Wissenschaftl. Angestellter der Bundesanstalt für Gewässerkunde im Refereat Geodäsie

Einsatz der Laserbathymetrie im Küstenbereich

Thomas Dehling

1 Laserbathymetrie – eigentlich nichts Neues

Laserbathymetrie, auch bathymetrisches LIDAR (light detection and ranging) genannt, ist in der Hydrographie grundsätzlich nicht neu. Es ist seit etwa 15 Jahren in Gebieten im Einsatz, die besonders klares Wasser vorweisen und wo große Flächen mit relativ geringen Wassertiefen zu vermessen sind.

Das Funktionsprinzip ist ebenfalls nicht neu. Es ist ein aktives Messsystem ähnlich dem Airborne Laserscanning (ALS). Es wird ein Impuls ausgesendet und das reflektierte Signal registriert. Die Entfernung wird über die Messung der Laufzeit bestimmt. Im Unterschied zum ALS werden neben dem oder anstatt des Lasersignals im nahen Infrarot grüne Laserpulse genutzt, die in das Wasser eindringen können. Frühere Untersuchungen zur Nutzung der Laserbathymetrie in Deutschland waren nicht erfolgreich. Auch viele andere Hydrographische Dienste mit deutlich größeren Sichttiefen haben bisher auf die Anwendung verzichtet.

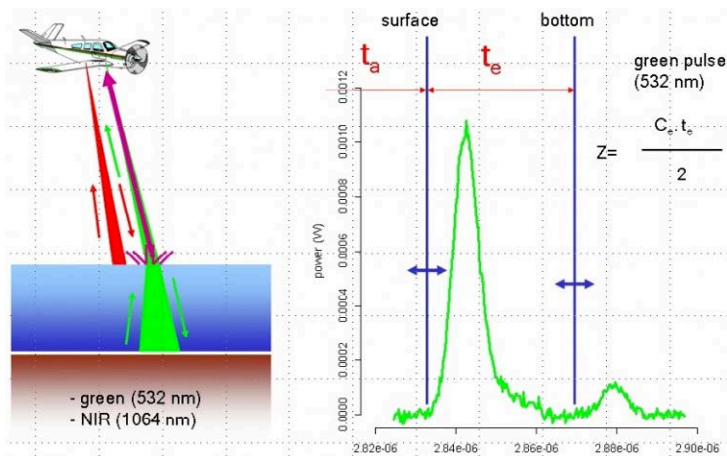


Abb. 1: Prinzip der Laserbathymetrie mit zwei Farben (links) und der Full-Waveformanalyse (Vlaams Instituut voor de Zee, www.vliz.be/wiki/Use_of_Lidar_for_coastal_habitat_mapping)

2 Was macht es gerade jetzt interessant?

Dass gerade jetzt das Verfahren dennoch wieder interessant wird, liegt an verschiedenen aktuellen Entwicklungen. Zunächst einmal gibt es neue Geräte und Anbieter auf dem Markt. Die Versprechungen in Hochglanzbroschüren gilt es jedoch, in der Praxis zu überprüfen.

Mit den neuen Geräten hat sich die Technik weiter entwickelt. Neue Laserscanner mit wesentlich höherer Pulsfrequenz, geringerer Strahldivergenz und teilweise mehrfacher Abtastung sind verfügbar.

Auch auf dem Gebiet der Datenauswertung hat sich einiges getan. Insbesondere die Full-Waveform-Analyse könnte die Qualität der Ergebnisse deutlich erhöhen. Ziel muss es sein, Meeresboden, Wasseroberfläche und Landflächen klar zu erkennen. Zusätzlich ist es wichtig, Objekte auf dem Meeresboden detektieren zu können.

Auf Nutzerseite entstehen gleichzeitig neue Bedarfe. Gerade im flachen Küstenstreifen wird vermehrt eine verbesserte Abdeckung verbunden mit einer höheren Auflösung gefordert. Beides ist bei den klassischen Verfahren in der Hydrographie mit sehr viel Aufwand verbunden. Außerdem wird immer mehr ein nahtloser Übergang topographischer Daten von Land auf See gefordert.

3 Projekt und Projektziele

Aufgrund der vorgenannten Gründe war es also notwendig, die aktuellen Möglichkeiten und Grenzen der Laserbathymetrie detailliert zu untersuchen. Es wurde daher 2012 ein BSH-Projekt gestartet. Projektpartner bzw. Auftragnehmer ist das Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung (IPI) der Leibniz Universität Hannover. Das Projekt läuft noch bis Mitte 2015. Ausgehend von der Startfrage „Wie viel Geld brauche ich, um die geeigneten Gebiete mit Laserbathymetrie zu vermessen?“ sollen in dem Projekt insbesondere folgende Detailfragen beantwortet werden:

- > Welche Flächen sind grundsätzlich und zu welchen Zeiten geeignet?
- > Wo ist Laserbathymetrie wirtschaftlicher als schiffsgebundene Seevermessung?
- > Kann die Küstenlinie aus den Daten abgeleitet werden?
- > Wie gut können Unterwasserhindernisse erfasst werden?
- > Wie sollte eine Ausschreibung technisch aussehen?

Es wurden drei Befliegungen durchgeführt, die jeweils unabhängig ausgeschrieben wurden und unterschiedliche Schwerpunkte hatten. Als Testfläche wurde dazu ein Seegebiet in der Wismarbucht ausgewählt, das hydrographisch abwechslungsreich ist und potenziell geeignet erschien.

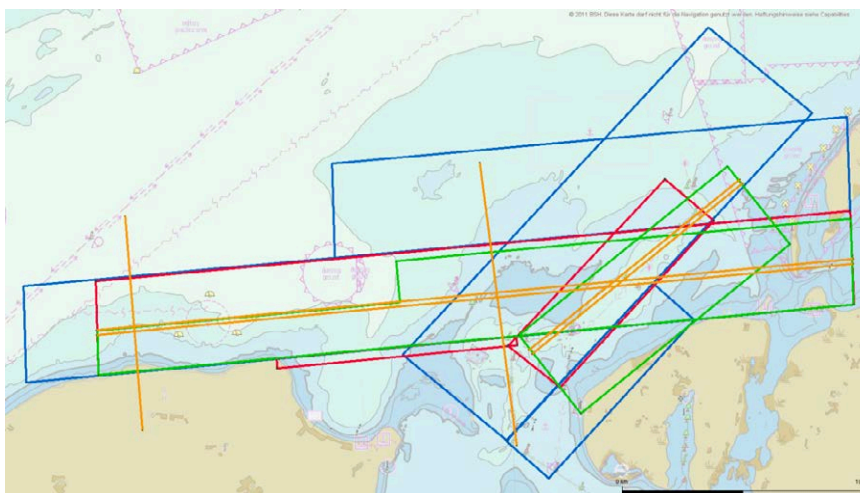


Abb. 2: Übersicht über die Befliegungen 2012 bis 2014 (BSH)

Parallel zum eigentlichen Projekt wurde eine informelle Zusammenarbeit mit anderen Institutionen des Bundes und der Küstenbundesländer etabliert. Der fachliche Austausch war sehr fruchtbar und hilfreich für den Projektfortschritt.

Die Erfahrungen aus der jeweiligen Flugkampagne wurden für die folgende Ausschreibung berücksichtigt. Die Kriterien wurden entsprechend angepasst.

Um die Objekterkennung besser bewerten zu können, wurden für die Flüge zwei und drei zusätzlich zwei künstliche Riffe vor Rostock hinzugenommen.

4 Sachstand und Zwischenergebnisse

Da das Projekt noch nicht abgeschlossen ist, möchte ich hier nur ein paar vorläufige Ergebnisse anführen.

Von Interesse sind natürlich die Kosten einer solchen Befliegung. Da die Bereitstellungskosten einen hohen Anteil ausmachen, sind die Kosten pro Quadratkilometer sehr von der Flächengröße abhängig. Auch die Form der Fläche ist maßgeblich. Generell kann man von Kosten zwischen 1.000 und 2.000 €/km² bei ausreichender Größe und gutem Zuschnitt ausgehen. Die Kosten im Projekt lagen zwischen 400 und 2.300€/km².

Die Flugfirmen liefern für das Projekt sowohl ausgewertete als auch unausgewertete Daten. Letztere wertet das IPI der Uni Hannover selbst aus.

Projektbegleitend wurden einige studentische Arbeiten durchgeführt:

- > Vergleich von flugzeuggestützten Laserbathymetriedaten mit Vertikal- und Fächer-echolotdaten (für die optimale Flughöhe) - Bachelorarbeit (BSH, Hafencity Universität Hamburg)
- > Klassifikation von Laserbathymetriedaten - Bachelorarbeit (IPI)
- > Comparison of Laser Bathymetry with Single-beam and Multi-beam data in the southwestern Baltic Sea - Masterarbeit (BSH, Hafencity Universität Hamburg)
- > Visualisierung von Secchitiefen in der Ostsee zum Zwecke der Laserbathymetrie - Bachelorarbeit (BSH, Hochschule Neubrandenburg)

Einen Auszug aus letzterer Arbeit zeigt die folgende Grafik, in der aus gemittelten Secchitiefen (Sichttiefen) für den Zeitraum März/April potenziell geeignete Flächen für Laserbathymetrie dargestellt werden. Die Eindringtiefe der verwendeten Laserscanner liegt bei hochauflösenden Systemen bei der einfachen Secchitiefe, weniger detaillierte Scanner erreichen durchaus die zweifache Secchitiefe. Grüne Flächen in der Grafik haben eine Wassertiefe von höchstens einer Secchitiefe. Gelbe Flächen weisen entsprechend Wassertiefen zwischen einfacher und zweifacher Secchitiefe aus. Rote Flächen sind tiefer als die zweifache Secchitiefe. Es ist zu beachten, dass die Trübung des Wassers und damit die Sichttiefe saisonal sehr unterschiedlich sind.

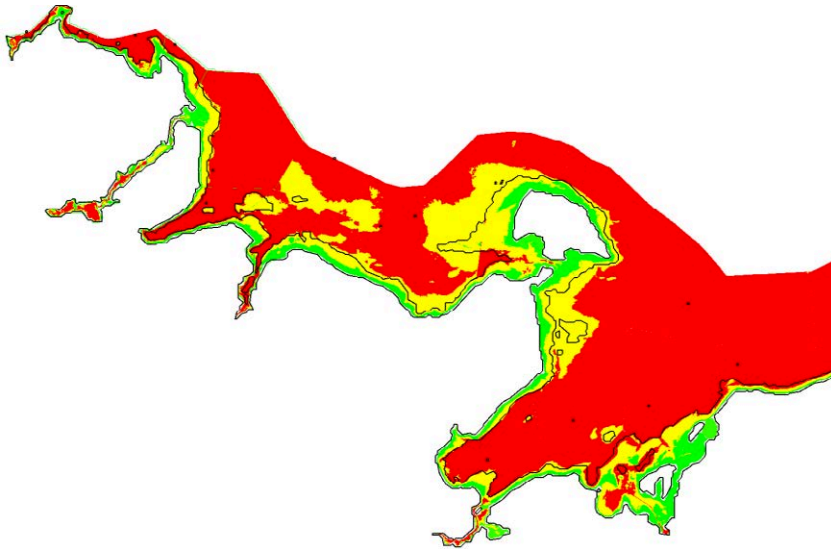


Abb. 3: Darstellung potenziell geeigneter Flächen aus der Relation von Secchitiefen zu Wassertiefen (Bachelorarbeit von HÜBNER (2014), Hochschule Neubrandenburg)

Die bisherigen Auswertungen zeigen, dass die Klassifikation der Signale (Meeresboden, Objekte, Vegetation, ...) noch nicht zufriedenstellend ist. Objekte auf dem Meeresboden werden derzeit nicht erkannt.

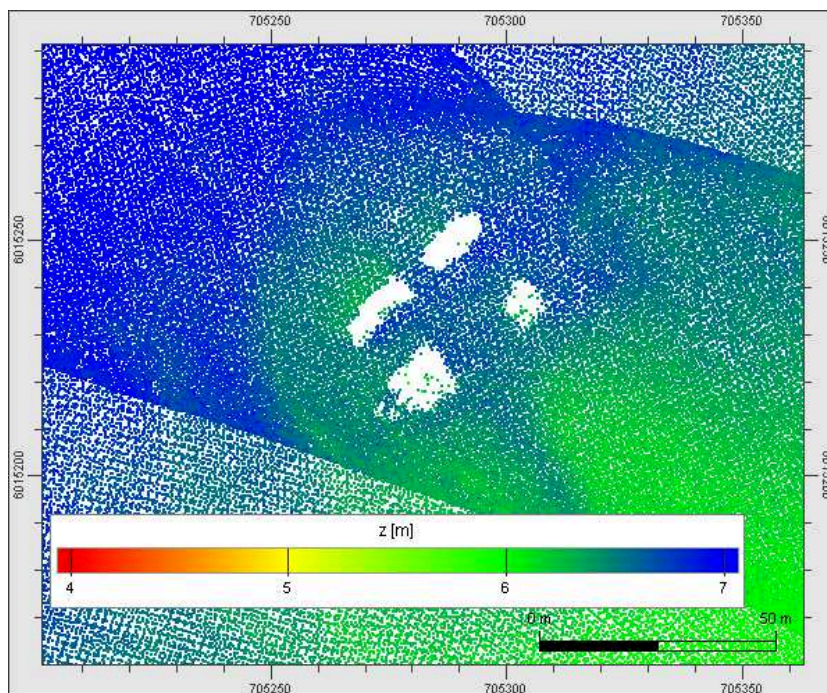


Abb. 4: Ausschnitt der ausgewerteten Laserbefliegungsdaten des Riffs vor Rosenort (BSH)

Die Auswertung ist deutlich aufwändiger als beim Laserscanning von Landflächen. Es zeigt sich, dass bei den Firmen zu den besonderen hydrographischen Anforderungen noch zu wenige Kenntnisse bestehen. Mit fundiertem hydrographischen Fachwissen und Ortskenntnissen kann sicherlich die Flugplanung und insbesondere die Auswertung verbessert werden. Derzeit laufen noch die Auswertungen der letzten Flüge und die Beantwortung aller Projektfragen.

5 Zusammenarbeit

Für das Forschungsprojekt war die informelle Zusammenarbeit mit den Institutionen der Länder und des Bundes sehr hilfreich. Sie ist aber darüber hinaus essenziell wichtig für einen erfolgreichen Einsatz der Laserbathymetrie überhaupt. Wahrscheinlich können nur mit Kooperationen möglichst vieler Bedarfsträger ausreichend große Flächen wirtschaftlich erfasst werden.

Gleiches gilt auch international. Ein Workshop von Mitgliedern der Hydrographischen Kommissionen von Nord- und Ostsee gemeinsam mit den Herstellern im Mai in Hannover hat deutlich gemacht, dass ähnliche Herausforderungen in den Nachbarländern bestehen. Am meisten Erfahrung hat in Europa der Hydrographische Dienst Frankreichs (SHOM).

Den Bedarf an Geobasisdaten fördert auch die Europäische Union durch mehrere Initiativen, die auf die Gewinnung und Bereitstellung von Daten in der Küstenzone ausgerichtet sind.

6 Ausblick

Laserbathymetrie ist eine interessante Ergänzung zu den klassischen Verfahren der Gewässervermessung. Sowohl von Seiten der Anbieter als auch der (potenziellen) Nutzer entwickelt sich der Markt gerade jetzt weiter.

Ich halte gemeinsame Befliegungen und Auswertungen für denkbar und notwendig. Diese sollten grenzüberschreitend und themenübergreifend sein. Außerdem ist zu überlegen, ob die Auswertung durch hydrographisches Fachpersonal zu verbesserter Qualität und insbesondere zur Detektion von Objekten führen kann. Voraussetzung ist dazu, dass das Fachpersonal regelmäßig diese Aufgaben wahrnimmt. Auch das geht nur mit Kooperationen.

Was in jedem Fall zunehmen wird, ist die Nachfrage nach hochauflösenden Geobasisdaten in einem Streifen beiderseits der Küstenlinie. Der Bedarf wird nur zu einem geringeren Teil von der klassischen Klientel generiert.

Die zunehmende Bedeutung der Laserbathymetrie passt somit auch sehr gut zum Thema des World Hydrography Day 2014: Hydrography – much more than nautical charting.

Literatur

HÜBNER, T. (2014): Visualisierung von Secchi-Tiefen in der Ostsee zum Zwecke der Laserbathymetrie, Bachelorarbeit im Studiengang Geoinformatik an der Hochschule Neubrandenburg, 28.08.2014, unveröffentlicht.



Kontakt:

Thomas Dehling

Bundesamt für Seeschifffahrt
und Hydrographie (BSH)

Neptunallee 5

18055 Rostock

Tel.: 0381/ 4563 719

Fax: 0381/ 4563 948

E-Mail: thomas.dehling@bsh.de

Jahrgang: 1963

1985-1988

Studium Vermessungswesen an der Universität der
Bundeswehr in München

1994-1997

Referendariat und zweites Staatsexamen beim
Bundesland Schleswig-Holstein

1984-1994

Offizierlaufbahn bei der Bundeswehr

1997-1998

Assessor bei einem ÖbVI in Berlin

seit 1998

BSH, zunächst als Leiter der Seevermessung und
Wracksuche Nordsee. Seit 1999 Referatsleiter
„Seevermessung und Geodäsie“

Chairman IHO Capacity Building Subcommittee

2. Vorsitzender der DHyG

Dense Image Matching vs. Airborne Laser Scanning – Gegenüberstellung zweier Methoden zur Ableitung von Geländeflächen

Gottfried Mandlbürger, Camillo Ressler und Werner Mücke

1 Einleitung

In den letzten 15 Jahren hat sich Airborne Laserscanning (ALS) als Standardmethode für die großflächige Erfassung von Geländehöhendaten gegenüber der klassischen Methode der Stereo-Photogrammetrie etabliert. Die Entwicklungen im Bereich der Kamertechnik hin zu digitalen Messkameras haben aber das Interesse für bildbasierte Höhenbestimmung neu geweckt. Vor allem die Fortschritte bei den Verfahren der automatischen Bildzuordnung haben die Ableitung von dichten Punktwolken (Dense Image Matching, DIM) ermöglicht, wobei die erzielbare Punktdichte die von ALS mittlerweile übersteigt. Während Dense Image Matching für die Ableitung von Oberflächenmodellen anerkannt ist, wird im Rahmen dieses Beitrages die Eignung der beiden konkurrierenden Methoden für die Ableitung von Geländeflächen untersucht.

Dazu werden in Abschnitt 2 die Grundprinzipien der Datenerfassung erläutert. Eine Bewertung der Eignung für die Ableitung Digitaler Geländemodelle (DGM) wird anhand zweier repräsentativer Testgebiete (Weser/Bad Karlshafen und Elbe/Klößen, Abschnitt 3) zunächst visuell anhand der Gegenüberstellungen von Profilschnitten (Abschnitt 4) und dann auch quantitativ durch Vergleich der erzielten Bodenpunktabdeckungen und Höhengenaugigkeiten (Abschnitt 5) vorgenommen. Abschnitt 6 schließlich fasst die gewonnenen Erkenntnisse zusammen.

2 Grundprinzipien der Datenerfassung

In diesem Abschnitt wird die Funktionsweise von Airborne Laserscanning und Dense Image Matching im Überblick erläutert.

2.1 Airborne Laserscanning (ALS)

Bei ALS handelt es sich um ein aktives, polares Multisensorsystem (WEHR & LOHR 1999; SHAN & TOTH 2008). Ein auf einer fliegenden Plattform montierter Scanner sendet kurze, meist infrarote, Laserimpulse aus. Diese interagieren mit verschiedenen Objekten entlang des Strahlwegs (Äste, Buschwerk, Boden) und das rückgestreute Signal (Echopuls) wird am Detektor empfangen. Aus den unterschiedlichen Laufzeiten werden die Entfernungen zwischen

Sensor und Zielen abgeleitet. Die 3D-Koordinaten der Objektpunkte ergeben sich dann ausgehend von der Position und Raumlage des Sensors (erfasst via Satellitennavigation und Inertialer Messeinheit) durch Polarberechnung der Scannerbeobachtungen (Auslenkwinkel und Entfernung). Zu erwähnen ist dabei, dass eine einzige Messung ausreicht, um einen Objektpunkt dreidimensional zu erfassen. Weiteres wichtiges Merkmal von Laserscanning ist die Fähigkeit der Durchdringung von Vegetation durch keine Öffnungen im Blattwerk.

2.2 Dense Image Matching (DIM)

Image Matching (IM) im Allgemeinen und dem Dense Image Matching im Speziellen liegt das photogrammetrische Messprinzip zugrunde. Demnach muss ein Objektpunkt in zwei Bildern sichtbar sein. Die Lage eines Punktes im Bild legt dabei jeweils einen Sehstrahl vom Kamerazentrum zum Objektpunkt fest, und durch Vorwärtsschnitt zweier Bildstrahlen können bei bekannter äußerer Orientierung (Position und Stellung der Bilder) und innerer Orientierung (Brennweite, Bildhauptpunkt) die 3D-Koordinaten des Objektpunktes berechnet werden. Matching im engeren Sinn bezeichnet das (automatische) Auffinden von korrespondierenden Bildpunkten durch Techniken der Bildkorrelation. Die klassischen Methoden sind dabei das Feature Based Matching (FBM) und das Area Based Matching (ABM). Beides sind lokale Methoden, bei denen die Information über bereits gefundene Korrespondenzen nicht zur Auffindung weiterer Zuordnungen herangezogen wird. Darüber liefern beide Ansätze eine vergleichsweise geringe Punktdichte (engl. Sparse Matching).

Demgegenüber wird beim dichten Matching für jedes n -te Pixel im Ausgangsbild ein korrespondierendes Pixel im Nachbarbild gesucht. Für den Fall $n=1$ ergibt sich daher ein Punktabstand, welcher der Bodenauflösung (Ground Sampling Distance, GSD) des Bildmaterials entspricht. Diese liegt heute je nach Anwendung bei 5-20 cm. In den letzten Jahren wurde das sogenannte Semi Global Matching (SGM) (HIRSCHMÜLLER 2008, ROTHERMEL et al. 2012) populär. SGM entspricht einem echten DIM, weil hierbei für jedes Pixel des linken Bildes das korrespondierende Pixel im rechten Bild bestimmt wird. Um die Robustheit zu erhöhen und Bereiche mit schlechter Textur überbrücken zu können, wird zusätzlich eine Glattheitsbedingung eingeführt. Diese besagt, dass benachbarte Pixel des linken Bildes korrespondierende Pixel im rechten Bild haben sollen, die ebenfalls benachbart sein sollen. Die Forderung nach Nachbarschaft korrespondierender Pixel kann dann aufgeweicht werden, wenn der Pixelwert eines entfernteren rechten Pixels besser zum Pixelwert des Pixels im linken Bild passt. Das ist dann notwendig, wenn es zu einer Höhenänderung kommt (z. B. bei Dachkanten oder geneigten Flächen). Das Ganze wird in einer zu minimierenden Energiefunktion realisiert. Diese enthält neben der Differenz der Pixelwerte auch Kosten für das Aufweichen der Glattheitsbedingung. Für die folgende Gegenüberstellung wurden zwei Programmsysteme herangezogen, die Implementierungen des SGM-Ansatzes darstellen: Trimble Match-T (Version 5.5) und nframes SURE (Version 20140716_2245)

3 Untersuchungsgebiete

Zur Untersuchung der Eignung von DIM für die DGM-Ableitung wurden von der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) zwei Testgebiete zur Verfügung gestellt, welche jeweils zu Vergleichszwecken mittels ALS und Bildflug erfasst wurden (vgl. Abb. 1). Beim Testgebiet Weser/Karlshafen kam eine Zeiss DMC-II zum Einsatz (GSD: 10 cm, Bildüberlappung: 80 %

längs, 60 % quer, PAN+RGB, Bildflug: 2013). Die Laserbefliegung mit einem Riegl LMS-Q 560 (Punktdichte: 6 Punkte/m²) erfolgte im Jahr 2011. Beide Flüge fanden im Frühjahr vor Laubaustrieb statt. Das Projektgebiet Weser eignet sich aus mehreren Gründen sehr gut für einen Vergleich der beiden Datenerfassungsmethoden: (i) heterogene Landbedeckung (hohe, niedrige, dichte und lose Vegetation, Siedlungsraum, Wasser), (ii) bewegtes und flaches Gelände (eingeschnittenes Flusstal, Talaue) und (iii) Bildflugparameter (hohe Längsüberlappung, kleine aber nicht extreme GSD). Die Erfassung des Untersuchungsgebietes Elbe/Klößen erfolgte im Frühjahr 2013 simultan (Bildflug: Vexcel UltraCam X, GSD: 6 cm, PAN+RGB(I), 80 % längs / 70 % quer; ALS: Optech ALTM Gemini, 4 Punkte/m²). Der Bereich ist wegen seiner hohen Bildauflösung und wegen der vorwiegenden Grasvegetation interessant.

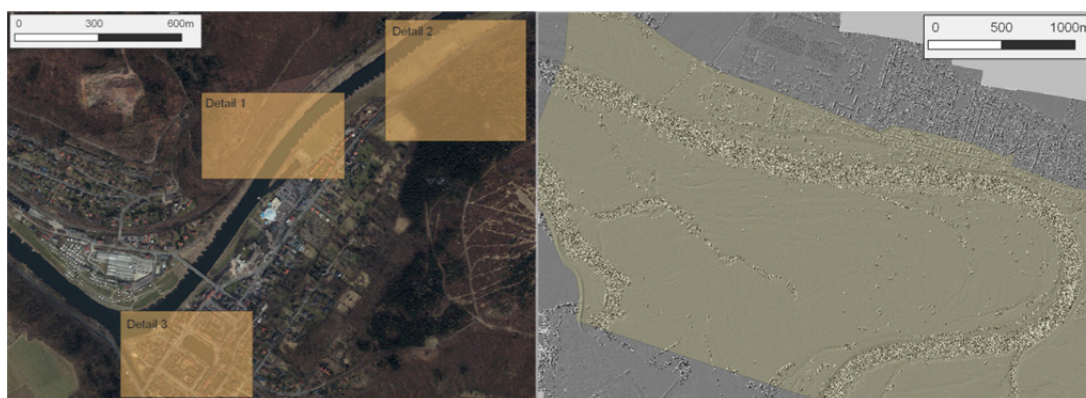


Abb. 1: Untersuchungsgebiete Weser/Bad Karlshafen (links) und Elbe/Klößen (rechts), Weser: DOP mit den in Abb. 2 dargestellten Detailbereichen, Elbe: DSM und Projektpolygon

4 Eigenschaften der Punktwolken

Das Ergebnis der Datenerfassung mittels ALS und DIM ist im Wesentlichen jeweils eine 3D-Punktwolke. In der Abb. 2 sind einander die ALS- und DIM-Punktwolken der drei in Abb. 1 markierten Detailbereiche des Weser-Datensatzes in Form von Schnitten gegenübergestellt. Abbildung 2a zeigt einen Schnitt durch lose, laubfreie Vegetation an einem Hang nördlich der Weser. Die ALS-Punktwolke folgt dabei konsequent dem Boden und weist darüber hinaus einige Reflexionen im Bereich der Kronen und der darunterliegenden Äste auf. Die beiden Forstwege sind deutlich konturiert. Die auf der rechten Seite dargestellte Match-T-Punktwolke folgt dem Boden zwar über weite Strecken, in Bereichen mit etwas dichter Vegetation aber verläuft die erfasste Fläche durch die Kronen der Bäume (linker Bereich im Schnitt). Auffällig ist auch die Anomalie im Bereich des Weges, wo DIM infolge der steilen Böschung und wegen der Vegetation am Straßenrand der Bodenfläche nicht folgen kann. Wichtig ist dabei auch die Feststellung, dass es im DIM-Fall praktisch keine Durchdringung der Vegetation gibt. Die Punkte verlaufen entweder am Boden oder durch die Kronen. ALS weist dagegen Punkte sowohl am Boden als auch im Bereich des Astwerkes und der Krone auf.

Bei der Abb. 2b mit dichter Vegetation (Hang südlich der Weser) ist bei ALS immer noch über sehr weite Strecken der Boden gut abgebildet, während das für die DIM-Punktwolke (Match-T gelb, SURE-lila) nicht der Fall ist. Die Bodenabdeckung ist hier über große Distanzen hinweg gering. SURE liefert hier öfters Boden als Match-T und die Bodenpunkte reichen

am Rand von dichter Vegetation auch näher an den Vegetationskörper heran. Abbildung 2c schließlich zeigt einen sehr komplexen Querschnitt im Siedlungsraum. Die Szene enthält eine Straßenflucht mit Gebäudekomplexen zu beiden Seiten mit Nebengebäuden und Innenhöfen. In der ALS-Punktswolke erscheinen die einzelnen Objekte dabei sehr klar und gut abgegrenzt. Auch ist der 3D-Charakter der Punktswolke (z. B. Punkte an den vertikalen Hauswänden unter dem Dachüberstand) auffallend. Die Match-T-Punktswolke hingegen ist sehr „biegsam“ und bildet die Dachebenen weit weniger präzise ab, als dies bei ALS der Fall ist. Auffallend sind die gleitenden Rampen bei abrupten Höhenunterschieden (Autos, Übergang: Straße - Dachflächen). Diese Anrampungseffekte machen die Klassifizierung der DIM-Daten sehr schwierig, da praktisch alle gängigen Filteralgorithmen im Vegetationsfall von einer gewissen Durchdringung, ansonsten aber zumindest von sprunghaften Höhenänderungen ausgehen. Etwas besser ist die Situation bei SURE. Einerseits ist die Punktdichte höher als bei Match-T (SURE matcht jedes Pixel, Match-T jedes dritte Pixel), andererseits sind die ebenen Flächen besser repräsentiert und die Rampeneffekte geringer.

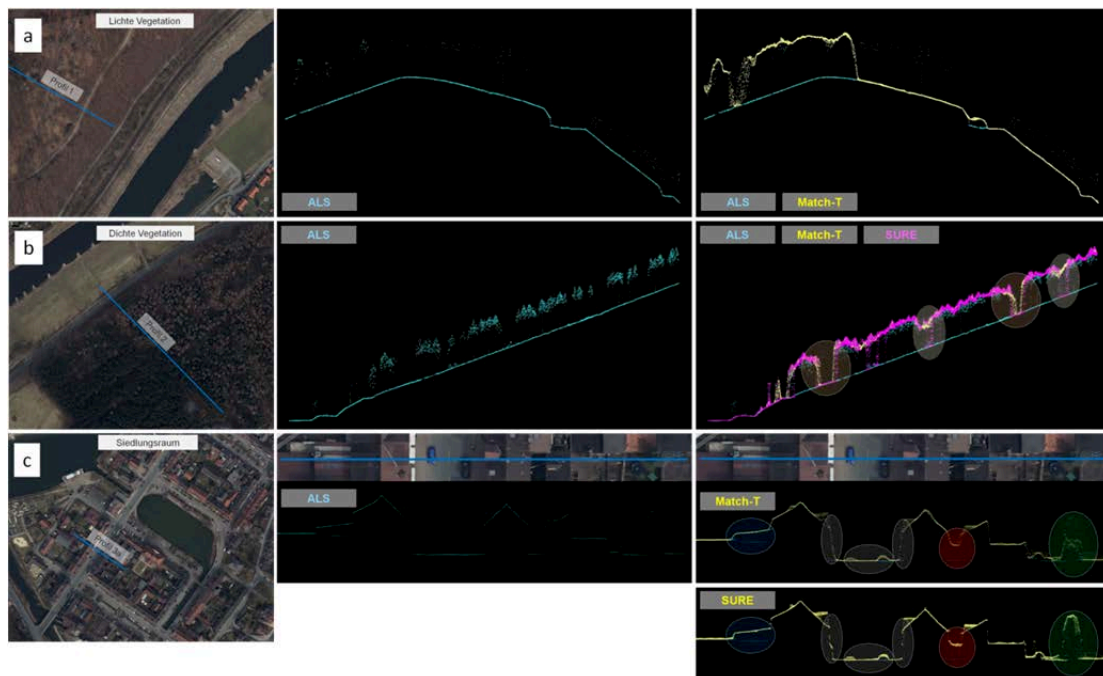


Abb. 2: Querschnitte durch die ALS- und DIM-Punktswolken, (a) lose Vegetation, (b) dichte Vegetation, (c) Siedlungsgebiet

5 Bodenabdeckung und Höhengenaugkeit

Aus den Ausführungen in Abschnitt 3 und der Abb. 2 wird klar, dass die DGM-Filterung für DIM-Punktswolken wegen der fehlenden Durchdringung im Vegetationsbereich und der Anrampungseffekte bei abrupten Höhenänderungen problematisch ist. Um die Abdeckung mit Bodenpunkten abschätzen zu können, wird die Klassifizierung in Boden und Nicht-Boden daher anhand des ALS-DGM durchgeführt, wobei alle Punkte mit einem Abstand kleiner 20 cm zum DGM als Boden akzeptiert werden. Diese Strategie kann sowohl für die ALS- als auch die DIM-Punkte angewendet werden und ist daher objektiv. Tabelle 1 zeigt die Ergebnisse für die unterschiedlichen Erfassungsarten bzw. Berechnungsmethoden und für Rasterweiten von 0,5 m, 0,75 m und 1,0 m. Eine Zelle gilt dabei als Boden besetzt, wenn mindestens ein Bodenpunkt enthalten ist.

Tabelle 1

Bodenabdeckung von ALS, DIM(SURE) und DIM(Match-T) für das Untersuchungsgebiet Weser

Methode	RW = 0.5 m		RW = 0.75 m		RW = 1.0 m	
	abs.	rel.	abs.	rel.	abs.	rel.
ALS	5898520	0.655	3283901	0.821	1910450	0.849
SURE (OBLIQUE)	5552641	0.617	2583479	0.646	1508216	0.670
SURE (DEFAULT)	5350732	0.595	2487792	0.622	1452659	0.646
SURE (AERIAL8080)	5234685	0.582	2456907	0.614	1444533	0.642
Match-T (85705571)	4896487	0.544	2276512	0.569	1330242	0.591
Match-T (8570)	4775460	0.531	2234103	0.559	1311492	0.583

Auf die Ergebnisse mit Rasterweite 0,5 m wird nicht weiter eingegangen, da die Zellgröße zu knapp am mittleren Punktabstand der ALS-Punkte liegt, um verlässliche Aussagen zu ermöglichen. Die optimale Rasterweite ist 0,75 m und hier zeigt sich, dass die Bodenabdeckung bei ALS mit 82 % deutlich höher ist als bei DIM (SURE: 64 %, Match-T: 57 %). Dies ist vor allem auf die bessere Durchdringungsfähigkeit von ALS im Bereich der Vegetation zurückzuführen. Problematisch ist nicht nur der Unterschied im prozentuellen Bodenanteil, sondern auch die Verteilung der Punkte (kaum Bodenpunkte bei DIM im Vegetationsbereich). Die Ergebnisse beim Untersuchungsgebiet Elbe/Klößen sind nicht aussagekräftig, da das Untersuchungsgebiet hauptsächlich offen ist. Klarerweise ist der Unterschied in der Bodenabdeckung zwischen ALS und DIM hier gering.

Zur Abschätzung der Höhengenaugigkeit wurden Histogramme der Abweichungen aller als Boden klassifizierten Punkte vom ALS-DGM berechnet. Die Ergebnisse sind grafisch und tabellarisch in Abb. 3 dargestellt. Die ALS-Histogramme (links) sind erwartungsgemäß annähernd normalverteilt sind, da die ALS-Bodenpunkte die Basis für das Referenz-DGM bilden. Die DIM-Histogramme (Mitte) sind sowohl für Weser als auch für Elbe interessant. Während bei der Weser eine deutliche Rechtsschiefe zu beobachten ist, zeigt das Elbe-Histogramm zwar eine Normalverteilung der Höhenabweichungen, dafür aber einen konstanten Offset von 10 cm. Die Rechtsschiefe (Weser) kommt dabei im Wesentlichen vom Anrammungseffekt bei undurchdringbaren Objekten (Vegetation, Häuser, Fahrzeugen). Die Verschiebung von +10 cm bei der Elbe hingegen rührt daher, dass auch bei Grasflächen Image Matching eher an der Oberfläche bleibt, während das (zeitgleich erfasste) Lasersignal tiefer eindringt. Dieser systematische, auch bei offenen Flächen auftretende Effekt ist für die Anwendung von bildbasierten Höhendaten für die HN-Modellierung durchaus kritisch zu bewerten. Betrachtet man die Standardabweichungen, dann ist ALS hingegen nur geringfügig besser als DIM (Elbe; ALS: 4,3 cm, DIM: 5,0 cm). Für die Weser kann die repräsentative Höhengenaugigkeit aus dem linken Ast des Histogramms abgeleitet werden, wobei in diesem Fall Match-T sogar bessere Ergebnisse liefert als SURE (σ ; ALS: 4,3 cm, SURE: 6,4 cm, Match-T: 5,4 cm).

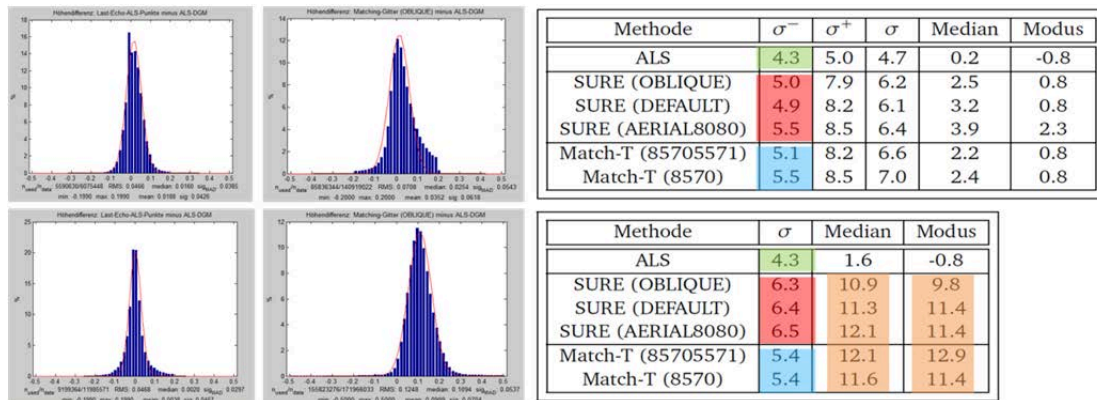


Abb. 3: Höhengenaugigkeit der Bodenpunkte für Weser (oben) und Elbe (unten); links: ALS, Mitte: DIM; rechts: tabellarische Gegenüberstellung

6 Zusammenfassung und Ausblick

Die Untersuchungen haben gezeigt, dass Dense Image Matching für die Bestimmung der Geländefläche nur im offenen Bereich eine Alternative zu ALS darstellt. Im Vegetationsbereich fehlt den bildbasierten Methoden die Durchdringungsfähigkeit durch kleine Öffnungen im Blattwerk. Bei undurchdringbaren Objekten wiederum zeigen die DIM-Daten einen Anrampungseffekt, der auf die Glattheitsbedingung beim Semi Global Matching zurückzuführen ist. Der generell besseren Kontrolliertheit der Höhen beim DIM bei hohen Bildüberlappungen (80 % längs) gegenüber den aus einer Einzelmessung resultierenden ALS-Punkten steht der Vorteil von ALS gegenüber, dass Objektpunkte für eine erfolgreiche Messung nur von einer Position aus sichtbar sein müssen. Auch muss bei offenen Wiesen- und Weideflächen im Falle von DIM mit systematischen Abweichungen gerechnet werden. Bildbasierte Verfahren liefern im Allgemeinen die dem Sensor nächstliegende Oberfläche. Im Bereich von versiegelten Flächen sind die mit DIM erzielbaren Genauigkeiten aber durchaus mit denen von ALS vergleichbar.

Literatur

- HIRSCHMULLER, H. (2008): Stereo processing by semiglobal matching and mutual information, *Pattern Analysis and Machine Intelligence*, IEEE Transactions on, Vol. 30, S. 328-341.
- ROTHERMEL, M., K. WENZEL, D. FRITSCH und N. HAALA (2012): SURE: Photogrammetric Surface Reconstruction from Imagery. *Proceedings LC3D Workshop*, Berlin.
- SHAN, J. und C. K. TOTH (Ed.) (2008): *Topographic Laser Ranging and Scanning: Principles and Processing*, CRC Press, ISBN 978-1-4200-5142-1, Boca Raton, FL.
- WEHR, A und U. LOHR (1999): Airborne laser scanning—an introduction and overview, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Volume 54, Issues 2-3, S. 68-82, ISSN 0924-2716, [http://dx.doi.org/10.1016/S0924-2716\(99\)00011-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0924-2716(99)00011-8)



Kontakt:

Dr. Gottfried Mandlbürger

Technische Universität Wien
Department für Geodäsie und
Geoinformation (E120.7)
Gusshausstr. 27-29

1040 Wien

ÖSTERREICH

Tel.: ++43-1-58801-12235

Fax: ++43-1-58801-12299

E-Mail:

gottfried.mandlbuerger@geo.tuwien.ac.at

Jahrgang 1969

1987-1995

Studium Vermessungswesen an der Technischen
Universität (TU) Wien

1996-2012

Forschungsassistent am Institut für Photogram-
metrie und Fernerkundung der TU Wien

2006

Promotion zum Dr. techn. (mit Auszeichnung),
Thema: Topographische Modelle für Anwendun-
gen in Hydraulik und Hydrologie

derzeit

Forschungsassistent (PostDoc) am Department für
Geodäsie und Geoinformation der TU Wien

Forschungsschwerpunkte:

Airborne Laserscanning, Laser Bathymetrie,
Software Entwicklung

Camillo Ressler

Werner Mücke

Technische Universität Wien
Department für Geodäsie und
Geoinformation (E120.7)

Gusshausstr. 27-29

1040 Wien

ÖSTERREICH

Bildflüge der Landesvermessung unter effektiven und effizienten Gesichtspunkten

Sven Baltrusch

1 Einleitung

Die Bildflüge im Auftrag der deutschen Landesvermessungsverwaltungen gewinnen aufgrund vielfältiger Anwendungsoptionen zunehmend an Bedeutung. In Zeiten der analogen Bildflüge bestand das Hauptaufgabengebiet in der Ableitung von Orthophotos und der Fortführung der Topographischen Kartenwerke. Mit Einsatz der digitalen Bildflüge konnte das Anwendungsfeld der digitalen Bilddaten wesentlich erweitert werden. Durch die gesetzlich verankerte Koordinierungsfunktion der Landesvermessungsverwaltungen für öffentliche Bildflüge sowie die Aufgabe der Langzeitsicherung in den Landesluftbildstellen hat sich der Anspruch an einen Bildflug gesteigert. Eine optimale Projektabwicklung muss permanent von effektiven und effizienten Parametern begleitet werden. Die Effektivität bestimmt die Erfüllung der Zielaufgaben. Für die Betrachtung der Effizienz sind neben den reinen Vergabekosten sowohl die eigenen Personalkosten als auch die Kosten für die IT-Technologie (Hard- und Software) zu berücksichtigen. Die Personalkosten werden in den folgenden Abschnitten nicht betrachtet, da diese länderspezifisch zu betrachten und zu bewerten sind.

2 Einflussgebende Befliegungsparameter

Für die Effektivität und Effizienz eines Bildflugprojektes ist im Vorfeld eine Vielzahl von Befliegungsparametern für die zu erfüllenden Aufgabenstellungen zu bewerten. Einflussgebende Parameter sind:

Sensorsystem

Kameraspezifisch ergeben sich Aufnahmebereiche und Öffnungswinkel. In wenigen Jahren konnte der Aufnahmebereich der digitalen Sensoren deutlich erweitert werden (s. Abb. 1).

Die Charakteristik der Darstellung des Aufnahmebereiches kann bei neueren Kameras zusätzlich durch die Wahl eines spezifischen Kameraobjektives beeinflusst werden. Weitwinkelige Objektive ermöglichen eine hohe geometrische Auflösung mit starken Umklappeffekten zu den Randbereichen. Bei Normalwinkelobjektiven wird der Umklappeffekt minimiert, was jedoch die Höhenauswertung einschränkt.

Die Bildwiederholungsrate des Sensorsystems ist für die erreichbare Längsüberdeckung in Kombination mit der Fluggeschwindigkeit bestimmend.



Abb. 1:
Vergleich der Aufnahmebereiche der verschiedenen UltraCam-Kameragenerationen

Flugzeug

Durch das Flugzeug kann die Fluggeschwindigkeit beeinflusst werden. Diese steht im direkten Zusammenspiel mit der Flugstabilität.

Eine geringe tatsächliche Flugzeit im Projektgebiet sichert identische radiometrische Aufnahmen und Vegetationszustände ab.

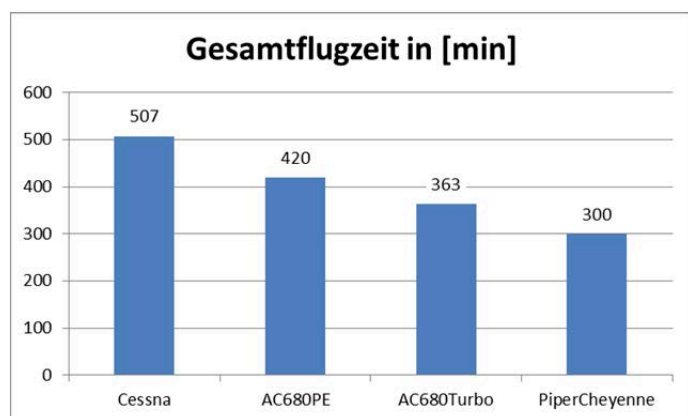


Abb. 2: Vergleich der Gesamtflugzeiten verschiedener Flugzeugtypen (Gebiet 40 x 25 km)

Geometrische Auflösung

Die geometrische Auflösung ist entscheidend für die Interpretationsmöglichkeit bezogen auf das Anwendungsspektrum. Eine Zunahme der geometrischen Auflösung spiegelt sich in einem steigenden Flugaufwand und einer steigenden Bildmenge wider. Eine Verdopplung der Auflösung ergibt das Vierfache des Datenvolumens.

Weiterhin sollte beachtet werden, dass eine hohe geometrische Auflösung die Anwendungsfelder aufgrund von Datenschutzrestriktionen einschränken könnte. Aktuell werden Aufnahmen mit einer Bodenauflösung von maximal 20 cm von den Landesdatenschutzbeauftragten für Veröffentlichungen als unbedenklich eingestuft.

Spektrale Auflösung

Eine Vielzahl der digitalen großformatigen Aufnahmesensoren ermöglichen synchron panchromatische und multispektrale Aufnahmen. Insbesondere für Vegetationsinterpretationen sind die multispektralen Aufnahmen ein wesentlicher Vorteil, welcher sich jedoch in einer Steigerung der erforderlichen Speicherkapazitäten niederschlägt.

Radiometrische Auflösung

Die radiometrische Auflösung der digitalen Sensoren liegt in der Regel bei 10-12 bit, welche im Postprocessing dann auf eine Auflösung von 16 bit erweitert wird, um diese in Standardsoftwarelösungen nutzbar zu machen. Diese verbesserte Auflösung bietet Vorteile in der Auswertung radiometrisch homogener Bereiche, wie z. B. Schattenbereiche. Weiterhin ergeben sich Vorzüge bei automatisierten Bildinterpretationen. Eine Erhöhung der radiometrischen Auflösung bedeutet jedoch einen parallelen Anstieg des Speicherbedarfes.

Längs- und Querüberdeckung

Durch Längs- und Querüberdeckung werden klassisch die Überlappungsbereiche und somit die stereoskopisch auswertbaren Bereiche bestimmt. Das aus der analogen Photogrammetrie bekannte Basis-Höhen-Verhältnis, welches einen ausreichenden Abstand zweier Bildaufnahmen erforderte, wird im digitalen Zeitalter durch Vorteile der redundanten Bildauswertungen und homogener radiometrischer Bildeigenschaften eliminiert. Hohe Längs- und Querüberdeckungen minimieren sichttote Bereiche, hervorgerufen durch Umklappeffekte, und steigern die Auswertezuverlässigkeit durch Redundanz. Die neu geschaffenen Vorteile führen zu steigenden Bildmengen in Kombination mit steigenden Speicheranforderungen.

Geometrie des Projektgebietes

Die Vergabekosten setzen sich aus den tatsächlichen Flugkosten und den Kosten für das Postprocessing der Bilddaten zusammen. Die Flugkosten werden im Wesentlichen durch die Geometrie des Projektgebietes bestimmt. Lange Flugstreifen in Verbindung mit wenigen Turns des Flugzeuges bedeuten eine hohe Nettoflugzeit im Gebiet. Insbesondere viele Turns, wie z. B. bei linien- bzw. langgestreckten Projektgebieten bedeuten einen hohen Anteil der Flugzeit ohne eigentliche Bildaufnahmen.

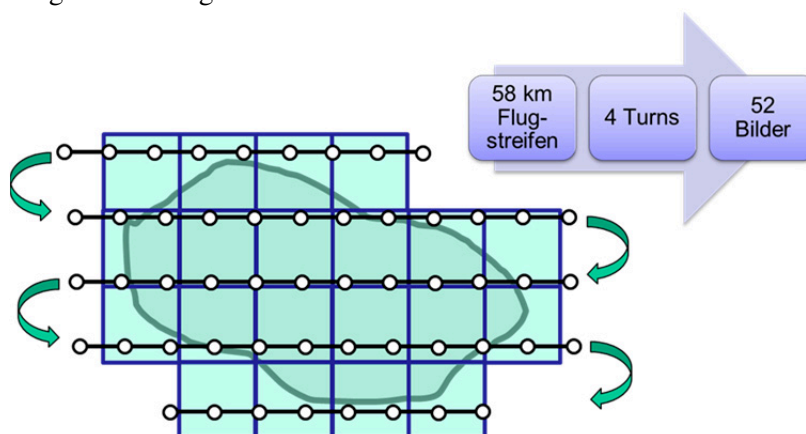


Abb. 3: Kostenfaktoren eines Befliegungsprojektes

3 Nutzungspotenzial von orientierten Luftbildern

Der Wandel in das digitale Bildflug-Zeitalter und die ständige Fortentwicklung der Computertechnologie haben das Anwendungsfeld der Erfassungsdaten erweitert. Moderne Bildflüge liefern multispektrale digitale Luftbilder mit einer hohen geometrischen Auflösung und einem geringen Farbrauschen. Der Einsatz von GNSS- und Inertial-Messverfahren während des Fluges ermöglicht eine unmittelbare Georeferenzierung der Bilddaten.

Insbesondere die dreidimensionalen und multispektralen Auswertemöglichkeiten bedeuten ein gesteigertes Nutzungspotenzial der orientierten Luftbilder. Während um die Jahrtausendwende der Einsatz von stereofähigen Bildschirmen noch eine preisintensive Herausforderung war, kann im heutigen multimedialen Zeitalter diese Technologie vorausgesetzt und bei der Lösung von luftbildgestützten Aufgabenstellungen angewandt werden.

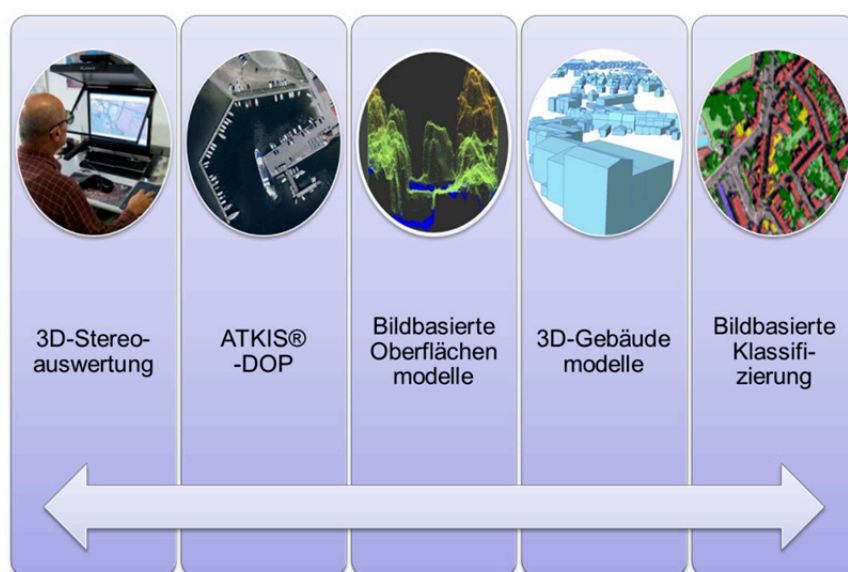


Abb. 4: Nutzungspotenzial von orientierten Luftbildern

Der stetige Fortschritt der Digitalkameratechnologie und die optimierten Auswertemöglichkeiten erfordern eine ständige Begleitung dieser Prozesse durch die Landesvermessungsverwaltungen, um die Effektivität und Effizienz der Bildflüge zu wahren. Das digitale Zeitalter bringt schnelle Technologiewandel, welche stets aufs Neue zu begutachten und zu werten sind. Die Projektgruppe „ATKIS®-DOP“ der Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland (AdV) befasst sich intensiv mit diesem Prozess.

Die Umsetzung der Bildflüge für die deutschen Landesvermessungsverwaltungen erfolgt über Vergabeverfahren nach VOL. Die fachspezifischen Anforderungen an den Bildflug, die Prozessierung und das Qualitätsmanagement werden nach einem durch die Projektgruppe veröffentlichten „Leitfaden zur Ausschreibung einer digitalen Luftbildbefliegung als Grundlage zur Herstellung von ATKIS®-DOP und stereoskopischen Auswertung“ vorgenommen. Durch die konsequente Einhaltung der technischen Vorgaben wird ein minimaler Nacharbeitsaufwand auf Seiten des Auftraggebers abgesichert. Eine strenge Qualitätskontrolle durch den Auftragnehmer reduziert den Qualitätsaufwand des Auftraggebers, so dass die Daten frühestmöglich in die Folgeprozessketten eingebunden werden können.

4 Produktorientierte Befliegungsparameter

Ein breites Anwendungsspektrum für die Ergebnisse der Bildflüge der Landesvermessungsverwaltungen schlägt sich in einer Vielzahl von Produkten bzw. Aufgabenstellungen nieder. Die AdV-Projektgruppe hat die Einflüsse der Parameter auf verschiedene Anwendungsrichtungen näher untersucht und bewertet. Die Ergebnisse sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

Tabelle 1

Zusammenfassung: Einfluss von Befliegungsparametern auf verschiedene Anwendungsfelder

	GSD10	RGB/ RGBI	16bit	Längsüber- deckung	Querüber- deckung
3D-Stereoauswertung	++	-	--	+	○
ATKIS®-DOP	+	++	-	+	○
Bildbasierte Oberflächenmodelle	++	-	+	++	+
3D-Gebäudemodelle	+	+	-	+	+
Bildbasierte Klassifizierung	○	++	++	+	○

++ optimal; + vorteilhaft; ○ ohne Einfluss; - ineffizient

5 Zusammenfassung

Zur abschließenden Betrachtung der Effektivität und insbesondere der Effizienz von Bildflügen der deutschen Landesvermessungsverwaltungen sind neben den Bildflugparametern die erforderlichen IT-Kosten zu berücksichtigen. Kapitel 2 beschrieb bei einer Vielzahl der Parameter eine Korrelation mit Speicherkosten. Große Speichermengen bedeuten einerseits entsprechende Festplatten, aber andererseits auch eine entsprechende Infrastruktur, idealerweise durch Netzwerkstrukturen, die den erforderlichen Datenfluss ermöglichen. Während sich einzelne Befliegungsparameter kaum signifikant auf die Bildflug-Vergabekosten niederschlagen, kann die Investitionssumme für die erforderlich werdende IT-Infrastruktur erheblich beeinflusst werden und ist stets zu beachten. Anhand eines Musterprojektes wurden maximale und minimale Parameteranforderungen verglichen und die Auswirkungen kamerabezogen gegenübergestellt.

Tabelle 2

Parameter der Maximal- und Minimallösung für einen theoretischen Vergleich

Parameter	Maximallösung	Minimallösung
Geometrische Auflösung	GSD 10 cm	GSD 20 cm
Spektrale Auflösung	RGBI	PAN
Radiometrische Auflösung	16 bit	8 bit
Längsüberdeckung	80 %	60 %
Querüberdeckung	80 %	30 %
IT-Infrastruktur	RAID/SAN-System	USB-Wechselplatte

Die Bildanzahl variiert insbesondere beim Vergleich der Maximallösungen stark, da hier der Einfluss der Aufnahmebereiche deutlich wird.

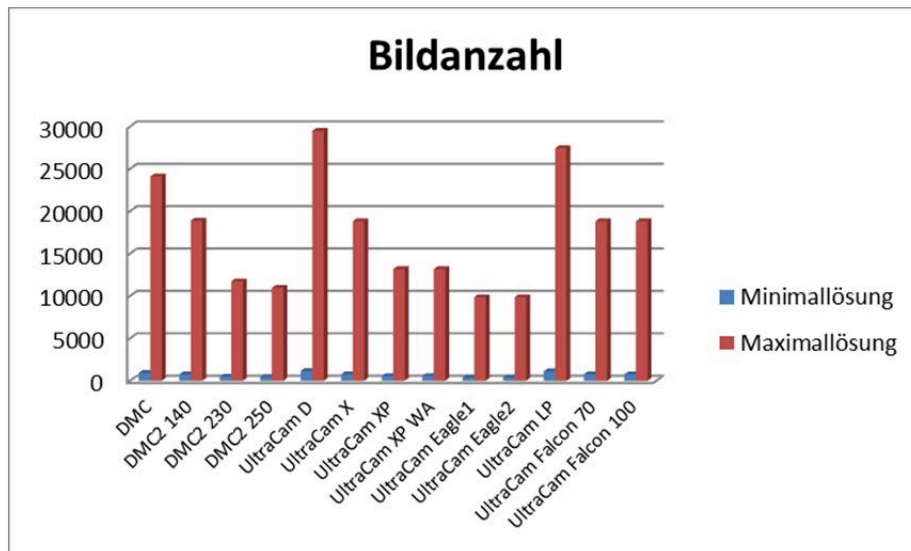


Abb. 5: Vergleich der resultierenden Bildmengen

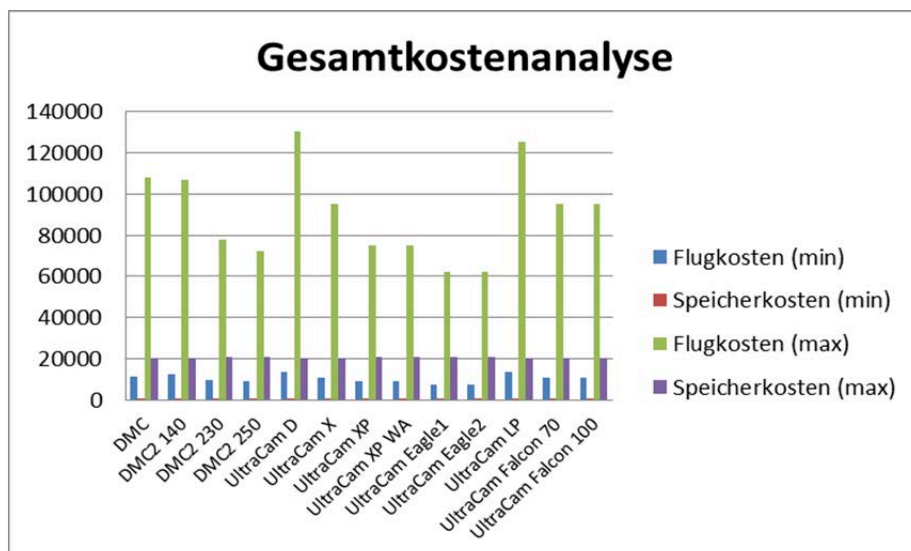


Abb. 6: Vergleich der resultierenden Gesamtkosten

Dieser sehr markante Vergleich zeigt, dass ein identisches Gebiet mit Projektkosten zwischen 7.500 und 150.000 € aufgenommen und bereitgestellt werden kann.

Eine geschickte Wahl der Bildflugparameter kann somit wesentlich für die Effizienz eines Befliegungsprojektes sein, wenn die effektiv erforderlichen Bildflugeigenschaften im Vorfeld bekannt sind und bei der Projektplanung angehalten werden.

Literatur

AdV-PG „ATKIS-DOP“: Leitfaden zur Ausschreibung von digitalen Luftbildbefliegungen als Grundlage zur Herstellung von ATKIS®-DOP und stereoskopischen Auswertung (veröffentlicht unter www.adv-online.de)



Kontakt:

Sven Baltrusch

Landesamt für innere Verwaltung

Mecklenburg-Vorpommern

Lübecker Str. 289

19059 Schwerin

Tel.: 0385/ 5885 6322

Fax: 0385/ 588 482 56039

E-Mail: sven.baltrusch@laiv-mv.de

Jahrgang: 1973

1992-1997

Studium Geodäsie an der Universität Hannover

seit 2001

Leiter des Bereiches „Digitale Luftbild- und Fernerkundungsdaten, ATKIS®-DGM“ im heutigen Landesamt für innere Verwaltung Mecklenburg-Vorpommern

Gremientätigkeiten:

- Leiter der AdV-Projektgruppe „ATKIS®-DOP“
- Mitglied der AdV-Projektgruppe „3D-Geobasisdaten“
- Mitglied im DIN-Normungsausschuss „Photogrammetrie und Fernkundung (NA 005-03-02)“

Hochwasser Juni 2013: Scheiternahe photogrammetrische Ereigniserfassung und Datenmodellierung

Thore Kiski

1 Einleitung

Vor dem Hintergrund des Hochwasserereignisses im Juni 2013 wird die scheinnahe Ereigniserfassung und Datenmodellierung mit Hilfe photogrammetrischer Verfahren dargestellt. Dazu wird nach Darlegung des aktuellen Stands der Technik der photogrammetrische Standard-Workflow erläutert sowie die notwendigen Abweichungen aufgrund der Hochwasserspezifischen Parameter dargelegt.

2 Photogrammetrie – Stand der Sensortechnik

Die Sensortechnik mit Bezug auf metrische Kamerasysteme hat sich in den letzten Jahren enorm entwickelt. Aus heutiger Sicht ist ein gewisser Status quo erreicht, der im Wesentlichen durch die Elektronik und IT-Systeme determiniert wird. Bildflüge werden heute im Allgemeinen mit zweimotorigen Flugzeugen ausgeführt, die über spezielle technische und zertifizierte Modifikationen verfügen und eine stabile Fluglage auch bei widrigen äußeren Umständen gewährleisten.



Abb. 1: Flugzeuge und metrische Kamerasensoren zur Erfassung von Luftbildern

Dazu verfügen die Flugzeuge über gyrostabilisierte Aufhängungen der Kamera, die über inertielle Messsysteme (INS) gesteuert werden und eine lotrechte Aufnahme mit geringsten Winkelverkippen gewährleisten. Die Projektionszentren jedes Fotos werden mit GPS erfasst und mit den INS-Winkelmessungen in einer Aerotriangulation (AT) zu georeferenzierten Produkten mit höchsten Genauigkeiten weiterverarbeitet. Die Kamerasysteme selbst verfügen über Auflösungen von bis zu 260 Megapixeln. Das bedeutet bei einer Auflösung des Pixels über Grund von 10 cm, wie sie bei der Hochwassererfassung verwendet wurde, eine Abbildungsbreite eines einzigen Fotos von enormen 2.000 m. Die Systeme erfassen RGBI-Bild-daten mit 16 bit je Kanal und 2 Gigabyte pro Bild. Die Farbkanäle R-G-B werden also um den Infrarot-Kanal (NIR) zu einem 4-kanaligen Bild ergänzt. Stand der Technik ist weiterhin die Speicherung auf SSD-Festplatten mit Bildwiederholraten von bis zu 1 Sekunde und Auflösungen bis zu 2,5 cm; das Ganze bei Fluggeschwindigkeiten von ca. 250 km/h.

3 Photogrammetrie – der Standard-Workflow

Der photogrammetrische Standard-Workflow wird durch die folgende Abbildung illustriert:

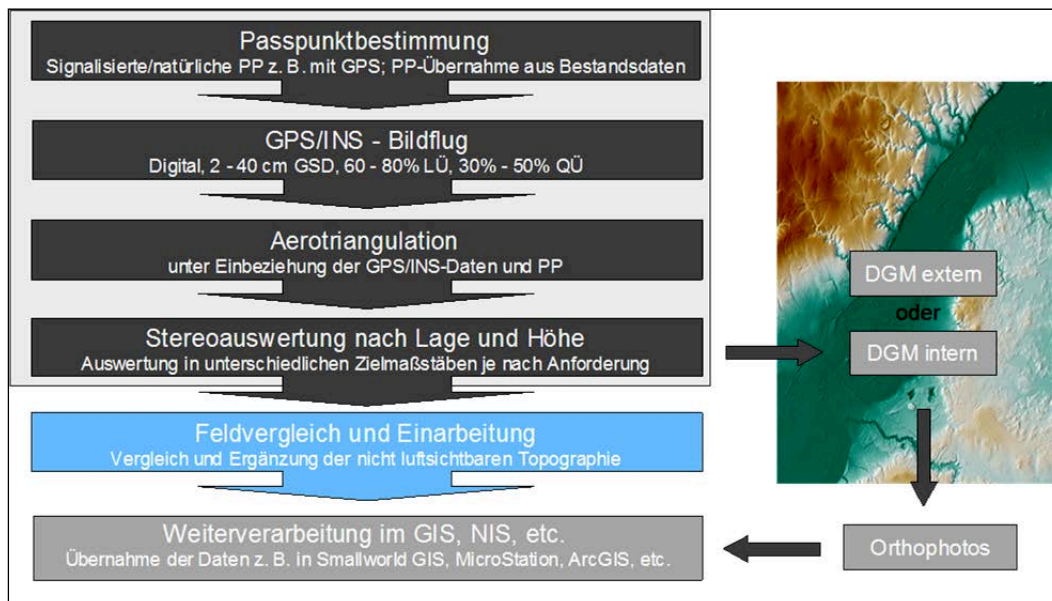


Abb. 2: Darstellung der Prozessschritte eines photogrammetrischen Standard-Workflows

In Ergänzung zu den bereits erwähnten GPS/INS-Daten während des Bildfluges werden nach wie vor Passpunkte zur absoluten Orientierung der Luftbilder benötigt. Diese werden mit terrestrischen GPS-Empfängern an den Rändern der Befliegungsgebiete erfasst. Nach dem Bildflug werden im Rahmen der AT die Rohdaten der Passpunkte, Bilder und GPS/INS-Daten zu sogenannten Stereomodellen verarbeitet, die eine dreidimensionale Erfassung aller luft-sichtbaren Objekte mit Genauigkeiten in der Lage von bis zu einem Pixel Auflösung ermöglichen. Die Stereoauswertung selbst wird von erfahrenen Auswertern an digitalen Stereoplottern ausgeführt, ergänzt um automatische Verfahren z. B. des Bildmatchings zur Ableitung von Digitalen Geländemodellen (DGM). Orthophotos (DOP) werden aus der Zentralprojektion des Luftbildes und den DGM-Daten in die Orthogonalprojektion eines DOP verarbeitet. Zusammen mit den Vektordaten der Stereoauswertung bilden sie die Datengrundlagen eines wasserwirtschaftlichen Geoinformationssystems (GIS).

4 Hochwasserereignis – Abweichungen vom Standard-Workflow

Die besonderen Umstände eines Hochwasserereignisses implizieren Anpassungen an den photogrammetrischen Standard-Workflow. Gründe dafür sind:

1. Die Ausdehnung der Fläche des Hochwassers ist vorab nicht bekannt: **Flugplanung** vorab schwierig (Auflösung, Flughöhe, ...).
2. Die Bestimmung von **Passpunkten** ist vorab nicht möglich, da eine scheinbar (= zeitnahe) Erfassung nach dem Ereignis notwendig ist.
3. Extreme **Wettersituation**: Die Wolkenuntergrenze determiniert die Flughöhe und damit die Auflösung der Fotos (GSD)
4. **Flugfreigaben** der Deutschen Flugsicherung: Die durch das Wetter erzwungene Flughöhe kollidiert mit Beschränkung des Luftraumes (z. B. Anflug Flughäfen).
5. **Lichtverhältnisse**: Schlechte Wetterverhältnisse erfordern lange Belichtungszeiten.
6. **Bildprozessierung**: Großräumige Wasserflächen bedeuten schwierige radiometrische Bildeigenschaften und somit langwierige Bearbeitungsprozesse.

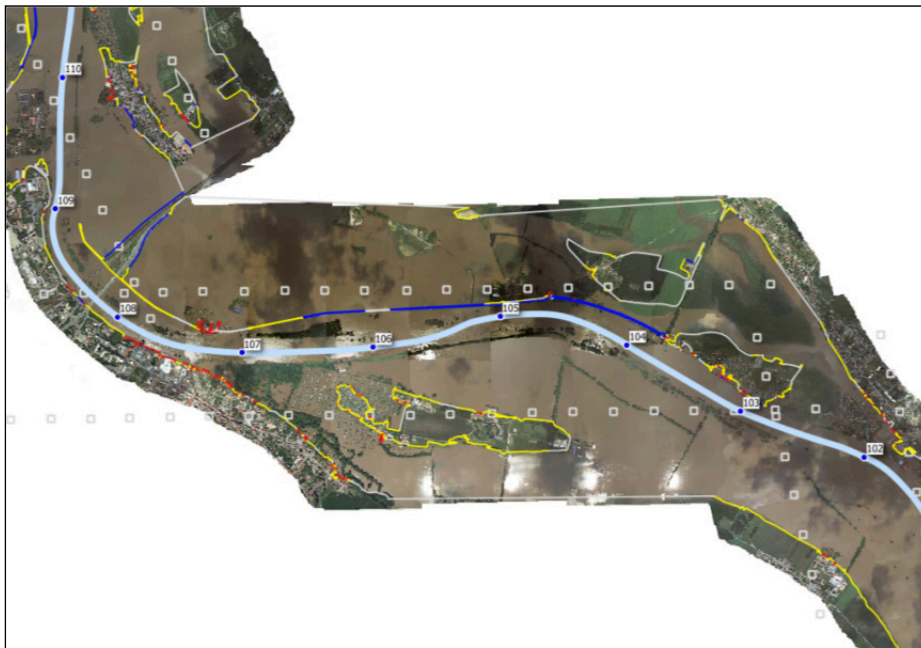


Abb. 3: Überschwemmungsbereich, Wasser-Land-Grenze und Gewässerachse

Die oben erwähnten Gründe erfordern folgende Anpassungen des Standardprozesses (vgl. Abb. 2) mit den nachfolgenden technischen und organisatorischen Konsequenzen:

1. **Passpunkte** vorab nicht möglich:

- Nachträgliche Passpunktbestimmung an eventuell suboptimalen Standorten.
- Auswahl der Standorte erst nach Sichtung des Bildmaterials möglich.

→ **Zeitaufwand** und **Blockstabilität**

2. Aerotriangulation Verknüpfungspunkte:

- Automatische Bildkorrelation scheitert häufig – handmäßige Verknüpfung nötig.
- Unterscheidung zwischen ortsfesten Objekten und Treibgut als potenzieller Punktstandort schwierig.
- Schattenwurf: Fehlverknüpfungen der Automatik müssen gelöst und manuell bearbeitet werden.

→ **Zeitaufwand** und **Blockstabilität**

3. Wasser-Land-Grenze (WLG):

- Grenzverlauf a priori unbekannt!
- Detaillierungsgrad und Interpretation in Siedlungsgebieten differieren.
- 3D-Eindruck im Stereoplotter auf Wasserflächen nicht möglich. Schwierige Erfassung im Übergang zur Landgrenze.

→ **Zeitaufwand, Genauigkeit** und **Vollständigkeit**

4. Wasserspiegelkontrollpunkte:

- Geplante (modellhafte) Standorte sind nicht immer haltbar. Vorgaben wie z. B. ca. alle 100 m ein Punkt möglichst in Nähe der Gewässerachse (vgl. Abb. 3) kaum realisierbar.

→ **Qualitätskontrolle** der WLG suboptimal

5. Digitale Orthophotos (DOP):

- Zwei Arten von Geländemodellen verfügbar. DGM-W mit 2 m und DGM10 mit 10 m Rasterweite. Kombination notwendig und aufwendig.
- Vorgehen: Wasserflächen aus Bestand filtern. Inseln wieder inkludieren. DGM „Wasser“ zwischen WLG berechnen (interpolieren). Ergebnis ist ein abgeleitetes DGM zur DOP-Entzerrung.
- Radiometrie Anpassung DOP-Mosaik wegen Wetter und Wasserflächen schwierig.

→ **Zeitaufwand** und **radiometrische Qualität**.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass ein Hochwasserereignis wie in 2013 einen Spezialfall photogrammetrischer Arbeitsprozesse darstellt, der besondere, situativ unterschiedliche Adaptionen des photogrammetrischen Standard-Workflows erfordert. Neben der a priori nicht bekannten Ausdehnung der Hochwassers und deren Implikation auf die technische Planbarkeit, der Aufwandsabschätzung sowie der Zeitplanung ist vor allem die extreme Wettersituation im Rahmen dieses Ereignisses zu nennen. Dieser exogene Faktor schränkt Flugparameter sowie die Realisierungswahrscheinlichkeit ein und ist schlicht nicht planbar. Vor dem Kontext dieses einschränkenden Faktors stellen photogrammetrische Datenerhebungen mit Flugzeugen die schnellste und flexibelste Erfassungsmethodik gewässerrelevanter Geobasisdaten dar. Was benötigt wird, sind Freiheitsgrade bei der Planung und Durchführung von Bildflügen und sich anschließenden Datenprozessierungen sowie das Verständnis dafür, dass Aufwands- und Zeitabschätzungen im Rahmen des Projektmanagements schwierig bis unmöglich sind.



Kontakt:

Dr. Thore Kiski

GEOCART GmbH

Nimrodstr. 60

45699 Herten

Tel.: 02366/ 1095-0

Fax: 02366/ 1095 22

E-Mail: kiski@geocart.de

1990-1996

Studium der Betriebswirtschaftslehre an der Universität Essen

1997-2002

Wissenschaftlicher Mitarbeiter und Promotion zum Dr. rer. Pol. der Wirtschaftsinformatik an der Universität Essen

seit 1996

Geschäftsführer der GEOCART GmbH

- Allgemeine Geschäftsleitung
- Akquisition und Auftragsabwicklung
- Projektmanagement Ausland, insbesondere Benelux
- Steuerung und Einsatzplanung Flugabteilung
- IT-Management

Oberflächentemperaturen aus der Luft – Thermische Infrarotmessungen an Rhein und Tideelbe

Katharina Fricke und Björn Baschek

1 Einleitung

Die Wassertemperatur ist ein wichtiger Parameter der Gewässergüte, sie ist jedoch auch ein Indikator für Wasserkörper mit unterschiedlichen Eigenschaften, für Mischungs- und Austauschprozesse, die in Flüssen und Wasserkörpern stattfinden. *In-situ*-Messungen sind bisher üblicherweise das Mittel der Wahl zur Messung der Wassertemperaturen an Bundeswasserstraßen, ergänzt durch Fließfahrten oder Probenahmen an verteilten Stellen. Gemeinsam mit Infrarot-Punktmessungen sind dies jedoch alles Punkt- oder 1D-Messungen und die flächige Abdeckung eines Untersuchungsgebiets durch derartige Messungen ist nur begrenzt möglich. Die Fernerkundung der Wassertemperatur durch IR-Thermographie erlaubt hingegen 2D-Aufnahmen und die Aufnahme eines ganzen Untersuchungsgebiets. Hierbei wird mit Fernerkundung immer die Oberflächentemperatur erfasst. Die Grundlagen und Möglichkeiten sowie Beispiele an Bundeswasserstraßen werden in diesem Artikel vorgestellt.

2 Physikalische Grundlagen der Temperaturmessung im Infrarot

Das Strahlungsmaximum eines Schwarzen Körpers mit knapp 0-30°C liegt im Wellenlängenbereich um 10 µm – damit strahlt auch unsere Umgebung vor allem in diesem Bereich sogenannte „Wärmestrahlung“ ab. Diese Eigenschaft macht sich die Infrarot (IR)-Thermographie zunutze, indem sie die emittierte Strahldichte in diesem Wellenlängenbereich misst und mittels des Planck'schen Strahlungsgesetzes oder eines empirisch angepassten Modells in Temperaturwerte umrechnet. Bei der Gewässertemperaturmessung wird die Temperatur der Oberfläche bzw. der obersten Wasserschicht gemessen, Temperaturveränderungen darunter wie z. B. Schichtungen sind nicht messbar.

Die IR-Thermographie kann zur Untersuchung der Erd- oder Wasseroberfläche genutzt werden. Bei größeren Abständen zwischen IR-Sensor und beobachteter Oberfläche können jedoch die Luftmassen bzw. die Atmosphäre die Messung beeinflussen, denn auch sie selbst absorbieren und emittieren Strahlung. Glücklicherweise gibt es mehrere „Fenster“ in der Atmosphäre, die einen Großteil der Strahlung hindurchlassen. Sie befinden sich im Spektrum des nahen IR um 4 µm, im Bereich 8-9 µm und 10-12 µm Wellenlänge. Im mittleren bis langwelligem Infrarot, auch thermales oder thermisches Infrarot (TIR) genannt, ist außerdem

der Anteil der Solarstrahlung geringer als im nahen Infrarot (NIR). Dieser Wellenlängenbereich wird daher in der Fernerkundung häufig verwendet, um auch unabhängig und unbeeinflusst von der Solarstrahlung die Strahldichte und Temperatur der Oberfläche zu messen.

Die Strahldichte, die von Fernerkundungssensoren erfasst wird, wird beeinflusst von Temperatur und Emissivität der gemessenen Oberfläche. In Bezug auf die Temperatur zeigt die Wasseroberfläche den Vorteil, dass sie in den meisten Fällen eine einheitlich Emissivität aufweist, die nur gering variiert ($\epsilon = 0,98$), d. h. die Strahlungsdichte ist nicht durch unterschiedliche Oberflächeneigenschaften beeinflusst (KÜNZER & DECH 2013). Bei gut durchmischten Gewässern ist die Oberflächentemperatur auch ein guter Indikator für den gesamten Wasserkörper. Dies erleichtert die Berechnung und Interpretation der Temperatureergebnisse. Wenn man sich nicht direkt über der Oberfläche befindet, deren Temperatur man misst, muss man jedoch die Messungen des Sensors für Abweichungen insbesondere durch Einfluss der Atmosphäre korrigieren, entweder durch Messung oder Modellierung der Einflussfaktoren oder durch Kalibration mithilfe von *In-situ*-Messungen.

3 Möglichkeiten der Temperaturmessung mittels Fernerkundung

Für die TIR-Fernerkundung stehen verschiedene Plattformen zur Verfügung, die abhängig von Flughöhe und Kamerasystem verschiedene Auflösungen und Abdeckung ermöglichen. In Tabelle 1 sind einige Plattformen und ihre Aufnahmemöglichkeiten im TIR dargestellt. Im Vergleich zu den Kamerasystemen im sichtbaren und NIR-Bereich sind die räumliche Auflösung und Abdeckung der TIR-Kameras geringer. Die verschiedenen Plattformen unterscheiden sich darüber hinaus noch z. B. in Bezug auf Flexibilität der Einsatzmöglichkeiten, Wetterabhängigkeit, Reichweite, Verfügbarkeit und Kosten.

Tabelle 1

Plattformen für TIR-Fernerkundung an Bundeswasserstraßen (Abhängig vom Bearbeitungsgebiet, Aufgabe, Aufnahmeplattform und -geometrie können diese Angaben auch abweichen.)

	Befliegung (Auswahl)			Satellitensensor (Auswahl)	
	UAV	Gyrokopter	Flugzeug	Landsat 7/8	MODIS
Flughöhe	0-100 m	0,3-2 km	1-8 km	705 km	705 km
Abdeckung einer Aufnahme	20-2.000 m ²	0,05-5 km ²	0,2-35 km ²	~31.110 km ²	~4,9 Mio. km ²
Räumliche Auflösung	0,01-0,5 m	<1-5 m	1-10 m	60/100 m	1000 m
Wiederholrate	variabel	variabel	variabel	8 Tage	2x täglich

4 Satellitendaten

Satellitendaten erlauben es uns, die Oberflächentemperatur eines großen Gebietes mit einer einzigen Aufnahme zu messen. Die Thermalbänder der Satellitensensoren erlauben eine relative Temperatureauflösung von 0,3°C (Landsat 7) über 0,04°C (Landsat 8) bis 0,02°C (MODIS). Die reale Genauigkeit und Präzision ist jedoch v. a. durch Mischpixel und den Einfluss der Atmosphäre zwischen Sensor und Oberfläche eingeschränkt. Außerdem ist die

räumliche Auflösung nur für die Untersuchung größerer Wasserkörper geeignet, das Minimum liegt bei einer Ausdehnung entsprechend der doppelten Pixelbreite der Satellitendaten. In diesem Kapitel wird die Qualität und Eignung von Daten der Landsat-Mission zur Temperaturmessung ausgewertet, da diese aufgrund ihrer räumlichen Auflösung von 60 bzw. 100 m von den verfügbaren Satellitendaten am ehesten für Binnengewässer verwendbar sind. Am Ufer werden durch die Satellitensensoren jedoch trotzdem noch häufig Mischpixel von Wasser und Landoberfläche erfasst, die für Auswertungen herausgefiltert werden müssen.

Beim Vergleich verschiedener Publikationen und Korrekturmethode erreicht die Abweichung zwischen den korrigierten Temperaturen basierend auf Landsat-Daten und tatsächlichen Temperaturen an der Oberfläche ($\Delta T = T_{\text{Satellit}} - T_{\text{Oberfläche}}$) im Mittel $\mu = 0,0-0,7^\circ\text{C}$, während die Standardabweichung der Differenz $\sigma = 0,7-1,1^\circ\text{C}$ beträgt (COLL et al. 2010; CRISTOBAL et al. 2009; FRICKE & BASCHEK 2013; GANAS & LAGIOS 2003). Neben dem Sensorfehler bzw. Bildrauschen sind die Hauptgründe für die Varianz der Ergebnisse und Abweichungen die unterschiedlichen Atmosphärenbedingungen zum Aufnahmezeitpunkt und unterschiedliche Korrekturmethode und -parameter. Bei einem Vergleich der Landsat-7-Strahlungstemperaturen (19 Szenen, 2000-2009) mit der Wassertemperatur des Rheins betrug nach einer Atmosphärenkorrektur die mittlere Temperaturdifferenz aller Datenpunkte $\mu = 0,5^\circ\text{C}$ und $\sigma = 0,7^\circ\text{C}$ (FRICKE & BASCHEK 2013).

Die o. g. räumliche Auflösung von 60 bzw. 100 m Pixelkantenlänge und die dokumentierte Ungenauigkeit erlaubt es, am Rhein nur Einleiter mit relativ großem Einleitungsvolumen oder großen Temperaturunterschieden zum Hauptwasserkörper in den Satellitenszenen zu erkennen. Deutlich sichtbar in den Satellitenszenen sind die Einleiterfahnen der Kernkraftwerke Philippsburg und Biblis sowie die von Main und Mosel.

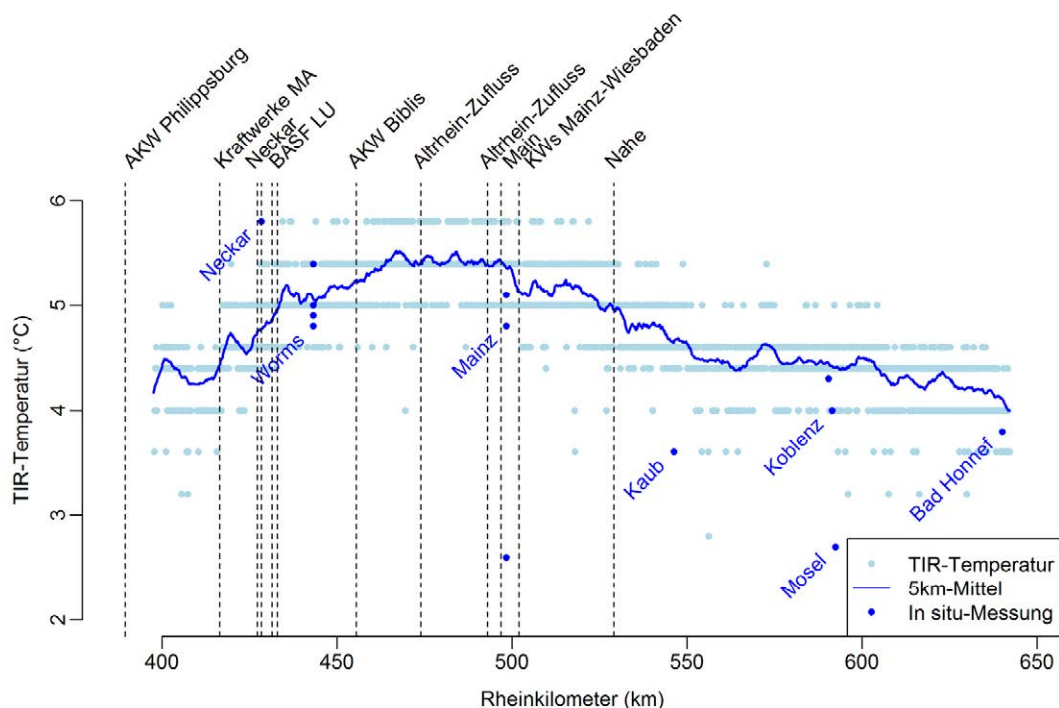


Abb. 1: Temperatur-Längsprofil des Rheins aus dem Band 6 einer Satellitenaufnahme von Landsat 7 ETM+ vom 17.02.2003 (Datenquelle: NASA/USGS, WSV, LUGW, LUBW, BfG, LANUV).

Besser sind die Einleiter jedoch zu sehen, wenn aus den Satellitendaten Längsprofile erstellt werden, um die Temperaturveränderungen entlang des Flusslaufs zu analysieren (Abb. 1). Man kann selbst bei einigen kleineren Einleitern, die im Rasterbild aufgrund der Pixelgröße kaum zu erkennen sind, ihre Auswirkungen auf die mittlere Wassertemperatur erfassen. Noch außerhalb der Landsat-Szene befindet sich das KKW Philippsburg, die Zunahme der Wassertemperatur ist jedoch im Profil zu sehen. Die Breite der Einleiterfahne verändert sich je nachdem, ob sie sich an Prall- oder Gleithang befindet, und verursacht die Schwankungen der mittleren Oberflächenwassertemperatur zwischen Rheinkilometer (Rh-km) 400 und 425. In Mannheim und Ludwigshafen (Rh-km 430) sind die Einleitungen durch Kraftwerke, BASF und den wärmeren Neckar erkennbar. Die folgenden Zuflüsse Main, Nahe, Lahn und Mosel sind kälter als der Rhein (s. auch *In-situ*-Messungen) und führen zu einem Absinken der Flusstemperatur. Die *In-situ*-Messungen stimmen mit den korrigierten Satelliten gut überein, außer in Kaub, wo die Messstation die Temperatur in Ufernähe misst, und die Flussmitte eine deutlich höhere Temperatur aufweist.

Je breiter Wasserstraßen und -flächen sind, desto besser sind die Satellitentemperaturen für die Untersuchung geeignet. Für die Tideelbe lassen sich in Aufnahmen von Landsat 8 die Temperaturverteilung bei unterschiedlichen Wasserständen erkennen und auch die unterschiedlichen Temperaturen des abfließenden Wassers (Abb. 2). Die Satellitenbilder in dieser Abbildung wurden zu unterschiedlichen Zeitpunkten und während mehrerer Tidezyklen aufgenommen. Sie geben jedoch einen Eindruck, wie man Wasserkörper unterschiedlicher Temperatur erkennen kann.

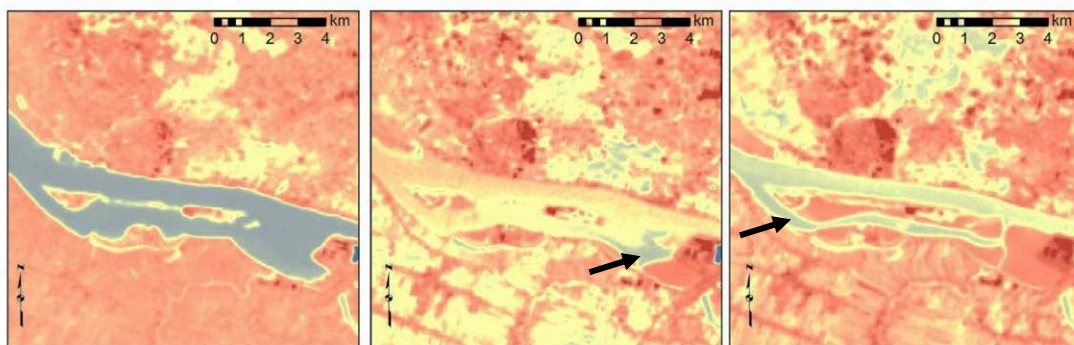


Abb. 2: Landsat-8-TIRS-Aufnahmen (Kanal 10) des Mühlenberger Lochs und der Hahnöfer Nebelbe zu unterschiedlichen Wasserständen: Links: Hochwasser – gleichmäßige Temperaturverteilung; Mitte: Ebbe – Abfließen des warmen (rötlich) Wassers, kalter (blau) Wasserkörper im Mühlenberger Loch; Rechts: Niedrigwasser – kälteres (blau) Wasser verbleibt in der Hahnöfer Nebelbe (Datenquelle: NASA/USGS)

5 Befliegungsdaten

Im Gegensatz zu Satellitendaten bieten Befliegungen mit TIR-Kameras die Möglichkeit, die Wassertemperaturen mit weitaus höheren Auflösungen zu erfassen. Der organisatorische und finanzielle Aufwand ist jedoch ebenfalls höher, und regelmäßige Aufnahmen sind dadurch selten. Die Genauigkeit und Präzision der Temperaturen aus Befliegungen wird v. a. durch die anspruchsvolle Aufnahmegeometrie und Georeferenzierung, aber auch Sensorfehler und

in geringerem Maße durch Atmosphäreneinflüsse eingeschränkt. Die von Kameraherstellern angegebene Systemgenauigkeit variiert von $\pm 1^\circ\text{C}$ bei gekühlten Thermalkameras, die in Flugzeugen verwendet werden können, bis zu $\pm 2^\circ\text{C}$ bei kleineren und ungekühlten Aufnahmesystemen, die für Befliegungen mit Gyrokopter und unbemannten Luftfahrzeugen (UAV) verwendet werden können. Die Temperaturauflösung am Sensor variiert auch entsprechend von $0,025^\circ\text{C}$ (Flugzeug) bis $0,06^\circ\text{C}$ (UAV). Die Abweichung zwischen aufgenommener Temperatur und *In-situ*-Messungen ($\Delta T = T_{\text{Befliegung}} - T_{\text{in situ}}$) beläuft sich bei verschiedenen Befliegungen im Mittel auf $\mu = -0,1-0,3^\circ\text{C}$ mit einer Standardabweichung von $\sigma = 0,2-0,4^\circ\text{C}$ (FRICKE & BASCHEK 2014; TORGERSEN et al. 2001; Watershed Sciences 2000, 2006, 2010). Die Qualität der Temperaturen aus Befliegungen hängt jedoch auch von den Möglichkeiten zur Korrektur oder Kalibration ab: Bei den Daten aus einer von der BfG beauftragten Befliegung am Rhein im Oktober 2013 konnte mithilfe einer Atmosphärenkorrektur (MODTRAN5 mit DWD-Wetterdaten und extrapolierten Standard-Atmosphärenprofilen als Eingangsparameter) ΔT auf $\mu = 0,2^\circ\text{C}$ und $\sigma = 0,4^\circ\text{C}$ reduziert werden. Die Kalibration mit *In-situ*-Messungen an Gewässergütemessstellen und von den Wasser- und Schifffahrtsämtern ausgebrachten Temperaturloggern ermöglichte bei einer Fallstudie unter Annahme einer homogenen Atmosphäre im Untersuchungsgebiet eine Verbesserung auf $\mu = 0,0^\circ\text{C}$ und $\sigma = 0,2^\circ\text{C}$ (FRICKE & BASCHEK 2014).

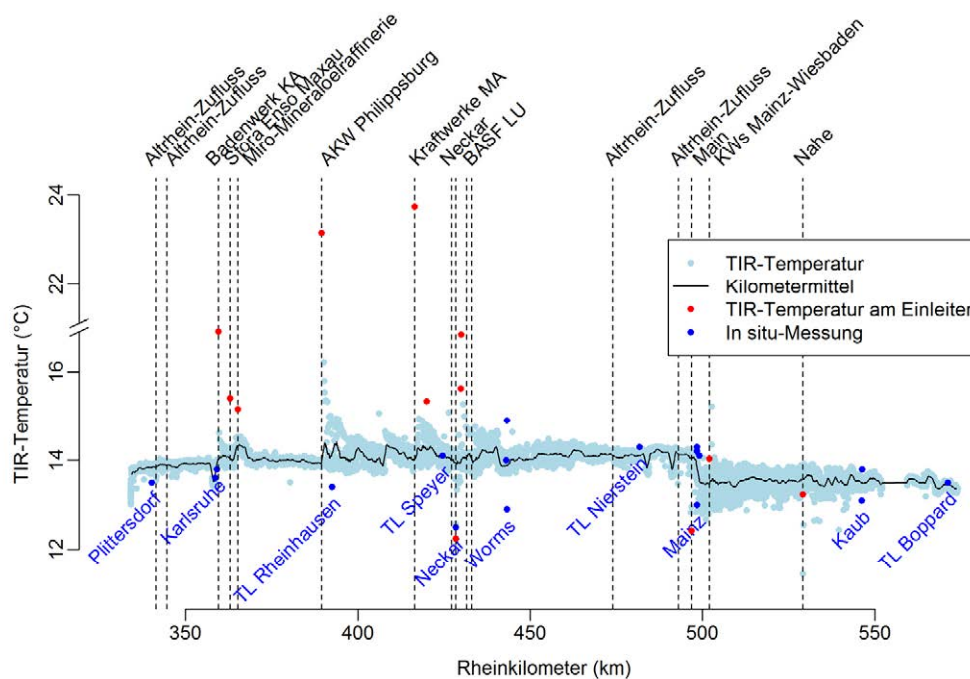


Abb. 3: Längsprofil des Rheins aus einer Flugzeug-Befliegung 31.10.2013, mit Datenpunkten über den gesamten Fluss verteilt (Datenquelle: BfG, WSV, LUBW, LUGW).

Aus Befliegungsdaten können entlang des Rheins Datenpunkte sowohl längs als auch quer über den Fluss entnommen werden, sodass die Variation der Wassertemperatur entlang des Querprofils als weitere Information ausgewertet werden kann (Abb. 3) (FRICKE & BASCHEK 2014). Aufgrund der kleinen Pixelgröße von $4\text{ m} \times 4\text{ m}$ ließen sich bei o. g. Befliegung am Rhein auch kleine Einleiter, horizontale Durchmischungsprozesse und geringe Temperaturänderungen in den 2D-Aufnahmen beobachten (Abb. 4). Unterhalb der Mainmündung in

Mainz kann man den Temperaturunterschied vom einen zum anderen Rheinufer erkennen, der sich auch in den *In-situ*-Messungen zeigt. Durch die hochaufgelöste Darstellung der unterschiedlichen Wasserkörper lassen sich auch die Verwirbelungen flussabwärts des Brückenpfeilers gut beobachten.

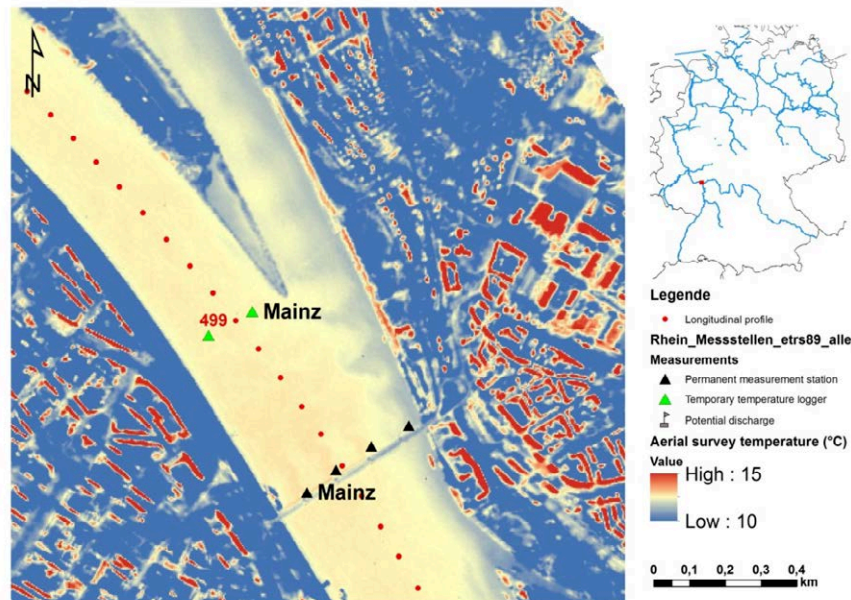


Abb. 4: TIR-Aufnahme vom 31.10.2013 unterhalb der Mainmündung in Mainz vom Flugzeug aus (Datenquelle: BfG).

6 Zusammenfassung

Die Anforderungen der Fragestellung bzw. des Untersuchungsgebiets, für welches man Temperaturdaten erfassen möchte, bedingen die Wahl der Messmethode und des Aufnahmesystems. Nicht zu vernachlässigen ist außerdem der finanzielle Aufwand, der für eine Befliegung mit UAV, Gyrokopter oder Flugzeug betrieben werden muss im Gegensatz zur Nutzung von aktuell kostenfreien Satellitendaten. An Bundeswasserstraßen sind letztere dazu geeignet, Längsprofile und -gradienten, Einleiter mit großem Volumen oder Temperaturunterschiede zu identifizieren und beobachten. Die regelmäßige Wiederholung der Aufnahmen und Verfügbarkeit machen es möglich, auch den zeitlichen Verlauf der Oberflächentemperaturen zu beobachten. Um Daten für Längs- und Querprofile, kleinere Einleiter sowie eine hohe absolute Genauigkeit zu erhalten, müssen hingegen Befliegungen durchgeführt werden. Die zu erreichende absolute Genauigkeit und Präzision ist bei beiden Datenquellen abhängig von den verfügbaren Eingangsdaten für die Korrektur und von der Korrekturmethode (Atmosphärenkorrektur oder Kalibration mit *In-situ*-Messungen). Bei variablen und starken Atmosphäreninflüssen bleiben größere Unsicherheiten, bei homogener Atmosphäre und einer großen Anzahl von *In-situ*-Werten lässt sich die Abweichung der Temperaturwerte aus Fernerkundungsdaten jedoch stark reduzieren.

Literatur

- COLL, C. et al. (2010): Validation of Landsat-7/ETM+ Thermal-Band Calibration and Atmospheric Correction With Ground-Based Measurements, Ieee Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Jahrgang 48, Heft 1, S. 547-555.
- CRISTOBAL, J. et al. (2009): Improvements in land surface temperature retrieval from the Landsat series thermal band using water vapor and air temperature, Journal of Geophysical Research-Atmospheres, Jahrgang 114, Heft S. D08103.
- FRICKE, K. & BASCHEK, B. (2013): Water surface temperature profiles for the Rhine River derived from Landsat ETM+ data – In: Proc. SPIE 8887, Remote Sensing for Agriculture, Ecosystems, and Hydrology XV, 16.10.2013.
- FRICKE, K. & BASCHEK, B. (2014): Temperature monitoring along the Rhine River based on airborne thermal infrared remote sensing: qualitative results compared to satellite data and validation with *in situ* measurements – In: Proc. SPIE 9239, Remote Sensing for Agriculture, Ecosystems, and Hydrology XVI, 22.09.2014.
- GANAS, A. & LAGIOS, E. (2003): Landsat 7 night imaging of the Nissyros Volcano, Greece, International Journal of Remote Sensing, Jahrgang 24, Heft 7, S. 1579-1586.
- KÜNZER, C. & DECH, S. (2013): Theoretical Background of Thermal Infrared Remote Sensing – In: Künzer, C. & Dech, S. (Hrsg.): Thermal Infrared Remote Sensing, Dordrecht, Heidelberg, New York, London, S. 1-26.
- TORGERSEN, C. E. et al. (2001): Airborne thermal remote sensing for water temperature assessment in rivers and streams, Remote Sensing of Environment, Jahrgang 76, Heft 3, S. 386-398.
- Watershed Sciences (2000): Remote Sensing Survey of the Grande Ronde River Basin Thermal Infrared and Color Videography – Corvallis, OR.
- Watershed Sciences (2006): Airborne Thermal Infrared Remote Sensing Palouse River Basin, WA/ID – Corvallis, OR.
- Watershed Sciences (2010): Airborne Thermal Infrared Remote Sensing Anchor River Basin, Alaska – Corvallis, OR.



Kontakt:

Dr. Katharina Fricke
Bundesanstalt für Gewässerkunde
Am Mainzer Tor 1
56068 Koblenz
Tel.: 0261/ 1306 5037
Fax: 0261/ 1306 5302
E-Mail: fricke@bafg.de

Jahrgang: 1983

2002-2008

Studium Geographie, Politik und Umweltphysik an der Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg

2008-2012

Wissenschaftliche Mitarbeiterin am Geographischen Institut an der Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg

seit 2012

Wissenschaftliche Angestellte der Bundesanstalt für Gewässerkunde

Projektbearbeitung:

Seit 2012: Fernerkundung zur Ableitung der Oberflächentemperaturen von Gewässern



Kontakt:

Dr. Björn Baschek
Bundesanstalt für Gewässerkunde
Am Mainzer Tor 1
56068 Koblenz
Tel.: 0261/ 1306 5395
Fax: 0261/ 1306 5302
E-Mail: baschek@bafg.de

Jahrgang: 1974

1994-2000

Studium der Physik an der Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg und Universität Uppsala
Interdisziplinäres Umweltzertifikat

2001-2005

Wissenschaftlicher Mitarbeiter ETH Zürich in den Bereichen Radar-Meteorologie und Niederschlags-Mikrophysik

seit 2006

Wissenschaftler an der Bundesanstalt für Gewässerkunde

heute:

- Ansprechpartner für Fernerkundung
- Stellvertretender Referatsleiter Referat „Geoinformation und Fernerkundung, GRDC“
- Wissenschaftlich/technische Beratung von Havariekommando und BMVI zum Einsatz von Fernerkundung zur Erkennung von Meeresverschmutzungen
- Betreuung der Missionsausrüstung der Ölüberwachungsflugzeuge
- Anwendungen der Fernerkundung für Binnen- und Küstengewässer
- Beratung WSV

Infrastruktur eines modernen Kartenwesens in der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung

Michael Seifert

1 Einleitung

Geodaten in Form von Karten waren schon immer eine wesentliche Grundlage für viele Aufgabenbereiche in der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV). Diese Bedeutung hat im Zuge des einfacheren Zugangs und der vielfältigeren Anwendungen von Geodaten eher noch zugenommen.

Der Aufsatz behandelt die heutigen Hauptkartenwerke der WSV, deren Herstellung und Konzepte, die Herstellung und Produktformen künftig zu optimieren.

Anmerkung:

Im Aufsatz werden zur Vereinfachung die Begriffe Karten, Kartenwerke, Geodaten und Geodatenbestände nahezu deckungsgleich verwendet, obwohl dies fachlich nicht korrekt ist. Für viele Nutzer ist die Abgrenzung dieser Begriffe gerade bei der Nutzung fortgeschrittener netzbasierter Kartendienste nicht mehr erkennbar. Fachkollegen mögen mir diese Unsauberkeit verzeihen.

2 Kartographie in der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung

2.1 Karten zur Unterstützung bei WSV-Aufgaben

In der WSV werden verschiedene standardisierte Kartenwerke zur Unterstützung einer Vielzahl von Aufgaben gepflegt und verteilt. Dies betrifft beispielsweise Aufgaben in folgenden Bereichen:

- > Sicherstellen, Regeln des Schiffsverkehrs (Schifffahrtszeichen, RIS-Dienste)
- > Unterhaltungsarbeiten (Bauwerke, Uferbereiche ...)
- > Freihalten der Schifffahrtswege (Gewässervermessung, Baggerei, Eisbrecher)
- > gewässerkundliche Aufgaben (Pegelwerte, Tauchtiefen, Eisberichte ...)
- > Liegenschaftsverwaltung (20 000 ha Landflächen)
- > Neu-/Ausbau (technische Planung, Planfeststellungsverfahren)
- > Umweltschutz (Durchgängigkeit der Flüsse, Schonung der Umwelt)
- > Öffentlichkeitsarbeit
- > Bestandsdokumentation

2.2 Karten für die Schifffahrt

Die Bereitstellung navigationstauglicher elektronischer Schifffahrtskarten für Binnenwasserstraßen der Klasse $\geq 5a$ ist gemäß EU-RIS-Richtlinie seit Oktober 2008 verpflichtend. Dabei handelt es sich um sogenannte IENC (Inland Electronic Navigational Chart) im internationalen ECDIS-Standard (ECDIS: Electronic Chart and Display Information System).

Per Erlass wurden zur Schließung von Lücken weitere Bundeswasserstraßen der Klasse IV mit einbezogen.

Mit Beschluss der Zentralkommission für die Rheinschifffahrt wird auf dem Rhein AIS- und IENC-Nutzung zum 1. Dezember 2014 verpflichtend, damit erreicht die IENC-Nutzung eine neue Qualität.

2.3 Karten im Rahmen von Open Data

Die von der WSV für eigene Zwecke und für die Schifffahrt hergestellten Hauptkartenwerke werden auch im Rahmen von Open Data kostenfrei der Allgemeinheit zur Verfügung gestellt. Darüberhinaus sind nach der technischen Richtlinie zum Bundesgeoreferenzdatengesetz folgende Datenbestände der WSV geotopographische Referenzdaten gemäß BGeoRG:

- > Verkehrsnetz der Bundeswasserstraßen (VerkNet-BWaStr)
- > Digitale Bundeswasserstraßenkarte 1 : 2 000 (DBWK2)
- > Inland Electronic Navigational Charts, Inland ENC (IENC)

2.4 Zuständigkeit für die Kartenproduktion in der WSV

Die Pflege der Hauptkartenwerke der WSV ist bei Fachstellen gebündelt. In jedem früheren Direktionsbezirk ist eine Fachstelle angesiedelt und für deren Bereich zuständig:

- > Nord: Vermessungs- und Kartenstelle (Kiel)
- > Nordwest: Vermessungs- und Kartenstelle bei der GDWS-Außenstelle NW (Aurich)
- > West: Fachstelle Vermessungs- und Kartenstelle (Münster)
- > Mitte: Fachstelle Vermessungs- und Kartenwesen Mitte (Hannover)
- > Südwest: Fachstelle Vermessung, Karten (Mainz)
- > Süd: Fachstelle für Geoinformationen Süd (Regensburg)
- > Ost: Kartenstelle für den Bereich der GDWS-Außenstelle Ost (Berlin)

Die Pflege der maritimen ENC-Karten erfolgt durch das Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH).

Daneben werden fallbezogen weitere Karten und Pläne durch die Wasser- und Schifffahrtsämter sowie durch die (Wasserstraßen-) Neubauämter erstellt und gepflegt.

3 Hauptkartenwerke der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung

3.1 Digitale Bundeswasserstraßenkarte im Maßstab 1 : 2000 (DBWK2)

Die DBWK2 ist die zentrale Grundkarte für die WSV. Ein kurzer Steckbrief:

- > Digitale CAD-Karte im Zielmaßstab 1 : 2000
- > MicroStation dgn-Format / interner WMS-Dienst

- > differenziertes Datenmodell, keine GIS-Objekte, keine Sachdaten
- > flächendeckend für alle Bundeswasserstraßen

Die DBWK2 wird beispielsweise wie folgt genutzt:

- > unmittelbar als CAD-Datenbestand, als Grundlage für technische Planungen
- > als Hintergrundkarte für Planfeststellungsverfahren, Bestandsunterlagen, Verträge
- > im WSV-GeoViewer als Kartendienst zur gemeinsamen Nutzung mit anderen Diensten

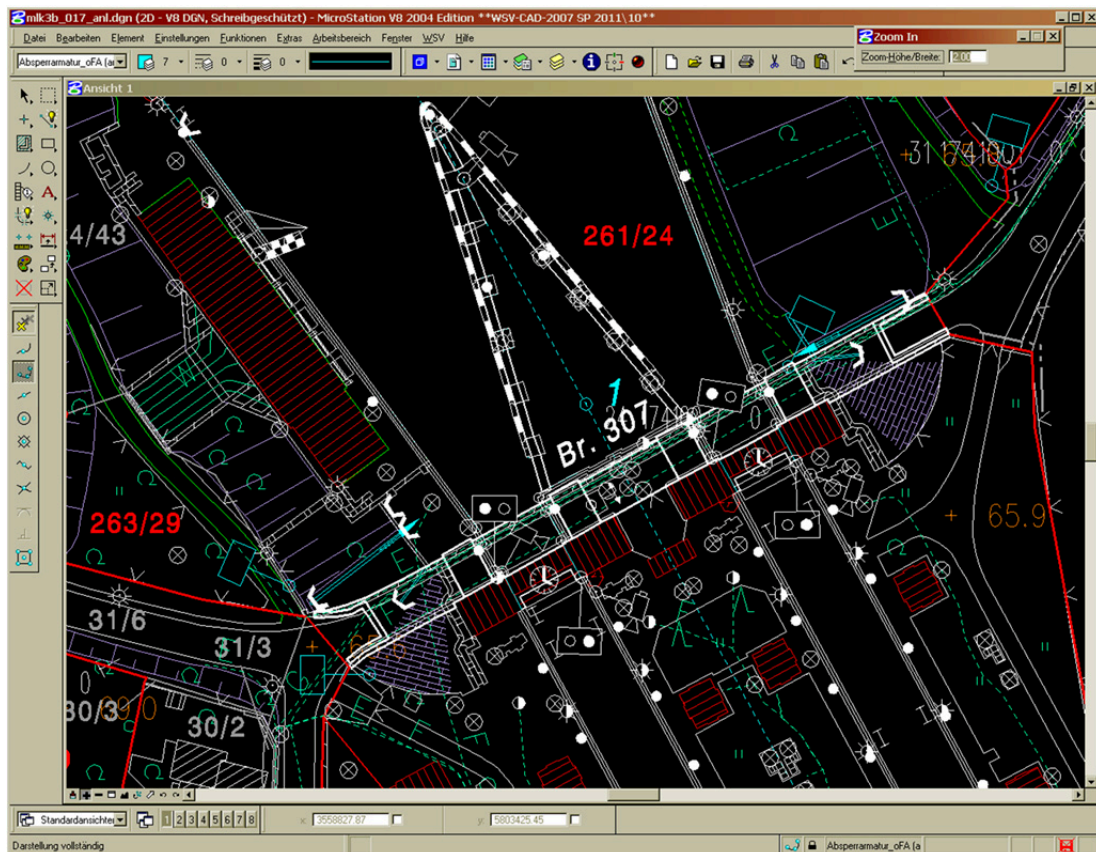


Abb. 1: Ausschnitt der DBWK2 der Schleuse Anderten

3.2 Inland Electronic Navigational Chart (IENC)

Die IENC unterstützt als Navigationskarte erheblich die Schiffsführung und ist für eine sinnvolle Nutzung der Positionsdarstellung anderer Schiffe über AIS (Automatisches Schiffsidentifizierungssystem) unerlässlich.

Der Steckbrief der IENC:

- > Navigationskarte für die Binnenschifffahrt
- > Informationsmodus: nur Kartensicht, ggf. autom. Kartenvorschub
- > Navigationsmodus: Überlagerung mit Radarbild, AIS (Automatic Identification System)

technisch:

- > Digitale GIS-Karte im weltweiten Inland-ECDIS-Standard
- > Ausgabe-000-Format / interner und externer WMS-Dienst

- > differenziertes GIS-Datenmodell, GIS-Objekte, Sachdaten, topologische Regeln
- > zunächst für Bundeswasserstraßen der Klasse $\geq 5a$, inzwischen erweitert
- > Vertrieb auch mit Ergänzungen durch externe Firmen in proprietären Formaten

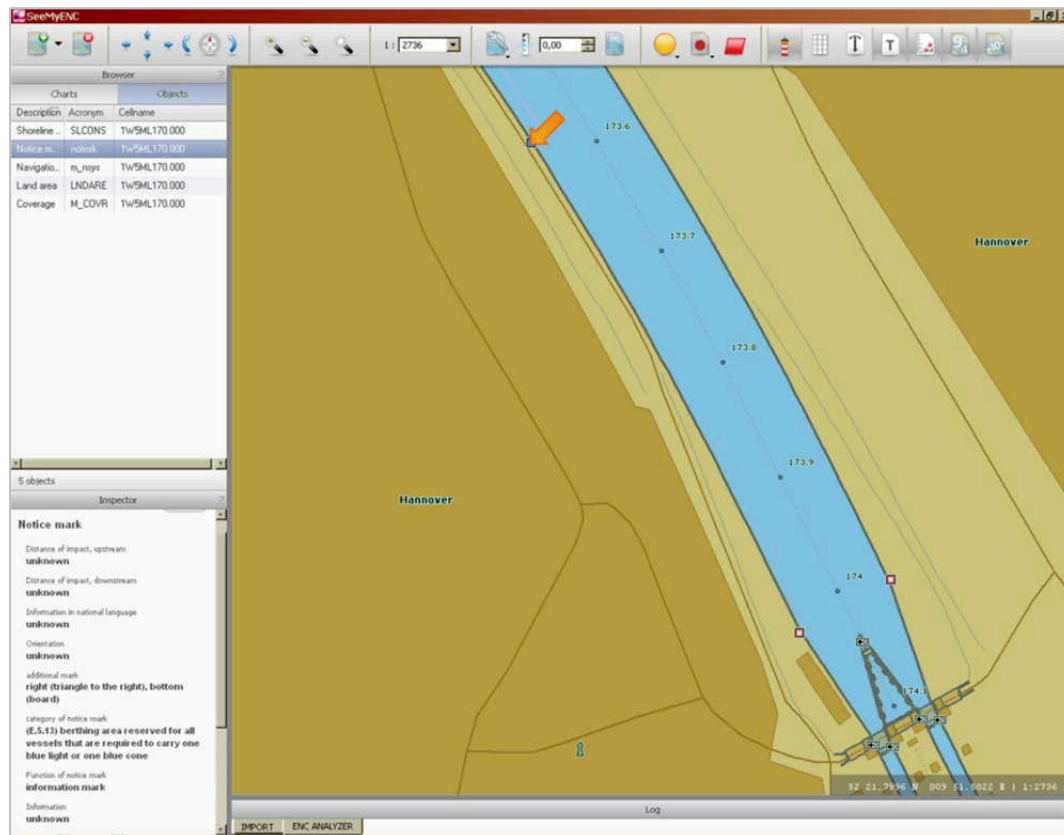


Abb. 2: Ausschnitt der IENC der Schleuse Anderten

3.3 Digitale Anlagekarte im Maßstab 1 : 500 (DAK)

Die DAK wird nur auf Anforderung punktuell erstellt und unterscheidet sich von der DBWK2 durch eine höhere geometrische Genauigkeit (Zielmaßstab 1 : 500), durch eine höhere Detailtiefe und durch ein etwas differenzierteres Datenmodell.

Der kurze Steckbrief der DAK:

- > Digitale CAD-Karte im Zielmaßstab 1 : 500
- > MicroStation dgn-Format
- > differenziertes Datenmodell, keine GIS-Objekte, keine Sachdaten
- > punktuell bei Großbauwerken

3.4 Weitere Kartenwerke und kartographische Produkte

Darüberhinaus werden weitere kartographische Produkte bereitgestellt, die je nach Anforderung laufend oder nur fallweise aktualisiert werden, Beispiele sind:

- > Digitale Bundeswasserstraßenkarte im Maßstab 1 : 1 000 000 (DBWK1000)
- > thematische (Übersichts-)Karten für die Leitungsebene, Öffentlichkeitsarbeit, fachliche Fragestellungen, Untersuchungen usw.
- > Orthophotos (meist als „Nebenprodukt“ der DBWK2-Neuherstellung)

3.5 Pflege der Hauptkartenwerke DBWK2 und IENC heute

Die DBWK2 wird nach einem Anfang der 1990er-Jahre entwickelten IT-Verfahren bundesweit einheitlich gepflegt. Die Datenhaltung erfolgt dateibasierend im Bentley-dgn-Format. Pflege und Nutzung erfolgen unter CAD mit den gleichen Werkzeugen. Die Bereitstellung der DBWK2 als WMS konnte erst durch eine aufwendige Entwicklung durch das DLZ-IT ermöglicht werden.

Bei der Einführung der IENC wurde kein eigenes IT-Verfahren ins Leben gerufen, eine einheitliche technische Lösung stand somit nicht zur Verfügung. Daher haben sich in der WSV verschiedene technische Lösungen für Aufbau und Pflege der IENC etabliert: Neben einer Lösung auf Grundlage des WSV- CAD-Standards MicroStation wird inzwischen meist eine Lösung auf Grundlage des WSV-GIS-Standards ArcGIS betrieben.

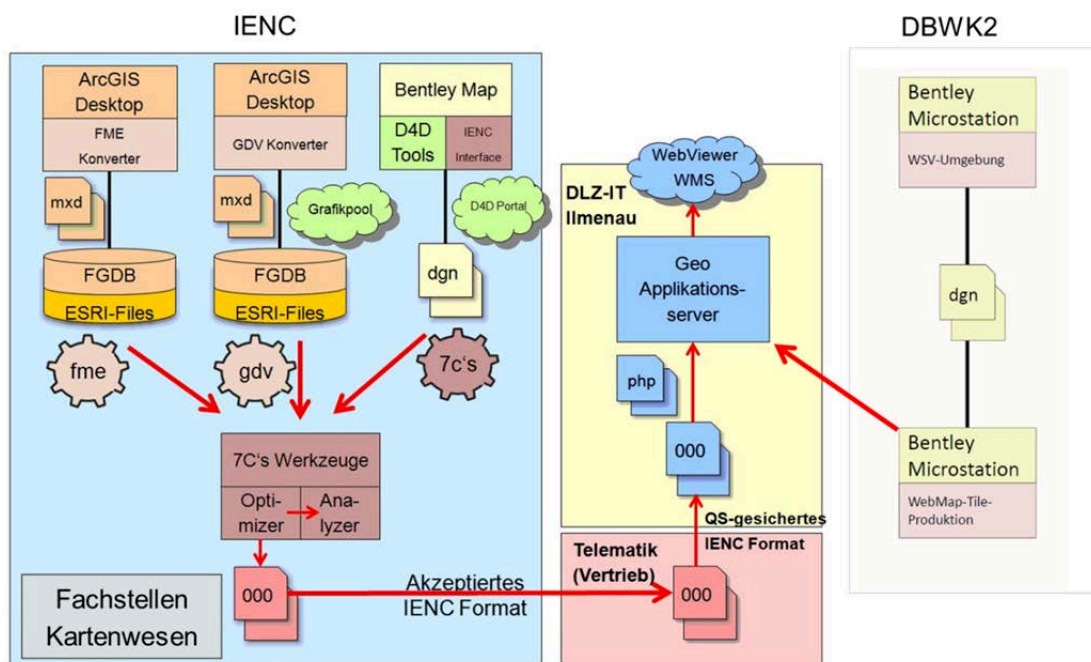


Abb. 3: Derzeitige Produktionswege für IENC und DBWK2 in der WSV

Oberer Vorhafen Schiffshebewerk Scharnebek (Elbe-Seitenkanal, bei Lüneburg)

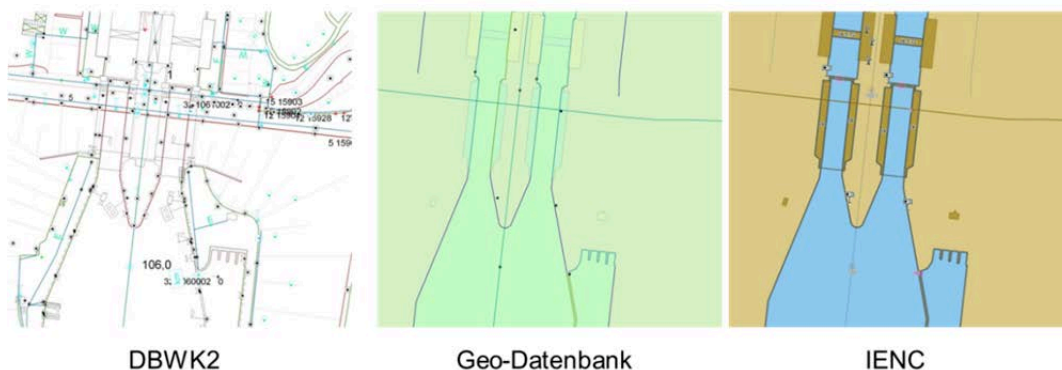


Abb. 4: Erstellung der IENC aus einer Geo-Datenbank unter Zugrundelegung unter anderem von Daten der DBWK 2

Bei der Erstellung der IENC wird auf geometrischer Grundlage der DBWK2 ein objektorientierter Geo-Datenbestand aufgebaut, der um IENC-spezifische Sachdaten und graphische Elemente ergänzt wird. Die Daten selbst werden bei der Lösung unter ArcGIS in einer Geo-Datenbank gehalten, aus der über Konverter die IENC-Dateien abgeleitet werden. Abbildung 4 veranschaulicht dies anhand eines Beispiels der Fachstelle VK Mitte.

3.6 Optimierungsbedarf

Schon vor mehreren Jahren wurde erkannt, dass die parallele Datenhaltung und der Produktionsprozess bei der DBWK2- und IENC-Pflege zu standardisieren und zu optimieren sind. Handlungsbedarf besteht hauptsächlich hinsichtlich folgender Aspekte:

- > Vereinheitlichung und Optimierung der Pflege und Herstellung der IENC in der WSV
- > Integration der Pflege und Herstellung der DBWK2
- > Datenhaltung für beide Produkte in einer standardisierten Geo-DB und damit Auflösung der bestehenden parallelen Datenbestände
- > erleichterte Bereitstellung dieser Geodaten mit OGC-konformen Datendiensten

Daneben führt die Tatsache, dass die DBWK2 nicht objektorientiert ist, immer häufiger zu Mehrarbeiten in WSV-Dienststellen, wenn GIS-Projekte aufgesetzt werden sollen.

4 Konzept für eine künftige Infrastruktur zur Herstellung der DBWK2 und IENC

4.1 Variantenuntersuchung

Der beschriebene Optimierungsbedarf hat das damalige BMVBS (heute BMVI) veranlasst, eine Analyse „Grobkonzept / Abschlussbericht mit Handlungsempfehlung“ für die IENC-Optimierung erstellen zu lassen. In dieser Analyse wurden verschiedene Lösungsvarianten erörtert. Als Kompromissvorschlag über verschiedene Varianten hinweg wurde eine Lösung in vier Schritten erarbeitet:

1. Schritt: Aufbau einer einheitlichen dezentralen Datenbasis, dezentrale Datenmigration
2. Schritt: Aufbau der zentralen Datenbasis und zentrale Datenmigration
3. Schritt: Zentralisierung der Clients unter CITRIX
4. Schritt: Vereinheitlichung der Clients

4.2 Konzepterstellung und Vorbereitung der Umsetzung

Auf dieser Grundlage wurde über die damalige WSD Mitte die Fachstelle VK Mitte beauftragt, Konzepte zu erstellen und die ersten Schritte zu veranlassen.

Die Bearbeitung dieses Auftrags erfolgt zur Zeit durch eine interdisziplinär besetzte Kleingruppe aus WSV-Mitarbeitern verschiedener Dienststellen, die über bestehende Rahmenverträge des DLZ-IT durch Dritte (TÜV-IT und codematix) beraten werden.

Schwerpunkt der Arbeiten ist zur Zeit die Modellierung der Datenbasis. Hierzu wurden die bestehenden Datenmodelle der DBWK und der IENC analysiert und es erfolgt eine Neumodellierung unter folgenden Rahmenbedingungen:

- > Produktion standardkonformer IENC
- > Produktion einer DBWK2 auch als CAD-Datenbestand
- > Bereitstellung objektorientierter Geodaten in für die verschiedenen WSV-Fachbereiche geeigneter Struktur (Bauwesen, Gewässerkunde, Umwelt ...)
- > Berücksichtigung weiterer Normen und Anforderungen (INSPIRE, ISO, OGC ...)

Dies ist jedoch nicht konfliktfrei lösbar. Die Anforderungen werden daher priorisiert abgearbeitet und Widersprüche durch Kompromisse aufgelöst.

Durch diese Vereinheitlichung wird sichergestellt, dass die Produkte in der erforderlichen Qualität hergestellt werden können, darüberhinaus ist der Datenbestand jedoch auch als Datengrundlage für weitergehende (GIS-)Anwendungen verschiedener Fachbereiche der WSV geeignet. Daneben werden die Forderungen nach einer Datenweitergabe im Rahmen von INSPIRE unter Einhaltung verschiedener Normen – soweit machbar – erfüllt.

4.3 Vorteile für das Kartenwesen der WSV in den nächsten Jahren

Als nächste Schritte in der Umsetzung des Vorhabens stehen an:

- > Modelldokumentation in UML
- > Qualitätssicherung mit dem WSV-Kartenwesen
- > Qualitätssicherung mit WSV-Nutzern
- > Festlegung von technischen Spezifikationen
- > Festlegung organisatorischer und verwaltungstechnischer Schritte
- > Fertigstellung des Fachkonzeptes
- > Beauftragung der Realisierung

Die ursprüngliche Analyse sah eine Realisierung der vier Schritte bis zum Jahr 2020 vor. Ob sich Beschleunigungsmöglichkeiten bei der Umsetzung ergeben, wenn die aufwendige Phase der Konzeption der Datenbasis erfolgreich gemeistert wurde, hängt stark davon ab, wie umfangreich das Fachpersonal für die Realisierung des Vorhabens zur Verfügung steht.

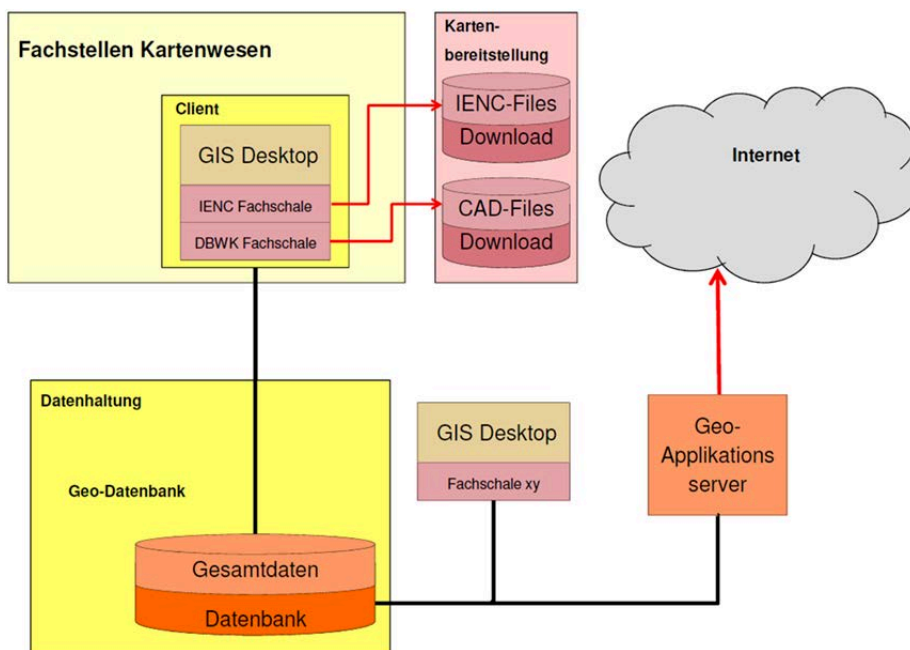


Abb. 5: Konzept für eine künftige technische Infrastruktur des Kartenwesens der WSV

Die in Abb. 5 visualisierte Infrastruktur der künftigen Bearbeitung und Produkterstellung im Kartenwesen der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung sichert die effiziente, qualitative Arbeit auch in Zukunft und bietet die Möglichkeit, die wertvollen Georeferenzdaten der WSV umfassender nutzbar zu machen.

Dies wird vor allem für GIS-Anwender, die einen durchgängig objektorientierten Datenbestand nutzen können, große Vorteile bringen. Auch die Datenbereitstellung und -nutzung über Dienste wird erheblich vereinfacht.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Die Fachstellen Vermessungs- und Kartenwesen der WSV liefern mit ihren Standard- und Sonderprodukten wesentliche Geodaten der Bundeswasserstraßen für die Verwaltung, die Schifffahrt, interessierte Dritte (Firmen, Kommunen ...) und den Bürger. Diese Daten werden zum großen Teil kostenfrei als „Open Data“ zur Verfügung gestellt.

Die Produkte werden bisher als eigenständige Datenbestände gepflegt und bereitgestellt. Mit dem vorgesehenen Übergang auf eine produktübergreifende Datenhaltung und -pflege sind starke qualitative Vorteile zu erwarten. Da dabei aktuelle Standards zugrundegelegt werden, lassen sich die Daten auch für andere Zwecke und Techniken erheblich flexibler nutzen als bisher.

Kontakt:

Michael Seifert

Generaldirektion Wasserstraßen und
Schifffahrt, Außenstelle Mitte

Am Waterlooplatz 5

30169 Hannover

Tel.: 0511/ 9115 4480

E-Mail:

michael.seifert@wsv.bund.de

1985-1990

Studium des Vermessungswesens an der Universität
Stuttgart

1990-1992

Wissenschaftlicher Mitarbeiter des Instituts für Pho-
togrammetrie der Universität Stuttgart

seit 1992

Mitarbeiter der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung
des Bundes

Aufgaben:

1992-1998 und seit 1999:

Fachaufsicht Vermessung / Liegenschaften für Neu-
bauvorhaben im Bereich Mitte

1999-2006:

Kooperative Gesamtprojektleitung WaGIS

1998-1999 und seit 2006:

Leitung der Fachstelle Vermessungs- und Karten-
wesen Mitte in Hannover

Mitglied in verschiedenen Arbeitsgruppen und im
Qualitätszirkel VKLP der WSV

Qualitätssicherung in der Vermessungsverwaltung

Michael Hovenbitzer

1 Einleitung

Seit vielen Jahren existieren die Prinzipien des Qualitätsmanagements und wurden beispielsweise schon 1987 durch die ISO-9000-Normenreihe eingeführt und international anerkannt. Qualitätsmanagement bezeichnet alle organisatorischen Maßnahmen, die der Verbesserung der Prozessqualität, der Leistungen und damit den Produkten dienen.

Ein Teilaspekt dieses Qualitätsmanagements ist die Qualitätssicherung eines Produktes hinsichtlich der definierten Eigenschaften. Durch die Beurteilung und die Angabe der Güte eines Produktes wird Vertrauen im Beziehungsgefüge Nutzer - Produzent (bzw. Lieferant) geschaffen. Dies kann auch zur Qualitätsverbesserung des Produktes führen, oder es werden Maßnahmen zur Steigerung der Effektivität und Effizienz bezüglich der Herstellungsprozesse eingeführt, die eine gleichbleibende Qualität des Produktes bei sinkenden Produktionskosten bewirken.

Auch in den Vermessungsverwaltungen wurde Qualitätssicherungskonzepte eingeführt. Zum Beispiel schreibt die Verwaltungsvereinbarung zwischen Bund und Ländern, die den Vertrieb der Daten durch das Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG) an Dritte regelt, zur Übernahme der Länderdaten die Anwendung der Norm DIN ISO 2859 vor. Weiterhin empfiehlt die Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland (AdV) den Einsatz eines normbasierten, kostengünstigen Verfahrens für die Qualitätskontrolle der Geodaten, welches durch eine Projektgruppe des Arbeitskreises Geotopographie entwickelt wurde.

2 Das AdV-Q5-Prüfmodell

Die Geobasisdaten, also die Produkte der Vermessungsverwaltungen, sind Ergebnisse eines Konzeptions- und Produktionsprozesses. Die Ermittlung und der Nachweis zuverlässiger Qualitätsangaben für die Geobasisdaten sind zwar mit einem nicht unerheblichen Aufwand für den Datenproduzenten verbunden, sind aber unverzichtbar, um ein belastbares Vertrauensverhältnis zwischen Nutzer und Produzent zu erreichen.

Die AdV hat für das AFIS-ALKIS-ATKIS-(AAA)Datenmodell ein Qualitätssicherungsmodell (QS-Modell) entwickelt, das alle QS-Belange von den strategisch-fachlichen Vorgaben bis hin zum Datenaustausch mit dem Nutzer über eine normbasierte Austauschschnittstelle (NAS) berücksichtigt (siehe Abb. 1) (JÄGER & RAUSCH 2008).

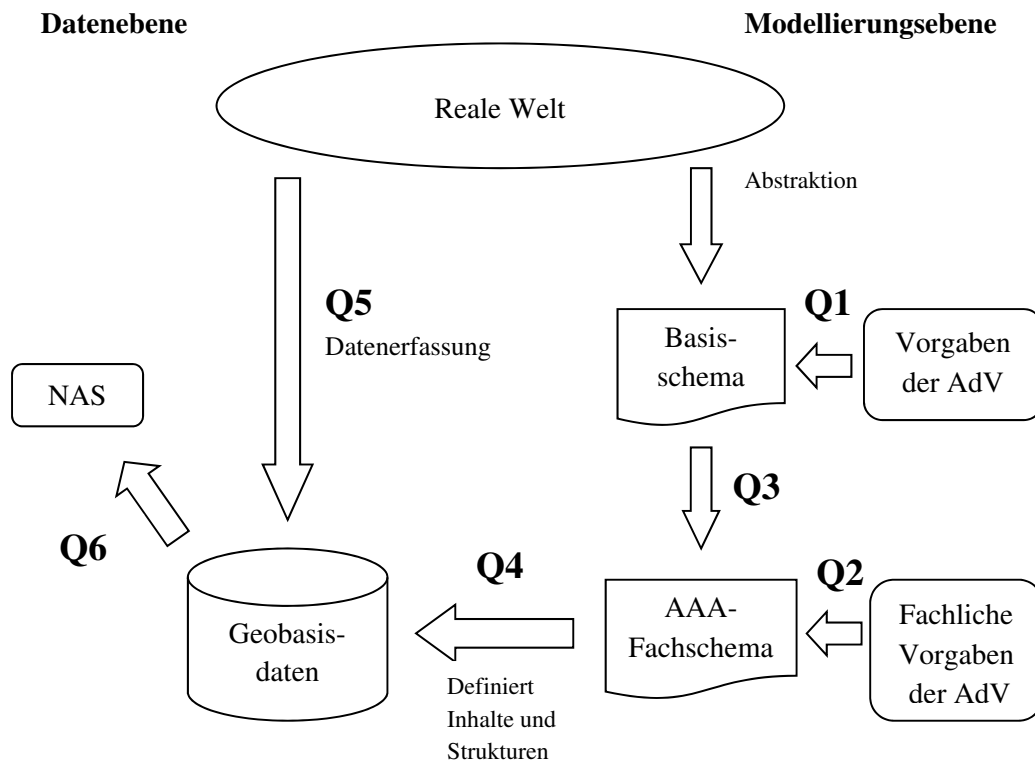


Abb. 1: Qualitätssicherungsmodell der AdV

Folgende Qualitätssicherungsaspekte bilden das QS-Modell der AdV:

- Q1** prüft das Basisschema gegenüber den strategisch-fachlichen Vorgaben der AdV.
- Q2** misst das Anwendungsschema an den fachlichen Vorgaben der AdV.
- Q3** stellt fest, ob das Anwendungsschema den Regeln des Basisschemas entspricht.
- Q4** prüft den Geodatenbestand intern als Produkt auf logische Übereinstimmung mit dem Anwendungsschema und auf Einhaltung der dort niedergelegten Qualitätsangaben.
- Q5** vergleicht den Geodatenbestand extern mit der realen Welt.
- Q6** betrifft die Qualität der Schnittstellenbeziehung zum Nutzer.

Beim AdV-Q5-Prüfmodell handelt es sich um ein objektbasiertes Prüfschema mit einer flächenhaften Komponente. Es baut auf der Normenserie ISO 19100 auf und verweist auf die DIN ISO 2859, wenn es um die Auswahl eines statistischen Stichprobenverfahrens geht.

Der Verfahrensablauf gliedert sich auf folgende Weise:

- > Jede Objektart (z. B. des Basis-DLM) wird getrennt untersucht.
- > Entsprechend der in der ISO 2859 festgelegten Stichprobengröße wird die Hälfte der notwendigen Anzahl von Objekten zufällig ausgewählt und untersucht.
- > Für jedes der ausgewählten Objekte wird der nächste Nachbar bestimmt und untersucht. Damit entspricht die Zahl der untersuchten Objekte der vorgegebenen Stichprobengröße, d. h. die statistischen Voraussetzungen der ISO 2859 sind erfüllt.

- > Es wird das Gebiet zwischen jedem zufälligen Objekt aus der ersten Hälfte der Stichprobe und seinem Nachbarn in einem Referenzdatensatz untersucht, um die Vollständigkeit zu prüfen.
- > Findet sich ein Objekt derselben Objektart in dem Suchgebiet, so wird dies als Fehler gewertet.

Vorteile des Q5-Prüfmodells:

- > Das Verfahren ist ISO-basiert.
- > Die Prüfung kann auf ausgewählte (wichtige) Objektarten beschränkt werden.
- > Bei Bedarf kann die Untersuchung auf weitere Objektarten erweitert werden, d. h. das Verfahren ist skalierbar.
- > Die Kosten für eine Qualitätsuntersuchung sind abschätzbar.
- > Man erhält eine Aussage zur Vollständigkeit.

3 Qualitätssicherung am Beispiel des LBM-DE

Das digitale Landbedeckungsmodell für Deutschland (LBM-DE) enthält flächenhafte Informationen zur Landbedeckung und Landnutzung im Sinne der europäischen Nomenklatur von CORINE Land Cover (CLC). Der Datenbestand des LBM-DE basiert auf flächenhaften Objektarten des Basis-DLM aus den Bereichen Siedlung, Verkehr, Vegetation und Gewässer. Aktualisiert wurden die Objekte mittels Satellitenbildern der Jahre 2011 und 2012. Ein Qualitätssicherungskonzept wurde notwendig, da die Aktualisierung durch einen Auftragnehmer durchgeführt wurde und die Güte der Aktualisierung vor der Abnahme der Ergebnisse zu prüfen war.

Aus wirtschaftlichen Gründen wurde ein Prüfverfahren angewandt, welches sich an das AdV-Q5-Prüfmodell anlehnt. Das eingesetzte Verfahren verzichtet allerdings auf die interaktive Suche nach fehlenden Objekten. Es wird die volle Anzahl an Stichproben per Zufall ausgewählt und manuell überprüft (siehe Abb. 2). Die Vollständigkeit wird über einen automatischen Ansatz flächenhaft kontrolliert. Hierbei wird mittels der Bildklassifizierung (auf Basis von automatisch erzeugten Trainingsgebieten) in jeder Satellitenbildkachel nach wahrscheinlichen Falschklassifizierungen gesucht.

Vorteile der LBM-DE-Qualitätssicherung:

- > Das Verfahren ist normbasiert und grundsätzlich von der AdV entwickelt und empfohlen.
- > Die Kosten für eine Qualitätsuntersuchung sind abschätzbar. Das Verfahren ist weiterhin skalierbar.
- > Es können massenhafte Daten durch eine „relativ geringe“ Stichprobenanzahl überprüft werden.

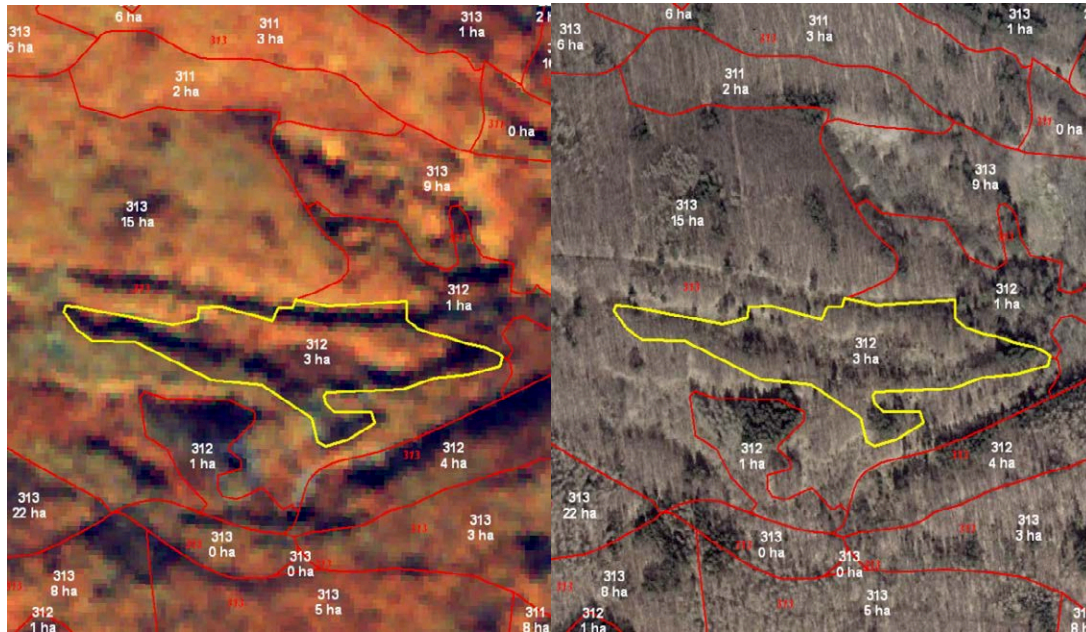


Abb. 2: Fehlinterpretation durch Geländeneigung und Schattenwurf: Dunkle Farbbereiche, hervorgerufen durch Geländeneigung und Schattenwurf höherer Bäume in der RapidEye-Aufnahme (links) täuschen das Vorhandensein von Nadelwald vor. Das Orthophoto (Winteraufnahme) zeigt fast ausschließlich Laubwald.

4 Zusammenfassung und Ausblick

Mit dem vorgestellten Qualitätssicherungsverfahren ist es möglich, Geodaten normbasiert und kostengünstig zu überprüfen. Dieser Nachweis der Qualität der Geodaten wird durch den Nutzer gefordert und schafft Vertrauen zwischen Nutzern und Produzenten bzw. Lieferanten.

Allerdings sind diese Prüfungen aufwendig, und stellenweise ist es schwierig, geeignete und unabhängige Referenzdaten zur Prüfung zu beschaffen, die nicht bereits im Herstellungsprozess verwendet wurden. Weiterhin sind manuelle Verfahren sehr zeit- und kostenintensiv. Hier besteht Entwicklungsbedarf, so dass automatische bzw. teilautomatisierte Prozesse stärker als bisher zur Qualitätssicherung genutzt werden können.

Literatur

JÄGER, E., S. RAUSCH (2008): Qualitätssicherung des ATKIS-Basis-DLM durch Q5, Nachrichten der Niedersächsischen Vermessungs- und Katasterverwaltung, NaVKV 2/2008, S. 9ff.



Kontakt:

Dr. Ing. Michael Hovenbitzer

Bundesamt für Kartographie
und Geodäsie

Richard-Strauss-Allee 11

60598 Frankfurt am Main

Tel.: 069/ 6333 440

Fax: 069/ 6333 441

E-Mail:

Michael.Hovenbitzer@bkg.bund.de

1989-1996

Studium des Vermessungswesen bzw. der Geodäsie
an der Fachhochschule Mainz und der Universität
Darmstadt

1996-2001

Wissenschaftlicher Mitarbeiter der Universität
Darmstadt (Geodätisches Institut)

2001

Promotion mit dem Thema „3D-Objekterfassung
im Nahbereich“

seit 2001

beschäftigt beim Bundesamt für Kartographie und
Geodäsie, seit 2010 Referatsleiter „Fernerkundung
und Entwicklung“

Interessensgebiete:

Fernerkundung, Copernicus-Projekt,
Landbedeckung/Landnutzung, Höhenmodelle

Potenziale des nationalen Copernicus-Programms

Alexandra Mause

1 Das Copernicus-Programm der EU

1.1 Politische Ziele von Copernicus

Das europäische Erdbeobachtungsprogramm Copernicus wurde 1998, zunächst unter dem Namen GMES (= Global Monitoring for Environment and Security), von der Europäischen Kommission (EU) in Zusammenarbeit mit der Europäischen Weltraumorganisation (ESA) gegründet.

Ziel des Programmes ist die Entwicklung eines gemeinsamen europäischen Informationssystems zur Erdbeobachtung, die Schaffung eines unabhängigen Zugangs zu globalen Informationen und Technologie, die Entwicklung eines europäischen Marktes für Erdbeobachtungsdienstleistungen sowie die Etablierung einer starken Rolle der EU in der Raumfahrt.

Aus deutscher Sicht sollen mit dem Programm folgende politische Ziele erreicht werden: Verwaltung, Wirtschaft, Wissenschaft und Gesellschaft in Deutschland sollen von Copernicus auf verschiedenen Wegen profitieren. Durch die Daten und Dienste aus dem Copernicus-Programm soll eine verbesserte öffentliche Dienstleistung erreicht werden, die generierten Daten sollen dabei eine breitere Informationsbasis für politische Entscheidungen bieten. Der europäische Geoinformationsmarkt soll gestärkt werden.

1.2 Status des Copernicus-Programms

Das Copernicus-Programm der EU stützt sich auf die Weltraumkomponente und In-situ-Komponente, die **Daten** und thematische aggregierte Grundlagendienste (**Kerndienste**) liefern und den unterschiedlichsten Nutzergruppen zur Verfügung stellen werden.

Auf Ebene der Datengewinnung ist 2014 mit dem erfolgreichen Start des ersten Copernicus-Satelliten des Programms, dem Sentinel-1A, ein wichtiger Meilenstein erreicht worden.

Die Daten der Weltraumkomponente werden in sechs thematischen Copernicus-Diensten mit Daten aus der In-situ-Komponente verknüpft. Als In-situ-Daten werden Daten bezeichnet, die erdnah erhoben werden. Dies können vielfältige Sensordaten sein, z. B. Temperaturmessungen, Messungen der Meeresspiegelhöhe oder andere Geodaten.

Im Rahmen der Verordnung zur Datenpolitik (Delegierte Verordnung (EU) Nr. 1159/2013), die im November 2013 erlassen wurde, ist festgelegt, dass allen Kunden grundsätzlich kostenlose Nutzung und offener Zugang zu allen Copernicus-Daten gewährt wird. In der Copernicus-Verordnung von April 2014 (Verordnung (EU) Nr. 377/2014) ist für die Entwicklung von europaweiten Diensten und Strukturen ein Budget von 4,3 Mrd € bis 2020 festgelegt.

1.3 Copernicus-Dienste

Im Rahmen des Copernicus-Programms sind drei Dienste zur Erdbeobachtung (Landüberwachung, Überwachung der Meeresumwelt und Überwachung der Atmosphäre) und drei thematische Dienste (Katastrophen- und Krisenmanagement, Sicherheit und Überwachung des Klimawandels) vorgesehen. Die Dienste „Überwachung des Klimawandels“ und „Sicherheit“ befinden sich noch in der Entwicklungsphase. Die Services „Überwachung der Atmosphäre“ und „Überwachung der Meeresumwelt“ werden bald operationell zur Verfügung stehen. Die Dienste „Landüberwachung“ und Katastrophen- und Krisenmanagement“ werden bereits operationell eingesetzt. Die bereits bestehenden Kerndienste basieren auf Daten von sogenannten „beitragenden“ Missionen der ESA, den Mitgliedsstaaten, Eumetsat und anderen europäischen und internationalen Missionen und bereits verfügbaren In-situ-Daten.

1.4 Weltraumkomponente

Die Weltraumkomponente des Copernicus-Programms besteht aus eigenen Satelliten. Verantwortlich für die Koordination des Aufbaus der Weltraumkomponente ist die ESA, die entsprechenden Aufgaben sind im ESA-Programm „GMS Space Component“ (GSC) festgelegt.

Die Weltraumkomponente besteht aus insgesamt sechs Satelliten-Familien, den sogenannten Sentinels:

- > Die Sentinel-1-Familie besteht aus 2 Radar-Satelliten. Sentinel 1-A wurde in 2014 gestartet, Sentinel 1-B soll planmäßig im Oktober 2015 gestartet werden. Es handelt sich hierbei um Radarsatelliten mit einer Bodenauflösung von 5 m, die für die Beobachtung von Land und Ozean, sowie zur Eiskartierung eingesetzt werden sollen.
- > Die Sentinel-2-Familie besteht ebenfalls aus 2 Satelliten. Der Start von Sentinel 2-A ist für März 2015 geplant, der Start von Sentinel 2-B für März 2016. Es handelt sich hierbei um Satelliten mit multispektralen optischen Sensoren, die für die Beobachtung von Landbedeckung und -nutzung eingesetzt werden sollen.
- > Sentinel 3-A soll im April 2015 gestartet werden. Er enthält Sensoren zur Meeresbeobachtung, insbesondere um Farbe, Temperatur und Höhe zu messen. Die Sensoren werden eine Bodenauflösung von 300 m, 500 m, 1000 m haben. Sentinel 3-B wird in 2016 starten.
- > Sentinel-4 und -5 werden Atmosphärensensoren (Messung von Ozonwerten, Luftqualität, Treibhausgase) enthalten und sich in einem geostationärem-polarem Orbit bewegen. Der Start der entsprechenden Sentinels (4-A, 4-B, 5-A, 5-B) ist zwischen 2020 und 2027 geplant. In 2015 ist zusätzlich der Start des Sentinel-5 precursor geplant.
- > Sentinel 6 soll in 2020 starten und zur Messung der Meereshöhe, von Meeresströmungen, zur Messung von Eismächtigkeiten, sowie der Vegetationshöhe eingesetzt werden.

1.5 Zugang zu Copernicus-Daten und -Diensten

Der Zugang zu Daten der Sentinel-Missionen ist über die ESA-Website möglich (<https://scihub.esa.int/>). Derzeit sind hier die Daten des Sentinels 1-A verfügbar, die Daten weiterer Missionen werden nach dem Start der Satelliten ergänzt. Daten der beitragenden Missionen (Contributing Missions) sind unter <http://gmesdata.esa.int> zugänglich.

Ein Zugang zu den sechs thematischen Diensten ist über die Webseiten www.copernicus.eu oder www.d-copernicus.de möglich, hier finden sich auch weitere, ausführliche Informationen zu den Diensten.

2 Nationales Copernicus-Maßnahmenprogramm

Das nationale Maßnahmenprogramm Copernicus wurde aufgrund der Erkenntnisse des nationalen Nutzerforums GMES (heute „Nationales Forum für Copernicus und Fernerkundung“) im Oktober 2010 vom BMVI entwickelt und vom Interministeriellen Ausschuss für Geoinformationswesen (IMAGI) 2011 beschlossen.

Ziel des Maßnahmenprogrammes ist es, Potenziale von Copernicus für verbesserte öffentliche Dienstleistungen systematisch zu verwirklichen und die Behörden dabei zu unterstützen, ihre Dienstleistungen durch den Einsatz von Daten und Diensten des Copernicus-Programms zu verbessern. Für die Umsetzung dieses Zieles wurden vier Handlungsfelder identifiziert:

- (1) Informieren; (2) Abstimmen und Vernetzen; (3) Befähigen und Begleiten;
- (4) Bereitstellen.

Ziel des Handlungsfeldes 1 „Informieren“ ist die Information nationaler Nutzer über Copernicus und dessen fortschreitende Entwicklung. Als Maßnahmen werden ein regelmäßiges nationales Copernicus Forum etwa 1,5 jährig durchgeführt, um über den Fortschritt von Copernicus zu informieren und ausgewählte Projekte zum Einsatz von Copernicus-Daten vorzustellen. Daneben werden unterschiedliche Fachworkshops veranstaltet, umfangreiche Informationen per Website (www.d-copernicus.de) und in Informationsmaterialien veröffentlicht.

Ziel des Handlungsfeldes 2 „Abstimmen und Vernetzen“ ist die Abstimmung und Vernetzung von Fachexperten und Nutzern innerhalb Deutschlands. Hierfür hat der IMAGI nationale Fachkoordinatoren aus verschiedenen Bundesbehörden benannt, welche die Entwicklung der Dienste fachlich begleiten und die Bundesregierung beraten. Darüber hinaus informieren sie die Nutzer in Deutschland (z. B. über Bund/Länder-Gremien) und stimmen mit diesen fachliche Anforderungen an die Entwicklung der Dienste ab. Sie vertreten Deutschland im europäischen Copernicus-User-Forum.

Die Kontaktdaten der Fachkoordinatoren sind zu finden unter:

<http://www.d-copernicus.de/nationale-fachkoordinatoren-fuer-copernicus>

Ziel des Handlungsfeldes 3 „Befähigen und Begleiten“ ist es, Nutzer in Deutschland bei der Einbeziehung von Copernicus-Daten und -Diensten in ihrer Arbeit zu unterstützen. Die Integration neuer Dienste in bestehende Arbeitsabläufe in den Behörden soll durch die Förderung technischer Implementierungs- und Validierungsvorhaben durch »best practice« Beispiele unterstützt werden. Die Durchführung von Demonstrationsprojekten in Behörden wird von mehreren Ressorts (u. a. BMWi, BMVI) gefördert.

Ziel des Handlungsfeldes 4 „Bereitstellen“ ist es, den nationalen Nutzern einen einfachen Zugang zu den Copernicus-Diensten und -Produkten bereitzustellen.

3 Copernicus-Integrationsmaßnahmen des BMVI

Im nationalen Maßnahmenprogramm sind Maßnahmen verschiedener Ressorts identifiziert worden. Spezifischer Beitrag des BMVI zu diesem Maßnahmenprogramm sind die „Integrationsmaßnahmen des BMVI“. Hauptziel dieser Maßnahmen ist es, eine möglichst breite, nachhaltige Nutzung von Copernicus in Deutschland für Verwaltung, Wirtschaft und Wissenschaft zu erreichen. Hierfür fördert das BMVI mit einem Finanzvolumen von 12 Mio. Euro in den Jahren 2013-2020 gezielt Maßnahmen an der Schwelle zur Operabilität. Das Programm umfasst drei Förderbereiche: (1) Unterstützung der Fachkoordinatoren, (2) technische Implementierungs- und Validierungsvorhaben sowie (3) den Aufbau einer nationalen Copernicus-IT-Infrastruktur. Für die Umsetzung des Programms fungiert das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. Raumfahrtmanagement (DLR-RFM) als Projektträger.

Förderbereich (3) deckt das Handlungsfeld „Bereitstellen“ des nationalen Maßnahmenprogramms ab. Die Daten des Copernicus-Programms werden zwar bereits über die Datenzugänge der ESA nutzergruppenorientiert verfügbar gemacht, allerdings ist das Zugangsverfahren kompliziert. Hinzu kommt, dass ältere Datenbestände zwar archiviert, aber nicht im Direktzugriff für Nutzer gehalten werden. Ein weiterer Punkt, der die Nutzung von Daten über den Datenzugang der ESA erschwert, ist die Tatsache, dass dort für den Nutzer keine Verarbeitungskapazitäten zur Verfügung stehen, um die großen Datenmengen vor dem Download zu bearbeiten. Um insbesondere den deutschen Nutzern einen optimierten Zugang zu den Copernicus-Daten zu ermöglichen, wird daher eine nationale IT-Plattform als zentrale Daten- und Verarbeitungsplattform für Copernicus-Daten und -Dienste entwickelt.

Das Konzept der nationalen Copernicus-Plattform sieht vier Komponenten vor: (1) einen Datenzugang (Suche, Darstellung, Download) zu allen Sentinel-Daten und Daten der beitragenden Missionen sowie Schnittstellen zur GDI-DE; (2) eine Verarbeitungsplattform, um Daten verarbeiten und Dienste entwickeln zu können, (3) als erweitertes Portfolio vorverarbeitete Produkte sowie (4) eine Monitoring-Komponente, um für Weiterentwicklungen die tatsächliche Nutzung auf der Plattform zu beobachten. Die IT-Plattform wird in 2015 entwickelt und bis 2018 in einem Pilotbetrieb getestet. In der Pilotphase wird ein langfristiges Betreiber- und Finanzierungsmodell für die Plattform für den Langfristbetrieb ab 2018 entwickelt.

4 Zusammenfassung und Ausblick

Daten und Dienste des Copernicus-Programms werden in den kommenden Jahren vielfältige Potenziale für Verwaltung, Wirtschaft und Wissenschaft und andere Gesellschaftsgruppen bieten. Im Bereich der Behörden werden viele Geschäftsprozesse durch den Einsatz dieser Daten und Dienste optimiert werden können. Die gesamte Bandbreite der Nutzungsmöglichkeiten ist derzeit bei Weitem noch nicht erkennbar. Um entsprechende Potenziale zu entdecken, bestehen schon heute Möglichkeiten der Vernetzung und des fachlichen Austausches mit den benannten Fachkoordinatoren sowie der Geo-Koordinierungsstelle im BMVI (geo-k@bmvi.bund.de). Durch die bestehenden Fördermöglichkeiten können konkrete Entwicklung von Pilotverfahren, die auf Copernicus-Daten aufsetzen, unterstützt werden. Die ab 2015/16 mögliche Nutzung und Verarbeitung von Copernicus-Daten und -Diensten über die IT-Plattform werden weitere Anwendungsmöglichkeiten erschließen.



Kontakt:

Alexandra Mause

Bundesministerium für Verkehr
und digitale Infrastruktur
-Geokoordinierungsstelle-
Robert-Schuman-Platz 1
53175 Bonn
Tel.: 0228/ 99 300 6631
Fax: 0228/ 99 300 4599
E-Mail:
alexandra.mause@bmvi.bund.de

1993-2001

Studium der Geologie und Paläontologie an der Technischen Universität Clausthal

2001-2004

Projektleiterin im Hessischen Landesvermessungsamt

2004

Referentin im Hessischen Ministerium für Wirtschaft, Verkehr und Landesentwicklung

2005-2006

Projektleiterin im Hessischen Landesamt für Bodenmanagement und Geoinformation
und

Referentin in der Geschäfts- und Koordinierungsstelle der Geodateninfrastruktur in Deutschland (GDI-DE) im Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG)

2006-2014

Referatsleiterin im Eisenbahn-Bundesamt

seit 2014

Referentin im Bundesministerium für Verkehr und Digitale Infrastruktur

In der Reihe BfG-Veranstaltungen sind bisher u. a. erschienen:

- 1/2009 Wasserstandsinformationsdienste der BfG für die Bundeswasserstraßen
- 2/2009 Sediment Contact Tests. Reference conditions, control sediments, toxicity thresholds
- 3/2009 Sedimentologische Prozesse – Analyse, Beschreibung, Modellierung
- 4/2009 Ingenieurvermessung im Bauwesen der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung
- 5/2009 Verfahren der ökotoxikologischen (Risiko-) Bewertung in der Umweltsicherung
- 6/2009 Softwarelösungen für ein integriertes Hochwassermanagement
- 7/2009 Aspekte des Schadstoffmonitorings an Schwebstoffen und Sedimenten in der aquatischen Umwelt

- 1/2010 Flusssysteme in Raum und Zeit
- 2/2010 Berücksichtigung verkehrs- und bautechnischer Emissionen und Immissionen in Umweltverträglichkeitsprüfungen
- 3/2010 Pathogene Vibrionen in der marinen Umwelt
- 4/2010 Riskobewertung stofflicher Belastungen
- 5/2010 Screeningverfahren zur Erfassung endokriner Wirkungen in der aquatischen Umwelt

- 1/2011 Erfassung und Bewertung des hydromorphologischen Zustands in Wasserstraßen
- 2/2011 Umweltauswirkungen von Wasserinjektionsbaggerungen
- 3/2011 Zeitgemäße Erfassung und Bereitstellung von Geobasisdaten für die WSV
- 4/2011 EurAqua Symposium Impact of climate change on water resources – 200 years hydrology in Europe – a European perspective in a changing world
- 5/2011 Schadstoffdynamik in Flussgebieten – Ursachen, Wirkungen und Konsequenzen stofflicher Veränderungen in Raum und Zeit

- 1/2012 Partikuläre Stoffströme in Flusseinzugsgebieten
- 2/2012 Überregionale Wasserbewirtschaftung – Entwicklung und Einsatz eines Informationssystems und verschiedener Modelle
- 3/2012 Dynamik des Sedimenthaushaltes von Wasserstraßen
- 4/2012 Pathogenic *Vibrio* spp. in Northern European Waters
- 5/2012 Baumaterialien und Oberflächengewässer
- 6/2012 Hydro-ökologische Modellierungen und ihre Anwendungen
- 7/2012 Monitoring, Funktionskontrollen und Qualitätssicherung an Fischaufstiegsanlagen. 2. Kolloquium zur Herstellung der ökologischen Durchgängigkeit der Bundeswasserstraßen

- 1/2013 Wissen was war ... – Rückblick auf hydrologische Extreme
- 2/2013 Die Bundeswasserstraßen im Blickfeld ökologischer Zielsetzungen gemäß WRRL – Erreichtes und Erreichbares
- 3/2013 Geomorphologische Prozesse unserer Flussgebiete
- 4/2013 FLYS goes WEB: Eröffnung eines neuen hydrologischen Fachdienstes in der BfG
- 5/2013 Neue Entwicklungen in der Gewässervermessung
- 6/2013 Die Zukunft des Wasserhaushaltes im Elbeinzugsgebiet / Budoucnost vod-ního režimu v povodí Labe
- 7/2013 Bioakkumulation in aquatischen Systemen: Methoden, Monitoring, Bewertung
- 8/2013 Geodätische Arbeiten für Bundeswasserstraßen

- 1/2014 Artenschutz in der Praxis – Erfahrungen mit Ersatzquartieren und der Umsiedlung von streng geschützten Arten
- 2/2014 Ästuare und Küstengewässer der Nordsee
- 3/2014 Schadstoffe in Bundeswasserstraßen – Nutzergerechte Verfügbarkeit von Informationen

- 1/2015 Forschung und Entwicklung zur Qualitätssicherung von Maßnahmen an Bundeswasserstraßen. 4. Kolloquium zur Herstellung der ökologischen Durchgängigkeit der Bundeswasserstraßen

