

3/2011

Veranstaltungen

Zeitgemäße Erfassung und Bereitstellung
von Geobasisdaten für die WSV

Kolloquium am 6./7. April 2011 in Koblenz

Koblenz, Juli 2011



Bundesministerium
für Verkehr, Bau
und Stadtentwicklung

Impressum

Herausgeber: Bundesanstalt für Gewässerkunde
Am Mainzer Tor 1
Postfach 20 02 53
56002 Koblenz
Tel.: (0261) 1306-0
Fax: (0261) 1306 5302
e-mail: posteingang@bafg.de
Internet: <http://www.bafg.de>

Druck: Druckerei Fuck, Koblenz

ISSN 1866 – 220X

Inhaltsverzeichnis

Zeitgemäße Erfassung und Bereitstellung von Geobasisdaten für die WSV	4
Zeitgemäße Erfassung und Bereitstellung von Geobasisdaten für die WSV – eine Standortbestimmung	
Herbert Brockmann	5
Umfassende homogene Aktualisierung der Geobasisdaten am Niederrhein	
Sebastian Messing	16
Fachliche Umsetzung des Projektes „DGM-W Niederrhein“	
Andreas Haase.....	27
Großräumige flächenhafte Sohlaufnahmen – „DGM-S Niederrhein“	
Eine Analyse von Konzept, Ausführung, Qualitätssicherungsmethoden und Ergebnissen	
Harry Wirth und Thomas Brüggemann.....	37
DGM-W-Modellierung unter Einbeziehung erfasster Buhnen und Buhnenfelder	
Reinhard Prinz.....	48
Geobasisdatenbereitstellung für die Fahrrinnenanpassung der Unter- und Außenelbe	
Martin Leuzinger und Marcus J. Boehlich.....	58
Aspekte der DGM-W-Modellierung in tidebeeinflussten Gebieten	
Frank Sellerhoff	70
Möglichkeiten der satellitengestützten synoptischen Erfassung topografischer Daten im Küstenbereich	
Uwe Sörgel, Karsten Jacobsen, Peter Lohmann und Alena Schmidt.....	82
Eine praktikable und genaue Methode zur Bestimmung von Wasser-Land-Grenzen aus Laser-Scanner-Daten	
Peter Dorninger	93
Adaption von Verfahren der Geometrieanalyse aus industriellen Anwendungen auf das Problem der Bestimmung von 3D-Wasser-Land-Grenzen	
André Stork und Matthias Bein.....	101
Aktuelles Leistungsvermögen flugzeuggestützter digitaler Kamerasysteme	
Sven Baltrusch	110
Potenziale des Full-Waveform-Laserscanning zur Erfassung von Flussvorlandrauheiten	
Boris Jutzi	118
Neue Sensoren, neue Methoden – neue Wege der Fernerkundung in der Vegetationskunde	
Maike Heuner und Uwe Schröder.....	125
Infrastruktur eines modernen Kartenwesens in der WSV	
Andreas Miggelt.....	135
Abkürzungen	145

Zeitgemäße Erfassung und Bereitstellung von Geobasisdaten für die WSV

Aktuelle und homogene Geobasisdaten sind eine wesentliche Voraussetzung zur Bearbeitung gewässerkundlicher, ökologischer und wasserbaulicher Aufgabenstellungen. Dies gilt erst recht für angeforderte Daten im großmaßstäbigen Bereich. Exemplarische Nutzungen sind die Aktualisierung von Bestandsdaten, die hydrodynamische Modellierung und die Erfassung ökologischer oder morphologischer Veränderungen im Rahmen der Beweissicherung. Entsprechende Produkte sind u. a. Digitale Geländemodelle der Wasserläufe, digitale mehrkanalige Orthofotos, Digitale Bundeswasserstraßenkarten, Rekonstruktionen von Buhnen und Parallelwerken.

In der Veranstaltung wurden aktuelle Projekte unter den Blickwinkeln:

- > Realisierung
- > wirtschaftliche Herangehensweise
- > neue erfassungs- und auswertungstechnische Möglichkeiten
- > Datennutzung

vorge stellt.

Darüber hinaus wurden neue Entwicklungen zur anforderungsgerechten und wirtschaftlichen Erfassung und Bereitstellung von Geobasisdaten aufgezeigt.

Die Veranstaltung richtete sich an alle Nutzer und Produzenten von Geobasisdaten.

Zeitgemäße Erfassung und Bereitstellung von Geobasisdaten für die WSV – eine Standortbestimmung

Herbert Brockmann

1 Einleitung

Unter dem Begriff Geobasisdaten werden anwendungsneutrale Geodaten zur Beschreibung der Landschaft (Topografie) mit einheitlichem geodätischem Raumbezug subsumiert. Am gebräuchlichsten sind die geotopografischen Basisdaten wie z. B. topografische Karten, Digitale Geländemodelle, Orthofotos oder Verkehrsnetze. Sie sind Grundlage für vielfältige raumbezogene Fachanwendungen.

In diesem Kontext werden bei der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) insbesondere großräumig Digitale Geländemodelle von Wasserläufen (DGM-W) der Bundeswasserstraßen (BWaStr) für die Aufgabenerledigung der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV) aufgebaut. Anhand dieses Produktes soll exemplarisch im Folgenden eine Standortbestimmung erfolgen, wobei auch dem aktuellen Spannungsfeld zwischen anforderungsgerechten Produkten und Ressourceneinsparung Rechnung getragen wird. Hinsichtlich der Vielzahl an notwendigen fachlichen Details sei auf die weiteren Beiträge dieses Veranstaltungsbandes verwiesen.

2 Das Digitale Geländemodell des Wasserlaufes

2.1 Basisprodukt DGM-W

Ein DGM-W repräsentiert die für die jeweiligen wasserstraßenbezogenen Aufgabenstellungen relevanten Gewässerbereiche, i. d. R. zwischen den Ausbreitungslinien der Abflüsse eines 100-jährlichen (HQ_{100}) bis zu der eines 500-jährlichen (HQ_{500}) Hochwassers, s. Abb. 1.

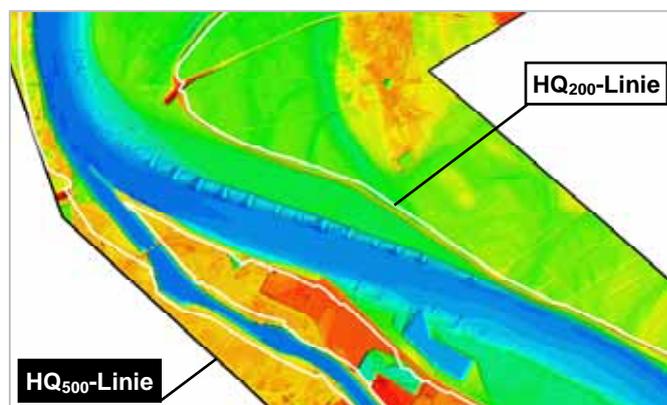


Abb. 1: Exemplarische DGM-W-Bereiche, hier des Rheinabschnittes von km 760,5 bis 764,5

Das Basisprodukt wird als ein 1 m-Grid bereitgestellt. Die Produktgenauigkeiten, erweiterte Unsicherheiten mit einer Überdeckungswahrscheinlichkeit von 95 % (DIN 1995), sind wie folgt zu veranschlagen:

- > Lage: $U_x = U_y = 30 \text{ cm} - 50 \text{ cm}$
- > Höhe: $U_H = 15 \text{ cm}$ in flach bis wenig geneigtem Gelände, ohne bzw. mit geringem Bewuchs
 $U_H = 30 \text{ cm}$ in flach bis wenig geneigtem Gelände, mit Baum- und dichtem Bodenbewuchs
 $U_H = 40 \text{ cm}$ in stark geneigtem Gelände, ohne bzw. mit geringem Bewuchs

2.2 Aufbau von DGM-W

Die Prozesskette zum Aufbau von DGM-W kann der Abb. 2 entnommen werden. Hinsichtlich des Standes von Wissenschaft und Technik wird auf Abschnitt 3 verwiesen.

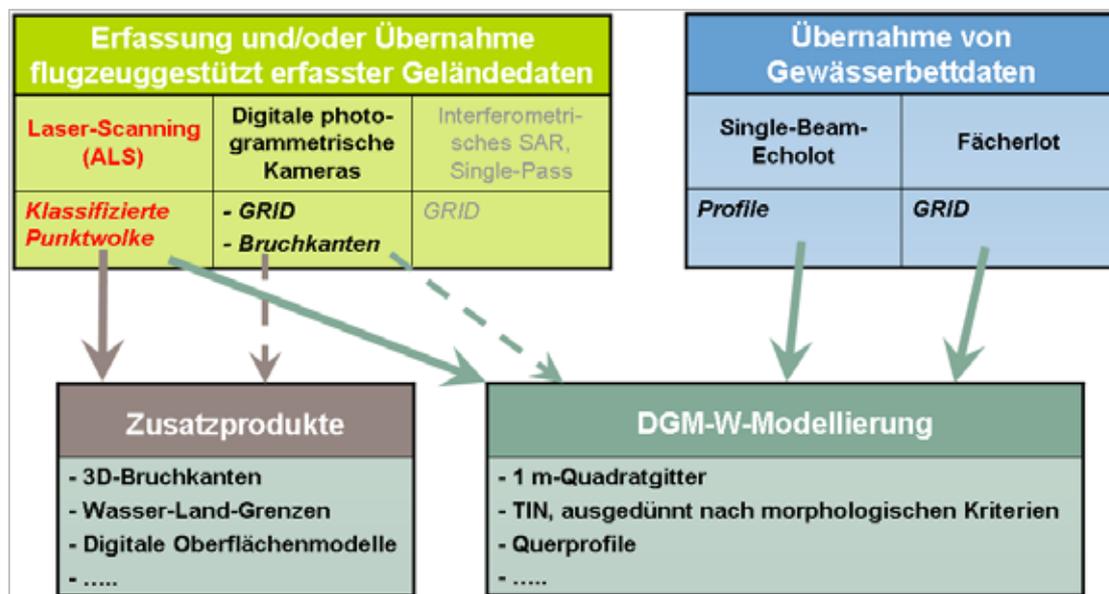


Abb. 2: Prozesskette – DGM-W-Aufbau

Die Initiierung und Realisierung von DGM-W-Projekten erfolgt i. d. R. bedarfsorientiert. Dabei sind neben der fachlichen Umsetzung die Akzeptanz der Projekte, Produkte und Zusatzprodukte von wesentlicher Bedeutung. Dazu sind jeweils abgestimmte Entscheidungen zwischen Bedarfsträger und Bedarfsdecker unter Einbeziehung der Ortsebene eine notwendige Voraussetzung. Dies betrifft nicht nur die Leistungsbeschreibung, sondern auch die Zuschlagserteilung bei den anstehenden Vergaben und die Klärung übergeordneter Fragestellungen bei der Projektabwicklung. Als Forum dienen Arbeitsgruppen- beziehungsweise Auftraggeber/Auftragnehmer-Besprechungen. Als Leitfaden wird hier eine frei gestaltete Messprogrammstrategie gemäß der WSV-Verwaltungsvorschrift „Ingenieurvermessung im Bauwesen“ (VV-WSV 26 02, 2009) herangezogen.

Zurzeit werden in der BfG Aufträge in unterschiedlichen Realisierungsphasen und Größenordnungen bearbeitet, s. Abb. 3.



Abb. 3:
Aktuell laufende DGM-W-Aufträge in der BfG:
Datenerfassung und DGM-W-Modellierung:
5580 km², 1210 BWaStr-km
DGM-W-Modellierung:
1680 km², 550 BWaStr-km

3 Umsetzung des Standes der Wissenschaft und Technik

3.1 Rahmenbedingungen

Die Ausführung der hier relevanten Leistungen hat soweit möglich per Vergabe an Ingenieurfirmen zu erfolgen. Als Grundlage dient dafür die Verdingungsordnung für freiberufliche Leistungen (VOF 2009), da alle Aufträge Produkte beziehungsweise Teilprodukte enthalten, deren Lösung nicht eindeutig und erschöpfend beschreibbar sind. Dazu erfolgt bei der technischen Bearbeitung eine produktbezogene Bearbeitung in zwei Leistungsphasen. In der Leistungsphase 1 wird nur ein Pilotabschnitt bearbeitet, in dem der Lösungsweg entwickelt und abgestimmt wird. Erst nach Abnahme dieser Teilleistungen wird die Bearbeitung der Leistungsphase 2, Restbearbeitung, freigegeben. Dieses Vorgehen hat sich in jedem Fall bewährt, da die ursprünglich in den Auftragsgesprächen angedachten Lösungswege so häufig im Laufe der Bearbeitung optimiert werden konnten, was wiederum zu wesentlich optimierten Produktergebnissen führte und den Abnahmeaufwand minimierte. Weiterhin ist es unabdingbar, für die Leistungsausführung Qualitätssicherungssysteme (QS-LIDAR 2010; QS-DGM-W 2010) vorzuschreiben.

3.2 Geländedatenerfassung

Zur Geländedatenerfassung stehen nach wie vor das Airborne Laserscanning (ALS) und die photogrammetrische Bilddatenerfassung, heute mit digitalen Kameras (BALTRUSCH 2011, S. S. 110 ff.), zur Verfügung. Die ALS-Befliegungen können bei Tag und Nacht (s. Abschnitt 3.3) in der vegetationsarmen Zeit nach dem ersten Bodenfrost von Anfang Dezember bis Mitte April erfolgen. Dem gegenüber können vergleichbare photogrammetrische Befliegungen aufgrund von Sonnenstandseinflüssen nur im Zeitraum von Mitte März bis Mitte April erfolgen. Vor diesem Hintergrund und im Kontext mit noch zusätzlich einzuhaltenden Wasserständen bei der Datenerfassung, häufig bei Niedrigwasser, wird bei der BfG standardmäßig die ALS-Technik eingesetzt. Dabei sind Messpunktdichten in Vorlandbereichen von 4 Punkte/m² und in trocken gefallenem Wattbereichen von 1 - 4 Punkte/m² einzuhalten.

Sofern photogrammetrische Systeme eingesetzt werden, sind die Bilddaten mit einer Bodenauflösung von 8 cm bis 10 cm in Vorlandbereichen und 20 cm in Wattbereichen zu erfliegen. Da die aktuellen Entwicklungen der Bildkorrelation bisher zu keinen zufrieden stellenden Ergebnissen führen, sind bis auf Weiteres manuelle photogrammetrische Auswertungen zur Messung der Geländedaten für die DGM-W-Modellierung unumgänglich.

Neuere Entwicklungen zeigen auch, dass aus ALS-Daten 3D-Bruchkanten abgeleitet werden können (BROCKMANN et al. 2010). Somit ist es nicht mehr zwingend, dass zur Ableitung von 3D-Bruchkanten photogrammetrische Daten benötigt werden. Allerdings bedarf es noch entsprechender Qualifizierungsmaßnahmen, um die Ableitung von 3D-Bruchkanten aus ALS-Daten bedenkenlos von allen grundsätzlich in Frage kommenden Ingenieurfirmen ausführen zu lassen.

3.3 Wasser-Land-Grenzenbestimmung aus Airborne Laserscannerdaten

Zur Bearbeitung vieler Fragestellungen an den BWaStr ist es wesentlich, dass die Wasserwechselzone möglichst vollständig im DGM-W auf der Basis hoch aufgelöst erfasster Daten abgebildet wird. Vor diesem Hintergrund kommt der Bestimmung der Wasser-Land-Grenze (WLG) aus ALS-Daten eine große Bedeutung zu, um möglichst vollständig die trocken gefallenen Bodenpunkte von den Wasseroberflächenpunkten zu trennen, s. Abb. 4 und 5. In der Vergangenheit wurden dazu Orthofotos, prozessiert aus parallel zur ALS-Datenerfassung aufgezeichneten digitalen Bilddaten, genutzt. Dieses Vorgehen hat die Nachteile der Abhängigkeit

- > von den Lichtverhältnissen bei der Datenerfassung, d. h. Nachtbefliegungen sind schon von vornherein ausgeschlossen
- > von i. d. R. schlechtem Kontrast zwischen den trocken gefallenen und nicht trocken gefallenen Wasserflächen



Abb. 4: ALS-Punkte und Wasser-Land-Grenze; Rhein im Bereich des Krefelder Bogens, km 761

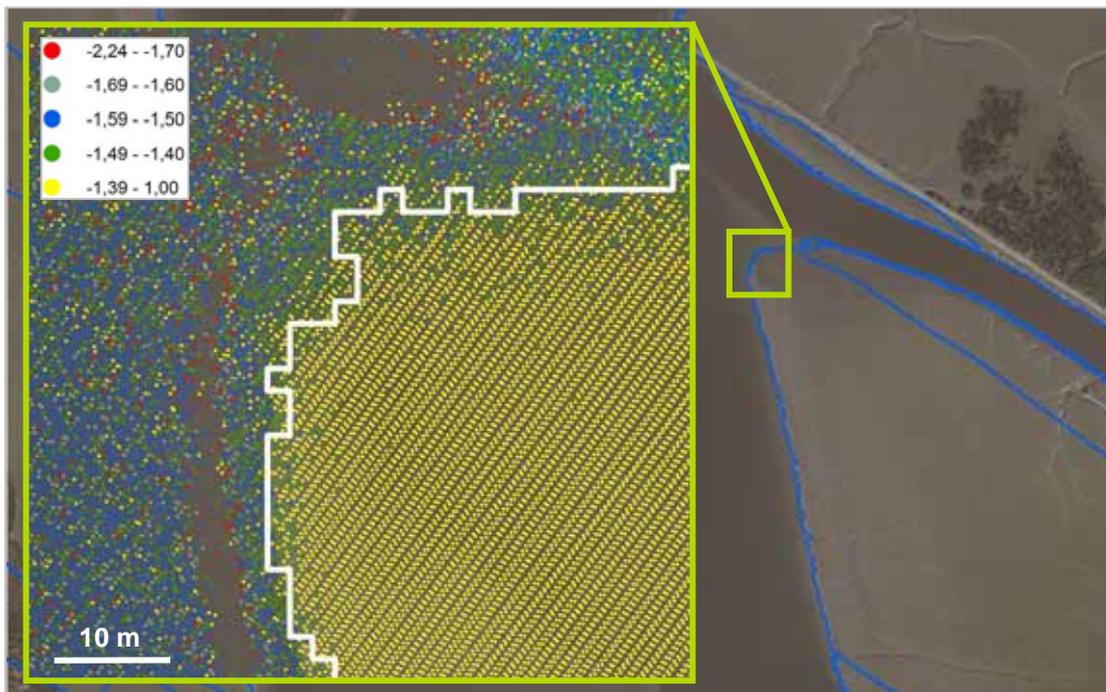


Abb. 5: ALS-Punkte und Wasser-Land-Grenzen pro Flugstreifen; Untere Tideelbe im Bereich Eschschallen, km 660

In der letzten Zeit werden eine Vielzahl von teilautomatischen, aber auch automatischen Ansätzen zur entsprechenden WLK-Bestimmung angeboten, wobei nur wenige praxistauglich erprobt sind (DORNINGER 2011, S. S. 93ff.; SELLERHOFF 2011, S. S. 70ff.). Um hier als Auftraggeber flexibler agieren zu können, sind noch umfangreichere Qualifizierungsmaßnahmen im Kontext mit den angebotenen Lösungen erforderlich.

3.4 Modellierung standardisierter Digitaler Geländemodelle von Wasserläufen

Ergänzend zum Basisprodukt, dem 1 m-GRID-Modell (s. Abschnitt 2) wird standardmäßig ein nach morphologischen Kriterien ausgedünntes TIN (Triangulated Irregular Network) mit zusätzlicher Abspeicherung der Dreiecksinformationen erzeugt, s. Abb. 6. Bei der Modellierung sind folgende Informationen grundsätzlich zusätzlich mit einzubeziehen:

- > soweit verfügbar, hydraulisch relevanten 3D-Bruchkanten (und 3D-Geländekanten), wobei diese Informationen bei TIN-Modellierung unter Zwang einzuführen sind
- > Buhnen und Parallelwerke
- > unter hydraulischen Gesichtspunkten höhenmäßig angepasste stehende Gewässer, Häfen, Nebengewässer etc.
- > Brückenpfeiler und -fundamente
- > Wehren, Schleuse und Sperrwerke, reduziert auf die wesentlichen Punkte fester Bauwerksbestandteile

Verbleibende Datenlücken sind durch Interpolation fachgerecht zu schließen. Weiterhin werden als Metainformation georeferenzierte Umringspolygone der in die Modellierung eingebrachten Daten bereitgestellt.

Bei Bedarf werden selbstverständlich weitere Modellvarianten erzeugt, wie z. B. die zusätzliche Modellierung von Gebäuden als Blöcke (Level of Detail 1) für 2-dimensionale hydrodynamisch numerische Modellierungen (PRINZ 2011, s. S. 48ff.).

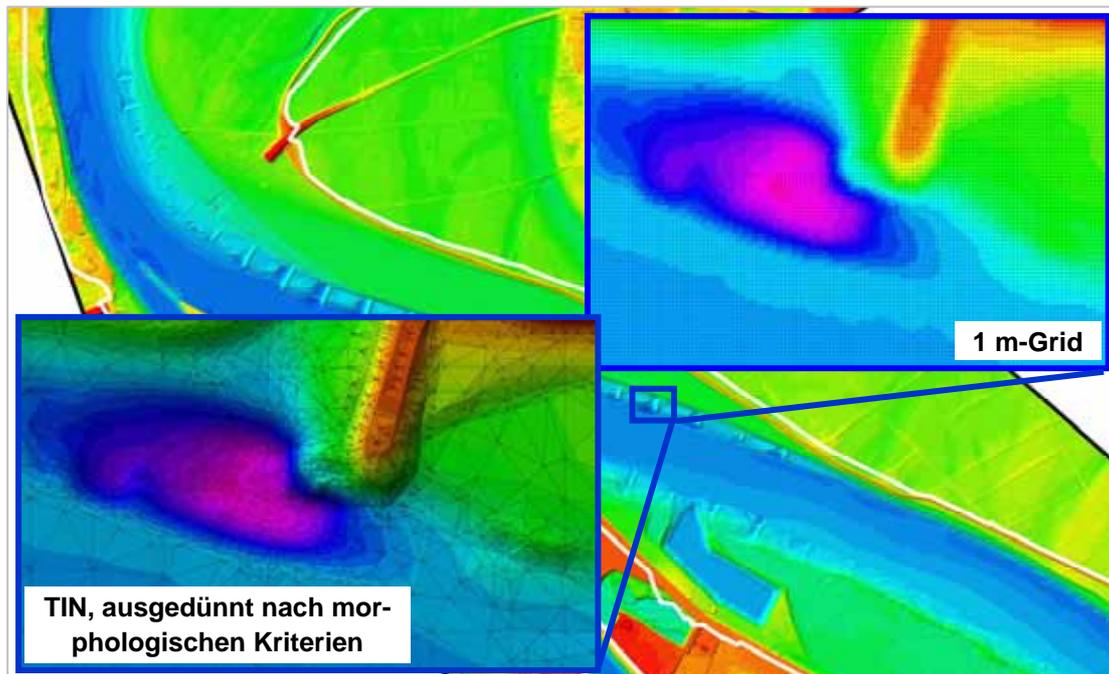


Abb. 6: Standardisierte DGM-W-Varianten; Rhein im Bereich des Krefelder Bogens, km 761

3.5 Produktkosten des Digitalen Geländemodells des Wasserlaufes

Für den Aufbau eines DGM-W auf der Basis von ALS-Daten sind überschlägig 250 €/km² bis 450 €/km² zu veranschlagen. Diese Spanne ergibt sich u. a. durch

- > die räumliche Ausprägung des Projektgebietes, insbesondere im Kontext mit der ALS-Befliegung
- > die tatsächlich einzuhaltende Punktdichte bei der ALS-Befliegung
- > die Quantität und Qualität der in die Modellierung mit einzubeziehenden Gewässerbett- und Zusatzdaten und Zusatzinformationen wie 3D-Bruchkanten etc.
- > die Anzahl und Ausprägung der zu prozessierenden Modellvarianten

Nicht zu vernachlässigen sind die zusätzlichen AG-Kosten neben den Auftragskosten, für die Projektinitiierung, Auftragsvergabe und Vertragsabwicklung. Überschlägig ist hier ein Drittel der Auftragssumme anzusetzen.

Sofern digitale photogrammetrische Kameras anstatt ALS-Technik eingesetzt werden sollen, erhöhen sich die Auftragskosten um den Faktor 2 bis 2,5 bedingt durch den hohen manuellen photogrammetrischen Auswerteaufwand. Die zusätzlichen AG-Kosten erhöhen sich allerdings nur geringfügig gegenüber einem entsprechenden ALS/DGM-W-Projekt.

4 Vermessungstechnische Groß- versus Einzelprojekte

Üblicherweise werden in der WSV vergleichbare vermessungstechnische Projekte produktweise und in kleineren Bearbeitungsabschnitten, z. B. bezogen auf die lokale Fragestellung, in Auftrag gegeben. Neu ist hier der Ansatz des vermessungstechnischen Großprojektes, indem in einem Projekt größere BWaStr-Einheiten bearbeitet und parallel zum DGM-W-Aufbau einer Vielzahl an zusätzlichen Produkten erstellt werden. Exemplarisch erwähnt seien hier das DGM-W Niederrhein (MESSING 2011, s. S. 16ff.) und die Befliegungen der Tide-/Außenelbe (LEUZINGER & BOEHLICH 2011, s. S. 58ff.).

4.1 Großprojekt DGM-W Niederrhein

Das Projekt DGM-W Niederrhein, initiiert von den WSÄ Köln und Duisburg-Rhein, war das erste entsprechende vermessungstechnische Großprojekt. Auf der Basis einer ALS-Befliegung und einer photogrammetrischen Befliegung in der vegetationsarmen Zeit bei Mittelwasser sowie einer photogrammetrischen Niedrigwasserbefliegung waren folgende Produkte zu erstellen:

- > Produktgruppe 1: DGM-W in fünf Varianten, 100 m-Querprofile
- > Produktgruppe 2: DBWK 1:2.000, Orthofotos, 3D-Bruchkanten
- > Produktgruppe 3: Bühnen- und Parallelwerksinformationen
- > Produktgruppe 4: Rauheitszonen

Die fachliche Federführung im Rahmen der Auftragsvergabe und Vertragsabwicklung oblag der BfG. Aus Gründen des Know-how-Gewinns und der Kostenminimierung wurde eine Verwaltungsvereinbarung zur Kooperation mit GEObasis.nrw (Bezirksregierung Köln) abgeschlossen. GEObasis.nrw hat Haushaltsmittel, Sach- und Ingenieurleistungen in das Projekt eingebracht. Das gesamte Bearbeitungsgebiet umfasste eine Fläche von 1.805 km², s. Abb. 7. Die Gesamtbearbeitungszeit wird ca. 2,5 Jahre betragen.

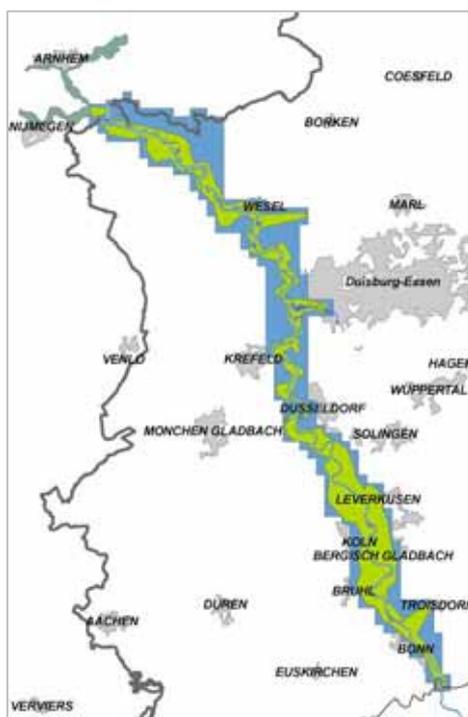


Abb. 7:
Datennutzer und Bearbeitungsgebiete DGM-W
Niederrhein:

WSV, BAW, BfG, GEObasis.nrw:
Datenerfassung und Produkterstellung:
865 km², 230 BWaStr-km

BAW:
Übernahme vergleichbarer niederländischer Daten
und Produkterstellung:
90 km², 30 BWaStr-km

GEObasis.nrw:
Datenerfassung und Produkterstellung:
850 km²

Als Alternative zu dieser Art der Realisierung können folgende Szenarien exemplarisch gegenübergestellt werden:

- > Einzelrealisierungen pro Produktgruppe:
Die Erfüllung der Anforderungen ist in Eigenregie zurzeit nicht möglich. Das heißt, dies bedingt mindestens vier Vergaben durch vier Dienststellen, wobei jeweils von einem Bearbeitungszeitraum von zwei Jahren auszugehen ist.
- Einzelrealisierungen pro Produktgruppe und Ortseinheit, beispielsweise für Produktgruppe 2:
 - Eine WSA-weise Realisierung bedingt zwei Vergaben mit einem Bearbeitungszeitraum von drei bis vier Jahren.
 - Eine Realisierung pro WSV-Außenbezirk bedingt fünf Vergaben mit einem Bearbeitungszeitraum von sechs bis sieben Jahren.

4.2 Umsetzung der Großprojekte

Der bewährte Rahmen zur Umsetzung von vermessungstechnischen Großprojekten lässt sich wie folgt zusammenfassen:

- > Projektinitiierung:
Bedarfsträger in Abstimmung mit der BfG
- > Einbringung von Haushaltsmitteln:
 - anforderungsbezogen durch WSÄ und/oder BfG sowie
 - Einbindung von Landesdienststellen per Verwaltungsvereinbarung bei 50 % Kostenübernahme pro gemeinsamer Produkteinheit
- > Ausführung der Projektsteuerung und Auftragsvergabe:
 - BfG oder
 - im Ausnahmefall ein zuständiges WSA mit BfG-Unterstützung
- > Ausführung der Vertragsabwicklung:
 - BfG
 - externe Ingenieurfirmen, beauftragt per Rahmenvereinbarung mit der BfG
 - WSÄ / Vermessungs- und Kartenstellen bedarfsorientiert bei notwendigem Ortsbezug und/oder
 - Landesvermessungsdienste über die Einbringung von Sach- und Ingenieurleistungen, geregelt über die o. g. Verwaltungsvereinbarung

4.3 Pro und Kontra für Großprojekte

Das wesentliche fachliche Kriterium für Großprojekte ist die durchgängige Homogenität aller Eingangs- und Ergebnisdaten. Nur so sind Nutzerprodukte großräumig flächendeckend mit vergleichbaren Auflösungen, gleichmäßigen Genauigkeitsniveaus und einer einheitlichen Aktualität verfügbar.

Wirtschaftlich betrachtet führen Großprojekte zu Einsparungen beim Auftraggeber bei der Projektinitiierung, Vergabeausführung und Vertragsabwicklung sowie bei den Auftragskosten. Ebenso können so häufig Mitfinanzierungen durch Dritte mit einem positiven Kosten-/Nutzenverhältnis realisiert werden.

Summarisch betrachtet führen Großprojekte zu kürzeren Bearbeitungszeiten. Die Einhaltung von vorgegebenen Terminen ist unabhängig vom Großprojekt oder entsprechenden Einzelprojekten kritisch zu betrachten. Öfter entstehen Verzögerungen auf Auftraggeberseite z. B. ressourcenbedingt durch verspätete Datenbereitstellungen und verzögerte Abnahmen. Andererseits wird die Komplexität der Nutzeranforderungen auf Seiten der Auftragnehmer des Öfteren unterschätzt beziehungsweise erfolgt eine Auftragsbearbeitung nach firmeninternen Kriterien. Hier wäre es aus Fachsicht wünschenswert, wenn von Vertragsstrafen mehr Gebrauch gemacht werden könnte.

5 Grundaussagen und Ausblick

- > Die Nutzeranforderungen an die DGM-W-Modellierung können aktuell erfüllt werden, wobei weitere Auflösungs- und Genauigkeitssteigerungen schon aufgrund der Geländerauigkeit i. d. R. keinen realen Gewinn bedeuten.
- > Das „klassische“ terrestrisch erfasste Querprofil wird immer mehr an Bedeutung verlieren. Aus Nutzersicht geht Volumentreue vor Einzelpunktgenauigkeit. Dies gilt erst recht vor dem Hintergrund, dass das Querprofil ein „Abfallprodukt“ jeder DGM-W-Modellierung ist.
- > Zur Kostenminimierung bedarf es noch einer weiteren Koordinierung zwischen der DGM-W-Modellierung und der Bereitstellung von 3D-Daten aus der photogrammetrischen Auswertung zur Erstellung der Digitalen Bundeswasserstraßenkarten.
- > Die Umstellung auf das Lagebezugssystem ETRS89 sollte schnellst möglich realisiert werden.
- > Die eingesetzten Qualitätssicherungssysteme sind laufend zu halten. Hier sind die Entwicklungen der Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder mit einzubeziehen.
- > Der Aspekt der Daseinsvorsorge im Kontext Geobasisdaten für die WSV wird zu oft vernachlässigt. Eine Daseinsvorsorge mit „Augenmaß“ ergibt häufig zeitnähere und aussagekräftigere Nutzerergebnisse.
- > Vermessungstechnische Großprojekte sind i. d. R. die fachlich bessere und wirtschaftliche Alternative zu einer entsprechenden Anzahl an Einzelprojekten. Dies setzt allerdings voraus, dass handlungsfähige WSV-interne Ausführungseinheiten mit dauerhaft gewährleister Fachkompetenz verfügbar sind. Eine Bündelungsstelle ist hier sinnvoll, wobei aber die gezielte Einbindung der Ortsebene unabdingbar ist. Die Mitwirkung von externen Ingenieurfirmen auf Auftraggeberseite ist geboten, allerdings nur zielführend als Unterstützungsleistung und nicht als Ersatz für die vollständige Erbringung der Verwaltungsleistungen.

Zur fachlichen und damit einhergehend wirtschaftlichen Weiterentwicklung sind Qualifizierungen der Datenzwischenprodukte: Wasser-Land-Grenze und 3D-Bruchkanten, abgeleitet auf der Basis von ALS-Daten auszuführen. Ebenso ist die interferometrische RADAR-Technik zur Erfassung von Küstenvorländern und Wattflächen zu erproben. Als weiterer F&E-Schwerpunkt ist die Methodenentwicklung der automatisierten Rauheitenableitung zu forcieren.

Literatur

- BALTRUSCH, S. (2011): Aktuelles Leistungsvermögen flugzeuggestützter digitaler Kamerasysteme. In: Veranstaltungen 3/2011, Hrsg. Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz, Mai 2011, S. 110-117
- BROCKMANN, H., A. HAASE, G. MANDLBURGER, M. SCHRÖDER (2010): LIDAR-Datenpotenziale für hydrodynamisch-numerische Modelluntersuchungen, 3-Ländertagung der DGPF, OVG und SGPBF, DGPF-Tagungsband 19, Wien, 30.06. - 03.07.2010
- DORNINGER, P. (2011): Eine praktikable und genaue Methode zur Bestimmung von Wasser-Land-Grenzen aus Laserscanner-Daten. In: Veranstaltungen 3/2011, Hrsg. Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz, Mai 2011, S. 93-100
- 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, Beuth Verlag GmbH, Berlin, Wien, Zürich
- LEUZINGER, M. & M. J. BÖHLICH (2011): Geobasisdatenbereitstellung für die Fahrrinnenanpassung der Unter- und Außenelbe. In: Veranstaltungen 3/2011, Hrsg. Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz, Mai 2011, S. 58-69
- MESSING, S. (2011): Umfassende homogene Aktualisierung der Geobasisdaten am Niederrhein. In: Veranstaltungen 3/2011, Hrsg. Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz, Mai 2011, S. 16-26
- PRINZ, R. (2011): DGM-W-Modellierung unter Einbeziehung erfasster Bühnen und Bühnenfelder. In: Veranstaltungen 3/2011, Hrsg. Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz, Mai 2011, S. 48-57
- QS-LIDAR (2010): Qualitätssicherungssystem LIDAR-Datenerfassung – Bundeswasserstraßen, BfG, Koblenz, Version 1.5, 08.11.2010 (unveröff.)
- QS-DGM-W (2010): Qualitätssicherungssystem Aufbau Digitaler Geländemodelle von Wasserläufen – Bundeswasserstraßen, BfG, Koblenz, Version 1.2, 04.08.2010 (unveröff.)
- SELLERHOFF, F. (2011): Aspekte der DGM-W-Modellierung in tidebeeinflussten Gebieten. In: Veranstaltungen 3/2011, Hrsg. Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz, Mai 2011, S. 70-81
- VOF (2009): Verdingungsordnung für freiberufliche Leistungen in der aktuellen Fassung vom 18.11.2009
- VV-WSV 26 02 (2009): Verwaltungsvorschrift der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes: Ingenieurvermessung im Bauwesen, Herausgeber: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, 01/2009



Kontakt:

Herbert Brockmann

Bundesanstalt für Gewässerkunde

Am Mainzer Tor 1

56068 Koblenz

Tel.: 0261/ 1306 5214

Fax: 0261/ 1306 5280

E-Mail: brockmann@bafg.de

1975 – 1978

Studium Vermessungswesen an der Fachhochschule Bochum

1979 – 1982

Rheinische Braunkohlenwerke AG, Bergschäden-Markscheiderei, Köln

1983 – 1987

Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes, Kiel und Koblenz

seit 1987

Bundesanstalt für Gewässerkunde, Referat Geodäsie, Koblenz

Tätigkeitsschwerpunkte:

1987 – 1998: Objektvermessung

seit 1999: Geobasisdaten

Umfassende homogene Aktualisierung der Geobasisdaten am Niederrhein

Sebastian Messing

1 Einleitung

Im August 2009 wurden vom Wasser- und Schifffahrtsamt (WSA) Duisburg-Rhein insgesamt 6 Ingenieurverträge mit dem Ziel vergeben, für den Niederrhein im Zuständigkeitsbereich der WSÄ Duisburg-Rhein und Köln ein neues Digitales Geländemodell des Wasserlaufes (DGM-W) aufzubauen. Die Aufträge umfassten neben der Datenaufnahme und dem Aufbau des eigentlichen DGM-W zusätzlich die Erstellung der aus den erfassten Daten beziehungsweise dem DGM-W ableitbaren Produkte, wie zum Beispiel die Neuerstellung der DBWK¹, die Erstellung eines Bauwerkskatasters und die Bereitstellung einer umfassenden und homogenen Datengrundlagen zur Beschreibung hydromorphologischer Prozesse. Mit der Aufnahme der Leistungen wurde bereits im September 2009 mit einer Niedrigwasserbefliegung annähernd bei GIW² begonnen. Die weitere Datenaufnahme erfolgte in den folgenden Monaten sukzessive inklusive der Bearbeitung dieser Daten, so dass im Herbst 2011 mit dem Abschluss des Projektes im geplanten Zeit- und auch Kostenrahmen gerechnet werden kann.

Die Gesamtkosten für das Projekt belaufen sich auf ca. 2,3 Mio. Euro, wobei die Schätzungen im Rahmen der Vorplanung noch von Kosten in Höhe 2,6 Mio. Euro ausgegangen waren. Diese für ein Vermessungsprojekt ungewöhnlich hohen Kosten relativieren sich allerdings vor dem Hintergrund der vielfältigen Nutzung aller beteiligten Institutionen der Bundes- und Landesverwaltungen sowie vor der hohen Bedeutung der Bundeswasserstraße Rhein als Verkehrsweg. Auf dem Rhein als bedeutendste Wasserstraße Europas findet über 70 % des bundesdeutschen Binnenschiffsverkehrs statt. Allein die deutsch-niederländische Grenze bei Emmerich passieren im Jahr an die 200.000 Schiffseinheiten mit ca. 60 Mio. t Export- und ca. 110 Mio. t Importgütern. Hierfür stellt der Bund am Niederrhein jährlich Investitionsmittel in Höhe von 20 bis 25 Mio. Euro zur Verfügung. Wesentliche Grundlage dieser Investitionen ist eine aktuelle und hochwertige Datenbasis.

Mit dem neu erstellten DGM-W sowie den hieraus abgeleiteten Produkten wird für die gesamte Rheinstrecke der Wasser- und Schifffahrtsdirektion (WSD) West ein flächendeckendes Modell, basierend auf einer aktuellen, zeitlich und räumlich einheitlichen Datengrundlage in bisher in der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung (WSV) nicht erreichten Güte vorliegen, die als Basis für diese Investitionsmaßnahmen, aber auch für alle zukünftigen Projekte der Unterhaltung dienen wird.

¹ DBWK2: Digitale Bundeswasserstraßenkarte im Maßstab 1:2000

² GIW: Gleichwertiger Wasserstand

2 Veranlassung

Die vor Einleitung dieses Projektes vorhandenen vermessungstechnischen, kartografischen und modelltechnischen Arbeitsgrundlagen am Niederrhein waren bis dahin entgegen der eingangs beschriebenen Notwendigkeit entweder veraltet, nicht vorhanden oder entsprachen nur bedingt dem Stand der Technik. Beispielhaft lässt sich festhalten, dass abdigitalisierte Karten der 1980er-Jahre die Grundlage der aktuellen DBWK bildeten, in den WSÄ kein aktuelles Bauwerkskataster (Buhnen und Längswerke) vorhanden war und die vorliegenden Digitalen Geländemodelle als Grundlage jeder hydronumerischen Untersuchung bei der Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) und der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG), die wiederum Grundlage für alle bedeutenden Unterhaltungs- und Neubaumaßnahmen am Niederrhein sind, auf einer räumlich und zeitlich inhomogenen Datenbasis mit Daten der unterschiedlichsten Güte basierten.

Nach erfolgter Abstimmung Ende 2007 zwischen den WSÄ Duisburg-Rhein und Köln, der Kartenstelle der WSD West sowie den Bundesanstalten wurde daher der zeitnahe Aufbau eines „DGM-W Niederrhein“ beschlossen. Unter dem Arbeitstitel „DGM-W Niederrhein“ verbirgt sich dabei nicht nur das eigentliche DGM des Rheinwasserlaufes und seiner Vorländer, sondern auch die aus der dafür notwendigen Datenerfassung zusätzlich ableitbaren Produkte, als da wären die vermessungstechnischen Grundlagen zur Erstellung eines Bauwerkskatasters und zur Beschreibung hydraulischer und morphologischer Prozesse, abgeleitete Querprofile, Orthofotos, die DBWK2 und Rauheitszonierungen.

Hierbei waren die unterschiedlichen technischen, geodätischen und administrativen Anforderungen aus dem breiten Aufgabenspektrum der WSÄ Duisburg-Rhein und Köln, der Kartenstelle sowie der Bundesanstalten zusammenzubringen. Dabei lassen sich die Nutzeranforderungen auszugsweise wie folgt beschreiben: im Rahmen der Unterhaltung sind aktuelle Bauwerksdaten (WADABA³) und Orthofotos der Uferstreifen sowie der zu betreuenden Bauwerke wesentliche Planungs- und Überwachungsgrundlage. Für die Aufgabe der Bereitstellung von Daten sowohl für interne (z. B. Neubausachbereiche) als auch externe (z. B. Anlieger, Industrie, etc.) Nutzer sind möglichst aktuelle Gewässer- und Vorlandgeometrien von Seiten der Bündelungsstelle VKLP⁴ vorzuhalten. Der Neubausachbereich muss ebenso wie die Unterhaltung auf stets aktuelle Bauwerksdaten zurückgreifen können, darüber hinaus dient das DGM-W als Grundlagen für 1D-, 2D- und 3D-Modellierungen im Rahmen der Grundlagenplanung sowie der Erfolgskontrolle. Im gleichen Rahmen greift auch die BAW im Rahmen der fachtechnischen Begleitung bei dieser Planung auf die gleichen Daten zurück, die stellvertretend für die WSV mehrdimensionale hydrodynamische und morphodynamische Berechnungsverfahren einsetzt, um die Auswirkungen der Maßnahmen hinsichtlich der Veränderung von Wasserspiegellagen, Fließgeschwindigkeiten und Feststofftransport zu bewerten.

Und nicht zuletzt ist es die BfG, die bei der Unterstützung der Neubausachbereiche bei der Erfolgskontrolle, insbesondere auf dem Gebiet der Morphodynamik sowie der Beantwortung hydrologischer, insbesondere das Niedrig- und Hochwasser betreffender und ökologischer Fragestellungen auf diese Daten zurückgreift.

³ WADABA: Wasserstraßendatenbank

⁴ VKLP: Vermessung, Kartenwesen, Liegenschaften und Peilwesen

Da auch auf Seiten der Landesvermessungsverwaltungen der Bedarf nach stets aktuellen Geobasisdaten für vielfältigste Aufgaben wächst, konnte zusätzlich noch das Land Nordrhein-Westfalen (NRW), vertreten durch die GEObasis.nrw der Bezirksregierung Köln, als weiterer Projektpartner gewonnen werden. Die Zusammenarbeit beinhaltete die gemeinsame LIDAR⁵-Befliegung des Projektgebietes sowie die Auswertung der entsprechenden Daten und wurde im Dezember 2009/Januar 2010 durch den Abschluss einer Verwaltungsvereinbarung geregelt.

3 Projektmanagement

Um ein Projekt dieser Größenordnung realisieren zu können, wurde von den Amtsleitern der WSÄ eine Projektgruppe aus allen beteiligten Institutionen beauftragt, die das Projekt bis spätestens Ende 2011 umsetzen sollte. Der Aufbau der Projektgruppe ist Abb. 1 zu entnehmen.



Abb. 1: Aufbau der Projektgruppe

Formale Grundlage des Projektes bildeten ein nach den Vorgaben des Dezernates C der WSD West aufgestellter Projektauftrag vom 09.01.2008 und eine in Anlehnung an VV WSV 2107 verfasste Konzeption vom 17.12.2008. Nach Abstimmung zwischen der Projektleitung und den zuständigen Referaten des BMVBS konnte allerdings auf die Vorlage eines Entwurfes HU/AU verzichtet werden. Die Konzeption diente ab diesem Zeitpunkt als internes Abstimmungsdokument zwischen allen in der Linie an dem Projekt beteiligten Institutionen.

Für den weiteren Ablauf wurde das Projekt in folgende Phasen unterteilt und die entsprechenden fachlichen Zwischenziele formuliert:

- Phase 1: Aufstellen der Projektplanung mit dem Ziel der Vorlage einer abgestimmten Konzeption inklusive der Aufstellung aller Nutzeranforderungen und der Einwerbung der erforderlichen Haushaltsmittel
- Phase 2: Aufstellen der Verdingungsunterlagen, getrennt nach den Teilleistungen Geländedatenerfassung und Produkterstellung sowie Gewässerbettdatenerfassung
- Phase 3: Vergabe der Teilleistungen

⁵ LIDAR: Light detection and ranging

Phase 4: Ausführung der Teilleistungen

- Geländedatenerfassung in der bewuchsarmen Zeit inklusive Datenaufbereitung
- Geländedatenerfassung bei NW im Bereich der Wasserwechselzone (WWZ) inklusive Datenaufbereitung
- Gewässerbettdatenerfassung inklusive Datenaufbereitung
- Datenauswertung und -modellierung

Phase 5: Gesamtabnahme und Abschlussbericht

Um Fristen und Termine festlegen und deren Einhaltung überprüfen zu können, wurde der in Abb. 2 wiedergegebene Projektplan abgestimmt, der nur einmal zu Beginn des Projektes aufgrund einer Verzögerung in der Genehmigungsphase angepasst und um drei Monate verschoben werden musste.

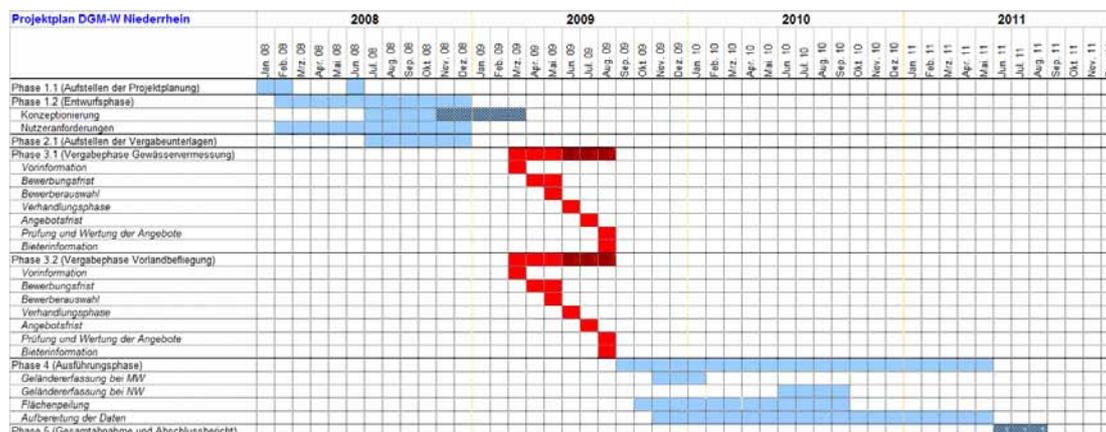


Abb. 2: Projektplan

4 Ausschreibungsverfahren

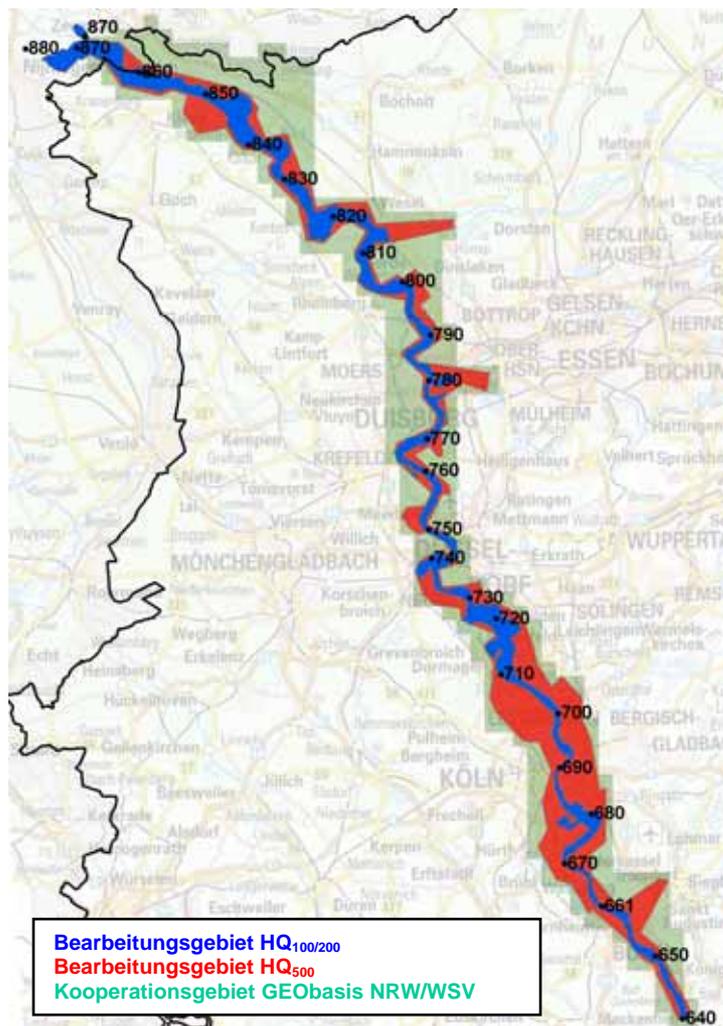
Da die Leistung vorab nicht eindeutig und erschöpfend beschrieben werden konnte, wurden alle Ausschreibungen auf Grundlage der VOF (2009) im Verhandlungsverfahren mit vorheriger Vergabebekanntmachung durchgeführt. Da der Schwellenwert gemäß VgV mit einer geschätzten Auftragssumme von 2,6 Mio. Euro überschritten wurde, wurden die Leistungen in einem europaweiten Verfahren ausgeschrieben.

Die insgesamt 6 Verträge wurden in zwei von einander getrennten Verfahren vergeben. Der Teilauftrag 1 und gleichzeitige Hauptauftrag umfasste die Leistungspakete der Geländedatenerfassung, der Datenauswertung und -modellierung, sowie der Produkterstellung und das abschließende Berichtswesen (AN1). Der Teilauftrag 2 enthielt die Leistungspakete Gewässervermessung und die entsprechende Datenauswertung (AN2). Anschließend sollten die Daten der AN2 an den Hauptauftragnehmer übergeben werden. Der Teilauftrag 2 wurde dabei in vier Streckenlose und ein Brückenlos unterteilt.

Vom beauftragenden WSA Duisburg-Rhein wurden unter fachtechnischer Betreuung der Projektgruppe und hierbei insbesondere durch die BfG die Vergabeverfahren abgewickelt. Mit dem Versand der Bekanntmachungen am 27.03.2009 wurden sie offiziell begonnen. Die Verhandlungen mit insgesamt 12 Bietern/Bietergemeinschaften wurden in der Zeit vom 09.06. bis 02.07.2009 geführt. Die Auftragsvergabe an den AN1 bzw. die AN2 erfolgte am 21. bzw. 18.08.2009 mit einer Gesamtauftragssumme von 2,3 Mio. Euro und damit ca. 300.000 Euro unterhalb der geschätzten Auftragssumme. Ca. 10 % der Kosten werden dabei vom Land NRW übernommen.

5 Geländedatenerfassung

Für den gesamten deutschen Rheinabschnitt von Rolandseck/Bonn (km 639,0) bis zur deutsch-niederländischen Grenze (km 867,7) waren die Geländedaten auf einer Fläche von 864 km² zu erfassen und aufzubereiten, wobei eine Einteilung in 2 Bearbeitungsgebiete erfolgte, zum einen innerhalb der HQ₅₀₀-Begrenzung und zum anderen innerhalb der HQ_{100/200}-Begrenzung. Aufgrund der bereits erwähnten Kooperation zwischen der GEObasis.nrw und der WSV war eine zusätzliche Geländedatenerfassung jenseits der HQ₅₀₀-Begrenzung mit einer Fläche von zusätzlichen 850 m² erforderlich. Die Mehrkosten hierfür werden allein vom Land NRW getragen.



Da für die hydraulischen und hydromorphologischen Untersuchungen auch die „Untergrundbedingungen“ des Modellgebietes von großer Bedeutung sind, war darüber hinaus zusätzlich auf niederländischem Gebiet eine Fläche von 89 km² zu bearbeiten, wobei hier zu einem großen Teil auf bereits vorhandene Daten der niederländischen Wasserstraßenverwaltung (RWS) zurückgegriffen werden konnte. Dieses Gebiet umfasst beginnend im deutsch-niederländischen Grenzgebiet (km 867,5) die Abschnitte der Waal bis Nijmegen (km 890,1), die Abschnitte des Pannerdenischen Kanals und des Nederrijn bis zum Stauwehr Driehl (km 891,5) sowie die Abschnitte der IJssel bis Doesburg (km 905,0). Das gesamte Projektgebiet ist Abb. 3 zu entnehmen.

Abb. 3: Projektgebiet

Die photogrammetrischen Befliegungen innerhalb des Bearbeitungsgebietes HQ_{100/200} fanden für die Uferbereiche zwischen einer generalisierten MW+50m-Linie und der Wasserwechselzone bei Wasserständen annähernd bei NW⁶ Mitte September 2009 sowie während der vegetationsarmen Zeit Anfang April 2010 statt. Die LIDAR-Befliegung innerhalb des Kooperationsgebietes GEObasis NRW und damit inklusive des Bearbeitungsgebietes HQ₅₀₀ fand eben-

⁶ NW: Niedrigwasserstand, hier annähernd GIW

falls in der bewuchsarmen Zeit in der ersten Märzhälfte 2010 statt. Die Daten erfüllten nach erster Überprüfung die im Auftrag geforderten Qualitätsanforderungen, so dass die Arbeiten zur Datenaufbereitung ohne weitere Nachbefliegung aufgenommen werden konnten. Weitere Details hierzu sind dem Beitrag *Fachliche Umsetzung des Projektes „DGM-W Niederrhein“* (HAASE 2011, s. S. 27ff.) zu entnehmen.

6 Gewässerbettdatenerfassung

Um für die spätere Nutzung des DGM-W als Basis für hydrodynamische und hydromorphologische Modelle eine einheitliche Datenstruktur nutzen zu können, wurde beschlossen, auch das Gewässerbett und die angrenzenden Ufer flächenhaft zeitnah aufzunehmen und die Daten in das Modell zu integrieren.

Wesentliche Fragestellungen sowohl der WSÄ, z. B. nach der genauen Lage und Tiefe von Bühnenkolken, als auch der Bundesanstalten, z. B. nach morphologischen Prozessen, lassen sich nur mit Flächendaten beantworten.

In einem ersten Schritt wurde daher das gesamte Gewässerbett und die Uferbereiche in zwei Aufnahmebereiche unterteilt, und zwar in den eigentlichen Gewässerbettbereich zwischen den Streichlinien (Hauptstrom), der bei MW aufzunehmen war und in die Uferbereiche (WWZ), die bei Wasserständen ab MW + 2 m aufzunehmen waren. Im Detail lässt sich die Unterteilung der nachfolgenden Tabelle entnehmen:

Tabelle 1

Wasserstände während der Messung

Teilbereich	Start der Messung bei	Minimaler Wasserstand	Maximaler Wasserstand
Hauptstrom	AMW90	AMW90 – 1,00	AMW90 + 0,50
Wasserwechselzonen:			
Steilufer	AMW90 + 1,00	AMW90 + 0,50	Hochwassermarke I
Flaches Ufer	AMW90 + 2,00	AMW90 + 2,00	Hochwassermarke I
Ufer mit Bühnen	AMW90 + 2,00	AMW90 + 2,00	Hochwassermarke I
Trockene Uferbereiche unter Brücken	AMW90 – 1,00	-	AMW90

Wie bereits in Kapitel 4 erwähnt, wurde das gesamte Projektgebiet in 5 Teillose aufgeteilt, die auch Abb. 4 zu entnehmen sind:

- > Los 1 von Rhein-km 639,0 bis Rhein-km 697,5
- > Los 2 von Rhein-km 697,0 bis Rhein-km 754,5
- > Los 3 von Rhein-km 754,0 bis Rhein-km 811,0
- > Los 4 von Rhein-km 810,5 bis Rhein-km 867,5
- > Los 5 für alle 29 Brücken

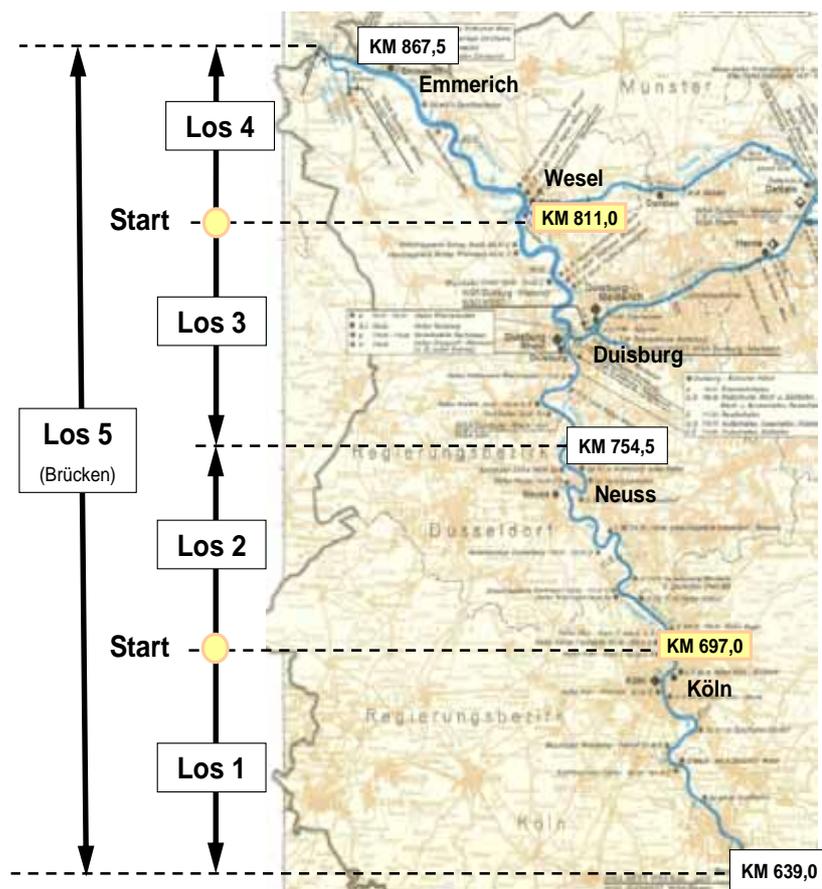


Abb. 4: Aufteilung der Lose für die Gewässerbettdatenerfassung

Aufgrund der unterschiedlichen Leistungsfähigkeit und des teilweise auch sehr unterschiedlichen Leistungswillens einzelner Auftragnehmer war es leider nicht möglich, die Datenaufnahme auf ein möglichst kurzes Zeitfenster von maximal 2 mal 6 Wochen zu beschränken. Ursprünglich waren sowohl für die Vermessung des Hauptstroms als auch der WWZ jeweils 6 Wochen anvisiert. Stattdessen erfolgte die Datenaufnahme von Oktober 2009 bis Oktober 2010 in mehreren Phasen, wobei sich die Aufnahme des Hauptstroms deutlich näher am Zeitziel orientierte als die Aufnahme der WWZ, was zu einem Teil aber auch den seltener auftretenden und hierfür notwendigen höheren Wasserständen geschuldet war.

Trotz der langen Aufnahmezeit konnte dank der umfangreichen Qualitätssicherungsmaßnahmen und des Einsatzes eigener Messschiffe der WSÄ das Projektziel einer „ganzheitlichen“ Aufnahme im Sinne der Auftragsstellung realisiert werden.

Weitere Details hierzu sind dem Beitrag *Großräumige flächenhafte Sohlaufnahmen – DGM-S Niederrhein* (WIRTH & BRÜGGEMANN 2011, S. 37ff.) zu entnehmen.

7 Datenaufbereitung

Neben der Aufnahme der Geländedaten war es Aufgabe des Hauptauftragnehmers, die in den folgenden Unterkapiteln beschriebenen Produkte von teilweise unterschiedlichen Projektteilgebieten zu erstellen. Weitere Details hierzu sind zudem dem Beitrag *DGM-W-Modellierung unter Einbeziehung erfasster Bühnen und Bühnenfelder* (PRINZ 2011, S. 48ff.) zu entnehmen.

7.1 Digitales Geländemodell (DGM-W) und Bruchkanten

Für die Aufstellung des eigentlichen Geländemodells wurden die Aufnahmegebiete in vier unterschiedliche Auswertebereiche unterteilt, die auch Abb. 5 zu entnehmen sind:

- > Fläche DGM1: innerhalb der HQ₅₀₀-Begrenzung
- > Fläche DGM2: innerhalb der HQ_{100/200}-Begrenzung
- > Fläche DBWK2: innerhalb der DBWK2-Blattschnitte
- > Fläche DBWKA: innerhalb der HQ_{100/200}-Begrenzung außerhalb der DBWK2-Blattschnitte

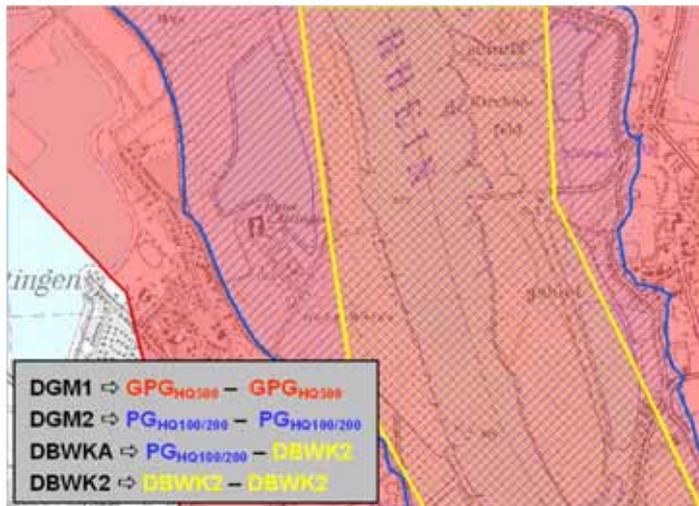


Abb. 5: Projektflächen und -linien für die DGM-W/DBWK-Auswertung

Auf Basis der erfassten bzw. bereitgestellten Daten waren folgende Varianten eines DGM zu modellieren:

- > Modell A: 1m-Quadratgitternetz in der DGM1-Fläche, ohne Gebäude, Lückenschluss durch Interpolation, ...
- > Modell B1: irreguläres Dreiecksnetz (TIN) in der DGM2-Fläche, mit Gebäuden als Quader modelliert, ...
- > Modell B2: wie Modell B1, aber unter morphologischen Gesichtspunkten ausgedünnt in der DGM1-Fläche
- > Modell B3: wie Modell B1, aber unter morphologischen Gesichtspunkten ausgedünnt in der DGM2-Fläche und
- > Modell C: wie Modell B1, aber nur Gebäudeflächen

Sämtliche für die DGM-W-Modellierung zu verwendenden Bruchkanten waren als separater Datensatz und im ArcView-Generate-Format (ASCII) zu liefern.

7.2 Querprofile

Die Querprofile waren auf Basis einer von den WSÄ Köln und Duisburg-Rhein vorgegebenen Querprofilspuren und der Modellvariante B2 bis an die Grenzen des Bearbeitungsgebietes (Fläche DGM1) abzuleiten. Bei der Ableitung war jede Dreiecksseite einzubeziehen und die Ergebnisse in einer Datei im WSV-Punktformat abzuliefern.

7.3 DBWK2

Die Neuherstellung der DBWK erfolgte gemäß den Vorgaben der aktuellen „WSV-CAD-Umgebung“. Innerhalb der DBWK2-Fläche und innerhalb der WSV-Eigentumsgrenzen war eine dreidimensionale Luftbilddauswertung nach Datenmodell, d. h. nach den Objekthauptklassen (Kategorien) Topografie (TOP), Anlagen an Wasserstraßen (ANL), Morphologie (MOR) und Liegenschaften (LIK) vorzunehmen.

Außerhalb der DBWK2-Fläche (Fläche DBWKA) waren insbesondere Gräben, Bäche, Seen, Straßen, Bahnen und befestigte/unbefestigte Wege innerhalb der Objekthauptklasse Topografie (TOP) sowie Böschungslinien (Ober- und Unterkanten) innerhalb der Objekthauptklasse Morphologie (MOR) dreidimensional auszuwerten.

7.4 Orthofotos

Für die Fläche DGM2 waren mit Ausnahme des niederländischen Zusatzgebietes Orthofotos mit folgenden Spezifikationen zu liefern:

- > RGB, 8 Bit Farbtiefe pro Kanal, 8 cm Bodenpixel, Geo-TIFF mit tfw-Datei
- > RGB, 8 Bit Farbtiefe pro Kanal, 20 cm Bodenpixel, Geo-TIFF mit tfw-Datei

Als Datengrundlage waren vorrangig die digitalen Bilddaten der Niedrigwasserbefliegung zu verwenden.

7.5 Bauwerksrekonstruktionen (Buhnen und Parallelwerke)

Im Zusammenhang mit der Bauwerksrekonstruktion waren die vermessungstechnischen, dreidimensionalen Grundlagen für ein Buhnen- und Parallelwerkskataster sowie die dreidimensionalen Buhnen- und Parallelwerksgeometrien für eine zweidimensionale, hydronumerische Modellierung bereitzustellen. Die Bearbeitung erfolgte in jeweils zwei getrennten Bearbeitungsphasen einerseits für die Buhnen (ca. 2000) und andererseits für alle Parallelwerke.

7.6 Rauheitszonierungen

Aus den Orthofotos waren für die Fläche DGM2 Polyflächen zur Charakterisierung der jeweiligen Flächennutzung abzuleiten, gemäß einem vorgegeben Objektkatalog, der sich an den ATKIS-Objektdaten orientiert, zu identifizieren und im ArcGis-Shape-Format sowie im ArcView-Generate-Format zu liefern. Die Flächen aus den ATKIS-Daten waren dabei zu übernehmen und hinsichtlich Lage und Objektart zu klassifizieren. Da sich die ATKIS-Daten auf die Flächennutzung der Vorländer beschränken, waren sie um weitere Rauheitszonen im Uferbereich und im nassen Bereich zu ergänzen, wie z. B. Steinschüttungen und Pflasterungen von Ufern, Buhnen etc. Mithilfe der Orthofotos waren die ATKIS-Daten insbesondere hinsichtlich der natürlichen Vegetationsflächen (Wald, Wiese und Hecken) zu überprüfen und ggf. zu ergänzen, wobei sämtlichen Flächen, die eine Längenausdehnung von 50 m bzw. eine Flächenausdehnung von 20 m² überschritten, zu erfassen waren.

8 Zusammenfassung und Ausblick

Der vorliegende Beitrag (sowohl in Form des Vortrages am 06.04.2011 als auch in Form der hier vorliegenden Textfassung) dient dazu, erste Einblicke aus Sicht der Projektleitung und des späteren Nutzers einer Bauverwaltung in ein umfangreiches Vermessungsprojekt zur

umfassenden und homogenen Datenerhebung und –bereitstellung am gesamten Niederrhein, zu geben. Tieferegehende, fachliche bzw. vermessungstechnische Ausführungen und Erkenntnisse im Rahmen der Projektbearbeitung sind dabei den folgenden Beiträgen zum DGM-W Niederrhein zu entnehmen.

Abschließend lässt sich festhalten, dass das 2008 konzipierte, im Sommer 2009 ausgeschriebene und vergebene und zwischen September 2009 und Spätsommer 2011 durchgeführte Projekt im geplanten Kosten- und Zeitrahmen im Oktober 2011 abgeschlossen werden wird. Neben den erheblichen Synergieeffekten für alle beteiligte Institutionen während der Projektbearbeitung steht dabei vor allem das Endprodukt mit seiner bislang in der WSV nicht erreichten Datenmenge und –qualität im Vordergrund der Betrachtung.

Für zukünftige Projekte gleicher Größenordnung bleibt festzuhalten, dass diese zwar einer großen „Kraftanstrengung“ bedürfen und für die Ämter der WSV nur mit der Unterstützung der Bundesanstalten und hier insbesondere der BfG realisierbar sind. Im Ergebnis werden aber die Ingenieure aus allen Bereichen der WSV inklusive der Oberbehörden auf aktualisierte Daten mit einem bis dahin nicht erreichten Standard zurückgreifen können, die es ihnen ermöglichen werden, die vielschichtigen, komplexen und verantwortungsvollen Aufgaben der Verwaltung aus Betrieb, Unterhaltung und Neubau der Bundeswasserstraßen umsetzen zu können.

Literatur

- BAW, BfG und WSA Duisburg-Rhein: DGM-W Niederrhein – Leistungsbeschreibung Teilauftrag 1: Technische Ausführung der Erfassung der Geländedaten und Erstellung der Nutzerprodukte, Duisburg 07/2009 (unveröff.)
- BAW, BfG und WSA Duisburg-Rhein: DGM-W Niederrhein – Leistungsbeschreibung Teilauftrag 2: Gewässerbettdatenerfassung (LB-Hydrographie), Duisburg 06/2009 (unveröff.)
- BAW, BfG und WSA Duisburg-Rhein: DGM-W Niederrhein – Projektspezifikationen als Anlage zur Leistungsbeschreibung Teilauftrag 2: Gewässerbettdatenerfassung, Duisburg 06/2009 (unveröff.)
- HAASE, A. (2011): Fachliche Umsetzung des Projektes „DGM-W Niederrhein“. In: Veranstaltungen 3/2011, Hrsg. Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz, Mai 2011, S. 27-36
- PRINZ, R. (2011): DGM-W-Modellierung unter Einbeziehung erfasster Buhnen und Buhnenfelder. In: Veranstaltungen 3/2011, Hrsg. Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz, Mai 2011, S. 48-57
- VgV: Verordnung über die Vergabe öffentlicher Aufträge (Vergabeverordnung) in der Fassung der Bekanntmachung vom 11. Februar 2003 (BGBl. I S. 169), die durch Artikel 1 der Verordnung vom 9. Mai 2011 (BGBl. I S. 800) geändert worden ist
- VOF (2009): Verdingungsordnung für freiberufliche Leistungen in der aktuellen Fassung vom 18.11.2009
- VV WSV 2107 (2008) Verwaltungsvorschrift der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes: Aufstellen und Prüfen von Entwürfen, Herausgeber: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung
- WIRTH, H., T. BRÜGGEMANN (2011): Großräumige flächenhafte Sohlaufnahmen – „DGM-S Niederrhein“ – Eine Analyse von Konzept, Ausführung, Qualitätssicherungsmethoden und Ergebnissen. In: Veranstaltungen 3/2011, Hrsg. Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz, Mai 2011, S. 37-47



Kontakt:

Sebastian Messing

Bundesministerium für Verkehr, Bau
und Stadtentwicklung

Referat WS 11

Robert-Schuman-Platz 1

53175 Bonn

Tel.: 0228/ 300 4214

Fax: 0228/ 300 807 4214

E-Mail:

sebastian.messing@bmvbs.bund.de.de

Jahrgang: 1972

1993 – 1998

Studium Bauingenieurwesen an der Universität
Hannover

1999

Wissenschaftlicher Angestellter am Franzius-
Institut der Universität Hannover

2000 – 2002

Referendariat in der Wasser- und Schifffahrtsver-
waltung des Bundes

2002 – 2003

Projektleiter im Sachbereich 4 des WSA Trier

2003 – 2005

Sachbereichsleiter 3 im WSA Stuttgart

2005 – 2006

Sachbereichsleiter 3 im WSA Duisburg-Rhein

2007 – 2011

Leiter der Außenstelle Wesel bzw. Sachbereichslei-
ter 4 der WSÄ Köln und Duisburg-Rhein

seit März 2011

Referent (WS 11) im Bundesministerium für Ver-
kehr, Bau und Stadtentwicklung

Fachliche Umsetzung des Projektes „DGM-W Niederrhein“

Andreas Haase

1 Einleitung

Für das Projekt DGM-W Niederrhein wurden bereits in der Vorbereitungsphase (2008) die Voraussetzungen für möglichst hochwertige Ergebnisse geschaffen. Zur Realisierung und Abwicklung des in dieser Form und Größe nicht alltäglichen Projektes konnten dazu frühzeitig die personellen und finanziellen Ressourcen geschaffen werden. Interdisziplinäre Zusammenarbeit und die Festlegung aktueller Richtlinien zur Einhaltung und Gewährleistung der Qualität standen von Anfang an bei allen Beteiligten im Fokus.

Die Aufgabe der Datenerfassung in den Vorländern und den Bereichen der Wasserwechselzone (die Erfassung des Gewässerbettes wurde gesondert vergeben), Auswertung und Prozessierung dieser Daten sowie die Herstellung der Nutzerprodukte wurden mittels Ausschreibung einer Arbeitsgemeinschaft übertragen. Die Partner dieses Auftragnehmers (AN) sollten jeweils einen der nachfolgenden fünf Leistungsblöcke erbringen:

- > Bildflüge bei Niedrigwasser (NW) und in der vegetationsfreien Zeit bei Mittelwasser (MW)
- > ALS-LIDAR-Laserscanner-Befliegung
- > LIDAR-Datenprozessierung
- > Aerotriangulation, DBWK2-Auswertung und Orthofotoherstellung
- > DGM-W-Modellierung

Die Anforderungen an die Zielprodukte wurden dazu in detaillierte Leistungsbeschreibungen aufgenommen, Zielgrößen, Gebiete und Flächen definiert. Mit Blick auf diese konkreten Vorgaben wurden die Konzepte der Anbieter zur technischen Realisierung begutachtet und die Aufträge im August 2009 vergeben. Zum Einsatz kamen und kommen die derzeit aktuellsten Techniken.

2 Datenerfassung durch Befliegungen

2.1 Bildflug bei Niedrigwasser (NW, Fläche G3)

Befliegungen bei sehr niedrigen Wasserständen ermöglichen es, die dann trocken gefallen Flächen in den Wasserwechselzonen aufzunehmen. Zusammen mit den ufernahen Vorlandbereichen erfolgt die Erfassung in Form digitaler Luftbilder lückenlos und in kurzer Zeit.

Die geeigneten Bedingungen dazu (einzuhaltende maximale Wasserstände an bestimmten Pegeln und die erforderlichen „guten“ Flugwetterlagen) traten bereits kurz nach der Vergabe des Auftrags im Spätsommer 2009 erstmalig ein und wurden konsequent genutzt.

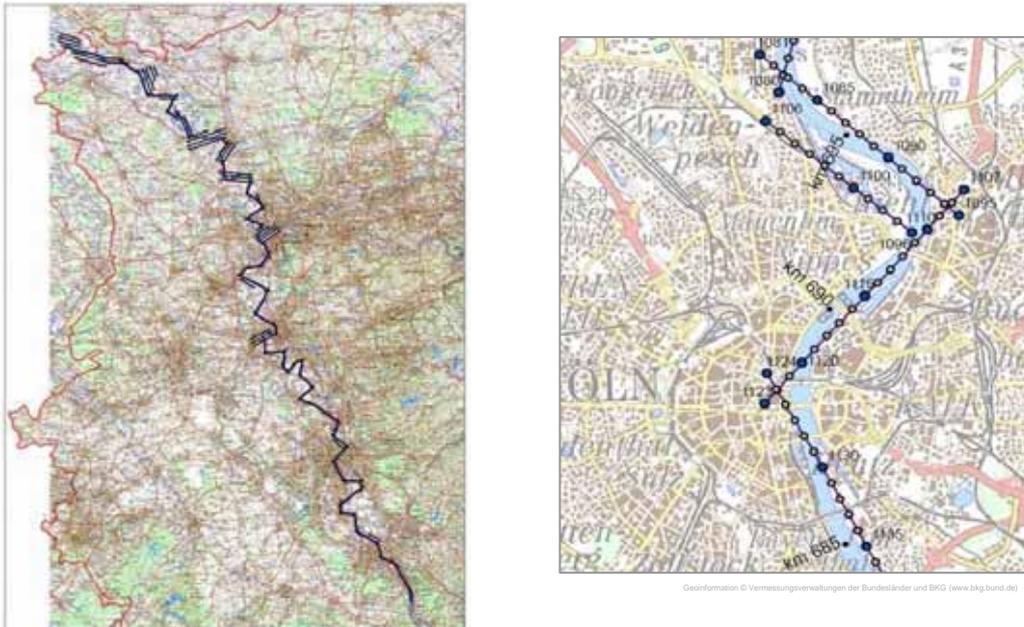


Abb. 1: Anordnung der Flugstreifen (links) und Ausschnitt der Bildmittenübersicht (rechts) nach erfolgtem Flug für das Gebiet G3

Im Nachhinein ist festzustellen, dass bei diesem Flug, der bei optimalen Bedingungen am 18./19. September 2009 stattfand, hervorragendes Bildmaterial aufgezeichnet wurde und somit ausgezeichnete Grundlagen für die weiteren Bearbeitungen geschaffen werden konnten. Es wurden in 83 Flugstreifen (s. Abb. 1) insgesamt 1324 digitale Luftbilder aufgenommen, wobei die Bodenauflösung (ground sampling distance, GSD) von 8 cm für eine hohe Detailerkennbarkeit sorgt.

Der Wasserstand zur Befliegungszeit lag ca. 5 - 15 cm unterhalb der Vorgaben, sodass diese umfangreich erfüllt wurden. Die absolut guten Ergebnisse sind in Abb. 2 erkennbar.



Abb. 2: Trocken gefallene, optimal erkennbare Bühnenfelder im September 2009

2.2 Bildflug bei Mittelwasser (MW, vegetationsarme Zeit, Fläche G2)

Gegenüber der Niedrigwasserbefliegung konnte die Befliegung in der vegetationsfreien Zeit im Frühjahr 2010 nicht komplett unter optimalen Bedingungen erfolgen. Nach der langen Schneeperiode fand die Befliegung erst am 02. und 10. April statt. Wegen der schon beginnenden Vegetationsphase wurden zudem Kompromisse eingegangen, weil dieser Flug auf jeden Fall im Frühjahr 2010 realisiert werden sollte:

- > Die Wasserstandsvorgaben wurden etwas „aufgeweicht“, d. h. der Flug wurde auch 30 cm über den Pegelwertvorgaben (MW) zugelassen und freigegeben.
- > An beiden Flugtagen gab es teils starke Wolkenbildung, sodass in einigen Abschnitten Wolkenschatten auftraten, die insbesondere für Orthofotos unschön sind. Sie beeinträchtigen die weiteren Bildauswertungen (DBWK2, Bruchkanten) aber kaum.
- > Im Teilblock Düsseldorf gab es von der Flugsicherung keine Freigaben. Deshalb musste der Flug für einen Teilblock nach einer geänderten Flugplanung erfolgen, glücklicherweise in niedrigerer Flughöhe, d. h. mit einer GSD von 6 cm.

In der Summe wurden hier 2224 Bilder in 80 Flugstreifen (geplant waren 70) aufgenommen.

2.3 ALS-LIDAR-Flug bei Mittelwasser (MW, vegetationsarme Zeit, Fläche G1)

Mit der dritten Befliegung wurde die größte Fläche G1 (Vorland, s. Abb. 3) durch Laserscanning erfasst, d. h. es wurden keine Luftbilder, sondern eine Punktwolke aufgezeichnet.

Fluggeschwindigkeit [m/s]	51.444	min. Rohpunktdichte [dot/m²]	6.225
normale Streifenbreite [m]	692.122	max. Rohfläche [m²/dot]	0.161
bewegte Streifenbreite [m]	692.820	Punktdichte nach Scanning [dot/m²]	5.914
Flugspurabstand [m]	300.052	Fläche nach Scanning [m²/dot]	0.169
Flugstreifen-Querüberlappung [%]	56.6	Punktdichte nach Postprocessing [dot/m²]	5.619
Laserpulse ges./Flugstreifen	2400	Fläche nach Postprocessing [m²/dot]	0.178



Abb. 3: Parameter der Laserscanner-Befliegung (links) und Blockübersicht G1 (rechts)

Auch die Laserscanneraufnahme konnte wegen der Schneeperiode zu Anfang 2010 erst am 11.03. beginnen und wurde dann vom 17. - 24.03.2010 fortgesetzt.

Während der 8 Flugtage (21 Sessions) wurden in der Summe 419 Flugstreifen in Tag- und Nachtflügen durchgeführt. Entsprechend den Vorgaben summiert sich die Anzahl der Punkte insgesamt auf fast 12 Milliarden, d. h. im Durchschnitt stehen mehr als 6 Punkte pro Quadratmeter für die weiteren Anwendungen bereit.

3 Datenverarbeitung und Datenmodellierung

3.1 Aerotriangulationen

Die für Auswertezwecke erforderlichen Orientierungen der Luftbilder wurden mittels Aerotriangulationen ermittelt. Die besonderen Anforderungen stellen hier die Verknüpfungen paralleler Streifen dar, weil sich die gemeinsame Deckungsfläche oft direkt über die Wasseroberfläche des Rheins erstreckt. Wo nahezu keine identischen Punkte existieren, sind automatische Verfahren kaum optimal einsetzbar und der Operateur muss eingreifen. Abgesichert werden die Messungen dabei durch eine größere Anzahl von Passpunkten, als es in Standardfällen erforderlich wäre.

Unterstützt werden die Blockausgleichungen ferner durch die Verwendung der beim Flug erfassten DGPS/INS-Orientierungsdaten. Trotz des Sonderfalles, dass im G2-Block Bilder mit unterschiedlichen Auflösungen verwendet wurden, sind die erzielten Ergebnisse beider Blöcke gut und auch auf einen vergleichbar hohen (manuellen) Kontrollaufwand zurückzuführen. Die Ergebnisse sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

Tabelle 1

Resultate der Aerotriangulationen für die Luftbildbefliegungen NW (G3) und vegetationsfrei (G2)

	Niedrigwasser (G3 Fläche)	MW vegetationsfrei (G2 Fläche)
Anzahl Flugstreifen	83	80
Anzahl Bilder	1324	2224
GSD	8 cm	6 und 8 cm
DGPS/INS-Daten	für alle Bilder	für alle Bilder
Anzahl Passpunkte	228 (217 VPP, 2 LPP, 9 HPP)	370 (350 VPP, 3 LPP, 16 HPP, 1 Check)
Standardabweichungen a priori	3 cm / 4 cm / 2 µm / 3 µm Lage/Höhe/Bildpunkte autom./man.	3 cm / 4 cm / 2 µm / 3 µm
Sigma Null	0,7 [µm]	0,8 [µm]
Anzahl Bildpunkte	152155	161462
Restklaffen Passpunkte	Ø < 4 cm (Lage + Höhe)	Ø < 4 cm (Lage + Höhe)

3.2 Georeferenzierung und Klassifizierung der Laserscandaten

Profitieren konnte im ersten Schritt die Vorabgeoreferenzierung der Flugstreifen von den beim Flug erzielten GPS-Lösungen, die als sehr gut bis optimal bewertet wurden. Unter Verwendung der terrestrisch bestimmten Passflächen konnten die Streifendifferenzen bei dieser Vorabgeoreferenzierung schon auf ca. 10 cm beschränkt werden.

Die eigentliche Feingeoreferenzierung setzt auf den zuvor erzielten Ergebnissen auf und generiert in einem strengen, mathematisch-statistischen Ausgleichungsverfahren eine simultane Streifenanpassung. Mit diesem speziellen Verfahren wurde die Georeferenzierung der Streifen nochmals verbessert und die Differenzen auf die Genauigkeit der Lasermessung (Erfahrungswerte) in einen Bereich von 4 - 5 cm reduziert.

Die Klassifizierung der Punktwolke erfolgt in einer halbautomatischen Prozesskette, wobei zuerst automatische Techniken (Filter) ablaufen, welche die Punkte den entsprechenden Klassen zuordnen. Danach wird die „Intelligenz“, d. h. die Erfahrung und die Interpretationsfähigkeit von Auswertern eingesetzt, um die automatischen Klassifizierungen zu prüfen, zu korrigieren oder zu bestätigen. Folgende Klassen sind verlangt:

- > Bodenpunkte (mit Wasseroberflächen)
- > Vegetation + Gebäude (Oberflächenpunkte)
- > Bauwerke (Buhnen, Widerlager, Schleusenanlagen, ...)
- > Brücken

Während die Punkte in den ersten beiden Klassen größtenteils automatisch zugeordnet werden konnten, sind Brücken und Bauwerke nur manuell zu klassifizieren.

3.3 DBWK2, DBWK-A und Bauwerkskataster

Die Luftbilder beider Befliegungen wurden für die Auswertung der DBWK verwendet. Zur Neuherstellung der Karten der DBWK2 wie auch der DBWK-A Bruchkanten sind überwiegend die Inhalte des MW-Fluges (vegetationsfrei) ausgewertet worden. Ergänzt wurden diese durch Messungen in den trocken gefallen Bereichen des NW-Fluges.

Bei der Auswertung in den Niedrigwasser-Bildern werden auch die relevanten Punkte der Buhngeometrien für das Bauwerkskataster gemessen und die Achsen festgelegt.

Feldvergleiche und CAD-Bearbeitungen vervollständigten die Bearbeitungen der DBWK2. Im letzten Schritt wurden die Buhnencharakteristika und 3D-Geometrien für das Bauwerkskataster automatisch aus den Messungen abgeleitet.

3.4 DGM-W-Modellierung

Für die DGM-W-Herstellung stehen die in den vorherigen Abschnitten erfassten und zugeliferte Datensätze zur Verfügung, die gemeinsam modelliert werden (s. auch Abb. 4):

- > photogrammetrisch erfasste Bruchkanten der DBWK-A Flächen (d. h. Kanten von Gräben, Buhnen, Böschungen usw.)
- > ALS-LIDAR-Punkte (nur Bodenpunkte, ohne Wasseroberflächen)
- > Gewässerpeilungen (zugeliefert, für Hauptstrom und Buhnenfelder)
- > Gebäudequader (zugeliefert, in Teilen aktualisiert)

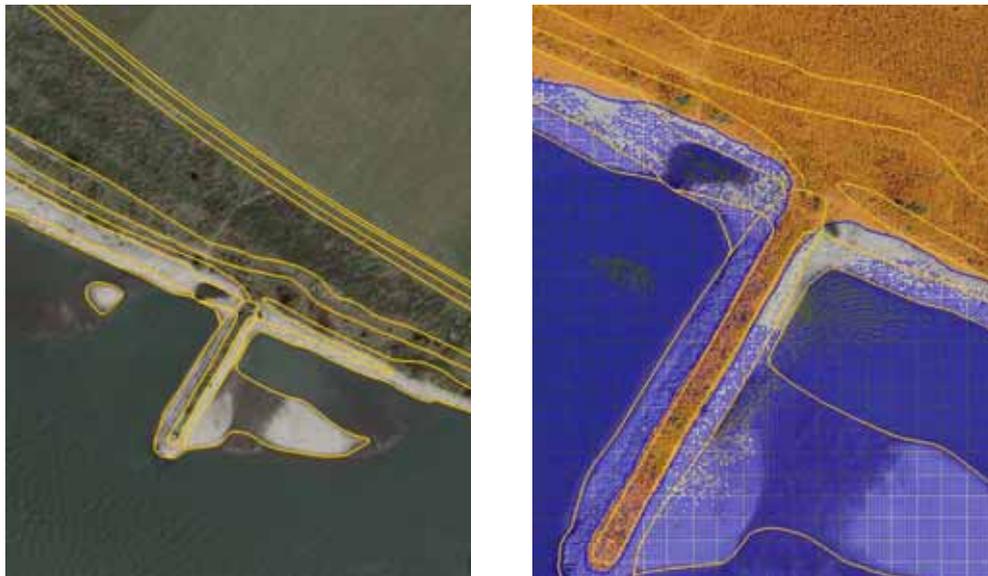


Abb. 4: Daten zur DGM-W-Modellierung: Bruchkanten des NW-Fluges (links), zusätzlich LIDAR-Punkte der Klasse Boden (rechts, braun) – bereinigt um die Wasseroberflächenpunkte an der WLK (rechts, blaue Linie), zusätzlich Punkte der Gewässerpeilungen (rechts, blau).

Aus diesen Input-Daten wird das Modell A (1 m Raster) als „Grundmodell“ berechnet.

3.5 Orthofotoherstellung

Zur Erstellung der Orthobilder wurden die orientierten Luftbilder auf ein exaktes DGM, bestehend aus ALS-Punkten und den gemessenen Bruchkanten, entzerrt. Zusätzlich wurden Kaimauern, Spundwände und insbesondere Brücken bzgl. ihrer korrekten Lage und Darstellung überprüft und ggf. vorhandene Artefakte bestmöglich korrigiert. Im gewässernahen Bereich sollte dazu eine annähernd „True-Ortho“ vergleichbare Qualität angestrebt werden, u. a. durch eine manuelle Schnittkantenanpassung,

Die Bodenauflösung des für die HQ_{100/200}-Fläche erzeugten Orthofotomosaiks beträgt 8 cm und entspricht damit der Auflösung der Bildflüge.

Etwas außergewöhnlich ist die hier verwendete Kombination von „belaubten“ und „unbelaubten“ Luftbildern aus beiden Flügen, gut zu erkennen in der Abb. 5. Das „Mosaiken“ stellt hier eine ganz besondere Herausforderung an den Operateur dar.



Abb. 5: Das besondere an diesem Orthofoto ist die Kombination aus Bildern des NW-Fluges (belaubt) und aus Bildern der unbelaubten MW-Befliegung. Im obigen Bild ist dies für den geschickten Betrachter gut erkennbar: rechts oben ist belaubt, links unten nicht. Zudem ist die unterschiedliche Sonneneinstrahlung am Schattenwurf erkennbar.

4 Datenlieferung und Datenabnahme

4.1 Luftbilder

Neben dem Nutzerprodukt digitales Orthofoto werden ebenfalls die für Stereomessungen erforderlichen Luftbilder der Flüge geliefert. Die Lieferung umfasst:

- > 3548 originale 24 bit Tiff-Bilder (jede Datei > 1 GB) beider Bildflüge
- > DGPS/INS-Daten
- > Passpunkte (Dokumentation, incl. Fotos und Koordinaten)

Sowie die Ergebnisse der Aerotriangulation:

- > Bildorientierungen (für Basis- und Nebensystem, versch. Formate) für alle Bilder

Prüfung und Abnahme erfolgten durch den Verfasser im Auftrag der BfG.

4.2 Laserscanning (ALS-LIDAR)

Gemäß Leistungsbeschreibung sind die Daten in umfangreichen Varianten zu liefern. Dies betrifft neben den klassifizierten Daten (Produkte) auch die Originaldaten, womit die Möglichkeit gegeben ist, im Nachhinein auch noch andere in den Daten befindliche Informationen zur Verfügung zu haben. Es werden geliefert:

- > Originaldaten in GK2 und ETRS89/UTM (Produktname LILPOgeo)
- > streifenweise und gekachelt
- > klassifizierte Daten als gekachelte ASCII- und LAS1.1-Dateien (LILPKbod)

Die Prüfung und Abnahme erfolgt durch den Kooperationspartner GEObasis.nrw (Bezirksregierung Köln).

4.3 DBWK2

Die DBWK2-Daten werden in altbewährter Manier als MicroStation DGN in 10 km-Abschnitten geliefert. Die Mittelwasserlinie und weitere Buhngeometrien werden erst nach Vorliegen des neuen DGM-W berechnet und zusätzlich eingearbeitet.

Prüfung und Abnahme erfolgen durch die Wasser- und Schifffahrtsdirektion West.

4.4 Orthofotos

Für die Fläche DGM2 (HQ_{100/200}) erfolgt die Lieferung der DOP08rgb gekachelt für Basis- und Nebensystem; zusätzlich wird im Blattschnitt der DBWK2 das Produkt DOP20rgb aus den 8cm DOP generiert und bereitgestellt.

Erste Ergebnisse nach Prüfung der gelieferten Daten lassen ein sehr zufriedenstellendes Ergebnis erwarten. Prüfung und Abnahme erfolgen durch die Wasser- und Schifffahrtsdirektion West.

4.5 Bauwerkskataster

Achsen und Geometrien von Buhnen und Parallelwerken werden als MicroStation 3D-DGN geliefert. Aus den Messdaten werden automatisch die charakteristischen Parameter abgeleitet und als xls-Tabellen geliefert. Ferner werden auch Daten für WADABA und GEOBAS aufbereitet. Die Abnahme wird durch das Wasser- und Schifffahrtsamt Duisburg vorgenommen.

4.5 DGM-W und Querprofile

Die aus dem modellierten DGM-W abzuleitenden und zu liefernden Produkte und Modelle (Abb. 6 stellt die beiden unterschiedlichen „Modellarten“ dar) sind:

- > Modell A: 1 m-Raster, gekachelt, Fläche HQ_{100/200}, ASCII xyz und ASCII grid
- > Modell B1: TIN, Dreiecksvermaschung, Basis ist Modell A, mit zusätzlichen Bruchkanten und mit Gebäudequadern, nicht ausgedünnt, Format AVS-UCD

- > Modell B2: TIN, morphologisch ausgedünnt, ohne Gebäude (für HQ₅₀₀-Fläche!)
- > Modell B3: TIN, ausgedünnt, mit Gebäuden (Produkt DGMWB3TN)
- > Modell C: TIN, nur Gebäudequader
- > Bruchkanten („Input“-Daten für das Modell): Format 3D-DGN und Shape
- > Querprofile: WSV-Punktformat



Abb. 6: Modelle A (links) und B2 (rechts). Das Modell A ist ein regelmäßiges 1m-Punktraster und kann auch als farbkodiertes „Grid“ dargestellt werden (linker Bildteil). Beim ausgedünnten TIN des Modells B2 sind deutlich „homogene“ Flächen (=wenige und große Dreiecke) und heterogene Strukturen (viele kleine Dreiecke) erkennbar.

Die Abnahme der DGM-W-Modelle erfolgt gemeinsam durch die BAW und die BfG.

5 Abnahmen der Ergebnisse

Aufgrund der sehr umfangreichen Datenerfassungen, der gesamten Datenbearbeitungen und der Lieferungen des AN werden auch an Prüfung und Abnahme erhöhte Anforderungen gestellt. Die Abnahmeergebnisse werden speziell und gezielt dokumentiert, wobei zu unterscheiden ist zwischen

- > Qualitäts- und Vollständigkeitsnachweisen (QS-Nachweise) des AN
- > Berichten des AN
- > Liefer- und Abnahmetabellen (hier durch den Verfasser erstellt) der BfG

Als Nachweise des AN sind insbesondere z. B. die Schummerungsdarstellungen der ALS-Befliegung (s. Abb. 7) zu nennen, mit denen die Vollständigkeit der Erfassungen visuell nachgewiesen wird. Zusätzlich zu den QS-Nachweisen sind auch die Berichte des AN zu den einzelnen Teilprojekten wichtig, um die Zusammenhänge zwischen Erfassung und Verarbeitung auf der einen und den Abnahmen durch den Auftraggeber auf der anderen Seite, darzustellen.

Als erste Resultate aus den bisherigen Abnahmen sind zu nennen:

- > Die Erstlieferungen des AN sind selten fehlerfrei!
- > Die Vollständigkeit von Einzellieferungen ist meist gegeben.
- > Geprüfte (!) automatische Verfahren sind fehlerfreier.
- > Der von den AN eingesetzte Prüfungsaufwand ist zu gering!

Die Prüfungen und Abnahmen der gelieferten Daten haben zeitgleich mit den ersten Erfassungen begonnen. Der Aufwand für die Leistungen kommt einem Full-time Job gleich und beträgt von Anfang bis Ende ca. 2 Jahre. Anhand der festgestellten Problematiken ist für die Abnahme auch unbedingt qualifiziertes Personal erforderlich und einzusetzen.

In diesem Zusammenhang hat sich die Durchführung der Leistungsphase 1 (s. auch S. 7) absolut bewährt!



Abb. 7: Schummerungsdarstellung der ALS-Punktwolke als Nachweis der Vollständigkeit. Dargestellt ist der Bereich der Kölner Innenstadt beidseitig des Rheins.

Beim Vergleich mit anderen, in dieser Größenordnung vergleichbaren, DGM-W-Projekten ist festzustellen, dass auch bei diesen ähnliche Problematiken und Häufigkeiten auftreten, die aber teils andere Fehlerquellen oder –ursachen haben können.

6 Zusammenfassung und aktueller Projektstand

Die erreichten Qualitäten der abgelieferten Ergebnisdaten sind als ausgesprochen gut zu bezeichnen. Allerdings wären ohne den aufgewendeten hohen Prüfungsaufwand die Produkte oft nicht mängelfrei!

Der Qualitätssicherungsaufwand beim AN wird überwiegend noch nicht ausreichend durchgeführt.

Der aktuelle Stand des Projektes im April 2011: Die derzeitigen Lieferungen umfassen die fertigen DBWK2-DGN, die DOP und die ersten hergestellten DGM-W-Modelle.

Die vermutliche Fertigstellung wird im Oktober 2011 erfolgen.

Literatur

Aufbau eines Digitalen Geländemodells des Niederrheinwasserlaufes (DGM-W Niederrhein)
Leistungsbeschreibung AN1, BfG Koblenz, LB-AN1_DGMW-NR_2009-07-03.pdf,
mit zusätzlichen Anlagen (unveröff.)



Kontakt:

Dipl.-Ing. Andreas Haase

RMK

Breite Str. 32

29221 Celle

Tel.: 05141/ 9060 68

Fax: 05141/ 9060 30

E-Mail: haase@rmkconsult.de

www.rmkconsult.de

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: Rahmenvereinbarung über Ingenieurleistungen im Zusammenhang mit Projekten der Bundesanstalt für Gewässerkunde zur Bereitstellung von Geobasisdaten

Großräumige flächenhafte Sohlaufnahmen – „DGM-S Niederrhein“

Eine Analyse von Konzept, Ausführung, Qualitätssicherungs-
methoden und Ergebnissen

Harry Wirth und Thomas Brüggemann

1 Einleitung

Im Bereich der Wasser- und Schifffahrtsämter Köln und Duisburg-Rhein sollten die geodätischen Basisdaten flächendeckend zwischen Bonn und Emmerich (Niederrhein, km 638 - 867) erneuert werden.

Die Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) hat bei der Erstellung des Geländemodells der Sohle (DGM-S) mit hydrographischen Messmethoden mitgewirkt. Ziel der BfG war es, das technisch Machbare zu erproben, die Möglichkeit der Standardisierung zu betrachten und dabei das technisch Notwendige zu ermitteln.

2 Definition der Anforderungen

Im Rahmen der Projektplanung wurden die bisherigen Anforderungen der WSV und der Bundesanstalten für Gewässerkunde und für Wasserbau an die Gewässerbettdaten analysiert und aktualisiert:

- > Die Sohle sollte quasi in stationärem Zustand, d. h. möglichst ohne Veränderungen durch Geschiebetrieb („Momentaufnahme“) aufgenommen werden.
- > Um den Trend der morphologischen Entwicklung präziser ableiten zu können, wird die vollständige Gewässerbettgeometrie bis zur Wasser-Land-Grenze benötigt (insbesondere die Bühnenfelder).
- > Die besser werdende Auflösung der hydraulischen 2D-Modelle (z. B. für Fragestellungen der Morphodynamik) verlangt ebenso wie die Morphologie adäquate geometrische Eingangsdaten in Form von flächenhaften, genaueren und homogenen digitalen Sohlmodellen.
- > Für die Ableitung eines Bauwerkskatasters müssen die Objekte in der Wasserwechselzone (WWZ) flächenhaft und vollständig aufgenommen werden.

Aus den neuen Anforderungen wurden folgende Qualitätsmerkmale für das DGM-S Niederrhein abgeleitet:

- > Das DGM-S sollte überregional, großräumig und flächenhaft mit homogener Genauigkeit und Aktualität erstellt werden.
- > Im Rahmen des Modellprojekts sollte ein umfassender Nachweis der erreichten Genauigkeit erfolgen.
- > Das DGM-S sollte für die geplante Vereinigung zu dem Gesamtmodell des Wasserlaufs (DGM-W) eine Auflösung von $1 \times 1 \text{ m}^2$ haben. Im Bereich von Buhnen sollten Modelle mit einer Auflösung von $0,5 \times 0,5 \text{ m}^2$ erstellt werden, damit daraus Bruchkanten und sogenannte WPA-Buhnen¹ abgeleitet werden konnten.

Um im Produktionsprozess Fehler zu verhindern bzw. frühzeitig zu entdecken und ggf. beseitigen zu können, bedarf es des Einsatzes von Qualitätssicherungsmaßnahmen, sowohl bei den Auftragnehmern (AN) als auch für den Abnahmeprozess durch den Auftraggeber (AG). Auf Basis der für die WSV geltenden Standards für die Gewässervermessung (aQuaSM) wurde von der BfG für Vergaben eine allgemeingültige Methodik entwickelt und – soweit erforderlich – an die örtlichen Gegebenheiten des Projekts angepasst.

3 Projektentwicklung

Das Gesamtprojekt wurde vom Wasser- und Schifffahrtsamt (WSA) Duisburg-Rhein, Sachbereich 4, für beide Niederrhein-Ämter geleitet. Das WSA hat den Aufgabenbereich Gewässervermessung im Referat Geodäsie der BfG mit der fachtechnischen Realisierung des DGM-S beauftragt.

Die BfG hat den Projektablauf (Vorgänge und Aufgabenverteilung) geplant und mit dem WSA abgestimmt. Ein nicht unerheblicher Teil der Projektdurchführung musste durch Leistungen freiberuflich tätiger Ingenieure bearbeitet werden. Aufgrund der knappen Personalkapazitäten hat die BfG gleichfalls die Ausführung von Teilen ihrer Aufgaben vergeben.

3.1 Messstrategie

Das Projekt DGM-S umfasste 229 Stromkilometer, die in fünf Lose unterteilt wurden. Die ersten vier Lose deckten jeweils einen Flussabschnitt von ca. 58 km ab und das fünfte Los alle 29 Brücken des gesamten Projektgebietes. Die Wasserfläche wurde in die Teilgebiete Fahrwasser und Wasserwechselzonen untergliedert, weil die Daten in den Teilgebieten mit unterschiedlichen Messstrategien erhoben werden müssen.

Die Messungen waren so auszuführen, dass sich die Messungen des Fahrwassers und der Wasserwechselzonen, der einzelnen Tagesleistungen innerhalb eines Loses sowie der benachbarten Lose überlappten. Die Messungen sollten in allen Losen zeitgleich an den definierten Startpunkten (siehe Abb. 1) beginnen. Dadurch wurde die Grenze zwischen Los 2 und Los 3 nahezu zeitgleich erreicht, was wiederum die Vergleichbarkeit der Messungen sicherstellen sollte.

¹ Eine Buhne wird durch ein definiertes Längsprofil über den Buhnenrücken und weitere Querprofile abgebildet. Die Elemente der Buhne werden im WPA (Wasserstraßenpunktart)-Format beschrieben.

Die Messungen des Fahrwassers und der Wasserwechselzonen sollten bei festgelegten Wasserständen durchgeführt werden. Bei der Festlegung des Wasserstandes musste ein Kompromiss zwischen den bei höheren Wasserständen zu erwartenden, aber unerwünschten morphologischen Veränderungen (Geschiebetransport) und der sich durch höheren Wasserstand verbesserten Wirtschaftlichkeit der Messsysteme² eingegangen werden:

- > Fahrwassermessung zwischen Ausbaumittelwasserstand (AMW) -1,0 m und AMW+1,0 m
- > Vermessung der Wasserwechselzonen (Bereiche mit Buhnen und die Flachwasserbereiche) zwischen AMW+2,0 m bis zur Hochwassermarke II

Das Fahrwassers sollte innerhalb von maximal 6 Wochen zeitgleich flächenhaft mit Fächerlotsystemen vermessen werden.

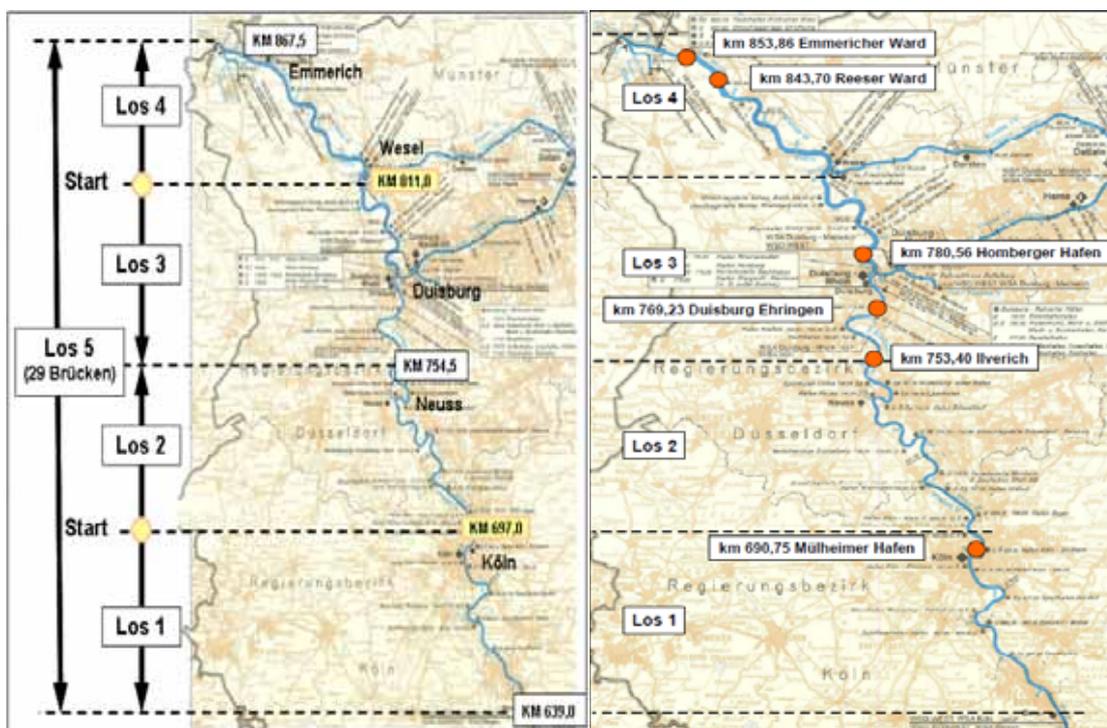


Abb. 1: Projektübersichtsplan DGM-S Niederrhein Abb. 2: Lage der Prüfplatten im Projektgebiet

3.2 Qualitätssicherungskonzept

Der Erfolg des Projekts hing zu großen Teilen davon ab, dass der Messzeitraum minimiert und von allen AN eingehalten wurde. Eventuelle Mängel mussten deshalb direkt im Anschluss an die Lieferungen (innerhalb einer Woche) erkannt werden, so dass noch die Möglichkeit zur Nachbesserung blieb.

Eine einheitliche Genauigkeit ist insbesondere bei mehreren Ausführenden nur zu erreichen, wenn systematische Fehler konsequent aufgedeckt und korrigiert werden. Dafür wurden

² Der von einem Fächerlot überdeckte Sohlbereich entspricht ca. der 6fachen Wassertiefe. Je tiefer das Wasser, um so effizienter ist das Vermessungssystem.

Prüfeinrichtungen benötigt, wobei die Prüfplatten und die Örtlichkeit bestimmten Anforderungen genügen müssen. Beispielsweise darf von den Prüfeinrichtungen weder eine Gefährdung für die Schifffahrt ausgehen, noch die Schifffahrt den Gebrauch der Prüfeinrichtung verhindern. Für jedes Los sollten die Prüfeinrichtungen leicht erreichbar sein, deshalb wurden über den gesamten Projektbereich verteilt Prüfplatten benötigt (siehe Abb. 2).

Außerdem wurde vertraglich vereinbart, dass der AG auf den Messschiffen des AN unangekündigt Kontrollen vor Ort durchführen kann. Dabei sollte überprüft werden, ob die in den Einsatzplänen angegebenen Messgeräte und das entsprechende Personal auch tatsächlich eingesetzt werden.

Das Qualitätssicherungskonzept umfasst weitere Komponenten, auf die hier nicht weiter eingegangen wird, wie:

- > Nachweis der Qualifikation des Personals
- > allgemeine Dokumentationspflicht der QS der AN im Abschlussbericht
- > Kontrollmessungen durch das WSA
- > Abstimmungsgespräche zwischen AG und AN
- > Festlegung der Kommunikationswege

3.3 Durchführung der Messungen und Abnahmen

Die Firmen haben jeweils für die ca. 58 km langen Messabschnitte im Bereich des Fahrwassers netto zwischen 16 und 20 Messtage benötigt, was einer Tagesmessleistung von ca. 2,9 bis 3,6 Strom-km entspricht. Insgesamt wurden im Bereich des Fahrwassers ca. 6 Milliarden Messwerte erzeugt.

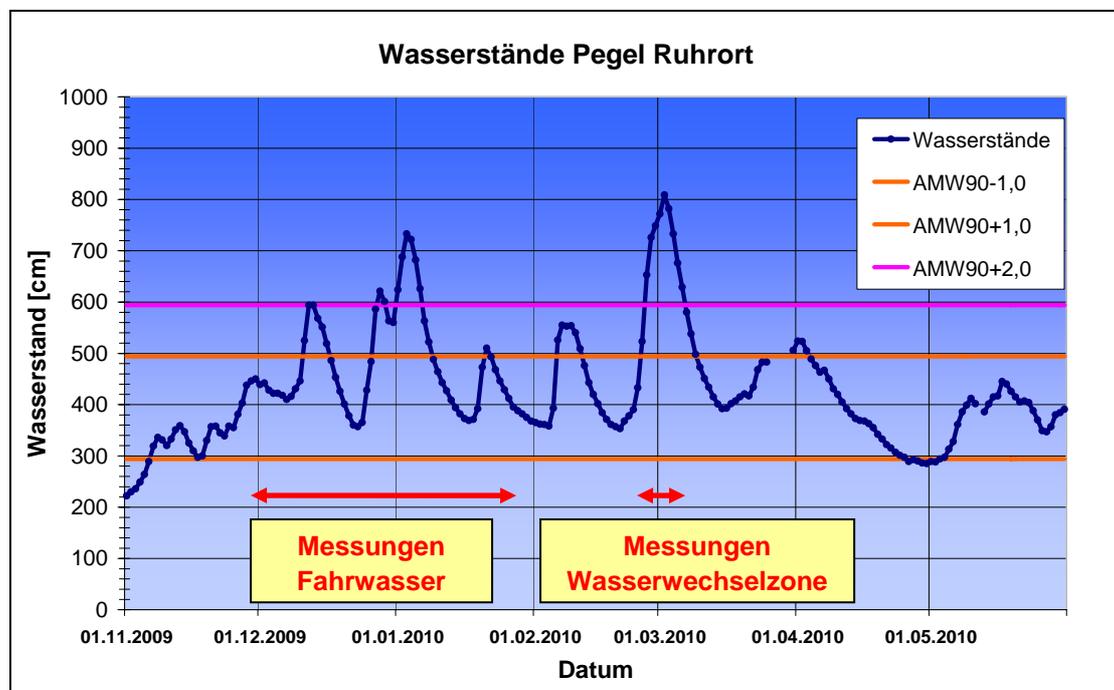


Abb. 3: Wasserstände am Pegel Ruhrtort

Für die Messungen der Wasserwechselzonen stand aufgrund der vorgegebenen Wasserstände nur im März 2010 ein Zeitfenster von 7 Tagen zur Verfügung (siehe Abb. 3). In diesem Zeitfenster konnten ca. 75 % der Wasserwechselzonen erfasst werden. Da zu diesem Zeitpunkt davon auszugehen war, dass die zunächst geforderten sehr hohen Wasserstände ($> \text{AMW}+2,0 \text{ m}$) voraussichtlich nicht noch einmal im geplanten Projektzeitraum auftreten, wurden im Mai 2010 mit allen Auftragnehmern vereinbart, die Messungen in den Wasserwechselzonen bei etwas niedrigeren Wasserständen ($\text{AMW}+1,0 \text{ m}$) durchzuführen.

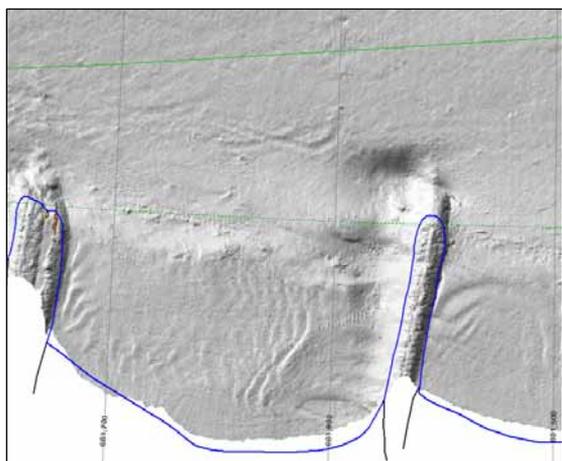


Abb. 4: Schummerungsdarstellung im Bereich der WWZ

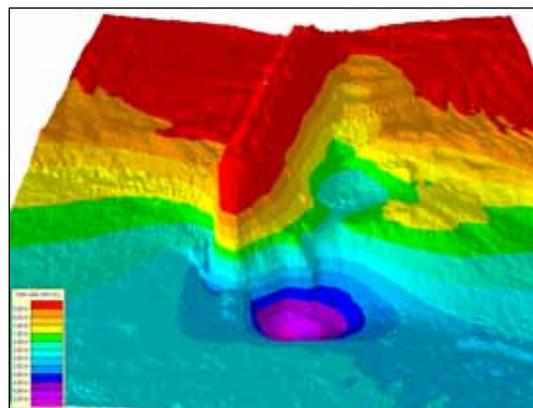


Abb. 5: 3D-Darstellung einer Buhne

Da die Wasserstände im März 2010 zeitweise mit $\text{AMW}+4,0 \text{ m}$ deutlich über den vereinbarten Mindestwasserständen für die Vermessung der Wasserwechselzonen ($\text{AMW}+2,0 \text{ m}$) lagen, konnten die Buhnen durch die AN bei der Messung vollständig überfahren werden (siehe Abb. 4 und Abb. 5). Dadurch war eine lückenlose flächenhafte Erfassung der Buhnen und der Buhnenfelder oft bis zur MW-Uferlinie möglich.

Aufgrund der in den Nachverhandlungen vereinbarten geringeren Mindestwasserstände konnten in den restlichen Bereichen nur noch die Buhnenköpfe und der vordere Bereich der Buhnenfelder erfasst werden (siehe Abb. 6).

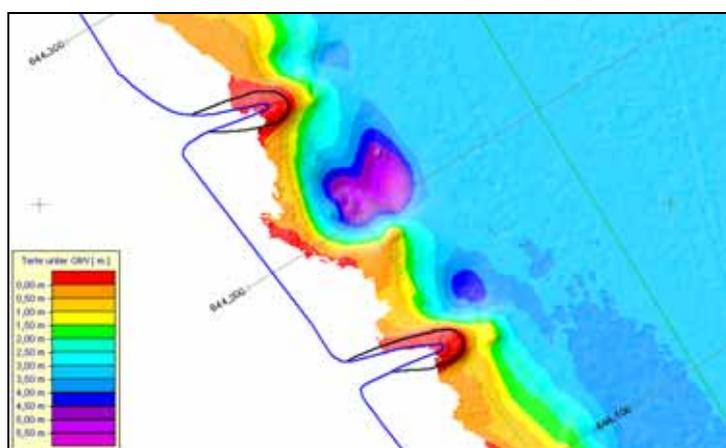


Abb. 6: Buhnenerfassung bei niedrigen Wasserständen

4 Projekt-Review

In einem Projekt-Review war zu bewerten, ob das vermessungstechnische Lösungskonzept für überregionale flächenhafte Sohlaufnahmen auf andere Wasserstraßenbereiche grundsätzlich übertragbar ist, bzw. ob das praktizierte Verfahren schon als standardisierte Vorlage bei der Vergabe von überregionalen flächenhaften Vermessungen anwendbar ist.

4.1 Prüfung der standardisierten Leistungsbeschreibung

4.1.1 Eignung der eingesetzten Fächerlote

Bei den Prüfungen zur Abnahme fiel unmittelbar zu Beginn auf, dass die mit R2Sonic-Fächerloten gewonnenen Daten in den Überlappungsbereichen mit systematischen Fehlern behaftet waren.

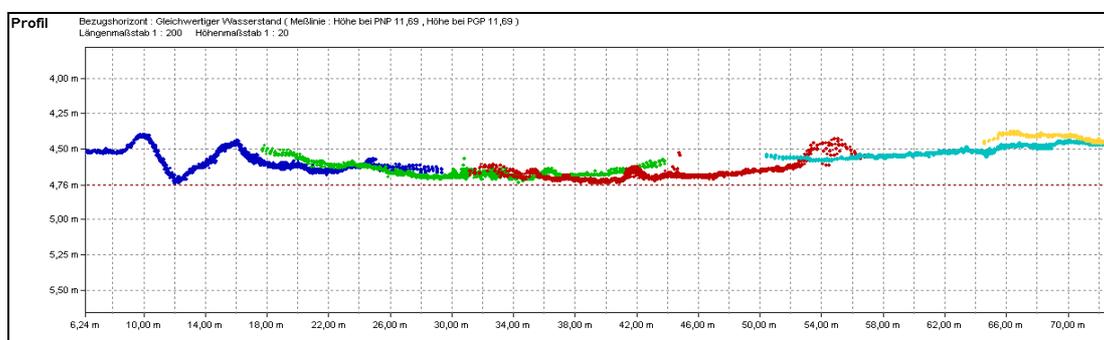


Abb. 7: Problem bei R2Sonic-Fächerloten

Wie Abb. 7 zeigt, waren ab ca. 65° Öffnungswinkel die Messwerte verfälscht. Das absolute Maß der Abweichungen war jedoch geringer als die zulässigen zufälligen Abweichungen. Da es sich um systematische Effekte handelte, wären sie auch in den Geländemodellen sichtbar gewesen. Durch die Begrenzung des Öffnungswinkel konnte die erforderliche Genauigkeit gewährleistet werden. Die Effizienz des Messsystems nahm dadurch jedoch in nicht unerheblichem Umfang ab.

4.1.2 Modellierung

Bei den AN/AG-Besprechungen wurden die Modellierungsverfahren abgestimmt. Es zeigte sich eine sehr heterogene Ausgangssituation. Die Modellierungsverfahren der einzelnen AN hätten zu unterschiedlichen Qualitäten geführt. Darüber hinaus wäre mit einem Teil der Vorschläge die erreichbare Gesamtgenauigkeit verschlechtert worden. Es wurde deshalb ein robustes und einheitliches Verfahren (Mittelwert der Maschen) vereinbart, dass von jedem AN beherrscht wird.

Um den Einfluss des Modellierungsverfahrens auf die Modellqualität zu verringern, wurde vereinbart, die Modellauflösung zu erhöhen (ursprüngliche Anforderungen des DGM: Rasterweite $1 \times 1 \text{ m}^2$). Durch Versuchsrechnungen hat die BfG nachgewiesen, dass in diesem Bereich die Mittelwerte der Maschen ausreichen, wenn die Modellauflösung im Fahrwasser auf $0,5 \times 0,5 \text{ m}^2$ und im Bereich der Buhnen auf $0,2 \times 0,2 \text{ m}^2$ erhöht wird.

4.2 Prüfung der Qualitätssicherung und der Genauigkeit

4.2.1 Effektivität und Effizienz der Qualitätssicherung

Alle Daten wurden mit standardisierten Verfahren (angewandtes Qualitätsmanagement in der Gewässervermessung **aQua**[®] in Anlehnung an ISO 9000ff.) mit der BfG-eigenen Software HyDAP (Hydrographische Datenauswertung und Präsentation) geprüft sowie die Ergebnisse der Qualitätssicherungsmaßnahmen dokumentiert.

In der Software HyDAP wurden beispielsweise Algorithmen zur automatischen Plausibilisierung und Ausreißerbeseitigung realisiert. Diese Funktionen haben zuverlässig Fehler und Artefakte (siehe linkes Bild in Abb. 8) aufgedeckt, so dass die Daten davon befreit werden konnten.

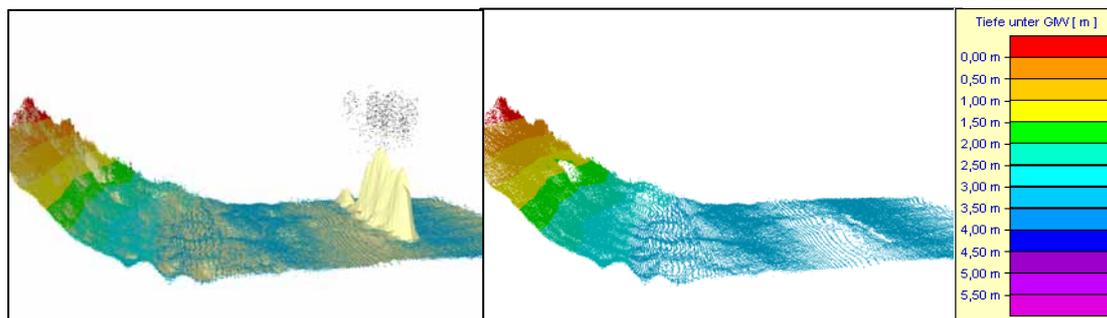


Abb. 8: Flussquerschnitt von ca. 50 m Länge vor und nach der Abnahme

Die folgenden Tabellen dokumentieren die Statistik der festgestellten Beanstandungen. Die Reihenfolge der Spalten richtet sich nach der Häufigkeit der Beanstandungen und nicht nach der Reihenfolge der Lose. Aus Gründen des Datenschutzes wurden die Losnummern anonymisiert (z. B. Los x).

Die Prozentangaben der Zeile „1. Beanstandung“ wurden für jedes Los aus dem Verhältnis zwischen der Anzahl der abgegebenen Tagesleistungen und der Anzahl der Tagesleistungen, die dem jeweiligen AN zur Mängelbeseitigung zurückgegeben wurden, berechnet. Die Prozentangaben der weiteren Zeilen zeigen das Verhältnis zwischen der bei der erneuten Prüfung immer noch fehlerhaften Anzahl von Tagesleistungen und der Anzahl der in der vorhergegangenen Prüfung bemängelten Tagesleistungen.

Tabelle 1

Statistik der Beanstandungen für den Bereich des Fahrwassers

Koordinatentripel Fahrwasser	Los x	Los h	Los k	Los i	Los y
1. Beanstandung	83 %	44 %	17 %	11 %	0 %
2. Beanstandung	89 %	43 %	0 %	0 %	0 %

Tabelle 2

Statistik der Beanstandungen für den Bereich der Wasserwechselzone

Koordinatentripel Wasserwechselzone	Los f	Los e	Los s	Los z	Los r
1. Beanstandung	100 %	94 %	33 %	3 %	0 %
2. Beanstandung	42 %	93 %	0 %	0 %	0 %
3. Beanstandung	40 %	0 %	0 %	0 %	0 %

Tabelle 3

Statistik der Beanstandungen für die Modelle

DGM-S	Los y	Los a	Los u	Los w	Los j
1. Beanstandung	71 %	14 %	14 %	8 %	0 %

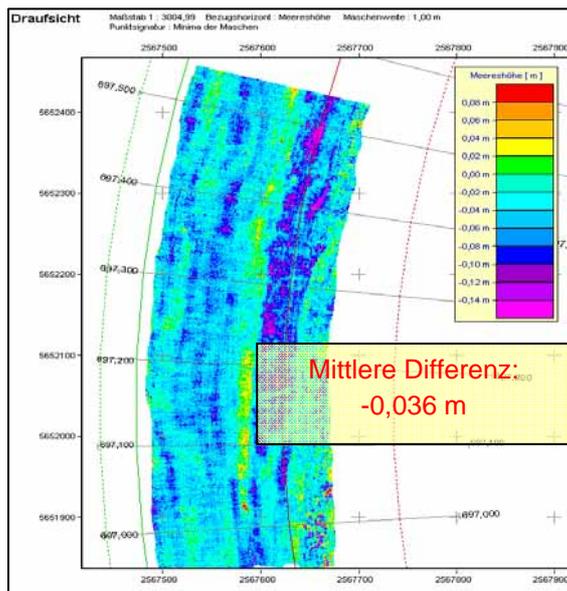
Durch die große Zahl der Beanstandungen stieg der Aufwand beim AG unverhältnismäßig an. Die AN stoßen insbesondere bei der Plausibilisierung gegenwärtig an die Grenzen ihrer Leistungsfähigkeit. Indizien sprechen dafür, dass die automatischen Auswertemethoden des Marktes für die Anwendung im Binnenbereich nicht ausgereift sind. Oftmals wurden die Messdaten unvollständig abgegeben. Auch bei der Abnahme der DGM-S wurden noch Beanstandungen festgestellt.

Fazit:

- ☞ Die Methoden der Qualitätssicherung sind wirksam, effizient und gegenwärtig kaum zu verbessern.
- ☞ Eine Stichprobenprüfung ist nicht ausreichend!
- ☞ Die Projektziele sind nur durch intensives Projektmanagement und intensive Qualitätssicherung erreichbar!
- ☞ Die Kompetenz von Fachingenieuren ist für Vergaben unabdingbar.
- ☞ Das Verfahren ist effektiv und deshalb bei anderen überregionalen Vermessungen zu empfehlen.

4.2.2 Genauigkeit des DGM-S Niederrhein

Die Übergangsbereiche zwischen den Streckenlosen wurden mit ca. 500 m Überlappung vermessen.



Die mittlere Modelldifferenz lag im Übergang der Lose 1 - 2 bei -3,6 cm (s. Abb. 9). Wenn die systematischen Fehler der hydrographischen Vermessungssysteme auf den Prüfeinrichtungen im Rahmen der Messgenauigkeit denselben Wert annehmen, ist erwiesen, dass die Modellabweichungen systematische Fehler darstellen, die korrigiert werden können: Für das im Los 1 eingesetzte Messsystem wurde ein systematischer Fehler von 3,4 cm und für das im Los 2 eingesetzte Messsystem -0,6 cm ermittelt. Daher konnten im Los 1 die systembedingten Abweichungen korrigiert werden (Restabweichung 0,2 cm).

Abb. 9: Differenzmodell im Überlappungsbereich Los 1 und Los 2

Im Testgebiet *Krefelder Bogen* (Rhein-km 760 - 770) wurden neben den LIDAR-Daten auch aus der photogrammetrischen Aufnahme des Geländes Geländepunkte abgeleitet. Da die photogrammetrische Aufnahme bei Niedrigwasser (ca. AMW-1,5 m) durchgeführt wurde, gibt es dadurch im Testgebiet einen größeren Überlappungsbereich mit den Gewässerbettdaten.

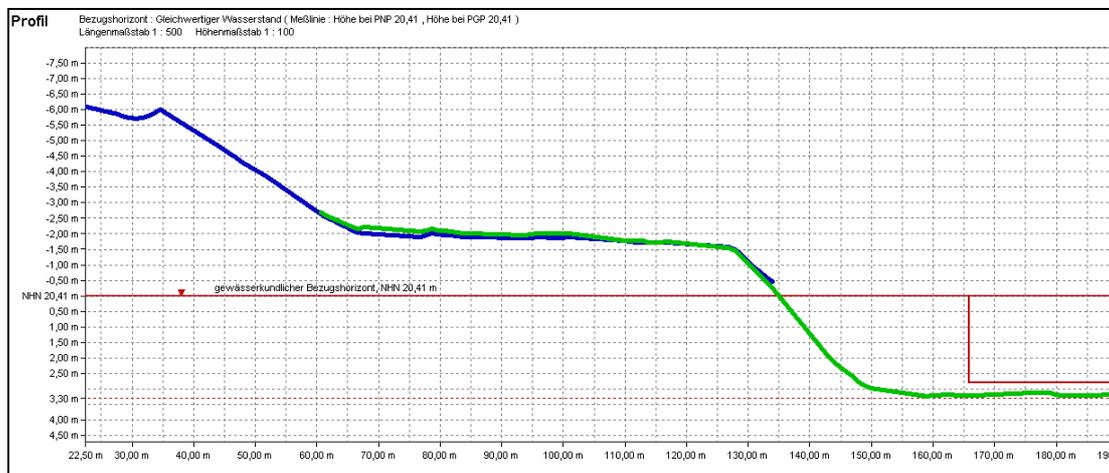


Abb. 10: Vergleich der Photogrammetrie-Daten (blau) mit den Gewässerbett-daten (grün) auf einer Buhne

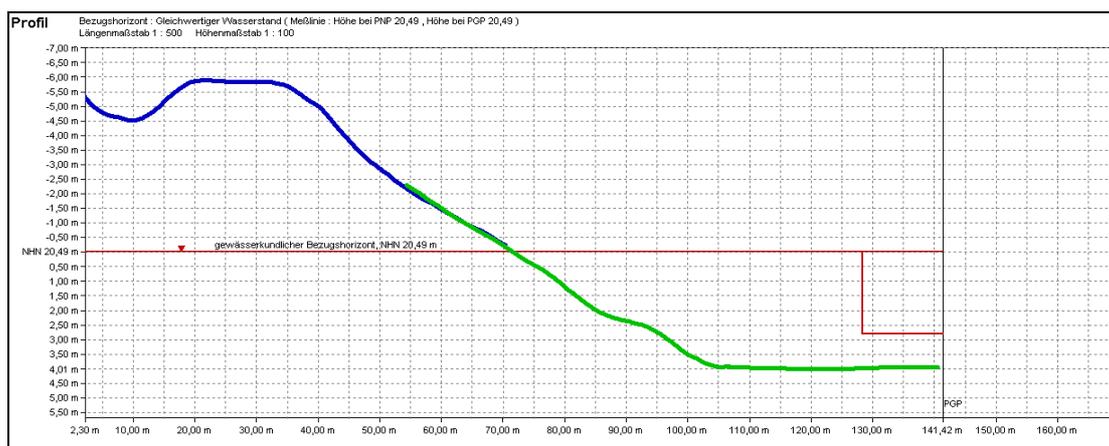


Abb. 11: Vergleich der Photogrammetrie-Daten (blau) mit den Gewässerbett-daten (grün) im Bühnenfeld

Die mittlere Höhenabweichung im 10 km langen Testgebiet *Krefelder Bogen* zwischen den Modellen der Gewässersohle und der photogrammetrischen Geländeaufnahme liegt unter 1 cm. Das Ergebnis bestätigt die sehr gute Übereinstimmung beider Aufnahmen.

Fazit:

- ☞ Die Höhenkorrekturen verbessern die Richtigkeit der Einzelmodelle.
- ☞ Unabdingbare Voraussetzung dafür sind geeignete Prüfeinrichtungen.
- ☞ Die geforderte Modellunsicherheit von ca. 4 cm (95 % SW) wurde für jedes Messgebiet erreicht!

5 Zusammenfassung

Auf dem Markt sind Ingenieurbüros für die Vergabe der Messungen vorhanden. Die Qualität der Leistung ist sehr heterogen. Einerseits wird die Anwendung der komplexen Messsysteme gut beherrscht, andererseits wurden die Anforderungen in der Auswertung nur unzureichend erfüllt. Bei dem nächsten Projekt dieser Art („DGM-S Mittelrhein“) werden deshalb Teile der Auswertung nicht mehr im Zusammenhang mit den Messungen vergeben. Diese Leistung wird dann unter Leitung der BfG im Aufgabenanteil „Koordinierung und Durchführung der Abnahme“ mit BfG-eigener Software bzw. zukünftig mit PAUSS (Peilauswertesoftware) erbracht. Die Vorgehensweise trägt der gegenwärtigen Leistungsfähigkeit, Fachkunde und Zuverlässigkeit der Auftragnehmer Rechnung.

Das Ziel einer flächenhaften großräumigen Momentaufnahme des Gewässerbetts des Niederrheins wurde in bisher nicht dagewesener Qualität (z. B. Auflösung des DGM 0,5 m) erreicht.

Die Gesamtstrategie des Projekts „DGM-S Niederrhein“ ist auf andere Wasserstraßenbereiche grundsätzlich übertragbar, was bedeutet, dass bei der Vergabe von überregionalen flächenhaften Vermessungen ein standardisiertes Vorgehen möglich ist.



Kontakt:

Harry Wirth

Bundesanstalt für Gewässerkunde
Am Mainzer Tor 1
56068 Koblenz
Tel.: 0261/ 1306 5232
Fax: 0261/ 1306 5302
E-Mail: wirth@bafg.de

1980 – 1985

Studium Vermessungsingenieurwesen an der
Universität Bonn

seit 1988

Wissenschaftlicher Mitarbeiter der Bundesanstalt
für Gewässerkunde

Aufgaben:

- Stellvertretende Leitung des Referates M5
- Ansprechpartner für Gewässer- und Objektvermessung
- Wissenschaftliche/technische Beratung der WSV-Dienststellen bei der Gewässer- und Objektvermessung
- Entwicklung und Erprobung hydrographischer Mess- und Auswerteverfahren sowie Vermessungssysteme



Kontakt:

Thomas Brüggemann

Bundesanstalt für Gewässerkunde
Am Mainzer Tor 1
56068 Koblenz
Tel.: 0261/ 1306 5228
Fax: 0261/ 1306 5302
E-Mail: brueggemann@bafg.de

1989 – 1992

Studium Vermessungsingenieurwesen an der
Fachhochschule Bochum

seit 1992

Vermessungstechnischer Mitarbeiter der Bundesanstalt für Gewässerkunde

Aufgaben:

- Beratung der WSV-Dienststellen bei der Inbetriebnahme und Ausstattung hydrographischer Messschiffe
- Mitarbeit bei der Entwicklung und Erprobung hydrographischer Mess- und Auswerteverfahren sowie Vermessungssysteme

DGM-W – Modellierung unter Einbeziehung erfasster Buhnen und Buhnenfelder

Reinhard Prinz

1 Einleitung

Seit einigen Jahren kommen zur Definition eines Digitalen Geländemodells eines Wasserlaufs (DGM-W) Daten von mehreren Datenerfassungssystemen zur Anwendung. LIDAR-Systeme erfassen Daten in den Vorlandbereichen. Echolotsysteme decken den Bereich des Gewässerbetts ab. Als Ergänzung werden häufig photogrammetrische Befliegungen durchgeführt, um Geländekanten und weitere künstliche Details ökonomisch zu erfassen.

Die Datenerfassung findet im Allgemeinen zu unterschiedlichen Zeitpunkten statt, sodass sich unter anderem unterschiedliche Wasserstände in den Daten selbst widerspiegeln. Die Systeme, mit denen die Datenerfassung erfolgt, liefern des Weiteren Datensätze unterschiedlicher Genauigkeit und Datendichte. Auch werden die Erfassungsbereiche der verschiedenen Systeme – wenn möglich – so definiert, dass diese einander überlappen, damit eine lückenlose Erfassung des gesamten Projektgebietes gewährleistet werden kann.

Die Inhomogenitäten in den unterschiedlichen Datensätzen gilt es, zu bereinigen. Die Daten müssen an definierten Schnittstellen zusammengeführt und gegenseitig abgeglichen werden. Das Genauigkeitspotenzial der erfassten Daten soll sich dadurch nicht verschlechtern. Durch diese Maßnahmen entsteht ein lückenloses, homogenes Digitales Geländemodell, welches die Basis für weiterführende Untersuchungen (Überschwemmungssimulationen, Geschiebemanagement, etc.) darstellt.

2 Basisdaten und deren Aufbereitung zur DGM-W-Modellierung

Alle Daten, die für die Modellierung des DGM-W verwendet werden sollen, müssen vorweg einen Aufbereitungsprozess durchlaufen. Dieser Prozess umfasst die Anpassung der Eingangsdaten. Dazu gehören u. a. die Transformation der Daten in ein einheitliches Koordinatensystem, die Elimination von Datenfehlern und die Adaptierung der photogrammetrischen Linienauswertung, um diese als Grundlage für eine 3D-Modellierung verwenden zu können (Ergänzung von Bruchkanten).

2.1 LIDAR-Daten, Bestimmung der Wasser-Land-Grenze (WLG)

Dieser Datensatz hat neben den Gewässerbett Daten den größten Umfang. Die bei der Erfassung aufgezeichneten Daten werden georeferenziert und im Zuge der Klassifizierung plau-

sibilisiert. Nur die als Boden gekennzeichneten Punkte werden für die Bestimmung des DGM-W herangezogen. In diesem Datensatz befinden sich natürlich auch noch alle Punkte, die die Wasseroberfläche repräsentieren und daher nicht in das DGM-W gehören. Zur Identifikation dieser Punkte wird aus den Daten eine Wasser-Land-Grenze (WLG) semiautomatisch abgeleitet. Diese WLG definiert in weiterer Folge die Schnittstelle zwischen den LIDAR- und Gewässerbett-daten und bildet das zentrale Element für den Datenabgleich.

Die Ableitung erfolgt durch Segmentierung (Flächenbildung) der LIDAR-Punktinformationen in einem frei wählbaren Buffer (ca. 50 m) um eine manuell erzeugte grobe Näherung. Diese Näherung wird in sich überlappende Abschnitte unterteilt und jeder Abschnitt für sich bearbeitet. Es wird davon ausgegangen, dass die Wasseroberfläche in jedem Abschnitt eine horizontale Ebene repräsentiert. Der Verschnitt aller erkannten schrägen Ebenen mit der tiefsten horizontalen Ebene ergibt die WLG für einen Abschnitt. Fallweise existieren keine Punkte auf der Wasseroberfläche. Dann wird die WLG bei den zur Achse nächstgelegenen Bodenpunkten definiert. Die Summe aller abschnittsweise erzeugten Linien ergibt nach einem Abgleich die WLG des gesamten Bereiches (Abb. 1).

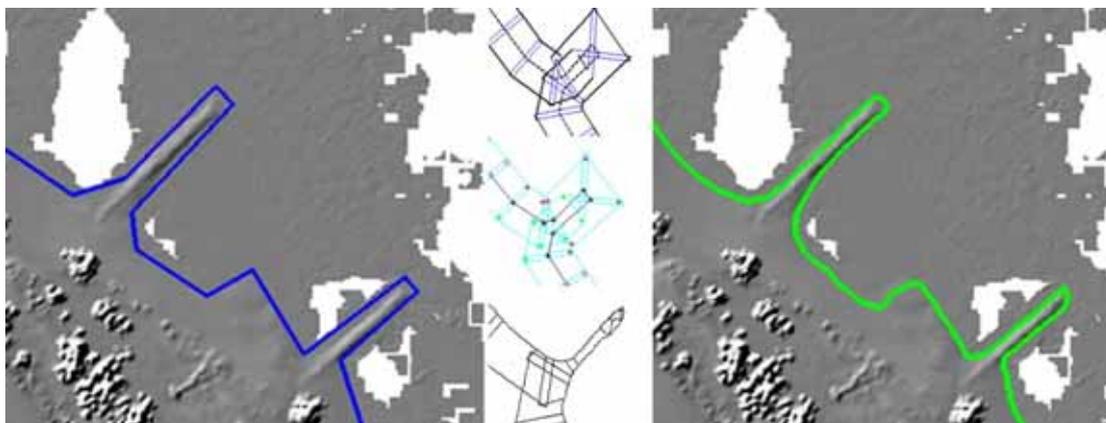


Abb. 1: Bestimmung der WLG; links: Näherung; Mitte: Abschnittweise Berechnung; rechts: Ergebnis

Dieses Verfahren wurde in Kooperation mit der TU Wien im Zuge des Carl-Doppler-Labors entwickelt (DORNINGER 2011, s. S. 93ff. in diesem Heft).

2.2 Gewässerbett-daten

Eine Aufbereitung der Echolotdaten war in diesem Fall (Niederrhein) nicht notwendig. Sie wurden plausibilisiert zur Verfügung gestellt. Die Daten selbst bilden ein regelmäßiges Raster mit einem Punktabstand von 0,5 m.

2.3 Photogrammetrische Auswertung

Photogrammetrische Auswertungen liefern vorwiegend Linieninformationen, die in die Modellierung des DGM-W als Bruchkanten einfließen. Die Vorgaben solcher Auswertungen decken sich im Allgemeinen nicht mit den Anforderungen an Bruchkanten für eine (3D) DGM-Modellierung. In diesem Projekt wurde die photogrammetrische Auswertung für die Erstellung der DBWK benötigt.

Die Bruchkanten sind vor allem im Bereich von Ufer- bzw. Kaimauern, Brückenpfeilern, Brückenköpfen und Gebäuden zu prüfen. In diesen Fällen unterscheiden sich die Vorgaben für die photogrammetrische Auswertung von jenen, die für eine Berechnung eines homogenen DGM-W notwendig sind.

Im Bereich von Ufer- bzw. Kaimauern sind auch Stiegenabgänge zu berücksichtigen. Dabei wird der Abgang durch zusätzliche Bruchkanten ergänzt. Weiters wird die Uferlinie, die per Vorgabe deckungsgleich mit der Maueroberkante erfasst wird, leicht zur Seite verschoben, um senkrechte DGM-Strukturen zu vermeiden (Abb. 2)

Brückenköpfe und Brückenpfeiler werden gesondert behandelt und auf Basis der photogrammetrischen Auswertung und den LIDAR-Daten entsprechend nachkonstruiert (Abb. 3). Sind im Flussbereich keine Peildaten vorhanden wird die Höhe des Pfeilerfußes über ein synthetisch erzeugtes Gewässerbett definiert.

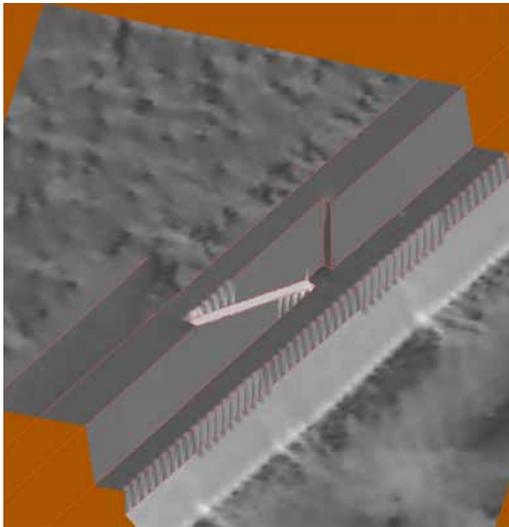


Abb. 2:
3D-Darstellung Ufermauer mit Stiegenabgang

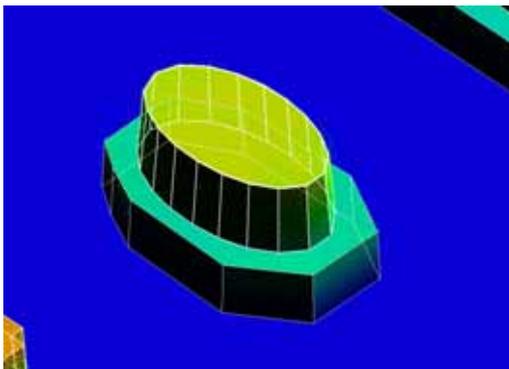


Abb. 3:
Konstruktion Brückenpfeiler; 3D-Darstellung

2.4 Bauwerksdefinition

Ein besonderes Augenmerk wird auf eine möglichst genaue Definition der Bauwerke gelegt. So werden für jede Buhne die gestaltbestimmenden Bruchkanten photogrammetrisch erfasst. Für den nicht sichtbaren (unter Wasser liegenden) Bereich am Bühnenkopf werden die Gewässerbett-daten verwendet. Dazu wurden vom Auftraggeber zusätzlich Gewässerbett-daten als regelmäßige Punktraster mit einem Punktabstand von 0,2 m bereitgestellt.

Daraus wurden „Geländeschummerungen“ mit einer Pixelgröße von 0,2 x 0,2 m² abgeleitet und zu jedem Schummerungsbild der zugehörige Stereopartner für eine photogrammetrische Bearbeitung rückgerechnet. Damit stehen photogrammetrische Stereomodelle zur Verfügung, anhand derer der fehlende, unter Wasser liegende Bereich am Bühnenkopf ausgewertet und ergänzt wird (Abb. 4).

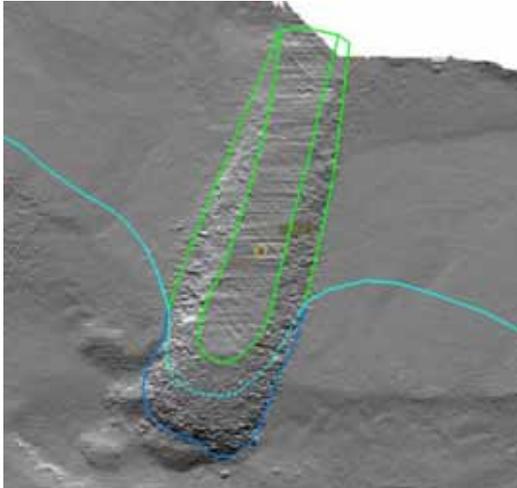


Abb. 4:

Photogrammetrische Bühnenkantendefinition:
grün: luft sichtbare Kanten; cyan: Uferlinie
„Photogrammetrie“; blau: aus Schummerungs-
Stereomodell ergänzte Bühnenunterkante

2.5 Gebäudedaten

Zur Ableitung der DGM-W-Modellvarianten, die durch eine Delauney-Triangulierung entstehen, werden zudem noch Gebäudedaten benötigt. Diese Daten wurden von Seiten des Auftraggebers zur Verfügung gestellt und liegen als Shape-Datensatz vor. Diese Daten werden auf Basis der photogrammetrischen Befliegung aktualisiert.

Die Datenaufbereitung erfolgt danach in drei Schritten:

1. Ableitung der Umrisse aus den ArcView-Shape Datensätzen (Formatkonversion) (Abb. 5)
2. Verkleinerung um 10 cm und Heben der Umrisse auf absolute Gebäudehöhe. Dieser Wert ist für jeden Gebäudeumriss als Attribut angegeben (Abb. 5 bzw. Abb. 6). Dadurch werden senkrechte „Gebäudewände“ vermieden.
3. Vereinigung zusammenhängender Gebäudeumrisse zu einem „Gebäudekomplex“. Dadurch wird vermieden, dass bei der Triangulation Dreiecke gebildet werden, die den Boden zwischen zwei aneinanderstoßenden Gebäuden beinhalten (siehe Abb. 6).

Nach erfolgter Aufbereitung können die Gebäudedaten als zusätzlicher Datenbestand in die zu triangulierenden Modelle integriert werden, wobei die Grundrisse noch zusätzlich mit dem Gelände verschnitten werden (Abb. 7).

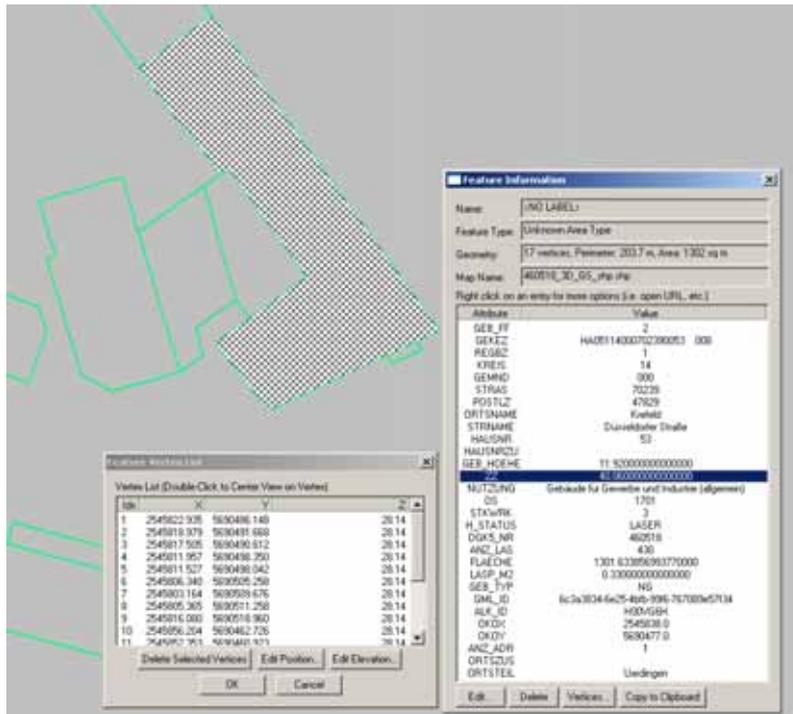


Abb. 5: Beispiel der Gebäudedaten mit zusätzlichen Attributen

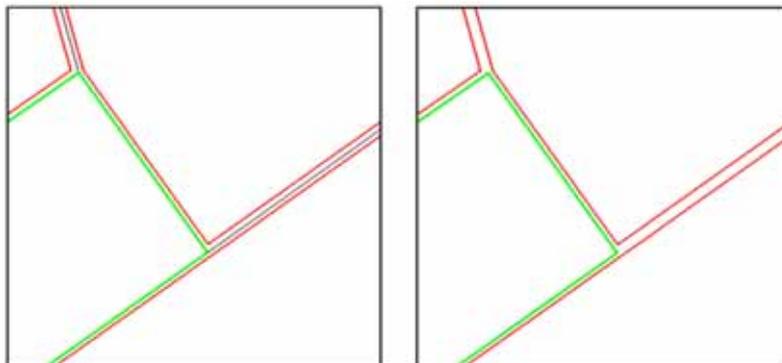


Abb. 6: Beispiel der Gebäudebearbeitung; grün: „Gebäudekomplex“;
rot: Verkleinerter Gebäudeumriss auf Höhe „ZZ“;
schwarz: innenliegende Gebäudeumrisse

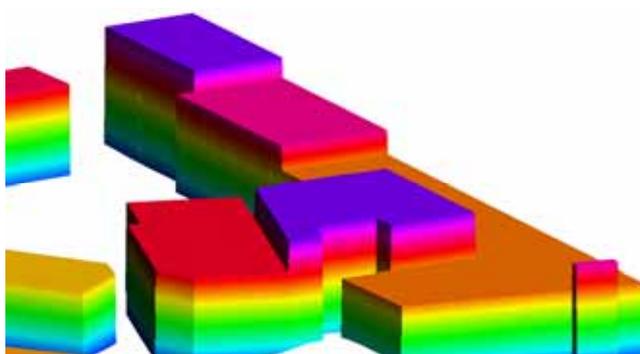


Abb. 7: Modellierung der Gebäudedaten (höhenkodiert)

3 DGM-W-Modellierung

3.1 Datenabgleich

Für die Berechnung eines homogenen Höhenmodells sind alle zunächst von einander unabhängigen Datensätze zu vereinigen. Dies geschieht einerseits durch Freistellen der „höherwertigen“ Daten. Andererseits werden die Punktdatensätze im Überlappungsbereich an einer vorher definierten Linie zusammengeführt.

Hierbei haben linienhafte Daten höhere Priorität gegenüber punkthaften Daten. Weiters werden die LIDAR-Daten gegenüber den Peil- bzw. Echolotdaten als höherwertig eingestuft.

Der Abgleich erfolgt in mehreren Schritten:

1. Identifizierung und Elimination der im Wasserbereich befindlichen LIDAR-„Bodenpunkte“ mit Hilfe der Wasser-Land-Grenze (WLG)
2. Elimination der Gewässerbettdaten außerhalb der WLG
3. Freistellen der Gewässerbettdaten bezüglich der WLG in einem 1m breiten Bereich
4. Freistellen der photogrammetrisch erfassten Bruchkanten in einem 1 m breiten Bereich
5. Datenlückenidentifikation und –bearbeitung (im Vorland)

3.2 Behandlung von Datenlücken

Aus natürlichen Gegebenheiten gibt es Bereiche, in denen keine Daten erfasst werden können. Unter Zuhilfenahme geeigneter Verfahren sind diese „Lücken“ entsprechend deren Art und Ausprägung mit Informationen zu füllen, ohne dass das Genauigkeitspotenzial des Höhenmodells merkbar verschlechtert wird.

Gewässerflächen

Im Bereich von fließenden und stehenden Gewässern gibt es mit Ausnahme des Rheins selbst keine Gewässerbettdaten. In diesen Fällen wird ein „synthetisches“ Gewässerbett nach folgenden Vorgaben künstlich erzeugt:

- > Konstruktion der Uferböschungen mit einem konstanten Böschungsverhältnis von 1:5
- > Tiefe der Sohle liegt zwischen 2,5 m und 5,0 m unterhalb der in den Luftbildern der Niedrigwasserbefliegung sichtbaren Uferlinien

Drei Fälle sind grob zu unterscheiden:

1. Gewässer mit eindeutiger Verbindung zum Rheinfluss: Hier wird die Tiefe der Sohle anhand der Gewässerbettdaten des Rheins abgeleitet. Abgeleitet wird die Tiefe vom tiefsten Punkt der Gewässerbettdaten im Verbindungsbereich.
2. Stehende Gewässer oder Gewässer ohne Verbindung zum Rhein im Projektgebiet: Hier wird eine Tiefe von 3,0 m angenommen.
3. Baggerseen: Die Tiefe wird mit 5,0 m festgesetzt.

Sind Gewässer schmaler als 30 m, kann unter Einhaltung der Böschungsneigung die vorgegebene Tiefe von 3,0 m nicht gehalten werden. Hier wird in der Mitte des Gewässers die Sohle durch eine einzelne Polylinie definiert, deren „Tiefe“ von der Gewässerbreite abhängt.

Die praktische (konstruktive) Umsetzung erfolgt durch paralleles Kopieren der Uferlinie mit vorgegebenem Abstand und Verschieben der kopierten Polylinie auf die zugehörige „Tiefe“. Die Flächen zwischen den konstruktiv geschaffenen Bruchkanten werden durch lineare Interpolation mit Rasterpunkten im Abstand 2,0 m gefüllt.

Bei Gebäudeflächen wird für das Basismodell (Modell ohne Gebäude) ein Punktraster linear interpoliert. Der Punktabstand beträgt 2,0 m.

Weiters kann es aufgrund der unterschiedlichen Wasserstände zum Zeitpunkt der Datenerfassung entlang der Uferbereiche ebenfalls zu Datenlücken kommen. Diese werden photogrammetrisch durch Messung von Einzelpunkten ergänzt. (In der Regel wird ein Niedrigwasserstand durch einen photogrammetrischen Flug leichter zu erfassen sein, als durch eine LIDAR-Befliegung.)

3.3 Modellberechnung

Zur Berechnung des DGM-W werden alle zur Verfügung stehenden und gegenseitig abgeglichenen Daten in einem zumindest 10 Flusskilometer langen Abschnitt in SCOP zusammengeführt und das DGM-W berechnet. Das Ziel ist die Schaffung eines homogenen Geländemodells, wobei eventuelle Zusatzinformationen, wie Gebäudedaten, nicht berücksichtigt werden.

4 Zusammenfassung und Ergebnisse

Das Ergebnis dieses im Vorfeld erläuterten Erstellungsprozesses ist ein homogenes, in sich abgestimmtes DGM-W, das zunächst als regelmäßiger 1 Meter-Rasterdatensatz mit Bruchkanten erzeugt wird (Abb. 8 und 9).

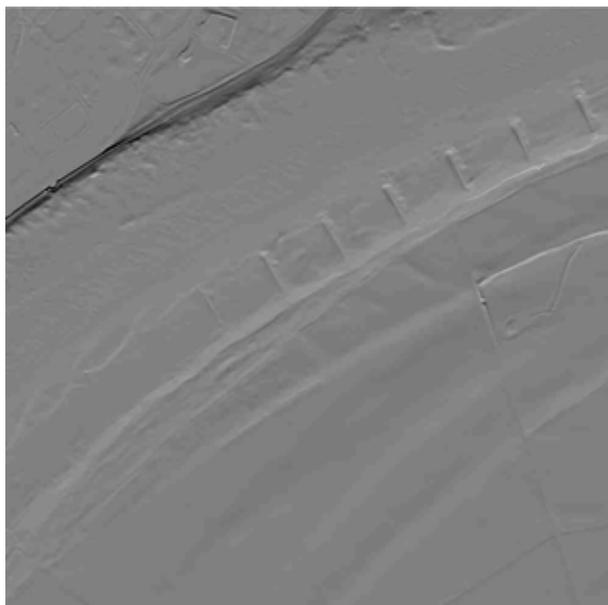


Abb. 8: Graustufenschummerung

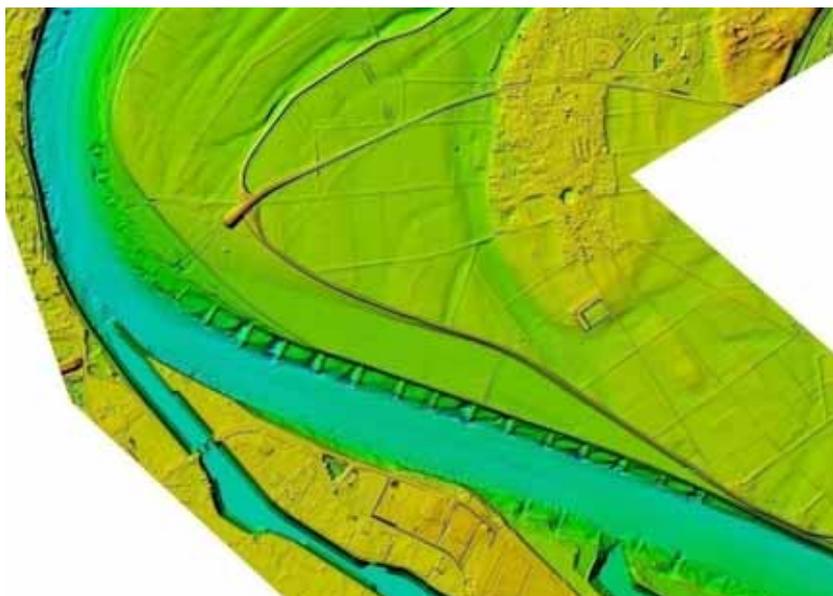


Abb. 9: Ergebnis DGM-W-Rasterdaten (höhenkodiert)

Von diesen Daten ausgehend werden mehrere Varianten und Ausführungen erstellt. Nach Ausdünnung der Daten unter Beachtung morphologischer Kriterien werden TIN (Triangulated Irregular Network) abgeleitet. Bei diesen Varianten werden die Gebäudedaten in das bestehende Modell integriert (Abb. 10)

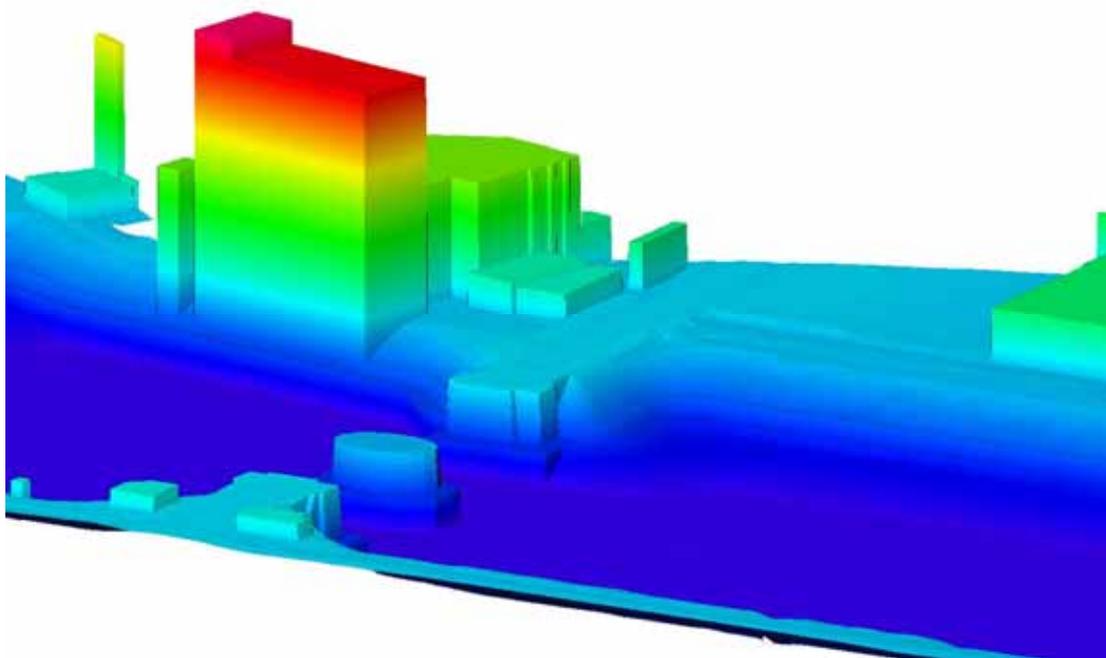


Abb. 10: Trianguliertes DGM-W unter Einbeziehung von Gebäuden

Aufgrund der bei der Projektplanung berücksichtigten Genauigkeitspotenziale der einzelnen Erfassungssysteme stellt das daraus ermittelte DGM-W eine lückenlose und hochgenaue Repräsentation der Erdoberfläche über und unter Wasser dar.

Das DGM-W ist ein innovatives Produkt, ein vielfältig verwendbares „Geodatenwerkzeug“ das eine Reihe von Disziplinen aus den Bereichen Vermessung, Fernerkundung, Geodatenerfassung und Geodatenprozessierung in sich vereinigt.

Die auf die späteren Nutzungen abgestimmten Modellvarianten ermöglichen weiterführende Anwendungen zur Klärung unterschiedlicher Fragestellungen in hydrologischen, hydraulischen und ökologischen Bereichen.

Literatur

DORNINGER, P. (2011): Eine praktikable und genaue Methode zur Bestimmung von Wasser-Land-Grenzen aus Laserscanner-Daten. In: Veranstaltungen 3/2011, Hrsg. Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz, Mai 2011, S. 93-100



Kontakt:

Dipl.-Ing Reinhard Prinz

Vermessung Schmid ZT GesmbH

Inkustraße 1-7 Stg. 3

3400 Klosterneuburg

Österreich

Tel.: ++43 2243 2552 025

Fax: ++43 2243 2552 050

E-Mail: prinz@geoserve.co.at

Jahrgang: 1968, geb. Krems/Donau; Österreich

1974 – 1987

Schulische Ausbildung mit Abitur in Krems/Donau

1988 – 1996

Studium Vermessungswesen an der Technischen Universität Wien, Schwerpunkt Photogrammetrie und Fernerkundung

seit 1996

Technischer Angestellter der Vermessung Schmid ZT GesmbH mit Schwerpunkt Photogrammetrie

seit 2008

Projektleiter komplexer, interdisziplinärer Projekte in den Fachbereichen LIDAR, Photogrammetrie, DGM-Modellierung

seit 2009

Verantwortlich für die Entwicklung bzw. Anwendung eines Systems zur automatischen Detektion von Gebäudeumrissen und Modellierung der Dachgeometrie aus LIDAR-Daten (Kooperation mit TU Wien)

Projektbearbeitung:

1996 – : diverse photogrammetrische Projekte im Bereich Straßenplanung, Lärmtechnik, Orthofotoerstellung, etc...

2006 – 2007: DGMW Elbe

2009 – : DGMW Niederrhein

2011 – : DGMW Weser, DGMW Oder

Geobasisdatenbereitstellung für die Fahrrinnenanpassung der Unter- und Außenelbe

Martin Leuzinger und Marcus J. Boehlich

1 Einleitung

Der Hamburger Hafen ist ein wichtiger Wirtschaftsfaktor im norddeutschen Raum, die Unterelbe auf ca. 100 km durch den Seehandel das Verbindungsstück zum Weltmarkt. Gleichzeitig sind Elbe und Elbufer zwischen dem Wehr Geesthacht und der Nordsee mit ihrer besonderen Prägung durch die Gezeiten ein schützenswerter Landschafts-, Lebens- und Naturraum. Ein bauliches Eingreifen in ihr komplexes System muss sorgsam gegen mögliche Umwelttrisiken abgewogen werden. Letztlich muss auch der vom Menschen beanspruchte Raum vor Sturmfluten geschützt werden. In diesem Spannungsfeld unterschiedlicher Interessen ist das Elbeästuar in den letzten hundert Jahren immer wieder an wachsende Schiffsgrößen angepasst worden. Als Vorhabensträger der letzten Fahrrinnenanpassung von 1999/2000 und dem aktuellen Ausbauprojekt steht das WSA Hamburg mitten in diesem Spannungsfeld. Der Verfügbarkeit von Geobasisdaten zur Bauplanung, Risikoanalyse und Dokumentation von Folgewirkungen kommt daher eine wachsende Bedeutung zu.

2 Bedarf an Geodaten für die Fahrrinnenanpassung der Tideelbe

Ziel der letzten Anpassung von Unter- und Außenelbe an die Containerschiffahrt 1999/2000 war es, Schiffen mit Tiefgängen bis 12,8 m zu ermöglichen, den Hafen tideunabhängig bzw. mit einem Tiefgang von 13,8 m tideabhängig anlaufen und verlassen zu können. Bei dem aktuellen Ausbauprojekt geht es im Kern um den weiteren Ausbau der Fahrrinne für Großcontainerschiffe mit Tiefgängen bis zu 14,5 m.

Beide Maßnahmen mussten bzw. müssen mit einem aufwändigen Planfeststellungsverfahren nach Abwägung von Nutzen und Risiko genehmigt und vor einer immer kritischer werdenden Öffentlichkeit verteidigt werden. Einige Kritikpunkte im Prozess der Planfeststellung bezogen sich auf mögliche Folgewirkungen, die mit der Vertiefung bzw. Verbreiterung der Rinne verbunden sind: Veränderungen der mittleren Hoch- und Niedrigwasserstände, der Strömungsverhältnisse und der Schwebstoffverteilung. Diese Parameter stehen wiederum am Anfang einer Wirkungskette, die einen negativen Einfluss auf verschiedene Umweltparameter ausüben kann. Plakative Beispiele sind Zunahme der Sedimentation, Beeinträchtigung von geschützten Arten und Lebensräumen, Bauwerksschäden und Verschlickungen.

Zur Abschätzung der Auswirkungen wurden Prognoseberechnungen bei der Bundesanstalt für Wasserbau (BAW-DH) angestellt, die als Eingangsdaten u. a. die Topografie des Ästuar-systems der Unterelbe benötigen. Die dafür benötigten Geobasisdaten wurden in der Vergangen-heit hauptsächlich aus Peilungen aus dem Regiebetrieb der Ämter (WSÄ, HPA) und des Bundesamtes für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH) bezogen. Problematisch war dabei die Abdeckung der ausgedehnten Wattflächen im ca. 450 km² großen Außenelbegebiet mit seinen stark veränderlichen Prielstrukturen: Wegen der wechselnden Wasserstände in den Watten sind Peilungen hier sehr zeitaufwändig und nur mit Linienpeilsystemen sinnvoll, wo-bei viele Bereiche mit einem Schiff nur unzulänglich bzw. überhaupt nicht gemessen werden können (siehe Abb. 1), wenn das Watt sehr hoch ist und die mögliche Befahrenszeit daher sehr kurz ist.

Da die Aussagefähigkeit der Prognoseberechnungen naturgemäß von der Qualität der ver-wendeten topografischen Modelle bzw. der ihrer Eingangsdaten abhängt, wurde nach besse-ren Erfassungsverfahren gesucht. Ein solches konnte ab 1999 im Rahmen der Ist-Zustands-erfassung bzw. der Beweissicherung zur Fahrrinnenanpassung 1999/2000 mit dem zu diesem Zeitpunkt noch relativ neuen Verfahren des flugzeuggestützten Laserscannings (LIDAR) eingesetzt werden.



Abb. 1: Prielstrukturen im Sahlenburger Watt vor Cuxhaven, Aufnahme 2006

2.1 Beweissicherung der Topografie zum Ausbaurverfahren 1999/2000

Ein weiterer umfassender Bedarf ergab sich aus der Beweissicherung zur Fahrrinnenanpas-sung 1999/2000. Sie diente dazu, die maßnahmenbedingten Abweichungen von dem in der Umweltverträglichkeitsuntersuchung (UVU) festgestellten Eingriffsumfang zu ermitteln. Bezüglich des Einzelthemas der terrestrischen Topografie bedeutete dies die Erfassung der Topografie der Land- und Wattflächen im gesamten UVU-Gebiet, also dem ca. 850 km² gro-ßen Gebiet der Tideelbe zwischen Geesthacht und See mit den angrenzenden Uferbereichen zwischen den Deichen.

Wie oben beschrieben wurde im Ästuargebiet der Außenelbe bereits für die Nullmessung 1999 ein LIDAR-Verfahren in Kombination mit Peilungen beauftragt. Im übrigen Bereich der Ober- und Unterelbe bis zum Wehr Geesthacht kamen klassische Messverfahren auf ca. 1400 Querprofilen in ca. 200 m-Abstand zum Einsatz (Abb. 2). Im Bereich der Delegationsstrecke (Hamburger Stadtgebiet) wurde ein eigenes Beweissicherungsverfahren mit photogrammetrischer Auswertung von Luftbildern durchgeführt.

Gemäß den Anordnungen im Planfeststellungsbeschluss erfolgten im 2., 6. und 10. Jahr nach Ausbauende (2002/2006/2010) die topografische Aufnahmen der Watt- und Landflächen in gleicher Weise. Aus den gewonnenen Daten wurden jeweils ein Digitales Geländemodell generiert. Aus diesen Geländemodellen wurden Differenzmodelle und Profilschnitte zur Visualisierung von Veränderungen generiert. Die Daten wurden der Öffentlichkeit über ein Internetportal unter www.portal-tideelbe.de zugänglich gemacht.

Im Rückblick auf die Auswertungen der Beweissicherungsmessungen erwies sich für viele Fragestellungen die heterogene Datenlage der Nullmessung von 1999 als unbefriedigend. Da die Nullmessung stets mit den Folgemessungen verglichen wurde, ergaben sich teilweise Probleme mit den Aussagen bezüglich möglicher Veränderungen der Topografie. Darüber hinaus lieferten die einzelnen Messkampagnen, die in den Themengebieten terrestrische Querprofile, Abbruchkanten und Biotopkartierung durchgeführt wurden, zwar brauchbare, jedoch nur auf den jeweiligen Zweck fokussierte Ergebnisse. Eine detaillierte Sicht auf das System als Ganzes war nicht möglich.

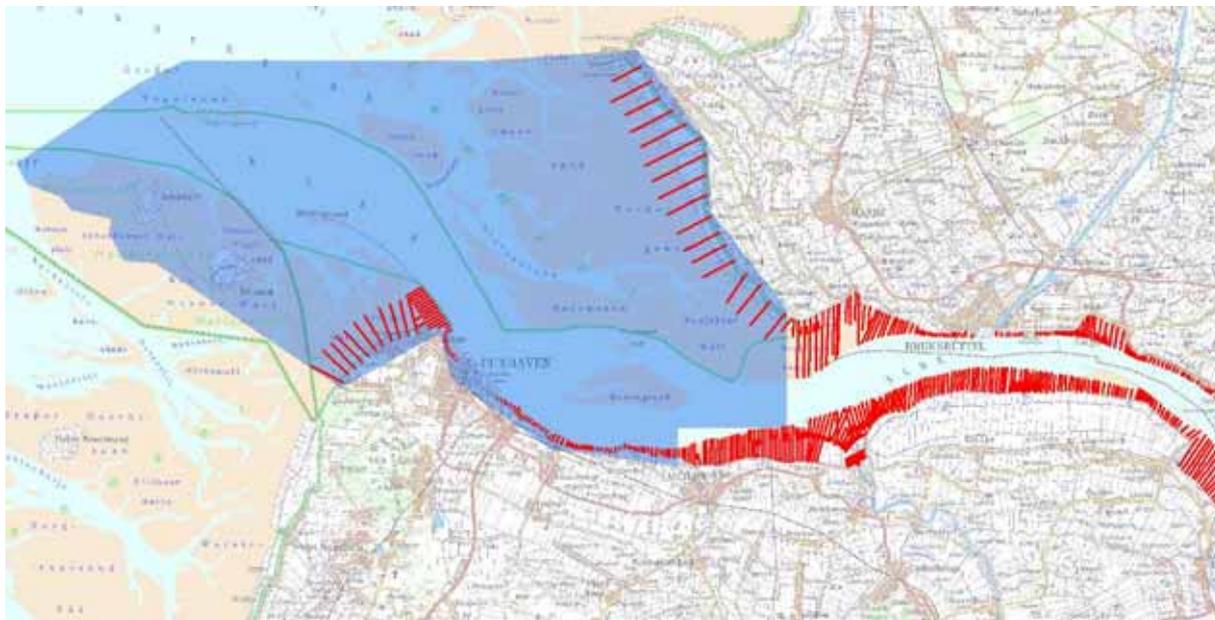


Abb. 2: Unterschiedliche Verfahren: LIDAR-Messgebiet 1999 (blau) und terrestrische Querprofile (rot). Ausschnitt bei Cuxhaven

3 Flugzeuggestützte LIDAR- und MS-Datenerfassung der Tide- und Außenelbe 2010

Aufgrund der gestiegenen planerischen Anforderungen, insbesondere vor dem Hintergrund der Flora-Fauna-Habitat-Richtlinie, sprach daher vieles dafür, zur Vorbereitung und Ausführung der neuen Fahrrinnenanpassung eine aktuelle Topografie soweit möglich im LIDAR-Verfahren kombiniert mit multispektralen Luftbildern zu erfassen. Es bot sich dabei an, einen Messauftrag zu vergeben, der die Anforderungen der abschließenden dritten Folgemessung der Beweissicherung (2010) als auch die Anforderungen des neuen Verfahrens in sich vereinte.

In ersten Besprechungen im Sommer 2009 wurden die Anforderungen der Nutzer aus dem eigenen Haus, sowie die von möglichen Projektpartnern erörtert. Aus bestehenden Aufträgen und Projekten der Hamburg Port Authority, sowie des Bundesamtes für Seeschifffahrt und Hydrographie und der Bundesanstalt für Gewässerkunde ergab sich schnell ein zusammenhängender Bedarf und somit die Möglichkeit zur Nutzung von Synergien. Durch den aktuellen Bedarf begründet wurde in weiteren Besprechungen eine Projektgruppe unter Federführung der BfG und mit Beteiligung der übrigen Bedarfsträger BAW und der WSÄ Brunsbüttel und Cuxhaven gegründet. Folgende grundsätzliche Bedarfe wurden dabei zusammengetragen:

- > dritte Wiederholungsmessung des Ästuargebietes der Außenelbe im Rahmen der Beweissicherung
- > Ist-Zustandserfassung des UVU-Gesamtgebietes vor Baubeginn der nächsten Fahrrinnenanpassung
- > aktualisierte Topografie für Prognosen und Untersuchungen zu aktuellen Fragestellungen durch die BAW
- > Grundlagendaten für geplantes Übersichtsmonitoring der Elbe und für neue Kontroll- und Nachweisaufgaben im Rahmen der wasserwirtschaftlichen Unterhaltung
- > Reduzierung von aufwändigen Flachwasserpeilungen des BSH
- > Grundlagendaten für den Neubau der Schleuse Brunsbüttel
- > Luftbilddaufnahmen zum Muschel-Monitoring im Außenelbegebiet, sowie aktuelle Datengrundlagen des Hafengebiets im Verwaltungsbereich der HPA
- > verschiedene Aufträge der BfG zu Vegetations- und klimakundlichen Untersuchungen

Weitere Nutzungsmöglichkeiten der Daten wurden in der Erfolgskontrolle von bestehenden und geplanten Ausgleichsflächen sowie im regulären Bau- und Unterhaltungsbetrieb des WSA gesehen. Insofern wurde das Projektgebiet entsprechend erweitert. Zuletzt wurden Bedarfspositionen zur Luftbilddaufnahme der Elbnebenflüsse und zum Lückenschluss mit der LIDAR-Aufnahme der Außenweser festgelegt, um weitere Synergien zu nutzen.

Primäres Ziel war damit die Erstellung eines hochauflösenden Digitalen Geländemodells mit Gewässerbett (DGM-W) von Deich zu Deich sowie die Erfassung der Topografie und der Vegetation durch multispektrale Luftbilddaufnahme (MS). Das Leistungsverzeichnis wurde auf Grundlage der Standards des von der BfG durchgeführten Niederrhein-Projektes erstellt und den aktuellen Bedürfnissen entsprechend angepasst. Das Gesamtgebiet wurde dabei der Bedarfsanalyse entsprechend in Teilgebiete gegliedert (Abb. 3).

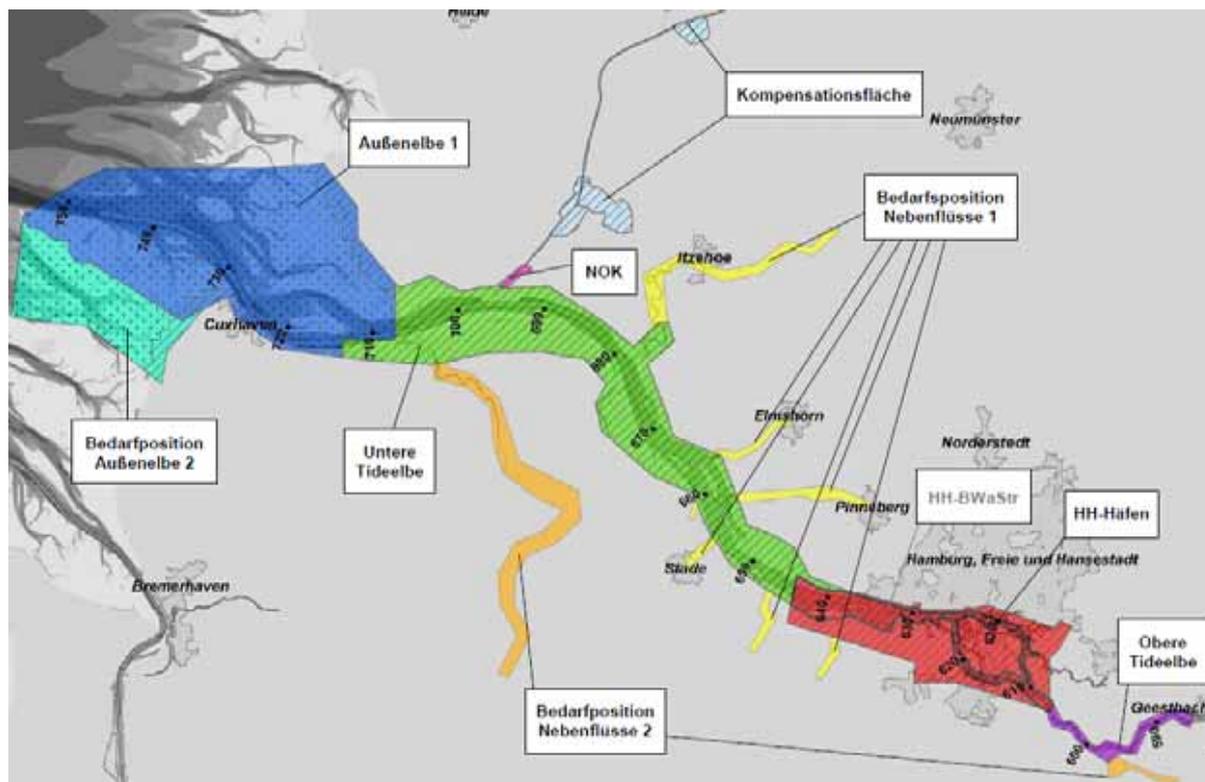


Abb. 3: Teilgebiete des LIDAR- und MS-Projektes mit Optionsflächen

Eine weitere Untergliederung bildeten zehn Teilprojekte, die in sich jeweils einen vollständigen Arbeitsschritt abbildeten. Tabelle 1 gibt einen Überblick der Teilprojekte und ihrer Auftragsdetails.

Tabelle 1

Teilprojekte des LIDAR- und MS-Projektes 2010

TP	Auftrag	Auftragsdetails
1	LIDAR-Datenerfassung	4 Punkte/m ² in Gelände und Röhrichtbereichen, 1 Punkt/m ² im Außenelbewatt
2	MS-Datenerfassung	20 cm Auflösung, 10 cm im Teilprojektgebiet HH-Häfen
3	Gewässerbettdaten	Datensammlung und Aufbereitung der vom AG bereitgestellten Peildaten unterschiedlicher Herkunft
4	Prozessierung LIDAR	Georeferenzierung, Plausibilisierung und Klassifizierung der LIDAR-Daten
5	Erstellung DGM-W	Modellierung der LIDAR-Ergebnisdaten und der Peildaten aus TP3, Erstellung eines Gesamtmodells A als 1 m-Quadratgitter und Modell B als TIN, morphologisch reduziert
6	Querprofile	Ableitung von Profilschnitten aus Modell B in 100 m-Abstand
7	Erstellung DOM	Modellierung der LIDAR-Ergebnisdaten als Oberflächenmodell mit 1 m-Quadratgitter
8	4-Kanal-Orthofotos	Prozessierung der MS-Daten zu Orthofotos als Einzelkanalbilder der R,G,B und nahes Infrarot entsprechend der Erfassungsauf- lösung
9	Echtfarb-Orthofotos	Prozessierung der MS-Daten zu Orthofotos in Echtfarben ent- sprechend der Erfassungsauf- lösung
10	Differenzmodelle	Berechnung von Differenzmodellen zu den früheren LIDAR- Aufnahmen 1999 und 2007 als 5- und 10 m- Quadratgitter

Um als Auftraggeber in die Datenerhebung und Prozessierung eingebunden zu sein, wurden im Leistungsverzeichnis zu den Teilprojekten 4, 5, 8, 9 und 10 zwei Leistungsphasen vereinbart: Phase 1 definierte ein Testgebiet bzw. eine Datenprobe. Erst nach Abnahme dieser Phase wurde mit der Leistungsphase 2 die vollständige Lieferung bzw. Prozessierung beauftragt.

Nach Kostenschätzung und Klärung der finanziellen Aufteilung wurde die europaweit ausgeschriebene Vergabe nach den Regularien der VOF im November 2009 veröffentlicht. Am Jahresende 2009 konnte die Firma Hansa-Luftbild mit dem Subunternehmen TopScan mit den Arbeiten beauftragt werden. Der Abschluss des Projektes wird im Mai 2011 erwartet.

3.1 Besonderheiten des Projektes

Von Anfang an war klar, dass das Projektgebiet einer besonders sorgfältigen Planung bedurfte. Allein durch die Anforderungen zur präzisen Erfassung der Geländehöhe einerseits und der vegetationskundlichen Erfordernisse andererseits ergaben sich zwingend zwei unterschiedliche Flugplanungen: Die LIDAR-Aufnahme ohne Belaubung im Winter und die Bildaufnahmen bei voller Belaubung im Sommer. Da die mit anderen Verfahren nur sehr schwer zu erfassenden Wattflächen und Prielstrukturen von besonderem Interesse waren, sollten die Flüge bei optimalem Niedrigwasser (zu erreichen bei Springtide und/oder Ostwindlagen) erfolgen. Im Teilgebiet Obere Tideelbe war zudem ein möglichst niedriger Oberwasserzufluss zu berücksichtigen. Da die Tidewelle von der Nordsee kommend ca. 8 Stunden benötigt um das Projektgebiet bis Geesthacht zu durchqueren, war die Geometrie der Flugstreifen und die zeitliche Abfolge beim Flug auf die „wandernden“ Niedrigwasserstände abzustimmen. Dazu musste zunächst ein Soll-Wasserstand festgelegt werden. Dieser wurde als Startbedingung für alle Flüge am Pegel Cuxhaven Steubenhöft mit $\leq 0,25$ m unter dem mittleren Tideniedrigwasserstand (ca. -1,75 m NHN) vereinbart.

Da der Auftragnehmer für die Flüge ein Flugzeug anstelle eines Helikopters einplante, musste ein Kompromiss zwischen dem Wunsch der Projektgruppe nach einer Streifenlage quer zum Gewässerverlauf (entsprechend dem Tidefortschritt) und dem Wunsch des AN für eine wirtschaftliche Aufnahme in langen Flugstreifen längs zum Gewässer gefunden werden. Zur Planung der Flüge waren spezielle Kenntnisse des raumzeitlichen Verhaltens der Tidewelle im Revier notwendig. Auf Grundlage eines Plans der BAW mit den Phasenlinien des Tideniedrigwassers in der Tideelbe wurde das Projektgebiet zunächst in 49 Zonen unterteilt, die der Ausbreitung der Niedrigwasser-Tidewelle in 10 Minuten-Schritten entsprechen (490 Minuten Zeitdifferenz auf der Gesamtstrecke). Damit war es möglich, jeder Zone eine Zeitdifferenz des lokalen Tideniedrigwassers zum Tideniedrigwasser am Pegel Cuxhaven zuzuordnen (s. Abb. 4).

Nach Analyse der Form der Tidewelle konnte jeder Zone zusätzlich ein Zeitversatz vor und nach Tideniedrigwasser zugeordnet werden (Min/Max-Wert), der bei einer Wasserstandsänderung um 10 cm erreicht wird. Für einen definierten Zeitpunkt eines Tideniedrigwassers in Cuxhaven ließen sich damit „Zeitfenster“ für jede Zone errechnen, in der diese befliegen werden durfte. Die Angaben wurden in einer Tabelle zusammengefasst und dem Auftragnehmer zur konkreten Flugplanung zur Verfügung gestellt (s. Abb. 5).

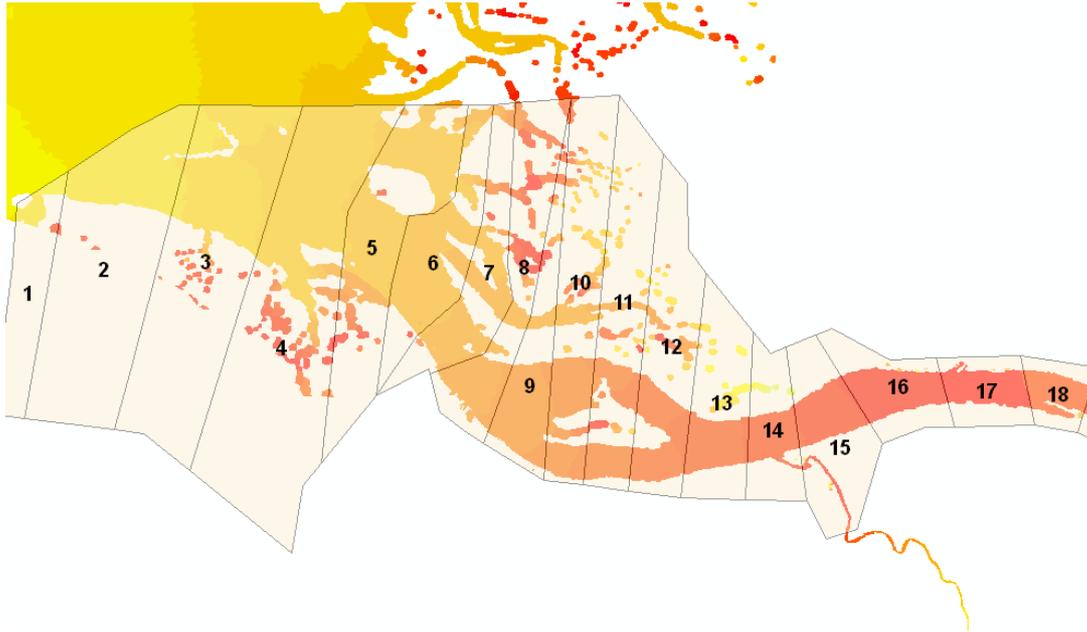


Abb. 4: Aufteilung in Zonen mit gleicher Eintrittszeit des lokalen Tideniedrigwassers (TNW) (Ausschnitt bei Cuxhaven)

Beflegungs- gebiet Nr.	Zeitdifferenz zu TNW Cuxhaven	Befliegen möglich von X Minuten vor/nach TNW Cuxhaven (Minus bedeutet 'vor')	bis Y Minuten vor/nach TNW Cuxhaven	Mögliche Gesamtbeflegungs- dauer des Polygons.	Datum/Uhrzeit des TNW Cuxhaven bei GO durch AG:	16.06.2010 22:16
1	-70	-112	-39	73	16.06.2010 20:24	16.06.2010 21:37
2	-60	-102	-29	73	16.06.2010 20:34	16.06.2010 21:47
3	-60	-92	-19	73	16.06.2010 20:44	16.06.2010 21:57
4	-40	-82	-9	73	16.06.2010 20:54	16.06.2010 22:07
5	-30	-72	1	73	16.06.2010 21:04	16.06.2010 22:17
6	-20	-61	15	76	16.06.2010 21:15	16.06.2010 22:31
7	-10	-51	25	76	16.06.2010 21:25	16.06.2010 22:41
8	0	-41	35	76	16.06.2010 21:35	16.06.2010 22:51
9	10	-31	45	76	16.06.2010 21:45	16.06.2010 23:01
10	20	-21	55	76	16.06.2010 21:55	16.06.2010 23:11
11	30	-16	64	70	16.06.2010 22:00	16.06.2010 23:10
12	40	-6	74	70	16.06.2010 22:10	16.06.2010 23:20
13	50	4	87	70	16.06.2010 22:20	16.06.2010 23:30
14	60	28	97	59	16.06.2010 22:44	16.06.2010 23:43
15	70	38	106	59	16.06.2010 22:54	16.06.2010 23:53
16	80	42	116	64	16.06.2010 22:58	17.06.2010 00:02
17	90	52	126	64	16.06.2010 23:08	17.06.2010 00:12
18	100	62		64	16.06.2010 23:18	17.06.2010 00:22

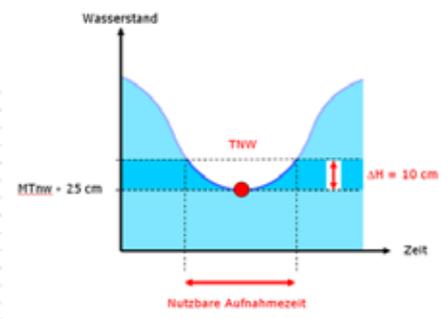


Abb. 5: Messzeitfenster als Vorgabe für die Flugplanung (Ausschnitt)

Eine weitere grundsätzliche Herausforderung des Projektes bestand in der Klassifizierung von gemessenen LIDAR-Punkten in „Land“ und „Wasser“. Da die Ermittlung der oftmals sehr verzweigten Wasser-Land-Grenze (auch bei Pfützen auf einem Wattrücken!) spezielle Erfahrung erfordert, wurde diese Aufgabe vom Auftragnehmer an einen Subunternehmer vergeben (Fa. Smile Consult, Hannover). Um das Ergebnis überprüfen zu können, wurde eine Aufnahme von Senkrechtbildern parallel zum LIDAR-Flug beauftragt. Dadurch kam ein weiteres einschränkendes Kriterium hinzu, die LIDAR-Flüge nur bei ausreichendem Tageslicht auszuführen.

Um ein Modell der vollständigen Topografie mit Gewässerbett zu erhalten, wurden vereinbarungsgemäß Peildaten vom Auftraggeber zur Integration in das Modell bereitgestellt, mit denen die entstehenden Datenlücken nach Entfernen der Wasserfläche aufgefüllt werden

sollten. Nach vorheriger Abfrage bei allen möglichen Datenlieferanten wurden 188 Peildatensätze mit unterschiedlichen Formaten, Quellen, Messverfahren, Aufnahmezeiten, Auflösungen, Lage- und Höhenbezugssystemen zusammengetragen. Auf Seiten des Auftragnehmers mussten diese vor der Integration in das Gesamtmodell zu einem homogenen und konsistenten Modell umgeformt werden.

Mit Rücksicht auf die unterschiedlichen Bedarfsträger mussten schließlich durch die Projektgruppe unterschiedliche Abgabeformate in den Lagebezugssystemen UTM/ETRS89, GK/GRS80 und GK/Bessel festgelegt werden.

3.2 Besonderheiten bei der Durchführung

Die Teilprojektgebiete wurden nach vereinbarter Prioritätenfolge der Teilgebiete von „Außen“ nach „Innen“ abgearbeitet. Die Phase der Datenerfassung begann mit dem LIDAR-Flug. Nach Genehmigung der Flugplanung im Januar 2010 wurde der erste LIDAR-Flug durch die Projektgruppe freigegeben. In der Zeit bis zum Beginn der Vegetationszeit (Ende April 2010) machte sich die Summe der einschränkenden Bedingungen schnell bemerkbar: Nach Abtauen von Eis und Schnee im Außenebegebiet wollte sich zu den raren günstigen Wetterlagen nicht recht der passende Wasserstand einstellen, so dass tageweise nur wenige Streifen geflogen werden konnten. Um das Projekt nicht zu stark zu verzögern, wurden daher auch Nachtflüge zugelassen. Das Repertoire der naturbedingten Projektstörungen war damit noch nicht erschöpft: Im April 2010 verbot die Deutsche Flugsicherung zusätzlich zu den sonstigen Genehmigungsvorbehalten über dem Hamburger Ballungsgebiet unerwartet sämtliche Flüge aufgrund der Aschefahne eines Vulkanausbruchs in Island (Abb. 6).



Abb. 6: Schlechte Nachrichten zur falschen Zeit

Im Teilgebiet Oberelbe musste das Kriterium eines niedrigen Oberwasserzuflusses später aufgrund der Schneeschmelze ausgesetzt werden. Trotz dieser Maßnahmen konnten die letzten Streifen erst Anfang Juli im Teilgebiet Unterelbe geflogen werden, also bereits außerhalb des vorgesehenen Zeitfensters.

Um ähnlichen Problemen beim im Sommer 2010 vorgesehenen multispektralen Bildflug von vornherein zu begegnen, wurde in einer Projektbesprechung im Juni 2010 das Wasserstandskriterium mit der Erweiterung der Flugzeitfenster in den Tidezonen abgeschwächt. Auf diese Weise konnten längere Streifen geplant werden. Neben der generell kürzeren Erfassungszeit durch die größere Flughöhe konnte so der Zeitplan der Bildflüge bis zum Ende der Vegetationsperiode (Oktober 2010) eingehalten werden.

Mit der Zusammenstellung der LIDAR-Flugstreifen, die erst ab Mai 2010 während der Vegetationsphase erhoben wurden, konnten Bereiche für einen LIDAR-Nachflug definiert werden. Die betreffenden Bereiche wurden über ein Nachtragsangebot im Februar 2011 gemessen.

4 Beurteilung der Qualität der LIDAR-Daten

Nachdem die LIDAR-Daten vom Auftragnehmer geliefert wurden, wurde die Qualität der Daten vom Auftraggeber geprüft. Das Vorgehen bei der Qualitätsprüfung soll hier am Beispiel eines Testgebietes erläutert werden.

Das Testgebiet liegt im Dithmarscher Watt, im Bereich des Hakensandes und wird vom Priel Trischenflinge durchquert. Das Testgebiet wurde durch 5 Flugstreifen überdeckt. Im ersten Schritt wurden die Last-Pulse LIDAR-Daten für das Testgebiet aussortiert und auf Ausreißer überprüft. Dabei wurde festgestellt, dass Daten mit unrealistischer Höhe vorhanden waren, so dass diese entfernt werden mussten. Dann wurden die übrig gebliebenen Daten eines jeden Flugstreifens in ein Raster der Kantenlänge 5 m x 5 m einsortiert und jeweils innerhalb eines Rasterelementes gemittelt. Dadurch entstand für jeden Flugstreifen ein Raster mit Höhendaten, welche in Abb. 7 dargestellt sind.



Abb. 7: Höhenlinien der Rasterdaten der 5 Flugstreifen des Testgebietes

Man erkennt in Abb. 7 unterschiedliche Strukturen: Lange Linien sind Höhenlinien des trocken gefallenen Watts, kurze geschlossene Linien sind Höhenlinien der Wasseroberfläche. Für die weitere Bearbeitung der Daten mussten nun die Daten der Wasseroberfläche aussortiert werden. Dies geschieht einfach mit Hilfe des menschlichen Auges, indem z. B. in einem GIS ein Polygon um die Landflächen gelegt wird, mit Hilfe dessen dann die Daten in Land- und Wasserdaten sortiert werden. Je steiler eine Wattfläche ist, desto sicherer kann die Grenze zwischen Land und Wasser erkannt werden. Bei sehr flacher Neigung oder bei Vorhandensein von Brandung wird das Erkennen schwieriger und es empfiehlt sich, die Grenze zwischen Land und Wasser dann „auf der sicheren Seite“, also etwas höher zu ziehen, um sicher-

zustellen, dass keine Daten der Wasseroberfläche in den Daten der Wattoberfläche enthalten sind. Dieser Arbeitsschritt muss für jeden Flugstreifen einzeln getan werden, da die Daten der Flugstreifen zu unterschiedlichen Zeiten und also zu unterschiedlichen Wasserständen aufgenommen worden sind. Resultat war also für jeden Flugstreifen ein eigener, von Daten der Wasseroberfläche bereinigter Rasterdatensatz. Nachteil dieser Methode ist, dass sie für größere Gebiete sehr zeitaufwändig ist. In Abb. 8 ist das Ergebnis dieses Arbeitsschrittes zu sehen.

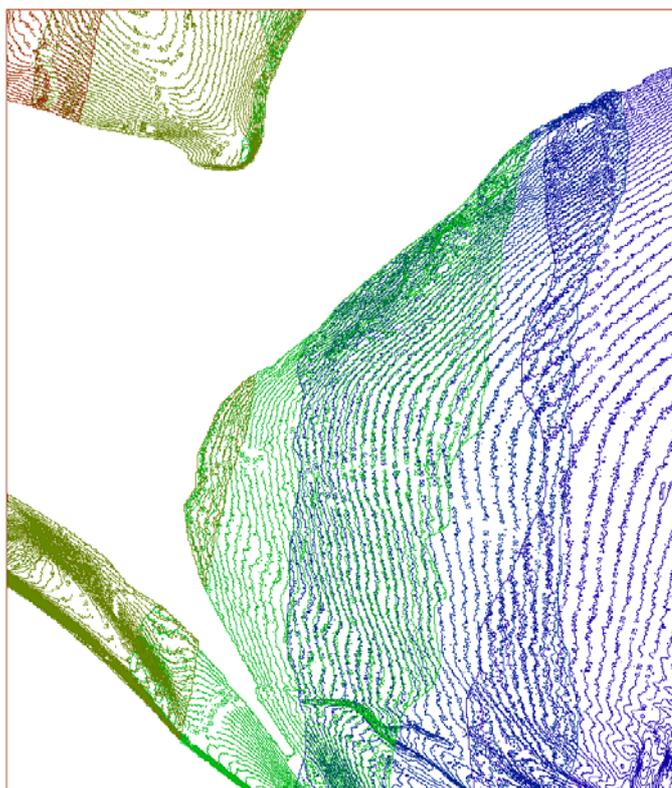


Abb. 8: Höhenlinien der Rasterdaten nach dem Entfernen der Daten der Wasseroberfläche

Die Datenqualität der LIDAR-Daten lässt sich durch den Vergleich der gemessenen Höhen mit bekannten Höhen von bestimmten Punkten feststellen. Dies ist an anderer Stelle getan worden. Bekannte und unveränderliche Höhenpunkte liegen aber im Wattenmeer nur an sehr wenigen Punkten vor, so dass die Datenqualität hier mit Hilfe der Wiederholgenauigkeit beurteilt werden sollte. Die Wiederholgenauigkeit ließ sich an solchen Stellen berechnen, an denen zwei benachbarte Flugstreifen einander überlappten. Die Rasterbildung ist hierfür unerlässlich, da die Laserpulse von zwei Flügen nur selten exakt auf die gleiche Position treffen. Für diesen Arbeitsschritt wurden also die Rasterdaten zweier benachbarter Flugstreifen auf Differenzen Ihrer jeweiligen Höhe untersucht. Ergebnis: Die Wiederholgenauigkeit der Daten ist bei 95 % der Daten besser als ± 10 cm, wobei die Verteilung der Differenzen der Peilungen symmetrisch um den Wert Null ist. Davon war die Wiederholgenauigkeit bei 75 % der Daten besser als ± 4 cm. Lediglich bei einer Differenz zwischen zwei Flugstreifen im Testgebiet war die Verteilung nicht symmetrisch um den Wert Null, was dafür spricht, dass einer der beiden Flugstreifen nicht richtig in der Höhe referenziert war.

5 Zusammenfassung

Parallel zu den letzten Ausbauvorhaben an der Elbe wurden Daten erhoben, um dem Vorhabensträger, den Planern, den beteiligten Behörden und letztlich der Öffentlichkeit Daten zur Beurteilung des Zustandes der Außen- und Tideelbe bereitzustellen. Die erforderlichen Geobasisdaten wurden dem damaligen Standard entsprechend mit punkt- oder linienhafter Vermessung erfasst und ergaben eine Detailaussage für die jeweils fokussierte Thematik. Besonders im Außenelbewatt blieb die Datenlage jedoch mangels geeigneter Verfahren dünn. Im Ausbauverfahren 1999/2000 wurde im Rahmen der Beweissicherung erstmalig ein LIDAR-Verfahren eingesetzt, um diesen Bereich hochauflösend zu erfassen. Auf diese Weise konnte den Anforderungen der Planfeststellung entsprochen werden, den Formzustand in den Jahren 1999, 2002 und 2007 als DGM zu speichern und Veränderungen zu untersuchen.

Die letzte Folgemessung 2010 wurde mit dem Bedarf an Geobasisdaten aus dem aktuellen Ausbauvorhaben kombiniert und als Projekt „Flugzeuggestützte LIDAR- und MS-Datenerfassung der Tide- und Außenelbe 2009/2010“ bei der BfG in Auftrag gegeben. Durch den Zusammenschluss mit weiteren Partnern wurde das Projekt auf eine breite Basis gestellt. Das zu erstellende Digitale Geländemodell mit Unterwassertopografie (DGM-W) kann als Multifunktionsmodell bezeichnet werden, das eine wirtschaftliche Aufgabenerledigung im Betrieb der Projektpartner auch weit über den eigentlichen Zweck hinaus ermöglicht. Durch neue Möglichkeiten in der Datenverarbeitung und eine breite Palette von Analysemöglichkeiten ergeben sich auch für den Regiebetrieb des WSA neue Möglichkeiten, die Revierkenntnis auszubauen.

Weitere Informationen

Zentrales Datenmanagement der WSD Nord – Portal Tideelbe
www.portaltideelbe.de



Jahrgang: 1968

1991 – 1995

FH-Studium Vermessungswesen in Hamburg

1997 – 2010

Mitarbeiter des WSA Hamburg, verantwortlich für die Durchführung der terrestrischen Beweissicherungsmessungen zur Fahrrinnenanpassung 1999/2000

seit 2011

Vermessungs- und Geoinformationsdienst im WSA Hamburg

Kontakt:

Dipl.-Ing. Martin Leuzinger

WSA Hamburg

Moorweidenstr. 14

20148 Hamburg

Tel.: 040/ 44 110 344

Fax: 040/ 44 110 365

E-Mail: martin.leuzinger@wsv.bund.de



Jahrgang: 1954

1975 – 1982

Studium der Ozeanographie an der Universität Hamburg

seit 1987

Mitarbeiter der Bundesanstalt für Wasserbau, Dienststelle Hamburg, hauptsächlich mit Arbeiten an der Elbe befasst

Kontakt:

Dipl. Ozeanogr. Marcus J. Boehlich

Bundesanstalt für Wasserbau

Dienststelle Hamburg

Wedeler Landstraße 157

22559 Hamburg

Tel.: 040/ 81 908 337

Fax: 040/ 81 908 537

E-Mail: marcus.boehlich@baw.de

Aspekte der DGM-W-Modellierung in tidebeeinflussten Gebieten

Frank Sellerhoff

1 Einleitung

Die *smile consult GmbH* widmet sich seit der Gründung im Jahre 2000 der Erstellung von Digitalen Geländemodellen. In Forschungsprojekten oder im Auftrag von Behörden hat sie Erfahrungen bei der Erstellung von Digitalen Geländemodellen sowohl im Küsten- als auch im Binnenbereich gesammelt. Zum Zeitpunkt der Veröffentlichung ist das Unternehmen Partner in Arbeitsgemeinschaften, welche mit der Erstellung von Digitalen Geländemodellen des Wasserlaufes in den Ästuaren von Elbe, Weser und Ems befasst sind.

In dem vorliegenden Beitrag sollen Erfahrungen aus der Arbeit an diesen Projekten wiedergegeben werden. Im Fokus stehen dabei Herausforderungen, die ein Gebiet unter Tideeinfluss bereitet sowie die Neuartigkeit der Projektabwicklung.

2 DGM-W-Projekte im Küstenumfeld

DGM-W-Projekte im Küstenumfeld unterscheiden sich in einer Reihe von Punkten von Projekten im Binnenbereich. Hier ist vor allen anderen die Tidedynamik zu nennen, die zu unterschiedlichen Wasserständen und in Verbindung mit der umfangreichen Projektfläche zu einer sehr komplexen Wasser-Land-Grenze (WLG) führt. Da sich die Datenaufnahme über mehrere Monate hinziehen kann, stellt auch die Veränderlichkeit der Sohle eine besondere Herausforderung dar. Darüber hinaus finden sich im Küstenbereich eine Vielzahl von unterschiedlichen Geländeoberflächen wie beispielsweise Wattflächen, Priele oder bewachsene Vorländer mit darin enthaltenen Wasserbauwerken. Ein Großteil der Fläche ist dabei schwer zugänglich und entzieht sich somit weitestgehend dem Blick des Modellierers, weil kein oder nur wenig Bildmaterial verfügbar ist.

Auch die heterogene Datengrundlage eines DGM-W im Küstenbereich stellt besonders hohe Anforderungen an den Modellierer. Neben hochdichten LIDAR-Daten, die zunächst um Wasserpunkte zu bereinigen sind, stehen für Teilflächen entweder ebenso dichte Fächerlot-aufnahmen oder aber nur sehr dünn besetzte Linienpeilungen mit Abständen von bis zu 200 m zur Verfügung. Oftmals treten vorhandene Teilmodelle, die mehrere Aufnahmen der Sohle bereits zu einer Einheit integrieren, an die Stelle von Messdaten. Alle diese Eingangsdaten gilt es, zu einem möglichst konsistenten Geländemodell zu verarbeiten.

3 Konzept

Der vorliegende Beitrag schildert die derzeitige Vorgehensweise der *smile consult GmbH* zur Erstellung von Digitalen Geländemodellen. Um die dabei zugrunde liegende Sichtweise besser verstehen zu können, ist ein Blick auf die Ergebnisse eines themenverwandten Forschungsprojektes hilfreich. Seinerzeit wurde im Projekt KoDiBa (SELLERHOFF & MILBRADT 2005) eine Modellvorstellung definiert, die in Abb. 1 näher erläutert wird:

Die einem DGM zugrunde liegenden Geländedaten werden zu unterschiedlichen Zeiten an unterschiedlichen Orten mit unterschiedlichen Messverfahren aufgenommen. Aus diesem Datenpool können im Wesentlichen zwei unterschiedliche Produkte abgeleitet werden: eine Zeitreihe, welche die Entwicklung des Geländes am Ort über die Zeit beschreibt, und ein konsistentes Digitales Geländemodell, welches im besten Fall das gesamte Gebiet des Interesses lückenlos abdeckt.

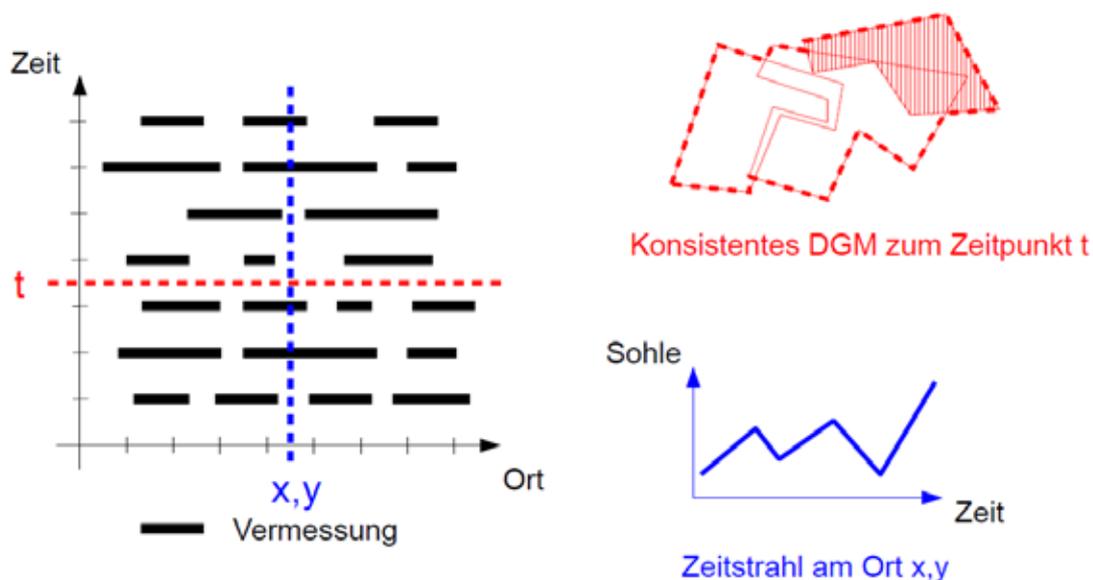


Abb. 1: Modellvorstellung eines Digitalen Geländemodells im Forschungsprojekt KoDiBa

Im Rahmen der Modellvorstellung wird dabei ein DGM aufgefasst als eine Menge von Basisdatensätzen zuzüglich einer Vorschrift zur Interpretation jeder der Basisdatensätze. Ein DGM ist somit nicht zwangsläufig eine Datei in einem bestimmten Format mit festgelegter Auflösung, in der die Höheninformation strukturiert oder unstrukturiert abgelegt ist. Vielmehr können bei Bedarf nahezu beliebige Produkte in gewünschter Ausprägung und Auflösung abgeleitet werden.

Technisch wird ein solches Modell durch eine Datenbank mit einer Menge von Geländedaten und Metadaten sowie einer Reihe von Methoden umgesetzt. Diese Vorgehensweise ist exemplarisch im Werkzeug *Gismo* implementiert. Im vorliegenden Beitrag können nicht alle Aspekte der diesem Konzept folgenden Modellierung ausführlich behandelt werden. Stellvertretend sollen deshalb die folgenden Themenschwerpunkte eingehender beschrieben werden:

- > die Bedeutung von Metadaten und die Verwendung einer Projektdatenbank für die Projektarbeit
- > Ansätze zur automatisierten Bestimmung der Wasser-Land-Grenze
- > die automatisierte Ableitung der Modelle des DGM-W
- > Qualitätssicherung

4 Metadaten

In den zurückliegenden Jahren erwies sich die Recherche von Metadaten zu bereitgestellten Geländedaten als eine der schwierigsten Aufgaben bei der Projektbearbeitung. Häufig wurden durch den Datenlieferanten nur spärlich beschriftete Datenträger oder nur wenig aussagekräftig bezeichnete Dateien für die Projektarbeit zur Verfügung gestellt. Darüber hinaus wurden die Daten einer Epoche (Quartal, Jahr etc.) häufig untrennbar zu Einheiten zusammengefasst. Als eine Folge davon zeigten nicht selten bereits die Eingangsdaten für die Modellierung Inkonsistenzen und führten durch die unvermeidbare Fehlinterpretation häufig zu Geländemodellen minderer Qualität.

Nicht zuletzt durch Forschungsprojekte wie NOKIS (LEHFELDT & REIMERS 2009) hat sich die Verbreitung und Weitergabe von Metadaten in der täglichen Praxis deutlich verbessert. Auch wenn derzeit immer noch unterschiedlichste Standards gleichzeitig nebeneinander Verwendung finden und viele Metadaten unterschiedliche Qualitäten zeigen, geht der Trend eindeutig hin zu besserer Datenbeschreibung und zuverlässiger Datenübertragung.

Heute werden vom Datenerheber auf Anforderung in der Regel Datensätze in feiner Granularität bis hin zu einzelnen Tagesleistungen oder sogar Peillinien bereitgestellt und mit Informationen zu deren Entstehung beschrieben. Zu diesen unverzichtbaren (konventionellen) Metadaten gehören in der Regel:

- > eine eindeutige Bezeichnung
- > die zeitliche Ausdehnung
- > das Lage- und Höhenbezugssystem
- > Angaben zum Messverfahren
- > Angaben zum Datenerheber

Darüber hinaus werden im Rahmen der Datenerhebung während der Projektarbeit die folgenden (technischen) Metadaten erhoben:

- > die räumliche Ausdehnung (Hüllpolygon)
- > das zweckmäßige Interpolationsverfahren
- > Angaben zum Typ und zur Quelle
- > Angaben zur Priorität

Diese Metadaten bilden zusammen mit den Daten die Projektdatenbank. Diese Projektdatenbank ist wesentlicher Bestandteil der Projektarbeit. Sie bildet die Basis für die nachfolgende automatisierte Ableitung von Produkten und für die parallel verlaufende Qualitätssicherung.

Neben umfangreichen Möglichkeiten zur Recherche erlaubt sie den schnellen selektiven Zugriff auch auf große Datenbestände. Durch Schnittstellen, beispielsweise zu GIS und Tabellenkalkulationen, wird auch Dritten ein transparenter Blick auf die Datenbasis gewährt. Dies lässt sich in der Kommunikation mit dem Auftraggeber, beispielsweise zur Klärung der erforderlichen Datenüberdeckung oder des Umfangs des bereitgestellten Datenmaterials, äußerst vorteilhaft nutzen.

Beispielhaft sind ausgewählte Metadaten des Projektes DGM-W Unter- und Außenelbe als Tabellen- und als Kartenansicht in Abb. 2 gezeigt.

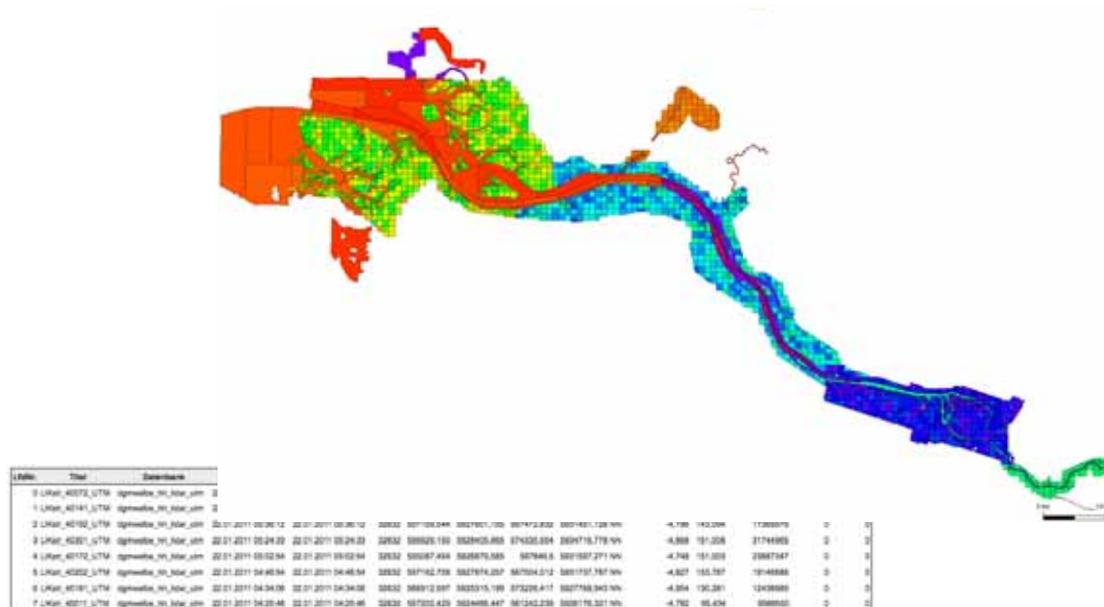


Abb. 2: Metadaten am Beispiel des Projektes DGM-W Unter- und Außenelbe

5 Bestimmung von Wasser-Land-Grenzen

Bei der Vermessung großflächiger Gebiete im Küstenumfeld gewinnt die Datenaufnahme mittels Airborne Laserscanning (ALS) immer mehr an Bedeutung. Hierbei stellt die Unterscheidung von trockenen und nassen Messpunkten und die damit verbundene Ermittlung der Wasser-Land-Grenze eine noch nicht zufriedenstellend gelöste Aufgabe dar.

Wäre es möglich, das jeweilige Projektgebiet in einem Schritt nahezu zeitgleich durch ALS aufzunehmen, so wäre die WLГ im Idealfall ein durchgehender Linienzug, auf dessen einer Seite die „nassen Punkte“, also die Wasserfläche, und auf der anderen Seite die „trockenen Punkte“, die Landfläche, liegen. In der Praxis wird aber ein Projektgebiet in mehreren Teilen (den einzelnen Flugstreifen) und über einen längeren Zeitraum hinweg aufgenommen. Dies führt dazu, dass in den verschiedenen Flugstreifen, selbst wenn diese an einem Flugtag aufgenommen wurden, in der Regel sehr unterschiedliche Wasserstände abgebildet sind. Die Tatsache, dass benachbarte Flugstreifen unterschiedliche Wasserstände aufweisen, führt im gemeinsamen Überlappungsbereich zu Problemen bei der Zuordnung der einzelnen Punkte zu den Kategorien „Wasser“ und „Land“ (Abb. 3).

Die Frage nach der Zugehörigkeit kann letztlich nur durch Einbezug des Zeitpunktes der Aufnahme eindeutig geklärt werden, weshalb die Betrachtung der Flugstreifen bzw. die Zuordnung der Messpunkte zu den Flugstreifen in den Mittelpunkt des Interesses gestellt wird. Dabei stellt sich jedoch die Frage, wie die WLГ sinnvoll beschrieben werden kann.

Wird die Grenze zwischen Wasser- und Landfläche durch ein sehr steiles Ufer (z. B. künstliche Böschung, Spundwand etc.) gebildet, so wird die Variation der WLГ bei unterschiedlichen Wasserständen nur sehr gering ausfallen und in der Regel vernachlässigbar sein. Bei sehr flachen Ufern hingegen (z. B. Wattflächen, Priele, Sände etc.) wird die WLГ in Abhängigkeit des Wasserstandes sehr unterschiedlich ausfallen und bei niedrigem Wasserstand wesentlich mehr Landfläche umschließen, als dies bei einem hohen Wasserstand der Fall ist.

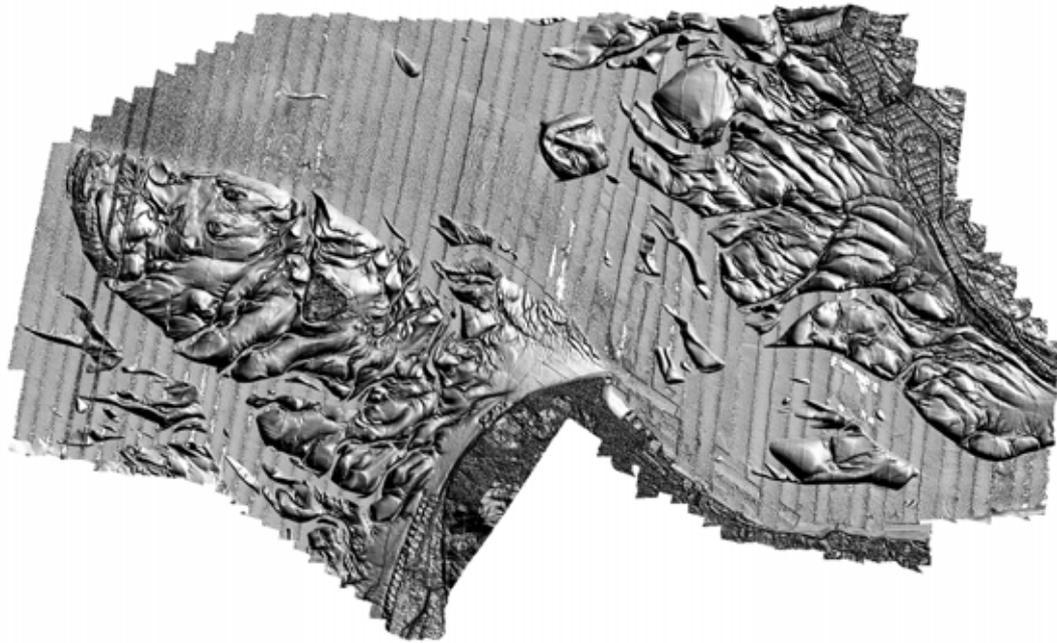


Abb. 3: Schummerungsdarstellung von LIDAR-Daten der Außenelbe

In Abhängigkeit des Charakters des betrachteten Gebietsausschnittes und der Zusammensetzung der zugrunde liegenden Daten erscheint es sinnvoll, in einem Fall einen durchgehenden Linienzug zur Beschreibung der WLG heranzuziehen, während im anderen Fall eine mit Sprüngen behaftete nicht disjunkte Menge von Polygonen die WLG am besten zu beschreiben scheint (Abb. 4).

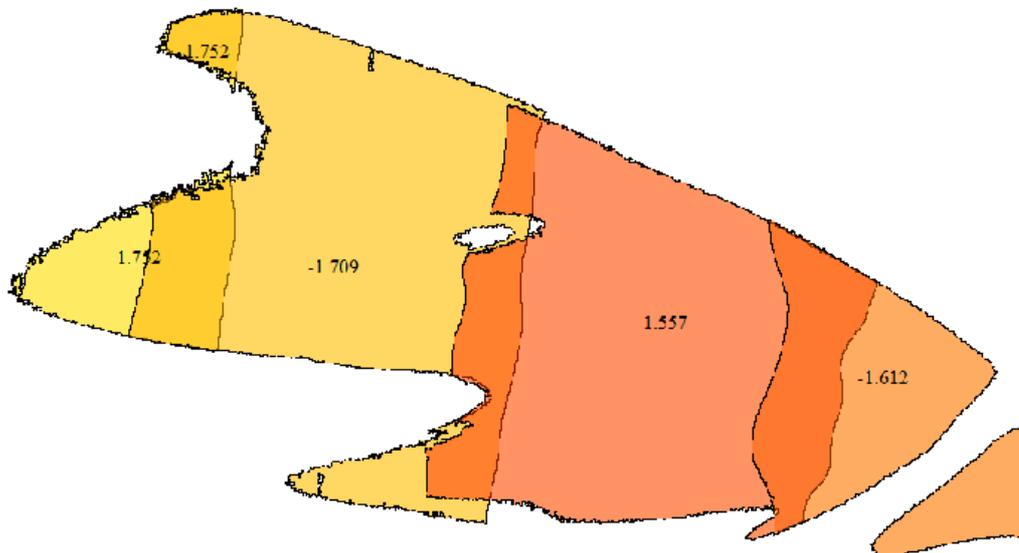


Abb. 4: Streifenbasierte Wasser-Land-Grenze mit unterschiedlichen Wasserständen

Erfahrungen aus zurückliegenden und laufenden Projekten zeigen, dass in einem typischen Projektgebiet im Küstenbereich sehr unterschiedliche Randbedingungen zu sehr komplexen Verläufen der WLG führen können (Abb. 3), sodass es zweckmäßig erscheint, beide Ausprägungen zur Beschreibung der WLG zu verwenden.

Im weiteren Verlauf wird eine Grenze, die durch einen durchgängigen Linienzug beschrieben wird, als durchgängige WLГ bezeichnet, wohingegen eine Grenze, die sich aus unterschiedlichen, meist überschneidenden Polygonen zusammensetzt, als streifenbezogene WLГ bezeichnet wird.

Im Rahmen laufender Projekte wurde ein automatisiertes Verfahren entwickelt, welches zur Bestimmung der WLГ die unterschiedliche Rauheit von Wasserfläche und Landfläche heranzieht. Unter der Voraussetzung, dass eine Wasserfläche oder mehrere nahezu horizontale Wasserflächen mit einer ausreichenden Ausdehnung bzw. einem ausreichenden Flächenanteil an der Gesamtfläche gegeben sind, bestimmt das Verfahren eine Menge von Polygonen, welche die trockene Fläche umschreiben.

Es hat sich als zweckmäßig erwiesen, als Eingangsdaten jeweils die Menge der Messpunkte eines einzelnen Flugstreifens zu prozessieren. Die eigentliche Anwendung der Algorithmen, die vom Charakter her als Filterverfahren einzustufen sind, erfolgt auf einer Ausgleichsfläche, die auf den Stützstellen eines regelmäßigen Rasters unterschiedlicher Rasterweite konstruiert wird. Die Rasterweite der Ausgleichsfläche ist neben anderen Parametern maßgeblich für die Auflösung der WLГ verantwortlich. Eine kleine Rasterweite ermöglicht im optimalen Fall eine feine Auflösung der WLГ. Die Rasterweite ist nach unten durch die mittlere Dichte der Messpunkte beschränkt.



Abb. 5: Streifenbasierte Wasser-Land-Grenze in der Außenelbe

Das automatisierte Verfahren bewältigt große Datenmengen in vergleichsweise kurzer Zeit und führt zu reproduzierbaren, objektiven Ergebnissen und ist deshalb einer manuellen Bearbeitung vorzuziehen. Besonders in ausgedehnten Wattbereichen mit ausgeprägten natürlichen Rinnensystemen und unterschiedlichen Wasserständen sind sehr gute Ergebnisse zu erreichen (Abb. 5). Es findet seine Grenzen in Bereichen mit künstlichen Strukturen wie z. B. Schleusen oder Kaianlagen oder lokal begrenzten Störungen z. B. durch schiffsinduzierte Wellen (Abb. 6).

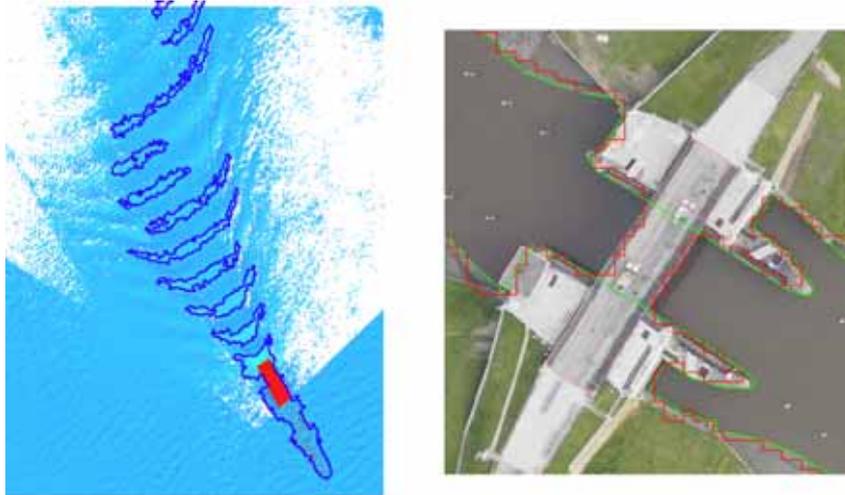


Abb. 6: Grenzen der automatisierten Bestimmung der Wasser-Land-Grenze

In solchen Bereichen muss die WLГ interaktiv auf der Basis unterschiedlicher Quellen festgelegt werden. Das Produkt der interaktiven Festlegung ist eine durchgängige WLГ.

Vorteilhaft zu verwendende Quellen sind:

- > elektronische Seekarten (ENC)
- > die Digitale Bundeswasserstraßenkarte DBWK2
- > digitale Orthofotos, zeitgleich aufgenommen mit der LIDAR-Befliegung (oftmals nur in Teilen verfügbar)
- > digitale Orthofotos z. B. des Webdienstes des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie (BKG)

sowie außerdem

- > die automatisch bestimmte streifenbezogene WLГ (auch wenn diese für sich betrachtet nur von unzureichender Qualität ist)

Des Weiteren wurden insbesondere in räumlich begrenzten Situationen wie z. B. Hafenbecken sehr gute Erfahrungen mit der Auswertung von Histogrammen der Höhenwerte der LIDAR-Punkte gemacht.

Die genannten Quellen sind je nach Gebiet von sehr unterschiedlicher Qualität. Es hat sich gezeigt, dass immer mehrere der genannten Quellen herangezogen bzw. ein Teil zur Bestimmung der WLГ und andere zur Qualitätssicherung verwendet werden sollten.

6 Modellierung

Für das bessere Verständnis der teilweise recht komplexen Vorgehensweise soll vor der Beschreibung der Details im vorliegenden Kapitel zunächst der grobe Ablauf der verschiedenen Arbeitsschritte skizziert werden. Die Darstellung dieses Ablaufes stützt sich dabei auf die nachfolgende Abb. 7:

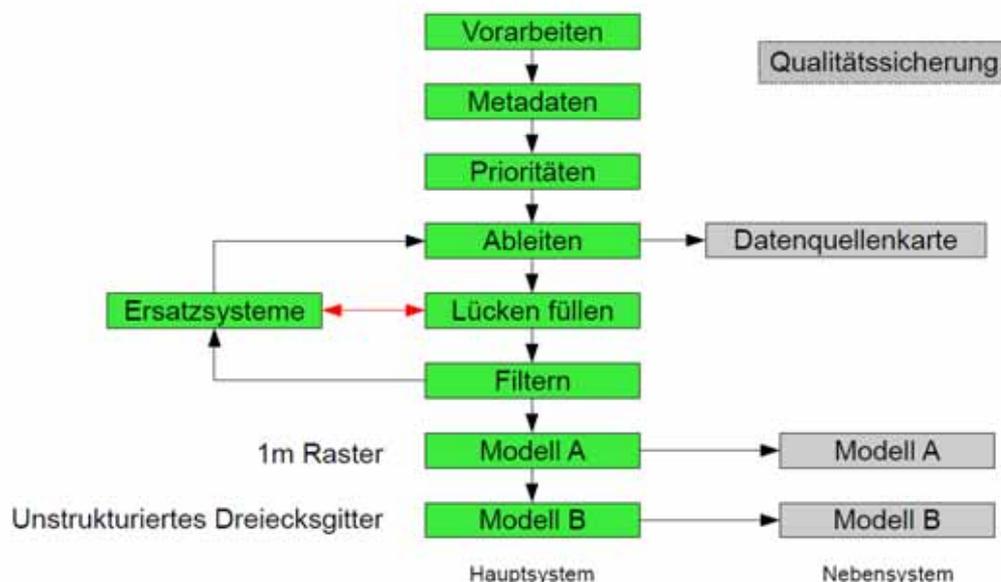


Abb. 7: Prozessablauf zur automatisierten Erstellung eines DGM-W

Nach den Vorarbeiten, die sich im Wesentlichen aus Beschaffung, Zusammenstellung und dem Import der benötigten Basisdatensätze zusammensetzen, folgt die Erfassung der Metadaten. Unter dem Stichwort „Metadaten“ werden jene Informationen verstanden, die zur richtigen Interpretation der Basisdaten unerlässlich sind bzw. die verwendet werden können, um die Vergabe der Prioritäten im nächsten Arbeitsschritt vornehmen zu können (s. Abschnitt 4). Nachdem die Prioritätenfolge festgelegt ist, kann in einem iterativen Prozess das so bezeichnete Roh-DGM aus den Basisdaten durch Interpolation/Approximation abgeleitet werden. Mehrfach wird ein Modell abgeleitet, gefüllt und gefiltert, um im Anschluss die Qualität zu beurteilen und den Bedarf an Ersatzmodellen zu erkennen, die auf der Basis der lokalen Gegebenheiten konstruiert und dann den Basisdaten hinzugefügt werden. Am Ende dieser Arbeitsschritte steht das Modell A, aus welchem durch Vergrößerung und gegebenenfalls durch Hinzunahme von ausgewählten Strukturkanten das Modell B entwickelt wird.

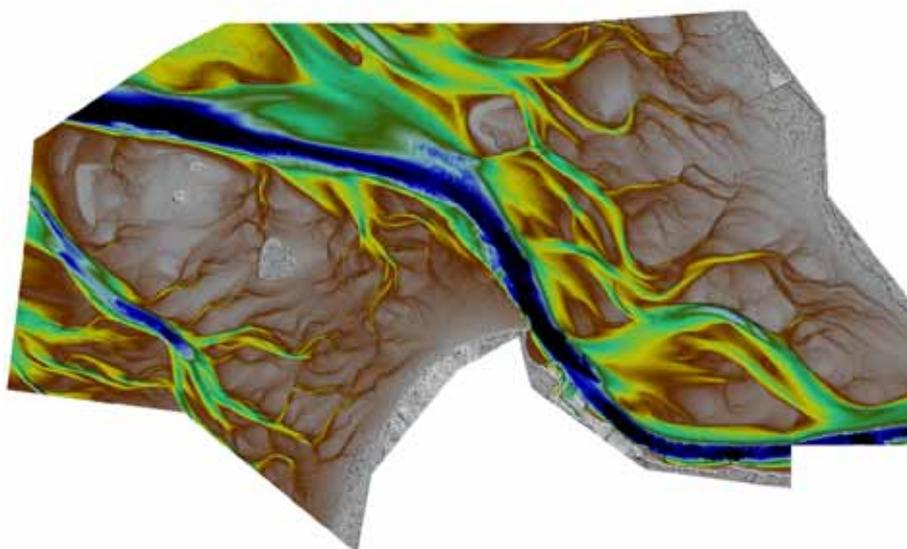
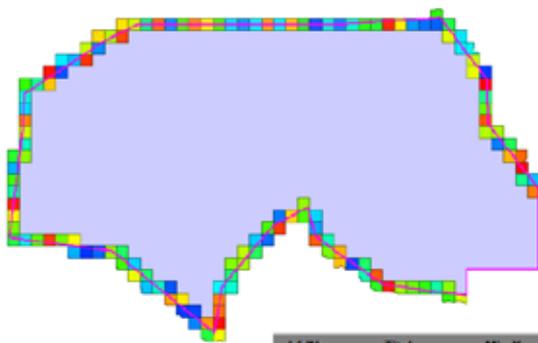


Abb. 8: Modell A (1m-Raster) der Außenelbe

Alle diese zuvor geschilderten Arbeitsschritte werden im Hauptsystem vorgenommen. Das Modell A des Nebensystems wird durch Transformation und erneute Interpolation erzeugt, wohingegen das Modell B des Nebensystems durch direkte Transformation erzeugt werden kann. Die gesamte Kette der Arbeitsschritte wird durch Maßnahmen zur Qualitätssicherung begleitet.

7 Qualitätssicherung

Der gesamte Prozess der in diesem Dokument beschriebenen Erstellung eines DGM-W wird in jedem Teilschritt durch eine Qualitätssicherung begleitet. Während der Erstellung des DGM-W wird eine Reihe von speicherplatzintensiven Zwischenprodukten erstellt. Diese Zwischenprodukte, die eigens in dafür vorgesehenen Datenbanken abgelegt werden, werden wie auch schon die Basisdaten automatisiert mit Metadaten beschrieben.



Ermittlung aller Kacheln des Modells A
mit weniger als 1.000.000 Punkten

Visualisierung der Metadaten

Abgleich mit den Projektgrenzen

LfdNr.	Titel	Min X	Min Y	Max X	Max Y	Min Z	Max Z	Punkte/Knoten
0	324605967	460000,5	5967000,5	460999,5	5967999,5	-1,535	-0,319	157351
1	324935982	493000,5	5982000,5	493999,5	5982999,5	0,455	8,968	231938
2	324685962	468000,5	5962000,5	468999,5	5962999,5	-1,355	-0,333	209380
3	324695962	469000,5	5962000,5	469999,5	5962999,5	-0,915	2,499	895282
4	324825966	482000,5	5966000,5	482999,5	5966999,5	-0,155	8,122	415102
5	324585982	458000,5	5982000,5	458999,5	5982999,5	-26,804	-15,899	743317
6	324675964	467000,5	5964000,5	467999,5	5964999,5	-5,462	-0,063	998290
7	324795986	479000,5	5986000,5	479999,5	5986999,5	-1,643	-0,529	439000
8	324895986	489000,5	5986000,5	489999,5	5986999,5	-0,024	8,787	977705
9	324615967	461000,5	5967000,5	461999,5	5967999,5	-1,198	-0,374	287205
10	324755968	475000,5	5968000,5	475999,5	5968999,5	5,692	8,064	96733
11	324885986	488000,5	5986000,5	488999,5	5986999,5	-0,61	3,072	956431
12	324765970	476000,5	5970000,5	476999,5	5970999,5	0,718	13,746	957067

Abb. 9: Qualitätssicherung mit Metadaten

Diese Metadaten (z. B. Bezeichnung, Anzahl der Rasterpunkte, extreme X-, Y- und Z-Werte etc.) können in der tabellarischen Ansicht oder z. B. durch Nutzung einer Tabellenkalkulation sehr effektiv visualisiert und kontrolliert werden. So lässt sich beispielsweise auch der Füllgrad von Kacheln nach dem Füllen der Datenlücken auf einfache, aber effektive Weise dokumentieren.

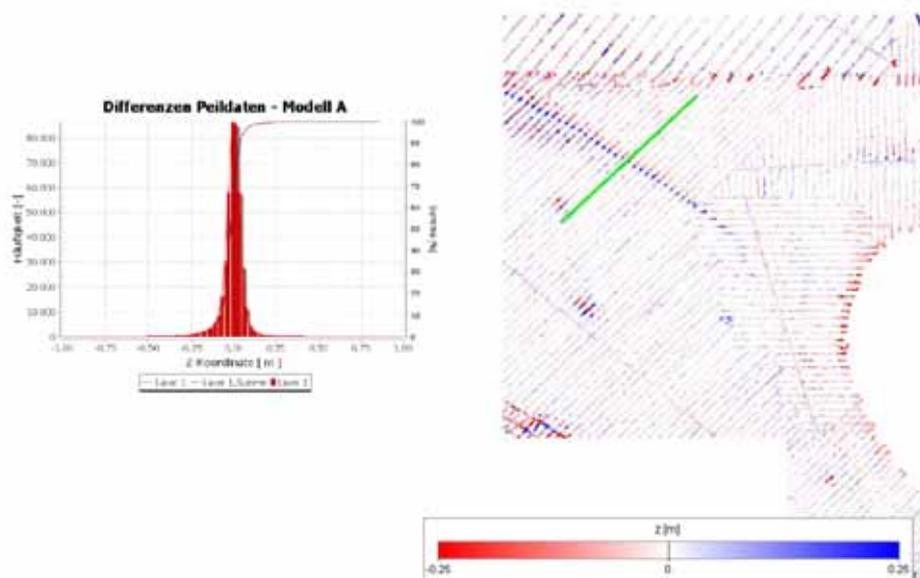


Abb. 10: Differenzen aus Messpunkten einer Linienlotung und DGM-W

Die im DGM-W verwendeten flächenmäßig umfangreich vertretenen Linienlotungen stellen für den Prozess der Modellierung insofern eine Herausforderung dar, dass sie in Richtung der Linien eine sehr hohe Dichte aufweisen und orthogonal dazu sehr spärlich besetzt sind. Darüber hinaus werden Rinnenstrukturen bedingt durch den linienhaften Charakter je nach gegenseitiger Ausrichtung von natürlicher Struktur (z. B. Rinne, Böschung) und Lotungslinie in sehr unterschiedlicher Qualität abgebildet. Um dennoch die Abbildung der für die hydrodynamischen Prozesse außerordentlich wichtigen Strukturen zu ermöglichen, wird bei Bedarf Gebrauch von manuell zu den Messpunkten hinzugefügten Zwangskanten gemacht.

Aus diesem Grunde ist der Kontrolle der korrekten Abbildung dieser Datensätze im DGM-W besondere Aufmerksamkeit zu schenken. Stichprobenartig werden dabei Differenzen aus den originären Messpunkten der Peilungen und dem resultierenden DGM-W gebildet (Abb. 10).

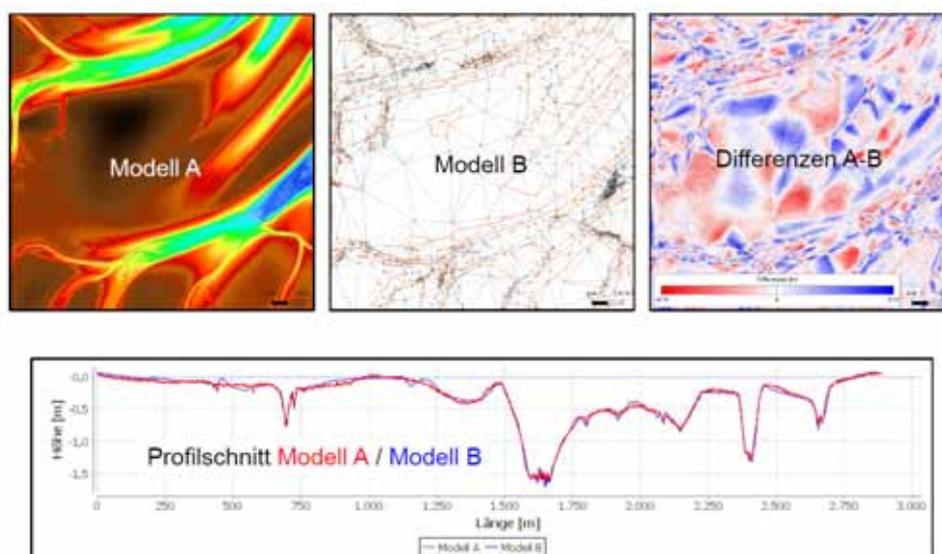


Abb. 11: Differenzen aus Modell A und B in der Aufsicht und im Profilschnitt

Diese Differenzenbetrachtung kann auch herangezogen werden, um die Einhaltung der zulässigen Abweichungen zwischen dem Modell A und dem daraus abgeleiteten, nach morphologischen Kriterien vergrößerten Modell B zu kontrollieren (Abb. 11).

Um zu gewährleisten, dass aus hydrodynamischer Sicht wichtige Strukturen adäquat abgebildet sind, werden die auf das 1m-Raster bezogenen extremalen Messwerte zusätzlich zusammen mit dem DGM-W einer Schnittbetrachtung unterzogen.

In Abb. 12 ist ein solcher Profilschnitt durch einen Schutzdeich gezeigt. Es ist zu erkennen, dass das Modell A, welches wiederum als Ausgleichsfläche aufgefasst werden kann, im Bereich des Deiches und des Vorlandes seinen Verlauf genau zwischen den extremalen Werten nimmt und quasi von den minimalen und maximalen Messwerten „eingehüllt“ wird. Dadurch ist der Nachweis erbracht, dass auch die Höhe der Deichkrone im Modell richtig wiedergegeben wird.

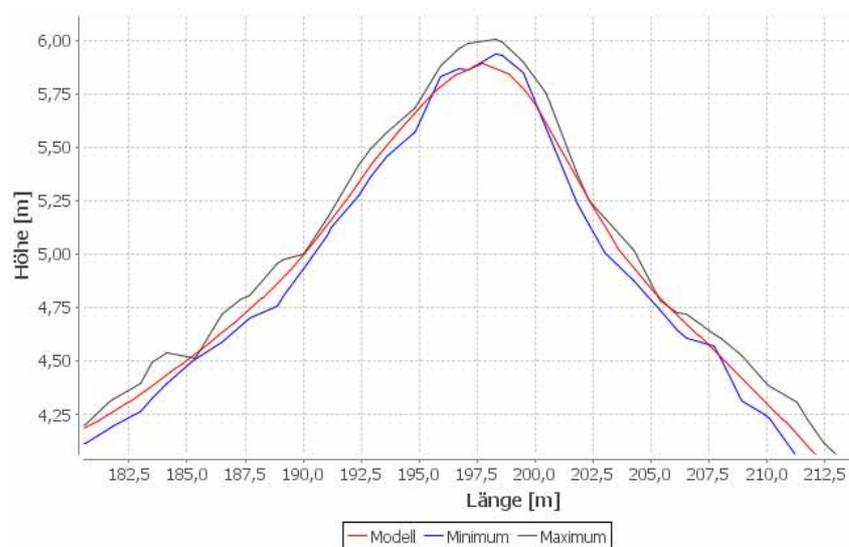


Abb. 12: Gegenüberstellung von Messwerten und DGM-W an einem Profilschnitt durch einen Schutzdeich

8 Zusammenfassung

Ziel dieses Beitrages ist es zu zeigen, dass sich eine Reihe von Arbeitsschritten bei der Erstellung von Digitalen Geländemodellen (insbesondere im Küstenbereich) erfolgreich automatisieren lassen. Dabei wurde besonderer Wert darauf gelegt zu vermitteln, welche große Bedeutung hierbei aussagekräftige Metadaten einnehmen. Es sollte weiterhin gezeigt werden, dass eine Automatisierung keineswegs zu einer Qualitätsverminderung führen muss und deshalb vorwiegend als Mittel aufgefasst werden kann, um wiederkehrende einfache Arbeitsschritte durch den Rechner erledigen zu lassen. Vielmehr sollte aufgezeigt werden, welche Vorteile die Automatisierung hinsichtlich Dokumentation und Qualitätssicherung bietet und wie sich dank der Reproduzierbarkeit Parameterstudien durchführen lassen, welche zu einer insgesamt höheren Qualität führen können. Damit ist ein deutlicher Vorteil gegenüber vermeintlich präziserer manueller Bearbeitung solcher komplexen und arbeitsintensiven Projekte gegeben.

Literatur

SELLERHOFF, F., P. MILBRADT (2005): Entwicklung und Implementierung von Methoden zur Erstellung konsistenter Digitaler Bathymetrien, Abschlussbericht zum Forschungsprojekt KoDiBa.

LEHFELDT, R., H.-C. REIMERS (2009): NOKIS - Informations-Infrastrukturen für Nord- und Ostseeküste als Beitrag zu einem Integrierten Küstenzonenmanagement, Abschlussbericht 01.09.2004 - 31.10.2008.

Kontakt:

Dr.-Ing. Frank Sellerhoff

smile consult GmbH

Vahrenwalder Straße 7

30165 Hannover

Tel.: 0511/ 9357 620

Fax: 0511/ 9357 629

E-Mail: sellerho@smileconsult.de

1984 – 1986

Ausbildung zum Maler und Lackierer bei Firma Wekat in Bremerhaven

1986 – 1994

Studium Bauingenieurwesen an der Universität Hannover

1994 – 2001

Wissenschaftlicher Angestellter am Institut für Bauinformatik an der Universität Hannover

2001

Promotion mit dem Thema „Ein punktbasiertes Informationsmodell für das Küsteningenieurwesen“

seit 2001

Geschäftsführer der smile consult GmbH, Hannover

Projektbearbeitung:

seit 2009: DGM-W Oberrhein I

seit 2009: DGM-W Tide-/Außenelbe

seit 2010: DGM-W Unter-/Außenems

seit 2010: DGM-W Unter-/Außenweser

Möglichkeiten der satellitengestützten synoptischen Erfassung topografischer Daten im Küstenbereich

Uwe Sörgel, Karsten Jacobsen, Peter Lohmann und Alena Schmidt

1 Einleitung

Das Institut für Photogrammetrie und GeoInformation (IPI) der Leibniz Universität Hannover wurde im Oktober 2010 von der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) beauftragt, eine Studie zum Thema „Nutzung der Satellitenfernerkundung für synoptische Vermessungen der Küstengewässer der Nordsee“ durchzuführen. Die Eignung moderner Satellitensensoren verschiedener Spektralkanäle wurde im Hinblick auf folgende Nutzerprodukte untersucht:

- > 3D-Stützpunkte für die DGM-Modellierung
- > 2D-/3D-Wasser-Land-Grenzen
- > 2D-Küstenlinien
- > 3D-Strukturlinien
- > georeferenzierte Bilddaten

Diese Nutzerprodukte sind mit gewissen Anforderungen an die Höhen- sowie Lagegenauigkeit verbunden: So wird oftmals eine Höhengenaugigkeit U_H von bis zu 15 cm verlangt, während die geforderte Lagegenauigkeit U_x, U_y einen Bereich von 1m bis 20 m umfasst. In diesem Beitrag wurden einige dieser Ergebnisse zusammengefasst.

2 Optische Sensoren

2.1 Grundlagen

Alle betrachteten Systeme basieren auf dem Prinzip der Zeilenscannerkamera. Die Abbildung erfolgt mittels einer einzelnen CCD-Zeile oder flächenhaften CCD-Sensoren, die durch parallele Anordnung mehrerer Zeilen gebildet werden und in Bewegungsrichtung eine Breite von bis zu 64 Pixeln haben. Durch die Bewegung des Satelliten in seiner Bahn oder die Rotation des Satelliten wird die darunterliegende Erdoberfläche nach und nach erfasst. Die flächenhaften Sensoren werden für das *Transfer Delay and Integration* benötigt, bei dem die in einem CCD-Element (Pixel) durch Belichtung erzeugten freien Elektronen mit der Geschwindigkeit der Vorwärtsbewegung des auf dem Sensor abgebildeten Objektes in die Nachbarzeile verschoben werden, wo sich durch eine weitere Belichtung die Anzahl der freien Elektronen erhöht und im Ergebnis das Signal-Rausch-Verhältnis (SNR, auch Signal-Rausch-Abstand) verbessert wird.

Die physikalische Pixelgröße der Kamera projiziert auf die Erdoberfläche stellt die Objektpixelgröße dar. Einige Satellitenkameras verfügen über eine Kombination von 2 CCD-Zeilen, die gegeneinander um ein halbes Pixel versetzt sind (*Staggered Lines*). Damit überlappen sich die benachbarten Objektpixel zu 50 %. Die erzeugten Bilder sehen so aus, als ob sie die Objektauflösung entsprechend des Abstandes benachbarter projizierter Objektpixelgrößen hätten. Deswegen wird allgemein der Begriff *Ground Sampling Distance* (GSD) = Abstand der projizierten Objektpixelzentren verwendet (Abb. 1). Diese GSD hängt auch vom Nadirwinkel ab, je größer umso schlechter die Auflösung. Daher sollten möglichst Aufnahmen in Nadirsicht genutzt werden. Die GSD in Bewegungsrichtung entspricht theoretisch nicht der Objektpixelgröße, sondern dem Ausleseintervall multipliziert mit der Bodengeschwindigkeit der Abbildung (*Sampling Distance*). Alle Satellitenkameras verwenden jedoch ein Ausleseintervall, das etwa der Objektpixelgröße entspricht.

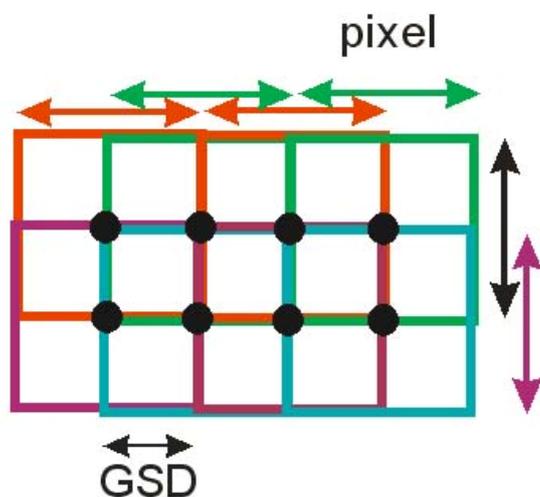


Abb. 1: Objektpixelgröße (Pixel) und Ground Sampling Distance (GSD)

Die Anzahl der optischen Fernerkundungssensoren ist recht groß und es kommen ständig neue hinzu, während die Lebenszeit der Satelliten in der Regel deutlich länger als vorausgeplant ist. Tabelle 1 zeigt eine Übersicht.

Mit Ausnahme des russischen Resourcesat und eines malaiischen Fernerkundungssatelliten sind alle optischen Satelliten in einer sonnensynchronen Umlaufbahn. Der Inklinationswinkel von etwa 98° bewirkt, dass der Satellit bei der nächsten Umlaufbahn die Aufnahmen zur gleichen Ortszeit aufnimmt. Die Ortszeit der Aufnahmen liegt je nach Satellit zwischen 9:00 und 11:00 Uhr, mit einer jahreszeitlichen Varianz von bis zu 15 Minuten. Mittags und nachmittags bilden sich mehr Wolken und früher am Tag steht die Sonne nicht hoch genug, um für eine ausreichende Belichtung zu sorgen.

Tabelle 1

Überblick über hochauflösende optische Satellitensensoren (kursiv: geplant)

Satellit	GSD pan/MS [m]	MS-Kanäle	Flughöhe [km]	Streifenbreite [km]	Stereo im Orbit
IKONOS	0,82 / 3,28	4	681	11	Ja
QuickBird	0,61 / 2,44	4	450	16,5	Ja
Cartosat-1	2,5 / -	0	618	27	Stereosatellit
ALOS/PRISM	2,5 / -	0	691	35	Stereosatellit
Cartosat 2A/2B	0.8 / -	0	637	9,6	Ja
WorldView-1	0,45 / -	0	496	17,6	Ja
WorldView-2	0,46 / 1,84	8	770	16,4	Ja
GeoEye-1	0,41 / 1,65	4	682	15,2	Ja
SPOT-5	5,0 (2,5) / 10	4	822	60	nur vom Nachbarorbit
Formosat-2	2,0 / 8,0	4	891	24	Ja
Kompsat-2	1,0 / 4,0	4	685	15	Ja
RapidEye	/ 6,5	5	630	77	Nein
<i>Pleiades 1 / 2</i>	<i>0,5 (0,7) / 2,0</i>	<i>4</i>	<i>694</i>	<i>20</i>	<i>Ja</i>
<i>SPOT 6 / 7</i>	<i>1,5 / 6,0</i>	<i>4</i>	<i>694</i>	<i>60</i>	<i>Ja</i>
<i>Sentinel-2</i>	<i>- / 10, 20, 60</i>	<i>13</i>	<i>694</i>	<i>60</i>	<i>-</i>
<i>GeoEye-2</i>	<i>0,25 / 1,0</i>	<i>4</i>			<i>Ja</i>
<i>Cartosat-3A / 3B</i>	<i>0,33 / -</i>	<i>0</i>	<i>450</i>	<i>16</i>	<i>Ja</i>

2.2 Orientierung

Die Satellitenbildorientierung wird in der Regel als RPC (*Rational Polynomial Coefficients*) geliefert. Sie ist durch die absolute Orientierung der Satelliten ohne Nutzung von Passpunkten bestimmt. Die RPC drücken die Bildkoordinaten x_{ij} , y_{ij} als Verhältnis zweier Polynome dritten Grades in Abhängigkeit der Objektkoordinaten X , Y und Z aus (Gleichung 1). Das erfordert 80 Koeffizienten, die die individuelle Abbildungsgeometrie ausreichend genau beschreiben.

$$x_{ij} = \frac{Pi1(X, Y, Z)_j}{Pi2(X, Y, Z)_j} \quad y_{ij} = \frac{Pi3(X, Y, Z)_j}{Pi4(X, Y, Z)_j} \quad \text{rational polynomial coefficients}$$

$$Pn(X, Y, Z)_j = a1 + a2*Y + a3*X + a4*Z + a5*Y*X + a6*Y*Z + a7*X*Z + a8*Y^2 + a9*X^2 + a10*Z^2 + a11*Y*X*Z + a12*Y^3 + a13*Y*X^2 + a14*Y*Z^2 + a15*Y^2*X + a16*X^3 + a17*X*Z^2 + a18*Y^2*Z + a19*X^2*Z + a20*Z^3 \quad (1)$$

Die RPC werden auf Grundlage der Satellitenorientierung bestimmt, die auf GPS-Empfängern, Kreisel- und Stellarkameras beruhen, hierfür werden normalerweise keine Passpunkte verwendet. Es erfolgt in regelmäßigen Abständen eine Überprüfung der Satellitenorientierung mittels Testpunktfeldern. Die absolute Orientierungsgenauigkeit ohne Verwendung von Passpunkten wird allgemein mit CE90 (*Circular Error 90 % Probability*) angegeben. CE90 hat ein festes Verhältnis zu der außerhalb der USA verwendeten Standardabweichung (Gleichung 2 und 3).

$$\begin{aligned} \text{CE} &= \text{circular error: Genauigkeitsmaß für die Lage} \\ &\text{– unter der üblichen Voraussetzung } SX = SY \rightarrow \\ \text{CE90} &= SX \cdot 2,146 \qquad \text{CE95} = SX \cdot 2,45 \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \text{LE} &= \text{Genauigkeitsmaß für die Höhe} \\ \text{LE90} &= SZ \cdot 1,65 \qquad \text{LE95} = SX \cdot 1,96 \end{aligned} \quad (3)$$

Die Angaben der Satellitenbetreiber über die Orientierungsgenauigkeit ohne Verwendung von Passpunkten sind realistisch und stimmen mit eigenen Ergebnissen überein. Mit Hilfe von Passpunkten können die verbliebenen systematischen Orientierungsfehler beseitigt werden. Je nach Satellit sind 2 bis 4 Passpunkte für eine genaue Bildorientierung ausreichend, wenn entsprechend geeignete Programme verwendet werden.

Die Orientierungsgenauigkeit unter Verwendung von Passpunkten ist in der Praxis durch die Identifizierungsgenauigkeit der Passpunkte in den Satellitenbildern begrenzt, da in der Regel die Lagebestimmung mit GPS durchgeführt wird, die normalerweise ausreichend genau ist. Mit vier klar identifizierbaren Passpunkten kann ohne Probleme eine Standardabweichung der Objektkoordinaten X und Y von **0,5 GSD** erreicht werden, wenn die Orientierung mit Programmen zur geometrischen Rekonstruktion der Bilder oder mit den sogenannten *bias corrected RPC* (RPC zusammen mit den Bildern geliefert und durch Passpunkte verbessert) erfolgt.

Für eine dreidimensionale Punktbestimmung ist ein Stereobildpaar erforderlich. Es sollten nur Stereobildpaare genutzt werden, die vom selben Orbit stammen (ca. eine Minute Zeitabstand der Aufnahmen) oder die nur wenige Tage Zeitabstand aufweisen, wobei für die Bestimmung von Wasserlinien nur Aufnahmen vom gleichen Orbit akzeptabel sind. Das normale Basis-Höhen-Verhältnis der Satellitenstereobildpaare liegt bei 0,6 und ist auch für die vorgesehene Anwendung zu empfehlen. **Mit derartigen Stereobildpaaren sind Objekthöhen von Punkten mit gutem Kontrast mit einer Standardabweichung von 1,0 GSD * h/b entsprechend 1,6 GSD ohne Probleme erreichbar.**

Tabelle 2

Orientierungsgenauigkeit einiger Satelliten ohne Verwendung von Passpunkten (WV = WorldView)

Satellite	IKO-NOS	Quick-Bird	WV-1	WV-2	Geo-Eye	SPOT5	Formosat2	Kompsat2	Rapid-Eye
CE90	15 m	23 m	6.5 m	6.5 m	4 m	<50 m	230 m	80 m	10 m
SX / SY	7 m	11 m	3 m	3 m	2 m	<23 m	107 m	37 m	5 m

2.3 Stereoauswertung

Jede Auswertung von optischen Bildern ist vom Objektkontrast abhängig. Weist das Objekt keinen Kontrast (Variation der Grauwerte) auf, ist eine Objektpunktbestimmung nicht möglich. Der Kontrast kann stark vom Spektralbereich abhängen, so kann die Wasserlinie im nahen Infrarot sehr viel kontrastreicher sein als im Blaubereich.

Unabhängig von Fehlern der Bildorientierung ist die Objektauswertegenauigkeit optischer Satellitenbilder durch das GSD dominiert. Bei Stereoauswertungen ist die Standardabweichung der Objektkoordinaten in X-Richtung (SX) und in Y-Richtung (SY) in der Praxis gleich und ein Faktor multipliziert mit der GSD. Der Faktor ist von der Objektidentifizierung in den Bildern abhängig. Die Zentren symmetrischer Punkte können mit bis zu $0,5 \times$ GSD bestimmt werden, bei Kanten und Objekten mit schlechtem Kontrast erhöht sich der Faktor. Der Faktor 1,0 ist üblich bei durchschnittlichem Kontrast. Die Höhenbestimmung ist außerdem von dem Basis-Höhenverhältnis abhängig:

$$SX = SY = \text{Faktor} \cdot \text{GSD} \quad SZ = \text{Faktor} \cdot h/b \cdot \text{Spx} \quad (4)$$

mit h/b = Höhen-Basis-Verhältnis des Stereopaars und
 Spx = Standardabweichung der x-Parallaxe

Üblich ist ein Höhen-Basis-Verhältnis von 1,6 entsprechend einem Basis-Höhen-Verhältnis von 0,6. Die Standardabweichung der x-Parallaxe ist durch den Objektkontrast dominiert.

Eine Relativgenauigkeit der Höhe von einem GSD ist bei gutem Kontrast möglich, die Absolutgenauigkeit liegt bei durchschnittlichem Objektkontrast bei etwa 1,6 GSD. Im Wattbereich muss allerdings mit schlechtem Objektkontrast gerechnet werden. Damit können die Anforderungen von bis zu 15 cm Höhengenaugigkeit nicht erfüllt werden, jedoch einige der Anforderungen an die Lage.

3 SAR-Sensoren

3.1 Grundlagen

Aufgrund von Beugung ist die Winkelauflösung eines bildgebenden Sensorsystems $\Delta\theta$ näherungsweise durch das Verhältnis von Signalwellenlänge λ zur Eintrittsöffnung D des Sensors (optisch: Linsendurchmesser, Radar: Antennengröße) gegeben. Die um einige Größenordnungen längere Wellenlänge im Mikrowellenbereich führt daher prinzipiell zu einer deutlich schlechteren Winkelauflösung verglichen mit einem optischen Sensor, bei gleicher Öffnung D und Abstand R zur Szene (Gleichung 5). Dennoch ist mit speziellen Techniken eine bildhafte Erfassung der Erdoberfläche durch Radar mit hoher geometrischer Auflösung möglich. Damit trotz der geringen Winkelauflösung Objekte verschiedener Entfernung unterscheidbar sind, erfolgt die Beleuchtung in Schrägsicht und die Objekttrennung anhand der Laufzeit des abgetasteten zurückreflektierten Signals.

Das Auflösungsvermögen in Entfernungsrichtung δ_r ist durch die Pulsdauer τ gegeben (Gl. 6, c = Lichtgeschwindigkeit). Diese Pulsdauer ist näherungsweise indirekt proportional zur Signalbandbreite B . Die Auflösung δ_r kann somit durch Erhöhung der Bandbreite verbessert werden und ist prinzipiell unabhängig vom Abstand R zwischen Sensor und Szene. Daher sind solche Messungen auch aus großer Entfernung möglich.

$$\Delta\theta \approx \frac{\lambda}{D} \cdot R \quad (5)$$

$$\delta_r = \frac{c \cdot \tau}{2} \approx \frac{c}{2 \cdot B} \quad \text{mit} \quad \tau \cdot B \approx 1 \quad (6)$$

$$\delta_a \approx \frac{D}{2} \quad (7)$$

Die andere Koordinate des Bildes (parallel zum Flugweg) nennt man Azimut. Beim Standardradar entspricht die Azimutaufösung δ_{a_real} dem beugungsbegrenzten Fall und somit der Breite des Antennenabdrucks auf dem Boden. Eine hohe Auflösung in Azimutrichtung δ_a wird durch Zusammenfassung vieler Einzelmessungen zu einer synthetischen langen Antenne erreicht (*Synthetic Aperture Radar*, SAR). Dadurch können Objekte bis zur Größe der halben Antennenausdehnung in Azimut getrennt werden (Gleichung 7). Durch die SAR-Prozessierung werden die zu einer Entfernungszelle gehörenden Einzelsignale aufsummiert, wobei die Entfernungsänderung durch die Relativbewegung zwischen Sensor und Objekt zu berücksichtigen ist. Hierfür ist es allerdings erforderlich, dass die Beleuchtung der Szene quer zur Flugrichtung erfolgt und neben der Amplitude auch die Signalphase gemessen wird.

3.2 Orientierung

Wie oben beschrieben, basiert SAR, anders als optische Sensoren, auf einer Entfernungsmessung. Die Entfernung wird anhand der Laufzeit des elektromagnetischen Signals bestimmt. Da die Lichtgeschwindigkeit vom Brechungsindex abhängt, müssen Signalverzögerungen durch zeitlich und räumlich veränderliche Einflüsse der Atmosphäre berücksichtigt werden. Zudem spielen die Genauigkeit des Orbits und der Zeitmessung sowie die Stabilität der Elektronik und die Qualität der zur SAR-Prozessierung angewandten Algorithmen eine Rolle. EINEDER et al. (2010) zeigen, dass man bei Berücksichtigung und Korrektur all dieser Einflüsse im Extremfall Zentimeterniveau erreichen kann. Insbesondere für TerraSAR-X ist eine Genauigkeit von einem Meter auch im Standardfall durchaus realistisch, sofern man Präzisionsorbits verwendet, die in der Regel einige Tage nach dem Überflug vorliegen.

Um die Daten aus der Sensorgeometrie in geografische Koordinaten oder das Landeskoordinatensystem zu überführen, nutzt man, je nach Genauigkeitsanspruch und Verfügbarkeit, ein Ellipsoid oder ein DGM. Die Entzerrung erfolgt im Allgemeinen indirekt, das heißt, man berechnet für einen Ort im Zielkoordinatensystem iterativ die entsprechende Stelle im SAR-Bild und greift dort den Grauwert ab. Das Sensormodell wird hierbei durch die zwei sogenannten Entfernungs- und Dopplergleichungen repräsentiert, für Details dazu sei auf MEIER et al. (1993) verwiesen. Um systematische Effekte zu beseitigen, verwendet man eine geringe Anzahl von Passpunkten. Von den Anbietern werden standardmäßig Produkte angeboten, die auf ein Ellipsoid (in der Regel WGS84) oder ein Höhenmodell entzerrt worden sind (meist SRTM).

Aufgrund der durch das Sensorprinzip bedingten Schrägsicht können Fehler des zugrunde liegenden Höhenmodells Δh zu Lagefehlern der Abbildung Δx führen:

$$\Delta x = \Delta h \cdot \cot(\theta)$$

Für einen Beleuchtungswinkel von zum Beispiel 45 Grad entspricht die Länge des Lagefehlers somit gerade dem Höhenfehler. Dies kann vor allem bei bewegtem Gelände und DGM geringer Güte zu erheblichen Abweichungen vom wahren Wert führen. Angesichts des flachen Geländeverlaufs an der Küste spielt dieser Effekt jedoch keine große Rolle, so dass man für hochauflösende Sensoren wie TerraSAR-X in Summe von einer Genauigkeit der Georeferenzierung in der Größenordnung weniger Meter ausgehen kann. Da hierbei auch die GSD eine Rolle spielt, ist dieser Wert für Sensoren wie Radarsat 2 oder die zukünftigen Sentinel 1 etwas schlechter.

3.3 Höhenbestimmung

Radargrammetrie

Die Radargrammetrie wertet die in den Amplitudenbildern auftretenden Abbildungseffekte aus, welche im vorangehenden Abschnitt erläutert wurden, zum Beispiel die Länge des Schattenwurfes hinter 3D-Objekten oder der Versatz durch Layover. Die wichtigste Methode nennt man SAR-Stereo, das analog zu der aus der Photogrammetrie bekannten Technik funktioniert. Dabei wertet man die vom Beleuchtungswinkel abhängige Parallaxe korrespondierender Bildstellen aus. Hierzu sind Bilder notwendig, deren Beleuchtungswinkel θ hinreichend verschieden ist. Zur Zuordnung der Korrespondenzen nutzt man im Allgemeinen Korrelationsverfahren. Aufgrund ihres oftmals sehr homogenen Erscheinungsbildes eignen sich diese Verfahren kaum für Wattflächen, zumal die beiden Bilder zu verschiedenen Zeitpunkten aufgenommen werden.

SAR-Interferometrie (InSAR)

Die SAR-Interferometrie fußt auf einer Auswertung der Signalphase meist zweier SAR-Bilder. Große Bedeutung hat die sogenannte InSAR-Technik zur Erzeugung von Höhenmodellen aus zwei quer zur Flugrichtung versetzt aufgenommenen SAR-Bildern u erlangt. Der Versatz (Basislänge) führt zu einer Weglängendifferenz, die sich in einem Phasenunterschied $\Delta\varphi$ zwischen den Bildern äußert.

$$s = u_1 \cdot u_2^* = |u_1| \cdot e^{j\varphi_1} \cdot |u_2| \cdot e^{-j\varphi_2} = |u_1| \cdot |u_2| \cdot e^{j\Delta\varphi}$$

$$\text{mit } \Delta\varphi = W \left\{ \varphi_{fE} + \varphi_{Topo} + \varphi_{Defo} + \varphi_{Error} \right\} \approx \frac{2\pi \cdot p}{\lambda} \cdot \Delta R \quad (8)$$

Der zur Höhenbestimmung genutzte Term ist φ_{Topo} , der Term φ_{fE} hängt vom Beleuchtungswinkel ab und kann leicht beseitigt werden, der Term φ_{Defo} existiert, wenn sich das Gelände zwischen den Aufnahmen in Blickrichtung bewegt hat und schließlich umfasst der Term φ_{Error} alle Störgrößen. Als ein Teilschritt einer ganzen InSAR-Verarbeitungskette ist im Allgemeinen eine Phasenfortsetzung zur Beseitigung von Mehrdeutigkeiten erforderlich. Danach hängt der relative Höhenunterschied benachbarter Bildelemente des Interferogramms näherungsweise linear von der Phasendifferenz ab:

$$\Delta h \approx \frac{\lambda}{2\pi \cdot p} \cdot \frac{R \cdot \sin(\theta)}{B_{\perp}} \cdot \Delta\varphi, \quad B_{\perp} = B \cdot \cos(\theta - \xi). \quad (9)$$

Den Term B_{\perp} nennt man die normale Basislänge, die ungleich Null sein muss, um eine Höhenbestimmung durchzuführen. Die Länge der Basis ist jedoch auch nach oben durch die sogenannte kritische Basislänge beschränkt. Der Grund hierfür ist, dass mit zunehmendem Unterschied der Beleuchtungswinkel die Überlappung der Objektspektren schwindet, bis schließlich die Differenzphase völlig unabhängig von der Szene wird. Im Falle von Envisat beträgt die maximale Basislänge einen Kilometer. Die Differenz des Beleuchtungswinkels θ muss somit klein sein. Hieraus ergibt sich, dass InSAR und SAR-Stereo komplementäre Techniken sind, die nicht gemeinsam auf ein beliebiges gegebenes Paar von SAR-Bildern angewendet werden können.

Abhängig von der verwendeten Wellenlänge erhält man in Vegetationsbereichen ein DGM (langwelliges Signal, z. B. P-Band: 70 cm) oder ein DOM (kurzwellig, z. B. X-Band: 3 cm).

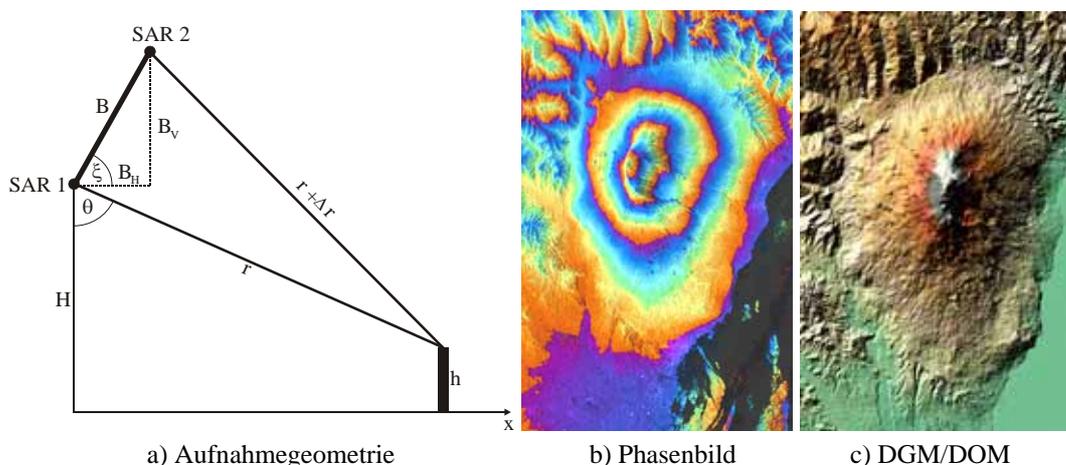


Abb. 2: SAR-Interferometrie (b) und c) Daten der ERS-Tandemmission (Quelle: ESA)

Satellitensensoren nehmen die beiden SAR-Bilder bei wiederholten Überflügen auf (*Repeat-pass Mode*, in Gleichung 9 $p = 2$). Das hat zwei Nachteile: erstens kann aufgrund unterschiedlicher Verteilung von Wasserdampf in der Atmosphäre ein Störterm in der Phasendifferenz entstehen, der den Höhenwert verfälscht. Und zweitens führen zeitliche Änderungen des Geländes zur Dekorrelation der Signale, die Höhe ist dann unbrauchbar. Der zweite Effekt ist insbesondere für die im Rahmen der hier betrachteten Anwendungen im Küstenbereich kritisch: durch den Sedimenttransport aufgrund der Tiden ist nach Ablauf eines Satellitenzyklus (11 bis 42 Tage, je nach System) mit vollständiger Dekorrelation der Wattenoberflächen zu rechnen.

Günstiger liegen die Dinge bei gleichzeitiger Aufnahme der Bilder (*Single-pass Mode*, in Gleichung 9 $p = 1$), wie es bei Flugzeugen möglich ist und bei SRTM (2000) der Fall war. Besonders interessant ist sicher die jüngst angelaufene TanDEM-Mission der beiden deutschen hochauflösenden Satelliten, aus deren Daten nach 3 Jahren ein globales Geländemodell gewonnen werden soll.

Wie in Gleichung 9 gezeigt, besteht zwischen der Höhe und der Differenzphase $\Delta\phi$ ein näherungsweise linearer Zusammenhang. Der dominierende Störeinfluss ist insbesondere beim Single-pass Modus im Rauschen zu suchen. Die Standardabweichung der Phase hängt somit vom SNR ab und kann auf Kosten der geometrischen Auflösung durch Mittelung verbessert werden:

$$\sigma_{\varphi} \approx \frac{1}{\sqrt{SNR} \cdot \sqrt{L}}$$

Mit Gleichung 10 erhält man somit durch Varianzfortpflanzung:

$$\sigma_h \approx \frac{\lambda \cdot R \cdot \sin(\theta)}{p \cdot 2\pi \cdot B_{\perp} \cdot \sqrt{SNR} \cdot \sqrt{L}} \quad (10)$$

Diese Standardabweichung ist Funktion einer Reihe von Parametern. Für eine typische Parameterwahl etwa für TerraSAR-X erhält man für Einzelwerte des Interferogramms ($L = 1$) eine Standardabweichung der Höhe im niedrigen Zehnermeterbereich (Einfluss der Atmosphäre und zeitlicher Dekorrelation vernachlässigt). Das ist der Grund, weswegen eine Glättung über eine hinreichende Anzahl von Looks erforderlich ist, um auf akzeptable Werte zu kommen. Für die TanDEM-Mission werden zum Beispiel 16 Looks vorgeschlagen (HUBER et al. 2010). Somit sowie durch Mittelung mindestens zweier Interferogramme soll schließlich ein globales DGM mit einer Rasterweite von 12 m und einer relativen Höhengenaugkeit von etwa 2 m (LE 90 %) erzeugt werden.

Die Standardabweichung der Höhe steigt laut Gleichung 10 mit dem Abstand R . Berücksichtigt man nun auch die Entfernungsabhängigkeit des SNR, so verstärkt sich dieser Einfluss noch und man erkennt, dass ein möglichst geringer Abstand zur Szene günstig ist. Daher können mit luftgestützten Sensoren DGM höherer Qualität gewonnen werden, vor allem dann, wenn beide Bilder gleichzeitig erfasst werden. Das Potenzial dieser Technik für die 3D-Erfassung des Wattenmeers ist bereits in der Vergangenheit gezeigt worden. So hat die Firma Aerosensing (WIMMER et al. 2000) in einem aufwändigen Experiment ein Testgebiet in der Nähe von Bremerhaven mehrfach überflogen und aus den Daten ein DGM im Raster von 2,5 m mit einer Standardabweichung von weniger als 10 cm generiert.

3.4 Leistungsvermögen bezogen auf Nutzeranforderungen

Das Leistungsvermögen von SAR-Sensoren der ERS-Klasse im Hinblick auf wesentliche Nutzeranforderungen wurde bereits im Jahre 2001 vom DLR in einer umfangreichen Studie untersucht (LEHNER et al. 2001). Für die Genauigkeit der Wasser-Land-Grenzen wurden 1 bis 2,5 Pixel (Inseln bzw. Festland) und für die Residuen der Georeferenzierung etwa 1 Pixel angegeben. Die dort dargestellten Zusammenhänge können weitgehend auf moderne Sensoren wie TerraSAR-X übertragen werden. Aufgrund der um etwa eine Größenordnung verbesserten geometrischen Auflösung liegen diese Werte nunmehr im Bereich weniger Meter, statt im zweistelligen Meterbereich wie noch bei ERS-1/2.

In solch hochauflösten SAR-Daten treten nun Effekte auf, die man aus älteren Bildern nicht kannte. So kann bei starkem Seegang die aufgewirbelte Gischt lokal zu Verschmierungseffekten in Brandungszonen führen, wodurch die tatsächliche Wasser-Land-Grenze undeutlich wird (Dies wird unter anderem durch Eigenbewegungen des Gischtwassers erzeugt.). Da jedoch mit dem allwetterfähigen SAR viele Aufnahmen der Szene möglich sind, sollte sich dieser Effekt, sofern er in einigen davon auftritt, verschmerzen lassen.

Für einige Anwendungsfälle können die Anforderungen an die Lagegenauigkeiten erfüllt werden. Analog zu optischen Satellitenscannern ist jedoch auch kein SAR-Satellitensensor in der Lage, die Anforderungen an die Höhengenaugkeit im Dezimeterbereich zu erfüllen.

4 Zusammenfassung und Ausblick

Es hat sich gezeigt, dass insbesondere die Forderung nach einer Höhengenaugigkeit U_H von bis zu 15 cm von keinem einzigen der Satellitensensoren erreicht werden kann. Hierzu wäre eine Objektpixelgröße vonnöten, die etwa eine Größenordnung feiner ist als die Ground Sampling Distance (GSD) der leistungsstärksten Systeme. Da hierbei entfernungsabhängige physikalische Phänomene wie die Beugung und der Signal-Rausch-Abstand (SNR) eine Rolle spielen, ist auch in Zukunft keine grundlegende Änderung der Situation zu erwarten. Eine geometrische Auflösung von 25 cm und besser kann nur mit luftgestützten Sensoren erreicht werden, die natürlich sehr viel niedriger fliegen.

Günstiger liegen die Dinge bezüglich der Anforderungen an die Lagegenauigkeit. Für einige Fragestellungen kommen eine Reihe von optischen sowie Radarsensoren in Frage. Wir empfehlen daher, das Potenzial der Satellitendaten im Hinblick auf solche 2D-Analysen (z. B. Land-Wasser-Grenzen und Riffbögen) näher zu untersuchen.

Hierzu sollte man sowohl optische als auch Radarsensoren berücksichtigen, um zum einen die Anzahl der Bilder zu maximieren und zum anderen die Vorteile beider Techniken zu nutzen (spektrale Auflösung bzw. Allwetterfähigkeit). Aufgrund der Vielzahl der zu erwartenden Bilder könnte man den Schwerpunkt auf die Erkennung und Überwachungen von Veränderungen legen. Dabei könnte man auf Systeme unterschiedlicher Auflösung und Kosten pro Bild zurückgreifen.

Wie bereits erläutert, kann die Höhe in der geforderten Genauigkeit nur aus Daten luftgestützter Sensoren gewonnen werden. Neben digitalen Luftbildern gewinnt zunehmend das Laserscanning an Bedeutung. Eine weitere interessante Technik ist die SAR-Interferometrie (InSAR), Testbefliegungen hat es bereits in der Vergangenheit gegeben (z. B. Firma Aerosensing, heute Intermap). Inzwischen gibt es mehrere Firmen, die solche Sensoren betreiben. Es wäre zu untersuchen, inwieweit sich InSAR für die Zwecke der synoptischen Vermessung der Küstengewässer eignet, etwa im Hinblick auf die hier betrachteten Anforderungen.

Literatur

- EINER, M., C. MINET, P. STEIGENBERGER, X. CONG, T. FRITZ (2011): Imaging geodesy — Toward centimeter-level ranging accuracy with TerraSAR-X; IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Vol. 49, Nr. 2, pp 661-671, ISSN 0196-2892, DOI: 10.1109/TGRS.2010.2060264.
- HUBER, S., M. YOUNIS, G. KRIEGER (2010): The TanDEM-X mission: overview and interferometric performance. International Journal of Microwave and Wireless Technologies, 2, pp 379-389 doi:10.1017/S1759078710000437.
- LEHNER, S., N. WINKEL, D. HOJA, J. HORSTMANN, A. NIEDERMEIER, K. RICKLEFS, E. ROMANEESSEN, E. RUDOLPH, J. SCHULZ-STELLENFLETH, R. SIEGMUND (2001): Synergien von Fernerkundung und mathematischen Tidemodellen zur Optimierung divergierender Nutzungsansprüche in Ästuaren, Forschungsbericht DLR 2001-18, ISSN 1434-8454.
- MEIER, E., U. FREI, D. NÜESCH (1993): Precise Terrain Corrected Geocoded Images. In: Schreier, G.: SAR Geocoding: Data and Systems. Wichmann, Karlsruhe, pp. 173–185.

WIMMER, C., R. SIEGMUND, M. SCHWÄBISCH, J. R. MOREIRA (2000): Generation of High-Precision DEMs of the Wadden Sea with Airborne Interferometric SAR. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Vol 38, No. 5, pp. 2234-2245.

Kontakt:

Prof. Dr. Uwe Sörgel, Dr. Karsten Jacobsen, Dr. Peter Lohmann, Alena Schmidt
Institut für Photogrammetrie und Geoinformationen
Leibniz Universität Hannover
Nienburger Str.1
30167 Hannover
Tel.: 0511/ 762 2981
Fax: 0511/ 762 2483
E-Mail: soergel@ipi.uni-hannover.de

Eine praktikable und genaue Methode zur Bestimmung von Wasser-Land-Grenzen aus Laserscanner-Daten

Peter Dorninger

1 Einleitung

Die Wasser-Land-Grenzlinie (WLG) ist die Trennlinie zwischen trockenem und aquatischem Bereich. Von besonderer Bedeutung ist sie bei der Bestimmung des Digitalen Geländemodells des Wasserlaufs (DGM-W). Im Zuge der Modellbestimmung wird sie als 3D-Interpolationslinie zwischen dem ufernahen Topografiemodell (DGM) und den Gewässerbettenden verwendet. Bei der Klassifizierung von LIDAR-Daten wird sie benötigt, um Punkte die am DGM erfasst wurden von jenen der Wasseroberfläche zu trennen. Eine detaillierte Übersicht möglicher Anwendungen von Topografiedaten in der Hydrologie und Wasserwirtschaft geben z. B. MANDLBURGER et al. (2009).

Insbesondere bei der Klassifizierung von LIDAR-Punkten ist eine zeitlich synchrone Erfassung der LIDAR-Daten und der Daten zur Bestimmung der WLG notwendig, um eine Berücksichtigung des aktuellen Wasserstands sicherzustellen. Der Einsatz bildbasierter Verfahren hat somit zwei schwerwiegende Nachteile: Einerseits muss zusätzlich zum LIDAR-Sensor ein entsprechender Bildsensor (z. B. Mittelformatkamera) bei der Datenerfassung eingesetzt werden. Andererseits haben bildbasierte Methoden (automatisch wie manuell) große Defizite bei der Bestimmung von WLG. Dies ist einerseits durch die häufig vorhandene ufernahe Vegetation begründet (LIDAR ermöglicht die Erfassung der Topografie auch unterhalb von Vegetation) und andererseits gibt es häufig nur schwache Unterschiede im Kontrast zwischen feuchten Ufergebieten und der trüben Wasseroberfläche.

Im Folgenden wird ein halbautomatischer Ansatz zur Bestimmung von WLG aus LIDAR-Daten beschrieben. Basierend auf einer manuell bestimmten, groben Näherung der WLG wird automatisch die exakte WLG aus den Punktdaten abgeleitet. Die Grundlage der Bestimmung der WLG ist eine genäherte Modellierung des ufernahen Geländes mit Hilfe von Flächenapproximationen. Dadurch können Punkte der Wasseroberfläche, der Topografie und der Vegetation getrennt werden. Eine Umfahrung der als Topografiepunkte klassifizierten LIDAR-Punkte definiert somit die WLG. Durch einen abschließenden Generalisierungsprozess wird so eine präzise WLG zum Zeitpunkt der LIDAR-Befliegung generiert.

2 Methodik

Die Grundidee besteht darin, durch eine flächenhafte Approximation der ufernahen Topografie sowie der Wasseroberfläche eine Trennung in Topografie- und Wasserpunkte zu erzielen. Diese 2D-Trennlinie entspricht der WLK. Durch Bestimmung der Wasseroberfläche kann zusätzlich die Höhe der WLK ermittelt werden, wodurch diese auch im Bereich der DGM-W-Modellierung als 3D-Interpolationslinie eingesetzt werden kann.

Diese flächenhafte Approximation wird durch eine 3D-Segmentierung realisiert. Das gewählte Verfahren wurde ursprünglich zur Bestimmung von Gebäudemodellen aus LIDAR-Daten entwickelt. Es basiert auf der Ableitung lokaler, robuster Ausgleichsebenen für jeden Punkt (NOTHEGGER & DORNINGER 2009). Unter der Annahme, dass Punkte die auf einer ebenen Struktur liegen dieselbe lokale Ausgleichsebene – definiert durch ihre 4 Parameter (n_x , n_y , n_z , d) – haben, kann diese als Kriterium zur Zuweisung der Punkte zu den ebenen Strukturen (Flächen) herangezogen werden. Abb. 1 zeigt die wesentlichen Schritte dieses Segmentierungsverfahrens. Eine ausführliche Beschreibung der Methodik sowie Anwendungsbeispiele im Bereich Gebäudemodellierung sind in DORNINGER & PFEIFER (2008) zu finden.

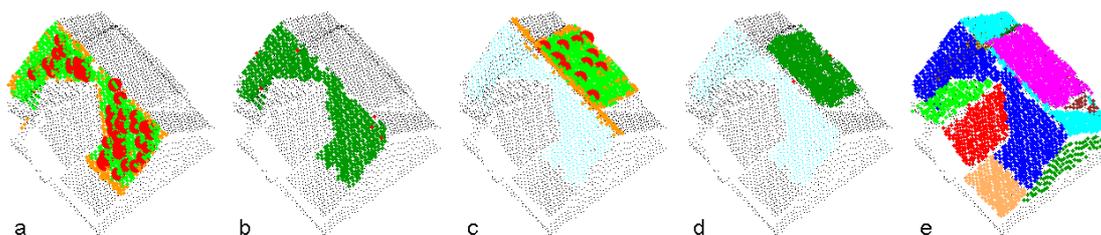


Abb. 1: Ablauf der 3D-Segmentierung einer Punktwolke eines Hauses. (a)-(d): Bestimmung der Segmente 1 und 2. (a) und (c): Bestimmung eines Saat-Clusters (große, rote Punkte), akzeptierte Punkte (orange und grün), Punkte, die im Parameterraum akzeptiert wurden (grün). (b) und (d): Ergebnis der robusten Ebenenbestimmung (dunkelgrün: akzeptiert, rot: zurückgewiesen). Kleine cyanfarbene Punkte in (c) und (d): Punkte, die bereits zu Segment 1 zugewiesen wurden. (e): Ergebnis der Segmentierung. Schwarze Punkte: keinem Segment zugewiesen.

Abb. 2 zeigt das Segmentierungsergebnis eines Uferbereiches des Niederrheins. Der dargestellte Bereich beinhaltet Gebäude, Uferböschung und Punkte an der Wasseroberfläche. Die inhomogene Punktverteilung an der Wasseroberfläche ist eine wesentliche Eigenschaft von LIDAR-Daten, die an Wasseroberflächen erfasst wurden. In Abhängigkeit des Wassers (Trübheit, Wellen, etc.) und des verwendeten Sensors (insbesondere Wellenlänge) werden unterschiedlich viele Punkte an der Oberfläche erfasst. Dies muss bei der angewandten Methodik berücksichtigt werden.

Prinzipiell werden mittels LIDAR-Punkten die Topografie (also das Gelände) sowie alle natürlichen (z. B. Vegetation) und künstlichen (z. B. Häuser, Leitungen, Autos, etc.) Objekte erfasst. Das sogenannte Digitale Oberflächenmodell (DOM) beschreibt ein Modell durch die jeweils höchst gelegenen Objektpunkte (z. B. Dachflächen, Baumkronen, etc.) während das Digitale Geländemodell (DGM) ausschließlich die Topografie-relevanten Objekte beinhaltet.

Um aus LIDAR-Punkten ein DGM abzuleiten, werden meist sogenannte Filtermethoden angewendet, welche – häufig in iterativer Weise – Geländepunkte von Nicht-Geländepunkten trennen (z. B. KRAUS & PFEIFER 1998). Dieser Prozess wird bei der vorgestellten Methode durch die Segmentierung übernommen. Überdies werden Qualitätsparameter der Berechnung der lokalen Flächennormalen (insbesondere die lokale Rauigkeit) verwendet, um vorab eine Klassifizierung vorzunehmen. Diese Rauigkeit beschreibt, inwieweit die untersuchten Nachbarn eines Punktes auf einer Ebene liegen. Mathematisch repräsentiert sie das Verhältnis der Achsen des Kovarianzellipsoides, welches bei der Bestimmung der lokalen Ausgleichsebene ermittelt wurde. Da die Basisannahme des Ansatzes davon ausgeht, dass alle Punkte die weiter untersucht werden sollen auf ebenen Flächen liegen, können somit Punkte an "rauen Oberflächen" (z. B. Vegetation, Sprungkanten, bewegliche Objekte) eliminiert werden.

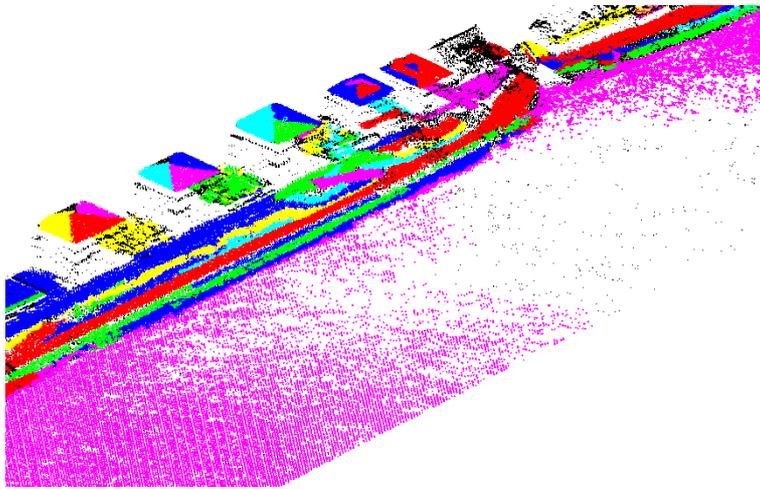


Abb. 2: Segmentierungsergebnis im Uferbereich. Gut zu erkennen sind einzelne Gebäude (links, oben), die Wasserfläche (magenta) und die strukturierte, unterschiedliche geneigte Uferlandschaft inkl. Treppelweg (rot).

3 Anwendung

Ziel der vorgestellten Methode ist eine rasche, möglichst automatisierte Ableitung der WLГ-Linie aus LIDAR-Punkten. Um im Vergleich zu einer vollautomatischen Prozessierung die Zuverlässigkeit zu steigern, wurde ein semiautomatischer Ansatz gewählt. Dieser basiert auf einer manuell digitalisierten groben Näherung der WLГ-Linie. Diese Näherung wird in einem aus den LIDAR-Punkten bestimmten DOM digitalisiert. Abb. 3 zeigt links die DOM-Schummerung und darüber die genäherte, digitalisierte WLГ-Linie (blau).

Die automatische Verbesserung der WLГ-Linie erfolgt in Recheneinheiten, sogenannten Patches. Diese Patches werden quer zur Flussrichtung durch einen Puffer definiert (z. B. ± 30 m) und in Flussrichtung durch eine vorgegebene Länge und einen Überlappungsbereich. Abb. 3 (rechts) zeigt die Definition der Patches in einem Bereich mit Buhnen. Aufgrund der stark generalisierten Näherungen können die Patches gleichförmig definiert werden, wobei die maximale Länge der Patches vorgegeben werden kann.

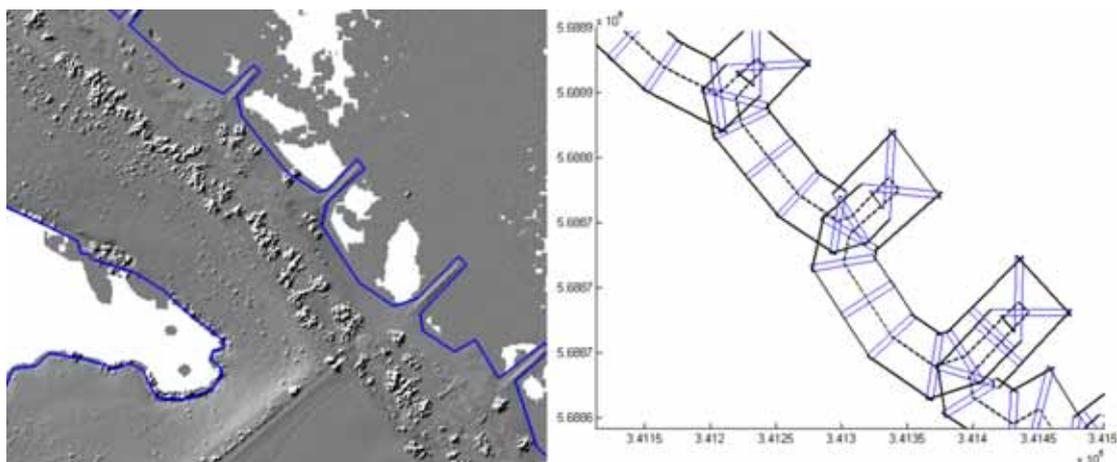


Abb. 3: *Links:* Digitalisierte Näherung der WLG-Linie in der Schummerung des DOM.
Rechts: Definition der Recheneinheiten (Patches) auf Basis der Näherung.

Alle punktbasieren Berechnungen erfolgen ausschließlich patchweise. Dadurch müssen Punkte, die keinen Einfluss auf die WLG-Linie haben können, nicht bearbeitet werden. Durch die Überlappung können Randeefekte (in Flussrichtung) ausgeschlossen werden. Zur Anwendung kommen vorab als Bodenpunkte klassifizierte LIDAR-Punkte.

Zunächst werden die lokalen Ausgleichsebenen pro Punkt ermittelt. Mit Hilfe der lokalen Rauigkeit können verbleibende Vegetationspunkte eliminiert werden (Abb 4, links – grün). Anschließend wird die Ebenen-Segmentierung durchgeführt (Abb 4, mitte). Das Segment mit den Punkten an der Wasseroberfläche kann aufgrund der Neigung und der Lage zur Näherung ermittelt werden (blaue Punkte). Bei den weiteren Segmenten wird untersucht, ob alle zugewiesenen Punkte tatsächlich der Topografie zugewiesen werden können. Hierfür kommt eine Überprüfung auf 3D-Verbundenheit zur Anwendung, um insbesondere kleine Segmente, die nicht mit der restlichen Topografie verbunden sind, auszuschließen.

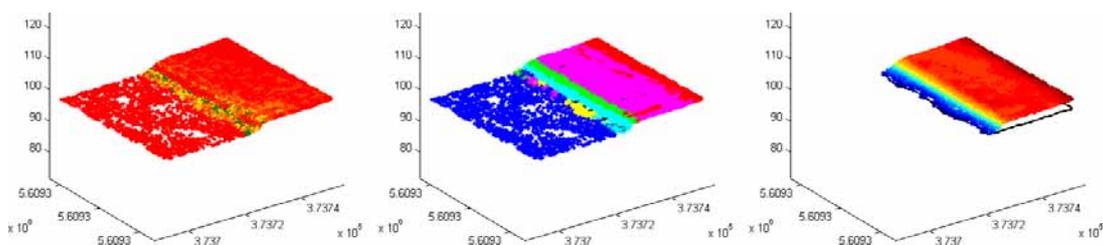


Abb. 4: Patchweise Bestimmung der WLG-Linie. *Links:* Detektion von Vegetationspunkten;
mitte: Ebenen-Segmentierung (blau: Wassersegment); *rechts:* Topografiepunkte (höhenkodiert) und Umfahrungspolygon (schwarz).

Die WLG-Linie wird mittels Alphashapes (EDELSBRUNNER & MÜCKE 1994) ermittelt. Hierfür wird für alle der Topografie zugewiesenen Punkte ein Umfahrungspolygon ermittelt (Abb. 4, rechts, schwarzes Polygon). Durch die Definition des Radius kann hier eine entsprechende Generalisierung (in Abhängigkeit von der LIDAR-Punktdichte) durchgeführt werden. Abschließend werden alle Patchumfahrungen zu einer Linie zusammengefasst (Polygon-Vereinigung). Abb. 5 zeigt links die patchweise berechneten Umfahrungspolygone. Die rechte Abbildung zeigt die digitalisierte Näherung (blau), das automatisch erstellte Ergebnis (rot) und das Ergebnis nach manueller Finalisierung in einer photogrammetrischen Auswertestation (grün).

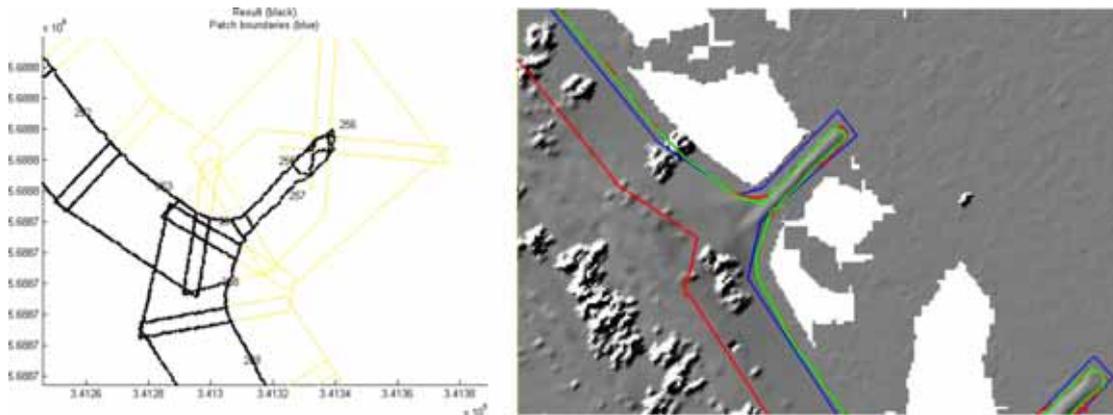


Abb. 5: *Links:* patchweise bestimmte Umfahrungspolygone (schwarz) und Patchbegrenzung (gelb). *Rechts:* Näherung (blau), automatisch bestimmte WLG (rot) und manuell nachbearbeitetes Ergebnis (rot) auf Schummerung des DOM.

4 Diskussion

Das beschriebene Verfahren wurde auf Daten im Bereich des Niederrheins auf einer Stromlänge von etwa 220 km angewandt. Mit einem Zeitaufwand von ca. 3 Tagen wurden in diesem Gebiet etwa 1.400 km Uferlinie manuell digitalisiert. Diese Uferlinien beinhalten beide Ufer des Hauptstromes sowie sämtliche Zuflüsse und Nebenarme und im Umland befindliche Seen und Teiche. Auf Basis dieser Näherungslinien wurden entlang eines 50 Meter breiten Puffers alle vorab als Bodenpunkte klassifizierten LIDAR-Punkte ausgewählt und anschließend mit dem beschriebenen Algorithmus prozessiert. Im Zuge der interaktiven Nachbearbeitung wurden ca. 20 % der automatisch bestimmten WLG-Linie überarbeitet. Dabei stellte sich heraus, dass der Aufwand der Nachbearbeitung in Bereichen mit vielen künstlichen Einbauten und somit im Bereich von Städten (Hafenbecken, Ufermauern, Schiffe, Stege, etc.) größer war als bei freien Flussstrecken.

Wie eingangs beschrieben, wäre eine Bestimmung der WLG aus Luftbildern, die nicht zum Zeitpunkt der LIDAR-Befliegung erfasst wurden, nicht zielführend, da die Wasseranslagslinie nicht konstant ist und somit eine exakte Trennung von LIDAR-Wasser- und LIDAR-Topografiepunkten nicht möglich wäre. Eine simultane, bildhafte Erfassung mit Hilfe einer digitalen Mittelformatkamera wäre technisch theoretisch möglich gewesen. Praktisch wäre zu den Bedingungen: niedriger Wasserstand, Schneefreiheit, Laubfreiheit und akzeptables Flugwetter noch die zusätzliche Bedingung einer ausreichenden Beleuchtung der Erdoberfläche gekommen, praktisch ein K.-o.-Kriterium für eine Winterbefliegung mit kurzen und schwachen Beleuchtungsverhältnissen. Durch die Nähe zu großen Flughäfen waren Nachtflüge oft die einzige Möglichkeit, überhaupt eine Flugerlaubnis zu bekommen. So konnte das kurze Zeitfenster optimal genutzt und die Befliegung in einer Kampagne abgeschlossen werden.

Um das gesamte Gebiet vollständig zu erfassen, wären ca. 13.000 Aufnahmen notwendig gewesen. Durch den gewählten Ansatz konnten somit die Erfassungskosten reduziert werden, da die simultane Bilderfassung nicht durchgeführt werden musste. Überdies wäre der Aufwand zur Bildbearbeitung sehr groß gewesen. Einerseits hätten alle Bilder radiometrisch korrigiert werden müssen, da im Allgemeinen die Belichtungsverhältnisse der verwendeten

Kameras nicht hinreichend sind und andererseits hätte der gesamte Bildverband im Zuge einer Aerotriangulation georeferenziert werden müssen – bei derartigen Datenmengen ebenfalls ein nicht zu vernachlässigender Aufwand. Die inhärente Problematik mit ufernaher Vegetation bzw. kontrastarmen Strukturen im Uferbereich hätten die bildbasierte WLГ-Bestimmung überdies erschwert. Abb. 6 zeigt links ein typisches Luftbild im Uferbereich. Rechts sind als Topografiepunkte klassifizierte LIDAR-Punkte rot und gelb dargestellt. Die anders gefärbten Punkte (cyan und blau) konnten mittels der gewählten Analyseparameter ausgeschlossen werden.

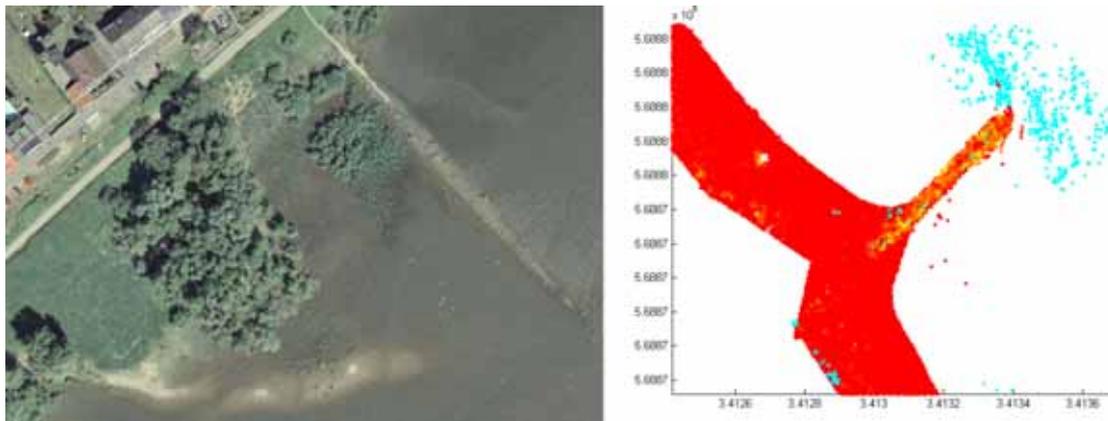


Abb. 6: *Links:* Luftbild im Uferbereich mit Vegetation und schlechten Kontrastunterschieden im Bereich der WLГ. *Rechts:* Klassifizierte Topografiepunkte (rot und gelb) im Bereich eine Buhne.

5 Zusammenfassung und Ausblick

In diesem Beitrag wurde eine halbautomatische Methode zur direkten Bestimmung der WLГ-Linie aus LIDAR-Daten vorgestellt. Die Methode basiert auf einem Segmentierungsansatz, der unter anderem zur Bestimmung von Gebäudemodellen aus 3D-Punktwolken entwickelt wurde. Diese Segmentierung erlaubt eine Trennung von LIDAR-Punkten, die an der Wasseroberfläche erfasst wurden (horizontales Wassersegment), Punkten der umgebenden Topografie (relevant für die WLГ) und nicht weiter zugeordneter Punkte (z. B. Vegetation, bewegliche Objekte, etc.). Die geometrische Umfahrlinie der so bestimmten Topografiepunkte beinhaltet flussseitig die WLГ-Linie und wird in einzelnen, überlappenden Recheneinheiten bestimmt. Durch Vereinigung dieser Teillinien kann die gesamte WLГ-Linie aus den LIDAR-Punkten abgeleitet werden.

Die Robustheit der Methode gegenüber Ausreißern (z. B. Vegetation) wurde gezeigt. Insgesamt sind zwei manuelle Bearbeitungsschritte notwendig. Zunächst muss eine stark generalisierte, genäherte WLГ-Linie digitalisiert werden. Dies erfolgt auf Basis einer DOM-Schummernung. Nach der automatischen Bearbeitung wird interaktiv eine Kontrolle durchgeführt und ggf. wird die Linie manuell angepasst. Es hat sich herausgestellt, dass diese Anpassungen insbesondere in stark verbauten Gebieten notwendig sind.

Der Großteil der Datenprozessierung erfolgt automatisch. Der manuelle Aufwand im Rahmen der beschriebenen Methode ist viel geringer als bei der Bearbeitung von Mittelformat-Bilddaten die alternativ optional mit der LIDAR-Befliegung erfasst werden hätte können. Überdies

sind die Vorzüge der LIDAR-basierten Bestimmung der WLK-Linie (Durchdringung von Vegetation, Kontrastprobleme von Bilddaten im feuchten Uferbereich) große Vorteile des beschriebenen Ansatzes.

Bei der Entwicklung der Methode wurden hauptsächlich Uferbereiche im unverbauten Gebiet untersucht. Eine gezielte Weiterentwicklung unter Berücksichtigung der Gegebenheiten in dicht verbauten Gebieten sollte eine höhere Vollständigkeit, und somit eine Reduktion des notwendigen manuellen Nachbearbeitungsaufwandes, ermöglichen. Die erzielbare Korrektheit von rund 80 % ist aber bereits zufriedenstellend und ermöglicht eine ökonomisch vertretbare Bearbeitung großer Datenmengen.

Danksagung

Die beschriebene Methode der 3D-Segmentierung von Punktwolken wurde im Rahmen des Christian-Doppler-Labors "Räumliche Daten aus Laserscanning und Fernerkundung" und mit Finanzierung durch Vermessung Schmid ZT GmbH entwickelt. Die Anwendbarkeit zur Bestimmung von Wasser-Land-Grenzen wurde im Rahmen eines Forschungsschecks der Österreichischen Forschungsförderungsgesellschaft (FFG) für Vermessung Schmid ZT GmbH untersucht.

Literatur

- DORNINGER, P., N. PFEIFER (2008): A Comprehensive Automated 3D Approach for Building Extraction, Reconstruction, and Regularization from Airborne Laser Scanning Point Clouds, *Sensors*, 8 (2008), 11; 7323 - 7343.
- EDELSBRUNNER, H., E. P. MÜCKE (1994): Three-dimensional alpha shapes. *ACM Trans. Graph.* 1994, 13(1), 43–72.
- KRAUS, K., N. PFEIFER (1998): Determination of terrain models in wooded areas with airborne laser scanner data. *ISPRS Journal*, Volume 53, 1998, pp. 193 – 203.
- MANDLBURGER, G., B. HÖFLE, C. BRIESE, C. RESSL, J. OTEPKA, M. HOLLAUS, N. PFEIFER (2009): Topographische Daten aus Laserscanning als Grundlage für Hydrologie und Wasserwirtschaft, *Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft*, 61 (2009), 7-8; 89 - 97.
- NOTHEGGER, C., P. DORNINGER (2009): 3D Filtering of High-Resolution Terrestrial Laser Scanner Point Clouds for Cultural Heritage Documentation, *Photogrammetrie, Fernerkundung, Geoinformation*, 1 (2009), 53 - 63.



Kontakt:

Dr. Peter Dorninger

Institut für Photogrammetrie und
Fernerkundung, TU Wien

Gußhausstraße 27-29

1040 Wien

Österreich

Tel.: +43-1-58801-12214

Fax: +43-1-58801-12299

E-Mail: pdo@ipf.tuwien.ac.at

Jahrgang: 1976

1994 – 2000

Studium Vermessung und Geoinformation an der
Technischen Universität Wien

2001 – 2004

Doktoratsstudent am Institut für Photogrammetrie
und Fernerkundung (I.P.F.) – TU Wien

2004

Promotion an der TU Wien

2004 – 2006

Projektassistent am I.P.F.

2006 – 2008

Universitätsassistent

seit 2008

Projektassistent am I.P.F.

Projektbearbeitung:

2001 – 2004: Entwicklung eines Topografischen
Mars-Informationssystem (TMIS) im
Rahmen von Mars Express

2004 – 2010: Geometriemodellierung aus Laserscan-
ning-Daten (Terrestrisch und Flugzeug-
getragen)

seit 2011: Geometriemodellierung aus hybriden
Daten (Bild- und Laserscanning)

Adaption von Verfahren der Geometrieanalyse aus industriellen Anwendungen auf das Problem der Bestimmung von 3D-Wasser-Land-Grenzen

André Stork und Matthias Bein

1 Einleitung

Die Bestimmung von Wasser-Land-Grenzen aus 3-dimensionalen Daten, die mit Laserscannern in Überfliegungen von Landflächen erhoben wurden, ist ein bislang nicht abschließend gelöstes Problem. Unterschiedliche Verfahren aus der Geometriedatenverarbeitung bzw. aus geodätischen Anwendungen existieren, die zu verschiedenen Ergebnissen führen. In bestimmten Bereichen, z. B. im Wattenmeer, ist es alles andere als leicht, Referenzdaten (die sog. *ground truth*) für eine Beurteilung der Ergebnislage der o. g. Verfahren zu erheben.

Ein anderes Problem besteht in der manuell recht aufwändigen Vorgehensweise. Die Klassifikationsansätze erfordern entweder einen hohen Einsatz von Personalmitteln in dem eigentlichen Klassifikationsprozess oder bei der Kontrolle der Resultate. Auffällig ist auch, dass sich existierende Verfahren nicht auf bereits vorliegende Informationen abstützen, z. B. auf ATKIS-Daten, und diese in den Prozess einbeziehen (Stichwort: *sensor fusion*), um der Klassifikation zu helfen.

Laserscandaten existieren auch in vielen anderen Branchen und Anwendungsbereichen. Insbesondere führt die fertige Industrie mit Hilfe von Laserscannern Qualitätskontrollen durch. Dabei werden produzierte Teile mit einem Laserscanner erfasst und die dabei generierte Punktwolke mit dem der Produktion zugrunde liegenden CAD-Modell verglichen. In dem vorliegenden Kontext ist allerdings der Einsatz von Laserscannern in der Produktentwicklung von größerer Relevanz. In der Produktentwicklung, z. B. in der Automobilindustrie, existieren physische und virtuelle Modelle gleichermaßen. Aus virtuellen Modellen entstehen durch schnelle Fertigungsverfahren physische Objekte, an denen manuell weitergearbeitet (modelliert) wird. Die durchgeführten Veränderungen müssen wieder in die digitale Welt der CAD-Systeme (CAD steht dabei für rechnerunterstütztes Konstruieren) zurückgeführt werden. In diesem Rückführungsprozess ist man daran interessiert, für die Konstruktion bedeutsame Teilflächen, z. B. Kotflügel, Türen, als sinnvolle Einheiten mathematisch präzise zu beschreiben. Es müssen also Punktwolken in Teilflächen zerlegt und quasi ‚vektorsiert‘ werden. Aus diesem Grund ist auch die Industrie seit Jahren an der Entwicklung von Verfahren interessiert, die den Benutzer bei der Definition solcher Flächen möglichst effektiv unterstützen.

Das dem vorliegenden Beitrag zugrunde liegende Projekt untersucht, inwieweit sich Ansätze der Geometrieanalyse aus industriellen Anwendungen auf das Problem der Definition von Wasser-Land-Grenzen adaptieren lassen. Ein Ziel dabei ist die Minimierung von Benutzerinterventionen. Als erweiterte Lösungsidee liegt unserem Ansatz eine Kombination aus Geometrieanalyse und der Einbeziehung zusätzlicher Informationen aus Geobasisdaten, namentlich der vektoriellen Beschreibung von Verläufen von Wasserstraßen in ATKIS-Daten, zugrunde.

2 Geometrieanalyse in industriellen Anwendungen

Wie oben erwähnt sind die Anwendungen von Geometrieanalyse im industriellen Umfeld vielfältig. Wir wollen uns hier auf die Verarbeitung von Laserscandaten beschränken und den Prozess der Flächenrückführung betrachten.

Bei der Erfassung von physischen Objekten mit Laserscannern kommt es abhängig vom Material, dem Abtastwinkel und anderen Einflussfaktoren zu unterschiedlichen Problemen:

- > Löcher im Netz
- > variierende Punktdichte
- > fehlerhafte Triangulierung
- > schlechte Triangulierung

Abbildung 1 zeigt ein auf der Basis von Laserscanpunkten generiertes Dreiecksnetz (links). Rechts im Bild ein Netz, das nicht vollständig rekonstruiert wurde und das topologische Unregelmäßigkeiten aufweist; die Löcher im Netz können nachträglich geschlossen werden. Bei Objekten mit Durchbrüchen kann es zu Hinterschneidungen kommen, ähnlich wie bei Überflughdaten.

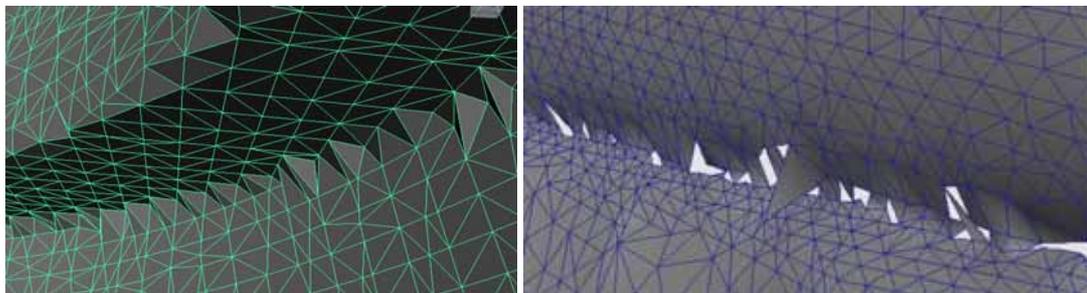


Abb. 1: Aus Laserscandaten rekonstruiertes Dreiecksnetz (links), unvollständige Rekonstruktion mit Löchern (rechts)

Für die Definition von mathematisch beschriebenen Teilflächen auf dem gescannten Gesamtmodell ist eine Orientierung an Krümmungen sinnvoll. Man beachte, dass auch das menschliche Wahrnehmungssystem sich an der Krümmung von Konturen und Oberflächen orientiert, wenn Objekte erkannt bzw. segmentiert werden sollen.

Die Krümmung auf einem kontinuierlich beschriebenen Funktional (ableitbar) ist einfach zu bestimmen. Eine Funktion oder allgemeiner formuliert eine Kurve hat an jeder Stelle einen Krümmungswert. Hingegen hat eine nicht-planare Oberfläche zwei Krümmungswerte: eine Hauptkrümmung (die Richtung, in die die Krümmung maximal ist) und eine Krümmung, die orthogonal zu dieser Krümmung ist.

In einer nicht-kontinuierlichen Welt, d. h. einer Welt, in der die Oberfläche von Objekten diskret durch Abtastpunkte repräsentiert ist, ist die Bestimmung von Krümmungen durch Verfahren der diskreten Geometrie in den letzten Jahren theoretisch erarbeitet worden. Die grundlegende Idee dabei ist es, die Krümmung aus der Umgebung eines Eckpunktes zu bestimmen. Ein solcher Ansatz funktioniert auf Datenbeständen mit den o. g. Problemen nicht zufriedenstellend: Er ist wenig robust und generiert unzuverlässige und nicht aussagekräftige Werte.

Stattdessen führen wir zur Bestimmung der Hauptkrümmungsrichtungen eine Polynomoberfläche ein, mit der eine Teilmenge von Eckpunkten (Vertices) approximiert wird (s. Abb. 2).



Abb. 2: Bestimmung von Hauptkrümmungen durch Approximation einer Polynomfläche an Eckpunkte des Netzes (Vertices): erste Hauptkrümmung (roter Zylinder), orthogonal die 2. Hauptkrümmung (grüner Zylinder)

Ein gescanntes Objekt lässt sich nun pro Eckpunkt entsprechend der (Haupt-)Krümmung einfärben. Hohe Krümmungswerte erscheinen rot, niedrige Krümmungswerte grün. Abbildung 3 zeigt ein gescanntes Objekt. Die Punktwolke in der Abbildung links unten noch zu erkennen (pinkfarbene Pixel), wurde teilweise durch Freiformflächen (grau) approximiert. Dunkelgrau in der Abbildung rechts unten ist eine der Freiformflächen mit Isolinien dargestellt. Die Krümmungswerte sind partiell auf die Oberfläche des Objektes projiziert (rote und grüne Striche).

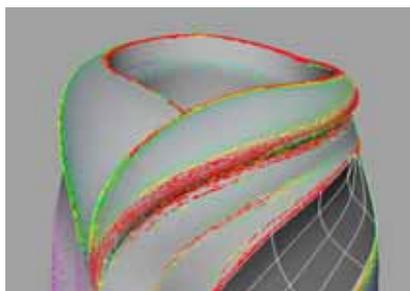


Abb. 3: Partielle auf Objekt projizierte Krümmungswerte

Die Krümmungsinformation dient nun dazu, den Benutzer bei der Definition von Freiformflächen auf der Punktwolke effizient zu unterstützen. Abbildung 4 zeigt unsere krümmungsgestützte Flächenrückführung. Der Benutzer identifiziert zunächst einen Startpunkt. Während der Benutzer mit der Maus auf dem Bildschirm über das Netz aus der Punktwolke fährt, schlägt unser Algorithmus einen Weg durch das Netz vor, der sich an der Krümmung am Start- bzw. Endpunkt orientiert. Dieses Verfahren kann die Anzahl der benötigten Benutzeraktionen bei der Flächendefinition erheblich senken und somit zu einer effektiveren Flächendefinition beitragen.



Abb. 4: Krümmungsgestützte Flächenrückführung: links ohne intelligente Unterstützung, rechts mit unserem Algorithmus

Alternativ dazu kann der Benutzer die Eckpunkte einer zu rekonstruierenden Fläche festlegen. Die krümmungsgestützte Extraktion sucht sich dann einen ‚bestmöglichen‘ Weg durch das Netz und approximiert diesen mit mathematisch definierten Kurven (kontinuierlich). Aus den Kurven entsteht eine Freiformfläche. Die Freiformflächenrekonstruktion ist tolerant gegenüber Löchern und Unzulänglichkeiten in der Netztopologie; die Approximationsgüte kann vom Benutzer eingestellt werden.

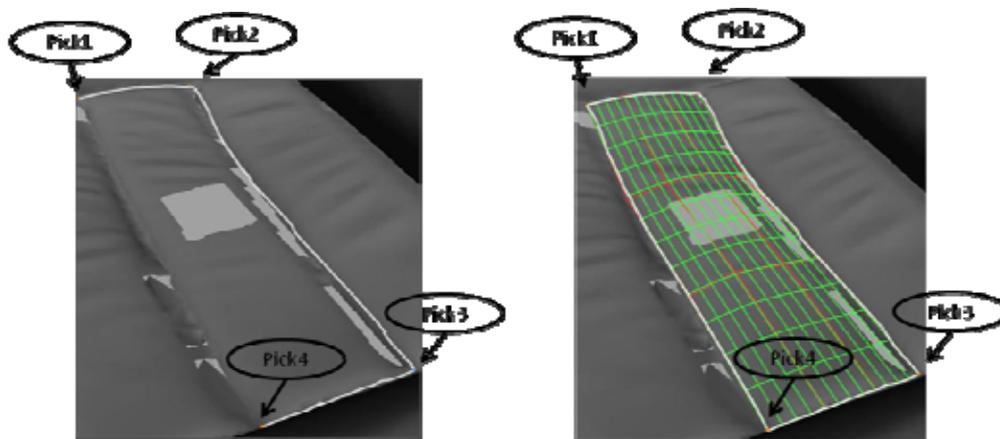


Abb. 5: Robuste und fehlertolerante Flächenrückführung basierend auf Krümmungsverfolgung

3 Adaption auf Bestimmung von Wasser-Land-Grenzen aus Laserüberflugdaten

Am Beginn des Projektes standen mehrere Erkenntnisse:

1. Das Problem, Wasser-Land-Grenzen in Laserscandaten zu bestimmen, ist verwandt zu dem Problem, sinnvolle Patch-Grenzen in der Flächenrückführung in industriellen Fragestellungen zu finden.
2. Es besteht Optimierungspotenzial bei den manuellen Prozessen, die heute für die Definition von Wasser-Land-Grenzen vollzogen werden.
3. Es existiert eine latente Unzufriedenheit mit derzeit im Einsatz befindlichen Software-Werkzeugen.

Diese Erkenntnisse stützen sich auf Beobachtungen am Arbeitsplatz sowie Aussagen von Prozessbeteiligten. Die Beobachtungen am Arbeitsplatz beziehen sich auf einen Hardware-Aufbau, der eine 3-dimensionale Darstellung bietet. An diesem Arbeitsplatz können Laserdaten in Kombination mit Luftbildern betrachtet werden. Die Definition der Wasser-Land-

Grenze geschieht komplett manuell durch Setzen vieler einzelner 3D-Punkte, die zu Liniensegmenten verbunden werden und somit die Grenze zwischen Wasser und Land polygonal beschreiben. Der Benutzer interpretiert also die Bilder und reichert sie mit entsprechenden Informationen an. Automatismen kommen nicht zum Einsatz. Bekannte Automatismen führen zu so viel Nachbearbeitungsaufwand, dass sich ihr Einsatz nicht lohnt. Weitere Datenquellen, die schon Semantik enthalten, z. B. ATKIS-Daten, werden nicht einbezogen.

Diese Beobachtungen und Erkenntnisse legen es nahe, die in Kapitel 2 beschriebene Verfahrensweise auf ihre Anwendbarkeit auf Laserscandaten hin zu untersuchen und zu optimieren. Die prinzipielle Lösungsidee, wie in Kapitel 2 beschrieben, wird dazu noch um eine zusätzliche Informationsquelle erweitert, nämlich die vektorielle Beschreibung von Wasserstraßen in ATKIS-Datensätzen. Die Hypothese ist, dass wenn wir in der Lage sind, die Knickstelle (Krümmung) zwischen Wasser und Land an der Böschung zu erkennen, dann können wir von der in ATKIS abgelegten Beschreibung der Mittelachse von Flüssen aus mit der Suche nach der Wasser-Land-Grenze starten. Die Annahme dabei ist, dass die ATKIS-Daten so genau sind, dass die dort definierte Flussmitte den Flussverlauf auch unter Pegelschwankungen nicht komplett verlässt, d. h. auf Land zu liegen kommt.

Die Untersuchungen sollen auf zwei Testgebieten stattfinden:

1. Gebiet : 7 km² an der Lahn etwas westlich von Gießen

○ Auenstruktur; Besonderheiten:

- Baggerseen
- flache und steile Böschungen
- eine Schleuse

2. Gebiet: Niederrhein für ein Gebiet von 6 km²



Abb. 6: Testgebiete: 7 km² an der Lahn (links), 6 km² am Niederrhein (rechts)

3.1 Datenanalyse Laserscandaten

Die Analyse verschiedener Laserscandatenätze ergibt für Punkte auf der Wasseroberfläche ein uneinheitliches Bild. Entweder existieren auf der Wasseroberfläche keine bzw. nur wenige Punkte oder die Punkte auf der Wasseroberfläche sind stark verrauscht, d. h. sie variieren sehr stark in ihrer Höheninformation. Beide Phänomene gestalten eine Krümmungsbestimmung und damit eine Krümmungsverfolgung schwierig. Da die Testdaten in der Mehrzahl keine/kaum Punkte auf der Wasseroberfläche aufweisen, haben wir zunächst diese einer Sonderbehandlung unterzogen. Wir füllen diese Gebiete ‚intelligent‘ mit zusätzlichen Punkten auf (vgl Abb. 7).

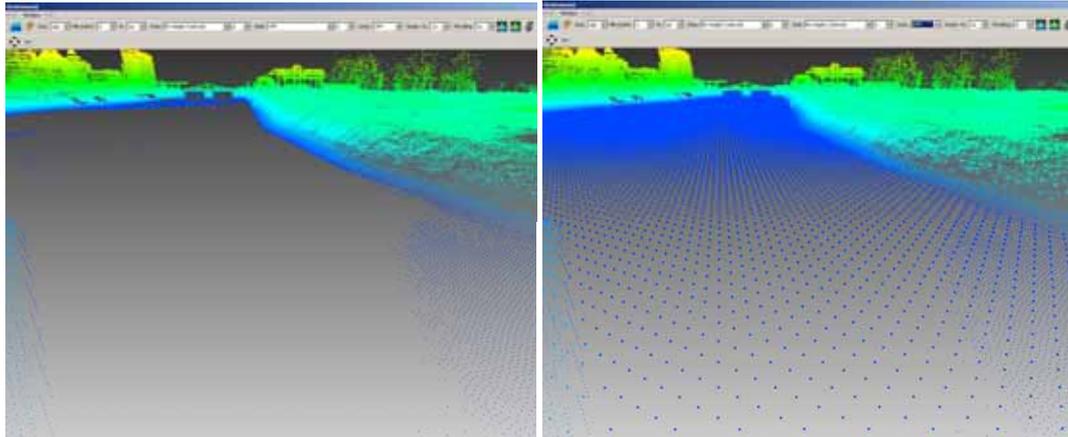


Abb. 7: Wasseroberfläche mit wenigen Laserscanpunkten (links), aufgefüllte Bereiche (rechts)

3.2 Adaption auf Laserscandaten

Zum Zweck des Füllens leerer Gebiete generieren wir eine räumliche Datenstruktur über den gesamten Datensatz, in den sowohl die existierenden Punkte einsortiert werden (zum schnelleren Zugriff) als auch für leere Zellen Punkte erzeugt werden. Dabei werden leere Zellen mit Punkten mit niedrigem Höhenwert erzeugt, wobei dieser aus dem Datensatz extrahiert wird. Die Beschleunigungsdatenstruktur gewährleistet eine einheitliche Punktdichte über den gesamten Datensatz (durch einen Repräsentanten pro Zelle). Mit ihrer Hilfe kann Rauschen in den Rohdaten gefiltert werden. Sie erhöht die Stabilität der darauf aufsetzenden Algorithmen und kann zur Datenreduktion und Beschleunigung von Berechnungen eingesetzt werden.

Abbildung 8 zeigt das Füllen leerer Bereiche durch zwei verschiedene Ansätze. Links dargestellt ist der naive Ansatz, bei dem der niedrigste im Datensatz vorkommende Höhenwert verwendet wird. Rechts ist unser verbessertes Verfahren dargestellt, das den Höhenwert aus den gefüllten Zellen am Randgebiet gewinnt.

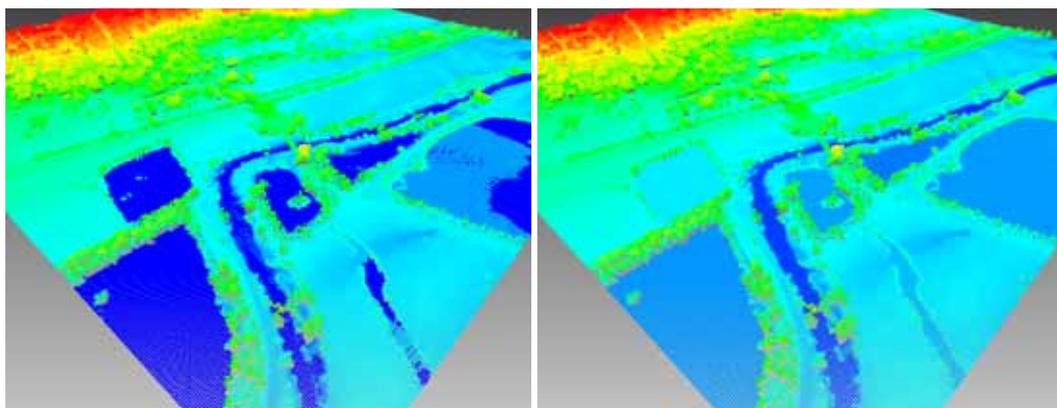


Abb. 8: Füllen der leeren Bereiche mit min. Höhenwert (links), Füllen der leeren Bereiche mit Werten aus gefülltem Randgebiet (rechts)

Auf der Basis der so gefüllten Beschleunigungsdatenstruktur lassen sich erste Klassifikationen (vgl. Abb. 9) durch interaktives Setzen eines *seed points* und Durchführen einer Breiten-suche erzielen (*flooding*).

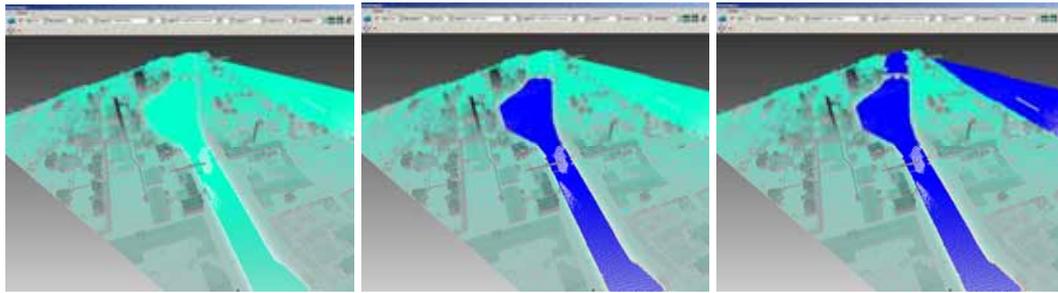


Abb. 9: Fluten von Wasseroberfläche durch interaktives Setzen von *seed points*

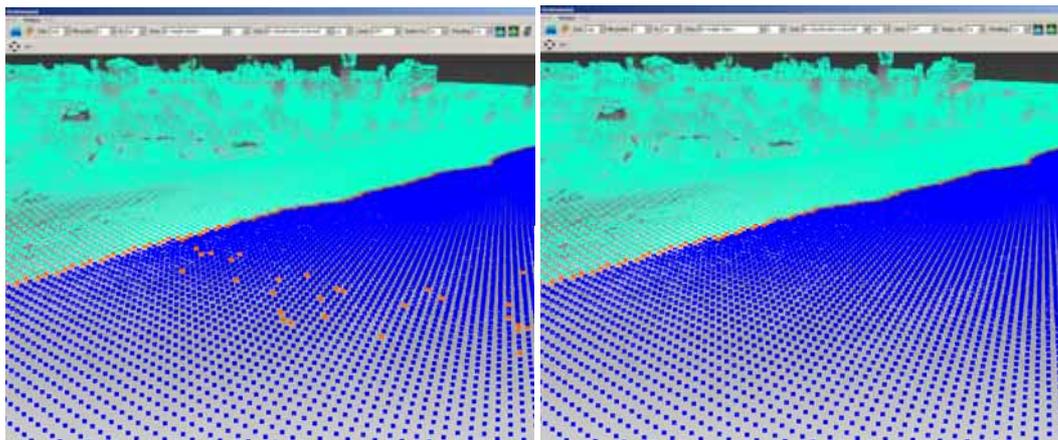


Abb. 10: Markieren und Wasser (blau), Rand (orange) und Land (nicht klassifiziert, grün)

Beim ‚Fluten‘ werden Zellen als Wasser (blau) bzw. potenzieller Rand (orange) klassifiziert. Nicht weiter klassifizierte Zellen behalten die Farbe Grün und gelten als Land. Eine Betrachtung der orange eingefärbten Zellen als Zusammenhangskomponenten und eine entsprechende Filterung sorgt für eine ‚gesäuberte‘ Grenze (s. Abb. 10, rechts). Mittels einer vergleichbaren Vorgehensweise kann bei gutmütigen Datensätzen der ‚obere‘ Rand der Böschung extrahiert werden. Abbildung 11 zeigt exemplarisch das Einfärben der Böschung in grün sowie deren obere Grenze markiert als eine zweite Reihe von magentafarbenen Zellen.

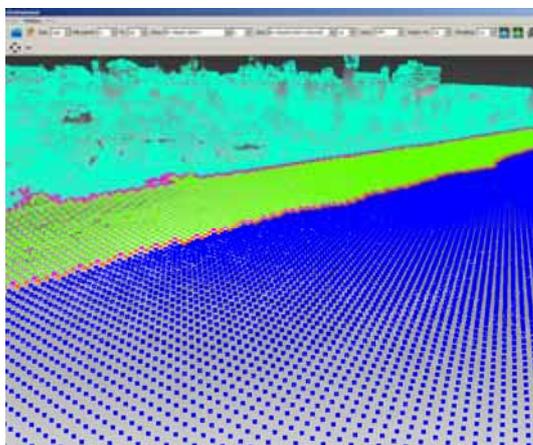


Abb. 11: Exemplarische Extraktion einer Böschung

Die markierten Zellen werden nun noch zu Polylinien verbunden und somit die Wasser-Land-Grenze vektorisiert. Exemplarische Ergebnisse sind in Abb. 12 dargestellt.

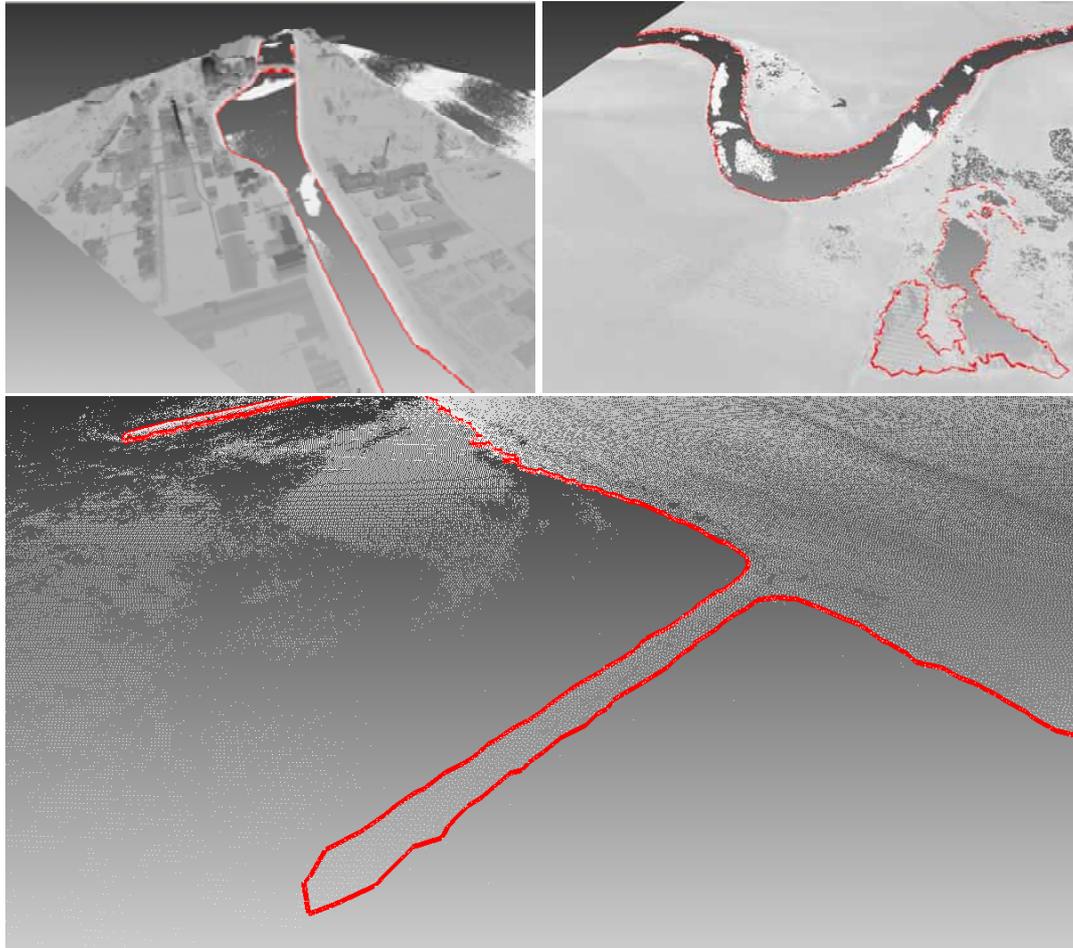


Abb. 12: Markierte Wasser-Land-Grenzen

4 Zusammenfassung und Ausblick

Im vorliegenden Beitrag haben wir vorgestellt, dass sich Verfahren zur Geometrieanalyse aus dem Bereich industrieller Anwendungen auch für die Klassifikation von Laserscandaten und insbesondere der Bestimmung von Wasser-Land-Grenzen eignen, wenn sie an die besonderen Erfordernisse, die mit der Datenqualität und den Charakteristika der Daten einhergehen, adaptiert werden.

Die bislang auf Laserscandaten erzielten Ergebnisse sind vielversprechend, erfordern aber weitere Untersuchungen, insbesondere zu deren quantitativer Beurteilung. Das Laufzeitverhalten der vorgestellten Verfahren kann als sehr gut bezeichnet werden. Alle Prozessschritte laufen auf handelsüblichen PCs in Sekunden oder gar Sekundenbruchteilen ab.

Der bislang noch manuell durchgeführte Schritt des Setzens von *seed points* soll in Zukunft durch die Verwendung von ATKIS-Daten automatisiert werden. Die Lösungsidee ist dabei, den in ATKIS vektorieLL hinterlegten Flussverlauf (Mittellinie) dazu zu benutzen, automatisch *seed points* zu generieren. Die Lösungsidee ist in Abb. 13 skizziert.

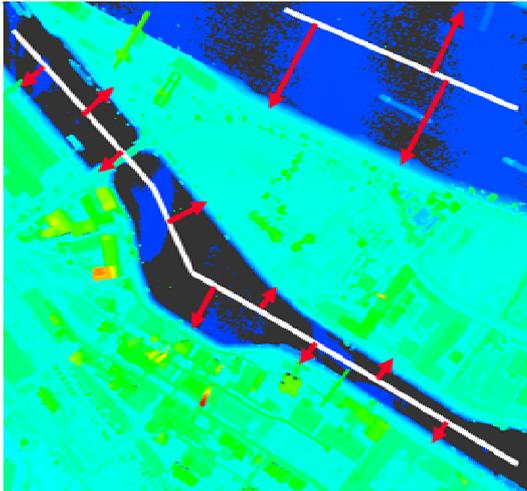


Abb. 13:
Kombinierter und integrierter Ansatz (*sensor fusion*) unter Nutzung von ATKIS-Daten
(Prinzipalskizze)



Kontakt:

Prof. Dr. André Stork

Fraunhofer-Institut für
Graphische Datenverarbeitung (IGD)

Fraunhoferstr. 5
64283 Darmstadt

Tel.: 06151/ 155 469

Fax: 06151/ 155 139

E-Mail: andre.stork@igd.fraunhofer.de

Studium Informatik in Darmstadt

2000

Promotion an der TU Darmstadt zum Thema
„Effiziente 3D-Interaktions- und Visualisierungstechniken für benutzerzentrierte Modellierungssysteme“

seit 2010

Honorarprofessur an der TU Darmstadt

seit 1994

Fraunhofer-Institut für Graphische Datenverarbeitung, ab 2002 Leiter der Abteilung Industrielle Anwendungen

Forschungsschwerpunkte:

- Visualisierung und Simulation (Simulierte Realität, Computational Engineering)
- Realitätsnahe Darstellung (photo-realistic Rendering)
- Skizzen- und gestenbasierte Interaktion
- Semantik und Wissensmanagement im virtuellen Produktentstehungsprozess

Aktuelles Leistungsvermögen flugzeuggestützter digitaler Kamerasysteme

Sven Baltrusch

1 Einleitung

Seit Einführung der digitalen Luftbildkameratechnologie ist ein vollständiger digitaler Datenfluss von der luftgestützten Bildaufnahme mit Digitalkameras bis zur Auswertung an digitalen Stereo-Bildschirmarbeitsplätzen erreicht. Dieser Schritt hat zu einer signifikanten Steigerung der Leistungsfähigkeit in der Photogrammetrie geführt.

Im folgenden Beitrag sollen die Vorteile der digitalen Kameratechnologie gegenüber der klassischen analogen Filmkamera sowie das daraus resultierende Leistungsvermögen betrachtet werden. Hierbei werden die Ergebnisse des DGPF-Projektes „Kameraevaluierung“ betrachtet.

2 Vorteile der digitalen Luftbildkamera

Innerhalb weniger Jahre konnten die digitalen Luftbildkameras die traditionellen analogen Filmkameras ablösen. Durch die schnelle Integration und damit verbundene Anerkennung der Leistungsfähigkeit durch die Datenanbieter und –nutzer begann ein rasanter Entwicklungsmarkt. Die drei Kamerahersteller Vexcel, Intergraph und Leica Geosystems haben in kurzen Intervallen weiterentwickelte Systeme mit stets verbesserten Sensoren auf dem Markt etabliert.



Abb. 1: Chronologie der Digitalkameraentwicklung

Aufgrund der direkten digitalen Aufnahme entfällt der Scanvorgang (Analog-Digital-Wandlung) des analogen Filmmaterials, welches in der Vergangenheit einen wesentlichen Zeit- und Kostenfaktor darstellte.

Durch Wegfall der Analog-Digital-Wandlung kann eine deutliche Zeitverkürzung in der Bildbereitstellung erzielt werden. Die digitalen Luftbildaufnahmen können unmittelbar nach der Aufnahme an Hochleistungsrechnern automationsgestützt prozessiert werden.



Abb. 2: Digitale Luftbildbereitstellung (Quelle Intergraph)

Da zusätzlich die Materialkosten für analoge Filme entfallen, spielt die Anzahl der Aufnahmen innerhalb eines Befliegungsprojektes eine untergeordnete Rolle. Im Flugstreifen kann die Längsüberdeckung ohne signifikante Kostensteigerungen erhöht werden. Der verbleibende Grenzfaktor für die Überdeckung ist die Bildwiederholrate der Kamera, welche vom Speicherprozess des aufgenommenen Digitalbildes abhängig ist. Die Erhöhung der Längsüberdeckung bringt insbesondere bei der automatischen Bildkorrelation Vorteile, da mehrere Bildpaare für die automatische Ableitung dreidimensionaler Punktwolken genutzt werden können. Verdeckte, nicht auswertbare Bereiche werden somit minimiert.

Die großformatigen Sensoren der genannten Anbieter ermöglichen durch die synchrone Aufnahme des panchromatischen und der vier spektralen Farbkanäle Rot, Grün, Blau und Nahes Infrarot die Aufbereitung verschiedenster Farbkombinationen. Die im Verhältnis schwächer aufgelösten Farbkanäle werden hierbei mittels des PAN-Sharpning-Verfahrens auf das hochaufgelöste panchromatische Bild gerechnet.

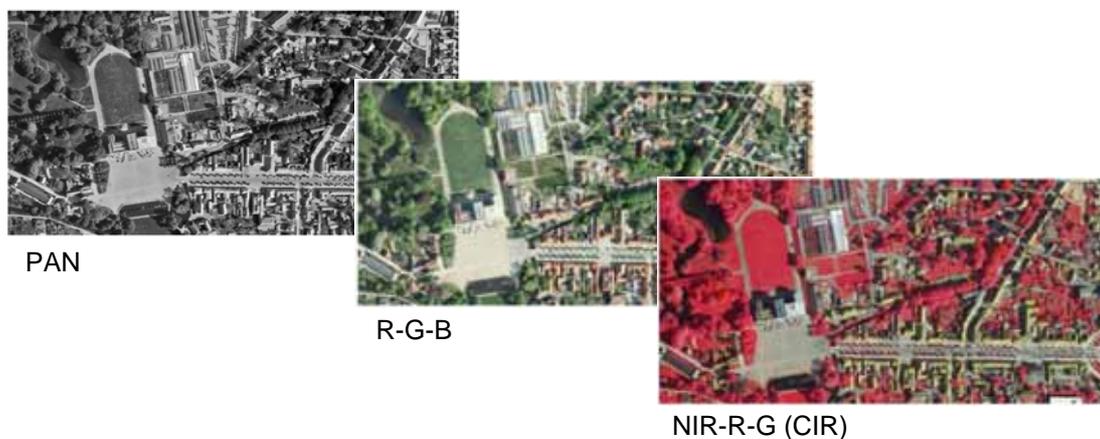


Abb. 3: Darstellungsveränderungen als Resultat einer multispektralen, digitalen Luftbildaufnahme (Beispiel: Stadt Ludwigslust, Mecklenburg-Vorpommern)

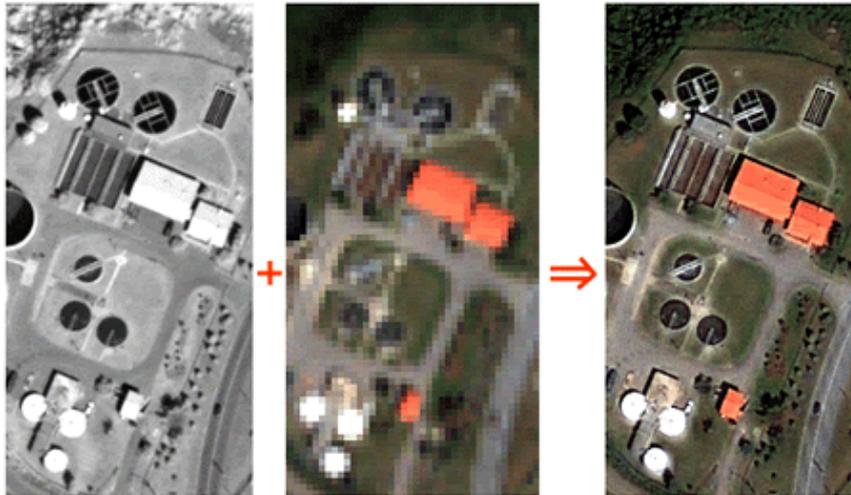


Abb. 4: PAN-Sharpning (Quelle: Baldenhofer)

Das Bildrauschen, hervorgerufen durch die Körnung analoger Filme, entfällt und bewirkt einen sowohl qualitativen als auch optischen Vorteil. Ergänzend bietet die verbesserte radiometrische Bildtiefe (in der Regel 12 bit) eine verbesserte Möglichkeit der Bildinterpretation. Durch Histogrammspreizung werden Schattenbereiche auswertbar.



Abb. 5: Vergleich einer analogen und digitalen Luftbildaufnahme (links analog (2002), rechts digital (2005))



Abb. 6: Verbesserte Bildinterpretation aufgrund einer höheren Farbtiefe (16-bit Farbtiefe in beiden Bildern, rechtes Bild: nach optimaler Histogrammspreizung)

Die signifikanten Vorteile gegenüber analogen Filmkameras sind sowohl qualitativ als auch wirtschaftlich zu begründen. Die rasche Weiterentwicklung und Verbesserung der Sensorsysteme belegen den Markt für Digitalbefliegungen. Aufgrund der Optimierung im Workflow konnten zum Beispiel die Landesvermessungsämter die Befliegungszyklen für die Ableitung der Digitalen Orthofotos (ATKIS®-DOP) von fünf auf drei Jahre reduzieren.

Die sich ergebenden Nachteile (s. Tabelle 1) sind durch den vollständig digital integrierten Arbeitsablauf durch IT-Systeme lösbar, so dass diese keine Argumentation gegen eine Einführung der Digitaltechnologie darstellen.

Tabelle 1

Vor- und Nachteile digitaler Luftbildkameratechnologie im Vergleich zu analogen Kameras

Digitaler Bildflug	
Vorteile	Nachteile
Keine Filmkosten (Material, Entwicklung)	Viel Speicherplatz notwendig
Kein Scanaufwand	Höhere Bildanzahl
Innere Orientierung vorhanden	
Höhere Überlappung ohne Mehrkosten	Hoher Aufwand für Postprocessing
Höhere radiometrische Auflösung (>12 bit)	12bit nicht bearbeitbar > Postprocessing
Kein Filmkorn	Bilder wirken künstlich
Infrarot als Nebenprodukt	
Optimiert auf digitale Prozesse	

3 Flächensensor vs. Zeilensensor

Vergleicht man die verfügbaren Kamerasysteme miteinander, können zwei markante Sensorclassen gebildet werden: Flächensensoren und Zeilensensoren.

Zum einen gibt es die großformatigen Flächensensoren von Vexcel und Intergraph, welche das großformatige Luftbild durch sich überlappende Einzelaufnahmen ableiten (Stitching). Vexcel nutzt diesbezüglich 9 Sensoren, die zeitlich aufeinander abgestimmt den identischen Auslösepunkt haben.

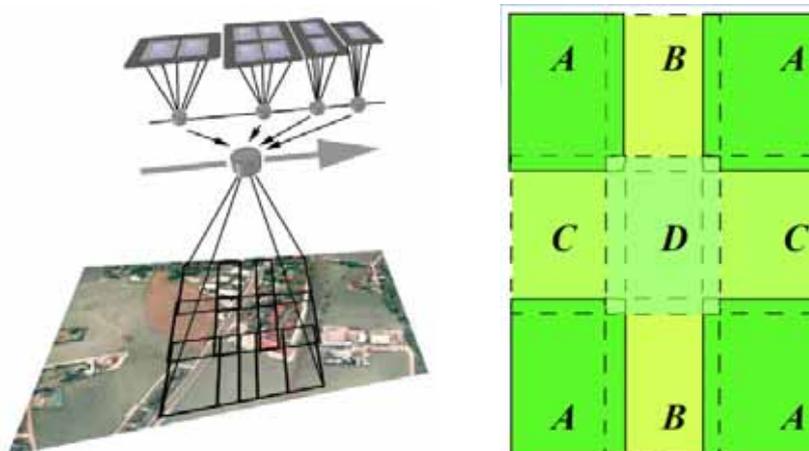


Abb. 7: Stitching bei einer Vexcel-Kamera UCD, UCX oder UCXp

Bei der DMC von Intergraph werden vier Sensoren zu einem digitalen Luftbild gerechnet. Die neueste Kamerareihe von Intergraph (DMCII) hat einen großformatigen, panchromatischen Chip integriert, so dass kein Stitching erforderlich ist.

Bei den Zeilensensoren werden CCD-Zeilen zur Aufnahme genutzt. Hierbei werden die verschiedenen Farbkanäle durch gesonderte CCD-Sensoren aufgenommen. Das Ergebnis ist kein herkömmliches Luftbild, sondern ein Bildstreifen entsprechend des Flugstreifens. Als wesentlicher Vorteil bei den Zeilensensoren muss das Wegfallen des PAN-Sharpings genannt werden, da jeder Farbkanal mit der originären Auflösung genutzt wird. Bei der zweiten Baureihe der ADS40 bzw. der ADS80 wurden weitere Farb-CCD-Zeilen integriert, so dass eine multispektrale stereoskopische Betrachtung möglich wird. Wesentlicher Nachteil bei den Aufnahmen von Zeilensensoren ist die Trennung vom herkömmlichen Luftbildgedanken, so dass die Integration der Daten noch nicht für alle photogrammetrischen Arbeitsschritte vollzogen werden kann bzw. mit weiteren Investitionen verbunden ist. Bei den Landesbefliegungen des amtlichen deutschen Vermessungswesens kamen die Zeilensensoren noch nicht zum großflächigen Einsatz. Aufgrund des geometrischen und radiometrischen Leistungspotenzials wird jedoch ein Einsatz perspektivisch angestrebt.

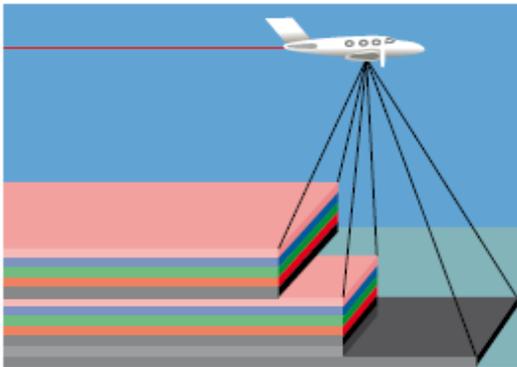


Abb. 8:
Multispektrale CCD-Kombination beim Zeilensensor ADS40 2nd bzw. ADS80

Tabelle 2

Vor- und Nachteile digitaler Luftbildkamertechnologie im Vergleich zu analogen Kameras

Flächensensor	Zeilensensor
+ direkter Ersatz des analogen Bildkonzeptes	+ Senkrechtaufnahme in Flugrichtung
+ konventionelles Bildformat (Standardapplikationen)	+ Streifen ohne Schnittkanten
+ stabile innere Geometrie	+ kein PAN-Sharpening
+ hohe Bodenauflösung möglich	
	- hohe Abhängigkeit von GPS/INS
- hohe Anzahl von Bildern	- keine FMC
	- Begrenzung in der Bodenauflösung
	- hohe Postprocessing-Zeiten

Mit dem Wandel der Bildflugkamertechnologie in das digitale Zeitalter verabschiedet sich das klassische Bildformat von 23 x 23 cm², welches als Standardmaß der analogen Luftbilder üblich war.

Das Bildformat digitaler Luftbilder ist aufgrund unterschiedlicher Chiptechnologien vom Sensortyp abhängig. Der Aufnahmebereich eines Luftbildes ist folglich vom eingesetzten Kamerasystem abhängig. Daher kann bei Digitalaufnahmen als Referenz nicht der Befliegungsmaßstab sondern lediglich die Bodenauflösung genutzt werden.

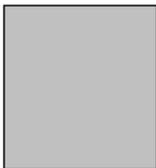
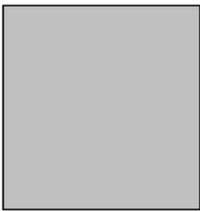
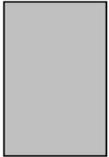
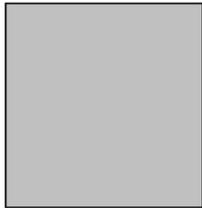
Sensor	DMC	DMCII-140	DMCII-230	DMCII-250
	 2765 x 1536 m	 2419 x 2240 m	 3021 x 2880 m	 3443 x 2931 m
Sensor	UCD	UCX	UCXp	analoge Kamera (GSD ca. 18 cm)
	 2300 x 1500 m	 2886 x 1884 m	 3462 x 2262 m	 2875 x 2875 m

Abb. 9: Aufnahmebereiche von Flächensensoren / analogen Kameras (bei einer Bodenauflösung (GSD) von ca. 20 cm)

Die maximale Bodenauflösung liegt aktuell bei 4 - 5 cm und wird im Wesentlichen durch die erforderliche Längsüberdeckung begrenzt.

Weitere Kamerasysteme sind auf dem Markt verfügbar und werden in der Regel für Sonderprojekte eingesetzt. Mittelformatige Kamerasysteme erreichen durch Kombination mehrerer Kameraköpfe konkurrenzfähige Aufnahmebereiche, sind jedoch in der Farbauswahl auf ein dreikanaliges Bild, abgeleitet durch Bayer-Pattern, begrenzt.

4 Ergebnisse des DGPF-Projektes „Kameraevaluierung“

Das DGPF-Projekt war eine unabhängige und objektive Evaluierung großformatiger Luftbildkameras. Die Schwerpunkte der Untersuchung lagen in

- > der geometrischen Genauigkeit und Auflösung
- > der radiometrischen Genauigkeit
- > der automatischen DOM-Generierung
- > dem Stereoplotting

Hierbei sollten auf Grundlage von Befliegungen des Testfeldes Vaihingen/Enz sensorspezifische Qualitätsmerkmale herausgearbeitet werden. Die Ergebnisse wurden mit RMK-Bildern, ALS50-Daten und einem Passpunkt-Feld verglichen.

Die Untersuchungen der geometrischen Genauigkeit belegen, dass digitale Luftbilder im Vergleich zu analogen Luftbildern eine bessere Objektpunkthöhengenaugigkeit erreichen. Insbesondere die Mehrzeilenkameras ADS40 und JAS150 führen zu sehr guten Ergebnissen. Allgemein wurde eine Objektkoordinatengenaugigkeit kleiner als die Objektpixelgröße erreicht. Für Modellauswertungen sollte eine Selbstkalibrierung durchgeführt werden und somit die systematischen Bildfehler ermittelt werden.

Das DGPF-Projekt belegt deutliche Vorteile der digitalen Bildaufzeichnung für Verfahren der automatischen Bildzuordnung. Die automatische Ableitung von 3D-Punktwolken erreicht für die Oberflächenmodellierung das Niveau von flugzeuggestützten LIDAR-Messungen. Die Softwaretechnologie hat dieses Potenzial aufgegriffen und entwickelt derzeit Lösungen, die bei einer Bildkorrelation pixelbasiert eine Oberflächenpunktwolke ableiten können.

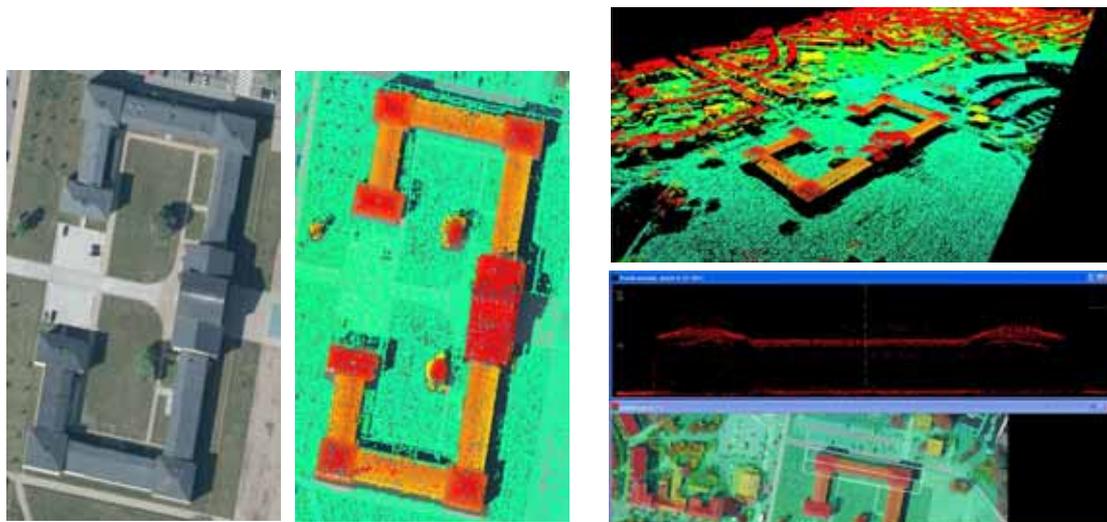


Abb. 10: Potenzial der automatischen Bildkorrelation auf Basis digitaler Luftbildpaare

Ein Vergleich der photogrammetrischen Stereoauswertungen (Stereoplotting) zeigt, dass die Wahl des Kamerasensors für die zu erreichende Genauigkeit sekundär ist. Vielmehr bestimmen die Witterungsbedingungen das Genauigkeitspotenzial.

Das Projekt ist mittlerweile abgeschlossen. Die Gesamtergebnisse können auf der DGPF-Homepage eingesehen werden (www.dgpf.de).

5 Zusammenfassung und Ausblick

Die digitale Kameratechnologie hat sich auf dem Bildflugmarkt etabliert. Insbesondere das geometrische und radiometrische Potenzial rechtfertigen den Umstieg auf digitale Luftbildbefliegungen. Das Potenzial der Sensoren ist mindestens mit denen der traditionellen analogen Kamerasysteme vergleichbar, in der Regel sogar überlegen.

Zusätzliche Optimierungen aufgrund verkürzter Bearbeitungszeiten sowie erweiterter Anwendungsgebiete unterstützen den schnellen Wandel und die rasante Weiterentwicklung der Systeme. Während bei analogen Luftbildbefliegungen eine möglichst minimale Bildanzahl optimal war, wird bei digitalen Luftbildbefliegungen durch zusätzliche digitale Luftbilder ohne wesentliche Mehrkosten effizient ein effektiveres Ergebnis ermöglicht.

Literatur

BALDENHOFER, K.: Lexikon der Fernerkundung, Internet: <http://www.fe-lexikon.info/index.htm>,
Stand 18.05.2011.

HAALE, N. et. al. (2010): DGPF-Projekt: Evaluierung digitaler photogrammetrischer Kamerasysteme – Themenschwerpunkt Höhenmodelle, 3-Ländertagung der DGPF, OVG und SGPBF, DGPF-Tagungsband 19, Wien, 30.06. - 03.07.2010.

JACOBSEN, K. et. al. (2010): DGPF-Projekt: Evaluierung digitaler photogrammetrischer Kamerasysteme – Themenschwerpunkt Geometrie, 3-Ländertagung der DGPF, OVG und SGPBF, DGPF-Tagungsband 19, Wien, 30.06. - 03.07.2010.



Kontakt:

Sven Baltrusch

Amt für Geoinformation, Vermessungs-
und Katasterwesen M-V

Lübecker Str. 289

19059 Schwerin

Tel.: 0385/ 5885 6322

Fax: 0385/ 4773 00406

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

Jahrgang: 1973

1992 – 1997

Studium Geodäsie an der Universität Hannover

1997 – 1999

Vermessungsreferendar im Land Niedersachsen

seit 2000

Beschäftigung beim Landesvermessungsamt Mecklenburg-Vorpommern, seit 2001 Leiter des Bereichs Photogrammetrie

Seit 2007

Vertreter der Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland (AdV) im DIN-Normungsausschuss „Photogrammetrie und Fernerkundung“

seit 2008

Leiter der Projektgruppe „ATKIS®-DOP“ in der AdV

Potenziale des Full-Waveform-Laserscanning zur Erfassung von Flussvorlandrauheiten

Boris Jutzi

1 Einleitung

Die automatische Generierung von dreidimensionalen Modellen zur Beschreibung von natürlichen Objekten ist für unterschiedlichste Anwendungen von großem Interesse. Aktive Laserscanner ermöglichen eine direkte, präzise und schnelle Erfassung der Entfernung von 3D-Objekten, unabhängig von den Beleuchtungsverhältnissen. Für die Aufnahme der Erdoberfläche durch flugzeuggetragene Systeme werden typischerweise gepulste Laser verwendet.

Die meisten Systeme sind in der Lage, mindestens die Entfernung des ersten und letzten rückgestreuten Pulses zu erfassen. Manche Systeme nehmen Entfernungen von mehreren rückgestreuten Pulsen auf, z. B. bis zu fünf Entfernungswerte pro gesendeten Puls. Die Detektion des ersten Pulses (first pulse) ist die optimale Wahl um die Hülle von teilweise durchdrungenen Objekten oder sogenannten Volumenstreuern (z. B. Baumkronen) zu messen. Die Detektion des letzten Pulses (last pulse) sollte gewählt werden, wenn nicht durchdringbare Flächen (z. B. Bodenflächen) gemessen werden sollen.

2 Full-Waveform-Laserscanning – ein Überblick

Im Gegensatz zur Messung charakteristischer Entfernungswerte ergeben sich bei der Aufnahme der kompletten zeitlichen Signalform (*engl.* Full-Waveform) neue Möglichkeiten der Auswertung (MALLET & BRETAR 2009, STILLA et al. 2009).

Untersuchungen durch die Analyse der Signalform wurden zur Erforschung von Vegetation hinsichtlich der Biomasse oder Dichte des Bestandes (beispielsweise Bäume, Büsche und Untergrund) vorgenommen. Die NASA entwickelte einen Prototyp zur Aufzeichnung der Signalform mit dem Laser Vegetation Imaging Sensor (LVIS), womit ein vertikales Dichteprofil von Wäldern erfasst werden kann (BLAIR et al. 1999). Dieses luftgestützte Experimentalsystem wird in einer Höhe von bis zu 10 km eingesetzt und besitzt einen Durchmesser des Footprints von bis zu 80 m, der die Untersuchung von verschiedenen Landnutzungsklassen ermöglicht.

Das raumgestützte Geoscience Laser Altimeter System (GLAS), welches von dem Ice, Cloud and Land Elevation Satellite (ICESat) getragen wird, erfasst Höhenprofile von Wolken und Aerosolen, misst die Höhe von großflächigen Eis- und Landflächen und kann von großen

Gebieten die Vegetation vermessen. Hierfür wird ein Lasersystem mit einem Footprint-Durchmesser von 70 m eingesetzt, welches mit einer Dezimetergenauigkeit die Höhenunterschiede auf der Erde erfasst (HOFTEN et al. 2000).

Neben diesen Large-Footprint-Lasersystemen wurden die ersten Aufzeichnungen der Signalform von Small-Footprint-Lasersystemen durch den australischen Laser Airborne Depth Sounder (LADS) (PENNY et al. 1986) und das amerikanische Scanning Hydrographic Operational Airborne Lidar Survey System (SHOALS) (LILLYCROP & BANIC 1993) für die Beobachtung in Küstenregionen entwickelt. Bei diesen Systemen ist, wegen der starken Streuung im Wasser, die Bodendetektion nur mittels Auswertung der Signalform möglich.

In letzter Zeit folgten weitere Entwicklungen zur Aufzeichnung der Signalform und derzeit sind mehrere kommerzielle luftgestützte Systeme (Tabelle 1) verfügbar: Optech ALTM 3100, TopEye Mark II und TopoSys Harrier 56. Das zuletzt genannte System basiert auf dem Riegl LMS-Q 560, dessen Nachfolger ist der Riegl LMS-Q 680. Diese Systeme operieren mit einem gesendeten Puls, der die zeitliche Länge von wenigen Nanosekunden aufweist.

Tabelle 1

Spezifikationen von Small-Footprint-Lasersystemen.

	RIEGL LMS-Q560	OPTECH ALTM 3100	TOPEYE II
Wellenlänge [nm]	1550	1064	1064
Pulslänge bei FWHM ^a [ns]	4	-	5
Pulswiederholrate [kHz]	200	50	50
Strahldivergenz [mrad]	≤ 0.5	0.3 or 0.8	1
Operationshöhe[m]	< 1500	< 2500	< 1000
Abtastwinkel [°]	± 22.5, ± 30	± 25	± 20

^a Full-width-at-half-maximum

Zur Interpretation der empfangenen Signalform des rückgestreuten Laserpulses ist das Verständnis für den physikalischen Hintergrund von der Laserstrahlungsausbreitung und die Oberflächeninteraktion relevant (JUTZI et al. 2002, WAGNER et al. 2003). Der Einfluss der beleuchteten Oberfläche auf die gesendete Signalform wurde von STEINVALL (2000) anhand von Objekten mit unterschiedlicher Oberflächenform und unter Berücksichtigung unterschiedlicher Reflexionseigenschaften diskutiert. GARDNER (1982) und BUFTON (1989) untersuchten die zeitliche Pulsaufweitung durch die Beeinflussung von Oberflächenstrukturen, beispielsweise durch Oberflächenneigung und vertikaler Rauigkeit innerhalb des beleuchteten Gebiets.

Die Aufzeichnung der empfangenen Signalform eröffnet die Möglichkeit zur Verwendung verschiedener Methoden für die Entfernungsbestimmung. Die Entfernungsbestimmung kann prinzipiell verbessert werden durch die Berücksichtigung von der gesendeten und empfangenen Signalform, da die gemessene beziehungsweise a priori bekannte Signalform in die Analyse einfließt und die Formen miteinander verglichen werden können. Hierfür eignen sich besonders gut Signalverarbeitungsmethoden, beispielsweise Korrelation und Inversfilterung.

Die dadurch erreichte Genauigkeit der Entfernungsbestimmung ist im Allgemeinen höher als eine Entfernungsbestimmung, die nur auf der empfangenen Signalform basiert (JUTZI & STILLA 2006). Eine zusätzliche Verbesserung der Genauigkeit kann durch die Kleinst-Quadrat-Korrelation erreicht werden. Durch diese Methode können Entfernungswerte bestimmt werden, die zwischen dem zeitlichen Abtastraster liegen.

Charakteristische Merkmale zur Beschreibung der Oberfläche sind beispielsweise *Entfernung*, *Entfernungsvariation* und *Reflexionsstärke* die mit der *zeitlichen Position*, *Breite* und *Amplitude* der Signalform gemessen werden können. Die direkte Ableitung dieser Merkmale aus dem Signalverlauf führt jedoch aufgrund der gestörten Signalform auf nicht repräsentative Parameter. Unter der Annahme dass die Signalform $s(t)$ einen gaußförmigen Verlauf über der Zeit besitzt ergibt sich

$$s(t) = \frac{a}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp\left(-\frac{(t-\tau)^2}{2\sigma^2}\right),$$

wobei die zu bestimmenden Parameter *mittlerer Zeitwert* τ , *Standardabweichung* σ und *maximale Amplitude* sind.

Die Oberflächenmerkmale haben direkten Einfluss auf die Amplitude und die Länge der empfangenen Signalform. Um für die Signalform eine Parameterbeschreibung zu erhalten, wird die Gaussian-Decomposition-Methode angewandt. Diese Methode hat sich zunehmend etabliert und wird als Standardauswertemöglichkeit der Signalform eingesetzt.

Heutzutage wird die Analyse der Signalform zunehmend in der Fernerkundung für Vermessungen in der Forstwirtschaft eingesetzt (HOLLAUS et al. 2011, MALLET et al. 2008, REITBERGER et al. 2009) und ist deswegen auch für Fluss- und Küstenbereiche von großer Bedeutung.

3 Beschreibung von Oberflächenstrukturen

Wie bereits im vorangegangenen Abschnitt beschrieben können mit einem Lasersystem unterschiedliche Merkmale erfasst werden, z. B. *Entfernung*, *Entfernungsvariation* und *Reflexionsstärke*. Jedes Merkmal kann idealerweise einer speziellen Oberflächenstruktur zugeordnet werden. Um Oberflächenstrukturen unterscheiden zu können, ist eine Einteilung in unterschiedliche *Rauhigkeitsstufen* sinnvoll. Hierbei kann die Größe der angeleuchteten Oberflächegeometrie, bezogen auf den Durchmesser d und die Wellenlänge λ des Laserstrahls, als sinnvolles Unterscheidungsmaß eingesetzt werden, um die unterschiedlichen Oberflächenstrukturen in MACRO-, MESO- und MICRO-Strukturen einzuteilen (Abb. 1).

MACRO-Strukturen

Mit MACRO-Strukturen werden Strukturen bezeichnet, deren Ausmaße die Größe des Strahldurchmessers d (Footprint) um ein Vielfaches übersteigt. Bei Lasersystemen sind die Strahldivergenz und die räumliche Abtastung aufeinander abgestimmt. Im Allgemeinen ist hierbei der Strahldurchmesser kleiner oder idealerweise gleich dem Abstand zwischen den Stützstellen. Die Entfernungswerte, die durch die räumliche Abtastung mit einem Lasersystem gemessen werden, ermöglichen die Rekonstruktion von großen Objektstrukturen (beispielsweise Geländetopografie, Dachformen von Gebäuden usw.).

Bei der Analyse von MACRO-Strukturen, die bei ausgedehnten Objekten mit einfacher Oberflächengeometrie auftreten, wird vorausgesetzt, dass eine einzelne Reflexion auftritt. Diskontinuitäten innerhalb der beleuchteten Oberflächengeometrie werden vernachlässigt. MACRO-Strukturen können durch das Merkmal *Entfernung* repräsentiert werden.

MESO-Strukturen

Mit MESO-Strukturen werden Strukturen bezeichnet, deren Ausmaße zwischen der Größe des Strahldurchmessers d und der Wellenlänge λ liegen. Unterschiedlich weit entfernte Objektbereiche innerhalb des Strahlengangs bewirken unterschiedliche Entfernungswerte innerhalb einer Messung. Dies kann verursacht werden durch die Beleuchtung von zwei, mehreren oder kontinuierlichen Bereichen mit geringer unterschiedlicher Entfernung (beispielsweise Schornstein, Gaube, Dachschräge, Dachgiebel, Äste, Blätter usw.).

Bei der Analyse von MESO-Strukturen können sowohl deterministische Diskontinuitäten durch „man-made“ Objekte als auch zufällige Diskontinuitäten durch natürliche Objekte für die beleuchtete Oberflächengeometrie angesetzt werden. MESO-Strukturen bewirken eine Deformation der gesendeten Signalform des rückgestreuten Laserpulses und die zeitliche Pulslänge der empfangenen Signalform wird vergrößert. Diese Variation in der Entfernung durch unterschiedliche Entfernungswerte kann als Merkmal *Entfernungsvariation* bezeichnet werden.

MICRO-Strukturen

Mit MICRO-Strukturen werden Strukturen bezeichnet, deren Ausmaße kleiner beziehungsweise gleich der Größenordnung der Wellenlänge λ sind. In Abhängigkeit von der Wellenlänge wird das Reflexionsvermögen der Oberfläche durch das Oberflächenmaterial beeinflusst. Das Reflexionsvermögen der Oberfläche kann als Reflexionsstärke durch ein Lasersystem bestimmt werden. Die Reflexionsstärke wird aus der Amplitude oder der Energie der empfangenen Signalform gemessen. Somit kann durch die Amplitude (Energie) auf das Material der Oberfläche geschlossen werden.

Bei der Analyse von MICRO-Strukturen ist das Reflexionsvermögen der beleuchteten Oberflächen relevant, um beispielsweise verschiedene Materialien zu unterscheiden. MICRO-Strukturen verändern die Amplitude der empfangenen Signalform des rückgestreuten Laserpulses, der Verlauf wird hierbei nicht verändert. Die Amplitude kann als Maß für das Merkmal *Reflexionsstärke* gesehen werden.

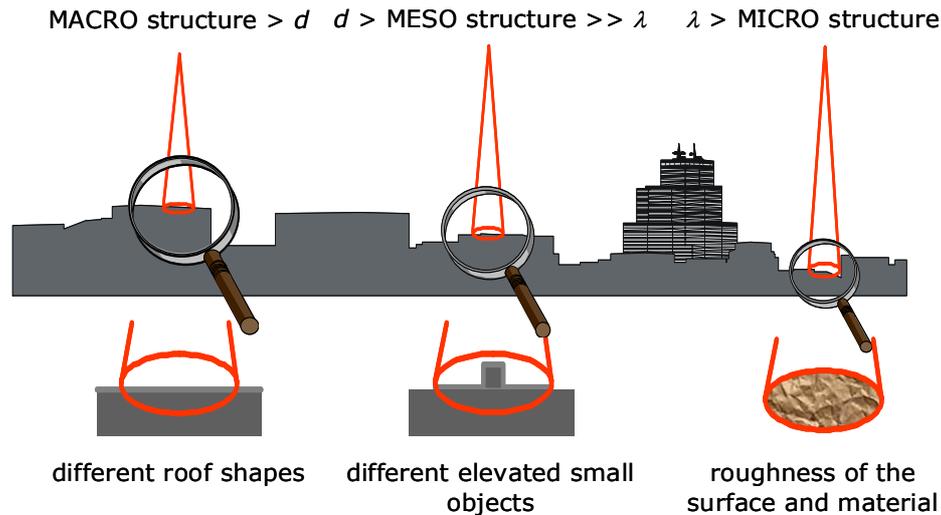


Abb. 1: Unterschiedliche Detaillierungsstufen, die mit einem Lasersystem erfasst werden können.

4 Zusammenfassung und Ausblick

Das Full-Waveform-Laserscanning ist ein Messverfahren zur Erfassung von Oberflächenmerkmalen (z. B. *Entfernung*, *Entfernungsvariation* und *Reflexionsstärke*) bzw. unterschiedlichen Detaillierungsstufen (z. B. MACRO-, MESO- und MICRO-Strukturen). Somit ist das Full-Waveform-Laserscanning mit seinen neuen geodätischen Messsystemen als Messmethode prädestiniert für die Erfassung von Rauheiten, beispielsweise Flussvorlandrauheiten. Aus den erfassten Full-Waveform-Laserscanning-Daten können Rauheitsgrößen mit unterschiedlichem Detaillierungsgrad extrahiert werden. Es ist erstrebenswert diese Rauheitsgrößen in hydraulisch relevante Modellierungswerte (z. B. Manning-Strickler-Beiwert) zu überführen. Hierfür ist eine interdisziplinäre Zusammenarbeit zwischen Geodäten und Hydraulikern essenziell.

Literatur

- BLAIR, J. B., D. L. RABINE, M. A. HOFTON (1999): The Laser Vegetation Imaging Sensor (LVIS): A Medium-Altitude, Digitization-Only, Airborne Laser Altimeter for Mapping Vegetation and Topography. *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing* 54 (2-3): 112-122.
- BUFTON, J. L. (1989): Laser Altimetry Measurements from Aircraft and Spacecraft. *Proceedings of the IEEE* 77 (3): 463-477.
- GARDNER, C. S. (1982): Target Signatures for Laser Altimeters: An Analysis. *Applied Optics* 21 (3): 448-453.
- HOFTON, M. A., J. B. MINSTER, J. B. BLAIR (2000): Decomposition of Laser Altimeter Waveforms. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 38 (4): 1989-1996.

- HOLLAUS, M., C. AUBRECHT, B. HÖFLE, K. STEINNOCHER, W. WAGNER (2011): Roughness Mapping on Various Vertical Scales Based on Full-Waveform Airborne Laser Scanning Data. *Remote Sensing* 3(3), 503-523.
- JUTZI, B., B. EBERLE, U. STILLA (2002): Estimation and Measurement of Backscattered Signals from Pulsed Laser Radar. In: Serpico SB (Ed.) *Image and Signal Processing for Remote Sensing VIII*. SPIE Proceedings Vol. 4885: 256-267.
- JUTZI, B., U. STILLA (2006): Range determination with waveform recording laser systems using a Wiener Filter. *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing* 61 (2): 95-107.
- LILLYCROP, W. J., J. R. BANIC (1993): Advancements in the US Army Corps of Engineers Hydrographic Survey Capabilities: The SHOALS System. *Marine Geodesy*, Vol. 15: 177-185.
- MALLET, C., F. BRETAR (2009): Full-waveform topographic lidar: State-of-the-art. *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing* 64 (1): 1-16.
- MALLET, C., F. BRETAR, U. SOERGEL (2008): Analysis of Full-Waveform Lidar Data for Classification of Urban areas. *Photogrammetrie - Fernerkundung - Geoinformation (PFG)*, Jahrgang 2008, Heft 5, 337-349.
- PENNY, M. F., R. H. ABBOT, D. M. PHILLIPS, B. BILLARD, D. REES, D. W. FAULKNER, D. G. CARTWRIGHT, B. WOODCOCK, G. J. PERRY, P. J. WILSEN, T. R. ADAMS, J. RICHARDS (1986): Airborne Laser Hydrography in Australia. *Applied Optics* 25 (13): 2046-2058.
- REITBERGER, J., P. KRZYSZEK, U. STILLA (2009): First/Last Pulse und Full Waveform Laserscanning zur 3D Kartierung von Wäldern. 29. Wissenschaftliche-Technische Jahrestagung der DGPF. 355-364.
- STEINVALL, O. (2000): Effects of Target Shape and Reflection on Laser Radar Cross Sections. *Applied Optics* 39 (24): 4381-4391.
- STILLA, U., B. JUTZI, J. REITBERGER, W. YAO, P. KRZYSZEK (2009): Full Waveform Laserscanning - Auswertemethoden und Anwendungen. *Terrestrisches Laserscanning (TLS2009)*, Schriftenreihe des DVW, Band 60: 49-67 (eingeladener Beitrag).
- WAGNER, W., A. ULLRICH, C. BRIESE (2003): Der Laserstrahl und seine Interaktion mit der Erdoberfläche. *Österreichische Zeitschrift für Vermessung & Geoinformation*, VGI 4/2003: 223-235.



Kontakt:

Dr.-Ing. Boris Jutzi

Institut für Photogrammetrie
und Fernerkundung/
Karlsruher Institut für Technologie
Kaiserstr. 12
76128 Karlsruhe
Tel: 0721/ 608 46993
Fax: 0721/ 608 48450
E-Mail: boris.jutzi@kit.edu

Ausbildung

1988 – 1996

Studium der Elektrotechnik an der Technischen
Universität Kaiserslautern

2007

Promotion zum Dr.-Ing. an der Technischen
Universität München

Beruflicher Werdegang

1997 – 2009

Wissenschaftlicher Mitarbeiter am
Forschungsinstitut für Optronik und
Mustererkennung

(heute Fraunhofer-Institut für Optronik,
Systemtechnik und Bildauswertung)

seit 2009

Akademischer Rat auf Zeit am Institut für
Photogrammetrie und Fernerkundung (IPF) am
Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
(ehemals Technische Universität Karlsruhe)

Neue Sensoren, neue Methoden – neue Wege der Fernerkundung in der Vegetationskunde

Maike Heuner und Uwe Schröder

1 Einleitung

Eine Funktion der Vegetation an Bundeswasserstraßen ist die regulative Dienstleistung. Sie reguliert Erosionskräfte, bietet Flächenpotenzial zur Akkumulation von Sedimenten und Filterung von Schadstoffen. Deshalb ist es notwendig, ihr angemessene Bedeutung zuzuordnen. Der Erhalt bzw. die Verbesserung des Zustandes der Vegetation an den Bundeswasserstraßen trägt maßgeblich zur Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) und der Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie (FFH-RL) bei. Um den Zustand zu beurteilen, muss die Vegetation regelmäßig in ihrer räumlichen Ausdehnung und vegetationskundlichen Qualität erfasst werden.

Die Struktur und das Arteninventar der Vorlandvegetation im Elbeästuar unterliegen fortwährender Veränderung. Grund hierfür ist die natürliche und anthropogen induzierte (z. B. Fahrrinnenanpassungen, Landnutzungen) hydromorphologische Dynamik. Zur qualitativen und quantitativen Erfassung der Veränderungen ist daher ein Langzeitmonitoring von großem Interesse. Durch die Raum-zeitliche Analyse von Fernerkundungsdaten können Ziele für die Ufer- und Vorlandunterhaltung bestätigt, angepasst oder neu gesteckt werden. Für die Wasser- und Schifffahrtsverwaltung (WSV) stellt sich in diesem Zusammenhang die Frage, ob aktuelle Innovationen in der Satellitentechnologie in Deutschland flugzeuggestützte Sensoren ablösen können, mit dem Ziel, Fragestellungen des Vorland- und Ästuarmanagements möglichst effizient zu beantworten. Weiterhin ist zu untersuchen, inwieweit eine zeitlich und spektral höhere Auflösung der Reflexionsmuster von Auen- bzw. Marschvegetation durch multitemporale Bilderfassung und hyperspektrale Sensoren gewinnbringend für Beobachtung und Verständnis der Ästuarökologie sind. Auch ist zu prüfen, inwieweit Entwicklungen neuer Auswertemethoden die den erfassten Luftbilddaten innewohnenden Informationen besser nutzbar machen können.

2 Vegetation in der Fernerkundung – Nutzen und Voraussetzungen

Der Nutzen der Fernerkundung in der Vegetationskunde liegt

- > in der zeitnahen Erfassung großflächiger und schwer begehbarer Biotope wie z. B. dichte Röhrichtbestände, schlickige Wattflächen oder mit Brennessel besiedelte Hochstaudenfluren

- > in der Erfassung ihrer Vitalität, die mit Hilfe des NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) berechnet wird (ROUSE et al. 1973). Dafür werden die Daten des nahen infraroten und des roten Kanals genutzt.
- > in der Erfassung von Veränderungen zur Durchführung fernerkundlicher Zeitreihenanalysen. In SCHRÖDER (2005) wird z. B. anschaulich die Analyse der räumlichen Veränderungen von ufernahen Vegetationsbeständen an der Unterelbe seit den 1950er-Jahren beschrieben.

Die Voraussetzungen der Vegetation für den Einsatz der Fernerkundung liegen zum einen in spezifischen Reflektionsspektren der Pflanzen, zum anderen in unterschiedlichen Texturen der Vegetationsbestände. Textur bedeutet in der Fernerkundung die Strukturierung der Oberfläche im Bild aufgrund ihrer unterschiedlichen Eigenschaften (ALBERTZ 2001).

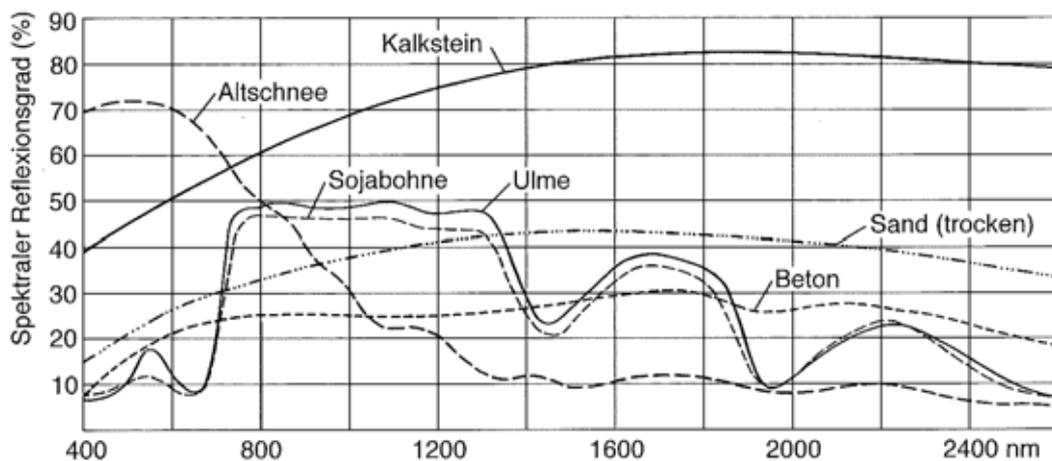


Abb. 1: Spektrale Reflektionsgrade verschiedener Oberflächen (ALBERTZ 2001)

Reflektion

Die Pflanzen reflektieren das Sonnenlicht je nach Wellenlänge unterschiedlich stark. Der grüne Spektralbereich (ca. 500 - 600 nm) wird aufgrund des Chlorophyllgehalts reflektiert, denn Chlorophyll absorbiert das Licht besonders stark im blauen und roten Spektralbereich. Besonders auffällig ist der Anstieg des Reflexionsgrades am Übergang von sichtbarem Licht zum nahen Infrarot bei 700 nm. Dieses Merkmal, auch *red edge* genannt, ist für Vegetation kennzeichnend und liegt in der Zellwandreflexion begründet (BONHAM-CARTER 1988). Die Stärke der Reflexion ist abhängig von der Pflanzenart und ihrer Vitalität (siehe Abb. 1). Die Reflexion des Infrarotbereichs ist v. a. vom Wasser- und Zellulosegehalt abhängig.

Textur

Die zweite Voraussetzung, die Textur, lässt sich im Color-Infrarot-Bild (CIR) besser erkennen als im RGB-Bild (siehe Abb. 2). Es sind deutlich drei Vegetationstypen zu erkennen: Der grau erscheinende Bildausschnitt im linken Bildteil stellt Röhricht dar. Die vielen kleinen Priele, die das Röhricht durchziehen und unterschiedliche Bestandshöhen erzeugen die raue Oberfläche. Der glatt erscheinende Bildausschnitt in der Mitte entsteht durch den kurzen Deichrasen. Ganz rechts im Bild deutet die mit Gruppen durchzogene Oberfläche auf Weideland hin.

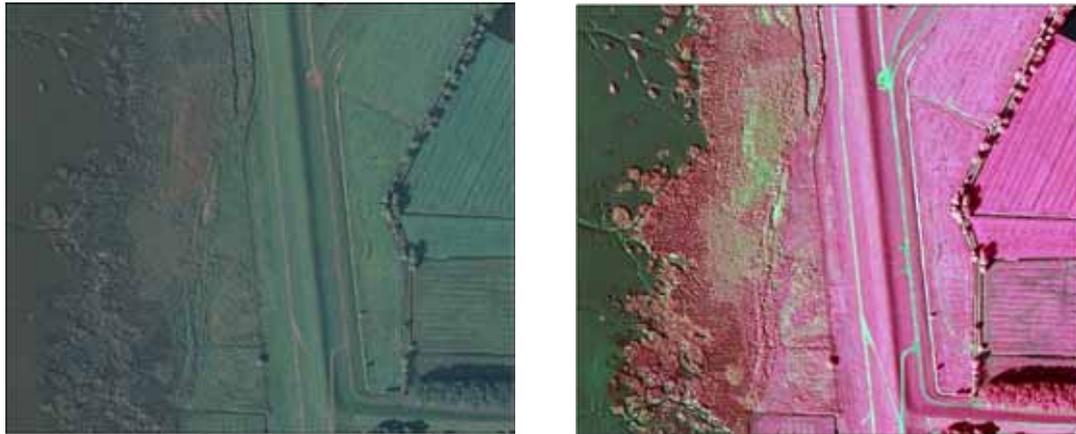


Abb. 2: DMC-Bildausschnitte 2006, Bishorst, Unterelbe, rechts: RGB-Echtfarbenbild, links: CIR-Falschfarbenbild, Quelle: WSA Hamburg und BfG.

3 Etablierte flugzeuggestützte Multispektralsensoren

Tabelle 1:

Etablierte flugzeuggestützte Multispektralsensoren

	HRSC-A	HRSC-AX	ADS40	DMC	UltraCam
Zeitraum der Einsätze in der BfG/WSV	1999-2000	2001-2002	2003	2006-2010	-
Sensortyp	Zeilensensor	Zeilensensor	Zeilensensor	Flächensensor	Flächensensor
radiom. Auflösung	12 bit	12bit	12 bit	12 bit	12 bit
spektr. Auflösung	PAN GB NIR + MIR	PAN RGB NIR	PAN RGB NIR	PAN RGB NIR	PAN RGB NIR

PAN = panchromatisch, R = rot, G = grün, B = blau, NIR = nahes Infrarot, MIR = mittleres Infrarot

In Tabelle 1 sind die flugzeuggestützten Multispektralsensoren der letzten 13 Jahre aufgeführt, die sich in der Erfassung der Vegetation etabliert haben. Mit Ausnahme der UltraCam wurden diese in der WSV und der BfG erfolgreich eingesetzt (siehe Zeitraum der Einsätze). Neben den panchromatischen (schwarz-weiß) Kanälen besitzen die Sensoren vier Multispektralkanäle in den spektralen Bereichen Blau, Grün, Rot und nahes Infrarot (NIR). Eine Ausnahme stellt die HRSC-A-Kamera dar, die keinen roten aber dafür einen mittleren infraroten Kanal (MIR) besitzt.

4 Neue Sensoren

Neue Sensoren zeichnen sich gegenüber den etablierten Sensoren dadurch aus, dass die Erfassungslücken von verschiedenen Wellenlängen verkleinert oder geschlossen werden. Dies geht oft mit engeren Bandbreiten einher, welche die spektrale Information präzisieren. Hyperspektral-Sensoren erfassen in einem bestimmten Bereich alle Wellenlängen ohne Erfassungslücken zwischen den einzelnen Bändern. Dadurch haben sie ein Vielfaches mehr an Bändern (resp. Kanäle) als die multispektralen Sensoren. Durch diesen Zugewinn an spektraler Information können auch schwierig zu trennende Arten wie z. B. Neophytenarten von Brennesseln getrennt werden. Im Rahmen des KLIWAS-Projektes *Ästuarvegetation und Vorlandschutz* (3.09) wird an der Unterelbe geprüft, inwieweit Hyperspektraldaten einen Mehrwert an der Identifizierung von Vorlandvegetation besitzen. Die Bilddatenerfassung erfolgte 2010 anhand des flugzeuggestützten Linienscanner Asia Eagle, der eine Wellenlänge von 400 - 1000 nm abdeckt. Mit 128 Spektralkanälen besitzt er eine spektrale Auflösung von ca. 4,5 nm pro Kanal/Band. Je nach Zusammenstellung der einzelnen Bänder können einzelne Bildstrukturen besser erkannt werden. Zum Beispiel zeigt Abb. 3 die unterschiedlichen Farben der Baumkronen, die auf verschiedene Arten hinweisen. Auch lassen sich abraisiertes (helle Fläche) und stehendes Schilf gut unterscheiden.

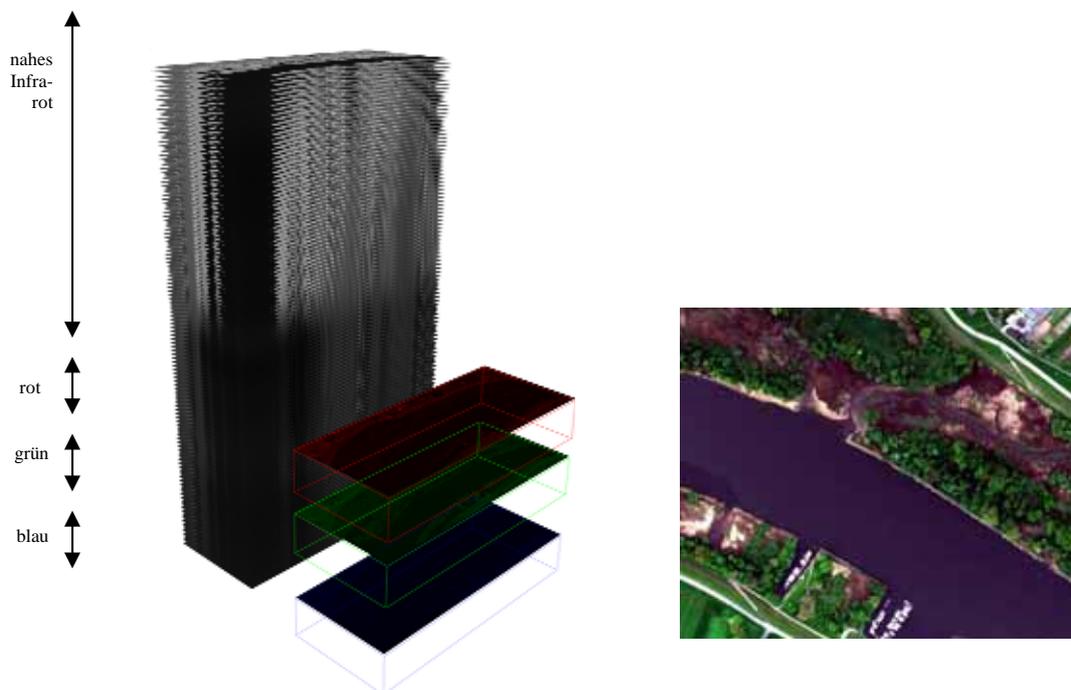


Abb. 3 Links: Bildstapel der Bänder einer hyperspektralen Aufnahme 2010 im Vergleich mit den drei Bändern eines RGB-Luftbildes. Rechts: Echtfarbenähnliches Asia-Eagle-Luftbild aus der Frühjahrszene, Ausschnitt Heuckenlock, Unterelbe.

Ein anderer neuer Sensor, der in KLIWAS und einem weiteren Forschungs- und Entwicklungsprojekt hinsichtlich der Vegetationserfassung an Bundeswasserstraßen getestet wird, ist das kommerzielle, kundenorientierte multispektrale Satellitensystem RapidEye, das aus fünf Satelliten besteht und somit eine hohe Wiederholungsrate aufweist. Diese Satelliten mit einer Bodenauflösung von bis zu 6,5 m verfügen über fünf Spektralbänder: die bekannten Rot-,

Grün-, Blau- und NIR-Kanäle sowie der neue Red-Edge-Kanal. Durch den für Pflanzen charakteristischen Übergang zwischen Rot und Infrarot wird der Interpretations- bzw. Klassifikationsraum präzisiert. Ein Beispiel zeigt Abb. 4. In dem CIR-Bild mit Red-Edge-Kanal (rechts) ist die annuelle Uferflur (siehe orangefarbener Pfeil) deutlich besser erkennbar als im RGB-Bild (links). Das Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG) ließ 2009/2010 die BRD flächendeckend mittels RapidEye erfassen. Diese Daten stehen den Bundesbehörden kostenlos zur Verfügung. In den BfG-Projekten mit der Technischen Universität Berlin wird geprüft, inwieweit sich Ergebnisse der aktuellen Satellitenauswertung mit älteren auf Luftbildern basierende Auswertungen hinsichtlich der Objektgüte vergleichen lassen. Es ist zu prüfen, ob ein kosten- und zeitoptimiertes fernerkundungsgestütztes Langzeitmonitoring auf Grundlage von Satellitendaten hinsichtlich der Vegetationsauswertung ausreichend ist.



Abb. 4 RapidEye-Luftbilder, Ausschnitt Bishorster Sand, Unterelbe 2009; links: RGB-Bild, rechts: CIR-Bild mit Red-Edge-Kanal.

5 Erprobte Methoden: Semiautomatisierte Biotoptypenklassifikationen

Anerkannte Methoden zur Auswertung von Luftbilddaten in der Vegetationskunde sind die semiautomatisierten Biotoptypenklassifikationen, die den hierarchischen Klassifikationsverfahren zuzuordnen sind. Im folgenden Text werden zwei Verfahren auf Grundlage semiautomatisierter Klassifikationen digitaler multispektraler Luftbilddaten dargestellt, mittels derer für die WSV und die BfG zufriedenstellende Biotoptypendatensätze erstellt wurden:

- > Biotoptypenklassifikation, erstellt durch die Hochschule Vechta
- > Biotoptypenklassifikation, erstellt durch das Fachbüro nature-consult

Die Methode der Hochschule Vechta wurde im Rahmen der Beweissicherung der Unterelbe in den Jahren 2000 - 2002 zur Zeit der Nullmessung und der 1. Wiederholungsmessung mit der Kamera HRSC-A(X) erfolgreich erprobt (LEUZINGER & BÖHLICH 2011, s. S. 58 ff. in diesem Band). Bei diesem Verfahren wird im Preprocessing durch die Kombination der multispektralen Kanäle und das Einbeziehung des Digitalen Oberflächenmodells (DOM) als Zusatzdatensatz vier verschiedene semantische Cluster bzw. Masken gebildet (Aggregation) (BALDENHOFER 2011): hohe Vegetation (> 12 m), krautige niedere Vegetation (< 12 m), keine Vegetation und Schatten. Im Processing wird je nach Cluster die Klassifikation individuell angepasst. Die Vegetationscluster werden mit dem Maximum-Likelihood-Algorithmus

der Software ERDAS auf Biotoptypenebene überwacht klassifiziert. Im GIS-basierten Post-processing werden die Klassifikationsergebnisse zusammengeführt, die Mindestflächengrößen festgelegt und Schattenbereiche zugeordnet (GÄHLER et al 2002).

Das Verfahren der Biotoptypenklassifikation, das vom Fachbüro nature-consult entwickelt wurde, wurde zur 2. Wiederholungsmessung 2006 an der Elbe und zur Beweissicherung 2009 an der Unterweser eingesetzt. Im Preprocessing fließen hier nicht nur die Höhen als Zusatzinformationen ein, sondern auch die Information der Bundeswasserstraßenkarte im Maßstab 1:2000 ein. Beim Aggregationsschritt werden hier fünf Cluster festgelegt: hohe Vegetation (> 7 m), mittlere Vegetation (< 7 m und > 4 m), niedrige Vegetation (< 4 m), keine Vegetation und Schatten. Auch hier werden im Processing die Klassifikationsschritte individuell angepasst. Das Klassifizierungsverfahren ist jedoch ein anderes. In dem dafür verwendeten Programm Open Source GIS GRASS (Geographic Resources Analysis Support System) werden die Klassen anhand einer Kombination des Segmentierungsalgorithmus Sequential Maximum a Posteriori (SMAP) und des Modells Multiscale Random Field (MSRF) gebildet. Hierbei werden Nachbarschaftsbeziehungen zwischen Pixeln mittels radiometrischer und geometrischer Information berücksichtigt (PETERSEN et al. 2007). Im Gegensatz zum vorangestellten Verfahren können Röhrichte auf Artebene erfolgreich klassifiziert werden. Beim anschließenden expertenbasierten Postprocessing erfolgt die Überprüfung der Ergebnisse sowohl am Bildschirm als auch im Feld. Dadurch kann eine hohe Genauigkeit der Klassifikationsergebnisse erreicht werden.

6 Neue Methoden

6.1 Kombination von wissensbasierter und Kontext-Klassifikation

Bei den vorgestellten erprobten Methoden flossen nur einige Zusatzinformationen in die Luftbildauswertung ein. Bei der wissensbasierten Klassifikation gewinnt die Zusatzinformation weiter an Bedeutung. Neben ATKIS-Daten können auch z. B. ökologische Informationen verarbeitet werden. Die verschiedenen Informationen werden miteinander in Beziehung gesetzt und mit Methoden wie wenn-dann-Regeln, Fuzzy Logic oder neuronale Netze automatisiert. Die Erstellung eines solchen Regelwerks ist aufwändig. Ist es jedoch erstellt, kann diese Wissensbasis eine Übertragbarkeit auf andere Datensätze ermöglichen. Unter wissensbasierter Klassifikation wird meistens ein pixelbasiertes Verfahren verstanden, bei dem jedes einzelne Pixel in die Klassifikation eingeht.

Dem gegenüber steht das objektbasierte Verfahren, die Kontextklassifikation. Hier wird beim Preprocessing eine Nachbarschaftsanalyse der Pixel durchgeführt. Die Nachbarschaftsanalyse erfolgt entweder mit Hilfe der Zusatzinformation oder auf Basis von Trainingsgebieten (ALBERTZ & WIGGENHAGEN 2009). In dem Arbeitsschritt Segmentierung werden die einzelnen Pixel nach den Nachbarschaftskriterien zu Objekten zusammengefasst. Eine Segmentierung ist vergleichbar mit einer Clusteranalyse mit geometrischem Raumbezug (HARALICK & SHAPIRO 1985).

Beide Verfahren haben ihre Vor- und Nachteile, die je nach spektraler Information der zu klassifizierenden Cluster bzw. Masken weniger oder stärker ausgeprägt sind. Um die Klassifizierung zu verbessern, ist es sinnvoll, pixel- und objektbasiertes Verfahren miteinander zu verknüpfen. Denn so können bessere Ergebnisse zum einen auf Basis der Datengrundlage

und der Bedürfnisse des Nutzers (z. B. Mindestflächengröße), zum anderen auf Basis der differenzierten spektralen Informationen erzielt werden, die z. B. zur Klassifizierung auf Art-ebene wichtig ist (KOCH et al. 2003).

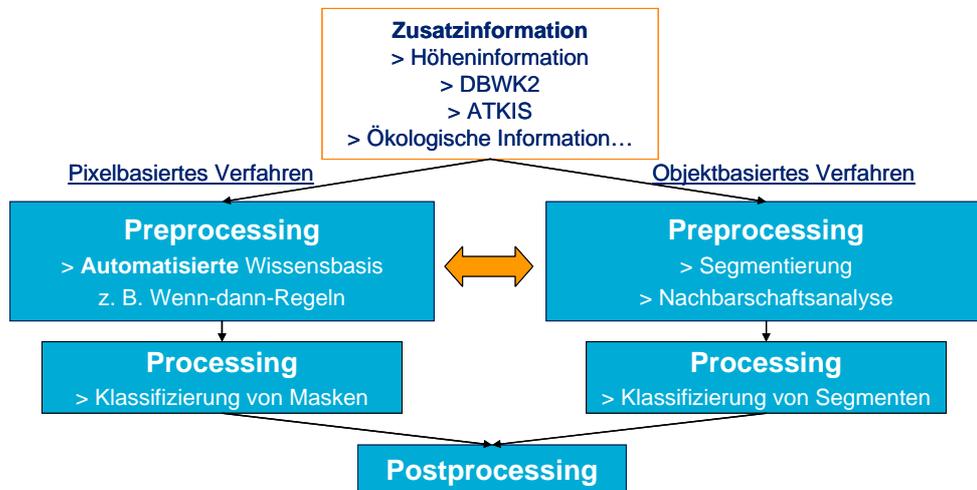


Abb. 5 Schematische Darstellung der Kombination von wissensbasierter und Kontext-Klassifikation.

6.2 Graduelle Abbildung der Artenzusammensetzung

Wenn Luftbilddaten, die naturnahe Lebensräume abbilden, mit Klassifikationsverfahren ausgewertet werden, erfolgt auch immer ein Informationsverlust. Denn Klassen spiegeln scharfe Grenzen wieder, die so in der Natur nicht existieren. Die Vegetation unterliegt einer sukzessiven Entwicklung in Raum und Zeit. Um die Richtungstendenzen dieser Entwicklung erkennen zu können, werden die Gradienten der Artenzusammensetzung mit multivariaten Verfahren (z. B. partial least squares regression) im Raum dargestellt (FAUDE et al. 2011). Durch dieses graduelle Auswertungsverfahren bleiben die Übergänge erhalten (siehe Abb. 6). In Zusammenarbeit mit der Universität Bonn wird im Rahmen von KLIWAS auf ausgewählten Vorlandflächen der Unterelbe am Beispiel von Hyperspektraldaten getestet, wie hoch der Informationsgewinn der unscharfen Darstellungsform gegenüber der scharf klassifizierten ist und inwieweit Aussagen zur Vegetationsstruktur getroffen werden können.

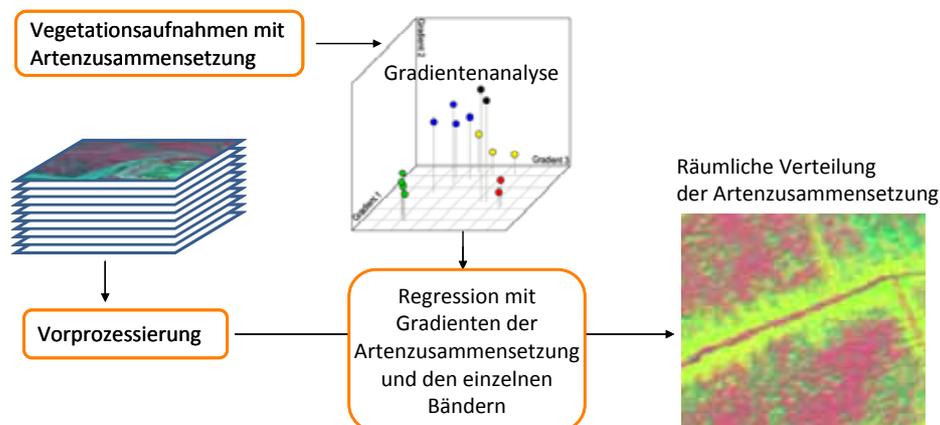


Abb. 6: Ablaufschema der Luftbildinterpretation mittels Gradientenanalyse der Artenzusammensetzung. Die einzelnen Bänder sind in der Regression als Prädiktorvariablen definiert. Quelle: Uni Bonn, verändert.

6.3 Multisaisonale Luftbilderfassung

Wie Abb. 7 zeigt, ändert sich die spektrale und textuelle Information der Vegetation über das Jahr. Diese Variation ist meist höher als die Variation zwischen den Jahren. So existieren je nach Saison verschiedene Referenzspektren pro Art bzw. Vegetationstyp. Ähneln sich zwei Arten in ihrem Referenzspektrum in einer Jahreszeit, so ist es wahrscheinlich, dass sie sich in einer anderen unterscheiden. Dadurch können einzelne Artbestände wie z. B. Neophyten besser voneinander separiert werden. In Kooperation mit der Universität Bonn und der Technischen Universität Berlin wird untersucht, welchen Mehrwert multisaisonale Fernerkundungsdaten besitzen, um Aussagen zur Ausbreitung von Neophyten auf Störstellen zu treffen. Hierfür werden sowohl Hyperspektraldaten des Sensors Asia Eagle als auch Multispektraldaten des Sensors RapidEye analysiert.



Abb. 7: Saisonale Sequenz von echtfarbenähnlichen Luftbildaufnahmen des Hyperspektral-Sensors Asia Eagle 2010, links: Mai, Mitte: August, rechts: Oktober.

7 Neue Wege der Fernerkundung für die Vegetationskunde

Durch die Darstellung etablierter und neuer Sensoren sowie erprobter und neuer Methoden anhand einiger Beispiele können zwei Entwicklungswege aufgezeigt werden. Der Weg der Sensoren ist mit einer Zunahme an spektraler Information zu beschreiben. In Abb. 8 sind die vorher aufgeführten Beispiele auf der Wegstrecke eingeordnet. Der Weg der Methoden ist mit einer Wissenszunahme zu charakterisieren. Durch diese können bessere Ergebnisse in der Luftbildinterpretation erzielt werden. Sensoren und Methoden müssen je nach Fragestellung, Erfassungsebene und Nutzungsbedarf gewählt werden. Die Aufgabe der BfG ist es, den Prozess und den Weg der Forschung zu begleiten, um aus den potenziellen Sensoren und Methoden Verfahren zu entwickeln, die der WSV helfen, standardisiert, kosten- und zeiteffizient die Vegetation an Bundeswasserstraßen zu erfassen.

Literatur

- ALBERTZ, J. & M. WIGGENHAGEN (2009): Taschenbuch zur Photogrammetrie und Fernerkundung, 5. Auflage. Heidelberg.
- ALBERTZ, J. (2001): Einführung in die Fernerkundung. Grundlagen der Interpretation von Luft- und Satellitenbildern, Darmstadt, Wissenschaftliche Buchgesellschaft.
- BALDENHOFER, K. G. (2011): Lexikon der Fernerkundung. URL: www.fe-lexikon.info/ [04.2011].
- BONHAM-CARTER, G. F. (1988): Numerical Procedures and Computer Program for Fitting an Inverted Gaussian Model to Vegetation Reflectance Data, Computers and Geosciences, Vol.14, No.3, S.339-356

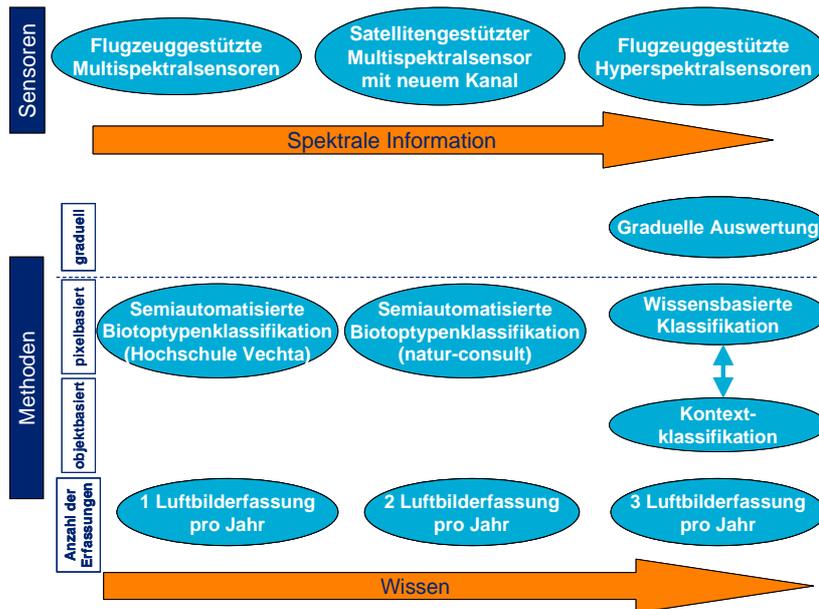


Abb. 8.: Entwicklungswege von Sensoren und Methoden in der Vegetationskunde.

GÄHLER, M., R. JANOWSKY & U. SCHRÖDER (2002): Automatisierte Biotoptypenklassifikation auf Basis höchstauflösender Flugzeugscannerdaten. In: Blaschke T. (Hrsg.) – Fernerkundung und GIS, Neue Sensoren – innovative Methoden.

FAUDE, U., M. HEUNER, E. M. BAUER, B. KLEINSCHMIT, J. SCHIEWE, U. SCHRÖDER & S. SCHMIDTLEIN (2011): Detektion von Störstellen und Neophyten im Ästuarvorland der Elbe mittels neuartiger Fernerkundungsdaten und -verfahren. In: TRAUB, K. P., KOHLUS, J. & LÜLLWITZ, T.: Geoinformationen für die Küstenzone. Band 3. Beiträge des 3. Hamburger Symposiums zur Küstenzone und Beiträge des 8. Strategie-Workshops zur Nutzung der Fernerkundung im Bereich der BfG/Wasser- und Schifffahrtsverwaltung. S. 213-224.

HARALICK, R. M., L. G. SHAPIRO (1985): Image Segmentation Techniques. Comput Vision Graph, 29, 1, 100-132.

KOCH, B., M. JOCHUM, E. IVITS & M. DEES (2003): Pixelbasierte Klassifizierung im Vergleich und zur Ergänzung zum objektbasierten Verfahren. In: Photogrammetrie Fernerkundung Geoinformation 3/2003, S. 195-204.

LEUZINGER, M. & M. J. BÖHLICH (2011): Geobasisdatenbereitstellung für die Fahrrinnenanpassung der Unter- und Außenelbe. In: Veranstaltungen 3/2011, Hrsg. Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz, Mai 2011, S. 58-69

PETERSEN, J., O. DASSAU, H.-P. DAUCK & N. JANINHOFF (2007): Erfassung der Röhrichtbestände und angrenzender ufernahe Vegetationseinheiten der Unter- und Außenelbe aus den Daten der Luftbildbefliegung 2006. Technischer Bericht im Auftrag der BfG.

ROUSE, J. W., R. H. HAAS, J. A. SCHELL & D. W. DEERING (1973): Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS (Earth Resources Technology Satellite). In: Third ERTS (Earth Resources Technology Satellite) Symposium, Greenbelt, MD, NASA (National Aeronautics and Space Administration) SP-351 I, S. 309-317.

SCHMIDTLEIN, S., P. ZIMMERMANN, R. SCHÜPFERLING, C. WEIß (2007): Mapping the floristic continuum: Ordination space position estimated from imaging spectroscopy. Journal of Vegetation Science 18, 131-140.

SCHRÖDER, U. (2005): Analysis of shift in reed habitats along the tidal river Elbe. – In: Erasmí, S., Cyffka, B. & Kappas, M. (eds.): Remote Sensing & GIS for Environmental Studies: Applications in Geography. - Göttinger Geographische Abhandlungen, Heft 113, S. 109-115. Georg-August-Universität Göttingen, Göttingen.



Kontakt:

Maike Heuner

Bundesanstalt für Gewässerkunde
Am Mainzer Tor 1
56068 Koblenz
Tel.: 0261/ 1306 5960
Fax: 0261/ 1306 5333
E-Mail: heuner@bafg.de

Jahrgang: 1980

2000 – 2006

Studium der Diplom-Geoökologie an der Technischen
Universität Karlsruhe

2006 – 2007

Wissenschaftliche Mitarbeiterin beim Institut für Wasser
und Gewässerentwicklung

seit 2007

Wissenschaftliche Angestellte der Bundesanstalt für
Gewässerkunde

Projektbearbeitung:

2007 – 2010: Mitarbeit bei der Aufstellung von Empfeh-
lungen zur nachhaltigen Entwicklung und
Stabilisierung von Uferzonen

seit 2009: Koordination der Querschnittaufgabe Fern-
erkundung im KLIWAS-Projekt Ästuar-
vegetation und Vorlandschutz (3.09) und
Bearbeitung des Schwerpunkts GIS-
gestützte Habitatmodellierung



Kontakt:

Uwe Schröder

Bundesanstalt für Gewässerkunde
Am Mainzer Tor 1
56068 Koblenz
Tel.: 0261/ 1306 5140
Fax: 0261/ 1306 5152
E-Mail: uwe.schroeder@bafg.de

Jahrgang: 1965

1985 – 1994

Studium der Geographie an der Universität Göttingen

1994 – 1996

Freiberufliche Tätigkeiten für Landschaftsplanungsbüro
Döpel in Göttingen sowie für das Geographische Institut
der Universität Göttingen

seit 1996

Wissenschaftlicher Angestellter der Bundesanstalt für
Gewässerkunde

Ausgewählte Projektbearbeitung:

1999 – 2010: Entwicklung von Bilanzierungsverfahren auf
Grundlage von digitalen Fernerkundungs-
daten zum Schutzgut Pflanzen im Rahmen
der Beweissicherung zur Anpassung der
Fahrrinne der Unter- und Außenelbe

seit 1999: Modellentwicklung und Entwicklung multi-
kriterieller Bewertungsverfahren im F+E-
Projekt „Ökologische Optimierung von Buh-
nen in der Elbe“

seit 2007: Projektleitung zur Aufstellung von Empfeh-
lungen zur nachhaltigen Entwicklung und
Stabilisierung von Uferzonen im Rahmen
von Unterhaltung und Ausbau an der Tide-
elbe

Infrastruktur eines modernen Kartenwesens in der WSV

Andreas Miggelt

1 Einleitung

Die Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV) verwaltet die Bundeswasserstraßen für den Bund und vertritt diesen als Eigentümer. Für die fachgerechte Erledigung dieser Verwaltungsaufgabe benötigt die WSV Karten und weitere Geoinformationen als Arbeitsgrundlage.

Kartenprodukte und Geoinformationen, die im Kartenwesen der WSV erfasst und von dort bereitgestellt werden, sind Geobasisdaten für die WSV.

Bedeutende Kartenprodukte sind die Digitale Bundeswasserstraßenkarte im Maßstab 1:2.000 (DBWK2) und die Inland Electronic Navigational Chart (IENC) sowie Luftbildpläne für den Maßstab 1:2.000 (s. Abb. 1 - 3).

Neben den vorgenannten Standardprodukten sind Digitale Geländemodelle (DGM) und Katasterdaten (Abb. 4) notwendige Geoinformationen für die Aufgabenerledigung in der WSV.

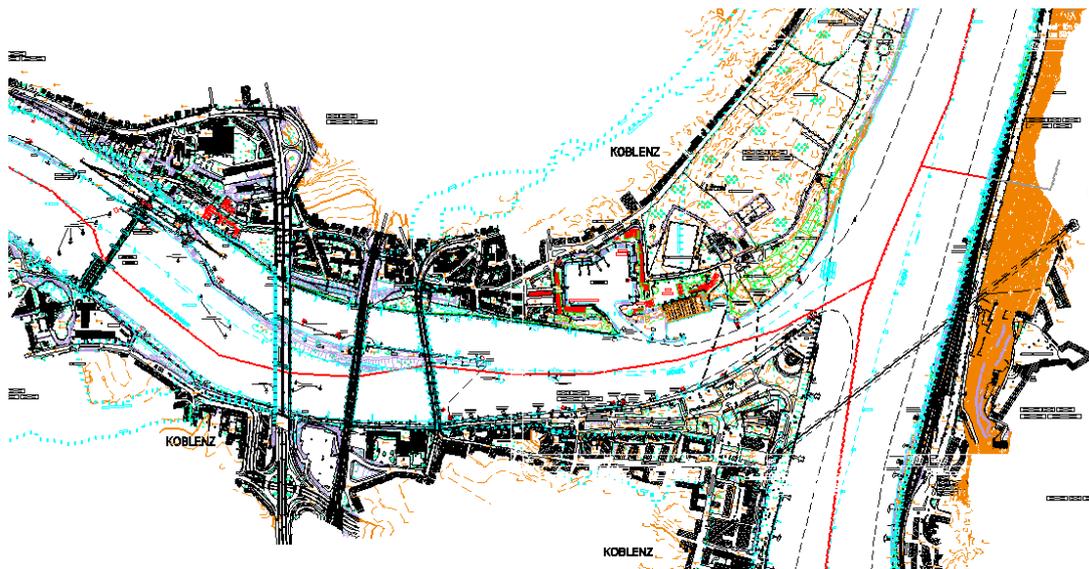


Abb. 1: DBWK2, Ausschnitt bei Rhein-km 592, Moselmündung, Koblenz



Abb. 2: IENC, Ausschnitt bei Rhein-km 592, Moselmündung, Koblenz

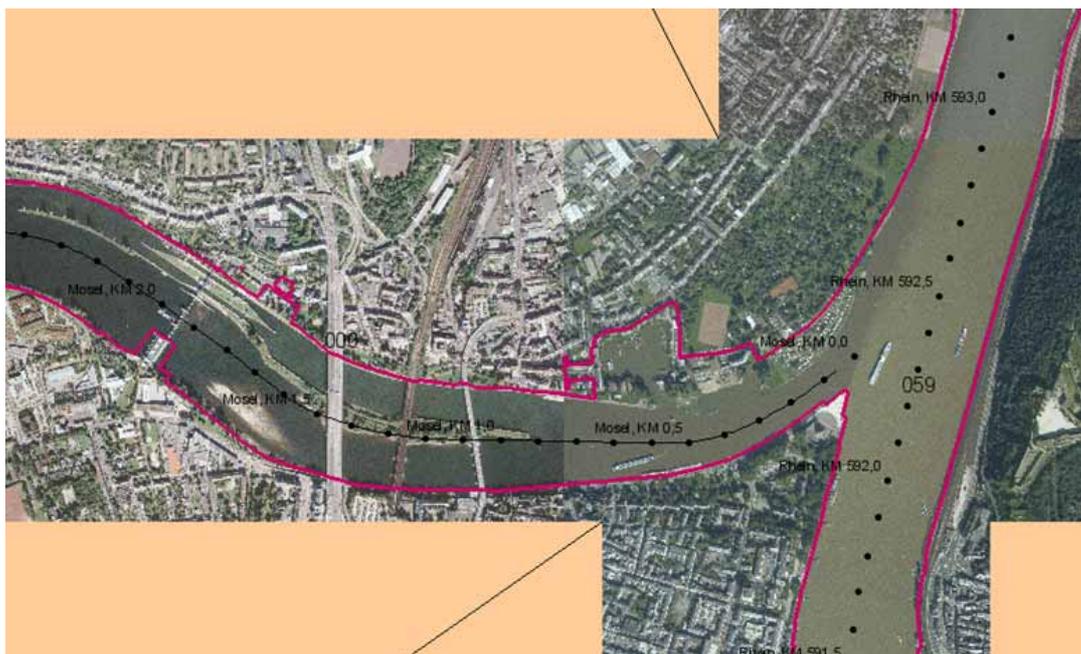


Abb. 3: Luftbildplan 1: 2.000 mit WSV-Eigentumsgrenze (rot), Ausschnitt bei Rhein-km 592, Moselmündung, Koblenz

Diese Geobasisdaten sind Ausgangsdaten für die verschiedensten Geschäftsprozesse in der WSV, z. B. für den Bau- und die Unterhaltung der Wasserstraße, die Strom- und Schifffahrtspolizei und die Liegenschaftsverwaltung. Die Daten werden hierfür analog und digital in verschiedenen Formaten bereitgestellt.

Moderne digitale Arbeitsweisen fordern zudem die Bereitstellung der Geobasisdaten in Form von Web-Services. Das GeoPortal der WSV (Intranet) ist die Nutzerplattform für derartige Dienste, über das z. B. die Dienste WMS-IENC, WMS-DBWK2 und WMS-LIS nutzbar sind.

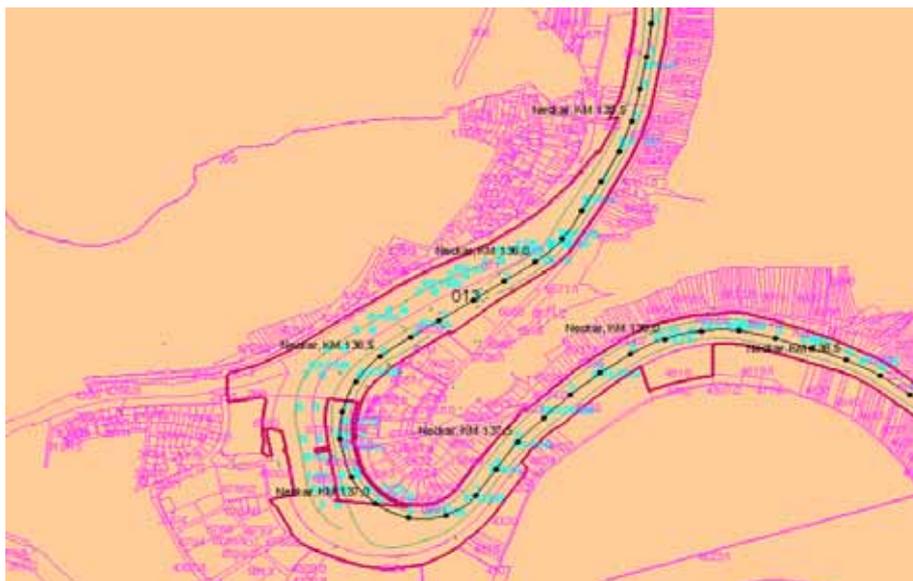


Abb. 4: Katasterdaten, Neckar-km 137, Besigheim
Geobasisdaten © Landesamt für Geoinformation und Landentwicklung
Baden-Württemberg, www.lgl-bw.de, Az.: 2851.9-5/23

Der Bedarf an Geobasisdaten (Kartenprodukte und weitere Geoinformationen) leitet sich ab aus den unterschiedlichen Anforderungen der einzelnen WSV-Fachaufgaben. Diese Anforderungen haben sich im Laufe der Zeit inhaltlich nicht wesentlich geändert.

Die technische Weiterentwicklung auf Seiten der Bedarfsträger hat aber insbesondere zu veränderten Arbeitsweisen und damit zu veränderten Anforderungen an die Produktion und Bereitstellung von Geobasisdaten geführt, z. B.:

- > bevorzugt digitale statt analoge Ausgaben (Zeichnungsdatei statt Kartendruck)
- > mehr Auswahlmöglichkeit bzgl. Karteninhalt
- > leichter Zugang zum Kartenprodukt (Web-Dienste, Bild statt Zeichnungsdatei)
- > Verfügbarkeit von Sachinformation zur Grafik, Objektorientierung
- > Geoinformationen in beliebiger Auswahl in beliebige Fachanwendungen digital einbinden können (Nutzung als Geobasisdaten)

Mit den zunehmenden technischen Möglichkeiten zur Produktion und Verbreitung von Geobasisdaten kann der fachliche Bedarf immer sachgerechter abgedeckt werden. Der Nutzer benötigt zunehmend, dass zusätzlich zu den Standardprodukten wie z. B. DBWK2 und IENC auch produkt- bzw. anwendungsneutrale Geobasisdaten bereitgestellt werden. Die bisherigen Arbeitsweisen im Kartenwesen der WSV sind hierfür entsprechend zu verändern und zu optimieren.

Für ein modernes Kartenwesen benötigt die WSV eine entsprechende Infrastruktur.

Die Geobasisdaten der WSV sind Informationen mit einem sehr hohen Anteil an WSV-spezifischen Fachinhalten, z. B. Schifffahrtszeichen in der DBWK2. Diese Fachinformationen sind für den Herstellungsprozess aus den WSV-Fachverfahren zu beziehen.

Zur Optimierung der Produktionsprozesse im Kartenwesen sind deshalb auch die Fachverfahren der WSV hinsichtlich Erfassung, Pflege und Bereitstellung der Geofachdaten zu modernisieren; deshalb wird aktuell z. B. die Einrichtung einer Schifffahrtszeichendatenbank betrieben und die Wasserstraßendatenbank (WADABA) modernisiert.

2 Infrastruktur für ein modernes Kartenwesen

Kernaufgaben im Kartenwesen der WSV sind die Erfassung, Pflege und Bereitstellung der Geobasisdaten. Eine moderne Infrastruktur soll helfen, die bekannten Produktionsprozesse zu optimieren. Die folgende Abbildung zeigt die Grobkonzeption, die im Fachkonzept GDI-Karten, Orthofotos aktuell entworfen worden ist.

GDI-Karten, Orthofotos – Systemübersicht

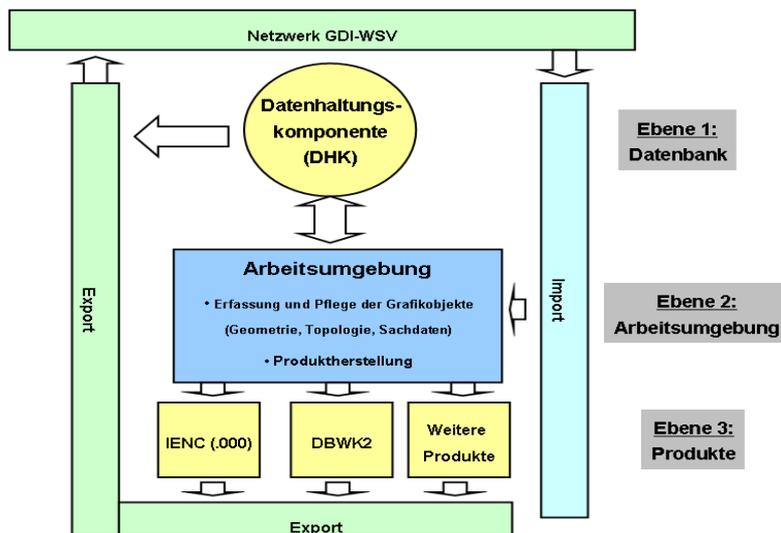


Abb. 5: GDI-Karten, Orthofotos – Systemübersicht, Auszug aus WSV 2011 (Abb. 3)

Die künftige Arbeitsweise zur Kartenherstellung wird modular aufgebaut und dafür in 3 Ebenen gegliedert. Die 3 Ebenen sind der Kernbestand der GDI-Karten, Orthofotos. Sie sind intern und extern vernetzt (Geodateninfrastruktur - GDI).

- > Die Ebene 1 besteht aus der zentralen Datenhaltungskomponente. Hierin werden alle Grafikobjekte gespeichert, die zur Herstellung sämtlicher Produkte im Bereich Karten, Orthofotos benötigt werden. Diese Daten werden ständig aktuell gehalten. Schreib- und Lesezugriff wird eingerichtet für Beschäftigte aus Ebene 2. Ein Lesezugriff für Beschäftigte der WSV innerhalb der GDI-WSV wird eingerichtet.
- > Die Ebene 2 ist die Arbeitsumgebung bzw. der grafische Arbeitsplatz, an dem die Erfassung und Pflege der Grafikobjekte einschließlich Qualitätssicherung erfolgt. Weiterhin erfolgt hier die Herstellung der Produkte. Erforderliche Geoinformationen für die Herstellung der Produkte im Bereich Karten, Orthofotos sind von Ebene 2 – soweit in der WSV vorhanden – über die GDI-WSV zusammengetragen. Je mehr Fachverfahren der WSV ihre Fachinformation digital über die GDI-WSV zugänglich machen desto schneller, kostengünstiger und aktueller kann die Herstellung der Kartenprodukte erfolgen.
- > Die Ebene 3 ist die Produktebene. Hier werden die hergestellten Produkte archiviert und für den Vertrieb sowie Zugriff über die GDI-WSV bereitgestellt.

2.1 Erfassung von Geobasisdaten

Unter Erfassung von Geobasisdaten wird hier verstanden

- > die Datenerhebung (z. B. Luftbildbefliegung)
- > die anschließende Datenverarbeitung (z. B. Luftbilddauswertung)
- > die abschließende Herstellung von Standardprodukten wie z. B. die DBWK2
- > die fortlaufende Aktualisierung/Pflege der Geobasisdaten

Im Ergebnis liegen dann Geobasisdaten in Form von Standardprodukten oder als Datensätze in einem Standardformat vor, die zur vielfältigen Weiterverwendung genutzt werden können.

Workflow bisher:

Luftbildbefliegung → Luftbilddauswertung → Fachdatenerhebung → Datenverarbeitung/
Kartografie → Produkte (DBWK2, IENC)

Die flächenhafte Erfassung von Geodaten im Kartenwesen erfolgt früher wie heute überwiegend durch Luftbildbefliegung und Luftbilddauswertung. Die Vorgaben für Befliegung und Luftbilddauswertung resultierten früher allein aus den produktspezifischen Vorgaben für ein Produkt, z. B. die DBWK2. Die Herstellung von Kartenprodukten, speziell der DBWK2, erfolgte durch Weiterverarbeitung der erfassten Geodaten (Ergebnisse der Luftbilddauswertung) sowie der Erhebung und Einarbeitung von Fachinformationen aus der WSV nach den produktspezifischen Vorgaben (DBWK2 Musterblatt und Datenmodell).

Workflow künftig:

Luftbildbefliegung → Luftbilddauswertung → Fachdatenerhebung → Datenverarbeitung/
Kartografie (Objektbildung, Topologie) → DHK-Datenbestand (Vektorgrafik-Objekte mit Sachinformationen) → Konverterprozess → Produkte

Die frühere Arbeitsweise – für jedes Produkt gesondert Daten zu erheben und aufzubereiten – soll künftig abgelöst werden durch eine möglichst produktneutrale/anwendungsneutrale Erfassung und Auswertung. Schon heute fließen in die Befliegung und Luftbilddauswertung Vorgaben von weiteren Produkten ein, z. B. für Digitale Geländemodelle (DGM). Damit wird die Datenerfassung für eine Mehrzweck-Verwertung ausgelegt.

Geobasisdaten – Vektorgrafik-Objekte

Erstes Arbeitsergebnis sind Vektorgrafik-Objekte mit Sachinformationen. Sie sollen in der DHK (Datenhaltungskomponente) als produktneutraler/anwendungsneutraler Geobasisdatenbestand bereitgestellt werden, der Datenbestand ist für sich genommen bereits ein Produkt. Die Daten decken den aus der gesamten Produktpalette (DBWK2, IENC ...) resultierenden höchst gestellten Bedarf ab (Auflösung, Genauigkeit, Datenformat, Informationsgehalt ...) und sind deshalb die Basisdaten. Hieraus ergibt sich die Produkt- und Anwendungsneutralität.

Geobasisdaten – Standardprodukte

Bei der Herstellung der weiteren einzelnen (Karten-)Produkte wird auf die qualitätsgesicherten Geobasisdaten der DHK zugegriffen. Der Herstellungsprozess soll möglichst automatisch ablaufen. Beispielsweise für die IENC ist dies in der WSV in unterschiedlicher Ausprägung realisiert (Konverterlösung). Die Standardprodukte wie z. B. DBWK2 und IENC bilden neben dem Bestand an Vektorgrafik-Objekten die zweite Säule der Geobasisdaten für die WSV.

Pflege und Fortführung von Geobasisdaten

Hier wiederholen sich die Arbeitsschritte aus der Erfassung und Herstellung. Zunächst aber ist es wichtig, die notwendigen Meldungen über den entstandenen Fortführungsbedarf zu erhalten (Kartenmeldedienst). Der bisher eingeführte Kartenmeldedienst ist zu modernisieren, das Mitteilen von Informationen muss einfacher werden. Der Wikipedia-Gedanke soll ein Stück weit umgesetzt werden, d. h. Nutzer sollen unmittelbar bei Benutzung der Daten erkannte Mängel leichter mitteilen können (e-mail-Meldeformular aus dem Viewer heraus starten) und leichter ein Feedback nach Bearbeitung erhalten können (vgl. Abb. 6).

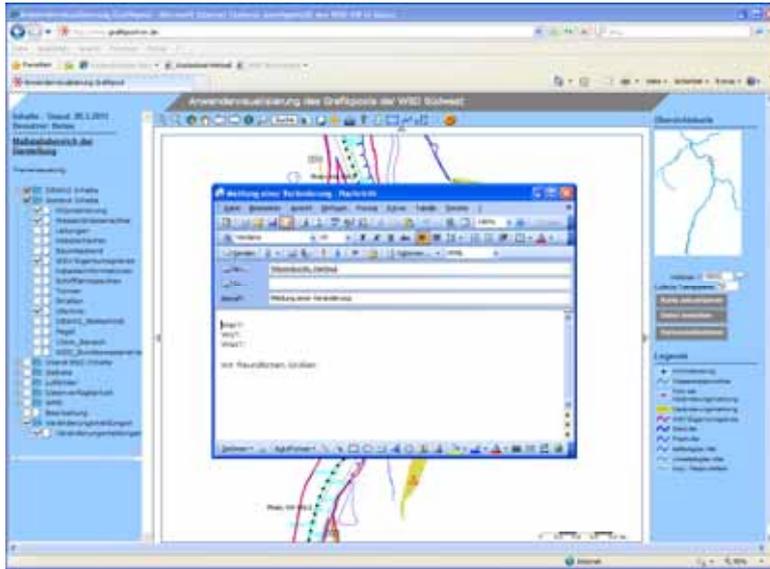


Abb. 6: Grafikpool der WSD Südwest, Veränderungsmeldungen, Meldeformular

2.2 Bereitstellung von Geobasisdaten

Unter Bereitstellung werden im Folgenden die Tätigkeiten und technischen Einrichtungen verstanden, damit der Bedarfsträger über die Geobasisdaten entsprechend seinem Bedarf verfügen kann.

Früher wurden Kartenprodukte wie die DBWK2 als Plots gefertigt und in einer begrenzten Auflage von den Kartenstellen für den Dienstbetrieb bereitgestellt. Die digitalen Datenfiles der DBWK2 wurden nur den speziell ausgestatteten CAD-Bearbeitern der einzelnen Fachbereiche für die weitere digitale Verarbeitung zur Verfügung gestellt. Die digitale Nutzung war also wegen der technischen Möglichkeiten auf einen kleinen Personenkreis begrenzt.

Bedarfsträger

Heute gilt es zunächst die verschiedenen Bedarfsträger eingehender zu betrachten. Die Bedarfsträger lassen sich z. B. einteilen in

- > Informationsnutzer
- > Datenveredler/ Weiterverarbeiter (Fachwender WSV und Dritte)
- > Geobasisdaten-Produzenten (Kartenstellen, WSÄ)

Die Informationsnutzer stellen den größten Nutzerkreis dar. Deren Ziel ist es, schnell eine bestimmte Information einzusehen und ggf. einen einfachen Datenauszug (Ausdruck in DIN A4, pdf) zu erhalten.

Die Geobasisdaten-Produzenten stellen den kleinsten Nutzerkreis dar, es sind die Fachanwender aus den Kartenstellen und den WSÄ, die für die Produktion und Pflege der Geobasisdaten auf den vorhandenen Bestand umfassend zugreifen müssen.

Die Fachanwender der WSV sowie externe Dritte sind Datenveredler. Sie verarbeiten die Geobasisdaten innerhalb ihrer Fachanwendungen weiter und stellen damit fachspezifische Produkte her. Im Gegensatz zu den Informationsnutzern hat dieser Kreis deutlich höhere Anforderungen an die Datenbereitstellung.

Anforderungen an die Bereitstellung

Aufgrund der technischen Weiterentwicklung können Kartenprodukte heute allen Bediensteten in digitaler Form zugänglich gemacht werden. Je nach technischer Ausstattung und Funktion der Arbeitsplätze gibt es nur noch Unterschiede bei den Nutzungsmöglichkeiten (Datenformat, Zugriffsrechte ...).

Hieraus resultieren unterschiedliche Anforderungen an die Bereitstellung der Geobasisdaten z. B. hinsichtlich

- > Schnittstellen, Datenformat
- > Umfang und Inhalt der Produkte
- > Detaillierungsgrad / Maßstab
- > Genauigkeit

Zudem will der Nutzer selber Inhalte auswählen und zusammenstellen können.

Formen der Bereitstellung

Dies führt zu verschiedenen Formen der Bereitstellung von Geobasisdaten, z. B.

- > über das GeoPortal der WSV – indirekter Zugriff auf die DHK
- > als Web-Services (IENC, DBWK2, ...)
- > als 2D-Karten (IENC im S57-Format, DBWK2 als dgn-file, ...)
- > als 3D-Produkt (DGM, Projektionen, ...)
- > über den unmittelbaren Viewer zur DHK
- > ...

Ziel wird es sein, wenige Standardprodukte bereitzustellen sowie daneben den Zugriff auf den gesamten Geobasisdatenbestand mit entsprechenden Auswahl- und Recherchemöglichkeiten zu realisieren.

Grafikpool der WSD Südwest

Ein Beispiel für eine moderne Form der Bereitstellung von Geobasisdaten für Informationsnutzer und Geodaten-Produzenten ist der Grafikpool der WSD Südwest. Mit einem Viewer können festgelegte Inhalte der DHK betrachtet werden.

Der Grafikpool entspricht dem Systemschema des Fachkonzepts GDI-Karten, Orthofotos, vgl. Abb. 5 (WSV 2011). Er macht die produkt- und anwendungsneutrale Herstellung der Geobasisdaten möglich. Er entstand primär aus dem ständigen Bedarf nach Optimierung der Arbeit in der Kartenstelle sowie dem Bedarf nach verbesserter Kommunikation und Einbindung aller Beteiligten in die Produktionsprozesse (Kartenstelle, WSÄ, Auftragnehmer). Beispielsweise sollen aktuelle Fortführungsarbeiten aufgrund vorliegender Veränderungsmeldungen für die Beteiligten leicht einsehbar sein (vgl. Abb. 7).

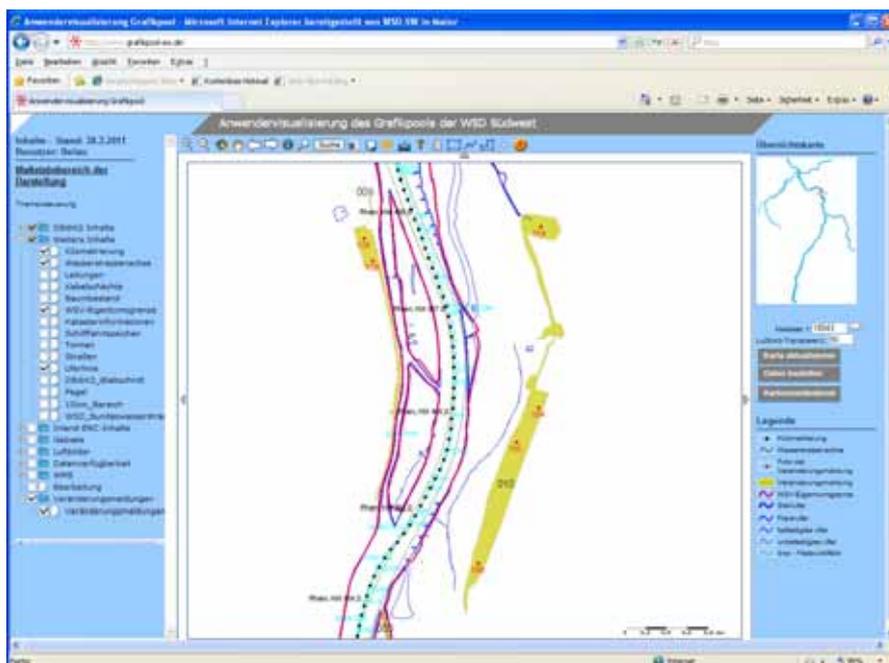


Abb. 7: Grafikpool der WSD Südwest, Viewer, Veränderungsmeldung im Bereich Rhein-km 486, Nackenheim, Dammbaustelle (ockerfarben)

Die im Grafikpool enthaltenen Ansätze sollen über das Fachkonzept GDI-Karten, Orthofotos (WSV 2011) WSV-weit Berücksichtigung finden, die Datenbereitstellung soll in das GeoPortal einfließen. So wird derzeit z. B. die Bereitstellung von Katasterinformationen für die WSV in Form von Web-Services durch die WSD Südwest/Kartenstelle in Abstimmung mit den LIS-Verfahrensbetreuern und dem DLZ-IT BMVBS pilothaft aufbereitet (vgl. Abb. 4).

3 Zusammenfassung und Ausblick

Die im Kartenwesen erzeugten Geobasisdaten sind die Datengrundlage für den Aufbau der Geodateninfrastruktur der WSV (GDI-WSV). Um die hiermit verbundenen neuen fachlichen und technischen Anforderungen erfüllen zu können, wird derzeit ein Konzept zur Modernisierung des Kartenwesens für die WSV aufgestellt. Das Konzept hat die Zielsetzung, für das Kartenwesen der WSV eine moderne und auf den künftigen Bedarf hin optimierte Infrastruktur zu erhalten (GDI-Karten, Orthofotos).

Hierüber hinaus ist es unbedingt erforderlich, die Bereitstellung von Fachdaten der verschiedenen WSV-Fachverfahren zu optimieren. Die aktuellen Aktivitäten z. B. für die WADABA und die Schifffahrtszeichendatenbank sind hierzu ein wesentlicher Beitrag.

Neben dem Aufbau einer modernen Infrastruktur sind die Standardprodukte weiterzuentwickeln. Hierzu gehört es auch, dem immer stärker werdenden Bedarf nach 3-dimensionalen Daten abzudecken. So lassen sich z. B. eindrucksvolle und für den Nutzer leicht verständliche 3D-Projektionen von Standardprodukten wie DBWK2, IENC oder Luftbildern herstellen (projektive Verzerrung durch DGM-Informationen).

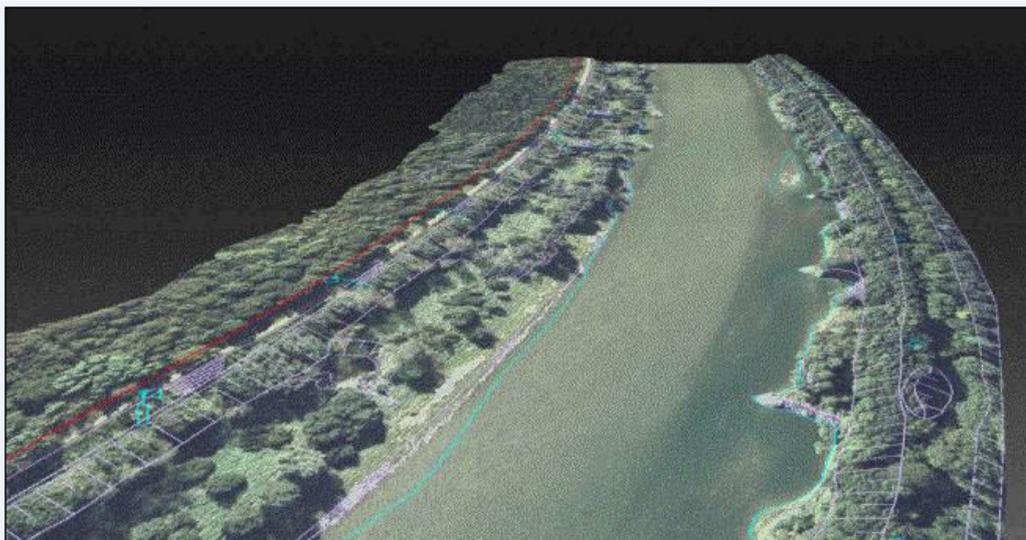


Abb. 8: Rhein im Bereich WSA Freiburg, Luftbildplan mit Fachinhalten, projektive Verzerrung durch DGM-Informationen, 3D-Filmausschnitt

Die dafür erforderlichen Daten werden in den bisherigen Prozessen ohnehin erhoben, eine Veredelung der Standardprodukte ist also mit wenig Aufwand möglich. Eine Veränderung der Produktkonfektionierung, z. B. von der blattweisen Aufteilung hin zu streifenförmigen Filmsequenzen eröffnet neue Anwendungsmöglichkeiten insbesondere für Informationsnutzer (Öffentlichkeitsarbeit, Planfeststellungsverfahren, Streckenatlas) (vgl. Abb. 8).

Literatur

WSV - WASSER- UND SCHIFFFAHRTSVERWALTUNG DES BUNDES (2011): Fachkonzept zur Geodateninfrastruktur für das Kartenwesen der WSV – GDI-Karten, Orthophotos – und den Objektartenkatalog (VKLP-OK) für die GDI-VKLP – erste Realisierungsstufe, Version 1.0, Stand 01.03.2011 (unveröff.)



Kontakt:

Andreas Miggelt

Wasser- und Schifffahrtsdirektion
Südwest, Mainz

Dezernat Regionales Management
Brucknerstr. 2

55127 Mainz

Tel.: 06131/ 979 481

Fax: 06131/ 979 155

E-Mail: andreas.miggelt@wsv.bund.de

1986 – 1992

Studium der Geodäsie an der Universität Bonn

1992 – 1994

Referendariat beim Land Nordrhein-Westfalen

Seit 1994:

Wasser- und Schifffahrtsverwaltung

1994 – 2000: WSA Lauenburg; Aufgaben aus den
Bereichen Vermessung, Karten, Lie-
genschaften, Peilen für Unterhaltung
und Neubau

2000 – 2004: WNA Aschaffenburg; Aufgaben aus
den Bereichen Vermessung, Karten,
Liegenschaften, Peilen für den Neu-
bau

seit 2004 : WSD Südwest, Mainz; Aufgaben aus
den Bereichen Vermessung, Karten,
Liegenschaften, Peilen für Unterhal-
tung und Neubau;
Leitung der Arbeitsgruppe „Fach-
konzept GDI-Karten, Orthofotos“

Abkürzungen

ADS	Arirborne Digital Sensor
ADV	Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland
AG	Auftraggeber
ALS	Airborne Laserscanning
AMW	Ausbaumittelwasserstand
AN	Auftragnehmer
ATKIS	Amtliches Topografisch-Kartografisches Informationssystem
AU	Ausführungsunterlagen
BAW	Bundesanstalt für Wasserbau
BAW-DH	Bundesanstalt für Wasserbau, Dienststelle Hamburg
BfG	Bundesanstalt für Gewässerkunde
BKG	Bundesamt für Kartographie und Geodäsie
BMVBS	Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung
BSH	Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie
BWaStr	Bundeswasserstraßen
CAD	Computer Aided Design
CCD	charge-coupled device
CIR	Color-Infrarot
DBWK2	Digitale Bundeswasserstraßenkarte 1:2000
DBWK-A	Fläche außerhalb der DBWK2 bis zur HQ _{100/200} -Linie
DGM	Digitales Geländemodell
DGM-S	Digitales Geländemodell der Sohle
DGM-W	Digitales Geländemodell des Wasserlaufes
DGN	Dateiformat DesiGN
DGPS	Differential Global Positioning System
DHK	Datenhaltungskomponente
DLR	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
DLZ-IT BMVBS	Dienstleistungszentrum Informationstechnik im Geschäftsbereich des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung
DMC	Digital Modular Camera
DOM	Digitales Oberflächenmodell
DOP	Digitales Orthofoto
ENC	Electronic Navigational Chart
ERS	European Remote Sensing Satellite
ESA	European Space Agency
ETRS89	Europäisches Terrestrisches Referenzsystem 1989
FFH-RL	Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie
GDI	Geodateninfrastruktur
GEOBAS	Geodätische Basisdatenbank
GIS	Geografisches Informationssystem
GK2	Gauß-Krüger-Koordinatensystem
GLAS	Geoscience Laser Altimeter System
GIW	Gleichwertiger Wasserstand
GPS	Global Positioning System
GRASS	Geographic Resources Analysis Support System
GRS80	Geodätisches Referenzsystem 1980
GSD	Ground Sampling Distance
HPA	Hamburg Port Authority
HPP	Höhenpasspunkte
HRSC	High Resolution Stereo Camera
HU	Haushaltunterlagen
HyDAP	Hydrographische Datenauswertung und Präsentation

IENC	Inland Electronic Navigational Chart
INS	Inertial Navigation System
IPI	Institut für Photogrammetrie und GeoInformation
LADS	Laser Airborne Depth Sounder
LIDAR	Light detection and ranging
LIS	Liegenschaftsinformationssystem (der WSV)
LPP	Lagepasspunkte
LVIS	Laser Vegetation Imaging Sensor
MIR	mittleres Infrarot
MW	Mittelwasser
MS	multispektral
MSRF	Modells Multiscale Random Field
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
NHN	Normalhöhennull
NIR	nahes Infrarot
NW	Niedrigwasser
PAN	panchromatisch
PAUSS	Peilauswertesoftware
QS	Qualitätssicherung
RADAR	Radio Aircraft Detection and Ranging
RGB	Rot, Grün, Blau
RPC	Rational Polynomial Coefficients
SAR	Synthetic Aperture Radar
SHOALS	Scanning Hydrographic Operational Airborne Lidar Survey System
SCOP	Stuttgart Contur Program
SMAP	Sequential Maximum a Posteriori
SNR	Signal-Rausch-Verhältnis, auch Signal-Rausch-Abstand
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission
TIN	Triangulated Irregular Network
TNW	Tideniedrigwasser
UTM	Universal Transverse Mercator
UVU	Umweltverträglichkeitsuntersuchung
VgV	Vergabeverordnung
VKLP	Vermessung, Kartenwesen, Liegenschaften und Peilwesen
VOF	Vergabeordnung für freiberufliche Leistungen
VPP	Vollpasspunkte
WADABA	Wasserstraßendatenbank
WGS84	World Geodetic System 1984
WLG	Wasser-Land-Grenze
WMS	Web Map Service
WRRL	Wasserrahmenrichtlinie
WSA	Wasser- und Schifffahrtsamt
WSÄ	Wasser- und Schifffahrtsämter
WSV	Wasser- und Schifffahrtsverwaltung
WWZ	Wasserwechselzone

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

- 1/2005 Praxisorientierte und vielseitig nutzbare Fernerkundungseinsätze an der Elbe
- 2/2005 Die Bedeutung von Baggergutrichtlinien für das Sedimentmanagement in Flussgebieten und für den Meeresschutz
- 3/2005 Anwendungen der weltweiten Sammlung von Abflussdaten des Global Runoff Data Centre (GRDC)
- 4/2005 Feststoffhaushalt und Sedimentbewirtschaftung – anthropogene Steuerung natürlicher Prozesse
- 5/2005 Erfahrungen zur Niedrigwasserbewirtschaftung

- 1/2006 Gewässerkundliche Untersuchungen für verkehrliche und wasserwirtschaftliche Planungen an Bundeswasserstraßen
- 2/2006 Wasserstands- und Abflussvorhersagen im Elbegebiet
- 3/2006 Niederschlag-Abfluss-Modellierung zur Verlängerung des Vorhersagezeitraumes operationeller Wasserstands- und Abflussvorhersagen
- 4/2006 Radiologische Untersuchungen an Bundeswasserstraßen als Teil der radiologischen Umweltüberwachung
- 5/2006 Messkonzepte und Modellierung in der Gewässermorphologie

- 1/2007 Höhenmessungen mit GPS – Status quo und Entwicklungstendenzen
- 2/2007 Röhricht an Bundeswasserstraßen (im norddeutschen Raum)

- 1/2008 Neue Wege der Schadstoffbekämpfung
- 2/2008 Ultraschall in der Hydrometrie: neue Technik – neuer Nutzen?
- 3/2008 Effektive und qualitätsgesicherte Abwicklung von Sediment-/Baggergutuntersuchungen in der WSV
- 4/2008 Saisonale Vorhersagesysteme in Meteorologie und Hydrologie
- 5/2008 Umweltaspekte des Einsatzes von industriell hergestellten Wasserbausteinen in Bundeswasserstraßen
- 6/2008 Wasserbewirtschaftung und Niedrigwasser

- 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