

# HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

---

Conference Paper, Published Version

**Leuzinger, Martin; Boehlich, Marcus J.**

## **Geobasisdatenbereitstellung für die Fahrrinnenanpassung der Unter- und Außenelbe**

BfG-Veranstaltungen

---

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/100809>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Leuzinger, Martin; Boehlich, Marcus J. (2011): Geobasisdatenbereitstellung für die Fahrrinnenanpassung der Unter- und Außenelbe. In: Zeitgemäße Erfassung und Bereitstellung von Geobasisdaten für die WSV. BfG-Veranstaltungen 3/2011. Koblenz: Bundesanstalt für Gewässerkunde. S. 58-69.

### **Standardnutzungsbedingungen/Terms of Use:**

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

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



# 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 Umweltrisiken 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 km<sup>2</sup> 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

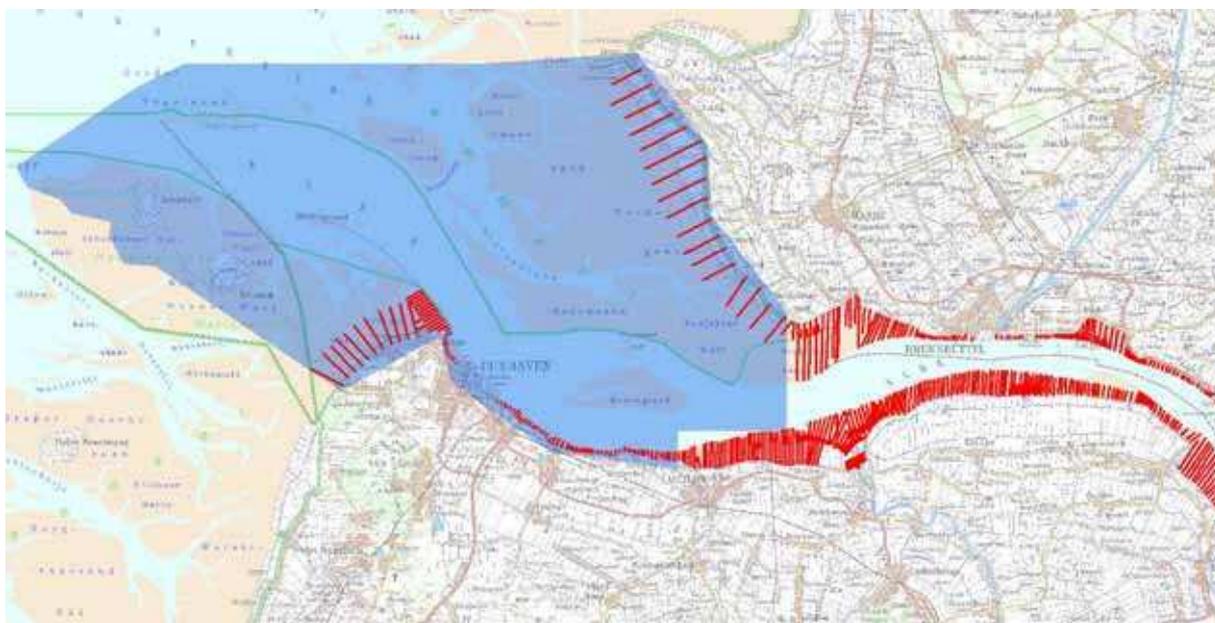
## **2.1 Beweissicherung der Topografie zum Ausbaurverfahren 1999/2000**

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 km<sup>2</sup> 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](http://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

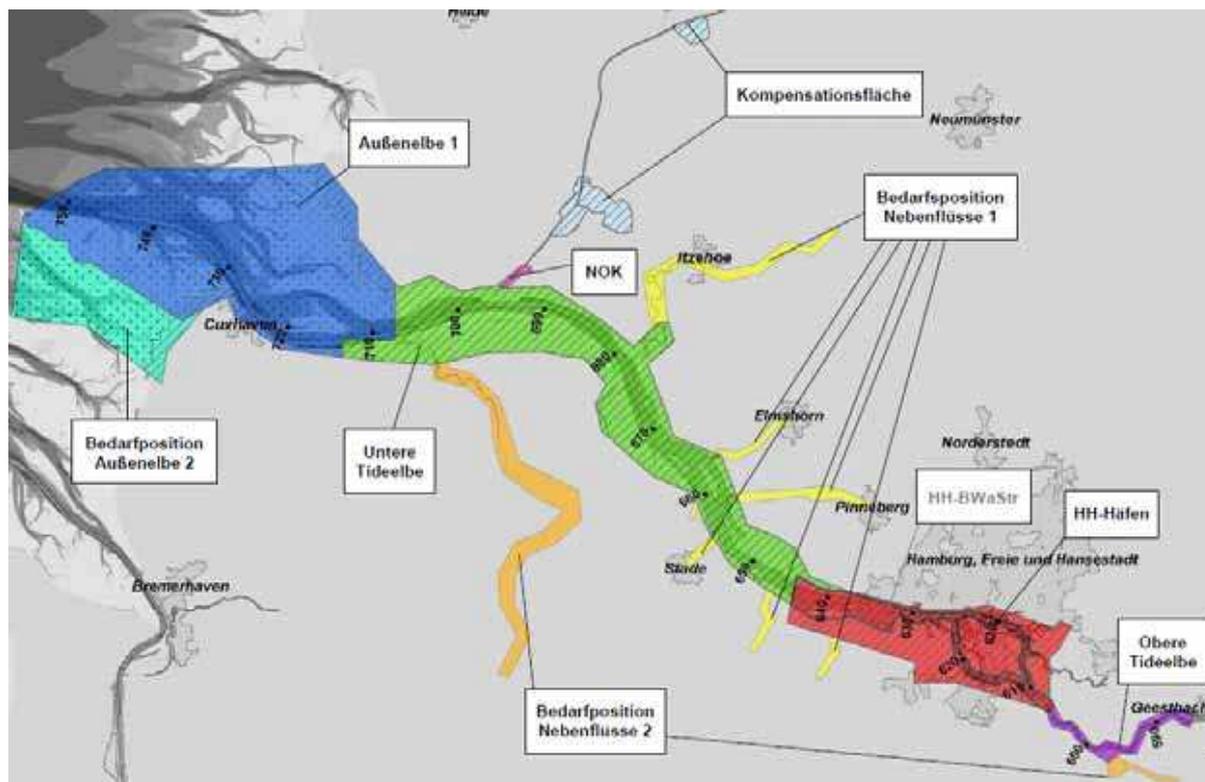
Aufgrund der gestiegenen planerischen Anforderungen, insbesondere vor dem Hintergrund der Flora-Fauna-Habitat-Richtlinie, sprach daher vieles dafür, zur Vorbereitung und Ausführung der neuen Fahrrinnenanpassung eine aktuelle Topografie soweit möglich im LIDAR-Verfahren kombiniert mit multispektralen 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 Bedarfpositionen 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 <sup>2</sup> in Gelände und Röhrichtbereichen, 1 Punkt/m <sup>2</sup> 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.

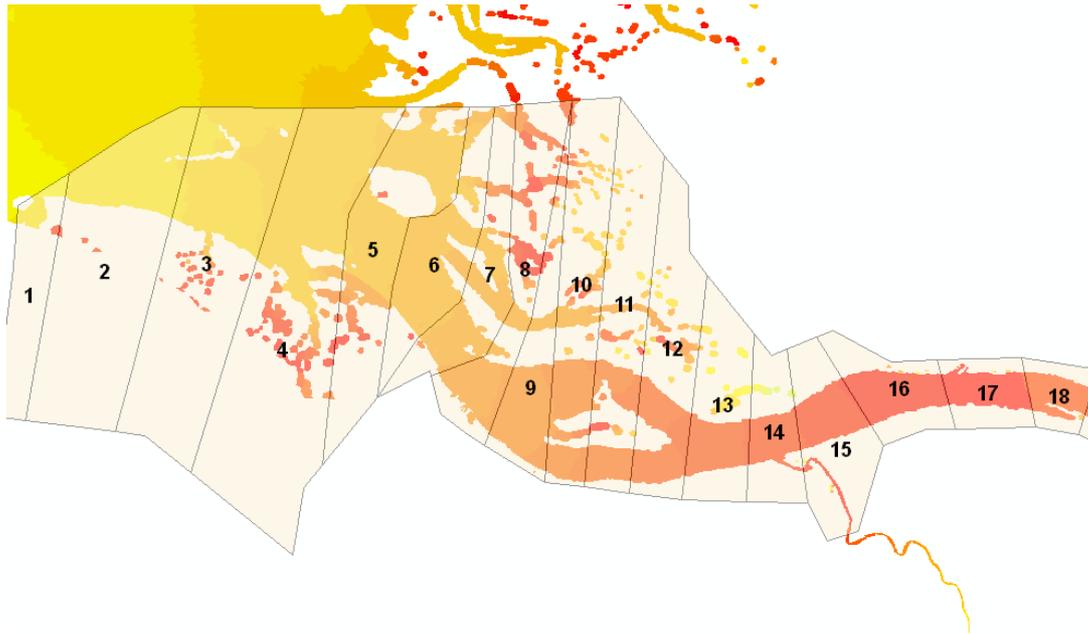
Nach Kostenschätzung und Klärung der finanziellen Aufteilung wurde die europaweit ausgeschriebene Vergabe nach den Regularien der VOF im November 2009 veröffentlicht. Am Jahresende 2009 konnte die Firma Hansa-Luftbild mit dem Subunternehmen TopScan mit den Arbeiten beauftragt werden. Der Abschluss des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

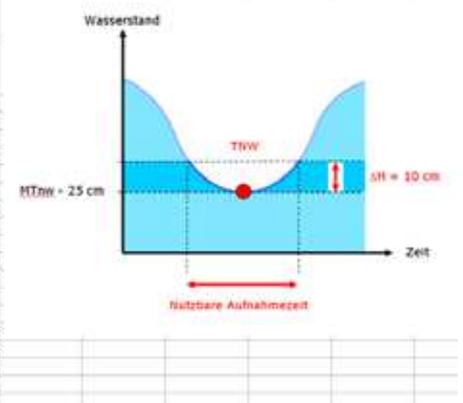
Da der Auftragnehmer für die Flüge ein Flugzeug anstelle eines Helikopters einplante, musste ein Kompromiss zwischen dem Wunsch der Projektgruppe nach einer Streifenlage quer zum Gewässerverlauf (entsprechend dem Tidefortschritt) und dem Wunsch des AN für eine wirtschaftliche Aufnahme in langen Flugstreifen 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)

Befliegungs- 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 Gesamtbefliegungs- dauer des Polygons.	Datum/Uhrzeit des TNW Cuxhaven bei GÜ 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	-50	-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	-15	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	84	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 Senkrechtaufnahmen 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.

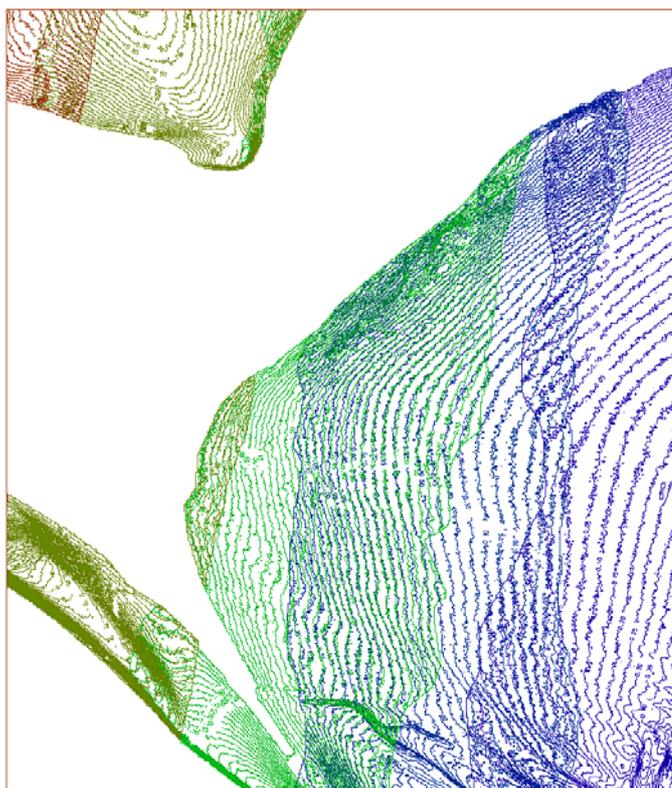
Das Testgebiet liegt im Dithmarscher Watt, im Bereich des Hakensandes und wird vom Priel Trischenflinge durchquert. Das Testgebiet wurde durch 5 Flugstreifen überdeckt. Im ersten Schritt wurden die Last-Pulse LIDAR-Daten für das Testgebiet aussortiert und auf Ausreißer überprüft. Dabei wurde festgestellt, 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  $\pm 10$  cm, wobei die Verteilung der Differenzen der Peilungen symmetrisch um den Wert Null ist. Davon war die Wiederholgenauigkeit bei 75 % der Daten besser als  $\pm 4$  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](http://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