

---

## **Systemverständnis Nebelben**

Erweiterung des Systemverständnisses im Bereich der Nebelben als  
Beitrag für die Verbesserung des Verständnisses im Gesamtsystem  
Tideelbe

---

**STATUSBERICHT ERSTES PROJEKTJAHR**

Hamburg, 22.06.2020

---

## **Systemverständnis Nebelben**

Erweiterung des Systemverständnisses im Bereich der Nebelben als  
Beitrag für die Verbesserung des Verständnisses im Gesamtsystem  
Tideelbe

---

**PROJEKTBERICHT 1**

**BERICHTSZEITRAUM 04/2019 – 03/2020**

Auftraggeber: **Wasserstraßen- und Schifffahrtsamt Hamburg**  
Moorweidenstraße 14  
20148 Hamburg

Projektleitung: Prof. Dr.-Ing. Peter Fröhle  
Dr.-Ing. Edgar Nehlsen

Projektbearbeitung: M.Sc. Roland Hesse

**Technische Universität Hamburg**  
Institut für Wasserbau  
Denickestraße 22  
D 21073 Hamburg

## Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	5
2	Zielsetzung und Konzeption	6
2.1	Teilziel 1: Verbesserte Einschätzung der Ungenauigkeiten bzw. Unsicherheiten bei der Beurteilung der morphologischen Entwicklung von Nebelben auf der Grundlage von bestehenden Daten (AP 1)	7
2.2	Teilziel 2: Detaillierte Beschreibung der Morphologie sowie der morphologischen Entwicklung ausgewählter Nebelben auf der Grundlage von neu erhobenen Daten mit bestmöglicher Datenqualität (AP 2)	11
2.3	Teilziel 3: Numerische Modelluntersuchungen zur Verbesserung des Verständnisses von hydrodynamischen und morphologischen Prozessen und deren Veränderungen infolge wasserbaulicher Maßnahmen (AP 3 und AP4)	15
3	Untersuchungsgebiet Nebelben	19
3.1	Hahnöfer Nebelbe	20
3.2	Lühesander Süderelbe	21
3.3	Haseldorfer Binnenelbe	22
3.4	Pagensander Nebelbe	22
3.5	Schwarztonnensander Nebelbe	23
3.6	Glückstädter Nebelbe	24
3.7	Wischhafener Fahrwasser	24
4	Stand der Arbeiten nach dem ersten Projektjahr	26
4.1	AP 1 Grundlagen und Konzeption	28
4.1.1	AP 1.1 Konzeption	28
4.1.2	AP 1.2 Stand des Wissens und Bestandsdaten	28
4.1.3	AP 1.3 Datenqualität	42
4.2	AP 2 Messkonzept und Durchführung der Messungen	49
4.2.1	AP 2.1 Messkonzept	49
4.2.2	AP 2.2 Fächerecholotpeilungen	49
4.2.3	AP 2.3 Datenauswertung und -Analyse	53
4.3	AP 3 Modellaufbau und Modellierung Pagensander Nebelbe	60
4	Ausblick auf geplante Arbeiten im zweiten Projektjahr	61

4.4	AP 1.3 Datenqualität	61
4.5	AP 2.1 Messkonzept	61
4.6	AP 2.2. Fächerecholotpeilungen	62
4.7	AP 2.3 Datenauswertung und -Analyse	63
6	Zusammenfassung	64
	Literaturverzeichnis	67
	Abbildungsverzeichnis	70
	Tabellenverzeichnis	73
	Anhang	74
	A Veranstaltungen und Termine	74
	B Erste Ergebnisse der Auswertung der bathymetrischen Daten	75

**Zitiervorschlag:**

Nehlsen, E.; Hesse, R.; Varela, D.M.V; Fröhle, P. (2020): Systemverständnis Nebelnelben - Erweiterung des Systemverständnisses im Bereich der Nebelnelben als Beitrag für die Verbesserung des Verständnisses im Gesamtsystem Tideelbe. Jahresbericht Nr. 1. Technische Universität Hamburg - Institut für Wasserbau. Hamburg.

## 1 Einleitung

Das Institut für Wasserbau (IWB) der Technischen Universität Hamburg (TUHH) führt im Rahmen der Kooperation mit dem Wasserstraßen- und Schifffahrtsamt Hamburg (WSA HH) seit dem 15.04.2019 das Forschungsvorhaben „Erweiterung des Systemverständnisses im Bereich der Nebelben als Beitrag für die Verbesserung des Verständnisses im Gesamtsystem Tideelbe“ (kurz: Systemverständnis Nebelben) durch. Die Grundlage für die Kooperation bildet der Kooperationsvertrag vom 15.04.2019, die gesamte Projektlaufzeit beträgt vier Jahre. Ziel des Vorhabens ist es, die hydrodynamischen und morphologischen Prozesse in den Nebelben-Systemen besser zu verstehen und damit einen Beitrag zur Verbesserung des Verständnisses des Gesamtsystems Tideelbe zu leisten. Das im Vorhaben betrachtete Untersuchungsgebiet erstreckt sich von Elbe-Km 632 bis Elbe km-683. Im Untersuchungsgebiet befinden sich die Hahnöfer Nebelbe, die Lühesander Süderelbe, die Haseldorfer Binnenelbe, die Pagensander Nebelbe, die Schwarztonnensander Nebelbe, die Glückstädter Nebelbe und das Wischhafener Fahrwasser. Im Vorhaben wurden drei Teilziele definiert:

- 1 Verbesserte Einschätzung der Ungenauigkeiten bzw. Unsicherheiten bei der Beurteilung der morphologischen Entwicklung von Nebelben auf der Grundlage von bestehenden Daten
- 2 Detaillierte Beschreibung der Morphologie sowie der morphologischen Entwicklung ausgewählter Nebelben auf der Grundlage von neu erhobenen Daten mit bestmöglicher Datenqualität
- 3 Numerischen Modelluntersuchungen zur Verbesserung des Verständnisses von hydrodynamischen und morphologischen Prozessen und deren Veränderungen infolge wasserbaulicher Maßnahmen

Diese sind im Wesentlichen den Arbeitspaketen AP1 (Grundlagen und Konzeption) und AP 2 (Messkonzept und Durchführung der Messungen) sowie den Arbeitspaketen AP3 (Modellaufbau und Modellierung) + AP4 (Untersuchung und Bewertung von Maßnahmen) der Vorhabenbeschreibung zugeordnet, die Inhalt des Kooperationsvertrages ist.

Im vorliegenden Bericht sind die im ersten Jahr des Vorhabens (April 2019 – März 2020) erzielten Ergebnisse sowie der Fortschritt der Arbeiten dokumentiert. Die Inhalte des ersten Statusberichts (September 2019), der die Arbeiten im ersten Halbjahr des Vorhabens dokumentiert, sind ebenfalls in diesem Bericht enthalten.

In Kapitel 2 erfolgt im Folgenden zunächst eine detaillierte Beschreibung der Teilziele. Hiermit ist der erste Meilenstein des Vorhabens - die Konzeption des Vorhabens unter Berücksichtigung der Leitgedanken des Strombaus und des Naturschutzes – dokumentiert. Anschließend gibt Kapitel 3 einen Überblick über das Untersuchungsgebiet, wobei jede Nebelbe näher beschrieben und charakterisiert wird. Der Projektfortschritt wird in Kapitel 4 separat für jedes Arbeitspaket vorgestellt. Schließlich folgt in Kapitel 4 der Ausblick auf die Arbeiten im zweiten Projektjahr.

## 2 Zielsetzung und Konzeption

Ziel des Vorhabens ist es, die hydrodynamischen und morphologischen Prozesse in den Nebelbensystemen der Tideelbe besser zu verstehen und damit einen Beitrag zur Verbesserung des Verständnisses des Gesamtsystems Tideelbe zu leisten. Wie dieses Ziel erreicht werden soll, welchen Anforderungen dabei zu erfüllen sind und welche Arbeitsschritte zur Erreichung des Ziels konkret umgesetzt werden, wird in der Konzeption des Vorhabens beschrieben. Die in der Vorhabenbeschreibung dargestellte Rohfassung der Konzeption dient als Grundgerüst, das im Folgenden inhaltlich weiter ausgebaut und konkretisiert wird. Dabei werden zum einen vom WSA Hamburg spezifizierte sowie im Forum Tideelbe diskutierte Anforderungen berücksichtigt, die im Kern auf dem Leitgedanken der Vereinbarkeit von Strombau und Naturschutz basieren. Die diesbezüglichen Details wurden im Rahmen der Arbeitstreffen im ersten Projektjahr ermittelt und festgelegt. Zum anderen sind die Ergebnisse der durchgeführten Analysen des Schrifttums und der Bestandsdaten sowie die Erkenntnisse aus den durchgeführten Messungen in die Konzeption eingeflossen.

Im Ergebnis werden drei separate Teilziele definiert, die im Wesentlichen den einzelnen Arbeitspaketen AP1 und AP 2 sowie AP3+AP4 zugeordnet werden können. Darauf aufbauend erfolgt in AP5 eine Synthese bei der die gewonnenen Erkenntnisse zu den Teilzielen in einen übergeordneten Zusammenhang – das Gesamtsystem Nebelben – gebracht werden. Eine Übersicht zu den Teilzielen, auf die in den folgenden Abschnitten im Detail eingegangen wird, gibt Tabelle 1.

Tabelle 1: Überblick zur verfeinerten Zielsetzung des Vorhabens

Nr.	(Teil-) Ziel	AP
1	Verbesserte Einschätzung der Ungenauigkeiten bzw. Unsicherheiten bei der Beurteilung der morphologischen Entwicklung von Nebelben auf der Grundlage von bestehenden Daten (AP 1)	AP 1
2	Detaillierte Beschreibung der Morphologie sowie der morphologischen Entwicklung ausgewählter Nebelben auf der Grundlage von neu erhobenen, hochgenauen Daten	AP 2
3	Numerischen Modelluntersuchungen zur Verbesserung des Verständnisses von hydrodynamischen und morphologischen Prozessen und deren Veränderungen infolge wasserbaulicher Maßnahmen	AP 3 und AP 4
Gesamt	Synthese der Ergebnisse: Verbesserung des Systemverständnisses der Hydrodynamik und Morphologie in den Nebelbensystemen als Beitrag zur Verbesserung des Verständnisses für das Gesamtsystem Tideelbe	AP 5

## **2.1 Teilziel 1: Verbesserte Einschätzung der Ungenauigkeiten bzw. Unsicherheiten bei der Beurteilung der morphologischen Entwicklung von Nebelben auf der Grundlage von bestehenden Daten (AP 1)**

### Einführung:

Für das Untersuchungsgebiet stehen bereits einige Datensätze zur Verfügung. Ältere Datensätze stehen dabei meist als gescannte Karten, z.B. Seekarten, zur Verfügung, während jüngere Datensätze als digitale (Geo-)Daten vorliegen, z.B. als Shapefiles oder Raster. Diese liefern u.a. Informationen zur Sedimentzusammensetzung der Sohle, örtlichen Strömungen, Baumaßnahmen, Morphozonen, Vegetation und Bathymetrie.

Die Bathymetrie-Datensätze, die für unterschiedliche Jahre zur Verfügung stehen, bilden die wichtigste Grundlage für eine Analyse der morphologischen Entwicklung. Die weiteren genannten Daten liefern zusätzliche Informationen, die in die Analyse und Bewertung einbezogen werden. In der Vergangenheit wurden für ausgewählte Nebelben bereits Analysen der Tiefenverteilung und deren Änderung durchgeführt (Lange 1993; Fräßdorf 1995; Entelmann 25.09.18, 12.02.19a). Die Untersuchungen basieren in der Regel auf Daten aus Punkt- bzw. Linienpeilungen, die räumlich interpoliert wurden. Das gilt uneingeschränkt für die beiden genannten Untersuchungen von Lange (ebd.) und Fräßdorf (ebd.) und größtenteils für die Untersuchungen von Entelmann (ebd.). In der jüngeren Vergangenheit wurden einige Abschnitte, wie z.B. die Rinne der Pagensander Nebelbe per Fächerlot vermessen. Hieraus kann ein deutlich genaueres räumliches Abbild der Bathymetrie abgeleitet werden. Allerdings standen auch Entelmann (ebd.) keine flächendeckenden Fächerlotdaten zur Verfügung. Dementsprechend basieren auch seine Untersuchungen hauptsächlich auf interpolierten Linienpeildaten, die die Topographie im unmittelbar vermessenen Bereich sehr gut abbilden, mit zunehmender Entfernung von der vermessenen Linie jedoch deutliche Abweichungen von der realen Topographie aufweisen können. Dementsprechend sind die bisherigen quantitativen Auswertungen der Tiefenverteilung und deren Änderung mit größeren Unsicherheiten behaftet und belastbare Aussagen können nur innerhalb gewisser Grenzen getroffen werden. Beispielsweise verwendet Entelmann einen pauschalen Unschärfbereich von  $\pm 30$  cm (Entelmann 12.02.19a). Aussagen zu Sohlformen und Transportkörpern konnten aufgrund der Datenqualität bislang nicht getroffen.

Neben der räumlichen Auflösung spielt auch die zeitliche Auflösung, in der die Daten zur Verfügung stehen, eine Rolle. Stehen für einen längeren Zeitraum, z.B. mehrere Jahre, nur zwei Datensätze (am Anfang und am Ende) zur Verfügung, kann die Änderung der Tiefenverteilung nur integriert über diesen Zeitraum angegeben werden.

Das erste Teilziel des Vorhabens ist es Aussagen zur morphologischen Entwicklung von Nebelben auf der Grundlage von bestehenden Daten zu treffen. Dies soll unter Ausnutzung aller verfügbaren bzw. zu ermittelnden Informationen bezüglich der Unsicherheiten der Bestandsdaten erfolgen.

### Anforderungen:

- Alle verfügbaren Daten und gesamte verfügbare Literatur) sind zusammen zu tragen, zu sichten und kritisch zu durchleuchten
- Möglichst präzise Beschreibung des aktuellen Zustands sowie der aktuellen und historischen morphologischen Entwicklung der Nebelben auf der Grundlage von Bestandsdaten
- Aufzeigen von Verbesserungspotential: Wie kann die Aussagekraft der auf Bestandsdaten basierenden Analysen durch die Einbeziehung aller Informationen zu Unsicherheiten erhöht werden?

### Umsetzung:

Die konkreten Arbeitsschritte lauten wie folgt:

1. Bestandsdaten (AP 1.2)

Recherche, Zusammenstellung und Auswertung bestehender Datensätze

2. Aufarbeitung Stand des Wissens (AP 1.2)

Bestehende Literatur in Form von Veröffentlichungen, Berichten und Präsentationen wird zusammengestellt und ausgewertet.

3. Recherche und Aufbereitung von Bestandsdaten (AP 1.2)

Die ermittelten Datensätze werden zunächst in gleicher Art und Weise aufbereitet und analysiert. Mit den DGM-WS Tideelbe der Jahre 2006, 2010 und 2016 stehen bereits räumlich und zeitlich konsistente Informationen zur Bathymetrie bereit. Hier geht es darum nachzuvollziehen, an welcher Stelle welche Informationen (Höhendaten aus Linienpeilung, Fächerlotung, Laserscan etc.) in welcher Form (Rohdaten, Geländemodelle...) eingeflossen sind. Diese Erkenntnisse sind bei der Bewertung der Analysen zu berücksichtigen.

4. Analyse und Bewertung von Bestandsdaten (AP 1.2)

Die Aussagekraft von Messdaten, wie. z.B. bathymetrischen Daten, hängt stark von deren Qualität ab. Die Qualität der Daten wird u.a. bestimmt durch die räumliche und zeitliche Auflösung in der die Daten zur Verfügung stehen, das Messverfahren, mit dem sie erhoben wurden, der Art wie die Daten aufbereitet wurden und der Dokumentation der Daten, d.h. der Verfügbarkeit von Metadaten. Ein zentraler Aspekt ist das Messverfahren. Zum einen ist das Verfahren an sich mit Ungenauigkeiten behaftet (Lage- und Höhenungenauigkeiten, Einbautoleranzen, Korrektur-Ungenauigkeiten, Eindringtiefen...). Zum anderen entstehen weitere Ungenauigkeiten durch die Aufbereitung der Messdaten. Hier sind stellvertretend die Glättung der Messwerte oder die Ausreißerfilterung anzuführen. Schließlich verursacht die Interpolation der Daten einen weiteren Genauigkeitsverlust. Je größer der Abstand zwischen den Informationen (Punkt- oder

Linienlotung), desto größer ist der Fehler in der Fläche, der durch die Interpolation entsteht. In dieser Hinsicht haben Fächerlotungen einen entscheidenden Vorteil gegenüber Punkt- und Linienlotungen.

5. Beschreibung der Entwicklung der Messtechnik mit Fokus auf die Genauigkeit von Messverfahren (AP 1.3)

Die eingesetzte Messtechnik hat sich im Laufe der Zeit stetig weiterentwickelt. Es erfolgt eine Zusammenstellung der Entwicklung der Technik zur Unterwasserhöhenvermessung mit besonderem Schwerpunkt auf die erzielbaren Messgenauigkeiten. Dies ermöglicht bei Kenntnis der zur Vermessung eingesetzten Technik - unabhängig von den konkret verfügbaren Informationen und Metadaten zu den vorliegenden bathymetrischen Daten - eine Abschätzung der (technischen) Messgenauigkeit. Insbesondere für ältere und historische bathymetrische Daten/Karten, für die keine Angaben zur Vermessung mehr vorliegen, kann so eine grundlegende Abschätzung der zu erwartenden Datenqualität und Genauigkeit erfolgen.

6. Versuche und Untersuchungen zur Ermittlung der tatsächlichen Messgenauigkeiten bei der bathymetrischen Vermessung (AP 1.3)

Die Messunsicherheit ist ein dem Messergebnis zugeordneter Parameter, der die Streuung der Werte kennzeichnet, die vernünftigerweise der Messgröße zugeordnet werden könnte. Sie setzt sich zusammen aus zufälligen Messabweichungen und der unvollständigen Korrektur bezüglich der systematischen Einflussparameter (Internationale Organisation für Normung 1995). Das Ergebnis der Arbeiten soll eine konzeptuelle Beschreibung des Gesamtablaufes der Datenerhebung und -aufbereitung sein. Die Relevanz verschiedener Einflussgrößen auf (systematische) Messabweichungen wird im Rahmen einer Sensitivitätsanalyse untersucht und dargestellt. Im Hinblick auf die zufälligen Messabweichungen der Vermessung werden die Teil- und Gesamtunsicherheiten ermittelt und für das im Vorhaben eingesetzte Messsystem dargestellt. Abschließend erfolgen eine Überprüfung der theoretisch abgeleiteten Messgenauigkeit anhand von gemessenen Daten sowie eine Bewertung der erzielten Messgenauigkeit in Bezug auf die Verwendung der Vermessungsdaten zur Untersuchung und Beschreibung morphologischer Veränderungen. Neben den theoretischen Untersuchungen zu Messunsicherheiten werden praktische Tests durchgeführt, um die Qualität der Messwerte quantitativ beschreiben zu können. Konkret handelt es sich dabei um die Kalibrierung des Messsystems anhand eines Patch-Tests und eines Bar-Tests und um Kontrollmessungen im Bereich bekannter Tiefen am Beispiel von Drempeln der Sturmflutsperrwerke an Elbnebenflüssen.

7. Untersuchungen zum Einfluss der Aufbereitungsverfahren (manuelle und statistische Filterung der Rohdaten) (AP 1.3)

Bei der Aufbereitung von Rohdaten aus einer bathymetrischen Vermessung entstehen weitere Ungenauigkeiten. Bei der Fächerlotvermessung werden vergleichsweise viele

Punkte pro Fläche aufgenommen. Aufgrund vielfältiger Einflussfaktoren, wie z.B. die Eindringtiefe in das Sohlmaterial, Bewuchs, Einfallwinkel, Luftbläschen oder Schwebstoffe in der Wassersäule, Nebenkeulen, Mehrfachreflexionen etc. weisen auch sehr dicht beieinander liegende Messwerte nicht exakt dieselbe Tiefe auf, obwohl die vermessenen Punkte tatsächlich dieselbe Höhe aufweisen. Im Rahmen der Aufbereitung wird versucht Ausreißer zu identifizieren und zu eliminieren. Offensichtliche Ausreißer, die auf ein bestimmtes Event zurückzuführen sind, werden in der Regel manuell entfernt. In der zweiten Stufe erfolgt eine statistische Filterung der Ausreißer. Auch nach der Ausreißerbereinigung verbleibt eine Vielzahl von Punkten pro Fläche, die genutzt werden, um ein digitales Geländemodell mit einer definierten Rasterauflösung zu erstellen. Im Rahmen des Vorhabens werden daher anhand von Beispieldatensätzen Untersuchungen zum Einfluss der Datenaufbereitung auf die durchgeführten Analysen vorgenommen, um die Größenordnung des möglichen Fehlers besser einschätzen zu können.

8. Beschreibung des aktuellen Zustands sowie der aktuellen und historischen morphologischen Entwicklung der Nebelben auf der Grundlage von Bestandsdaten und Bewertung der Aussagekraft (AP 1 gesamt)

Auf Grundlage der analysierten Bestandsdaten und den Erkenntnissen zur Datenqualität erfolgt eine Beschreibung des aktuellen morphologischen Zustands sowie der aktuellen und historischen morphologischen Entwicklung ausgewählter Nebelben. In Abhängigkeit der Datenqualität wird bei der Beschreibung zwischen qualitativen (bei hoher Datenqualität) und quantitativen (bei geringerer Datenqualität) Aussagen unterschieden. Qualitative Aussagen ermöglichen ein generelles Verständnis. Es werden Muster und Trends erkannt und beschrieben sowie qualitative Zusammenhänge identifiziert. Quantitative Aussagen ermöglichen Erklärungen von (Teil-)Prozessen. Es können kausale Beziehungen identifiziert und zahlenmäßige Zusammenhänge dargestellt werden.

9. Ableitung von Kriterien bzw. Methoden für die Vermessung, Datenaufbereitung und Datenauswertung zur Erhöhung der Aussagekraft der auf Bestandsdaten basierenden Analysen (AP 1 gesamt)

Auf Grundlage der Erkenntnisse aus den zuvor beschriebenen Arbeitsschwerpunkten werden Anforderungen an die Vermessung, Datenaufbereitung und Datenauswertung formuliert, die erfüllt werden sollten, um eine möglichst präzise Datengrundlage zu schaffen. Des Weiteren werden für die Datenaufbereitung und Datenauswertung Methoden erprobt, um die Fehler bei der Weiterverarbeitung der Datengrundlage möglichst klein zu halten. Alles zusammen soll möglichst präzise Aussagen zur Tiefenverteilung und deren zeitlichen Änderung ermöglichen.

Produkte:

1. Die historische morphologische Entwicklung der ausgewählten Nebelnelben wird dargestellt und analysiert. Neben der Änderung der Tiefenverteilung und den damit verknüpften Auswertungen (Flächen und Volumina) werden soweit möglich auch weitere Aspekte, wie z.B. Sohlformen, untersucht. Die Aussagekraft der abgeleiteten Erkenntnisse wird unter Berücksichtigung der ermittelten Fehlertoleranzen bewertet. Dabei wird zwischen qualitativen und quantitativen Aussagen unterschieden.
2. Des Weiteren wird ein Kriterienkatalog erstellt, in dem Anforderungen an die bathymetrische Vermessung und die anschließende Datenaufbereitung zusammengestellt sind. Dieser dient der Erhöhung der Qualität von bathymetrischen Daten.

**2.2 Teilziel 2: Detaillierte Beschreibung der Morphologie sowie der morphologischen Entwicklung ausgewählter Nebelnelben auf der Grundlage von neu erhobenen Daten mit bestmöglicher Datenqualität (AP 2)**

Einführung:

Um die aktuelle Morphologie und die morphologische Entwicklung ausgewählter Nebelnelben präzise beschreiben zu können, wird im Rahmen des AP 2 "Messkonzept und Messungen" die bestehende Datengrundlage erweitert. Hierzu wird zunächst ein Messkonzept erarbeitet, auf dessen Grundlage im Rahmen dieses Vorhabens und auch darüber hinaus Daten zur Analyse und Bewertung der morphologischen Entwicklung und der damit einhergehenden Sedimentations- und Erosionsprozesse in den Nebelnelben erfasst werden. Basierend auf den Erkenntnissen aus AP 1 legt das Messkonzept zunächst fest, welche Parameter neben der Bathymetrie zu erfassen sind, um zu einer fundierten Bewertung zu ermöglichen.

Im Kern des AP steht die Erhebung von bathymetrischen Daten unter Anwendung möglichst präziser Mess- und Auswerteverfahren. Anhand von flächenhaften (Erst-) Aufnahmen der Bathymetrie in den ausgewählten Nebelnelbensystemen (Pagensander Nebelnelbe, Haseldorfer Binnenelbe, Lühesander Süderelbe, Hahnöfer Nebelnelbe) mittels Fächerecholot wird die Morphologie im Detail, z.B. Tiefenvariationen und Sohlstrukturen, beschrieben, analysiert und bewertet. Auf der Grundlage wiederholter Aufnahmen in den Folgejahren mit derselben Methodik erfolgt eine Beurteilung der kurz- bis mittelfristigen morphologischen Entwicklung der betrachteten Nebelnelbensysteme. Beispielsweise werden Veränderungen der Tiefenvariation und der Sohlstrukturen sowie die morphologische Aktivität untersucht.

Ein wesentlicher Aspekt, der die Genauigkeit der bathymetrischen Daten und somit auch die Analyseergebnisse beeinflussen kann, ist das Verfahren nach dem die gemessenen Rohdaten aufbereitet werden. Hier existieren unterschiedliche Methoden mit denen u.a. die manuelle und statistische Filterung, Interpolation, Korrekturen, z.B. über die Schallgeschwindigkeit, durchgeführt werden. Die Bestimmung der Auswirkungen der gewählten Methoden bzw. der vorhandenen Spielräume bei deren praktischer Umsetzung werden im

Rahmen von AP 1 untersucht und soweit möglich quantifiziert. Im Rahmen von AP 2 wird untersucht, welche Unsicherheiten bei der Weiterverarbeitung (DGM-Erzeugung) bzw. der Auswertung der DGM entstehen können, bzw. wie die gewählten Methoden die Ergebnisse beeinflussen. Ziel ist es, die Qualität der Analyseergebnisse durch Eingrenzung der Unsicherheiten aus der Datenweiterverarbeitung (Rasterinterpolation, Differenzen zwischen Rastern) zu erhöhen.

Im Verlauf des Vorhabens wird geprüft, inwiefern auch flachere Bereiche der Nebelben, die aus technischen Gründen nicht per Fächerlot erfasst werden können (Sohlhöhen oberhalb -0,5 m NHN), zeitlich enger erfasst werden und damit stärker in die Untersuchungen zur morphologischen Entwicklung einbezogen werden können. Nutzbar sind aktuell hier Befliegungsdaten aus Laserscan-Befliegungen, die im 5-6-Jahres Rhythmus im Auftrag der WSV durchgeführt werden. Diese Befliegungen erfolgen um den Zeitpunkt des Tnw herum, um auch weite Teile der Wattflächen erfassen zu können. Über die Nutzung der Befliegungsdaten hinaus wird angestrebt, weitere Verfahren, z.B. drohnengestützte Vermessungen oder kombinierte Laser- und Fächerlotvermessungen, einzusetzen und die Eignung solcher Verfahren für die Wattbereiche der Nebelben zu erproben. Ziel dieses Vorgehens ist es, Ansätze zu finden, um die Qualität der Geländemodelle insbesondere am Übergang vom Flachwasser zu den Wattbereichen zu verbessern und Höhensprünge im Übergangsbereich, die auf unterschiedliche Mess- und Auswerteverfahren (z.B. Peilung, LiDAR) zurückzuführen sind, zu vermeiden.

#### Anforderungen:

- Detaillierte Beschreibung des aktuellen Zustands sowie der aktuellen morphologischen Entwicklung der Nebelben auf der Grundlage von speziell zu diesem Zweck zu erhebenden, möglichst präzisen Daten
- Möglichst weitreichende Abdeckung der untersuchten Bereiche, d.h. auch Einbeziehung von Flachwasserzonen und der unteren Wattbereiche
- Aufzeigen von Verbesserungspotential: Wie kann eine hohe Qualität bei der Auswertung und Analyse von Vermessungsdaten gewährleistet werden? In diesem Zusammenhang ist auch ein Kriterienkatalog zu entwickeln und zu erproben, der im Rahmen der WSV-internen Aufgaben angewendet werden kann.

#### Umsetzung:

Die konkreten Arbeitsschritte lauten wie folgt:

##### 1. Erstellung eines Messkonzepts (AP 2.1)

Auf der Grundlage einer Analyse der Bestandsdaten und einer Auswertung des zusammengetragenen Wissens bezüglich der morphologischen Entwicklung und der damit einhergehenden Sedimentations- und Erosionsprozesse in den Nebelben wird der Erweiterungsbedarf des Datenbestands identifiziert. Gemeinsam mit dem WSA HH wird festgelegt, welche Parameter zusätzlich zur Bathymetrie erhoben werden sollen.

Es folgen die Planung und Konzipierung von Messungen in Form von kampagnenbasierten Naturmessungen in Abstimmung mit dem WSA HH. In diesem Zusammenhang werden u.a. folgende Festlegungen getroffen: zu erfassende Parameter, eingesetztes Messverfahren, eingesetzte Messgeräte, Standorte der Messungen, Zeiträume in denen gemessen wird, Ausbringung, Einholung und Wartung der Messgeräte. Für das Jahr 2021 ist die Durchführung von ADCP-Strömungs- und Durchflussmessungen im Bereich Steinloch (stromaufseitiges Ende der Pagensander NE) geplant. Es ist eine Kombination aus punktuellen Dauermessungen (mehrere Wochen) (durchgeführt vom WSA HH) und temporären (über eine Tide) Querprofilmessungen (durchgeführt vom IWB) vorgesehen.

2. Jährliche Vermessung (Fächerlotung) von ausgewählten Nebelben (derzeit: Pagensander NE, Haseldorfer BE, Lühesander NE, Hahnöfer NE) (AP 2.2)

Die Fächerlotpeilungen werden mit dem institutseigenen IWB-Messboot „Nekton“ durchgeführt. Pro Jahr sind 4 Messkampagnen geplant, die insgesamt 16 Messtage umfassen. Im ersten Projektjahr wurden 4 Nebelben (Pagensander NE, Haseldorfer BE, Lühesander NE, Hahnöfer NE) vermessen. Dieselben Bereiche sollen auch im zweiten Projektjahr vermessen werden. Auf Grundlage neuer Erkenntnisse im weiteren Verlauf des Vorhabens ist eine Anpassung der zu vermessenden Bereiche unter Beibehaltung des Aufwands möglich.

3. Konsistente Aufbereitung der erhobenen Daten (manuelle und stat. Ausreißerbereinigung, Rasterinterpolation) zu digitalen Geländemodellen (AP 2.2)

Der vermessenen Rohdaten werden nach einem definierten Verfahren konsistent aufbereitet. Die eingesetzten Methoden zur manuellen und statistischen Filterung, Interpolation und Korrekturen, z.B. über die Schallgeschwindigkeit sowie die verwendeten Parameter werden dokumentiert.

4. Recherche und Tests von Verfahren und Systemen zur Vermessung der höhergelegenen (oberhalb NHN+0,5m) Wattbereiche (AP 2.2)

Diese Bereiche werden derzeit im Regelfall alle 5-6 Jahre per ALS (Airborne Laserscanning) vermessen. Der Auftrag hierzu wird durch die WSV vergeben und die Daten fließen in die im selben Rhythmus erstellten DGM-W ein. Im Rahmen dieses Vorhabens wird nach Möglichkeiten gesucht, diese Flächen häufiger zu vermessen, um einerseits auch kurz- bis mittelfristige Änderungen identifizieren zu können und andererseits einen kontinuierlichen Verlauf der vermessenen Höhen im Übergangsbereich sicherzustellen. Idealerweise sind hierzu die Wattbereiche zumindest teilweise mit zwei Messsystemen vermessen, deren Messergebnisse miteinander verglichen und gegeneinander validiert werden. Mit der Fächerlotung, durch die bei Thw zumindest die tiefergelegenen Wattbereiche erfasst werden, ist bereits ein Datensatz in diesem Bereich vorhanden. Dazu bietet es sich an, bei Tnw mit einem anderen Verfahren,

z.B. einer (luftgestützten) Laservermessung, die höherliegenden Wattbereiche zu vermessen, wobei auf einen ausreichenden Überlappungsbereich geachtet wird. Während der Laufzeit des Vorhabens wird nach praktikablen und effizienten Lösungen gesucht um dies umzusetzen. Soweit möglich wird die Eignung von identifizierten Messsystemen getestet.

5. Weitere Messungen (Strömung, Trübung, Korngrößenverteilung) (AP 2.2)

Die im Rahmen des Messkonzepts definierten kampagnenbasierten Naturmessungen werden in Kooperation mit dem WSA HH durchgeführt. Die Datenauswertung erfolgt im Rahmen des Vorhabens durch das IWB.

6. Auswertung der digitalen Geländemodelle und Durchführung von Analysen (AP 2.3)

Die Morphologie der vermessenen Nebelben wird im Detail beschrieben, u.a. werden die Tiefenvariation und Sohlstrukturen in Detail betrachtet und beschrieben. Auf dieser Grundlage werden Analysen, wie z.B. die Verteilung der Tiefen (Tiefwasser, Flachwasser, Wattbereiche), durchgeführt. Die Analyseergebnisse werden schließlich ausgewertet. Auf der Grundlage wiederholter Aufnahmen in den Folgejahren unter Anwendung derselben Messtechnik und derselben Methoden erfolgt eine Analyse der kurz- bis mittelfristigen morphologischen Entwicklung der betrachteten Nebelbensysteme.

7. Untersuchungen zur Quantifizierung der Unsicherheiten aus der Datenweiterverarbeitung (AP 2.3)

Aus den aufbereiteten Fächerlotdaten werden in der Regel digitale Geländemodelle erstellt. Je nachdem wie der Wert für jede einzelne Rasterzelle ermittelt wird (Mittelwert, Median, oberes Quantil unteres Quantil) entsteht ein Fehler. Es gibt keine allgemeinen Vorgaben bei der Erstellung digitaler Geländemodelle, stattdessen ist die Sichtweise auf die Daten ausschlaggebend. Beispielsweise ist es aus nautischer Sicht zielführender den Rasterwert aus einem Quantil der höherliegenden Messwerte zu ermitteln, um auf der sicheren Seite zu liegen. Bei der Analyse der Änderung der Tiefenverteilung können insbesondere dann größere Ungenauigkeiten entstehen, wenn Geländemodelle verglichen werden, deren Rasterzellenwerte auf unterschiedliche Art und Weise ermittelt wurden. Es werden Untersuchungen zum Einfluss der Methoden bzw. der vorhandenen Spielräume bei deren praktischer Umsetzung auf die Analyseergebnisse durchgeführt. Beispielsweise werden die Raster untersucht, die aus den Vermessungsdaten interpoliert werden. Potentielle Einflussfaktoren auf Ergebnisse der Analysen sind u.a. die gewählte Interpolationsmethode, die Rasterauflösung und die Lage der Zellmitten. Die Auswirkungen dieser Parameter werden unter Berücksichtigung der zu analysierenden Strukturen (z.B. kleinräumige Strukturen wie Riffel, Prielsysteme) untersucht.

Produkte:

3. Messkonzept: Planung und Konzipierung von Messungen in Form von kampagnenbasierten Naturmessungen in Abstimmung mit dem WSA HH.
4. Die aktuelle Morphologie ausgewählter Nebelben wird inklusive kleinräumiger Strukturen, wie z.B. Sohlformen und kleinere Rinnensysteme) detailliert dargestellt. Die mittelfristigen (d.h. innerhalb eines Jahres) Veränderungen der Morphologie von ausgewählten Nebelben werden dargestellt, analysiert und bewertet. Insbesondere fließen hier auch die Erkenntnisse aus den Untersuchungen zu möglichen Unsicherheiten ein.
5. Ein weiteres Produkt ist ein Kriterienkatalog, in dem Anforderungen zur Sicherstellung einer hohen Qualität bei der Auswertung und Analyse von aufbereiteten Vermessungsdaten definiert werden. Diese dienen der Erhöhung der Qualität von Analyseergebnissen bei bathymetrischen Untersuchungen in den Nebelben.

**2.3 Teilziel 3: Numerische Modelluntersuchungen zur Verbesserung des Verständnisses von hydrodynamischen und morphologischen Prozessen und deren Veränderungen infolge wasserbaulicher Maßnahmen (AP 3 und AP4)**

Einführung:

Die Strömungsverhältnisse in den Nebelbensystemen sind sehr vielfältig und weisen einige Besonderheiten auf. Innerhalb der Nebelben wirkt eine Vielzahl von Einflüssen auf die Strömung ein. Dazu gehören u.a. eine im Verlauf der Nebelbe variierende Rinnengeometrie mit deutlich geringeren Wassertiefen als in der Hauptelbe, Flachwasserbereiche, Wattflächen mit Prielen, einmündende Gewässer (z.B. Krückau und Pinnau in die Pagensander NE oder die Este in die Hahnöfer NE), Sohlstrukturen, Bewuchs im Uferbereich, Bauwerke (z.B. Leitdämme, Ufersicherungen) und Geometrieänderungen infolge Baggerungen. Ein besonderes Phänomen ist die Strömungssituation kurz nach Einsetzen des Flutstroms am stromaufseitigen Ende der Nebelben. Da die Strömung in der Hauptrinne (Elbe) schneller fließt als in der Nebenrinne (Nebelbe) entsteht ein Gradient, der durch einströmendes Wasser am stromaufseitigen Ende in die Nebelbe ausgeglichen wird.

Um die Strömungsverhältnisse in den Nebelbensystemen insgesamt besser zu verstehen und die Wirkungen einzelner Einflussfaktoren zu analysieren und zu bewerten, werden im Rahmen von AP 3 „Modellierung Pagensander Nebelbe“ numerische Modelluntersuchungen durchgeführt. Dies geschieht am Beispiel der Pagensander NE, für die ein detailliertes, hochaufgelöstes Modell aufgestellt wird, dass insbesondere in der Lage ist auch die z.T. kleinräumigen Strömungsprozesse abzubilden. Mit dem Modell werden zunächst die Strömungsvorgänge und Strömungsmuster im Ist-Zustand für unterschiedliche hydrologische Situationen (Spring-/Nipptiden, Sturmfluten, variierendes Oberwasser der Elbe sowie der Elbnebenflüsse) untersucht. Auf Grundlage der Modellergebnisse erfolgt in Kombina-

tion mit den verfügbaren Messdaten eine Analyse und eine Bewertung der Strömungsmuster. Dabei wird ein besonderer Fokus gelegt auf i) die Dynamik in den Rinnen der Nebelben, ii) die strömungsberuhigten Zonen in den Flachwasserbereichen, iii) die Interaktion zwischen Rinnen und Flachwasserbereichen und iv) die Interaktion zwischen der Pagensander NE und den Flüssen Krückau und Pinnau. Die gewonnenen Erkenntnisse bezüglich der hydrodynamischen Prozesse fließen zudem in die Analysen und Bewertungen der morphologischen Prozesse ein.

Neben der Verbesserung des Systemverständnisses für den Ist-Zustand wird das Modell im Rahmen von AP 4 „Untersuchung und Bewertung von Maßnahmen“ außerdem eingesetzt, um die Auswirkungen von wasserbaulichen Maßnahmen zu untersuchen und die Ausgestaltung der Maßnahmen gegebenenfalls zu optimieren. Es werden vor allem naturnahe Maßnahmen untersucht, die nicht nur aus strombaulicher Sicht vorteilhaft sind, sondern auch aus naturschutzfachlicher Sicht. Hier kommen insbesondere Maßnahmen in Frage wie die Schaffung von Flachwasserbereichen, der Schaffung von Wattbereichen, Uferverlegungen, Deckwerksaufbrüche und eine Verfeinerung der Rinnengeometrie.

#### Anforderungen:

- Das Modell der Pagensander Nebelbe muss dazu in der Lage sein, die relevanten kleinräumigen und großräumigen Strömungsmuster abzubilden. Hierzu ist folgendes zu beachten
  - Die relevanten Geometrien sind im Berechnungsnetz aufzulösen
  - Die Modelldimension ist entsprechend zu wählen (zweidimensional, sofern erforderlich dreidimensional)
- Die Güte des Modells ist anhand von vorhandenen Messdaten (Wasserstand, Fließgeschwindigkeit, Abfluss) nachzuweisen
- Wasserbauliche Maßnahmen sind in angemessener Auflösung zu integrieren

#### Umsetzung:

Die konkreten Arbeitsschritte lauten wie folgt:

1. Aufsetzen eines hochaufgelösten hydrodynamisch-numerischen Modells vom System Pagensander Nebelbe zur detaillierten Abbildung der Strömungsverhältnisse (AP 3.1)

Auf Grundlage der Bestandsdaten sowie der erhobenen Bathymetriedaten wird ein detailliertes Berechnungsgitter generiert. Kleinräumigen Strukturen (Bauwerke, Transportkörper) werden über Bruchkanten und Polygone (z.B. Rauigkeitspolygone) integriert. Die Unterläufe von Pinnau und Krückau werden ebenfalls abgebildet. Das Detailmodell vom System Pagensander Nebelbe ist gekoppelt an ein übergeordnetes Elbmodell, welches am nordseeseitigen Rand über Wasserstände und am oberstromigen Rand über Abflüsse angetrieben wird.

2. Kalibrierung und Validierung des Modells anhand von Messdaten (AP 3.1)

Die Kalibrierung und die Validierung des Modells erfolgt anhand von gemessenen Wasserständen, Fließgeschwindigkeiten und Abflüssen. Es stehen folgende Daten zur Verfügung: i) punktuelle Strömungsdaten des WSA HH am stromabseitigen Ende der Pagensander NE seit 2006 und ii) punktuelle Wasserstände an mehreren Pegeln im Bereich der Pagensander NE (Krückau-Sperrwerk, Pinnau-Sperrwerk, Kollmar, Grauerort, Stadersand). Direkt im Bereich der Pagensander NE stehen keine Messwerte zur Verfügung. Daher ist für das Jahr 2021 die Durchführung von ADCP-Strömungs- und Durchflussmessungen im Bereich Steinloch (stromaufseitiges Ende der Pagensander NE) geplant. In diesem Bereich tritt das eingangs beschriebene Phänomen der Strömungsumkehr kurz nach Einsetzen des Flutstrom auf. Die erhobenen Daten werden auch zur Validierung des Modells verwendet.

3. Analyse und Bewertung der Strömungsverhältnisse für den Ist-Zustand (AP 3.2)

Mit Hilfe des kalibrierten und validierten Strömungsmodells werden Simulationen von unterschiedlichen hydrologischen Situationen, wie Spring-/ Nipptiden, Sturmfluten, variierendes Oberwasser der Elbe sowie der Elbnebenflüsse, simuliert. Auf Grundlage der Ergebnisse werden die lokalen Strömungsverhältnisse für den Ist-Zustand der Pagensander NE analysiert und bewertet. Ein besonderer Fokus wird auf den lokalen Strömungsverhältnissen liegen, wie i) die Dynamik in den Rinnen, ii) die strömungsberuhigten Zonen in den Flachwasserbereichen, iii) die Interaktion zwischen Rinnen und Flachwasserbereichen und iv) die Interaktion zwischen der Pagensander NE und den Flüssen Krückau und Pinnau. Außerdem werden Wasserstände für unterschiedliche charakteristische Tidewasserstände (Thw, Tnw.) mit der Bathymetrie verschnitten und auf diese Weise Watt- und Flachwasserbereiche identifiziert.

4. Untersuchung der Auswirkungen von wasserbaulichen Maßnahmen auf die Strömungsverhältnisse (AP 3.3)

Es wurde bereits im Rahmen des Forum Tideelbe darüber beraten, mit welchen Maßnahmen die Pagensander Nebeneibe reaktiviert werden könnte. Im Ergebnis wurde eine Variante, die eine Stärkung der Rinne der Pagensander NE vorsieht, von der Bundesanstalt für Wasserbau untersucht. Die Auswirkungen wurden bestimmt und dargestellt. Im Rahmen dieses Vorhabens ist u.a. vorgesehen diese Maßnahme sowie abgewandelte Varianten weiter im Detail zu untersuchen mit dem Schwerpunkt der Auswertung auf die lokalen Strömungsverhältnisse. Darüber hinaus werden auch weitere Maßnahmen untersucht, die die Schaffung von zusätzlichen Flachwasser- und/oder Wattbereichen, Uferverlegungen, Deckwerksaufbrüchen oder Verfeinerungen der Rinnengeometrie vorsehen. Die Auswirkungen werden über den Vergleich mit den Ergebnissen für den Ist-Zustand ermittelt und anschließend bewertet.

5. Optimierung von Maßnahmen im Hinblick auf die bestmögliche Erzeugung von Synergien zwischen Strombau und Naturschutz (AP 4)

Auf Grundlage der Ergebnisse des vorangegangenen Arbeitsschrittes werden Maßnahmen identifiziert, die vertieft untersucht werden. Für diese Maßnahmen werden mit dem numerischen Modell Variationsrechnungen durchgeführt. Dabei wird die konkrete Ausgestaltung der Maßnahmen (z.B. die Geometrie) variiert. Ziel ist es, durch die Gestaltung der Maßnahme eine günstige Wirkung sowohl aus strombaulicher als auch aus naturschutzfachlicher Sicht zu erzielen.

Produkte:

6. Detaillierte Beschreibung und Bewertung der Strömungsverhältnisse (kleinräumige Strömungsmuster) im System Pagensander Nebelbebe für unterschiedliche Strömungssituationen (Spring-/Nipptiden, Sturmfluten, variierendes Oberwasser der Elbe und der Elbnebenflüsse).
7. Detaillierte Beschreibung und Bewertung der Auswirkungen von wasserbaulichen Maßnahmen auf die Strömungsverhältnisse im System Pagensander Nebelbebe. Optimierte Ausgestaltung von ausgewählten wasserbaulichen Maßnahmen im Hinblick auf die Erzeugung von Synergien zwischen Strombau und Naturschutz.

### 3 Untersuchungsgebiet Nebelben

Der Abschnitt der Tideelbe zwischen dem Hamburger Hafen und der Nordsee zeichnet sich durch eine durchgehende Haupttrinne aus. Von dieser Haupttrinne spalten sich abschnittsweise Nebenrinnen ab, die als Nebelben (abgekürzt NE) bezeichnet werden. Die heute vorzufindenden NE-Systeme bestehen in der Regel aus einer Nebenrinne, die im Zuge der Stromregulierung durch das Aufschütten bzw. Verbinden vorhandener Strominseln (Sände) in der Elbe entstanden ist (vgl. (Boehlich und Strotmann 2008)). Die größten Nebelben sind die Glückstädter NE, die Schwarztonnensander NE, die Pagensander NE, die Haseldorfer Binnenelbe, die Lühesander Süderelbe und die Hahnöfer NE. Beim Wischhafener Fahrwasser handelt es sich gegenwärtig nicht mehr um eine Nebelbe im eigentlichen Sinne. Aufgrund ihrer Historie wird sie jedoch in die Untersuchungsraum einbezogen. Abbildung 1 verdeutlicht die Lage und Ausdehnung der Nebelben. Das Untersuchungsgebiet ist blau umrandet. Es erstreckt sich von Elbe km 632 bis Elbe km 683, also in etwa von der Este-Mündung bis zur Stör-Mündung. Als landseitige Abgrenzung wird die MThw-Linie bzw. die Deichlinie verwendet.

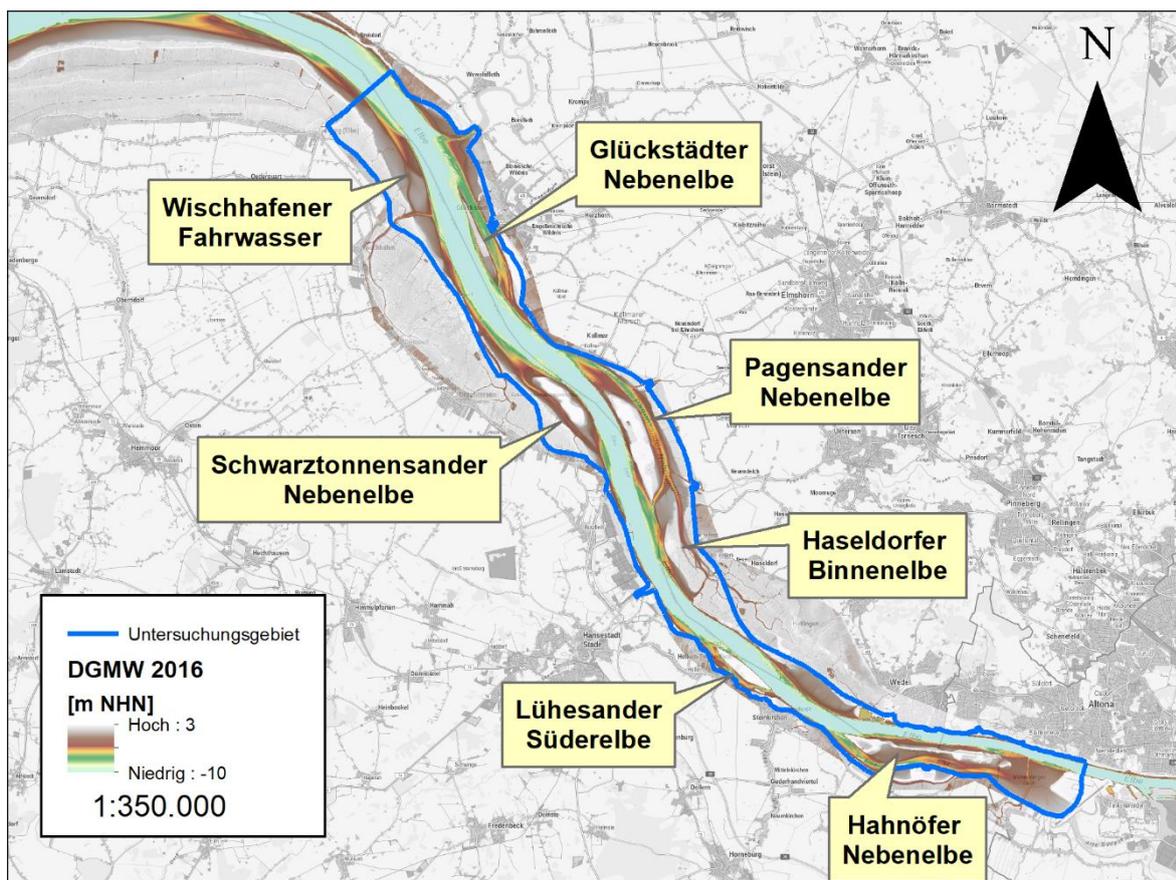


Abbildung 1: Karte zum Untersuchungsgebiet zwischen Elbe-Km 632 und 683 (Blau; entspricht in etwa MThw-Linie bzw. der Deichlinie) mit Benennung (gelbe Textfelder) der berücksichtigten Nebelben und Seitenbereichen (Quelle DGM-W: WSA HH).

Als Gemeinsamkeit weisen alle NE deutlich geringere Wassertiefen als die Hauptrinne auf und sind mit Ausnahme des Wischhafener Fahrwassers an zwei Enden mit der Elbe verbunden, wobei die Pagensander NE und die Haseldorfer BE als zusammenhängendes System eine Besonderheit bilden. Es gibt auch Unterschiede, z.B. in der Morphologie (Länge, Breite, Tiefenverteilung) oder der morphologischen Entwicklung in der Vergangenheit. Im Rahmen des Vorhabens werden grundsätzlich alle NE betrachtet, wobei einige NE eingehender untersucht werden. Tabelle 2 gibt hierzu eine Übersicht:

**Tabelle 2: Übersicht zur Untersuchung ausgewählter Seitenbereiche/ Nebelben (NE) im Projekt für jeweiliges Arbeitspaket (AP):**

AP	Arbeiten	Betrachtete Nebelben
1	Konzeption Stand des Wissens (Bestandsdaten und Literaturstudie) Beschreibung der grundsätzlichen Entwicklung auf Grundlage von Bestandsdaten	Alle NE gemäß Abbildung 1
2	Fächerecholotpeilungen	Hahnöfer NE Lühesander NE Pagensander NE und Haseldorfer BE
3/4	Numerische Modellierung	Pagensander NE

Die folgenden Abschnitte geben einen Überblick über die zuvor genannten Nebelben. Jeder einzelne Abschnitt liefert neben Angaben zur Lage, Ausdehnung und heutiger Gestalt der jeweiligen Nebelbe auch Informationen zur Entstehung und zur aktuellen wasserwirtschaftlichen Situation.

### 3.1 Hahnöfer Nebelbe

Die Hahnöfer Nebelbe (einschließlich des Mühlenberger Lochs mit der Zufahrt zum Estefahrwasser) erstreckt sich linksseitig von der Hauptrinne zwischen Elbe-Km 633 und 644 (Abbildung 2). Die Insel, welche die Hahnöfer Nebelbe vom Hauptstrom abgrenzt, entstand aus den Strominseln Hanskalbsand, Neßsand und Schweinesand, die zwischen 1906 und 1974 durch sukzessive Aufspülungen und Strombaumaßnahmen miteinander verbunden wurden (Entelmann 25.09.18; Kappenberg und Fanger 2007a; BfG 2002b). Die Hahnöfer Nebelbe ist ungefähr 100 – 500 m breit und 0,4 – 9,5 m tief (BfG 2002b). Sie wird von Westen nach Osten, also in Flutstromrichtung, flacher und weitet sich dann im Übergangsbereich zur Hauptrinne auf (BfG 2002b). Das Mühlenberger Loch wurde 1940-1941 als Landebahn für Wasserflugzeuge hergestellt. Nach Abdämmung der Süderelbe setzte

jedoch eine starke Verlandungstendenz ein (IBP Arbeitsgruppe 2011b; BfG 2002b), die nach 1981 jedoch schwächer wurde (Kappenberg und Fanger 2007a). Ab dem Jahr 2001 fand eine partielle Verfüllung des Mühlenberger Lochs statt (IBP Arbeitsgruppe 2011b). Auch heute zeigen sich noch Verlandungstendenzen, sowohl im Bereich Mühlenberger Loch als auch im östlichen Bereich der Hahnöfer Nebeneibe. Als Ausgleichsmaßnahme zur Fahrrinnenanpassung (1999/2000) wurden in der Nebeneibe eine Rinne mit einer Tiefe bis zu 2,5 m hergestellt (BfG 2002b). Im Bereich des Este-Fahrwassers finden regelmäßige Unterhaltungsarbeiten statt.

Die Hahnöfer Nebeneibe wird trotz der zahlreichen Eingriffe als naturnah mit vielfältigen Strömungsmustern, einem hohen Anteil an Flachwasserzonen und ausgedehnten Misch- und Schlickwatten beschrieben (Entelmann 25.09.18; IBP Arbeitsgruppe 2011b).

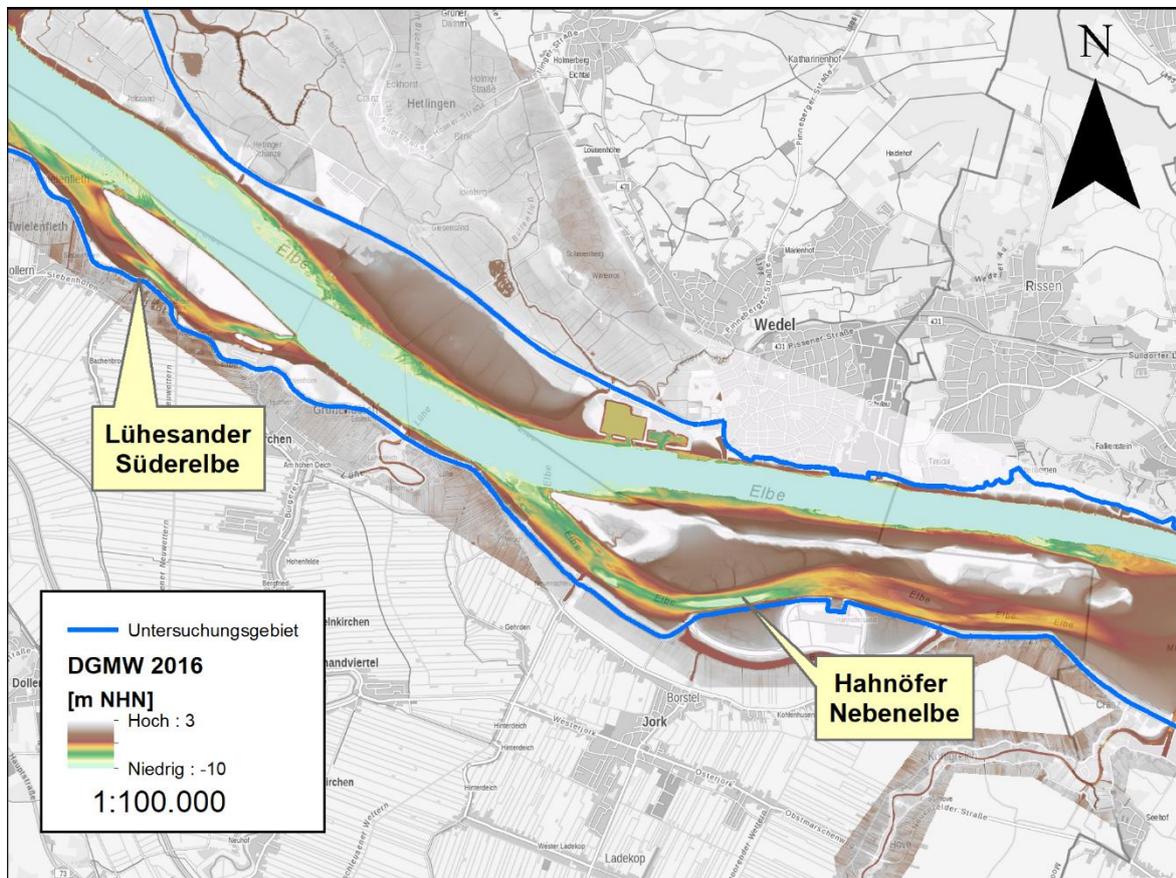


Abbildung 2: Karte der Hahnöfer Nebeneibe und Lühesander Süderelbe (Datenquelle DGM-W: WSA HH)

### 3.2 Lühesander Süderelbe

Die Lühesander Süderelbe erstreckt sich zwischen Elbe-Km 647 und 652 ebenfalls linksseitig des Hauptstroms (Abbildung 2). Die relativ kurze Nebeneibe weist im Vergleich zu anderen Nebeneiben große Wassertiefen und steile befestigte Ufer- bzw. Unterwasserböschungen auf (2002b). Die Insel, die die Lühesander Süderelbe vom Hauptstrom abgrenzt, entstand durch Verbindung der Inseln Twielensand und Twielenflether Sand. (BfG 2002b).

Kappenberg und Fanger (2002b; 2007a) datieren dies auf die Jahre 1914 - 1920. Ursprünglich gab es eine dritte Insel, Bajeckensand, welche jedoch im Laufe der Zeit erodiert wurde (BfG 2002b). Am südlichen Ende von Lühesand befindet sich die sogenannte „Pionierinsel“ (IBP Arbeitsgruppe 2011b), welche zwischen 1970 und 1974 befestigt und aufgespült wurde (Kappenberg und Fanger 2007a). Verlandungstendenzen sind nicht oder kaum festzustellen, was unter anderem auf die vergleichsweise geringe Länge zurückgeführt wird (Entelmann 25.09.18).

### **3.3 Haseldorfer Binnenelbe**

Die Haseldorfer Binnenelbe befindet sich rechtsseitig des Hauptstroms und ist ein relativ schmaler und flacher Nebenarm zwischen Elbe-Km 653 und 660, dessen stromabseitiges Ende (bei km 660) an die Pagensander Nebenelbe anschließt und demgemäß nur eine Öffnung zum Hauptstrom (bei km 653) aufweist (Abbildung 3). Die Haseldorfer Binnenelbe bildete ehemals zusammen mit der Wedeler-Haseldorfer Marsch ein deutlich größeres tidebeeinflusstes Gewässernetz mit Überflutungsraum. Durch die Verlegung der Deichlinie vor die Marsch in den Jahren 1975-1978 wurde das Gebiet deutlich verkleinert und die Haseldorfer Binnenelbe verkürzte sich auf 6 km (BfG 2002b). Die Haseldorfer Binnenelbe wird durch die Elbinseln Drommel, Auberg und Bishorster Sand vom Hauptstrom abgegrenzt. Es besteht eine hohe Strukturvielfalt mit ausgedehnten Wattflächen, Rinnen und Prielen. Allerdings gibt es seit den Eindeichungsmaßnahmen ein hohes Verlandungspotential. Die Rinne im Bereich der stromauf gelegenen Öffnung zur Elbe verläuft in etwa senkrecht zur Hauptströmungsrichtung der Elbe.

### **3.4 Pagensander Nebenelbe**

Die Pagensander Nebenelbe erstreckt sich rechtsseitig des Hauptstroms zwischen Elbe-km 657 und 668 (Abbildung 3) und weist mit über 10 km eine ähnliche Länge wie die Hahnöfer Nebenelbe auf. Gemeinsam mit der Haseldorfer Binnenelbe bildet sie das mit Abstand größte Nebenelben-System der Tideelbe. In die Pagensander Nebenelbe münden zudem die Nebenflüsse Krückau (nördlich) und Pinnau (südlich). Die Insel Pagensand ist eine ehemalige natürliche Sandbank, die durch Aufspülungen in den 1920er - 1940er Jahren um das 5-fache vergrößert wurde (BfG 2002b; Kappenberg und Fanger 2007a). Weitere Aufspülungen fanden im Jahr 1975 im Mittelteil (BfG 2002b) und in den Jahren 1978 - 1980 im Nordteil der Insel statt (Kappenberg und Fanger 2007a; IBP Arbeitsgruppe 2011b). Darüber hinaus wurden ab 1927 Leitdämme errichtet, welche die Strömung auf den Hauptstrom der Elbe konzentrieren (BfG 2002b; Visscher und Wolf 1987). Kappenberg und Fanger (2007a) berichten außerdem von einer Instandsetzung und Erweiterung des Leitdammsystems 1987-1989. Bereichsweise treten in der Pagensander Nebenelbe starke Verlandungstendenzen auf (BfG 2002b), weshalb in einigen Abschnitten, wie z.B. im Bereich Steinloch, Unterhaltungsbaggerungen durchgeführt werden (Entelmann 25.09.18).

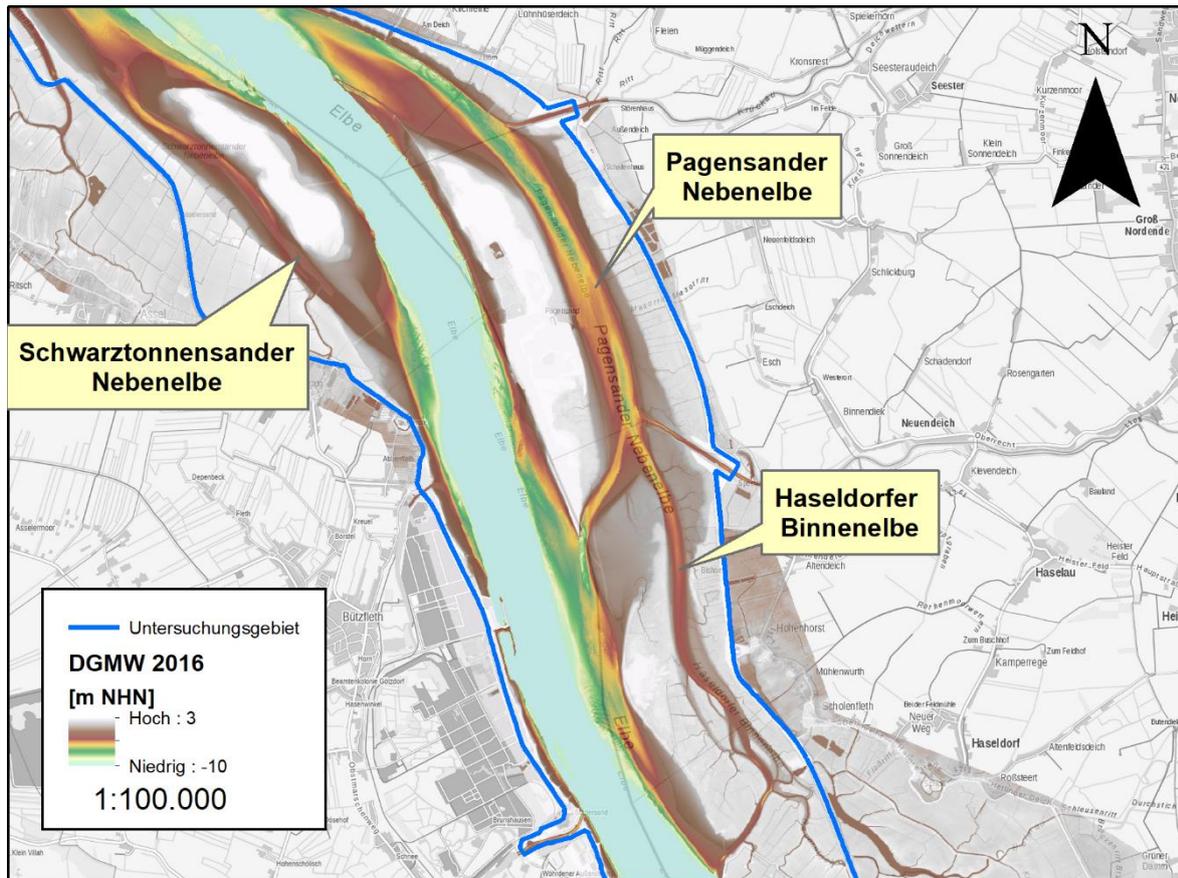


Abbildung 3: Karte der Haseldorfer Binnenelbe und der Pagensander Nebelbe sowie der Schwarztonnensander Nebelbe (Datenquelle DGM-W: WSA HH)

### 3.5 Schwarztonnensander Nebelbe

Die Schwarztonnensander Nebelbe erstreckt sich süd-westlich des Hauptstroms zwischen Elbe-Km 661 und 669. Abbildung 3 zeigt den Verlauf dieser relativ flachen Nebelbe. Ursprünglich umfloss die Schwarztonnensander Nebelbe eine Schlickbank, welche nur bei Niedrigwasser trocken fiel (BfG 2002b). In den Jahren 1968/1969 wurde die Schlickbank Schwarztonnensand im Zuge der Fahrwasservertiefung auf 13,5 m „hochwasserfrei“, d.h. über MThw, aufgespült (BfG 2002b). In der Folge setzte eine starke Verlandungstendenz in der Nebenrinne ein, welche auch heute (noch) festzustellen ist (Entelmann 25.09.18; BfG 2002). Im Rahmen der aktuellen Fahrrinnenanpassung ist geplant eine Rinne mit einer durchgehenden Sohltiefe von NN -3,0 m herzustellen, um die Nebelbe besser an den Hauptstrom anzubinden. Damit sollen bisher trocken fallende Gebiete in ihrem stromauf gelegenen Abschnitt wieder während des gesamten Tidezyklus überflutet werden (WSV 2020).

### 3.6 Glückstädter Nebelbe

Die Glückstädter Nebelbe erstreckt sich rechtsseitig des Hauptstroms zwischen Elbe-km 670 und 680 und verläuft relativ gradlinig neben dem Hauptstrom im Westen mit einer deutlichen Abnahme der Sohlhöhe von Nord nach Süd, d.h. in Flutstromrichtung (Abbildung 4). Die Glückstädter Nebelbe umfließt die Rhinplatte, diese war ursprünglich eine Sandbank vor Glückstadt und wurde dann in den 1950er Jahren aufgespült (Kappenberg und Fanger 2007b; Entelmann 25.09.18). Im Zeitraum 1983-1985 wurden von der Rhinplatte aus Flügeldämme zur Nebelbe errichtet (Kappenberg und Fanger 2007a). Es finden regelmäßige Unterhaltungsbaggerungen am stromauf gelegenen Ende der Nebelbe „aus nautischen Erwägungen heraus“ (Entelmann 25.09.18) statt, wobei sich aktuell aber keine signifikante Verlandungstendenz feststellen lässt.

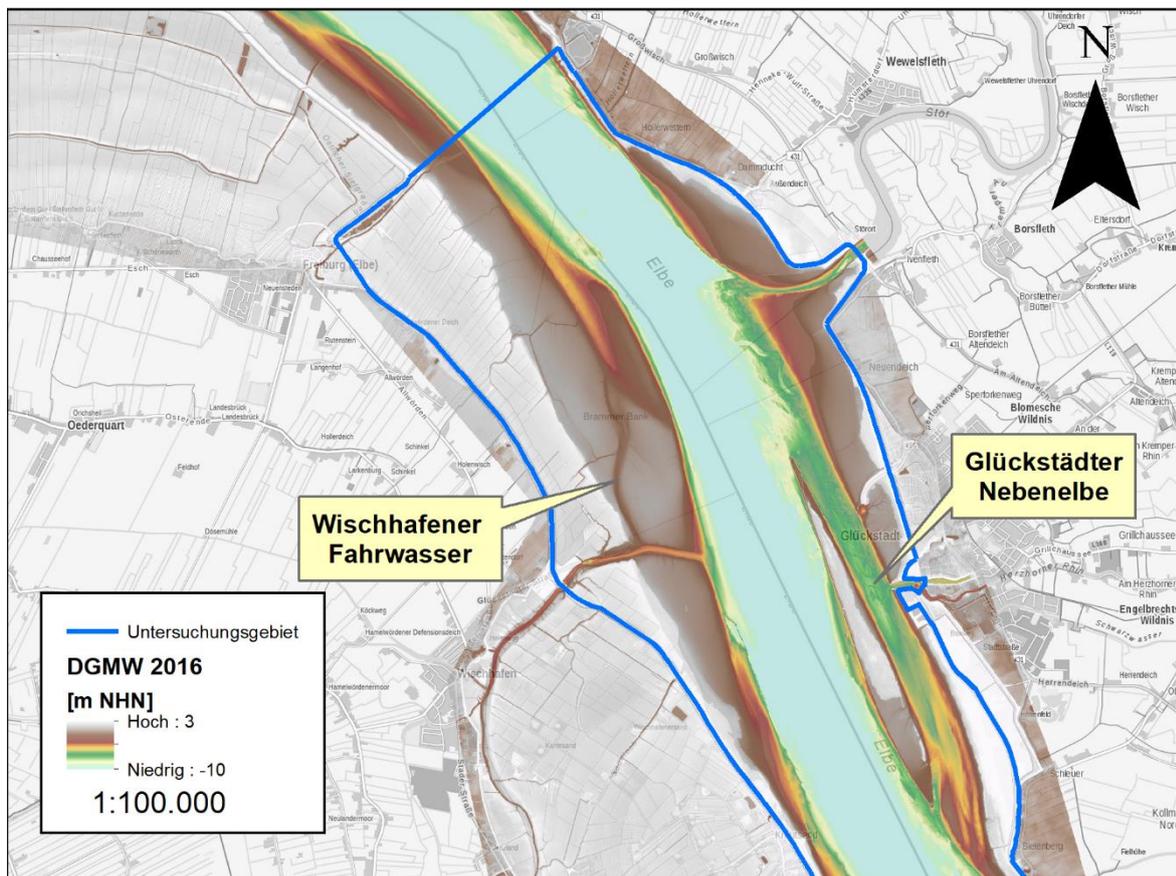


Abbildung 4: Karte der Glückstädter Nebelbe und Wischhafener Fahrwasser (Datenquelle DGM-W: WSA HH)

### 3.7 Wischhafener Fahrwasser

Das Wischhafener Fahrwasser liegt bei Elbe-km 676 linksseitig des Hauptstroms. Abbildung 4 verdeutlicht die gegenwärtige Ausprägung dieses Seitenbereiches. Der Nebenarm, der durch die Wattfläche Brammer Bank vom Fahrwasser abgetrennt ist, ist im DGM-W 2016 (Abbildung 4) kaum noch zu erkennen. Dies ist auf eine kontinuierliche Verlandung in

diesem Bereich zurückzuführen (Entelmann 2019).Gegenwärtig (ab ca. 2016) ist nur noch der im Jahr 1991 hergestellte Wischhafener Durchstich erkennbar, der den Hauptstrom mit der Wischhafener Süderelbe verbindet. Das Wischhafener Fahrwasser ist, wie eingangs angemerkt, keine Nebelbe im eigentlichen Sinne mehr.

#### **4 Stand der Arbeiten nach dem ersten Projektjahr**

Das Vorhaben ist in fünf Arbeitspakete untergliedert. Der Zeit- und Arbeitsplan sowie die Meilensteine und Produkte sind in

Tabelle 3 dargestellt. Gemäß Plan wurden im ersten Projektjahr die Arbeitspakete 1.1 „Konzeption“, 1.2 „Bestandsdaten“, 1.3 „Datenqualität“ und 2.2 „Fächerlotpeilungen“ bearbeitet. Darüber hinaus wurden Arbeiten aus AP 2.3 und AP 3.1 vorgezogen. Die für das erste Jahr vorgesehenen Arbeiten in AP 1.1, 1.2 und 2.2 wurden gemäß Plan weitgehend abgeschlossen. Der erste Meilenstein MS1 „Konzeption des Vorhabens abgeschlossen“ wurde wie geplant erreicht. Das daraus resultierende Produkt P1, der „Bericht zur Konzeption“, wurde fertiggestellt und bildet den Abschnitt 2 dieses Berichts.

Das AP 1.3 „Datenqualität“ wurde nicht abschließend bearbeitet, da sich im Laufe der Arbeiten herausgestellt hat, dass zu diesem Zeitpunkt im Vorhaben kein sinnvoller Abschluss möglich ist. Hierzu bedarf es noch weiterer Informationen und Erkenntnisse, die erst im weiteren Verlauf des Vorhabens in ausreichendem Umfang (u.a. Erkenntnisse aus den Messungen) verfügbar sein werden. Die Verlängerung der Arbeiten in AP 3 wurde im Rahmen der Arbeitstreffen diskutiert und beschlossen. Dementsprechend wird auch das Produkt P2 „Kriterienkatalog für die bathymetrische Vermessung und anschließende Datenaufbereitung“ im Zeitplan nach hinten geschoben.

In der Gesamtbetrachtung der Zeit- und Arbeitsplanung gleichen die vorgezogenen Arbeiten aus AP 2.3 und AP 3.1 die Verzögerungen der Arbeiten in AP 1.3 aus. Der Zeitplan ist eingehalten.



## **4.1 AP 1 Grundlagen und Konzeption**

### **4.1.1 AP 1.1 Konzeption**

Im Rahmen der Konzeption erfolgt die konkrete Ausgestaltung des Vorhabens, d.h. die Verfeinerung der Zielsetzung und die Planung der konkret umzusetzenden Arbeiten zur Erreichung der Zielsetzung unter Berücksichtigung der gestellten Anforderungen. Das in der Vorhabenbeschreibung / im Kooperationsvertrag dargestellte Grundgerüst der Konzeption wird übernommen und unter Berücksichtigung unterschiedlicher Aspekte weiter ausgebaut. Zum einen sind vom WSA Hamburg spezifizierte und im Rahmen des Forums Tideelbe diskutierte Anforderungen eingeflossen, die im Kern auf dem Leitgedanken der Vereinbarkeit von Strombau und Naturschutz basieren. Details wurden im Rahmen der Projektbesprechungen im ersten Projektjahr ermittelt und festgelegt. Zum anderen sind die Ergebnisse der in der ersten Projektphase durchgeführten Analysen des Schrifttums und der Bestandsdaten sowie die Erkenntnisse aus den durchgeführten Messungen in die Konzeption eingeflossen. Die Konzeption des Vorhabens (Meilenstein 1 in Form des Produkts P1) ist in Abschnitt 2 eingehend beschrieben.

### **4.1.2 AP 1.2 Stand des Wissens und Bestandsdaten**

#### ***Stand des Wissens***

Für die Ableitung bzw. Darstellung des gegenwärtigen Wissensstands zu den Nebelnelben wurde nach relevanter Literatur recherchiert. Diese teilweise unveröffentlichte Literatur bildet zusammen mit den verfügbaren Daten den Stand des Wissens. Die gefundene Literatur umfasst Veröffentlichungen, Berichte und Vorträge in denen i) Nebelnelben explizit erwähnt werden, ii) auf Untersuchungen zu Aspekten im Bereich der Nebelnelben Bezug genommen wird und iii) auf die Entwicklung sowie auf Eingriffe in die Nebelnelben eingegangen wird. Tabelle 4 gibt einen Überblick über das identifizierte Schrifttum. Zum gegenwärtigen Stand der Literaturrecherche ist keine veröffentlichte Arbeit bekannt, die explizit die Nebelnelben bzw. das System der Nebelnelben in ihrer Gesamtheit sowie die Entwicklung und Bedeutung umfassend für die Tideelbe darstellt und beschreibt. Im Wesentlichen existieren Arbeiten, in denen Untersuchungen zu bestimmten Aspekten für (einzelne) Nebelnelben beschrieben werden. Zudem wird, insbesondere in (Fach-) Berichten, auf die Bedeutung von Nebelnelben im Kontext übergreifender Themen und Fragestellungen eingegangen. Es existieren nur wenige wissenschaftliche Veröffentlichungen. In Abstimmung mit dem WSA HH werden demgemäß auch Vorträge und Berichte („graue Literatur“) in die Literaturrecherche und Zusammenstellung einbezogen.

Tabelle 4: Übersicht über zusammengestellte Literatur zu den Nebelben. Die als besonders relevant eingestufte Literatur ist hervorgehoben.

Jahr	Autor	Titel	Referenz
Wissenschaftliche Artikel			
2008	Boehlich und Strotmann	The Elbe Estuary	(Boehlich und Strotmann 2008)
1995	Marnitz	Über den Einfluss baulicher Verminderungen in der Elbe auf die Morphologie im Gebiet Hahnöfer Nebelbe / Mühlenberger Loch	(Marnitz 1995)
1993	Lange	Veränderung der Morphologie von Nebelben (1970-1980)	(Lange 1993)
1987	Visscher und Wolf	Untersuchungen im hydraulischen Modell über die zweckmäßige Linienführung und Höhe des Leitdammsystems "Pagensand Nord" in der Untereibe (BAW)	(Visscher und Wolf 1987)
1987	Samu	Geomorphologische Untersuchungen im Bereich der Brammerbank und des Krautsander Watts in der Untereibe	(Samu 1987)
Berichte			
2019	DHI	Maßnahmen zur Gewinnung von Flutraum in der Haseldorfer Marsch - Beratung und numerische Modellierung	(DHI 2019)
2014	BfG	BfG-Bericht 1763 Sedimentmanagement Tideelbe -Strategien und Potenziale -Systemstudie II	(BfG 2014)
2013	WSA HH	Gewässerkundlicher Bericht Morphologische Strukturen im Fahrrinnenbereich der Tideelbe – Ein Beitrag zum Reviersteckbrief Tideelbe –	(Entelmann und Qrefa-Sander 2013)
2013	FGG Elbe	Sedimentmanagementkonzept der FGG Elbe	(FGG Elbe 2013)

2011	<b>IBP Arbeitsgruppe</b>	<b>Integrierter Bewirtschaftungsplan für das Elbeästuar.(IBP)</b>	<b>(IBP Arbeitsgruppe 2011b, 2011c, 2011a)</b>
2008	<b>HPA und WSA HH</b>	<b>Strombau-und Sedimentmanagementkonzept (SSMK) für die Tideelbe</b>	<b>(HPA und WSA HH 2008)</b>
2008	BfG	BfG-Bericht 1584: WSV-Sedimentmanagement Tideelbe – eine Systemstudie	(BfG 2008)
2007	GKSS	Sedimenttransportgeschehen in der tidebeeinflussten Elbe, der Deutschen Bucht und in der Nordsee	(GKSS 2007)
2006	BfG	BfG-Bericht 1523: Die Elbevertiefung 1999	(BfG 2008)
2002	<b>BfG</b>	<b>Untersuchung des ökologischen Entwicklungspotenzials der Unter- und Außenelbe (Ökologische Potenzialanalyse)</b>	<b>(BfG 2002a, 2002b)</b>
Vorträge			
2019	Entelmann (WSA HH)	Entwicklung Wischhafener Fahrwasser / Brammer Bank	(Entelmann 2019)
2019	Entelmann (WSA HH)	Hydrologie und Morphologie der Nebelben - Stand des Wissens und Wissensdefizite	(Entelmann 12.02.19a)
2019	Entelmann (WSA HH)	Modellstudien Pagensander Nebelben - Grundlegende Betrachtung und weiteres Vorgehen	(Entelmann 12.02.19b)
2018	Entelmann (WSA HH)	Gesamtüberblick Nebelben aus WSV-Sicht	(Entelmann 25.09.18)
1995	Fräßdorf	Morphologische Veränderungen der Nebelben von ca. 1950 bis 1995	(Fräßdorf 1995)
2012	Rahlf und Schuchardt	Zur ökologischen Funktion von Nebenrinnen in den inneren norddeutschen Ästuaren	(Schuchardt und Rahlf H.: 2012)

**Recherche und Aufbereitung von Bestandsdaten**

Im Rahmen des Vorhabens wurden umfangreiche Daten durch das WSA HH direkt an das Institut für Wasserbau für die Verwendung im Projekt übergeben. Die Daten wurden gesichtet und zur weiteren Nutzung im Vorhaben aufbereitet. Tabelle 5 gibt eine Übersicht über die übergebenen Daten.

Tabelle 5: Übersicht über die vom WSA HH im Rahmen des Vorhabens bereitgestellten Daten

Bezeichnung	Datenname/ Datei	Übergabedatum	Geplante Verwendung
Sedimentkataster	Sedimentkatas- ter_1992_2018V.xls  Anl1_Parametertabelle.pdf	10.06.19	Zus. Information / Quali- tative Auswertung (AP 1: Beschreibung der Ent- wicklung)
Strömungsdaten	Nebeneiben_2006.zip  GEW-JAHRESMESS- PROGRAMM_2006_An- lage.pdf  Übersicht_Strömungsmes- sungen_Bereich_Pa- gensand.pdf	11.- 14.06.19	Modellierung (AP 3)
Baumaßnahmen	elbe_baumassnah- men.mdb  bauerke_hh1.pd  bauerke_hh2.pdf	17.06.19	Zus. Information
<u>Geodaten (GIS)</u>  Basisdaten          DGM-W	Elbe_Fahrrinnen-km.shp Fahrrinne_1_Elbvertie- fung_1999.shp   DGMW2010.gdb DGMW2016.gdb   Map 1900, 1950, 1995,2010 (<...>.shp)	17.06.19	Zus. Information       Quantitative Auswertung (AP 1.3: Datengenauig- keit) sowie Modellierung (AP3: Modellaufbau) → Vgl. Abbildung 6

Morphozonen/ Habitate/ Vegetation			Qualitative Auswertung (AP 1: Stand des Wissens: Beschreibung der Entwicklung)
Datenquellenkarte	DGMWGREN.gdb Elbe_2015-16_Abschlussbericht_V1.1.pdf	24.06.19	Quantitative Auswertung (AP 1.3: Datengenauigkeit)
Hauptpeilung & Vegetation	PeilungPN2015.zip VegetationEI2016.zip Kartier-Codes_Elbe_2017_nature-consult.pdf		Quantitative Auswertung (AP 1.3: Datengenauigkeit)

Mit dieser Datengrundlage aus Ausgangslage wurde nach weiteren verfügbaren Daten recherchiert. Folgende Quellen (Institution mit Kontaktperson sowie Internetquellen) wurden dabei berücksichtigt:

- Institutionen:
  - Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume, (LLUR) einschließlich Landesbetrieb für Küstenschutz, Nationalpark und Meeresschutz Schleswig-Holstein (LKN)
    - Dezernat 42 - Hydrologie; Geographische Informationssysteme  
 Dezernatsleiter: Ramon Hiemcke  
 Tel.: 04347 704-454  
 E-Mail: [ramon.hiemcke@llur.landsh.de](mailto:ramon.hiemcke@llur.landsh.de)
    - Integrierte Station Unterelbe  
 Edelgard Heim  
 Hauptstraße 26  
 25489 Haseldorf  
 Telefon: 04129 95549 -0  
[edelgard.heim@llur.landsh.de](mailto:edelgard.heim@llur.landsh.de)
  - Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (NLWKN),
    - Betriebsstelle Lüneburg

GB III Gewässerbewirtschaftung und Flussgebietsmanagement

Dezernentin: Frauke Köhne

Adolph-Kolping-Str. 6 \* 21337 Lüneburg

Tel.: 04131/8545-244

[frauke.koehne@nlwkn-lg.niedersachsen.de](mailto:frauke.koehne@nlwkn-lg.niedersachsen.de)

- Betriebsstelle Stade -

Geschäftsbereich III Gewässerbewirtschaftung und Flussgebietsmanagement

Geschäftsbereichsleiter: Bernhard Schürmann

Harsefelder Straße 2, 21680 Stade

Tel.: 04141 601-252

- Internetquellen/ Datensätze/ Produkte aus Forschungsprojekten:
  - Aufbau von integrierten Modellsystemen zur Analyse der langfristigen Morphodynamik in der Deutschen Bucht (AufMod: Heyer und Schrottke 2013); Vgl. Abbildung 5
    - <http://www.kfki.de/de/projekte/aufmod>
    - <ftp://ftp.bsh.de/outgoing/AufMod-Data>
  - Erstellung anwendungsorientierter synoptischer Referenzdaten zur Geomorphologie, Sedimentologie und Hydrodynamik in der Deutschen Bucht (EasyGSH); Interner Austausch IWB
    - <https://www.tuhh.de/wb/forschung/aktuelle-projekte/easygsh.html>
    - <http://mdi-de.baw.de/easygsh/index.html>
  - Zentrales Datenmanagement (ZDM) Küstendaten
    - Tideelbe
      - [https://www.kuestendaten.de/Tideelbe/DE/Startseite/Startseite\\_Portal\\_Tideelbe\\_node.html](https://www.kuestendaten.de/Tideelbe/DE/Startseite/Startseite_Portal_Tideelbe_node.html)
      - [https://www.kuestendaten.de/Tideelbe/DE/Service/Kartenthemen/Kartenthemen\\_node.html](https://www.kuestendaten.de/Tideelbe/DE/Service/Kartenthemen/Kartenthemen_node.html)

Aus den Rückmeldungen der per Email und telefonisch angefragten Institutionen kann zusammenfassend geschlossen werden, dass neben den vom WSA HH übergebenen Daten keine weiteren Daten existieren.

Die Sichtung der übrigen potentiellen Datenquellen (Forschungsvorhaben AufMod und EasyGSH) ergibt ebenfalls gegenwärtig keine zusätzlichen Daten oder Informationen für

den betrachteten Untersuchungsraum. Ein interessanter Aspekt ist jedoch hervorzuheben: Im Rahmen des Vorhabens AufMod wurden ebenfalls bathymetrische Daten ausgewertet. Hier ist vor allem die verwendete Methodik interessant im Hinblick auf die im Vorhaben Nebenebenen angestrebte Bewertung der Aussagekraft verfügbarer Daten. Der im Rahmen von AufMod ermittelte Datensatz des Parameters „Confidence“ (Abbildung 5) liegt jedoch leider nicht für das Untersuchungsgebiet vor. Die Methodik könnte allerdings durchaus als Vorbild/Beispiel für die geplanten Auswertungen im Projekt herangezogen werden.

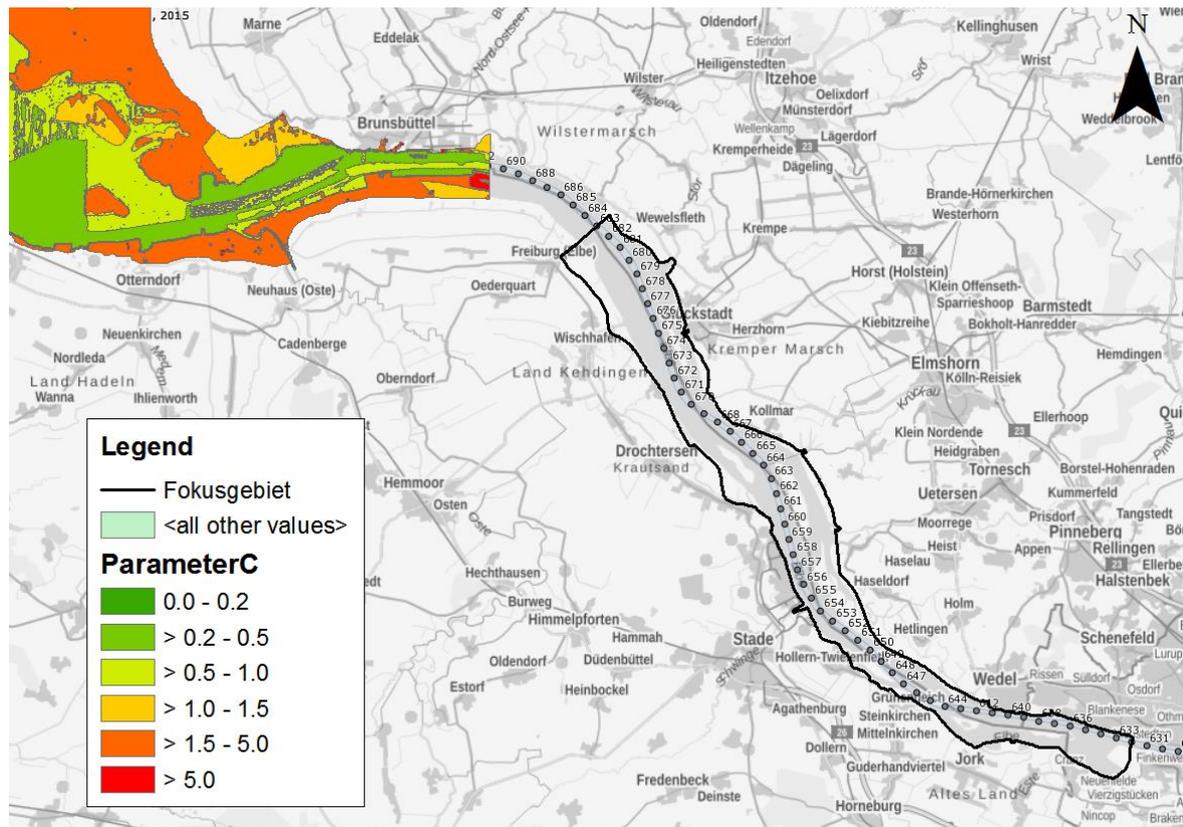


Abbildung 5: Abdeckung Bereich Tideelbe bzgl. des Datensatz für Parameter "Confidence" (Jahr 2012, Produkt des Projektes AufMod). „[...] Der Parameter Confidence [m] gibt die Vertrauenswürdigkeit der modellierten Bathymetrien an. Ausgehend von der Messgenauigkeit der zugrundeliegenden Vermessungsdaten (durchschnittlich +/- 20 cm) steigt die Confidence der interpolierten Daten mit zeitlicher und räumlicher Entfernung zum Messpunkt an. Niedrige Werte zeigen demnach eine hohe Vertrauenswürdigkeit der Modelldaten an, hohe Werte eine geringere.“ (Daten: Quelle AufMod)

Das Ergebnis der Datenrecherche zeigt, dass die als für die zu untersuchenden Fragestellungen im Projekt als relevant anzusehenden Daten bereits vom WSA HH übergebenen wurden. Diese sind im Wesentlichen identisch mit den unter den unter „Küstendaten“ (ZDM) verfügbaren Daten bzw. sind sogar teilweise weiter aufbereitet und umfassen bereits alle für das Projekt als relevant anzusehenden Daten in diesem Kontext.

Sollten im weiteren Projektverlauf weitere Bestandsdaten identifiziert werden, werden diese natürlich in die Untersuchungen einbezogen. Dasselbe gilt für die durch das IWB erhobenen Daten aus Peilungen oder sonstigen Messungen.



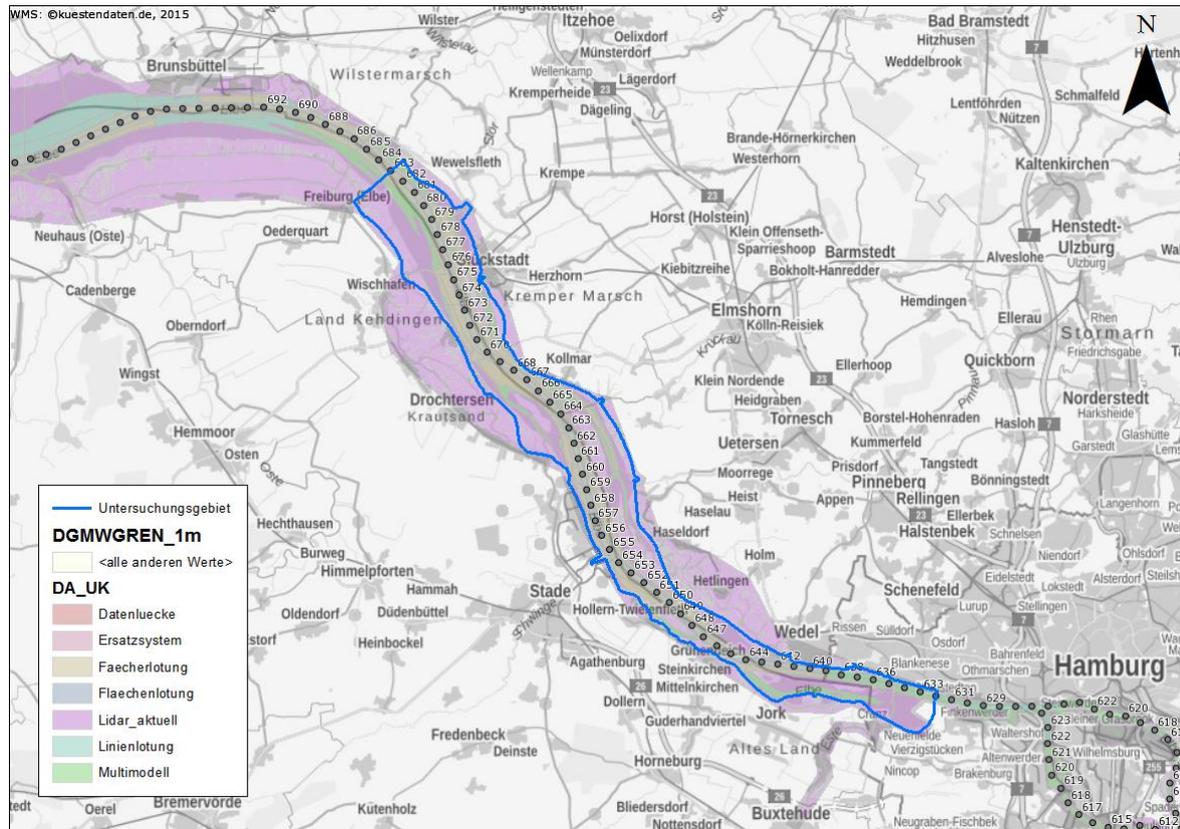


Abbildung 7: Datenquellenkarte des DGM-W 2016 (ARGE smile consult 2018) für Tideelbe mit Untersuchungsgebiet als Referenz

Im Folgenden wird das DGM-W 2016 für die Bereiche der Nebelnelben ausgewertet. Abbildung 8 und Abbildung 9 zeigen exemplarisch die Datenquellenkarte für die Pagensander und die Hahnöfer Nebelnelbe. Es wird deutlich, dass hier im Wesentlichen Daten aus Laserscan-Befliegungen (Wattbereiche und Vorland) und aus dem sogenannten „Multimodell“ (nicht trockenfallende Bereiche) verwendet wurden. Die Daten des Multimodells basieren im Wesentlichen auf interpolierten Linienpeilungen. Das Verfahren wird WSV-intern durchgeführt. Eine Ausnahme stellt die Pagensander NE dar, für die im Bereich der Rinne auch Fächerlotdaten vorliegen. Für alle andern Nebelnelben gilt, dass auch die tieferen Rinnen und Seitenarme durch die Daten des Multimodells abgedeckt sind, während für die trockenfallenden Flächen LIDAR Daten vorliegen.

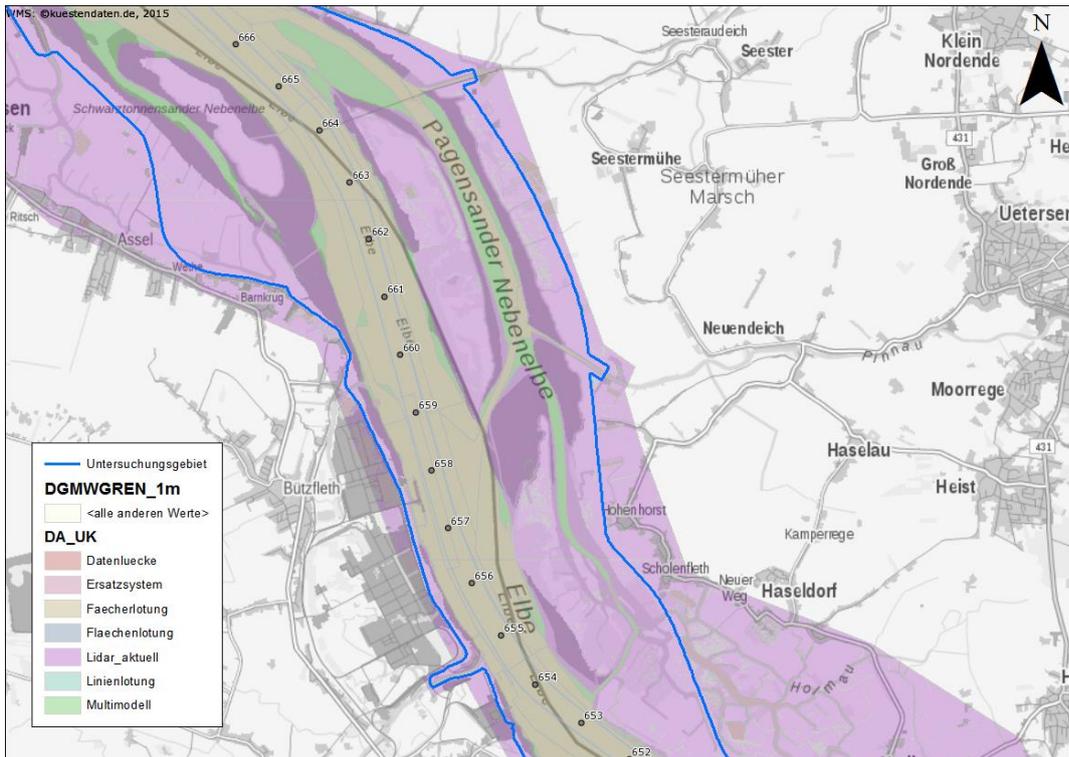


Abbildung 8: Ausschnitt des Bereiches Hahnöfer NE aus Datenquellenkarte für das DGM-W 2016

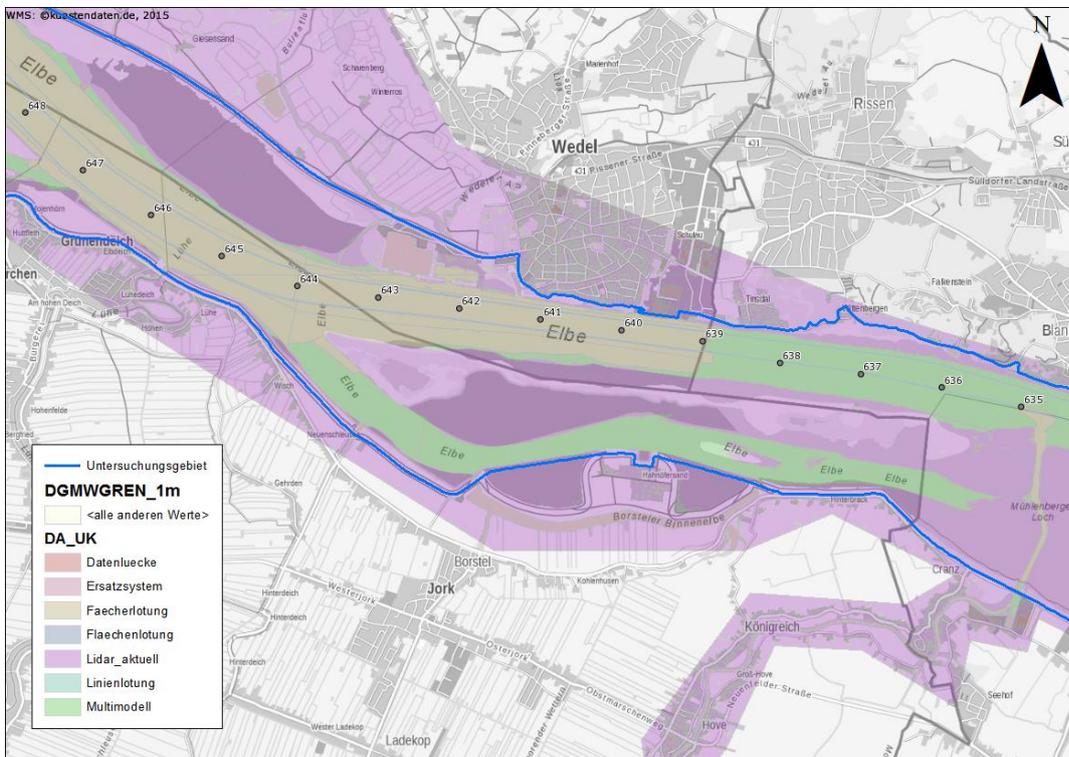


Abbildung 9: Ausschnitt des Bereiches Pagensander NE aus Datenquellenkarte für das DGM-W 2016

Die Analyse von morphologischen Veränderungen erfolgt auf der Grundlage einer Differenzenbildung. In Abbildung 10 auf Seite 41 ist beispielhaft die Differenz zwischen DGM-W 2016 und DGM-W 2010 für den Bereich der Pagensander NE dargestellt. Zusätzlich liefert Abbildung 11 die Informationen zu den Datenquellen. Es wird deutlich, dass sich die Bereiche mit unterschiedlichen Datenquellen in der Differenzendarstellung ausprägen und Inkonsistenzen hervorbringen. Übergänge zwischen Bereichen mit unterschiedlicher Entwicklung (Auflandung und Erosion) sowie Unstetigkeiten in den Differenzen fallen mit den Grenzen der entsprechenden Datensätze unterschiedlicher Quellen zusammen. Dieser auffällige Aspekt ist bei der Analyse und Interpretation der Ergebnisse zu berücksichtigen. Dazu sollte zunächst ein Blick auf die Ursachen für die festgestellten Abweichungen geworfen werden. Grundsätzlich sind folgende Ursachen denkbar:

1. Es liegen tatsächlich morphologische Änderungen vor

Da die Messungen nicht alle zeitgleich stattfinden – das gilt insbesondere für die Aufnahmen mit unterschiedlichen Messverfahren – kann es sein, dass im Zeitraum zwischen den Messungen Änderungen der Morphologie stattgefunden haben. Das können entweder natürliche Änderungen sein oder anthropogen verursachte Änderungen, z.B. Baggerungen.

2. Bereiche in unterschiedlichen Tiefen entwickeln sich unterschiedlich

Ein gutes Beispiel sind hier die Wattflächen, die i.d.R. per LIDAR vermessen werden. Aufgrund der geringen Strömungsgeschwindigkeiten tendieren diese eher zur Verlandung als die räumlich nahegelegenen tieferen Rinnen, die eine höhere Strömungsdynamik aufweisen und in der Regel per Peilung vermessen wurden. Dementsprechend wären gegenläufige Trends in beiden Bereichen erklärbar.

3. Erfassungsgenauigkeit der Messverfahren

Die eingesetzten Messverfahren, z.B. LIDAR oder Peilung, haben unterschiedliche Genauigkeiten bei der Erfassung der Höhen. Für das DGM-W 2016 sind die Erfassungsgenauigkeiten für die genannten Messverfahren angegeben (Tabelle 6). Diese variieren u.a. in Abhängigkeit des Untergrunds (z.B. Bewuchs oder kein Bewuchs, sandiges Sohls substrat oder Schlick). In der Regel werden die tiefergelegenen Wattflächen mit beiden Verfahren erfasst (Peilung um Thw, Befliegung um Tnw). Aufgrund der unterschiedlichen Erfassungsgenauigkeiten der beiden Messverfahren können somit unterschiedliche Höhen resultieren.

Tabelle 6: Erfassungsgenauigkeiten für Messverfahren, Quelle: Metadaten zum DGM-W 2016, [https://www.kuestendaten.de/media/zdm/portaltideelbe/Allgemeine\\_Informationen/Archiv/GIS/DGM-W\\_Unterelbe\\_2016\\_1x1m/Metadaten\\_DGM-W\\_2016\\_ETRS89UTM32N.pdf](https://www.kuestendaten.de/media/zdm/portaltideelbe/Allgemeine_Informationen/Archiv/GIS/DGM-W_Unterelbe_2016_1x1m/Metadaten_DGM-W_2016_ETRS89UTM32N.pdf), abgerufen am 10.06.2020)

Messverfahren	Erfassungsgenauigkeit
LIDAR	± 0,15 m (bei geringer Geländerauhigkeit) ± 0,40 m (bei hoher Geländerauhigkeit)
Peildaten	± 0,20 m

#### 4. Räumliche Zuordnung der Messverfahren

Die räumliche Zuordnung der Messverfahren zu einzelnen Bereichen steht größtenteils fest (tiefergelegene Bereiche werden gepilt, höhergelegene Bereiche werden befliegen). Gerade in den Übergangsbereichen, d.h. in den unteren Wattbereichen kann es aber zu Verschiebungen kommen. Das fällt insbesondere dann für einen Bereich ins Gewicht, wenn bei einem DGM die Daten mit der einen Methode (z.B. Linienlot, Multimodell) und bei dem anderen DGM die Daten mit einer anderen Methode (z.B. LIDAR) erhoben wurden. Letztere ermöglicht aufgrund der höheren Datendichte einen höheren Detaillierungsgrad im DGM-W. Allein durch diese Tatsache können bei der Differenzenbildung Auffälligkeiten entstehen.

#### 5. Aufbereitung der Messdaten

Die erhobenen Messdaten werden aufbereitet, d.h. plausibilisiert und um Ausreißer bereinigt. In Abhängigkeit der angewendeten Methodik und der Strenge der Kriterien bei der Filterung werden mehr oder weniger Einzelwerte entfernt. Dabei spielen vor allem die Untergrundverhältnisse eine Rolle, die je nach Zustand eine größere (Bewuchs, Wasserlachen, weicher Untergrund,...) oder kleinere Streuung (ebene regelmäßige Fläche, harter Untergrund) der Messdaten bedingen.

#### 6. Erzeugung des DGM-W

Die aufbereiteten Rohdaten werden schließlich zu einem digitalen Geländemodell interpoliert. Wie der Name „Modell“ bereits impliziert, werden Vereinfachungen vorgenommen. Vereinfachungen sind beispielsweise die Vorgabe einer Rasterzellenweite mit Raster-Stützstellen sowie das Interpolationsverfahren, das auf die aufbereiteten Messdaten angewendet wird. Bei Daten aus einer Fächerlotung oder eine Laserscan-Befliegung stehen meist mehrere Punkte pro Rasterzelle zur Verfügung. Hier kann die Wahl der Interpolationsmethode Einfluss auf den ermittelten Wert haben (z.B. Mittelwert, Median, oberes Quantil, unteres Quantil,...). Bei Linienlotungen liegen Messdaten nur in vergleichsweise (im Vergleich zu Rasterzellenweite des

DGM) großen Abständen vor. Die Zwischenräume werden durch Interpolation geschlossen. Mögliche vorhandene Abweichungen der Höhen in diesen Bereich, z.B. aus Geometrieänderungen, Sohlstrukturen,...) sind nicht im Modell enthalten. Somit ergibt sich hier im Vergleich zu den flächenhaft vermessenen Bereichen eine weit- aus größere Ungenauigkeit, die bislang noch nicht quantifiziert wurde.

Im Rahmen der Erstellung des DGM-Ws wurden die Daten plausibilisiert. In der Dokumentation wird insbesondere der Übergang zwischen Daten aus Peilung und Befliegung für einige Bereiche als nicht konsistent beschrieben (ARGE smile consult 2018, Anlage 4.3, 1.18, S.14/20 ; 1.13, S.28/40). Für einige Abschnitte treten Abweichungen in der Größen- ordnung einiger Dezimeter bis über einem Meter zwischen den Datensätzen auf. In Bezug auf die quantitative Beschreibung der großräumigen morphologischen Änderungen (Hö- hen- und Volumendifferenzen) wird diesen Abweichungen aber eine untergeordnete Rolle beigemessen, da diese nur die Übergangsbereiche betreffen und demgemäß vom Umfang her nur einen geringen Teil der Gesamtfläche ausmachen. Inwieweit diese Aussage auch für Analysen kleinräumiger Änderungen, wie z.B. im Bereich der Nebelnelben, zutrifft, in denen es viele Übergangsbereiche gibt, ist im Weiteren zu prüfen.

In der Dokumentation zum DGM-W wird die Erfassungsgenauigkeit innerhalb eines Daten- setzes als maßgebend angesehen. Grundsätzlich ist es demgemäß sinnvoll, insbesondere bei der quantitativen Betrachtung der morphologischen Entwicklung die entsprechenden Datenquellenzugehörigkeit bzw. deren Übergänge zu berücksichtigen, da sich diese im Ge- ländemodell ausprägen.

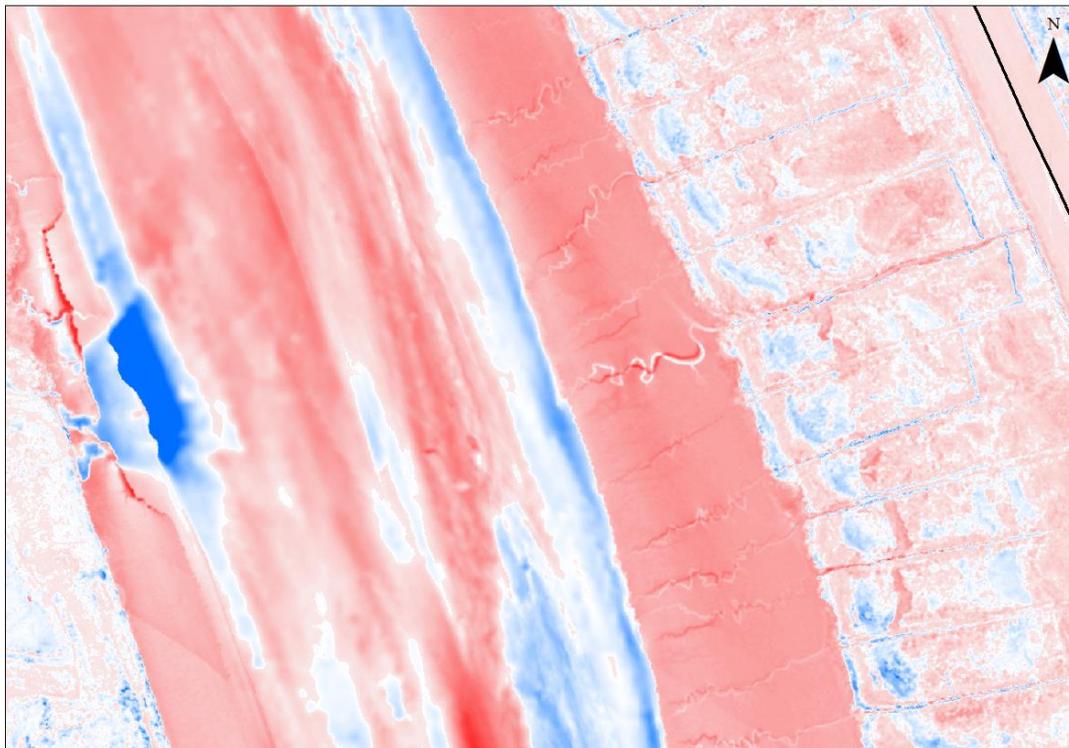


Abbildung 10: Exemplarische Darstellung der Höhendifferenz ( $\pm 1$  m) des DGM-W 2016 zu DGM-W 2010 für einen Ausschnitt in der Mitte der Pagensander NE

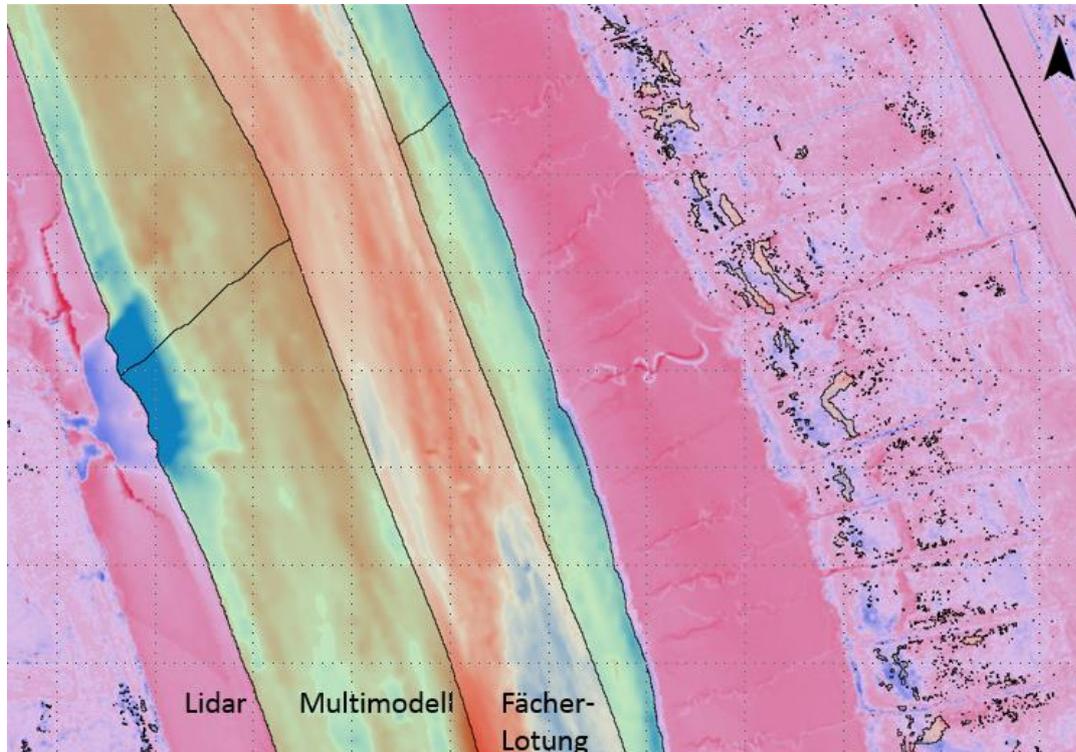


Abbildung 11: Exemplarische Darstellung der Datenquellen gemäß Datenquellenkarte DGM-W 2016 für

Auf das Vorhaben Nebelnelben bezogen lässt sich zusammenfassend sagen, dass in einem nächsten Schritt die DGM-W anhand der verfügbaren Informationen auf folgende Aspekte hin zu untersuchen sind, um verbesserte, differenziertere Aussagen zur morphologischen Entwicklung der Nebelnelben zu erhalten.

- Zugrunde liegende Datenquelle/ Vermessungsverfahren
  - Zeitliche Referenz
  - Räumliche Auflösung / Tatsächliche Messdatenpunkte
  - Messgenauigkeit
- Aufbereitung der Daten
  - Einbezogene Daten
  - Filterung
  - Auflösung
  - Korrekturen
- Erstellung/ Verwendung im Geländemodell
  - Interpolation

- Verschneidung mit anderen Daten
- Art der Zusammenstellung/ Einbezug

#### 4.1.3 AP 1.3 Datenqualität

##### ***Beschreibung der Entwicklung der Messtechnik mit Fokus auf die Genauigkeit von Messverfahren***

Um unabhängig vom Vorliegen von Metadaten für Vermessungsdatensätze grundsätzliche Angaben zur Größenordnung der Erfassungsgenauigkeit bei der bathymetrischen Vermessung treffen zu können, sind Kenntnisse über die jeweils eingesetzte Messtechnik hilfreich. Im Rahmen einer Literaturstudie werden Dokumente zur Entwicklung der (historischen) Messtechnik im Hinblick auf die zum jeweiligen Zeitpunkt verfügbaren und üblicherweise eingesetzten Messverfahren (Stand der Technik), deren erzielbare Messgenauigkeit, Auflösung und räumlichen Abdeckung zusammengestellt und ausgewertet. Insbesondere für ältere und historische bathymetrische Daten/Karten, für die keine Angaben zur Vermessung mehr vorliegen, kann so eine grundlegende Abschätzung der zu erwartenden Datenqualität und Genauigkeit erfolgen.

##### ***Untersuchungen und Versuche zur Ermittlung der tatsächlichen Messunsicherheit bei der bathymetrischen Vermessung***

###### **Theoretische Aufarbeitung der Messunsicherheiten**

Abbildung 12 gibt einen Überblick über einzelne Einflussfaktoren auf die Gesamt-Messunsicherheit bezogen auf ein Messsystem. Grundsätzlich ist zu unterscheiden zwischen A) zufälligen Abweichungen; B) systematischen Abweichungen sowie C) Störeinflüssen. Formal ist die Kategorie C) der Kategorie B) zuzuordnen. Beide wären im Rahmen einer statistischen Auswertung von Messdaten mit dem Ziel der Ermittlung der (statistischen) Messgenauigkeit (A) grundsätzlich auszuschließen. Da bei der praktischen Durchführung aber einige der systematischen Abweichungen (z.B. durch Kalibrierung und Berücksichtigung von Offsets) grundsätzlich in das Messverfahren einbezogen und unmittelbar während (z.B. Rollausgleich) oder nach der Messung bei der anschließenden Korrektur (z.B. Schallgeschwindigkeitskorrektur) standardmäßig berücksichtigt werden, ist dies für ungeplante Störeinflüsse bzw. falsche Annahmen („grobe Fehler“) nicht der Fall. Insofern ist eine Differenzierung zwischen C und B für den praktischen standardmäßigen Ablauf der Datenerhebung und Korrektur sinnvoll. Zur Abschätzung der möglichen Größenordnung der Fehler, die durch systematische Abweichungen – bei keiner bzw. falscher Korrektur – für verschiedene Einflussgrößen (Abweichung des Einbauwinkels im Boot oder Salzgehalt und Temperatur des Gewässers, etc.) auftreten können, wird eine Sensitivitätsanalyse zur Einordnung der Bedeutung verschiedener Einflussfaktoren durchgeführt.

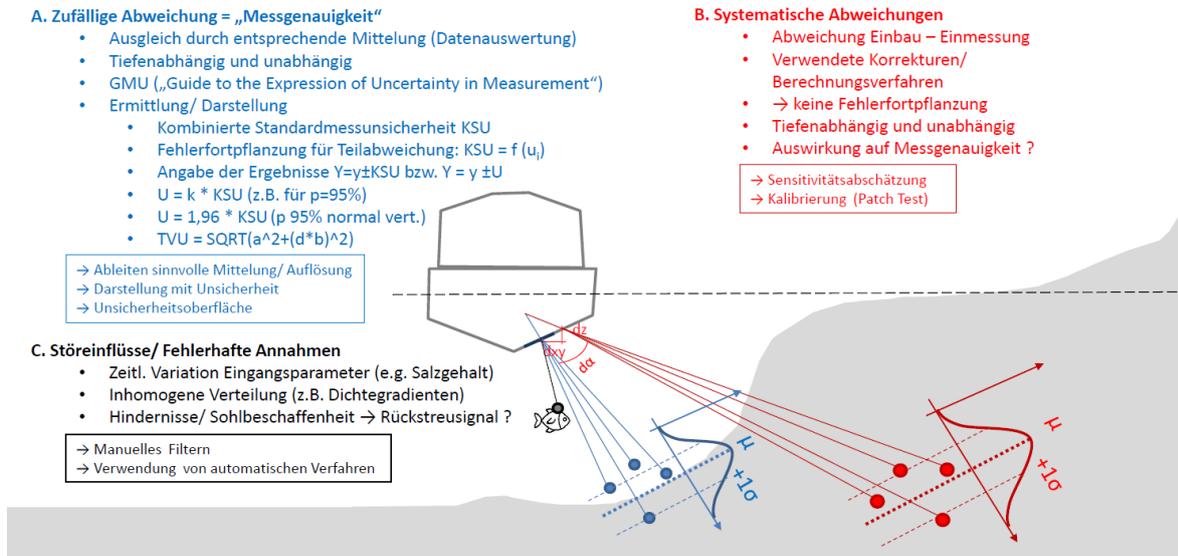


Abbildung 12: Skizze zur Zusammensetzung der Messabweichungen

Zur Angabe der zufälligen Abweichungen (Messgenauigkeit) wird die Gesamtunsicherheit aus der kombinierten Standardmessunsicherheit (KSU) für einen bestimmten Grad des Vertrauens (GdV) exemplarisch für das eingesetzte Messsystem ermittelt. Dazu werden positions- (THU) und tiefenabhängige Abweichungen (TVU) unterschieden. Die Gesamtunsicherheit kann mittels Fehlerfortpflanzung einzelner Messkomponenten mit Teilunsicherheiten abgeleitet werden. Abbildung 12 zeigt exemplarisch die Fehlerfortpflanzung für die Komponenten und Teilunsicherheiten des verwendeten Fächerecholotsystem (Seabeam SB1185) für den gegenwärtigen Projektstand.

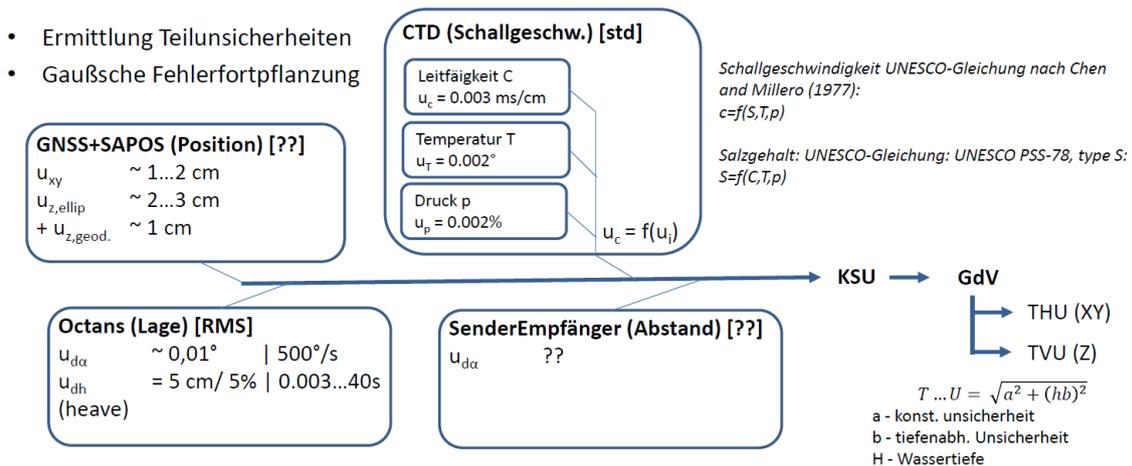


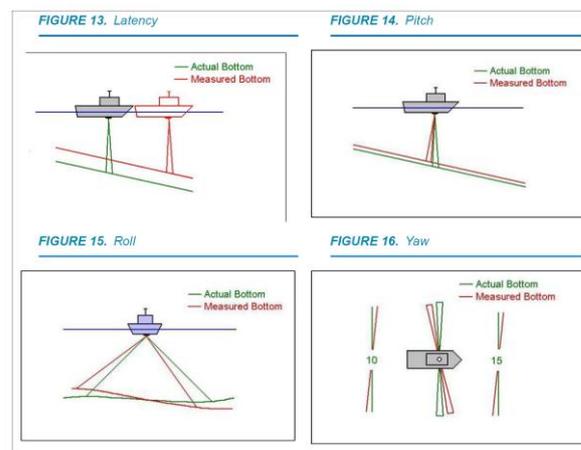
Abbildung 13: Korrekturdaten mit Teilunsicherheiten und Fehlerfortpflanzung für Fächerecholotmesssysteme

Im Wesentlichen ergeben sich Teilunsicherheiten für i) die Bestimmung der Position mittels GNSS in Abhängigkeit des verwendeten Ortungsverfahrens (z.B. SAPOS, eigene Base), ii)

die Lagekorrektur mit der inertialen Messeinheit (Octans), iii) die Ableitung der Schallgeschwindigkeit aus den zugrunde liegenden Messgrößen mit der CTD-Sonde sowie iv) der eigentlichen Abstandsmessung Sende-und-Empfangseinheit des Fächerecholotes. Zur Ermittlung und Beschreibung der Gesamtunsicherheit werden der GUM (Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement“ sowie die Technische Regel ISO/IEC Guide 98-3:2008-09 Messunsicherheit – Teil 3) herangezogen. Zu Konzeption und konkreten Ermittlung der Gesamtunsicherheiten wird auf bestehende Berechnungsverfahren der BfG (u.a. Hydrography-Analyst oder entsprechende Verfahren) mit Unterstützung des WSA HH zurückgegriffen. Hierzu ist ein Austausch mit der BfG angedacht.

### Kalibrierung des Messsystems

Zur Überprüfung der Werte der Boots-Korrekturparameter für Latency, Roll, Pitch und Yaw (Abbildung 14), die in der Hardware-Konfiguration verwendet werden, werden Kalibrier-Tests (Patch-Tests) durchgeführt. Der Patch-Test (Abbildung 14) ist ein Datenerfassungs- und -verarbeitungsverfahren zur Kalibrierung der Winkel roll, pitch und yaw zusammen mit der Verzögerung (Latency) des Positionierungssystems. Im ersten Projektjahr wurden Patch-Tests mit dem Vermessungssystem des IWB-eigenen Peilbootes Nekton durchgeführt. Dabei wurden die initial für das fest installierte System ermittelten und im Rahmen der Vermessungen verwendeten Werte bestätigt. Beispielhaft ist in Abbildung 15 ein Ergebnis des durchgeführten Patch-Tests dargestellt.



Multibeam offset adjustments are calculated with the PATCH TEST in the 32-bit HYSWEEP® EDITOR and the 64-bit HYSWEEP® EDITOR programs.

Abbildung 14: Schematische Darstellung des Patch-Tests (Quelle: Hypack user manual)

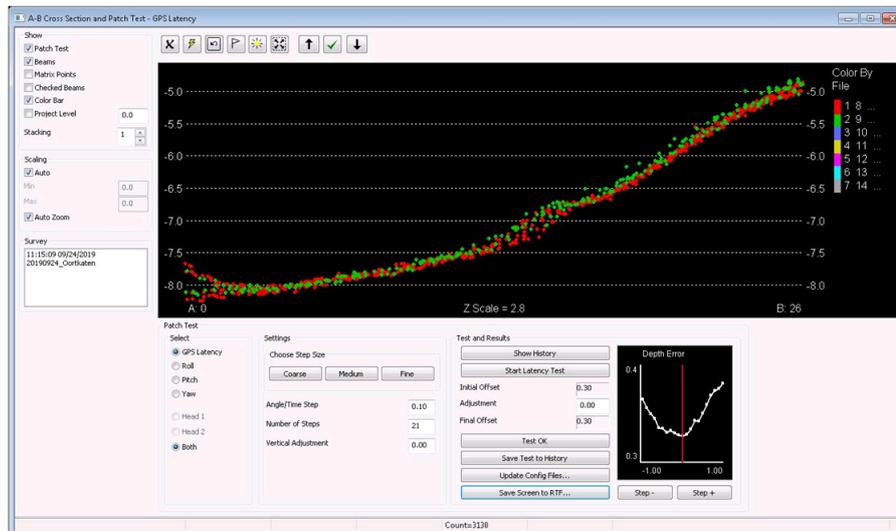


Abbildung 15: Ergebnis des ersten Patch-Tests im Vorhaben Nebelnelben

## Bar-Test

Ein Bar-Test wurde im ersten Projektjahr noch nicht durchgeführt. Bei einem solchen Test wird ein Balken unter dem Fächerlot herabgelassen, dessen Abstand zur Wasseroberfläche bekannt ist. Dieser wird mit dem vom Fächerlot gemessenen Wert abgeglichen. Gegebenenfalls werden die Hardware-Einstellungen (z.B. vertikaler Offset) angepasst. Zur Durchführung eines solchen Tests sind ein ruhiges, ausreichend tiefes Gewässer sowie ein Balken erforderlich, der unter dem Fächerlot herabgelassen werden kann. Bezüglich Ort und Balken wurden im ersten Projektjahr bereits Vorüberlegungen angestellt. Ein Bar-Test ist für das zweite Projektjahr vorgesehen.

## Drempelfahrt

Im Rahmen der Vermessung der Pagensander Nebelnelbe wurde der Bereich um den einseitigen Drempel des Krückausperrwerks vermessen (Abbildung 16). Aus Bauplänen ist bekannt, dass der Drempel eine Höhe von N(H)N-3,5 m hat, wobei die konkrete Bezugsfläche nicht eindeutig aus den Plänen hervorgeht. Vermutlich handelt es sich um das DHHN92. Der Bereich vor dem Drempel hat gemäß Plan eine Höhe von NN-4,0 m. Die Ergebnisse der Vermessung wurden mit den Höhen und deren Lage im Bauplan abgeglichen. Im Ergebnis ist eine Abweichung von etwa  $\pm 0,1$  m festzustellen, was deutlich genauer ist, als die von der IHO geforderte Genauigkeit von  $\pm 0,2$  m (IHO 2008). Bezüglich der Drempel-Vermessung ist einschränkend anzumerken, dass eine Vermessung in diesem Bereich aus praktischen Gesichtspunkten schwierig ist. Zum einen verursachen die Betonsohle und die seitlich angeordneten vertikalen Stahlspundbohlen deutlich mehr Messfehler. Zum anderen führt die Höhe des Bauwerks beim Durchfahren relativ schnell zu einer Störung des Empfangs der Korrekturdaten. Des Weiteren können mögliche Einbautoleranzen, Setzungen des Bauwerks oder Sedimentation Einfluss auf die tatsächliche Höhe haben. Es ist geplant im weiteren Verlauf des Vorhabens weitere Drempelfahrten durchzuführen.

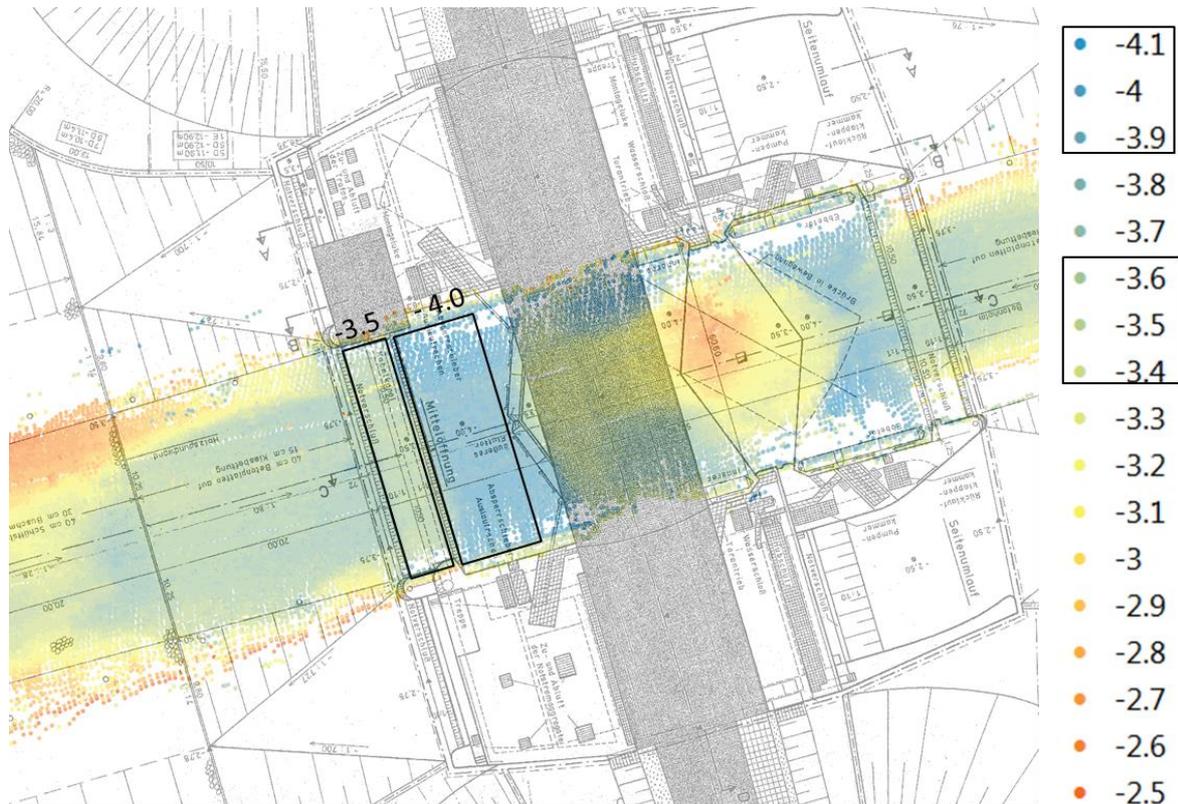


Abbildung 16: Ergebnisse der Vermessung des Drepfels im Bereich des Krückausperrwerks. Die Höhen aus den Bauplänen sind für unterschiedliche Bereiche angegeben.

### ***Untersuchungen zum Einfluss der Aufbereitungsverfahren (manuelle und statistische Filterung der Rohdaten) auf die aufbereiteten Werte***

Im ersten Projektjahr haben noch keine Analysen stattgefunden. Es ist geplant, diese Analysen anhand der Messdaten aus dem ersten sowie dem zweiten Projektjahr durchzuführen, um neben den absoluten Änderungen in einzelnen Datensätzen auch die möglichen Änderungen in der Differenz zwischen zwei Datensätzen zu ermitteln.

### ***Beschreibung des aktuellen Zustands sowie der aktuellen und historischen morphologischen Entwicklung der Nebelnelben auf der Grundlage von Bestandsdaten und Bewertung der Aussagekraft***

Die Analyse der Bestandsdaten hat ergeben, dass die quantitative Aussagekraft von älteren Datensätzen (z.B. Seekarten) geringer ist als von Datensätzen, die in der jüngeren Vergangenheit entstanden sind, z.B. DGM-Ws. Die Gründe hierfür sind offensichtlich. Zum einen wurden Verfahren und Messtechnik mit denen Daten, wie z.B. Tiefen, erhoben werden können stetig weiterentwickelt, so dass es heutzutage möglich ist Daten in sehr hoher Auflösung flächig zu erheben. Zum anderen haben sich die Möglichkeiten bei der Aufbereitung und Weiterverarbeitung der Daten deutlich erweitert, z.B. durch Software zur Geodatenverarbeitung und die zugehörigen Rechnerinfrastruktur. Trotzdem können anhand der älteren Datensätze qualitative Aussagen zum Zustand und zur morphologischen Entwicklung der Nebelnelben getroffen werden. Demgegenüber können auf Grundlage jüngerer Datensätze

auch quantitative Aussagen getroffen werden. Tabelle 7 gibt einen Überblick darüber, was qualitative und quantitative Aussagen im Rahmen der Analyse morphologischer Änderungen bedeuten.

Tabelle 7: Unterscheidung von qualitativen und quantitativen Aussagen im Rahmen der Analyse morphologischer Änderungen

<b>Qualitative Aussagekraft</b>	<b>Quantitative Aussagekraft</b>
Änderungen verstehen	Änderungen erklären
Muster und Trends erkennen	Kausale Beziehungen identifizieren
Qualitative Zusammenhänge identifizieren	Zahlenmäßige Zusammenhänge darstellen

Die qualitative Beschreibung der historischen Entwicklung der Nebelnelben erfolgt auf Grundlage des gegenwärtigen Stands des Wissens und der Auswertung von Bestandsdaten. Hier werden u.a. abgeleitete Morphozonen (Abbildung 17) sowie Seekarten (Abbildung 18) ausgewertet.

Die quantitative Beschreibung des aktuellen Zustands sowie der aktuellen morphologischen Entwicklung erfolgt auf Grundlage von topographischen und bathymetrischen Daten - insbesondere der DGMWs -, die in einem weiteren Schritt auch mit weiteren Datensätzen (z.B. Sedimentologie, Vegetation) verschnitten werden. Aus dem Vergleich der Bathymetrien ergeben sich, z.B. über Differenzenbildung, wichtige Indikatoren, wie Erosions- bzw. Depositionsbereiche, volumetrische Änderungen, morphologische Aktivität oder der morphologische Raum. Bei der Interpretation und Bewertung der erzeugten Datensätze wird zudem flächenscharf die Herkunft der Daten bzw. das Erhebungsverfahren und die damit verbundene Unsicherheit einbezogen. Des Weiteren wird über eine Klassenbildung die Verteilung der Höhen insgesamt, die räumliche Lage und – durch den Vergleich von Datensätzen für verschiedene Jahre – auch die Veränderung über die Zeit bestimmt. Durch die Verschneidung mit weiteren Daten, z.B. Sedimentologie oder Vegetation, werden komplexere Datensätze, wie Morphozonen generiert, die ebenfalls für unterschiedliche Nebelnelben analysiert und bewertet werden.

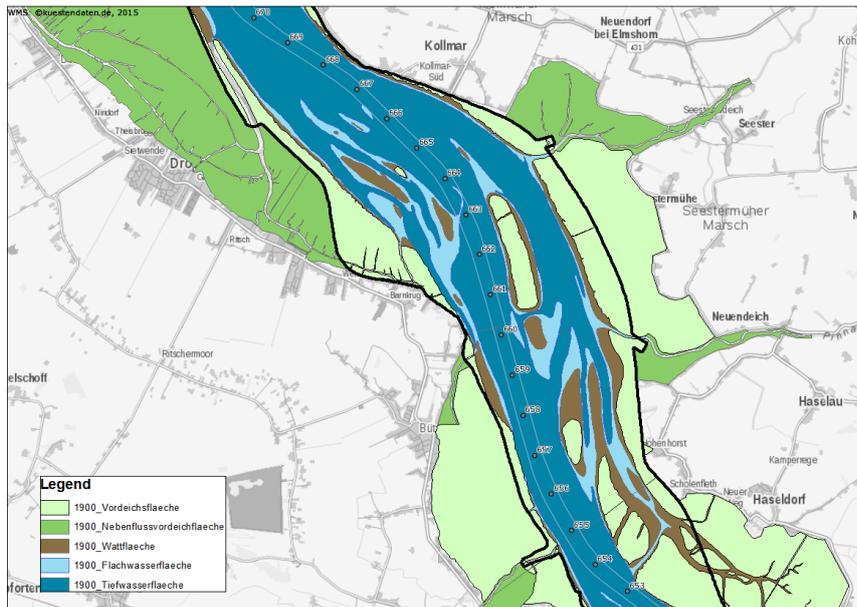


Abbildung 17: Abgeleitete Morphozonen der Tideelbe im Bereich Pagensand für das Jahr 1900 (WSA HH) mit zusätzlicher Darstellung des Untersuchungsgebiets des Projektes (schwarze Line) als Referenz



Abbildung 18: Ausschnitt aus historischer Seekarte der Tideelbe im Bereich Pagensand von 1905 (Quelle BSH)

## 4.2 AP 2 Messkonzept und Durchführung der Messungen

### 4.2.1 AP 2.1 Messkonzept

Im ersten Projektjahr wurden nur vorbereitende Arbeiten durchgeführt. Das Messkonzept wird im Laufe des zweiten Projektjahres erarbeitet.

### 4.2.2 AP 2.2 Fächerecholotpeilungen

#### ***Jährliche Vermessung ausgewählter Nebeneiben***

Gemeinsam mit dem WSA HH wurde abgestimmt, dass im ersten Projektjahr folgende Nebeneiben vermessen werden:

- Hahnöfer Nebeneibe
- Lühesander Süderelbe
- Pagensander Nebeneibe
- Haseldorfer Binneneibe

Die nachfolgende Tabelle 8 gibt eine Übersicht über die durchgeführten Vermessungsarbeiten. Die Arbeiten wurden innerhalb von drei Zeiträumen zwischen dem 16.04 und dem 30.06.2019 abgeschlossen.

Tabelle 8: Übersicht zu erfolgten Fächerecholotpeilungen auf den Nebeneibe (NE) und Stand der Aufbereitung der Daten (Stand 29.08.2019)

NE	Zeitraum	Messtage	Beschreibung
Pagensander	16.04.2019 - 26.04.2019	7	Fächerlotpeilung
Hahnöfer	13.05.2019 - 16.05.2019	4	Fächerlotpeilung
Haseldorfer	24.06.2019 – 30.06.2019	5	Fächerlotpeilung und Testen Laservermessung
Lühesander		1	

#### ***Konsistente Aufbereitung der erhobenen Daten***

Die erhobenen Peildaten wurden aufbereitet und plausibilisiert. Die Aufbereitung umfasst zwei wesentliche Schritte. Im ersten Schritt werden die Rohdaten der Vermessung gesichtet, die für die Korrektur der Messdaten ermittelten Parameter geprüft und, sofern erforderlich, korrigiert oder um Ausreißer bereinigt. Die Korrekturwerte werden von unterschiedlichen Komponenten des Messsystems erfasst:

- Schallgeschwindigkeitsprofile über die Salinitätssonde
- Bootsbewegungen Heave, Roll, Pitch und Heading über die Kreiselkompass
- Lage- und Höhenkorrekturen aus den RTK-Korrekturdaten

Nach der Prüfung der Korrekturparameter erfolgt die Korrektur der Rohdaten der Vermessung. Anschließend werden die korrigierten Daten, die nun Punkte im Raum über die Lage (x,y) und Höhe (z) beschreiben, einer Filterung unterzogen. Im Rahmen der Filterung werden offensichtliche Ausreißer, die aus Messfehlern resultieren, entfernt. Ursachen für Messfehler sind u.a. Störungen durch Luftbläschen oder im Wasser schwebende Gegenstände bzw. Partikel, Nebenkeulen oder Mehrfachreflexionen. Die Filterung erfolgt in einem ersten Schritt profilweise (im Querprofil) anhand bestimmter Kriterien, wie z.B. die Qualität der Lage- und Höhengenaugigkeit, minimale und maximale Tiefe, maximale und minimale Abstrahlungswinkel an den Schwingerplatten oder Beam-Intensität und andererseits flächenhaft (in definierten Rasterzellen) über statistische Algorithmen, z.B. 2- oder 4-Sigma Limit. Darüber hinaus werden offensichtliche Ausreißer, die nicht über Filter erfasst werden, manuell entfernt. Tabelle 9 gibt eine Übersicht über die durchgeführten Arbeitsschritte der Datenaufbereitung bzw. -filterung. Die konkret verwendeten Einstellungen für die statistischen Filter sind in den Metadaten der einzelnen Datensätze dokumentiert.

Tabelle 9: Übersicht über erfolgte Arbeitsschritte der Datenfilterung und -Aufbereitung (Verwendete Software: Hypack; Werkzeug MBmax)

Arbeitsschritt	Beschreibung
Sichtung Rohdaten und Prüfen der Korrekturdaten	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Profilweise, manuelle Sichtung der Rohdaten</li> <li>• Korrektur bzw. Entfernen unplausibler Werte in den Korrekturdaten</li> </ul>
Profilweise Filterung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Einschränkung des Fächerwinkels (max. 75° je Schiffsseite um 5 – 15°, da die äußersten Beams, u.a. aufgrund der längeren zurückgelegten Wegs und des flacheren Aufprallwinkels, viele Ausreißer enthalten)</li> <li>• Manuelle Entfernung offensichtlicher Ausreißer</li> </ul>
Statistische flächenhafte Filterung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Anwendung des 2-Sigma Filters (Entfernung der Werte außerhalb der doppelten Standardabweichung) für die Zellgröße 1x1m</li> </ul>

Im Anschluss an die Aufbereitung der Messdaten wird aus der Punktwolke der korrigierten Messdaten ein digitales Geländemodell in Form eines Rasters mit der Auflösung 1x1m interpoliert. Die Raster-Stützpunkte befinden sich in Analogie zum DGM-W auf den ganzzahligen UTM-Koordinaten. Bei der Interpolation auf das Raster wird der Mittelwert aller sich in

der Rasterzelle befindlichen Werte berechnet und als Zellwert übernommen. In Abstimmung mit dem WSA werden als Produkte die generierten Geländemodelle sowie die Punktwolken der aufbereiteten Messdaten übergeben.

### **Recherche und Tests von Verfahren und Systemen zur Vermessung der höhergelegenen (oberhalb NHN+0,5m) Wattbereiche**

Neben der beauftragten Fächerecholotpeilung wurde als weiteres potentielles Messverfahren die Laser-basierte Vermessung von Wattflächen getestet, die im Rahmen der Peilung aufgrund zu geringer Wassertiefen nicht vermessen werden können. Abbildung 19 zeigt als Skizze die Konzeption der Laservermessung.

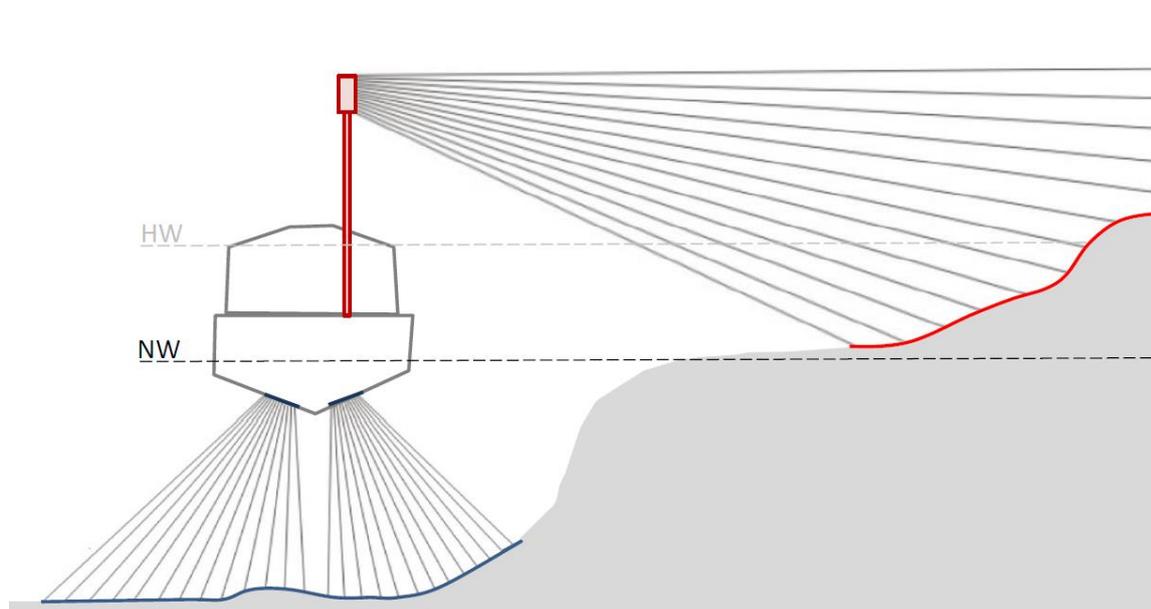


Abbildung 19: Skizze zur geplanten Laservermessung. Klassische Fächerecholotvermessung (blau) sowie zusätzliche, neu konzipierte Laservermessung der flachen, trockenengefallenen Seitenbereiche (rot) vom Bootsmast

Der grundsätzliche Vorteil dieser zusätzlichen Laservermessung liegt in der zusätzlichen Vermessung von trockenfallenden Bereichen, die der Fächerecholotvermessung nicht zugänglich sind sowie in der redundanten Vermessung der Wasserwechselzone (zwischen Tidehoch- und Tideniedrigwasser) mit beiden Verfahren bei verschiedenen Wasserständen. Dies erlaubt die gegenseitige Verifikation der Verfahren. Dieser Übergang wurde im Rahmen des Projektes als kritisch für die Erstellung von konsistenten Geländemodellen identifiziert, da dies ebenfalls die Grenze verschiedenen Messverfahren darstellt. Demgemäß wird einer zusätzlichen und zudem redundanten Vermessung dieses Bereiches insbesondere mit zwei Messverfahren eine große Bedeutung beigemessen.

Im ersten Projektjahr wurden mehrere Fachgespräche mit Herstellern von Lasermessverfahren und anderen Forschungsinstituten durchgeführt, um den potentiellen Einsatz und die Durchführbarkeit dieser Vermessung zu diskutieren. Zudem wurden verschiedene Tests

im Feld durchgeführt (vgl. Abschnitt 4.1.1; Tabelle 12). Folgende Firmen und Institutionen waren am fachlichen Austausch beteiligt:

- Triple-IN GmbH (Hersteller Lasertechnik, HH)
- Fraunhofer Institute for Physical Measurement Techniques IPM (Freiburg), Prof. Reiterer
- Hafencity Universität HCU
  - Hydrographie und Geodäsie, Prof. Dr.-Ing. Harald Sternberg
  - Photogrammetrie & Laserscanning, Prof. Dr.-Ing. Thomas P. Kersten
- HYPACK / Xylem Inc (Software Herstellung für hydrographische Anwendung)

Für die praktische Durchführung wurde die Installation eines Lasermesssystems an einem Mast, der am Messboot befestigt ist, als sinnvollste Umsetzung identifiziert. Andere diskutierte Umsetzungen (z.B. Drohnen-basierte Vermessung) wurden im Rahmen des Projektes auf Grund des Aufwands und der Genehmigungsfähigkeit (Naturschutzgebiete, Flughafen, Privatgrund) zunächst verworfen.

Folgende Tests wurden mit Unterstützung der Triple-IN GmbH (Bereitstellung Laserscanner<sup>1</sup>) und der HCU, Institut für Hydrographie und Geodäsie, Prof. Dr.-Ing. Harald Sternberg (Beratung sowie Beschleunigungsmessungen) durchgeführt (Tabelle 10):

Tabelle 10: Übersicht zu Durchgeführten Feldtests für Laservermessung

Datum	Beteiligte Institution	Beschreibung
26.09.2019	Triple In GmbH (Bereitstellung Laserscanner) HCU (Begleitung Test)	Test Laserscanner (ohne Lage- und Bewegungskorrektur) in Pagensander NE für erste Auswertung des Lasersignals.
24.10.2019	HCU (Durchführung Messung)	Bewegungs- und Beschleunigungsmessung am Mast auf der Krückau und Pagensander NE mit am für Einschätzung erforderliche Kompensation bzw. Anforderung an eine inertielle Messeinheit.

---

<sup>1</sup>Triple In, 2D Pulse Laser Scanner :<https://www.triple-in.de/en/products/2d-scanner-sensors/2d-scanner-with-90-scan-angle/>

Die Tests und der bisherige Fachaustausch zeigten, dass der Aufbau eines eigenständigen Lasermesssystems im Rahmen des Projektes sehr aufwändig ist. Im Rahmen der Recherche nach vorkonfigurierten Lösungen wurde jedoch mit dem Hypack Payload<sup>2</sup> ein Messsystem identifiziert, das potentiell für das geplante Vorgehen infrage kommt. Laut Auskunft des Herstellers, soll das Gerät noch im Jahr 2020 in Europa verfügbar sein. Ein Test des Geräts auf dem Messboot Nekton wurde vom Hersteller in Aussicht gestellt.

### **Weitere Messungen**

Weitere Messungen wurden im ersten Projektjahr nicht durchgeführt.

### **4.2.3 AP 2.3 Datenauswertung und -Analyse**

#### **Auswertung der digitalen Geländemodelle und Durchführung von Analysen**

Die für das Jahr 2019 erzeugten digitalen Geländemodelle der vier vermessenen Nebelnelbensysteme sind in Abbildung 20 dargestellt. Abbildung 21ff zeigen die Ergebnisse für die einzelnen Nebelnelben im Detail.

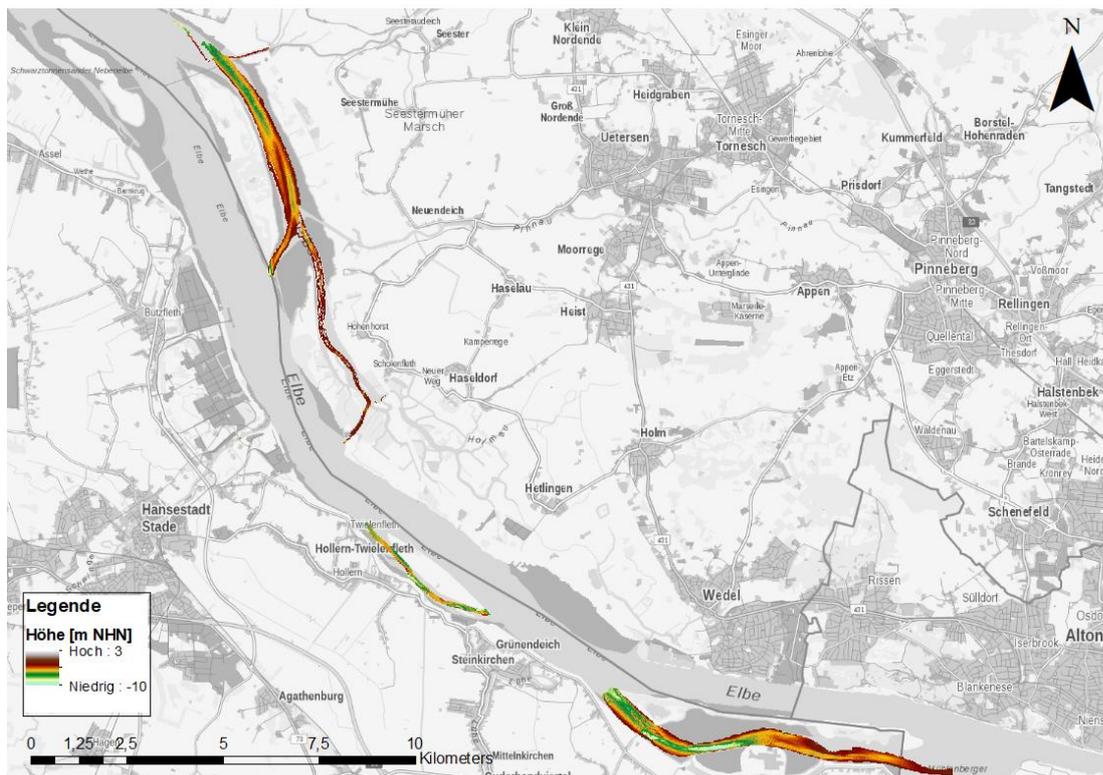


Abbildung 20: Übersicht über gesamte Fächerecholotpeilung für 2009 mit Untersuchungsgebiet (schwarze Linie) als Referenz

<sup>2</sup> Laservermessungssystem: Lidar Payload (Hersteller: Hypack): <http://www.hypack.com/product/id-HYPACK-LiDAR-Payload/HYPACK-LiDAR-Payload> (Stand 17.02.2020)

Die Hahnöfer NE weist auf der stromabgelegenen Seite deutlich größere Tiefen (NHN-6 m und tiefer) auf, als in der stromaufgelegenen Seite (NHN-5m und höher). An ihrer tiefsten Stelle westlich der Halbinsel Hahnöfersand weist die Rinne eine Tiefe von etwa NHN-10 m auf. Ab hier nehmen die Tiefe bis zum Mühlenberger Loch auf etwa NHN-2,5 m ab. Ausgedehnte Flachwasser-/Wattbereiche sind an den Ufern zum Festland und zu den Inseln Hanskalbsand und Neßsand zu finden.

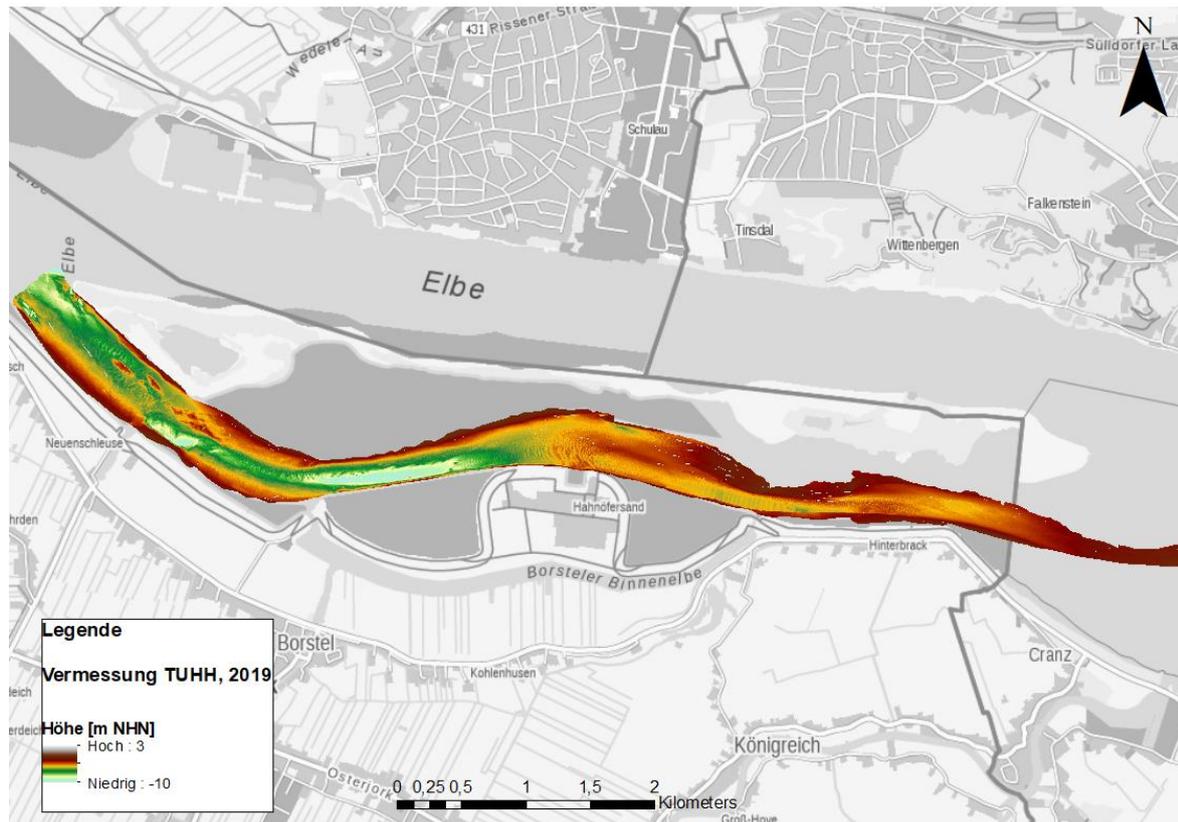


Abbildung 21: Digitales Geländemodell der Hahnöfer Nebeneibe, erzeugt auf Grundlage der Vermessung vom 13.05.-16.05.2019

Die Lühesander NE ist eine der kürzeren Nebelnelben. Eine deutliche Zweiteilung in eine tiefere stromabseitige und eine flachere stromaufseitige Hälfte ist nicht auszumachen. An ihrer tiefsten Stelle etwa auf Höhe der Mitte der Insel Lühesand (gleichzeitig die engste Stelle) weist die Rinne eine Tiefe von etwa NHN-8 m auf. Ausgedehnte Flachwasser-/ Wattbereiche sind vor allem im Bereich des Ufers zum Festland zu finden.

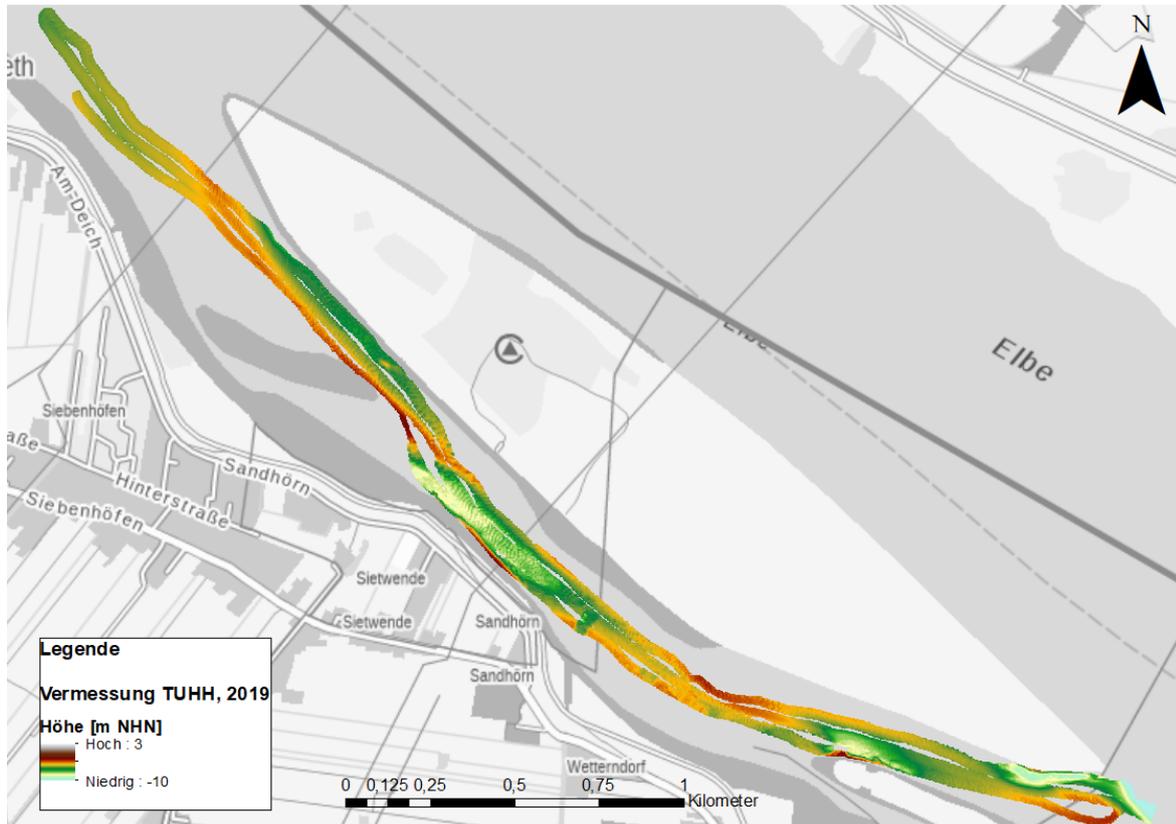


Abbildung 22: Digitales Geländemodell der Lühesander Süderelbe, erzeugt auf Grundlage der Vermessung vom 24.06.2019



Die Haseldorfer Binnenelbe schließt stromaufseitig an die Pagensander Nebeneibe an. In diesem Bereich ist eine Rinne mit Tiefen im Bereich NHN-4 bis NHN-5 m erkennbar, die in Richtung stromauf relativ schnell flacher wird und ausläuft. Ab hier beträgt die maximale Tiefe etwas NHN-3,5 m. Insgesamt ist die Haseldorfer BE sehr flach. Die Nebenarme liegen größtenteils oberhalb von NHN+0 m und sind damit nicht über die Fächerlotung zu erfassen. Am stromaufseitigen Ende befindet sich eine schmale Verbindung zur Elbe, die mit einer Ausnahme am Übergang zum Bauernloch (bis NHN-5 m) in etwa eine Tiefe von NHN-2 bis NHN-3 m aufweist.

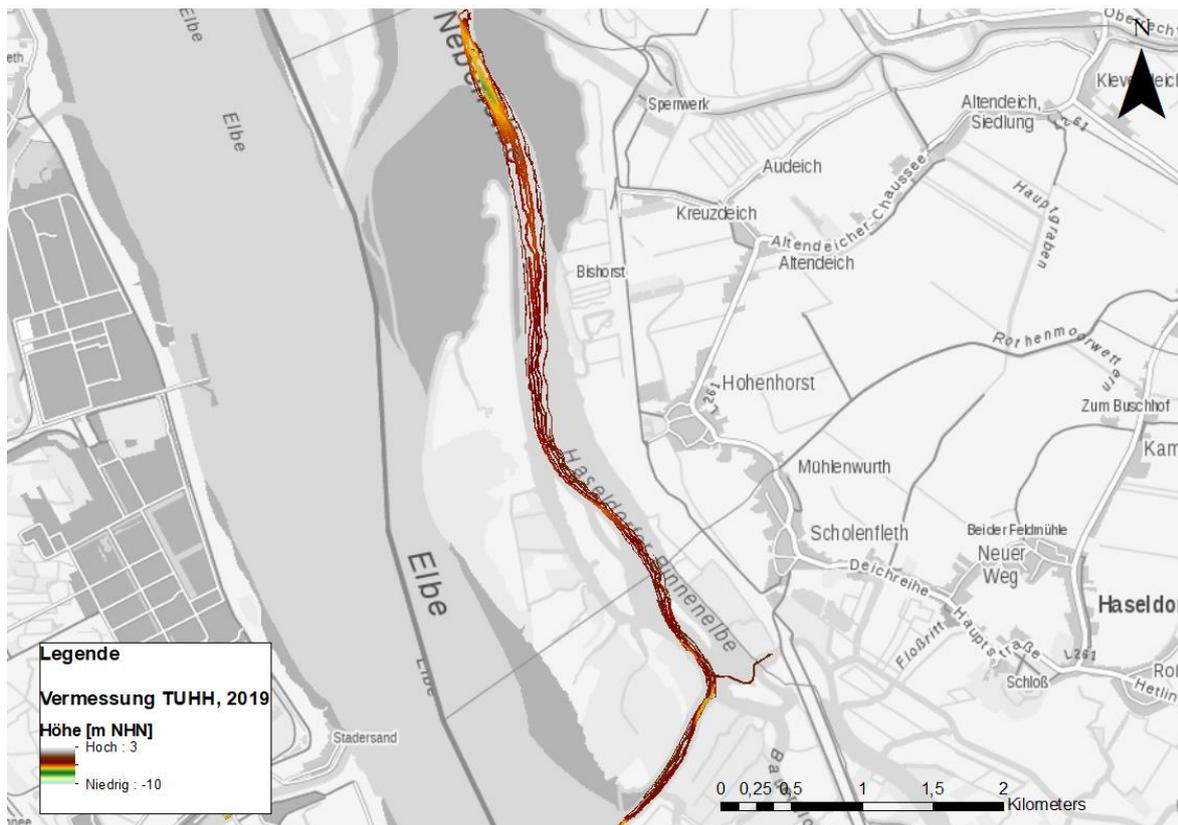


Abbildung 24: Digitales Geländemodell der Haseldorfer Binnenelbe, erzeugt auf Grundlage der Vermessung vom 24.06. – 30.06.2019

Bei genauer Betrachtung fällt vor allem für die Bereiche Pagensander NE und Haseldorfer BE auf, dass das generierte DGM teilweise sehr lückenhaft ist. Dieser Umstand ist vor allem auf äußerst ungünstige Tide- und Witterungsbedingungen während der Messkampagnen zurückzuführen. Die schlechten Bedingungen führten nicht nur zu einer Verzögerung des Ablaufs der Messung, sondern auch zu deutlich mehr Ausreißern in den Messwerten. Durch die erforderliche Entfernung dieser Ausreißer, die vor allem im Bereich der äußeren Beams 60-75° zu finden waren, fallen die Lücken noch größer aus. Die Erkenntnisse fließen in die Optimierung der Messungen in den Folgejahren ein. Es werden Maßnahmen getroffen, um eine Lückenlosigkeit zu erreichen.

Die für die vier Nebenebenen erstellten digitalen Geländemodelle wurden zur Qualitätssicherung mit dem DGM-W 2016 verglichen. Abbildung 25 zeigt beispielhaft die Differenzen für den Bereich der Hahnöfer NE. Eine bläuliche Färbung bedeutet, dass der Rasterwert im DGM\_TUHH2019 höher liegt als der Rasterwert im DGWM2016. Andersherum deutet eine rötliche Färbung an, dass der Rasterwert im DGM\_TUHH2019 niedriger liegt als der Rasterwert im DGWM2016. Eine gelbliche Färbung deutet auf geringe Unterschiede hin. Rein visuell dominieren gelbliche Farben (kaum Unterschied) und rötliche Farben (DGM\_TUHH2019 niedriger). In einigen Bereich sind auch bläuliche Farben erkennbar (DGM\_TUHH2019 höher). Insgesamt ist keine systematische Abweichung auszumachen

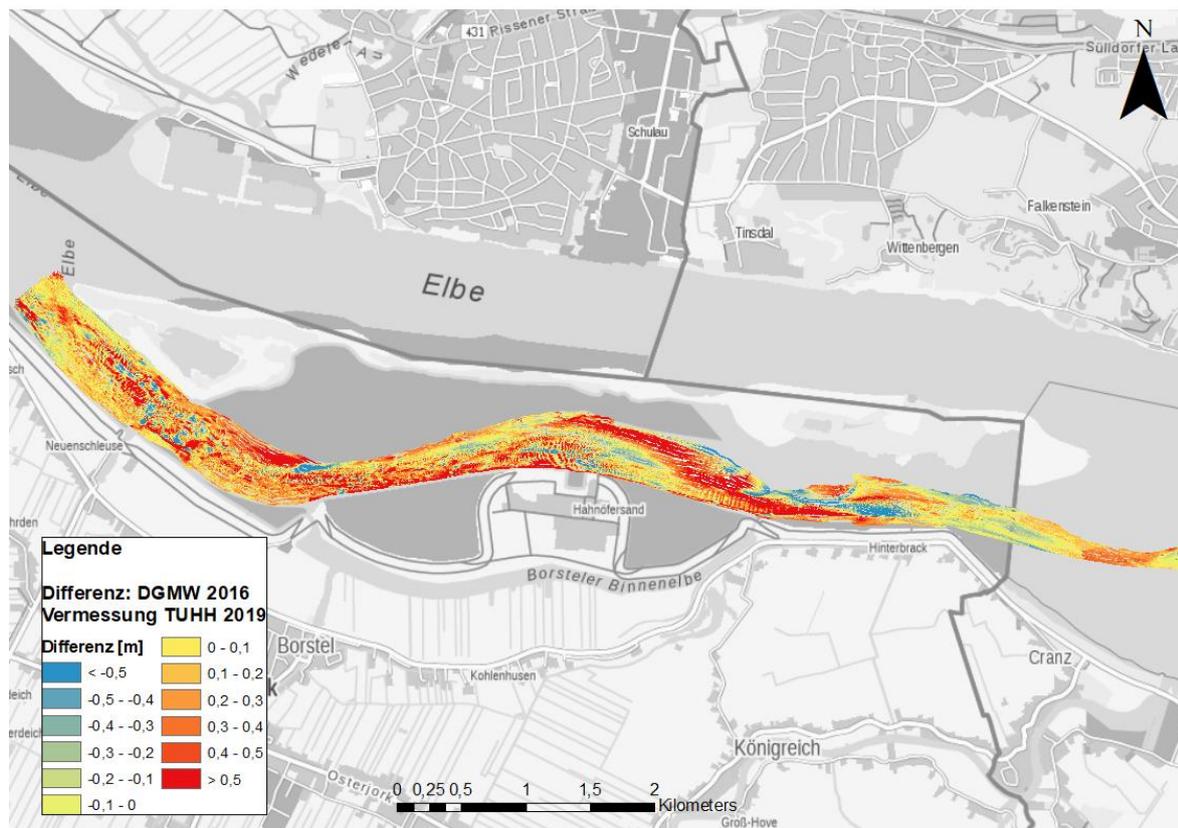


Abbildung 25: Differenzen zwischen dem DGM-W 2016 und dem DGM 2019 der TUHH im Bereich der Hahnöfer NE

In einer etwas höheren Auflösungsstufe (Abbildung 26) sind in der Differenzendarstellung Muster mit regelmäßigen Farbwechseln zu erkennen. Im Längsschnitt (Abbildung 27) wird deutlich, dass der Grund hierfür Transportkörper sind, die im DGM\_TUHH enthalten sind und im DGM-W 2016 nicht. Der Grund für diesen höheren Detaillierungsgrad liegt im zugrundeliegenden Vermessungsverfahren (Fächerlotung vs. Linienlotung). Die Höhe der Transportkörper (Dünen) liegt in den betrachteten Abschnitten zwischen einigen Dezimetern und einem Meter bei einer Wellenlänge zwischen ca. 10 und 40 m.

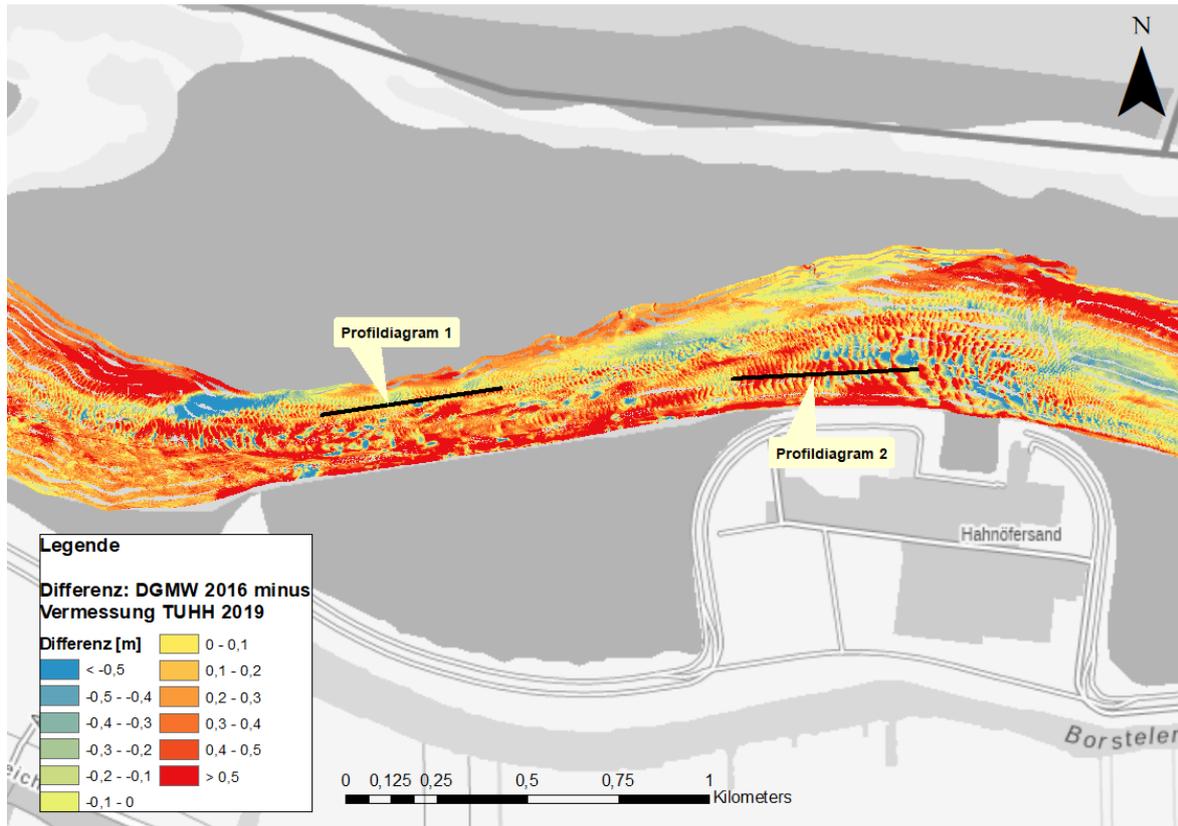


Abbildung 26 Differenzen zwischen dem DGM-W 2016 und dem DGM 2019 der TUHH im Zentrum der Hahnöfer NE und Lage der Längsschnitte (Profildiagramm)

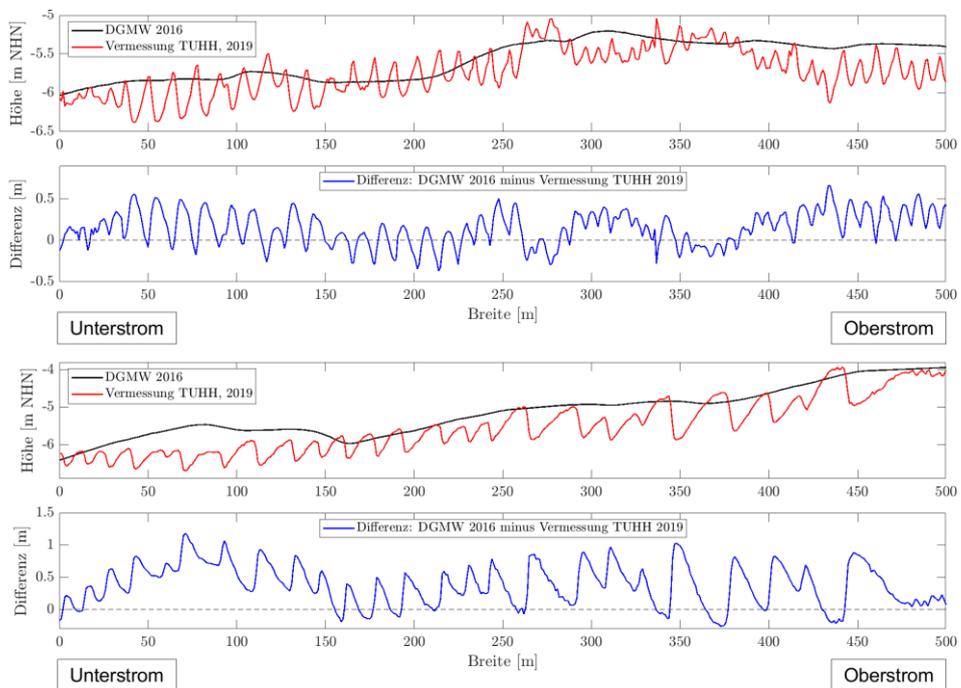


Abbildung 27: Beispielhafte Längsschnitte im Bereich der Hahnöfer NE, oben: Profildiagramm 1, unten Profildiagramm 2

Die für die Hahnöfer Nebelbe dargestellten Vergleiche wurden auch für die übrigen vermessenen Nebelben angestellt. Die Ergebnisse und daraus resultierenden Erkenntnisse sind vergleichbar mit denen, die für die Hahnöfer Nebelbe präsentiert wurden. Die entsprechenden Abbildungen sind im Anhang (Abbildung 28ff) dargestellt.

### ***Untersuchungen zur Quantifizierung der Unsicherheiten aus der Datenweiterverarbeitung***

Im ersten Projektjahr wurden keine Untersuchungen durchgeführt.

### **4.3 AP 3 Modellaufbau und Modellierung Pagensander Nebelbe**

Dieses Arbeitspaket startet gemäß Zeit- und Arbeitsplan im zweiten Projektjahr. Die einzelnen Arbeitsschritte sind in der Konzeption (Abschnitt 2.3) beschrieben.

Entgegen dem Zeitplan wurden im ersten Projektjahr bereits Voruntersuchungen durchgeführt, u.a. um den Workflow zu testen und um den Einfluss einer Erhöhung des Detaillierungsgrades im Modell zu untersuchen. Neben unterschiedlichen Modellanpassungen und Konvergenzstudien erfolgten bereits erste Untersuchungen zu potentiellen naturnahen Maßnahmen. In diesem Rahmen wurden auch folgende studentische Arbeiten vergeben und erfolgreich abgeschlossen.

- Masterarbeit, Kevin Ketz, 2019, Titel: Wasserbauliche Auswirkungen von naturnahen Anpassungsoptionen für Nebenarme in Ästuaren - Modellbasierte Untersuchungen für die Pagensander Nebelbe
- Projektarbeit, Pia Kolb, 2019, Titel: Modellbasierte Untersuchung von spezifischen hydrodynamischen Prozessen in den Nebelben

Im Rahmen der Voruntersuchungen mit dem am IWB vorhandenen Modell der Tideelbe konnte gezeigt werden, dass eine Verfeinerung der Gitternetzauflösung im Bereich der Nebelben zu einer verbesserten Abbildung der dortigen Strömungsverhältnisse führt. Dies wird deutlich in einer besseren Übereinstimmung der Simulationsergebnisse mit Messdaten und in einer Auflösung kleinräumiger Strömungsmuster.

## 4 Ausblick auf geplante Arbeiten im zweiten Projektjahr

Für das zweite Projektjahr stehen gemäß Zeit- und Arbeitsplan Arbeiten an in AP 2.1 „Messkonzept“, AP 2.2 „Fächerlotpeilungen“ und AP 2.3 „Datenauswertung- und Analyse“. Darüber hinaus wird das AP 1.3 „Datenqualität“ weiter bearbeitet. Die folgenden Abschnitte geben einen Ausblick auf die anstehenden Arbeiten.

### 4.4 AP 1.3 Datenqualität

In AP 1.3 „Datenqualität“ werden folgende Arbeiten fortgeführt:

- Beschreibung der Entwicklung der Messtechnik mit Fokus auf die Genauigkeit von Messverfahren
- Untersuchungen und Versuche zur Ermittlung der tatsächlichen Messunsicherheit bei der bathymetrischen Vermessung
  - Theoretische Aufarbeitung der Messunsicherheiten
  - Bar-Test
  - Drempelfahrten
- Untersuchungen zum Einfluss der Aufbereitungsverfahren (manuelle und statistische Filterung der Rohdaten) auf die aufbereiteten Werte
- Beschreibung des aktuellen Zustands sowie der aktuellen und historischen morphologischen Entwicklung der Nebenelben auf der Grundlage von Bestandsdaten und Bewertung der Aussagekraft

### 4.5 AP 2.1 Messkonzept

Auf Grundlage der allgemeinen Konzeption (AP 1.1) des Projektes, der zusammengestellten, bereits verfügbaren Daten und des aufgearbeiteten Stand des Wissens wird ein Messkonzept ausgearbeitet. Dieses umfasst die Identifikation von weiteren (neben den Fächerlotpeilungen) zu vermessenden Parametern sowie die konkrete Konzipierung und Planung der Messungen bzw. Messkampagnen (inkl. der Fächerlotpeilungen).

Derzeit werden ADCP-Strömungsmessungen am stromaufseitigen Ende der Pagensander NE als sinnvolle Ergänzung angesehen. Die Messungen sollen in Kooperation mit dem WSA HH erfolgen. Das WSA HH wird stationäre Strömungsmessungen über einige Woche durchführen. Das IWB wird bootsgestützte ADCP-Messungen des Querprofils im Bereich der stationären Messung zu verschiedenen Tidephasen durchführen. Die Ergebnisse sollen insbesondere zur Analyse der Abflussaufteilung und der Validierung des numerischen Modells (AP 3) verwendet werden. Die Durchführung ist in Abstimmung mit dem WSA HH in Abhängigkeit verschiedener Rahmenbedingungen für das Jahr 2020 oder 2021 geplant.

Neben den ADCP-Messungen wird die Erprobung von Laservermessungssystemen zur Vermessung der Wattflächen als sinnvoll erachtet. Für das Jahr 2020 sind zusätzlich weitere Tests mit Lasermesssystemen geplant. Da der Aufbau eines neuen Messsystems aus Einzelkomponenten als zu aufwändig eingestuft wurde, erfolgt im weiteren Projektverlauf der Test der Anwendbarkeit von einsatzfertigen Komplettsystemen<sup>3</sup>. Während hier der Aufwand für die Installation und den Betrieb als verhältnismäßig gering angesehen wird, muss die Anwendbarkeit für den spezifischen Einsatz für die Vermessung der flachen Wattbereiche im Feld getestet werden. Auf Grundlage der Ergebnisse der durchgeführten Tests wird die weitere zukünftige Anwendung im Rahmen des Projektes bewertet und weiter geplant.

Die Aufstellung eines Messkonzepts ist der Meilenstein M2, der zugehörige Bericht ist das Produkt P3 gemäß Projektskizze.

#### 4.6 AP 2.2. Fächerecholotpeilungen

Die Messkampagnen sind für die erste Hälfte des zweiten Projektjahres geplant. Eine Übersicht über die geplanten Termine zur Durchführung der Messungen gibt Tabelle 11. Aufgrund der Einschränkungen durch die Bundes- bzw. Landesregierung als Reaktion auf die Ausbreitung des Corona-Virus müssen die für April geplanten Messfahrten entfallen. Zum aktuellen Zeitpunkt wird davon ausgegangen, dass die für Juni geplanten Messkampagnen stattfinden können. Im September konnten zwei mögliche Zeiträume mit passenden Tidezeitfenstern gefunden werden, in denen ausgefallenen Messungen nachgeholt werden können.

Um den Ablauf der anstehenden Vermessungen zu verbessern, wurden die bereits durchgeführten Messkampagnen kritisch analysiert. Als eine Optimierungsmaßnahme wird eine verbesserte Qualitätssicherung angestrebt, vor allem um eine optimale Flächenüberdeckung der schiffbaren Bereiche zu erzielen. Dies konnte im ersten Projektjahr nicht bei allen Vermessungen erreicht werden. Zudem werden alle im Rahmen der Untersuchung der Datenqualität (AP 1.3) und Auswertung (AP 2.3) erarbeiteten Ergebnisse und Erkenntnisse bei der Durchführung weiterer Vermessungen berücksichtigt.

Tabelle 11: Übersicht geplante Vermessungen er Nebelnelben (Stand April 2020)

Datum	Messtage	Gebiet
16.04.2020	4	Lühesander SE
27.04.2020 – 30.04.2020	5	Hahnöfer NE

<sup>3</sup> Laservermessungssystem: Lidar Payload (Hersteller: Hypack): <http://www.hypack.com/product/id-HYPACK-LiDAR-Payload/HYPACK-LiDAR-Payload> (Stand 17.02.2020)

04.05.2020		
15.06.2020 – 19.06.2020	5	Haseldorfer BE
29.06.2020 – 03.07.2020	5	Pagensander NE
14.09.2020 – 18.09.2020	5	Ersatztermin
28.09.2020 – 02.10.2020	5	Ersatztermin

Die Digitalen Geländemodelle (DGM) der vermessenen Nebeneiben sind Bestandteil des Sammelprodukts P4.

#### **4.7 AP 2.3 Datenauswertung und -Analyse**

Die bereits im ersten Projektjahr begonnene Auswertung und Analyse der erhobenen Daten wird fortgeführt. Die im ersten und zweiten Projektjahr erhobenen und bereits ausgewerteten Daten werden im Hinblick auf die angewandten Auswertungsmethoden kritisch betrachtet und untersucht. Dabei erfolgt insbesondere eine Betrachtung der Auswirkungen der verwendeten Korrektur- und Interpolationsmethoden auf die Ergebnisse (digitalen Geländemodelle) und der darauf basierenden weiterführenden Analysen, z.B. Differenzenbildungen. Dabei fließen sowohl die bisherigen Erfahrungen zur Auswertung als auch die Ergebnisse der Untersuchungen Mess- und Datengenauigkeit (AP 1.3) mit ein.

Im Ergebnis wird ein Kriterienkatalog zur Sicherstellung einer hohen Qualität bei der Auswertung und Analyse von Vermessungsdaten erstellt (Meilenstein M3) und dokumentiert (Produkt P5). Dieser wird nach Erstellung bei den weiteren im Projekt durchgeführten Vermessungen angewendet und erprobt.

## 6 Zusammenfassung

Das Institut für Wasserbau (IWB) der Technischen Universität Hamburg (TUHH) führt im Rahmen der Kooperation mit dem Wasserstraßen- und Schifffahrtsamt Hamburg (WSA HH) seit dem 15.04.2019 das Forschungsvorhaben „Erweiterung des Systemverständnisses im Bereich der Nebelben als Grundlage für die Verbesserung des Verständnisses im Gesamtsystem Tideelbe“ (Systemverständnis Nebelben) durch. Die Grundlage für die Kooperation bildet der Kooperationsvertrag vom 15.04.2019.

Im vorliegenden Bericht sind die im ersten Projektjahr (April 2019 – März 2020) erzielten Ergebnisse sowie der Fortschritt der Arbeiten des Arbeitsplans dokumentiert. Die Inhalte des ersten Statusberichts (September 2019), der die Arbeiten im ersten Projekthalbjahr dokumentiert, sind ebenfalls enthalten.

Ziel des Vorhabens ist es, die hydrodynamischen und morphologischen Prozesse in den Nebelben-Systemen besser zu verstehen und damit einen Beitrag zur Verbesserung des Verständnisses des Gesamtsystems Tideelbe zu leisten. In Kapitel 2 dieses Berichts wird beschrieben, wie dieses Ziel erreicht werden soll, welchen Anforderungen dabei zu erfüllen sind und welche Arbeitsschritte zu Erreichung des Ziels konkret umgesetzt werden. Bei der konkreten Ausgestaltung der Konzeption werden zum einen die vom WSA Hamburg spezifizierten und im Forum Tideelbe diskutierten Anforderungen berücksichtigt, die im Kern auf dem Leitgedanken der Vereinbarkeit von Strombau und Naturschutz basieren. Zum anderen sind die Ergebnisse der in der ersten Projektphase durchgeführten Analysen des Schrifttums und der Bestandsdaten sowie die Erkenntnisse aus den durchgeführten Messungen in die Konzeption eingeflossen.

Der übergeordneten Zielsetzung folgend werden drei separate Teilziele definiert, die im Wesentlichen den einzelnen Arbeitspaketen AP1 und AP 2 sowie AP3+AP4 der Vorhabensbeschreibung / des Kooperationsvertrages zugeordnet werden können. Die definierten Teilziele lauten wie folgt:

- 1 Verbesserte Einschätzung der Ungenauigkeiten bzw. Unsicherheiten bei der Beurteilung der morphologischen Entwicklung von Nebelben auf der Grundlage von bestehenden Daten (AP 1)
- 2 Detaillierte Beschreibung der Morphologie sowie der morphologischen Entwicklung ausgewählter Nebelben auf der Grundlage von neu erhobenen Daten mit bestmöglicher Datenqualität (AP 2)
- 3 Numerischen Modelluntersuchungen zur Verbesserung des Verständnisses von hydrodynamischen und morphologischen Prozessen und deren Veränderungen infolge wasserbaulicher Maßnahmen (AP 3+4)

Die Synthese, die die gewonnenen Erkenntnisse zu den Teilzielen in einen übergeordneten Zusammenhang – das Gesamtsystem Nebelben – bringt, erfolgt in AP5.

Das im Vorhaben betrachtete Untersuchungsgebiet erstreckt sich von Elbe Km 632 bis Elbe km 683. Als landseitige Abgrenzung dient die MThw-Linie bzw. die Deichlinie. Im Untersuchungsgebiet befinden sich die Hahnöfer NE, die Lühesander Süderelbe, die Haseldorfer BE, die Pagensander NE, die Schwarztonnensander NE, die Glückstadter NE und das Wischhafener Fahrwasser. Alle Nebeneiben weisen als Gemeinsamkeit deutlich geringere Wassertiefen als die Hauptrinne der Elbe auf und sind mit Ausnahme des Wischhafener Fahrwassers an zwei Enden mit der Elbe verbunden, wobei die Pagensander NE und die Haseldorfer BE als zusammenhängendes System eine Besonderheit darstellen. Es gibt auch Unterschiede, z.B. in der Morphologie (Länge, Breite, Tiefenverteilung) oder der morphologischen Entwicklung in der Vergangenheit.

Im Rahmen des Vorhabens werden einige ausgewählte Nebeneiben eingehender untersucht. Dies sind die Hahnöfer NE, die Lühesander Süderelbe sowie das System Pagensander NE – Haseldorfer BE. Alle genannten Nebeneiben werden regelmäßig per Fächerlot vermessen. Anhand der erzeugten digitalen Geländemodelle wird der aktuelle Zustand der jeweiligen Nebeneibe im Detail beschrieben werden. Darüber hinaus ermöglicht die Gegenüberstellung der Geländemodelle für unterschiedliche Zeitpunkte eine Beschreibung der kurzfristigen morphologischen Entwicklung. Für das System Pagensander NE wird zudem ein hochaufgelöstes hydrodynamisch-numerisches Modell erstellt, um damit die z.T. komplexen Strömungsverhältnisse und die Wirkungen einzelner Einflussfaktoren zu analysieren und zu verstehen.

Im ersten Projektjahr wurden die Arbeitspakete 1.1 „Konzeption“, 1.2 „Bestandsdaten“, 1.3 „Datenqualität“ und 2.2 „Fächerlotpeilungen“ bearbeitet. Darüber hinaus wurden einige Arbeiten aus AP 2.3 „Datenauswertung und -analyse“ und AP 3.1 „Modellierung Pagensander NE“ vorgezogen. Die Ergebnisse sind in Kapitel 4 für jedes Arbeitspaket vorgestellt. Die für das erste Jahr vorgesehenen Arbeiten in AP 1.1, 1.2 und 2.2 wurden wie geplant weitgehend abgeschlossen. Der erste Meilenstein MS1 „Konzeption des Vorhabens abgeschlossen“ wurde wie geplant erreicht. Das daraus resultierende Produkt P1, der „Bericht zur Konzeption“, wurde fertiggestellt (Abschnitt 2).

Das AP 1.3 „Datenqualität“ wurde entgegen der Zeit- und Arbeitsplanung in der Vorhabenbeschreibung nicht abschließend bearbeitet, da sich im Laufe der Arbeiten herausgestellt hat, dass zu diesem Zeitpunkt im Vorhaben kein sinnvoller Abschluss möglich ist. Hierzu bedarf es noch weiterer Informationen und Erkenntnisse, die erst im weiteren Verlauf des Vorhabens in ausreichendem Umfang (u.a. Erkenntnisse aus den Messungen) verfügbar sein werden. Die Verlängerung der Arbeiten in AP 3 wurde im Rahmen der Arbeitstreffen diskutiert und beschlossen. In der Gesamtbetrachtung der Zeit- und Arbeitsplanung gleichen die vorgezogenen Arbeiten aus AP 2.3 und AP 3.1 die Verzögerungen der Arbeiten in AP 1.3 aus, so dass der Zeitplan am Ende des ersten Projektjahres eingehalten ist.

Für das zweite Projektjahr stehen gemäß Zeit- und Arbeitsplan Arbeiten an in AP 2.1 „Messkonzept“, AP 2.2 „Fächerlotpeilungen“ und AP 2.3 „Datenauswertung- und Analyse“. Darüber hinaus wird das AP 1.3 „Datenqualität“ weiter bearbeitet. Ein Ausblick auf die anstehenden Arbeiten ist in Kapitel 4 zu finden.

## Literaturverzeichnis

- ARGE smile consult, Inphoris (2018): ALS- und MS-Datenerfassung der Tide- und Außenelbe 2015/2016. Befliegungen Tide-/Außenelbe 2015/2016. Abschlussbericht. Hg. v. Arbeitsgemeinschaft (ARGE) smile consult GmbH – Inphoris GmbH (1.1).
- BfG (2002a): Untersuchung des ökologischen Entwicklungspotenzials der Unter- und Außenelbe. Ökologische Potenzialanalyse. Teil 1. Hg. v. Bundesanstalt für Gewässerkunde. Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG-1346).
- BfG (2002b): Untersuchung des ökologischen Entwicklungspotenzials der Unter- und Außenelbe. Ökologische Potenzialanalyse. Teil 2 - Konkretisierung von Maßnahmen. Hg. v. Bundesanstalt für Gewässerkunde. Bundesanstalt für Gewässerkunde. Koblenz (BfG-1388).
- BfG (2008): BfG-Bericht 1584: WSV-Sedimentmanagement Tideelbe - eine Systemstudie. Ökologische Auswirkungen der Umlagerung von Weddeler Baggergut. Hg. v. BfG Bundesanstalt für Gewässerkunde. Bundesanstalt für Gewässerkunde.
- BfG (2014): Sedimentmanagement Tideelbe. Strategien und Potenziale ; Systemstudie II. Unter Mitarbeit von Michael Fiedler und Heiko Leuchs.
- Boehlich, M.; Strotmann, T. (2008): The Elbe Estuary. In: *Die Küste : Archiv für Forschung und Technik an der Nord- und Ostsee : archive for research and technology on the North Sea and Baltic Coast* (74).
- DHI (2019): Maßnahmen zur Gewinnung von Flutraum in der Haseldorfer Marsch. Beratung und numerische Modellierung. Unter Mitarbeit von Monika Donner, Janett Brandt, Marion Dziengel Uwe Stöber, Ines Hiller und Tobias Drückler. Hg. v. DHI WASY GmbH. DHI WASY GmbH.
- Entelmann, I. (25.09.18): Gesamtüberblick Nebelben aus WSV-Sicht. Diskussionsbeitrag WSA Hamburg zur 1. Sitzung der AG Nebelben im Forum Tideelbe. WSV. Hamburg, 25.09.18.
- Entelmann, I. (12.02.19a): Hydrologie und Morphologie der Nebelben. Stand des Wissens und Wissensdefizite. Beitrag WSA Hamburg zur 2. Sitzung der AG Nebelben im Forum Tideelbe. Hamburg, 12.02.19.
- Entelmann, I. (12.02.19b): Modellstudien Pagensander Nebelben. Grundlegende Betrachtung und weiteres Vorgehen. Beitrag WSA Hamburg zur 2. Sitzung der AG Nebelben im Forum Tideelbe. WSV. Hamburg, 12.02.19.
- Entelmann, I. (2019): Entwicklung Wischhafener Fahrwasser / Brammer Bank. WSV. Hamburg, 2019.
- Entelmann, I.; Qrefa-Sander, M. (2013): Gewässerkundlicher Bericht. Morphologische Strukturen im Fahrrinnenbereich der Tideelbe – Ein Beitrag zum Reviersteckbrief

Tideelbe. Hg. v. Wasser- und Schifffahrtsamt Hamburg. Wasser- und Schifffahrtsamt Hamburg.

FGG Elbe (2013): Sedimentmanagementkonzept der FGG Elbe Vorschläge. Vorschläge für eine gute Sedimentmanagementpraxis im Elbegebiet zur Erreichung überregionaler Handlungsziele. Unter Mitarbeit von Dr. Peter Heininger (BfG Koblenz und Leitung).

Fräßdorf, Jörg (1995): Morphologische Veränderungen der Nebelben. BAW Kolloquium. Hamburg, 1995.

GKSS (2007): Sedimenttransportgeschehen in der tidebeeinflussten Elbe, der Deutschen Bucht und in der Nordsee. Unter Mitarbeit von J. Kappenberg und H.-U. Fanger. Hg. v. GKSS-Forschungszentrum Geesthacht GmbH. Geesthacht.

Heyer, Harro; Schrottko, Kerstin (2013): Aufbau von integrierten Modellsystemen zur Analyse der langfristigen Morphodynamik in der Deutschen Bucht AufMod. Gemeinsamer Abschlussbericht für das Gesamtprojekt mit Beiträgen aus allen 7 Teilprojekten.

HPA; WSA HH (2008): Sedimentmanagementkonzept für die Tideelbe. Hg. v. Hamburg Port Authority (HPA) und Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV). Hamburg Port Authority (HPA); Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV).

IBP Arbeitsgruppe (2011a): Integrierter Bewirtschaftungsplan Elbästuar. Gesamträumliche Betrachtung. Teil A. Hg. v. IBP Arbeitsgruppe.

IBP Arbeitsgruppe (2011b): Integrierter Bewirtschaftungsplan Elbästuar. Gesamträumliche Betrachtung. Teil C, NiSa. Hg. v. Arbeitsgruppe IBP in Hamburg und Schleswig-Holstein:

IBP Arbeitsgruppe (2011c): Integrierter Bewirtschaftungsplan Elbästuar. Gesamträumliche Betrachtung. Teil B, HH SH. Hg. v. Arbeitsgruppe IBP in Hamburg und Schleswig-Holstein:

IHO (2008): IHO STANDARDS FOR HYDROGRAPHIC SURVEYS. Special Publication No. 44 Published by. Unter Mitarbeit von INTERNATIONAL HYDROGRAPHIC ORGANIZATION. Hg. v. International Hydrographic Bureau. MONACO (44, 5).

Internationale Organisation für Normung (1995): Guide to the expression of uncertainty in measurement. 1. ed., corr. and reprinted. Genève.

Kappenberg, J.; Fanger, H.-U. (2007a): Sedimenttransportgeschehen in der tidebeeinflussten Elbe, der Deutschen Bucht und der Nordsee.

Kappenberg, Jens; Fanger, Hans-Ulrich (2007b): Sedimenttransportgeschehen in der tidebeeinflussten Elbe, der Deutschen Bucht und in der Nordsee. Als Ms. vervielfältigt. Geesthacht (GKSS, GKSS-2007-20).

Lange, Dietrich (1993): Veränderung der Morphologie von Nebelben innerhalb eines Zeitraums von 6 bis 7 Jahren. Untersuchungsgebiete: Glückstädter Fahrwasser (1976,

1978 und 1981); Pagensander Nebenelbe (1975, 1977 und 1981); Lühesander Nebenelbe (1981, 1985, 1987 und 1988).

Marnitz, Ulla (1995): Über den Einfluß baulicher Veränderungen in der Elbe auf Über den Einfluß baulicher Veränderungen in der Elbe auf die Morphologie im Gebiet Hahnöfer Nebenelbe / Mühlenberger Loch. In: *Die Küste : Archiv für Forschung u. Technik an d. Nord- u. Ostsee ; archive for research and technology on the North Sea and Baltic Coast* (57), S. 95–120. Online verfügbar unter <https://hdl.handle.net/20.500.11970/101379>.

Samu, Gyula (1987): Geomorphologische Untersuchungen im Bereich der Brammerbank und des Krautsander Watts in der Unterelbe. In: *25 Jahre Außenstelle Küste* (60), S. 211–234. Online verfügbar unter [http://henry.baw.de/bitstream/20.500.11970/102889/1/mb60\\_Samu.pdf](http://henry.baw.de/bitstream/20.500.11970/102889/1/mb60_Samu.pdf).

Schuchardt, B.; Rahlf H.: (2012): Zur ökologischen Funktion von Nebenrinnen in den inneren norddeutschen Ästuaren. BAW-Kolloquium. Hamburg, 20.09.2012.

Visscher, Georg; Wolf, Gottfried (1987): Untersuchungen im hydraulischen Modell über die Untersuchungen im hydraulischen Modell über die zweckmässige Linienführung und Höhe des Leitdammsystems "Pagensand Nord" in der Unterelbe. In: *Die Küste : Archiv für Forschung und Technik an der Nord- und Ostsee : archive for research and technology on the North Sea and Baltic Coast* (45), S. 89–115. Online verfügbar unter <https://hdl.handle.net/20.500.11970/101256>.

WSV (2020): Fahrrinnenanpassung Unter- und Außenelbe. Online verfügbar unter <https://www.fahrrinnenanpassung.de/kompensation.html>, zuletzt geprüft am 31.08.2020.

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Karte zum Untersuchungsgebiet zwischen Elbe-Km 632 und 683 (Blau; entspricht in etwa MThw-Linie bzw. der Deichlinie) mit Benennung (gelbe Textfelder) der berücksichtigten Nebelben und Seitenbereichen (Quelle DGM-W: WSA HH).....	19
Abbildung 2: Karte der Hahnöfer Nebelbe und Lühesander Süderelbe (Datenquelle DGM-W: WSA HH).....	21
Abbildung 3: Karte der Haseldorfer Binnenelbe und der Pagensander Nebelbe sowie der Schwarztonnensander Nebelbe (Datenquelle DGM-W: WSA HH).....	23
Abbildung 4: Karte der Glücksstädter Nebelbe und Wischhafener Fahrwasser (Datenquelle DGM-W: WSA HH).....	24
Abbildung 5: Abdeckung Bereich Tideelbe bzgl. des Datensatz für Parameter "Confidence" (Jahr 2012, Produkt des Projektes AufMod). „[...] Der Parameter Confidence [m] gibt die Vertrauenswürdigkeit der modellierten Bathymetrien an. Ausgehend von der Messgenauigkeit der zugrundeliegenden Vermessungsdaten (durchschnittlich +/- 20 cm) steigt die Confidence der interpolierten Daten mit zeitlicher und räumlicher Entfernung zum Messpunkt an. Niedrige Werte zeigen demnach eine hohe Vertrauenswürdigkeit der Modelldaten an, hohe Werte eine geringere.“ (Daten: Quelle AufMod).....	34
Abbildung 6: Exemplarische Darstellung eines Ausschnittes des DGM-W 2016 (Datenquelle WSA HH) mit Untersuchungsgebiet als Referenz.....	35
Abbildung 7: Datenquellenkarte des DGM-W 2016 (ARGE smile consult 2018) für Tideelbe mit Untersuchungsgebiet als Referenz.....	36
Abbildung 8: Ausschnitt des Bereiches Hahnöfer NE aus Datenquellenkarte für das DGM-W 2016.....	37
Abbildung 9: Ausschnitt des Bereiches Pagensander NE aus Datenquellenkarte für das DGM-W 2016.....	37
Abbildung 10: Exemplarische Darstellung der Höhendifferenz ( $\pm 1$ m) des DGM-W 2016 zu DGM-W 2010 für einen Ausschnitt in der Mitte der Pagensander NE.....	41
Abbildung 11: Exemplarische Darstellung der Datenquellen gemäß Datenquellenkarte DGM-W 2016 für.....	41
Abbildung 12: Skizze zur Zusammensetzung der Messabweichungen.....	43
Abbildung 13: Korrekturdaten mit Teilunsicherheiten und Fehlerfortpflanzung für Fächerecholotmesssysteme.....	43
Abbildung 14: Schematische Darstellung des Patch-Tests (Quelle: Hypack user manual).....	44
Abbildung 15: Ergebnis des ersten Patch-Tests im Vorhaben Nebelben.....	45

Abbildung 16: Ergebnisse der Vermessung des Drempels im Bereich des Krückausperrwerks. Die Höhen aus den Bauplänen sind für unterschiedliche Bereiche angegeben. ....	46
Abbildung 17: Abgeleitete Morphozonen der Tideelbe im Bereich Pagensand für das Jahr 1900 (WSA HH) mit zusätzlicher Darstellung des Untersuchungsgebiets des Projektes (schwarze Linie) als Referenz .....	48
Abbildung 18: Ausschnitt aus historischer Seekarte der Tideelbe im Bereich Pagensand von 1905 (Quelle BSH).....	48
Abbildung 19: Skizze zur geplanten Laservermessung. Klassische Fächerecholotvermessung (blau) sowie zusätzliche, neu konzipierte Laservermessung der flachen, trockengefallenen Seitenbereiche (rot) vom Bootsmast .....	51
Abbildung 20: Übersicht über gesamte Fächerecholotpeilung für 2009 mit Untersuchungsgebiet (schwarze Linie) als Referenz .....	53
Abbildung 21: Digitales Geländemodell der Hahnöfer Nebenelbe, erzeugt auf Grundlage der Vermessung vom 13.05.-16.05.2019.....	54
Abbildung 22: Digitales Geländemodell der Lühesander Süderelbe, erzeugt auf Grundlage der Vermessung vom 24.06.2019.....	55
Abbildung 23: Digitales Geländemodell der Pagensander Nebenelbe, erzeugt auf Grundlage der Vermessung vom 16.04. - 26.04.2019 .....	56
Abbildung 24: Digitales Geländemodell der Haseldorfer Binnenelbe, erzeugt auf Grundlage der Vermessung vom 24.06. – 30.06.2019.....	57
Abbildung 25: Differenzen zwischen dem DGM-W 2016 und dem DGM 2019 der TUHH im Bereich der Hahnöfer NE .....	58
Abbildung 26 Differenzen zwischen dem DGM-W 2016 und dem DGM 2019 der TUHH im Zentrum der Hahnöfer NE und Lage der Längsschnitte (Profildiagramm).....	59
Abbildung 27: Beispielhafte Längsschnitte im Bereich der Hahnöfer NE, oben: Profildiagramm 1, unten Profildiagramm 2.....	59
Abbildung 28: Differenzen zwischen dem DGM-W 2016 und dem DGM 2019 der TUHH im Bereich der Lühesander Süderelbe .....	76
Abbildung 29: Differenzen zwischen dem DGM-W 2016 und dem DGM 2019 der TUHH im Bereich der Lühesander Süderelbe sowie Lage der Längsschnitte (Profildiagramme.....	76
Abbildung 30: Beispielhafte Längsschnitte im Bereich der Lühesander Süderelbe, ober: Profildiagramm 1, unten Profildiagramm 2.....	77
Abbildung 31: Differenzen zwischen dem DGM-W 2016 und dem DGM 2019 der TUHH im Bereich der Haseldorfer Binnenelbe .....	77

---

Abbildung 32: Differenzen zwischen dem DGM-W 2016 und dem DGM 2019 der TUHH im Zentrum der Haseldorfer Binnenelbe und Lage des Längsschnitts (Profildiagramm).....	78
Abbildung 33: Beispielhafter Längsschnitt im Bereich der Haseldorfer Binnenelbe.....	78
Abbildung 34: Differenzen zwischen dem DGM-W 2016 und dem DGM 2019 der TUHH im Bereich der Pagensander NE .....	79
Abbildung 35: Differenzen zwischen dem DGM-W 2016 und dem DGM 2019 der TUHH im Süden der Pagensander NE und Lage des Längsschnitts (Profildiagramm).....	79
Abbildung 36: Beispielhafter Längsschnitt im Bereich der Pagensander NE.....	80

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Überblick zur verfeinerten Zielsetzung des Vorhabens .....	6
Tabelle 2: Übersicht zur Untersuchung ausgewählter Seitenbereiche/ Nebenelben (NE) im Projekt für jeweiliges Arbeitspaket (AP):.....	20
Tabelle 3: Zeit- und Arbeitsplan Vorhaben Nebenelben inklusive der Produkte und Meilensteine .....	27
Tabelle 4: Übersicht über zusammengestellte Literatur zu den Nebenelben. Die als besonders relevant eingestufte Literatur ist hervorgehoben. ....	29
Tabelle 5: Übersicht über die vom WSA HH im Rahmen des Vorhabens bereitgestellten Daten .....	31
Tabelle 6: Erfassungsgenauigkeiten für Messverfahren, Quelle: Metadaten zum DGM-W 2016, <a href="https://www.kuestendaten.de/media/zdm/portaltideelbe/Allgemeine_Informationen/Archiv/GIS/DGM-W_Unterelbe_2016_1x1m/Metadaten_DGM-W_2016_ETRS89UTM32N.pdf">https://www.kuestendaten.de/media/zdm/portaltideelbe/Allgemeine_Informationen/Archiv/GIS/DGM-W_Unterelbe_2016_1x1m/Metadaten_DGM-W_2016_ETRS89UTM32N.pdf</a> , abgerufen am 10.06.2020) .....	39
Tabelle 7: Unterscheidung von qualitativen und quantitativen Aussagen im Rahmen der Analyse morphologischer Änderungen .....	47
Tabelle 8: Übersicht zu erfolgten Fächerecholotpeilungen auf den Nebenelbe (NE) und Stand der Aufbereitung der Daten (Stand 29.08.2019) .....	49
Tabelle 9: Übersicht über erfolgte Arbeitsschritte der Datenfilterung und -Aufbereitung (Verwendete Software: Hypack; Werkzeug MBmax) .....	50
Tabelle 10: Übersicht zu Durchgeführten Feldtests für Laservermessung .....	52
Tabelle 11: Übersicht geplante Vermessungen er Nebenelben (Stand April 2020).....	62
Tabelle 12: Übersicht über erfolgte Termine und Veranstaltungen im Rahmen des Projektes (Interne Treffen: AT= Arbeitstreffen; PT = Projekttreffen; ohne Durchgeführte Messfahrten; siehe 4.2) .....	74

## Anhang

### A Veranstaltungen und Termine

Im ersten Projektjahr fanden insgesamt 16 Treffen statt. Dabei handelt es sich um zwei Projekttreffen, sechs Arbeitstreffen, vier fachliche Austausche, drei Tagungen/Seminare und eine Bereisung der Pagensander Nebeneibe im Rahmen des Forums Tideelbe. Detaillierte Informationen zu den Treffen sind Tabelle 12 zu entnehmen.

Tabelle 12: Übersicht über erfolgte Termine und Veranstaltungen im Rahmen des Projektes (Interne Treffen: AT= Arbeitstreffen; PT = Projekttreffen; ohne Durchgeführte Messfahrten; siehe 4.2)

Lfd. Nr	Da-tum	Bez.	Ort	Erläuterung
1	14.03. 2019	Fachaus-tausch	Triple-In GmbH, HH	Austausch zur Durchführbarkeit von. Laserver-messungen, Vorstellung IWB und Projekt
2	20.05. 2019	AT01	WSA HH	Vorbesprechung zum Projektstart
3	17.06. 2019	PT01	WSA HH	Kick-off zum Projektstart
4	24.06. 2019	AT02	WSA HH	Fachaus-tausch zur Vermessung
5	02.09. 2019	AT03	IWB	Besprechung zum Projektzwischenstand, Ab-stimmung Bereisung
6	04.09. 2019	Bereisung	Schwinge/ Elbe/ Pa-gensander Ne-beneibe	Teilnahme an Bereisung der Pagensander Ne-beneibe; Vorstellung des IWB und des Projektes
7	06.08. 2019	Fachaus-tausch	Hafen City Uni-versität (HCU)	Austausch zur Durchführbarkeit von Laserver-messungen und gegenseitigen Zusammenarbeit, Vorstellung IWB und Projekt
8	18.09. 2019	Fachaus-tausch Proben-nahme	Elbe/ Pa-gensander Ne-beneibe	Teilnahme an Messfahrt des WSA HH mit Ton-nenleger Kollmar; eigenständige Probenahme durch IWB

9	26.09.2019	Stakeholder Konferenz	BMVI, Berlin	Teilnahme an Konferenz „Wasserstraßen und Schifffahrt - Erkenntnisse und Herausforderungen zur Anpassung an den Klimawandel“
10	11.11.2019	AT04	WSA HH	Abstimmung Vermessung/ Messgenauigkeit, Bestandsdaten, Konzeption
11	05.12.2019	PT02	TUHH	Überblick zum Projektfortschritt; Abstimmung weiteres Vorgehen
12	13.01.2020	Fachaus-tausch	WSA HH	Abstimmung weiterer Projektablauf nach Wechsel Arbeitsgeber Hr. Hesse und Projektbericht
13	11.02.2020	BAW-BfG-Kolloquium	Hamburg	Teilnahme am Kolloquium „Ästuare – Aktuelle Themen aus Gewässerökologie und Wasserbau“
14	14.02.2020	Tagung	Leer	Teilnahme an Tagung „Renaturierung europäischer Ästuare: Erfahrungen und Erfolge“
15	19.02.2020	AT05	WSA HH	Abstimmung Projektbericht
16	06.04.2020	AT06	Online-Mee-ting	Abstimmung Präsentation im Rahmen des Forums Tideelbe, Abstimmung weiterer Projektablauf nach Ausscheiden von Hr. Hesse, Abstimmung der Auswirkungen des Corona-bedingten Lockdowns auf den Projektablauf

## B Erste Ergebnisse der Auswertung der bathymetrischen Daten

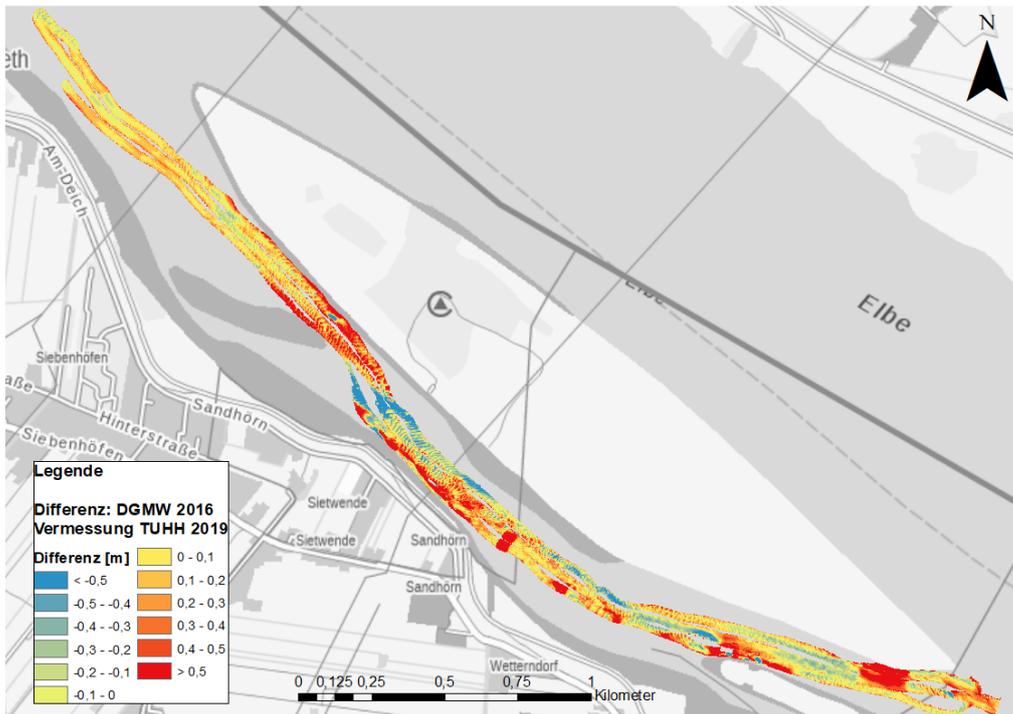


Abbildung 28: Differenzen zwischen dem DGM-W 2016 und dem DGM 2019 der TUHH im Bereich der Lühesander Süderelbe

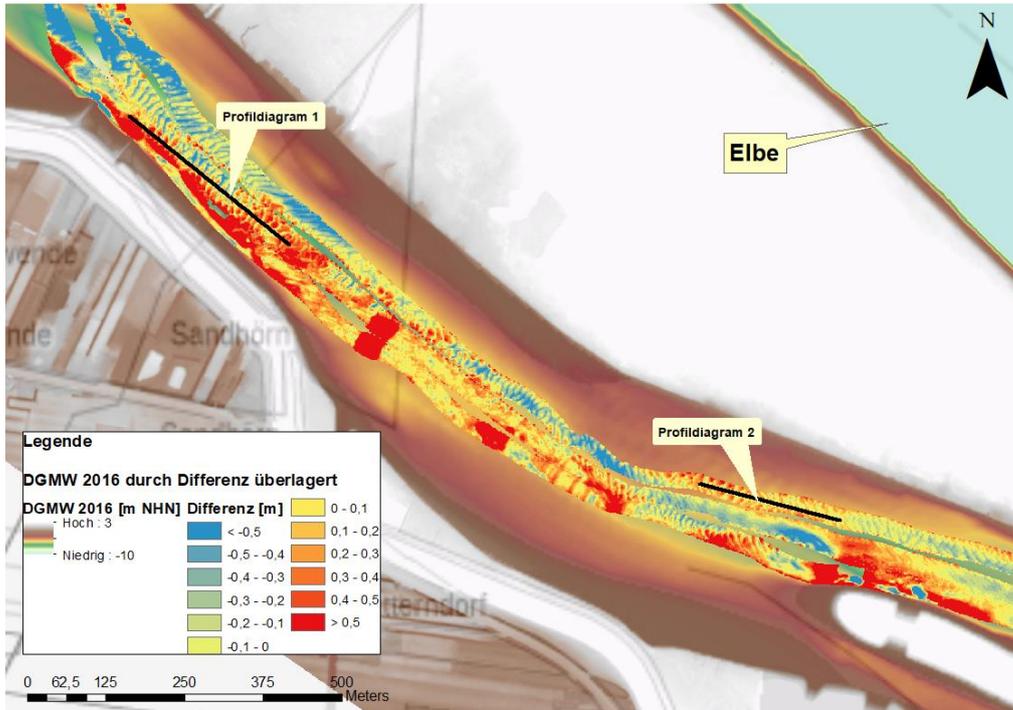


Abbildung 29: Differenzen zwischen dem DGM-W 2016 und dem DGM 2019 der TUHH im Bereich der Lühesander Süderelbe sowie Lage der Längsschnitte (Profildiagramme)

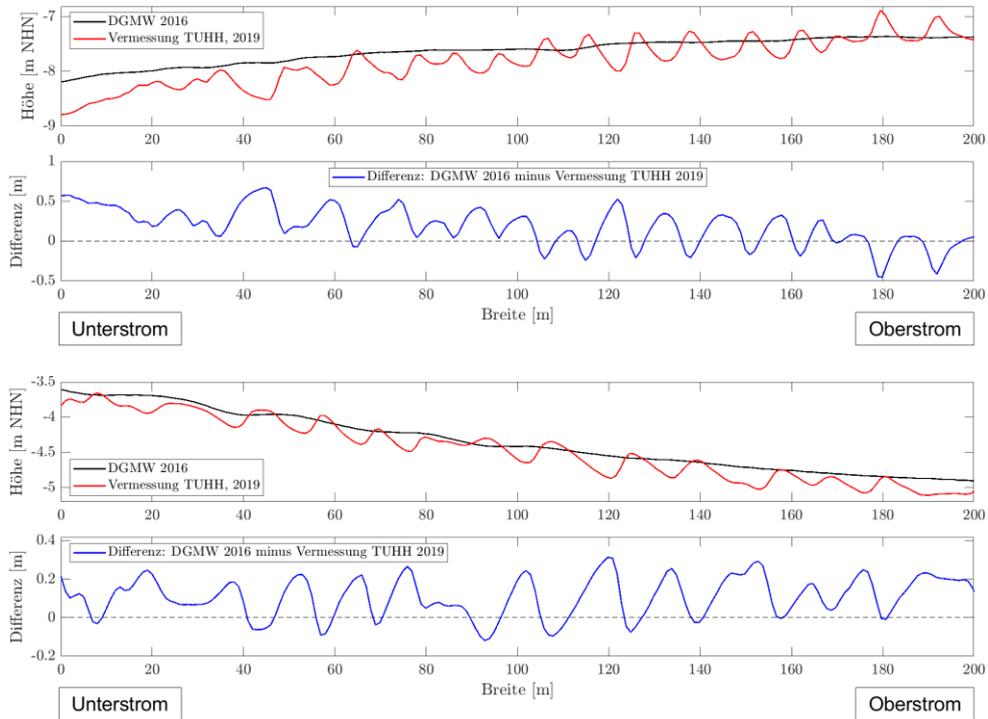


Abbildung 30: Beispielhafte Längsschnitte im Bereich der Lühesander Süderelbe, ober: Profildigramm 1, unten Profildigramm 2

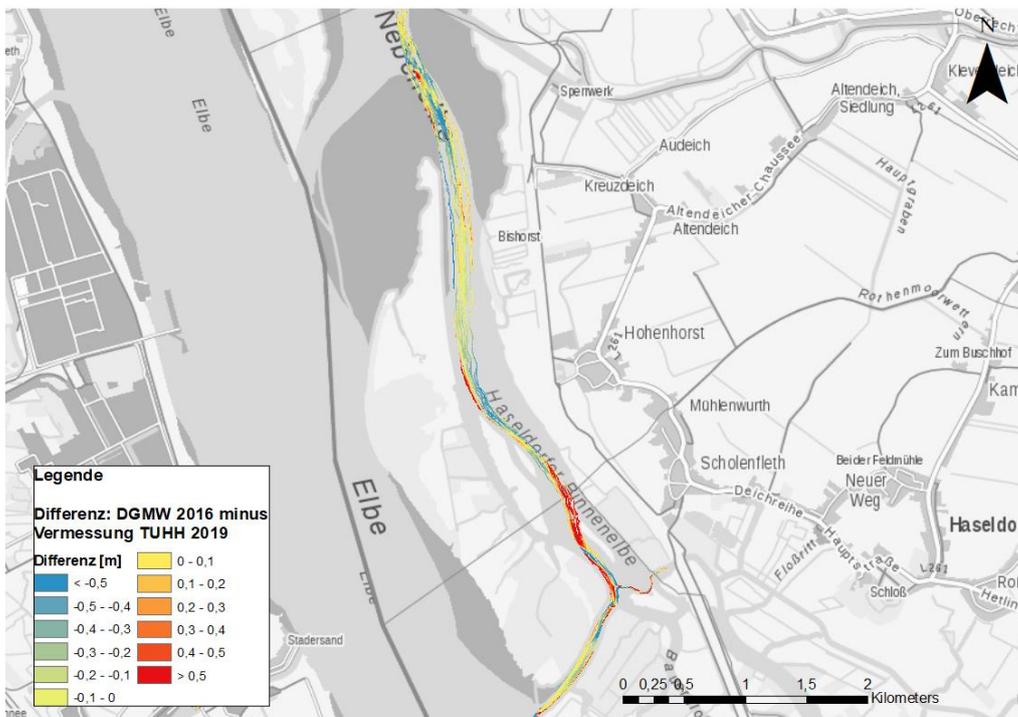


Abbildung 31: Differenzen zwischen dem DGM-W 2016 und dem DGM 2019 der TUHH im Bereich der Haseldorfer Binnenelbe

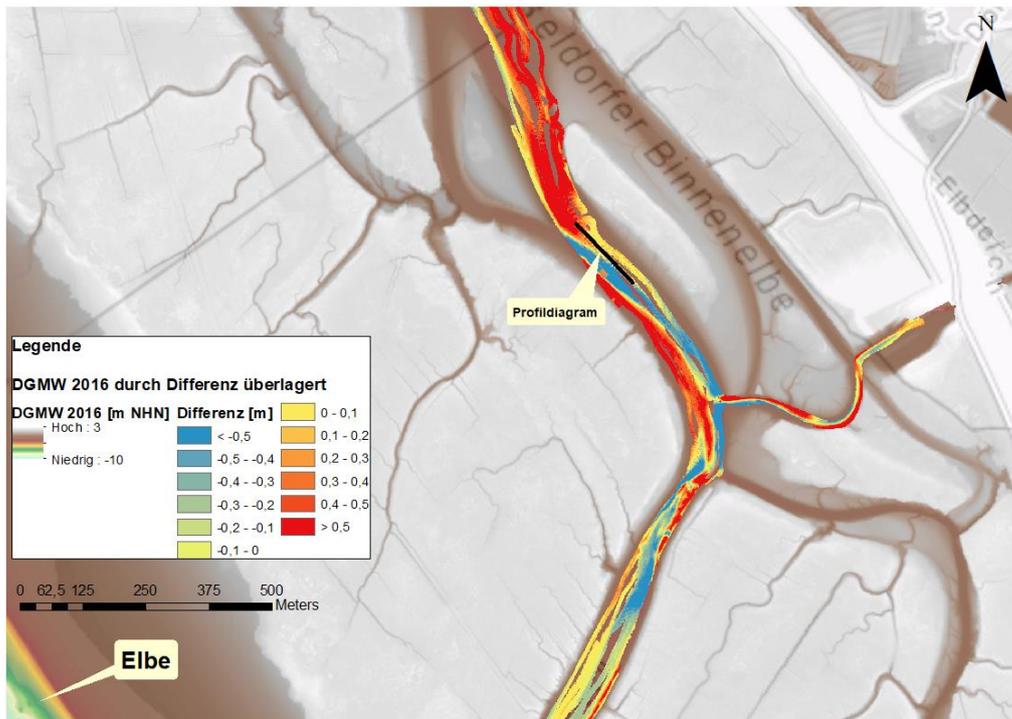


Abbildung 32: Differenzen zwischen dem DGM-W 2016 und dem DGM 2019 der TUHH im Zentrum der Haseldorfer Binnenelbe und Lage des Längsschnitts (Profildigramm)

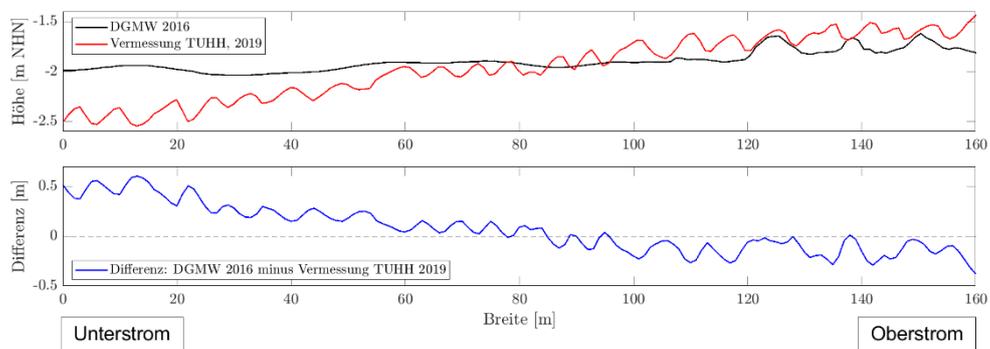


Abbildung 33: Beispielhafter Längsschnitt im Bereich der Haseldorfer Binnenelbe

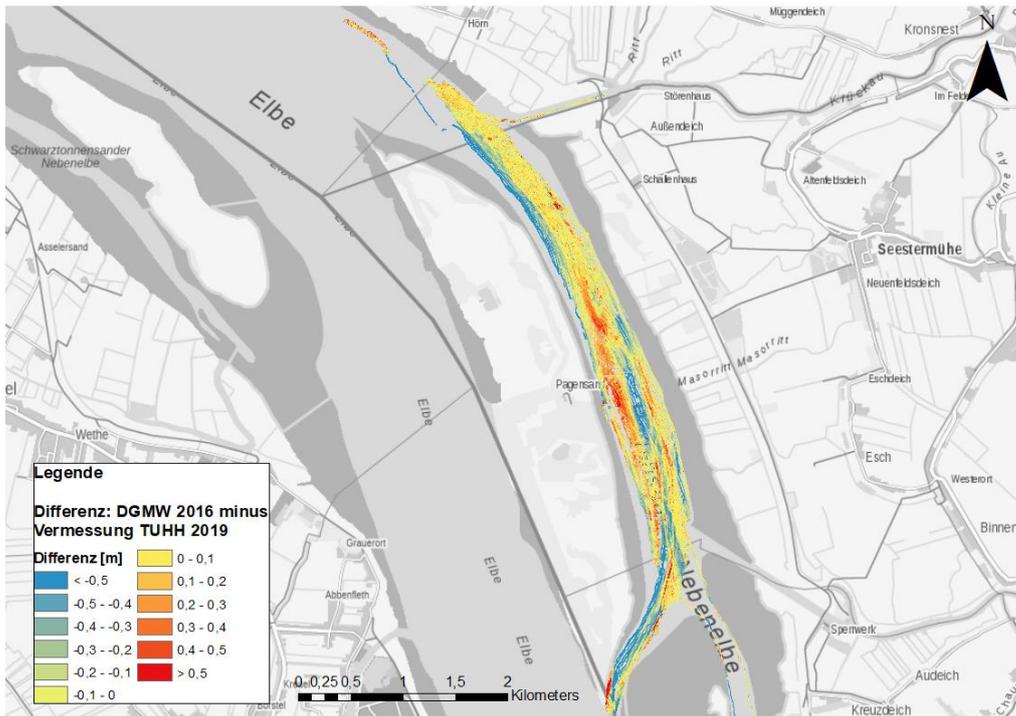


Abbildung 34: Differenzen zwischen dem DGM-W 2016 und dem DGM 2019 der TUHH im Bereich der Pagensander NE

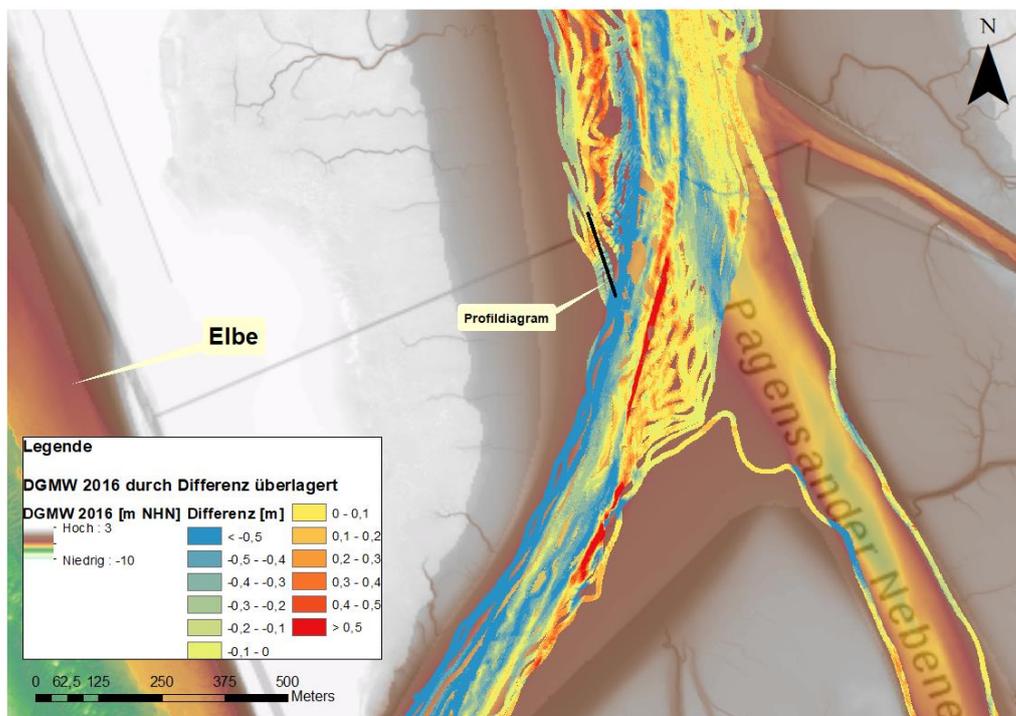


Abbildung 35: Differenzen zwischen dem DGM-W 2016 und dem DGM 2019 der TUHH im Süden der Pagensander NE und Lage des Längsschnitts (Profildiagramm)

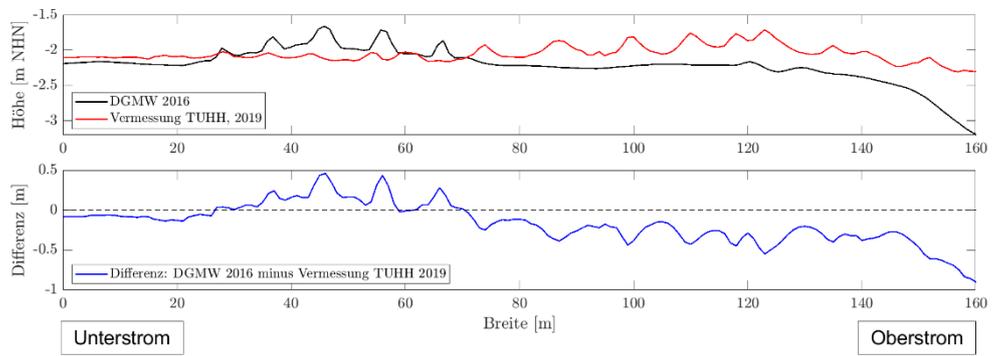


Abbildung 36: Beispielhafter Längsschnitt im Bereich der Pagensander NE