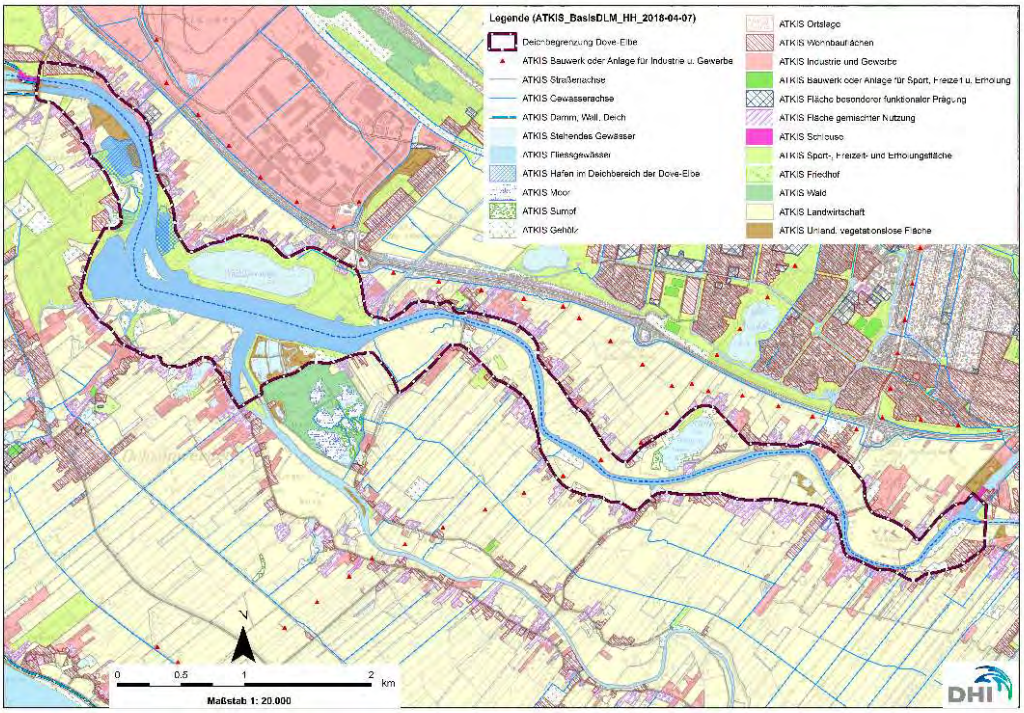
Maßnahmen zur Gewinnung von Flutraum in der Dove Elbe

Beratung und numerische Modellierung



Behörde für Umwelt und Energie –
Forum Tideelbe

Bericht

Februar 2019

The expert in **WATER ENVIRONMENTS**

Dieser Bericht wurde im Rahmen des DHI Business-Management-Systems
(Bureau Veritas - zertifiziert nach ISO 9001, Qualitätsmanagement) erstellt.

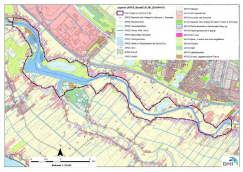
ISO 9001
Management System Certification
BUREAU VERITAS
Certification Denmark A/S

Erstellt von	Genehmigt von
Monika Donner & Janett Brandt	Marcus Richter
	21.02.2019
	X
	Signed by: Marcus Richter

Maßnahmen zur Gewinnung von Flutraum in der Dove Elbe

Beratung und numerische Modellierung

Erstellt für	Behörde für Umwelt und Energie – Forum Tideelbe
Vertreten durch	Herr Manfred Meine



Maßnahmengebiet Dove Elbe mit Landnutzung

Projektmanager	Monika Donner
Projektbearbeitung	Janett Brandt, Dr. Uwe Stöber, Marion Dziengel, Ines Hiller, Tobias Drückler

Projektnummer	14804685
Revision	Version 1.1
Einstufung	Offen

DHI WASY GmbH • • Volmerstraße 8 • DE-12489 Berlin • Germany
Telephone: +49 30 67 99 98-0 • Telefax: +49 30 67 99 98-99 • mail@dhi-wasy.de • www.dhigroup.de

INHALT

1 Veranlassung und Zielsetzung 1

2 Allgemeine Vorgehensweise und Anforderungen 1
2.1 Untersuchungsraum 1
2.2 Datengrundlage und verwendete Unterlagen 2

3 Literaturstudie 3
3.1 Machbarkeitsstudie zur Tatenberger Schleuse 3
3.2 Untersuchungen zu Strombaumaßnahmen der BAW (2011) 5
3.3 Informationen zum Eichbaumsee 6

4 Vorprüfung und Konzeption 6
4.1 Hydrodynamisches System der Dove Elbe 7
4.2 Varianten und Prüfung der Varianten 9
4.2.1 Entwicklung einer Zustromvariante für die Dove Elbe 10
4.2.2 Eingrenzung der Varianten 10
4.2.3 Minimalvariante (Variante 1) 14
4.2.4 Maximalvariante (Variante 2) 15

5 Untersuchungen im hydronumerischen Modell 17
5.1 Modellsoftware 17
5.1.1 Hydrodynamik (HD) 17
5.2 Modellaufbau 19
5.2.1 Allgemeine Diskretisierung 19
5.2.2 Anschluss der Dove Elbe und Sperrwerkssteuerung 21
5.3 Hydrologische Daten und Randbedingungen 23
5.3.1 Hydraulische Randwerte 23
5.3.2 Randwerte zu Salzgehalt und Temperatur 24
5.3.3 Gewässer- und Vorlandrauheiten 25

6 Kalibrierung 26
6.1 Wasserstand 27
6.2 Strömungen 29
6.3 Temperatur 31
6.4 Salzgehalt 32

7 Anbindung der Dove Elbe (Ergebnisse) 34
7.1 Wirkanalyse für die Elbe 34
7.1.1 Mittlerer Tidenhub 36
7.1.2 Maximaler Ebb- und Flutstrom 37
7.1.3 Maximale Ebb- und Flutströmung 38
7.1.4 Maximale Strömungsgradienten 39
7.1.5 Salzgehalt 40
7.2 Wirkanalyse für die Dove Elbe 42
7.2.1 Wirkung auf die Dove Elbe: Wasserstände & Staudauern 42
7.2.2 Wirkung auf den Nahbereich der Elbe und die Dove Elbe: Schubspannung & Strömung 43
7.2.3 Wirkung auf die Dove Elbe: Salzgehalt 48
7.2.4 Einschätzung zur Schwebstoffkonzentration und Sedimentation in der Dove Elbe 48

7.3 Exkurs: Geringe Differenz Variante 1 und Variante 2 49

8 Zusammenfassung.....49

9 Literatur 51

ABBILDUNGEN

Abbildung 2.1: Untersuchungsgebiet zur Dove Elbe ... 2
Abbildung 3.1: Luftbild (oben) und schematische Darstellung der Schleuse (unten), entnommen aus Stoll et al. (2015) ... 4
Abbildung 4.1: Schematische Darstellung der Tidekennwerte am Pegel Schöpfstelle entnommen aus Stoll et al. (2015) ... 7
Abbildung 4.2: Skizze der Entnahmepunkte und -querschnitte der hydrodynamischen Kennwerte im Bereich Elbe und des Zuflusses Dove Elbe ... 9
Abbildung 4.3: Farbliche Abstufung der Überflutungsflächen im Untersuchungsraum Dove Elbe bis 1,9 mNHN in blau Tönen, Höhen darüber in gelb und rot. Im Hintergrund Wohn- und Gewerbefläche sowie die Sommerdeichlinie. ... 12
Abbildung 4.4: potentielle zusätzliche Fluträume im Untersuchungsgebiet der Dove Elbe ... 13
Abbildung 4.5: Minimalvariante (Variante 1) auf einer Fläche von 180 ha inkl. Dove Elbe mit einer Tidedynamik von Tnw bis +0,9 mNHN ... 14
Abbildung 4.6: Wasserstands-Volumen- bzw. Wasserstands-Abfluss-Beziehung für die Minimalvariante (Variante 1) ... 15
Abbildung 4.7: Maximalvariante (Variante 2) auf einer Fläche von 290 ha inkl. Dove Elbe mit einer Tidedynamik von Tnw bis 1,7 mNHN ... 16
Abbildung 4.8: Wasserstands-Volumen- bzw. Wasserstands-Abfluss-Beziehung für die Maximalvariante (Variante 2) ... 16
Abbildung 5.1: Übersicht 3D-Modell von Geesthacht (km 586) bis Cuxhaven (km 724) und Lage der betrachteten Gebiete ... 20
Abbildung 5.2: Detailbereich zum Modellgitter in der Dove Elbe mit verwendeter Modellauflösung (Variante 1) ... 20
Abbildung 5.3: Detailbereich zum Modellgitter in der Dove Elbe mit verwendeter Modellauflösung (Variante 2) ... 21
Abbildung 5.4: Vertikale Modellauflösung als Schnitt durch die Elbe bei Kilometer 615 ... 21
Abbildung 5.5: Zuwässerung der Dove Elbe durch Deichöffnung südlich der Tatenberger Schleuse auf einer Breite von 25 m mit einer Sohltiefe von -2,5 m NHN ... 22
Abbildung 5.6: Zeitreihen zum Wasserstand bei Elbe-km 615 (Norderelbe) in grau, Wasserstände in der Dove Elbe in hell- bis dunkelblau und Steuerungsfunktion des Sperrwerkes (1 = voll geöffnet, 0 = voll geschlossen) in magenta. Wasserstände und Steuerung zur Variante 1 (oben) und zur Variante 2 (unten). ... 23
Abbildung 5.7: Wasserstand am Pegel Cuxhaven im Untersuchungszeitraum ... 24
Abbildung 5.8: Im Modell eingesteuerter Salzgehalt am seewärtigen Rand bei Cuxhaven ... 24
Abbildung 5.9: Gemessene Temperatur in der Elbe bei Bunthaus (schwarz) und bei Cuxhaven (blau) ... 24
Abbildung 5.10: Rauheitskarte für das gesamte Modellgebiet Tideelbe ... 25
Abbildung 5.11: Smagorinskykarte für das gesamte Modellgebiet Tideelbe ... 26
Abbildung 6.1: Messstationen entlang der Elbe zu Wasserstand, Strömung, Temperatur und Salzgehalt ... 27
Abbildung 6.2: Vergleich der gemessenen und modellierten Wasserstände für den Kalibrierzeitraum Mai 2016 an den Stationen Otterndorf, Brokdorf, Stadersand, Blankenese, Seemanshöft, Bunthaus und Zollenspieker ... 28
Abbildung 6.3: Vergleich der gemessenen und modellierten Strömungsgeschwindigkeiten an der Gewässeroberfläche und -sohle für einen Ausschnitt (30.4.2016 bis 10.5.2016) des Kalibrierzeitraums Mai 2016 an den Stationen Rhinplate Nord (D4), Juelsand (D2) und Hanskalbsand (D1). ... 30
Abbildung 6.4: Vergleich der gemessenen und modellierten Wassertemperatur für den Kalibrierungszeitraum Mai 2016 an den Stationen Bunthaus, Seemannshöft und Juelsand (D2) ... 31
Abbildung 6.5: Vergleich des gemessenen und modellierten Salzgehalts für den Kalibrierzeitraum Mai 2016 an den Stationen LZ3c Altenbrucher Bogen,

Brunsbüttel, Rhinplate Nord (D4, Gewässeroberfläche und -sohle) und Hanskalbsand (D1, Gewässeroberfläche und -sohle) 33
Abbildung 7.1: Analyse und Auswertung der Ergebnisse je Elbe-km in der Tidekennwertanalyse am Beispiel der Station 654 34
Abbildung 7.2: Definition des Verhältnisses der maximalen Strömungsgradienten bei Kenterung (aus DIN 4049-3) 36
Abbildung 7.3: Kennwert Tidehub in der Elbe. Die Abbildung zeigt den mittleren Tidenhub für den Ist-Zustand (grün gestrichelt) und die Varianten 1 (grün durchgezogen) und 2 (grün gepunktet) mit dem Anschluss der Dove Elbe an der Elbe-km 615. Auf der rechten Achse sind die Differenzen zwischen Istzustand und der Variante1 (blau gestrichelt) und 2 (blau durchgezogen) dargestellt. 37
Abbildung 7.4: Tidekennwerte Verhältnis aus Flut-/Ebbstromabfluss in der Elbe. Die Abbildung zeigt das Verhältnis des mittleren maximalen Abflusses von Flut- mit Ebbstrom (grün) für den Ist- (gestrichelt) und die Varianten 1 (grün durchgezogen) und 2 (grün gepunktet) mit dem Anschluss der Dove Elbe an der Elbe-km 615. Auf der rechten Achse sind die Differenzen zwischen Istzustand und der Variante1 (blau gestrichelt) und 2 (blau durchgezogen) zu sehen. 38
Abbildung 7.5: Tidekennwert gemittelte maximale Strömung in der Elbe. Die Abbildung zeigt die maximale Strömung für den Ist- (gestrichelt) und die Varianten 1 (gepunktet) und 2 (durchgezogen) jeweils für Flut- (orange) und Ebbströmung (blau) mit dem Anschluss der Dove Elbe an der Elbe-km 615. Auf der rechten Achse ist das Verhältnis zwischen Flut- und Ebbströmung für den Istzustand (grün durchgezogen), der Variante1 (grün gestrichelt) und 2 (grün durchgezogen) dargestellt. 39
Abbildung 7.6: Tidekennwert Verhältnis der Strömungsgradienten in der Elbe. Die Abbildung zeigt das Verhältnis der maximalen Strömung von Flut und Ebbe (grün) für den Istzustand (gestrichelt), die Varianten 1 (durchgezogen) und 2 (gepunktet) mit dem Anschluss der Dove Elbe an der Elbe-km 615. Auf der rechten Achse sind die Differenzen zwischen Istzustand und der Variante1 (blau gestrichelt) und 2 (blau durchgezogen) zu sehen. 40
Abbildung 7.7: Tidekennwert gemittelter Salzgehalt in der Elbe. Die Abbildung zeigt den Salzgehalt für den Istzustand (gestrichelt), die Varianten 1 (gepunktet) und 2 (durchgezogen) für minimale (orange), mittlere (grün) und maximale (blau) Salzgehalte je Tide. An Elbe-km 615 befindet sich in den Planzuständen der Anschluss der Dove Elbe. 41
Abbildung 7.8: Tidekennwert Änderung des mittleren Salzgehaltes in der Elbe. Die Abbildung zeigt die Änderungen des Salzgehaltes jeweils zwischen dem Planzustand (Variante 1 oder 2) und dem Istzustand für minimale (orange), mittlere (grün) und maximale (blau) Salzgehalte je Tide. An Elbe-km 615 befindet sich in den Planzuständen der Anschluss der Dove Elbe. 42
Abbildung 7.9: Flächige Darstellung der tiefengemittelten Strömungsgeschwindigkeit und -richtung bei Flutstrom im Istzustand (links oben), in der Variante 1 (oben Mitte) und der Variante 2 (oben rechts). Zeitreihe zu Tidewasserständen und den Strömungsgeschwindigkeiten in Strommitte bei Norderelbe-km 615 für den Istzustand (gestrichelt) und die Planzustände (durchgezogene Linien). Die schwarze vertikale Linie zeigt den Zeitpunkt der flächigen Abbildungen darüber. . 44
Abbildung 7.10: Flächige Darstellung der tiefengemittelten Strömungsgeschwindigkeit und -richtung bei Ebbstrom im Istzustand (links oben), in der Variante 1 (oben Mitte) und der Variante 2 (oben rechts). Zeitreihe zu Tidewasserständen und den Strömungsgeschwindigkeiten in Strommitte bei Norderelbe-km 615 für den Istzustand (gestrichelt) und die Planzustände (durchgezogene Linien). Die schwarze vertikale Linie zeigt den Zeitpunkt der flächigen Abbildungen darüber. . 45
Abbildung 7.11: Flächige Darstellung der tiefengemittelten Strömungsgeschwindigkeit und -richtung bei Flutstrom in der Variante 1 (oben) und der Variante 2 (Mitte). Zeitreihe zu Tidewasserständen und den Strömungsgeschwindigkeiten in Strommitte bei Norderelbe-km 615 und in der Dove Elbe für die Planzustände (gestrichelten

Linien). Die schwarze vertikale Linie zeigt den Zeitpunkt der flächigen Abbildungen darüber. ... 46
Abbildung 7.12: Flächige Darstellung der tiefengemittelten Strömungsgeschwindigkeit und -richtung bei Ebbstrom in der Variante 1 (oben) und der Variante 2 (Mitte). Zeitreihe zu Tidewasserständen und den Strömungsgeschwindigkeiten in Strommitte bei Norderelbe-km 615 und in der Dove Elbe für die Planzustände (gestrichelten Linien). Die schwarze vertikale Linie zeigt den Zeitpunkt der flächigen Abbildungen darüber. ... 47
Abbildung 7.13: Darstellung der tiefengemittelten Schwebstoffkonzentrationen (SSC) nahe dem Tidehochwasser zum Ende des Flutstroms (oben). Zeitreihe zur Tide und zur tiefengemittelten Schwebstoffkonzentration in der Norderelbe bei Elbe-km 615 (unten). ... 48
Abbildung 7.14: Tidebedingter Zu- und Abfluss hinter dem Sperrwerk für die Varianten 1 und 2 und Wasserstand in der Regattastrecke in der Dove Elbe für die Variante 1. ... 49

TABELLEN

Tabelle 2-1: Genutzte Datensätze und Datenursprung ... 2
Tabelle 3-1: Technische Daten der Tatenberger Schleuse und des Siels, entnommen aus Stoll et al. (2015) ... 4
Tabelle 3-2: Abgeschätzte Abflüsse an der Tatenberger Schleuse entnommen aus Stoll et al. (2015) ... 5
Tabelle 4-1: Tideparameter des Pegels Schöpfstelle in der Elbe, (a) = Angaben entnommen aus Stoll et al. (2015), (m) = Werte abgeleitet aus modellierten Wasserstandsdaten am Pegel Schöpfstelle für das Jahr 2016 ... 8
Tabelle 4-2: Hydrodynamische Kennwerte an der Dove Elbe mit maximalem Flut- und Ebbstrom (Q_{flut}, Q_{ebbe}) im Jahresmittel, sowie die maximale Flut- und Ebbströmung (cs_{flut}, cs_{ebbe}) im Jahresmittel aus dem Jahr 2016. ... 9
Tabelle 4-3: Restriktionen durch potentielle Betroffenheiten im Untersuchungsgebiet Dove Elbe bei MThw ... 11
Tabelle 4-4: Abschätzung der Größe, Volumina und Wirkung der möglichen zusätzlichen Abgrabungsflächen für einen Zielwasserstand von 1,7 mNHN. ... 13
Tabelle 7-1: Wasserstände in der Dove Elbe (Regattastrecke) ... 43

1 Veranlassung und Zielsetzung

Jedes Jahr werden mehrere Millionen Kubikmeter Sediment in der Tideelbe gebaggert und umgelagert, um die Schifffahrt im und zum Hamburger Hafen zu ermöglichen. Die Tideelbe ist ein schützenswerter Lebensraum von ca. 150 km Länge, von Geesthacht bis zur Mündung in die Nordsee. Ein nachhaltiger Umgang mit Sedimenten im Ästuar kann für zukünftige Entlastung durch den Rückhalt von Sediment und somit einer Reduzierung der Baggermengen mit gleichzeitiger Verbesserung der Wasserqualität sorgen.

Ziel der vorliegenden Untersuchung ist es, Fluträume entlang der Tideelbe in Ihrer Wirksamkeit zu untersuchen und ggf. zu optimieren, um den Sedimenthaushalt der Tideelbe nachhaltig zu verbessern und den Flussauftransport zu reduzieren. Einer der möglichen und daher in der Wirkung zu prüfenden Fluträume ist die Dove Elbe.

2 Allgemeine Vorgehensweise und Anforderungen

Die Vorgehensweise begann mit der Beschaffung und Sichtung von verfügbaren Daten, Aufbereitung dieser Daten und weiteren Analysen. Zusätzlich wurden Literatur und Daten zu ähnlichen Projekten zusammengestellt, sowie die Prüfung der bislang angedachten Maßnahmen unter dem Aspekt der maximal möglichen Wirksamkeit vorgenommen. Diese Wirkungsanalyse zur Gewinnung von Flutraum in der Dove Elbe umfasst eine Vorprüfung mittels Volumen-Abfluss-Beziehungen, überschlägigen Berechnungen (Phase 1), die Konzeption einer optimierten Variante sowie deren Prüfung mittels numerischem 3D-Modell (Phase 2).

Für Phase 2 wurde eine optimierte Variante zum Flutraum Dove Elbe an ein numerisches 3D-Modell der Tideelbe angebunden und die Auswirkungen auf die Elbe mittels hydrodynamischer Kennwerte geprüft.

2.1 Untersuchungsraum

Der Untersuchungsraum der Dove Elbe liegt auf Höhe des Elbekilometers 615,3 am Zufluss der Dove Elbe in die Norderelbe. Der Untersuchungsraum ist durch die umlaufende Deichlinie, größtenteils ein Sommerdeich und im westlichen Abschnitt z.T. durch den Hauptdeich topographisch abgegrenzt. Das Untersuchungsgebiet wird am oberen Ende der Dove Elbe durch die Kapphofschleuse und zur Elbe hin durch die Tatenberger Schleuse, die seit 1952 in Betrieb ist, begrenzt. Im Untersuchungsraum liegen zwei Badeseen, der Eichbaumsee (Kap. 3.3) und der See hinterm Horn sowie zwei Jachthäfen am westlichen Ende. Entlang der Deichlinie sind die Zu- und Abflüsse mittels Schleusen bzw. Sielzügen, u.a. der Reitschleuse und der Dove-Elbe-Schleuse reguliert. Oberhalb der Regattastrecke, die parallel zum Eichbaumsee verläuft, wird die Dove Elbe im Untersuchungsgebiet von zwei Brücken gekreuzt.

In den Jahren 1437/38 wurde die Dove Elbe von der Unterelbe abgetrennt. Heute hat die Dove Elbe nur noch eine Gesamtlänge von 18 km, wovon 10,8 km im Untersuchungsgebiet (Abbildung 2.1) liegen. Die Tatenberger Schleuse und der dazugehörige Deichsiel wurde 1952 fertiggestellt. Seither liegt der mittlere Wasserstand der Dove Elbe auf +0,9 mNHN. Dieser Stauwasserstand variiert über das Jahr nur geringfügig mit ±20 cm (vgl. Stoll et al., 2015).

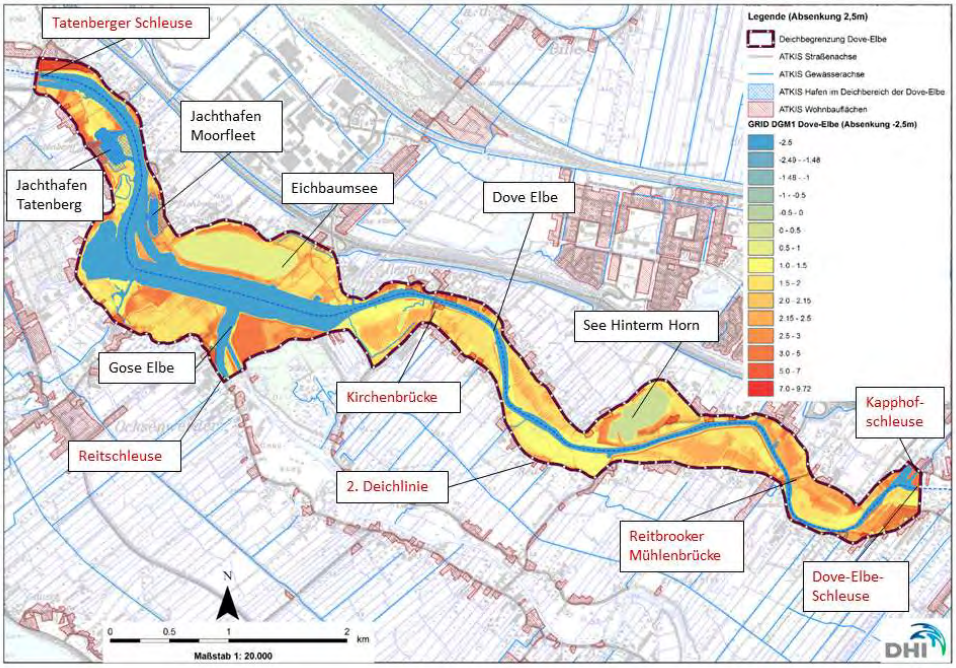


Abbildung 2.1: Untersuchungsgebiet zur Dove Elbe

Die Wasserfläche zwischen Tatenberger und Dove Elbe Schleuse beträgt 1,37 km² und entwässert ein Einzugsgebiet von ca. 514 km² (Stoll et al., 2015). Die Dove Elbe hat eine wichtige Funktion zur Hochwasserentlastung der oberen Bille, der vorrangig über den Stauraum im Oberwasser der Tatenberger Schleuse gewährleistet werden muss. Aus hydrologischer Sicht bildet die Dove Elbe ein Nadelöhr zum Gewässersystem der Bille.

2.2 Datengrundlage und verwendete Unterlagen

Für die Auswertung, den Modellaufbau sowie die Berechnung der Variante wurden die folgenden Datensätze und Unterlagen hinzugezogen und verwendet.

Tabelle 2-1: Genutzte Datensätze und Datenursprung

Bereitgestellt durch	Datensatz	Stand
Forum Tideelbe	Angaben zu den Tiefen der Dove Elbe	2018
HPA	Elbe Stationierung von Elbe-km 607 bis ca. 670	2018
Freie und Hansestadt Hamburg, Landesbetrieb Geoinformation und Vermessung	Download 15.05.2018 http://suche.transparenz.hamburg.de/dataset/atkis-digitales-basis-landschaftsmodell-hamburg11?forceWeb=true Download ATKIS Hamburg, 2018-04 (GML, NAS) ATKIS_BasisDLM_HH_2018-04-07.zip	2014
Freie und Hansestadt Hamburg, Landesbetrieb	Download 08.05.2018 Download Hamburg gesamt DGM 1, 2017 (2,3 GB) ASCII-Dateien von	2014

Bereitgestellt durch	Datensatz	Stand
Geoinformation und Vermessung	http://suche.transparenz.hamburg.de/dataset/digitales-hohenmodell-hamburg-dgm-15?forceWeb=true	
Stoll et al. (2015, vgl. Literaturverzeichnis)	Mittlere Tidekurve am Pegel Schöpfstelle, Wasserstände Dove Elbe, Bauwerksbreiten und Tiefen Tatenberger Schleuse	2015
Portal Tideelbe	Digitales Höhenmodell der Außenelbe, des Hamburger Hafens, und der Unterelbe	2016
Portal Tideelbe	Randbedingungen zu Wasserständen, Abflüssen, Salzgehalten, Schwebstoffgehalte	2016

3 Literaturstudie

Eine Reaktivierung der Dove Elbe war bereits Bestandteil einer früheren Untersuchung bei der BAW (2011) als Tidepolder. Die Ergebnisse der Studie der BAW ist in Kap. 3.2 zusammengefasst und liefert Hinweise auf die mögliche Wirkung einer Flutraumanbindung an der Dove Elbe.

Aus der Studie Stoll et al. (2015), die eine der wichtigsten Literaturquellen für die Dove Elbe ist, wurden Details zum Wasserhaushalt, Querbauwerken und zu Breiten, Sohlhöhen für die vorliegende Untersuchung abgeleitet bzw. entnommen.

3.1 Machbarkeitsstudie zur Tatenberger Schleuse

Aus der Machbarkeitsstudie zur Herstellung der ökologischen Durchgängigkeit gemäß EU-WRRL im Bereich der Tatenberger Schleuse (Stoll et al., 2015) geht hervor, dass die Schleuse funktionsbestimmend für alle WRRL-Maßnahmen im Gewässersystem Bille ist.

Die Machbarkeitsstudie enthält umfassende Informationen zur Tatenberger Schleuse und des angrenzenden Siels. Der Deichsiel dient der Binnenentwässerung bei einer maximal zulässigen Fließgeschwindigkeit von 2,5 m/s und wird in Trockenphasen z.T. auch zur Bewässerung genutzt. Die Tabelle 3-1 und die Abbildung 3.1 zeigen technische Bauwerksmerkmale der Tatenberger Schleuse und des Siels.

Tabelle 3-1: Technische Daten der Tatenberger Schleuse und des Siels, entnommen aus Stoll et al. (2015)

Technische Merkmale der Schleuse	
Schiffbare Länge	120 m
Lichte Weite	12 m
Drempelhöhen	Außenhaupt -3.7 mNHN Binnenhaupt -2.5 mNHN
Sohlvertiefung Außenhaupt	1.1 m
Sohlversatz Binnenhaupt	1.2 m
Höhe Außenhaupt	+5.7 mNHN / +8.4 mNHN
Binnenhaupt	+3.5 mNHN
Sohle binnen	-2.5 mNHN
Sohle außen	-3.7 mNHN
Außentor mit Hub- und Schiebemechanismus	
Binnentor mit 3 Flutschützen (2.5 x 0.8 m) und Schiebemechanismus	
Angeschlossene Wasserflächen	ca. 1,37 km²
Retentionsvolumen	$274 \cdot 10^3$ m³ (± 0.1 m)
Theoretische Volumenströme bei voller Ausnutzung dieses Retentionsvolumens	Tideniedrigwasser: $W_{MTide} < W_{binnen} \rightarrow 7{,}2$ Std. $Q_{Binnen \rightarrow außen} = 274.000\ m^3/7{,}2 \approx 38.100\ \frac{m^3}{h} \approx 10{,}6\ m^3/s$ Tidehochwasser: $W_{MTide} > W_{binnen} \rightarrow 5{,}3$ Std. $Q_{außen \rightarrow binnen} = 274.000\ m^3/5{,}3 \approx 51.700\ \frac{m^3}{h} \approx 14{,}4\ m^3/s$
Technische Merkmale des Siels	
Siellänge	~58.6 m
3 Sielzüge je	4.2 x 4 m
Sielsohle	-2.5 mNHN
Sielscheitel	+1.5 MNHN
Außen- und Binnenschütze als Hubschütze (automatisiert)	

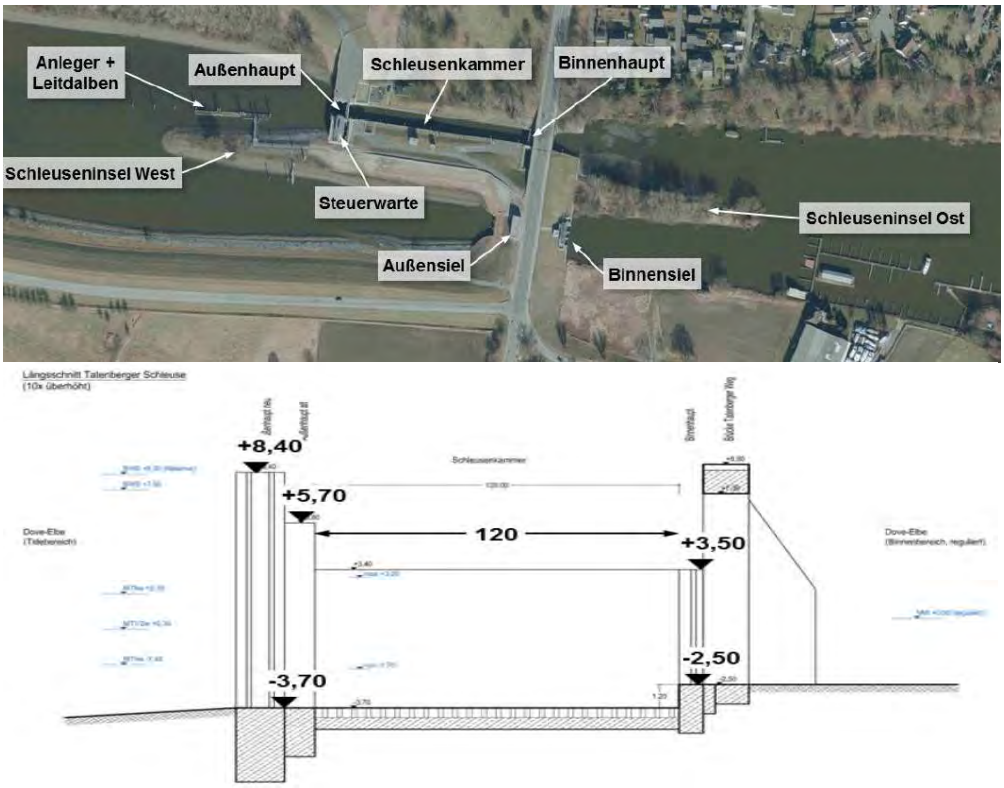


Abbildung 3.1: Luftbild (oben) und schematische Darstellung der Schleuse (unten), entnommen aus Stoll et al. (2015)

Die Abflüsse an der Tatenberger Schleuse sind durch Wasserförderungen der Hamburger Wasserwerke (HWW) und zahlreiche, nicht dokumentierte landwirtschaftliche Entnahmen unbekannt. Eine Abschätzung des Abflusses an der Tatenberger Schleuse wurde in Stoll et al. (2015) durch Umrechnung des Abflusses am Pegel Reinbek auf das Gesamteinzugsgebiet vorgenommen (Tabelle 3-2).

Tabelle 3-2: Abgeschätzte Abflüsse an der Tatenberger Schleuse entnommen aus Stoll et al. (2015)

Gewässer	Bille				abgeschätzte Oberwasserzu-flüsse an der Tatenberger Schleuse mit Aeo ~ 513 km²	
Pegel	Reinbek		Sachsenwaldau			
Aeo	335 km²		223 km²			
	Q	q	Q	q	q [l/s/km²]	Q [m³/s]
N	0,142	**0,42**	0,120	**0,54**	0,42	**0,21**
MN	0,811	**2,42**	0,490	**2,20**	2,42	**1,24**
35T	1,09	**3,25**	0,700	**3,14**	3,25	**1,67**
M	2,55	**7,61**	1,79	**8,03**	7,61	**3,90**
330T	5,06	**15,10**	3,4	**15,25**	15,10	**7,74**
H1	12,4	**37,01**	8,9	**39,91**	37,01	**19,0**
MH	14,2	**42,39**	10,8	**48,43**	42,39	**21,7**
H5	17,7	**52,84**	12,9	**57,85**	52,84	**27,1**
HQ	27,7	**82,69**	26,6	**119,28**	82,69	**42,4**
H100	27,9	**83,28**	19,5	**87,44**	83,28	**42,7**
KHQ	(~ H200)				90,00	**46,2**

3.2 Untersuchungen zu Strombaumaßnahmen der BAW (2011)

In einer Systemstudie der BAW (2011) wurden ca. 20 Retentionsräume an die Elbe angeschlossen. Hierzu zählten u.a. die Alte Süderelbe mit 526 ha Fläche und 21,1 Mio m³ zusätzlichem Tidevolumen und die Dove Elbe mit 479 ha Fläche und 19,9 Mio m³ zusätzlichem Tidevolumen.

Die Wirkung der beiden Fluträume auf die Elbe wurde zunächst zusammen mit 18 weiteren Retentionsräumen (Lage und Größe nicht genauer bekannt) untersucht. Aus dieser kombinierten Wirkungsanalyse aller 20 Maßnahmen ergab sich eine:

- Zunahme des Thw und Abnahme des Tnw von Cuxhaven bis ca. Elbe-km 690
- Abnahme des Thw und Zunahme des Tnw ab ca. Elbe.km 690 bis Geesthacht
- Zunahme des mittleren Salzgehalts um bis zu 0,1 PSU bis ca. Elbe-km 710
- Abnahme des mittleren Salzgehalts um bis zu 0,2 PSU zwischen Elbe-km 710 bis 650
- Abnahme der Ebbströmung bis Elbe-km 680, Zunahme ab Elbe-km 680
- Abnahme der Flutströmung bis Elbe-km 660, Zunahme ab Elbe-km 660
- Abnahme des Flussauf- und Flussabtransportes ab Elbe-km 680 stromab

- Zunahme des Flussauf- und Flussabtransportes ab Elbe-km 690 stromauf, aber Ebbstromdominant

Zusätzlich wurde auch die Einzelwirkung je Flutraum, Alte Süderelbe oder Dove Elbe, untersucht mit folgendem Ergebnis:

- Abnahme des Tidehubs bis zu 0,1 m (Flutraum Süderelbe)
- Abnahme des Tidehubs bis zu 0,3 m (Flutraum Dove Elbe)
- Zunahme der Ebb-/ Flutströmung bis zu 0,1 m/s (Flutraum Süderelbe)
- Zunahme der Ebb-/ Flutströmung bis zu 0,3 m/s (Flutraum Dove Elbe)
- Zunahme des mittleren Salzgehalts bis zu 0,2 PSU (Flutraum Süderelbe)
- Zunahme des mittleren Salzgehalts bis zu 0,2 PSU (Flutraum Dove Elbe)

Trotz der unterschiedlichen Lage, aber vergleichbaren Volumina der Fluträume ist die Wirkung auf den Salzgehalt, bei dem zugrunde gelegten Ereignis aus dem Juni 2002 mit ca. 550 m³/s Oberwasserabfluss vergleichbar. Für beide Fluträume erhöht sich der mittlere Salzgehalt um 0,2 PSU. Die Maßnahme der Dove Elbe bewirkt im Vergleich zum stromabwärts gelegenen Flutraum eine deutlichere Abnahme des Tidehubs und eine Stärkung der Ebb-/ Flutströmung. Für den Sedimenttransport lagen keine Ergebnisse vor.

Für einen Abgleich mit den in Kap. 4.2 vorgestellten Varianten ist zu beachten, dass der von der BAW untersuchte Flutraum mit einem Volumen von 19,9 Mio m³ von einer großräumigen Abgrabung unter Tnw ausgeht.

3.3 Informationen zum Eichbaumsee

Der Eichbaumsee weist gemäß Internetrecherche (https://de.wikipedia.org/wiki/Eichbaumsee) eine Fläche von 0,24 km², eine mittlere Tiefe von 8 m und eine maximale Tiefe von 16 m auf und entstand 1972 nach dem Sandabbau für die A25. Heute wird der See nur noch von Grundwasser gespeist. Seit Ausbau der Regattastrecke in der Dove Elbe (1977) gibt es keine direkte Verbindung mehr zur Dove Elbe. Der See wird vom Anglerverband Hamburg mit Karpfen, Hechten, Zandern und Schleien besetzt. Seit August 2007 liegt für den Eichbaumsee generelles Badeverbot wegen Blaualgen vor.

4 Vorprüfung und Konzeption

Phase 1 der Wirkungsanalyse zur Gewinnung von Flutraum in der Dove Elbe umfasst eine Vorprüfung der Wirksamkeit des Flutraumes mittels Volumen-Abfluss-Beziehung und überschlägiger Berechnungen.

Diese Prüfung der Wirksamkeit und Optimierung umfassten folgende Arbeitsschritte:

- Festlegung möglicher Varianten in Abstimmung mit dem AG inkl. zugehöriger Wasserspiegelschwankungen in der Dove Elbe
- Einbindung und Digitalisierung der Varianten in das GIS inkl. Ermittlung von Volumen und Flächen für bestimmte Höhenlagen (Wasserstand-Volumen-Beziehung)

- Berechnung des zusätzlichen Tidevolumens bzw. des reaktivierten Flut- und Ebbstromabflusses über die Tidekennwerte und die Tidedauern (vgl. Abbildung 4.1 und Tabelle 4-1)
- Abschätzung der Wirkung auf die Elbe über die Relation der Änderung der Flut- und Ebbstromabflüsse
- Konzeption der Öffnung der Deichlinie in Breite und Tiefe gemäß örtlichen Möglichkeiten und hydraulischer Erfordernisse inkl. Bestimmung möglicher Strömungsgeschwindigkeiten und Wasserspiegelschwankungen
- Optimierung der Variante/Varianten aus hydraulischer Sicht und mit Blick auf örtliche Restriktionen

4.1 Hydrodynamisches System der Dove Elbe

Für eine Vorabschätzung der Wirkung auf die Elbe in zusätzlich gewonnenem Tidevolumen und zusätzlichen Ebb- und Flutstromabfluss wurden zunächst die potentiellen Tidekennwerte (Wasserstände bei phasengleicher Öffnung) für die Dove Elbe aus Daten am Pegel Schöpfstelle (Elbe-km 615,3, Stoll et al., 2015)) aus den Jahren 2008 bis 2012 entnommen (Abbildung 4.1 und Tabelle 4-1).

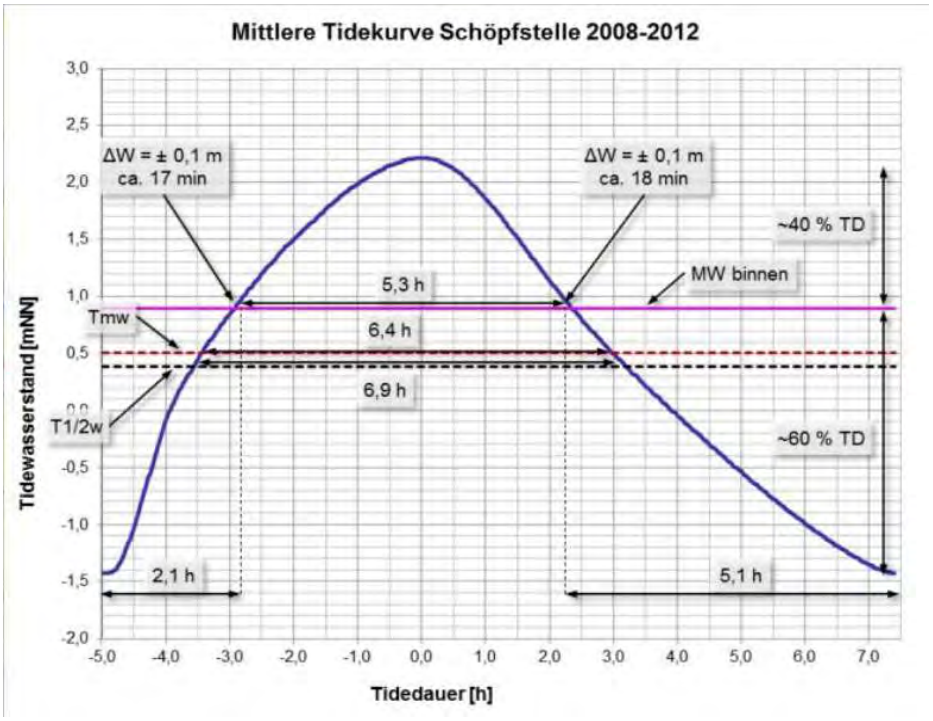


Abbildung 4.1: Schematische Darstellung der Tidekennwerte am Pegel Schöpfstelle entnommen aus Stoll et al. (2015)

Tabelle 4-1: Tideparameter des Pegels Schöpfstelle in der Elbe, (a) = Angaben entnommen aus Stoll et al. (2015), (m) = Werte abgeleitet aus modellierten Wasserstandsdaten am Pegel Schöpfstelle für das Jahr 2016

Parameter	Wert [Einheit]	Herkunft
Mittleres Tideniedrigwasser MTnw	-1,43 mNHN	(a)
Mittleres Tidehalbwasser MT1/2w	+0,39 mNHN	
Mittleres Tidemittelwasser MTmw	+0,51 mNHN	
Mittleres Tidehochwasser MThw	+2,21 mNHN	
Mittlere Flutdauer T_{flut}	5 h	(m)
Mittlere Ebbdauer T_{ebb}	7,42 h	
Wasserspiegelgradient für den Flutstrom $I_{wsp,flut}$	-0,008 $^0/_{00}$	(m)
Wasserspiegelgradient für den Ebbstrom $I_{wsp,ebbe}$	0,004 $^0/_{00}$	
Binnenwasserstand	+0,90 mNHN	(a)

Die Wasserspiegelgradienten I_{WSP} für Flut- und Ebbstrom wurde über vorliegende modellierte Wasserstandsdaten am Pegel Schöpfstelle für das Jahr 2016 in der Elbe () berechnet. Die Flut- und Ebbstromdauer wurde ebenfalls aus Modelldaten der Elbe bei Elbe-km 615 für das Jahr 2016 ermittelt. Der k_{st}-Wert mit 73 $m^{1/3}/s$ wurde aus dem kalibriertem k_s-Wert des 3D-Modells für eine relativ glatte Sohle der Elbe umgerechnet und dient alleinig zur Vordimensionierung hydraulischer Kennwerte.

Um einen Überblick über das derzeitige hydrodynamische System der Dove Elbe zu erhalten, wurden die Abflüsse, Wasserstände und Strömungen aus einem bestehenden Elbemodell für das Referenzjahr 2016 analysiert (Abbildung 4.2 und Tabelle 4-2). Diese Werte spiegeln die Hydraulik ohne die Aktivierung der Dove Elbe wider.

Derzeit fließen bei Flutstrom ca. 32 m³/s aus der Elbe in die Dove Elbe, während bei Ebbstrom nur 22 m³/s aus der Dove Elbe in die Elbe gelangen (Verhältnis Flutstrom zu Ebbstrom = 1,45:1).

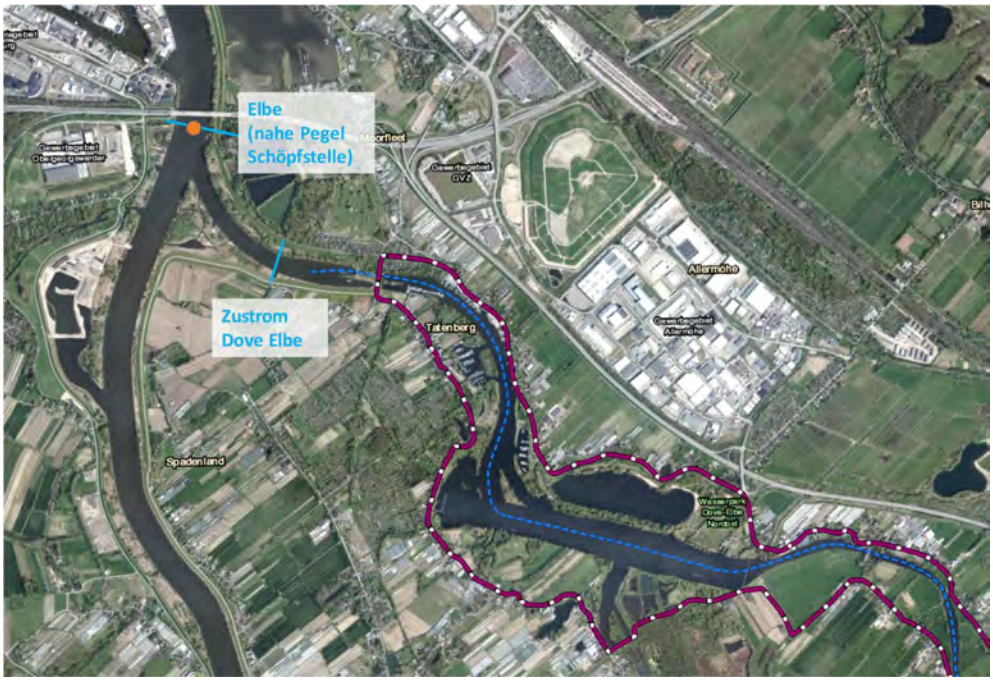


Abbildung 4.2: Skizze der Entnahmepunkte und -querschnitte der hydrodynamischen Kennwerte im Bereich Elbe und des Zuflusses Dove Elbe

Tabelle 4-2: Hydrodynamische Kennwerte an der Dove Elbe mit maximalem Flut- und Ebbstrom (Q_{flut}, Q_{ebbe}) im Jahresmittel, sowie die maximale Flut- und Ebbströmung (cs_{flut}, cs_{ebbe}) im Jahresmittel aus dem Jahr 2016.

	Q_{flut} [m³/s]	Q_{ebbe} [m³/s]	Q_{flut}/Q_{ebbe} [-]	cs_{flut} [m/s]	cs_{ebbe} [m/s]	cs_{flut}/cs_{ebbe} [-]
Elbe	ca. 950	ca. 1250	ca. 0,75	ca. 0,95	ca. 0,95	ca. 1,0
Zustrom Dove Elbe	ca. 32	ca. 22	ca. 1,45	ca. 0,95	ca. 0,9	ca. 1,05

4.2 Varianten und Prüfung der Varianten

Aus der Machbarkeitsstudie zur Tatenberger Schleuse geht eine Sohlhöhe von -2,5 mNHN auf der Binnenseite der Dove Elbe hervor. Folglich wurde diese Sohlhöhe in den Varianten bis zur Regattastrecke für die Dove Elbe angesetzt. Für die Regattastrecke wurde vom AG eine Sohltiefe von -7,5 mNHN und für den Oberlauf ab der Regattastrecke bis zur Dove-Elbe-Schleuse eine Sohlhöhe von -1,5 mNHN angenommen. Im heutigen Zustand weist die Dove Elbe eine Wasserfläche von ca. 380 ha und ein Wasservolumen von 3,5 Mio m³ (bis zum heutigen Stauwasserstand 0,90 mNHN) auf.

Die Berechnung der Tidereichweite in der Dove Elbe ohne Berücksichtigung des Zustrombauwerks erfolgte vereinfacht mittels einem 1D-Modell. Die Dämpfung der Tide entlang der Dove Elbe wurde unter der vereinfachten Abschätzung als gering angesetzt. Die Reaktivierung der Tide wäre in vollem Umfang (von Tnw bis Thw) möglich, wenn die Tide frei in die Dove Elbe ein- und auslaufen könnte. Aus den örtlichen Gegebenheiten an der Tatenberger Schleuse ist jedoch bekannt, dass die Zustrombreite begrenzt ist, so

dass die Tide beim Ein- und Auslauf stark gebremst und folglich in der Phase verzögert wird.

4.2.1 Entwicklung einer Zustromvariante für die Dove Elbe

Die Wiederanbindung der Dove Elbe an die Elbe ist notwendig für die Herstellung des Tideeinflusses im Flutraum. Die Flutung der Dove Elbe kann nur südlich der Tatenberger Schleuse z.B. durch die heutigen Sielzüge oder ein abweichendes Öffnungsbauwerk erfolgen.

Könnten alle derzeitigen Bauwerke für den Tideein- und -auslauf genutzt werden, so ergäbe sich ein Abfluss von 12 bis 17 m³/s durch die Schleuse auf einer Breite von 12 m und einem angesetzten Wasserspiegelgefälle der Elbe. Durch die Sielzüge mit jeweils 4,2 x 4 m, von denen zwei von drei in Betrieb sind und der dritte Sielzug als Reserve dient, ergäbe sich ein maximaler Abfluss von 126 m³/s und eine maximale Strömung von 2,5 m/s. Der erforderliche mittlere Durchfluss beträgt bei einem Zielwasserstand von 0,9 mNHN in der Dove Elbe 221 m³/s für den Flutstrom und 150 m³/s Ebbstrom unter der Annahme, dass die volle Flut- und Ebbstromdauer genutzt werden kann. Diese Abflüsse können derzeit nicht über die Öffnungen an der Tatenberger Schleuse ohne Aufstau abgeführt werden. Der maximal mögliche Durchfluss durch die Sielzüge und die Schleuse beträgt ca. 138 m³/s bei Flutstrom und 143 m³/s bei Ebbstrom.

Die nutzbaren Breiten im Bereich der Tatenberger Schleuse mit 12 + 12.6 m sind zu gering, sodass ein Wasserspiegelaufstau bei Zustrom auf der Außenseite und Wasserspiegelaufstau bei Abfluss auf der Binnenseite zu erwarten ist.

In Abstimmung mit Arbeitsgruppen und dem AG wurde festgehalten, dass die Tatenberger Schleuse für die Ein- und Ausfahrt der Schiffe bzw. Sportboote bestehen bleiben soll. Folglich bleibt nur der südliche Bereich, der heute über Sielzüge verfügt, um die Dove Elbe wieder an das Tidegeschehen anzubinden. Durch die Konzeption von Varianten (vgl. Kap. 4.2.2 folgende), die nicht das volle Tidehochwasser der Elbe in die Dove Elbe einlassen, empfiehlt sich eine steuerbare Struktur wie z.B. ein Sperrwerk. In Abstimmung mit dem AG wurde eine maximale Öffnungsbreite von 25 m in Form eines Sperrwerks südlich und parallel der Tatenberger Schleuse festgelegt. Dieses Sperrwerk wird über eine Zeitspanne von je 10 Minuten geöffnet zum Entwässern bzw. geschlossen zur Verhinderung eines zu hohen Wasserstandes in der Dove Elbe. Ein langsames Öffnen bzw. Schließen ist erforderlich, um Schwall- und Sunkwellen gering zu halten.

4.2.2 Eingrenzung der Varianten

Bei der Findung möglicher Varianten wurden folgende Restriktionen gesondert geprüft:

- Bebauung und landwirtschaftliche Nutzung
- Schutzgebiete

Für die zu erwartenden Tidehochwasserstände (MThw = 2,21 mNHN) ergeben sich Restriktionen durch eine potentielle Überflutung von landwirtschaftlichen sowie von z.T. bebauten Flächen. Folgende Tabelle 4-3 stellt die potentiellen Betroffenheiten ab einem Wasserstand von 1,10 mNHN und mehr im Untersuchungsgebiet dar. Die Abbildung 4.3 zeigt in farblicher Abstufung die Überflutungsflächen im Untersuchungsraum Dove Elbe (u.a. in blau Tönen die Überflutungsflächen bis 1,9 mNHN). Des Weiteren ist in der Abbildung die Lage von Wohn- und Gewerbefläche eingezeichnet.

Tabelle 4-3: Restriktionen durch potentielle Betroffenheiten im Untersuchungsgebiet Dove Elbe bei MThw

Lage der potentiellen Betroffenheiten im Untersuchungsgebiet	Betroffenheit ab welchem Wasserstand	Geplanter Umgang in den Varianten (V1 und V2)
Gewerbe oder Industrie am Ostufer gegenüber/ flussabwärtig vom Yachthafen Tatenberg	ab ca. 1,1 mNHN	V1: Tidereaktivierung nur bis 0,9 mNHN V2: Objektschutz
Wohnbebauung am Südwestufer an der Regattastrecke am Sommerdeich	ab ca. 1,7 mNHN	V2: Tidereaktivierung nur bis 1,7 mNHN
Wohnbebauung am Nordufer im Unterwasser der Kirchenbrücke	ab ca. 1,1 mNHN	V1: Tidereaktivierung nur bis 0,9 mNHN V2: Objektschutz
Wohnbebauung am Nordufer im Unterwasser des Sees Hinterm Horn	ab ca. 1,1 mNHN	V1: Tidereaktivierung nur bis 0,9 mNHN V2: Objektschutz
Gewerbe oder Industrie am Nordostufer an der Reitbrooker Mühlenbrücke	ab ca. 1,7 mNHN	V2: Tidereaktivierung nur bis 1,7 mNHN

Aus der Prüfung der Restriktionen im Untersuchungsraum zeigt sich, dass eine volle Tidereaktivierung der Dove Elbe bis zum MThw der Elbe nicht möglich ist, ohne sensible Bereiche entlang der Dove Elbe zu überfluten. Daher wird die einlaufende Tide im Bereich des Thws auf fixierte Wasserstände (vgl. Kap. 4.2.3 und 4.2.4) gesteuert bzw. durch ein Sperrwerk begrenzt.

Restriktionen für den Wasserstand zum MTnw hin liegen in Bezug auf die Freizeitschifffahrt und die Be- und Entwässerungen ebenfalls vor, wurden jedoch in den vorliegenden Varianten zunächst außer Acht gelassen und werden zu einem späteren Zeitpunkt genauer analysiert.

Eine hydraulische Anbindung des Eichbaumsee an die Dove Elbe wurde unter den sich dort einstellenden Strömungsbedingungen in der Dove Elbe in der Arbeitsgruppe vorteilig bewertet und folglich für alle Varianten eine hydraulische Anbindung vorgenommen.

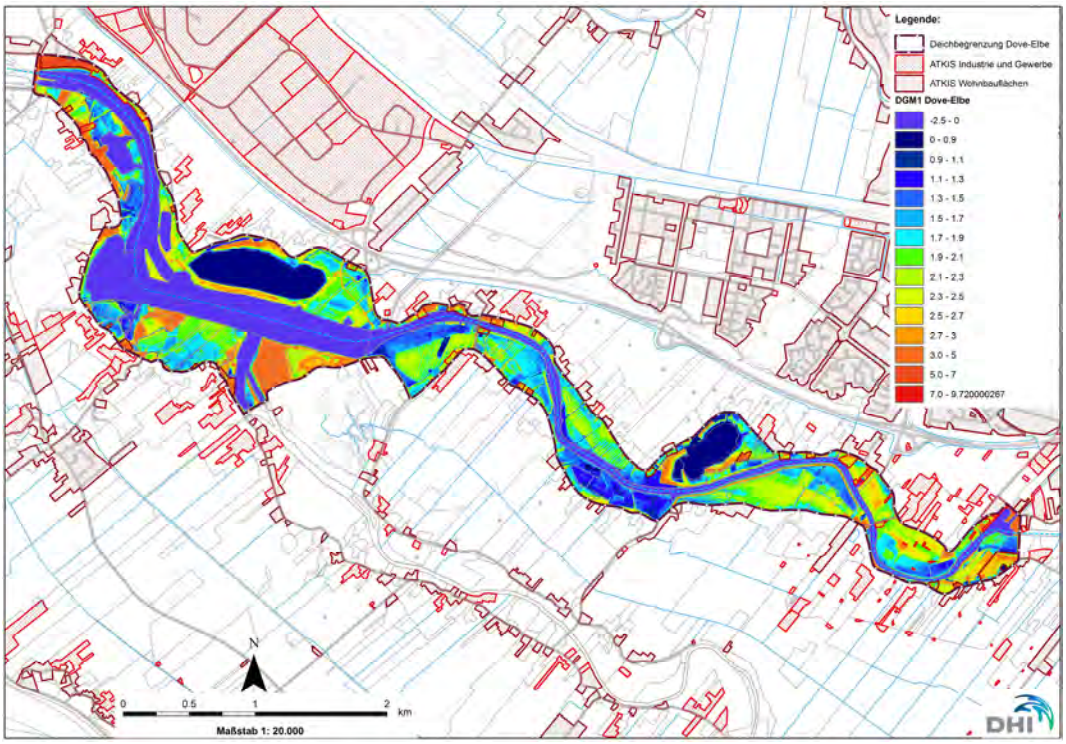


Abbildung 4.3: Farbliche Abstufung der Überflutungsflächen im Untersuchungsraum Dove Elbe bis 1,9 mNHN in blau Tönen, Höhen darüber in gelb und rot. Im Hintergrund Wohn- und Gewerbefläche sowie die Sommerdeichlinie.

Ergänzend zu den Restriktionen infolge bestehender Nutzungen u.a. durch Wohn- bzw. Gewerbenutzung wurden mögliche zusätzliche Abgrabungsflächen geprüft. So ergaben sich sechs potentielle Abgrabungsflächen, deren Tiefenlage mit -2 mNHN angenommen wurde (Abbildung 4.4).

Die Gebiete 1 (Laichgebiet für Lurche) und 4 (Ausgleichsfläche IKEA) wurden als bestehende Schutzgebiete identifiziert und daher ausgeschlossen. Die Wirkung des Gebietes 6 wurde durch die große Entfernung zur Mündung der Dove Elbe als gering eingestuft und daher nicht weiter berücksichtigt.

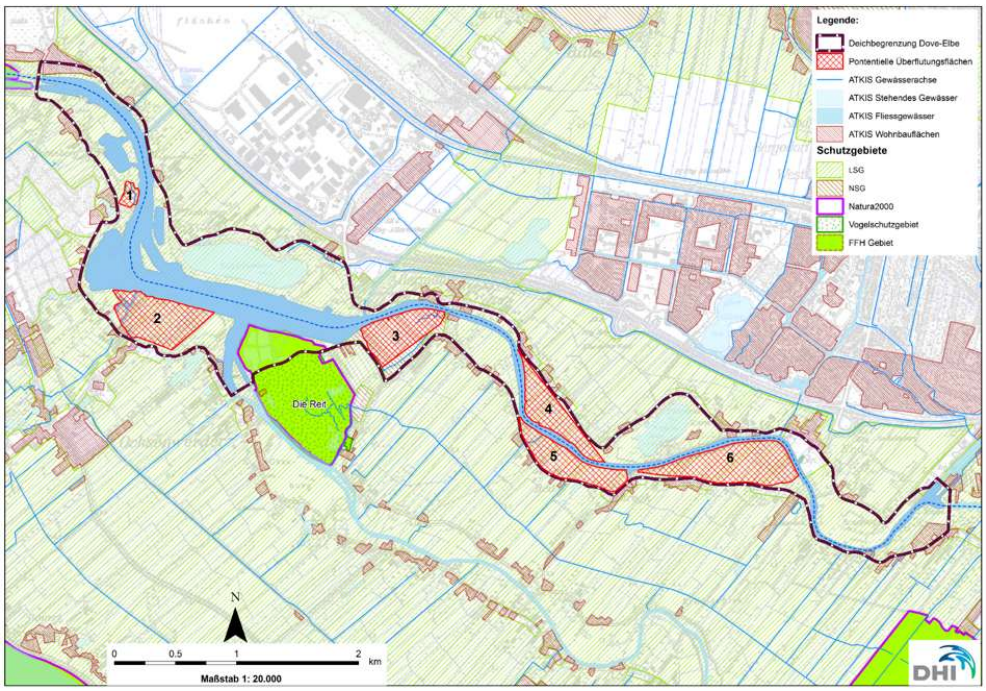


Abbildung 4.4: potentielle zusätzliche Fluträume im Untersuchungsgebiet der Dove Elbe

In der Tabelle 4-4 sind die verbleibenden drei Abgrabungsflächen (2, 3 und 5), die hydrodynamischen Parameter sowie die Vor- und Nachteile zusammengetragen.

Tabelle 4-4: Abschätzung der Größe, Volumina und Wirkung der möglichen zusätzlichen Abgrabungsflächen für einen Zielwasserstand von 1,7 mNHN.

Parameter für einen Wasserstand von 1,7mNHN	Abgrabungsfläche 2	Abgrabungsfläche 3	Abgrabungsfläche 5
Fläche [ha]	22,9	17,0	17,2
Volumen [Mio m³]	0,72	0,53	0,54
ca. zusätzliches mittleres Q_{ebb} [m³/s]	26,9	20,0	20,1
ca. zusätzliches mittleres Q_{flut} [m³/s]	39,9	29,6	29,9
Vorteile	Erhöhung der Wirkung „Flutraum Dove Elbe“ durch Anschluss zusätzlicher Volumina, u.a. Verlängerung des Ebbstroms		
Nachteile	Nähe zur Regattastrecke, Querströmungen beachten	Angrenzende Bebauung/ Nutzung beachten	mündungsfern, im schmalen Oberlauf der Dove Elbe angeschlossen

Als Fazit aus der Varianteneingrenzung ergibt sich, dass eine Reaktivierung der Dove Elbe voraussichtlich nur für das Tideniedrigwasser bis Wasserstände unter ca. 1,7 mNHN möglich ist. Restriktionen an die Absenkung bis zum Tideniedrigwasser wurden noch

nicht berücksichtigt. Zusätzliche Flächen entlang der Dove Elbe können nach einer ersten Vorprüfung zusätzlichen Flutraum schaffen. In Abstimmung mit dem AG wurde eine sogenannte Maximal- und Minimalvariante erarbeitet.

4.2.3 Minimalvariante (Variante 1)

Die Minimalvariante sieht auf einer Fläche von 180 ha inkl. Dove Elbe ein Zulassen der Tidedynamik von Tnw bis +0,9 mNHN und eine Wiederanbindung des Eichbaumsees an die Dove Elbe vor.

Der Eichbaumsee wird mit ca. 60 m Breite über den süd-westlichen Bereich an die Dove Elbe angeschlossen. Der See hat eine mittlere Wassertiefe von 8 m, so dass hier eine Sohle von -7 mNHN zugrunde gelegt wurde. In der Dove Elbe wurde die Sohle zwischen der Tatenberger Schleuse und der Regattastrecke auf -2,5 mNHN, in der Regattastrecke mit -7 mNHN und flussauf der Regattastrecke eine Sohltiefe mit -1,5 mNHN angesetzt.

Der Wasserstand in der Dove Elbe wird durch eine zeitweise Reaktivierung des Tideeinflusses abgesenkt (3,9 Mio m³ Tidevolumen). Der Tideanschluss erfolgt über den südlichen Bereich der Tatenberger Schleuse durch ein 25 m breites Sperrwerk, parallel zur nördlichen Schleuse. Dieses Sperrwerk wird entsprechend des obigen Zielwasserstandes in der Dove Elbe über eine Kontrolle des Wasserstandes in der Regattastrecke gesteuert. Durch die schmale Öffnung des Sperrwerks wird ein starker Aufstau bei Zu- und Abstrom durch das Sperrwerk hervorgerufen, so dass sich die Tidephasen in der Dove Elbe um ca. 0,5 bis 1 h gegenüber den Tidephasen in der Elbe verschieben.

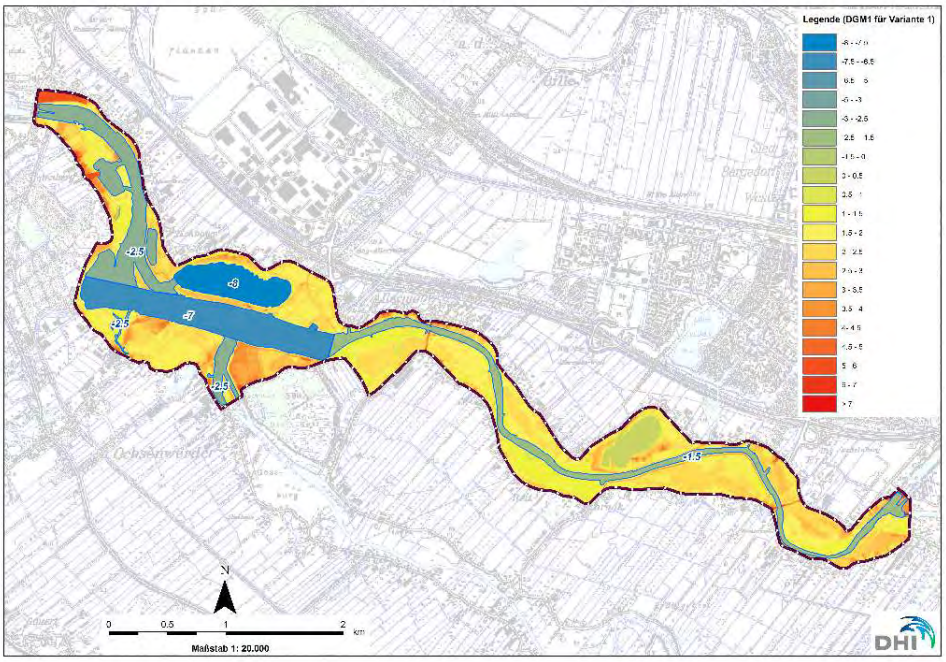


Abbildung 4.5: Minimalvariante (Variante 1) auf einer Fläche von 180 ha inkl. Dove Elbe mit einer Tidedynamik von Tnw bis +0,9 mNHN

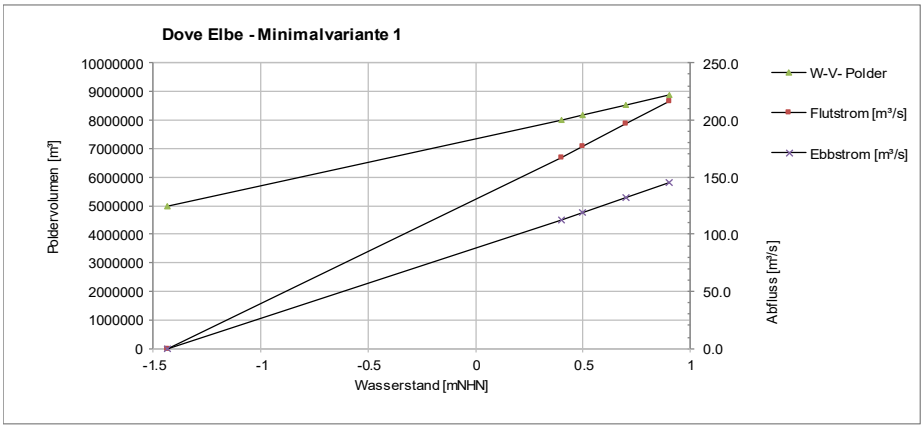


Abbildung 4.6: Wasserstands-Volumen- bzw. Wasserstands-Abfluss-Beziehung für die Minimalvariante (Variante 1)

Die Wasserstands-Abfluss-Beziehung aus Abbildung 4.6 liefert einen theoretischen mittleren Ebb- oder Flutstrom unter der Annahme, dass das Tidevolumen von 3,9 Mio m³ über die Ebbedauer der Elbe von 5 h ausströmt bzw. über die Flutdauer von 7,42 h der Elbe zuströmt. Aus dieser überschlägigen Abschätzung ergibt sich ein mittlerer, theoretisch möglicher Ebbstrom mit 145 m³/s (Stärkung des Elbeebbstroms um 12%) und ein Flutstrom mit 216 m³/s (Stärkung des Elbeflutstroms um 23%).

Mit der Umsetzung der Steuerung und der Drosselung durch die Sperrwerksöffnung ergibt sich später aus den numerischen Ergebnissen ein reduzierter Ebbstrom mit ca. 110 m³/s (Stärkung um 9%) und ein Flutstrom mit ca. 200 m³/s (Stärkung um 21%).

4.2.4 Maximalvariante (Variante 2)

Die Maximalvariante sieht auf einer Fläche von 290 ha inkl. Dove Elbe ein Zulassen der Tidedynamik von Tnw bis 1,7 mNHN, eine Wiederanbindung des Eichbaumsees und dreier zusätzlich abgegrabener Polderflächen (2, 3 und 5) an die Dove Elbe vor.

Der Eichbaumsee wird mit ca. 60 m Breite über den süd-westlichen Bereich an die Dove Elbe angeschlossen. Der See hat eine mittlere Wassertiefe von 8 m, so dass hier eine Sohle von -7 mNHN zugrunde gelegt wurde. In der Dove Elbe wurde die Sohle zwischen der Tatenberger Schleuse und der Regattastrecke auf -2,5 mNHN, in der Regattastrecke mit -7 mNHN und flussauf der Regattastrecke eine Sohltiefe mit -1,5 mNHN angesetzt.

Der Wasserstand in der Dove Elbe wird durch eine zeitweise Reaktivierung des Tideeinflusses abgesenkt (7,1 Mio m³ Tidevolumen). Der Tideanschluss erfolgt über den südlichen Bereich der Tatenberger Schleuse durch ein 25 m breites Sperrwerk, parallel zur nördlichen Schleuse. Dieses Sperrwerk wird entsprechend des obigen Zielwasserstandes in der Dove Elbe über eine Kontrolle des Wasserstandes in der Regattastrecke gesteuert. Durch die schmale Öffnung des Sperrwerks wird ein starker Aufstau bei Zu- und Abstrom durch das Sperrwerk hervorgerufen, so dass sich die Tidephasen in der Dove Elbe um ca. 1 bis 1,5 h gegenüber den Tidephasen in der Elbe verschieben.

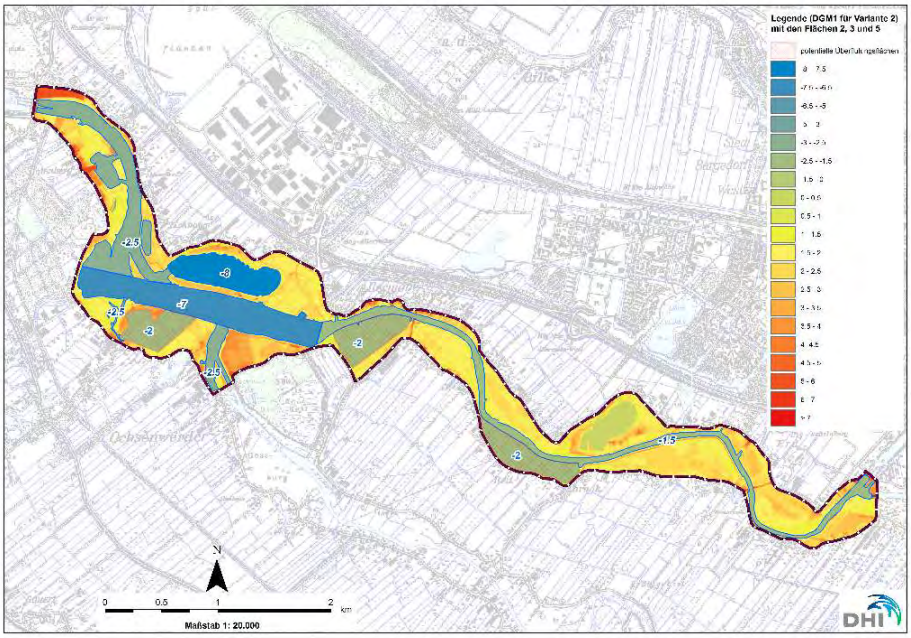


Abbildung 4.7: Maximalvariante (Variante 2) auf einer Fläche von 290 ha inkl. Dove Elbe mit einer Tidedynamik von Tnw bis 1,7 mNHN

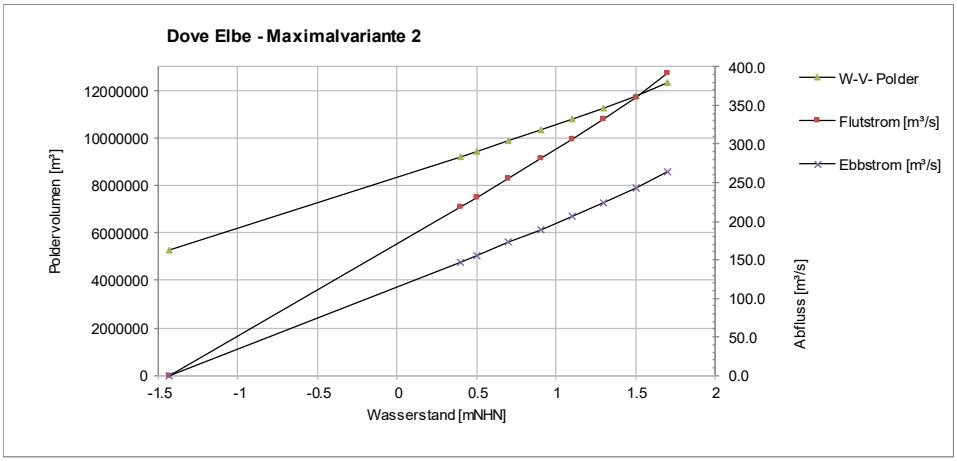


Abbildung 4.8: Wasserstands-Volumen- bzw. Wasserstands-Abfluss-Beziehung für die Maximalvariante (Variante 2)

Die Wasserstands-Abfluss-Beziehung aus Abbildung 4.8Abbildung 4.6 liefert einen theoretischen mittleren Ebb- oder Flutstrom unter der Annahme, dass das Tidevolumen von 7,1 Mio m³ über die Ebbedauer der Elbe von 5 h ausströmt bzw. über die Flutdauer von 7,42 h der Elbe zuströmt. Aus dieser überschlägigen Abschätzung ergibt sich ein mittlerer, theoretisch möglicher Ebbstrom mit 260 m³/s (Stärkung des Elbeebbstroms um 20%) und ein Flutstrom mit 390 m³/s (Stärkung des Elbeflutstroms um 40%).

Mit der Umsetzung der Steuerung und der Drosselung durch die Sperrwerksöffnung ergibt sich später aus den numerischen Ergebnissen ein reduzierter Ebbstrom mit ca. 150 m³/s (Stärkung um 12%) und ein Flutstrom mit ca. 260 m³/s (Stärkung um 27%).

5 Untersuchungen im hydronumerischen Modell

Die Untersuchung der Wirkung der Variante 1 und 2 zur Dove Elbe im hydronumerischen Modell beinhaltet folgende Arbeitsschritte:

- Einbindung der Variante 1 und 2 an das bestehende hydronumerische 3D-Modell der Tideelbe von Cuxhaven bis Geesthacht inkl. einer verfeinerten Auflösung des Anschlusses zur Dove Elbe
- Konzeption des Sperrwerks: Die exakte zeitliche Sperrwerkssteuerung wurde jeweils mit einem „Nulllauf“ des numerischen Modells bestimmt. In diesem Nulllauf bleibt das Sperrwerk offen und die Wasserstände in der Regattastrecke werden dokumentiert. Anhand der dokumentierten Wasserstände wird eine Steuerungsfunktion über die Zeit abgeleitet (Kap. 5.2.2)
- Simulation des Istzustandes der Tideelbe und des Planzustandes der Tideelbe mit Flutraum für einen Referenzzustand mit geringem Oberwasserabfluss (350 m³/s) und mittleren Tideverhältnissen
- Auswertung der hydrodynamischen Tidekennwerte in der Elbe zur Einstufung der Wirksamkeit auf den Sedimenttransport in der Elbe (u.a. Tidehub, Salzgehalte, signifikante Strömungskennwerte)
- Auswertung der hydrodynamischen Wirkung auf den Untersuchungsraum Dove Elbe (u.a. Strömungen, Wasserständen)

5.1 Modellsoftware

Für alle hydronumerischen Untersuchungen wurde die Software MIKE 3 FM (FM für flexible mesh, d.h. unstrukturiertes Gitter) von DHI verwendet. Das Programmsystem MIKE 3 FM wurde speziell für die Modellierung von dreidimensionalen, dichteabhängigen, instationären Strömungszuständen (Newtonsche Fluide) und Sedimenttransportprozessen in Ästuaren und im offenen Ozean modular entwickelt. Diese Ausrichtung spiegelt sich sowohl in der allgemeinen Konzeption als auch in der Kopplung der verschiedenen Module wieder. Ein Referenzieren erfolgt mittels einheitlichen Koordinatenbezugs für verschiedene Projektionen, gleicher Diskretisierung des Modellgebietes, einheitlicher Behandlung von Randbedingungen und Ansatz eines einheitlichen Verfahrens zur Lösung der approximierten Differentialgleichungssysteme mit Hilfe der Finite-Volumen-Methode.

5.1.1 Hydrodynamik (HD)

Die hydrodynamische Modellsoftware MIKE 3 FM HD für freie Oberflächengewässer basiert auf einem dreidimensionalen Ansatz mit einem vertikal inhomogenen Fluid. In der Vertikalen wird der Geschwindigkeits- und Dichtegradient in diskretisierter Form berücksichtigt, was auch die Betrachtung dichtegeschichteter Fluide erlaubt. Zur Berechnung der hydrodynamischen Prozesse werden in den Gleichungen folgende Einflüsse berücksichtigt:

- Gezeitenströmungen
- Einfluss von Auftrieb und Schichtung auf Grund unterschiedlicher Dichten
- Turbulente Diffusion, Advektion und Dispersion
- Corioliskraft
- Barometrische Druckgradienten
- Windschubkraft (hier nicht berücksichtigt)

- Variable Bathymetrien und Sohlrauigkeiten
- Überflutung und Trockenfallen von gezeitenbeeinflussten Bereichen
- Effekte von Zuflüssen und Rückgabebauwerken
- Quellen und Senken (Massen- und Impulserhaltung)
- Wärmeaustausch mit der Atmosphäre inkl. Verdunstung und Niederschlag (hier nicht berücksichtigt)

Impuls- und Massenerhaltung auch für die Inhaltsstoffe wie z.B. Salz und Temperatur werden in dem zugrunde liegenden Ansatz erfasst. Dieser basiert auf den inkompressiblen Reynolds-gemittelten Navier-Stokes Gleichungen unter Berücksichtigung der Annahmen von Boussinesq und unter Annahme einer hydrostatischen Druckverteilung.

Die 3d-Kontinuitätsgleichung lautet:

$$\frac{\partial u}{\partial x}+\frac{\partial v}{\partial y}+\frac{\partial w}{\partial z}=S$$

Unter der Verwendung von kartesischen Koordinaten lauten die zwei horizontalen Reynolds-gemittelten Navier-Stokes-Gleichungen für die x- und y-Komponenten:

$$\frac{\partial u}{\partial t}+\frac{\partial u^2}{\partial x}+\frac{\partial vu}{\partial y}+\frac{\partial wu}{\partial z}=f\cdot u-g\frac{\partial \eta}{\partial x}-\frac{1}{\rho_0}\frac{\partial p_a}{\partial x}-\frac{g}{\rho_0}\int_z^{\eta}\frac{\partial \rho}{\partial x}\partial z+F_u+\frac{\partial}{\partial x}\left(v_t\frac{\partial u}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(v_t\frac{\partial u}{\partial y}\right)+\frac{\partial}{\partial z}\left(v_t\frac{\partial u}{\partial z}\right)+u_sS$$

$$\frac{\partial v}{\partial t}+\frac{\partial vu}{\partial x}+\frac{\partial v^2}{\partial y}+\frac{\partial wv}{\partial z}=f\cdot v-g\frac{\partial \eta}{\partial y}-\frac{1}{\rho_0}\frac{\partial p_a}{\partial y}-\frac{g}{\rho_0}\int_z^{\eta}\frac{\partial \rho}{\partial y}\partial z+F_u+\frac{\partial}{\partial x}\left(v_t\frac{\partial v}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(v_t\frac{\partial v}{\partial y}\right)+\frac{\partial}{\partial z}\left(v_t\frac{\partial v}{\partial z}\right)+v_sS$$

mit:

x, y, z	kartesische Koordinaten
u, v, w	Strömungsgeschwindigkeitskomponenten in x, y, z Richtung [m/s]
ν_t	Wirbelviskosität [m²/s]
t	Zeit [s]
f	Coriolisbeschleunigung = $2\Omega\cdot\sin\phi$
η	Lage der Gewässeroberfläche
g	Erdbeschleunigung [m/s²]
ρ_0	Referenzdichte des Wassers [kg/m³]
p_a	atmosphärischer Druck [N/m²]
S	Betrag des Zuflusses aus Punktquellen [m³/s/m³]
u_s	Einleitgeschwindigkeit an der Punktquelle [m/s]

Für die Abbildung des Fließwiderstandes an der Sohle wird der empirische Ansatz der Nikuradse Rauheit k_n (mit einer äquivalenten Rauheitshöhe in [m]) genutzt. Die Wirbelviskositäten v_t können als konstanter Wert, als zeitveränderliche Funktion der lokalen Gradienten der Strömungsgeschwindigkeiten (Ansatz nach Smagorinsky) oder als Ergebnis eines gemischten k-ε Modells (1D-k-ε-Modell in der Vertikalen) und des Smagorinsky-Ansatzes in der Horizontalen angegeben werden. In allen hydromorphologischen Untersuchungen wurde ein gemischtes k-ε Modell in der Vertikalen und ein Smagorinsky-Ansatz in der Horizontalen genutzt.

Teil des hydrodynamischen Moduls ist auch die Erfassung des passiven Transportes von Temperatur und Salzgehalt auf Basis der dreidimensionalen Advektions-Diffusions-Gleichung. Beide Prozesse wurden in dieser Studie mitberücksichtigt.

Zur Berechnung der hydrodynamischen Prozesse in der Elbe wurden folgende Einflüsse berücksichtigt:

- Gezeitenströmungen
- Einfluss von Auftrieb und Schichtung auf Grund unterschiedlicher Dichten
- Turbulente Diffusion, Advektion und Dispersion
- Corioliskraft
- Überflutung und Trockenfallen
- Sohlrauheit nach Nikuradse (Modellparameter zur Kalibrierung)
- Turbulenz mit einem gemischten k-ε Modell in der Vertikalen und einem Smagorinsky-Ansatz in der Horizontalen
- Kein Wind
- Salinität oder Temperatur

5.2 Modellaufbau

Für die vorliegende Untersuchung wurde der Istzustand der Tideelbe (ohne Dove Elbe) sowie ein Planzustand mit Anschluss der Dove Elbe an die Elbe simuliert, um den Einfluss des Flutraums Dove Elbe auf das Tidegeschehen der Elbe zu untersuchen. Grundlage bildet ein bereits bestehendes kalibriertes und validiertes hydronumerisches 3D-Modell der Tideelbe von Cuxhaven bis Geesthacht.

5.2.1 Allgemeine Diskretisierung

Das Modell zur Berechnung des Flutraums Dove Elbe umfasst den tidebeeinflussten Bereich der Elbe vom Wehr in Geesthacht bei Elbekilometer 586 (Oberstrom) bis nach Cuxhaven bei Elbekilometer 724 (Unterstrom) und besitzt eine Länge von 138 Flusskilometern (Abbildung 5.1).

Die bathymetrischen Daten wurden aus dem digitalen Geländemodell (DGM) für die Bereiche der Außenelbe, den Hamburger Hafen und die Unterelbe entnommen. Die Auflösung der bathymetrischen Daten beträgt 5x5 m im Projektbereich, und 10x10 m im übrigen Modellgebiet.

Das Modellnetz wurde aus dreieckigen und quadrangulären Elementen erstellt und hat eine Auflösung von 40.000 m² in den groben und 50 m² in den feinsten Bereichen (Dove Elbe). Für eine Darstellung der Gitterauflösung ist eine Gesamtübersicht zu grob (Abbildung 5.1). Daher ist in der Abbildung 5.2 der Bereich Dove Elbe detailliert dargestellt. Das Modell der Elbe wurde in mehrere Bereiche mit unterschiedlichen Auflösungen eingeteilt. Im Verlauf der Hauptströmung wurde das Modell in quadranguläre Elemente (Quader) gegliedert. Die übrigen Gebiete, meist flachere Randbereiche der Elbe mit wechselnden Strömungsrichtungen, werden hingegen durch eine trianguläre Elementstruktur (Prismen) abgebildet.

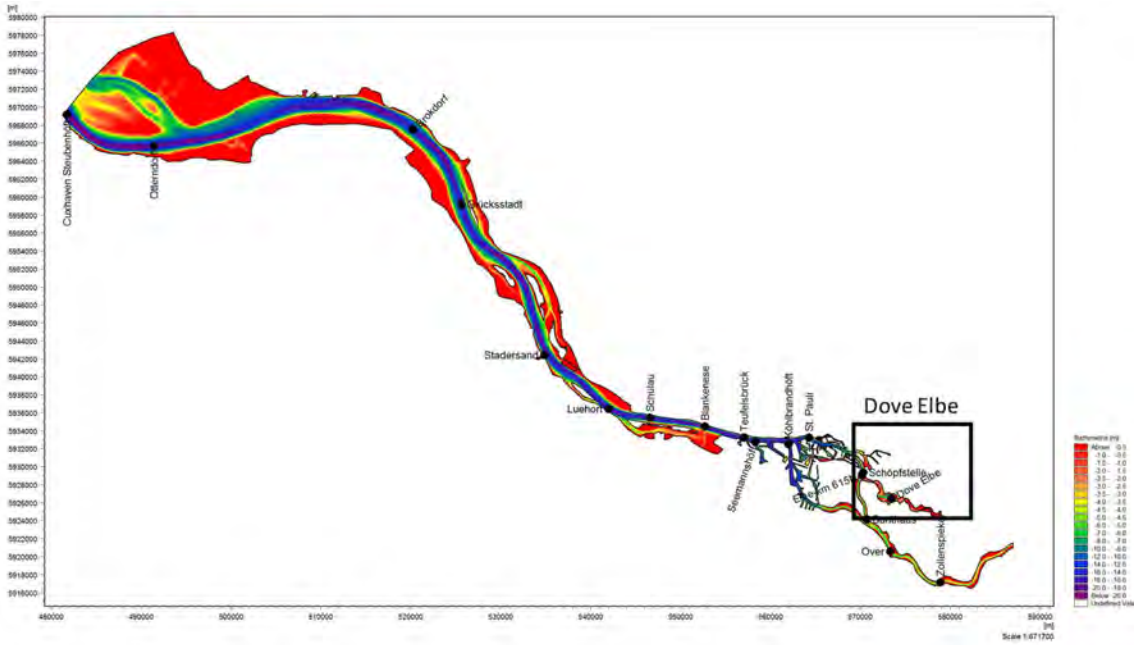


Abbildung 5.1: Übersicht 3D-Modell von Geesthacht (km 586) bis Cuxhaven (km 724) und Lage der betrachteten Gebiete

Im Bereich der Dove Elbe (Abbildung 5.2) variiert die triangulare Auflösung von maximal 9 x 9 m bis maximal 25 x 25 m. In den quadrangularen Bereichen erreichen die Elemente eine maximale Auflösung von 4 x 9 m bis maximal 60 x 40 m pro Element.

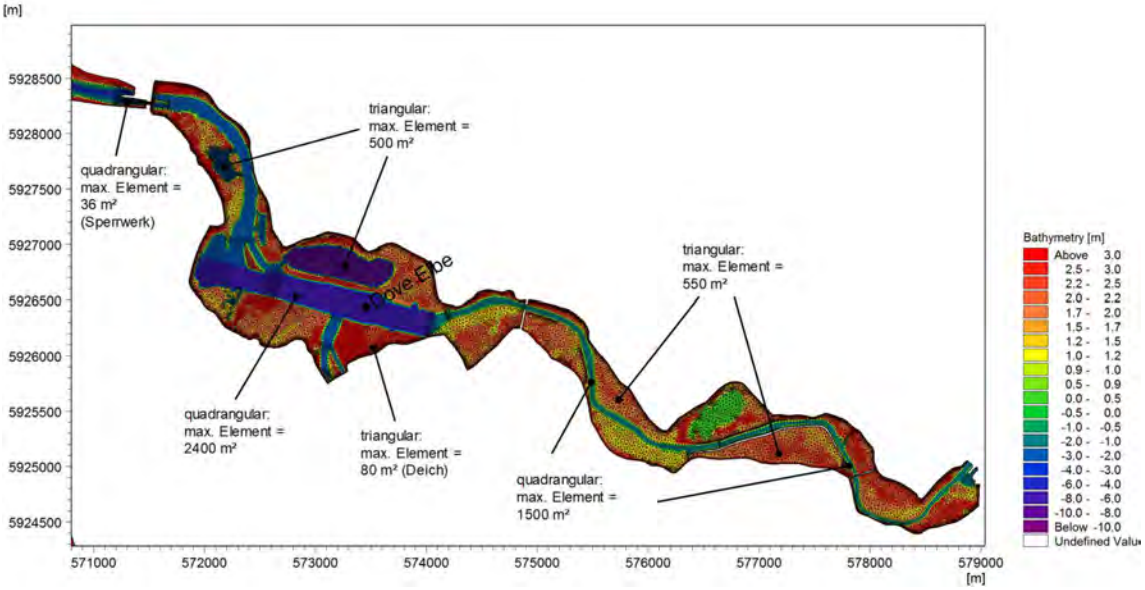


Abbildung 5.2: Detailbereich zum Modellgitter in der Dove Elbe mit verwendeter Modellauflösung (Variante 1)

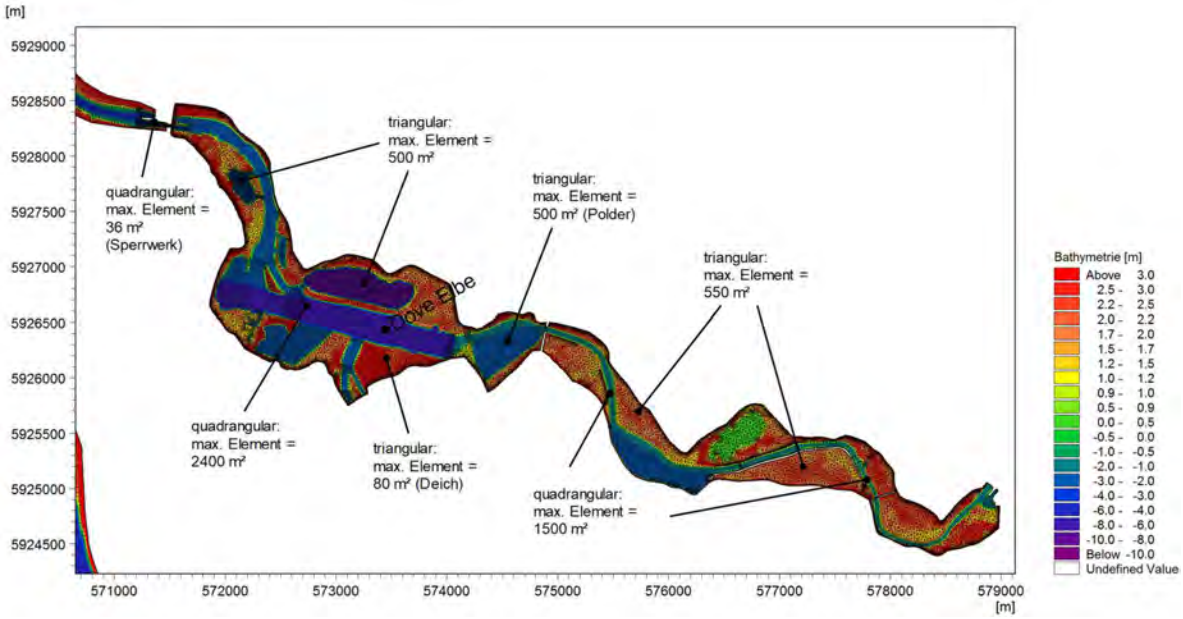


Abbildung 5.3: Detailbereich zum Modellgitter in der Dove Elbe mit verwendeter Modellauflösung (Variante 2)

Das Modell ist in vertikaler Richtung in acht Schichten aufgelöst, wobei ein äquidistantes Sigma-Netz verwendet wurde. Das bedeutet, dass sich die Schichthöhe der einzelnen Elemente gleichmäßig den jeweiligen Wassertiefen anpassen. Abbildung 5.4 zeigt beispielhaft in einem vertikalen Schnitt durch die Elbe am Kilometer 615 die dort vorhandene Modellauflösung.

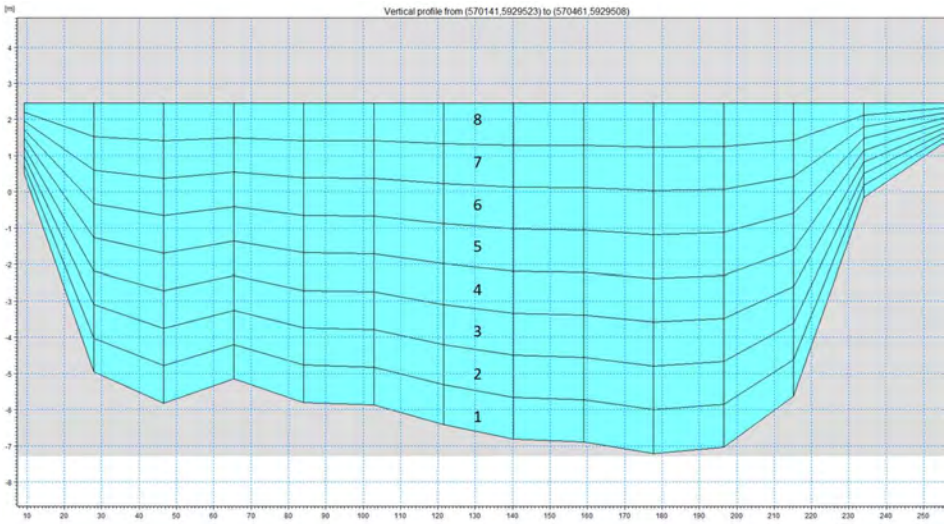


Abbildung 5.4: Vertikale Modellauflösung als Schnitt durch die Elbe bei Kilometer 615

5.2.2 Anschluss der Dove Elbe und Sperrwerkssteuerung

Für die Berechnung der Planzustände wird das Gebiet der Dove Elbe an das Tidegeschehen der Elbe angeschlossen. Die Varianten 1 und 2 werden über den ursprünglichen Zulauf der Dove Elbe auf Höhe der Tatenberger Schleuse mit der Elbe verbunden. Die bestehenden Sielzüge südlich der Tatenberger Schleuse wurden entfernt

und auf einer Breite von 25 m mit einer Sohltiefe von -2,5 mNHN geöffnet. In der neuen Öffnung wurde ein Sperrwerk eingebunden, dass bei jeder Tide den Wasserstand im Binnenbereich steuert. Dieses Bauwerk wäre in einer späteren Umsetzung erforderlich und wurde auch im numerischen Modell in seiner Steuerung detailliert mitberücksichtigt.

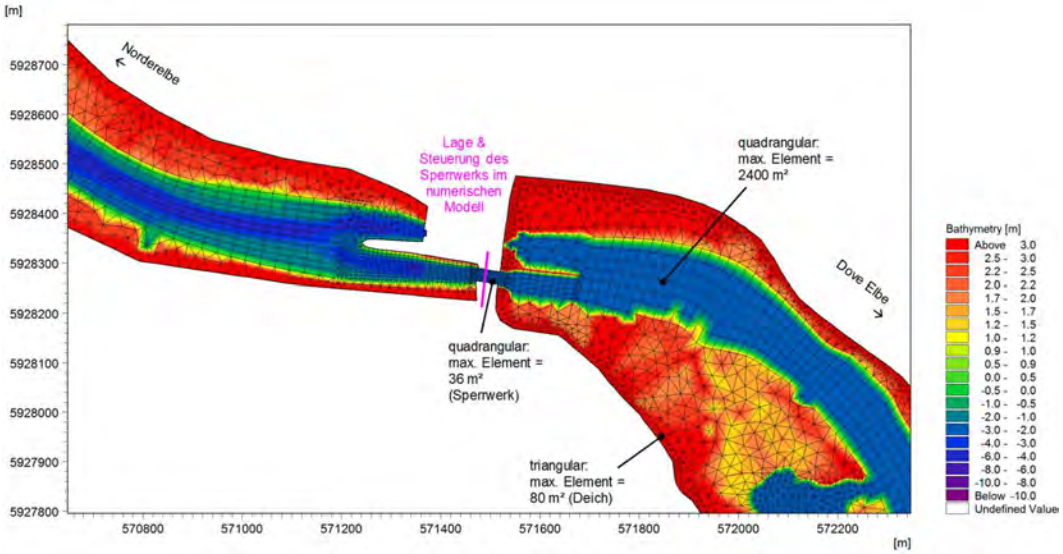


Abbildung 5.5: Zuwässerung der Dove Elbe durch Deichöffnung südlich der Tatenberger Schleuse auf einer Breite von 25 m mit einer Sohltiefe von -2,5 m NHN

Im untersuchten Zeitraum wurden mittlere Tiden (-1,9 bis 1,9 mNHN bei Cuxhaven) aus dem Juni 2016 mit einem konstanten Oberwasserabfluss von 350 m³/s angesetzt. In diesem Zeitraum wird das Sperrwerk je nach Variante (Abbildung 5.6) abweichend gesteuert:

- Variante 1: Schließen des Sperrwerkes bei Flutstrom, wenn ein Wasserstand von 0,90 mNHN in der Regattastrecke erzielt ist. Öffnen des Sperrwerkes bei Ebbstrom in der Elbe, wenn der Elbe einen Wasserstand von 0,90 mNHN erreicht hat.

- Variante 2: Schließen des Sperrwerkes bei Flutstrom, wenn ein Wasserstand von 1,70 mNHN in der Regattastrecke erzielt ist. Öffnen des Sperrwerkes bei Ebbstrom in der Elbe, wenn der Elbe einen Wasserstand von 1,70 mNHN erreicht hat.

Zur Erzeugung der Steuerungsfunktionen wurde für beide Varianten ein Nulllauf des numerischen Modelles ohne Steuerung des Zuflusses in die Dove Elbe gefahren, da die Wasserstände in der Dove Elbe phasenverschoben und mit gedämpfter Amplitude eintreten (Abbildung 5.6).

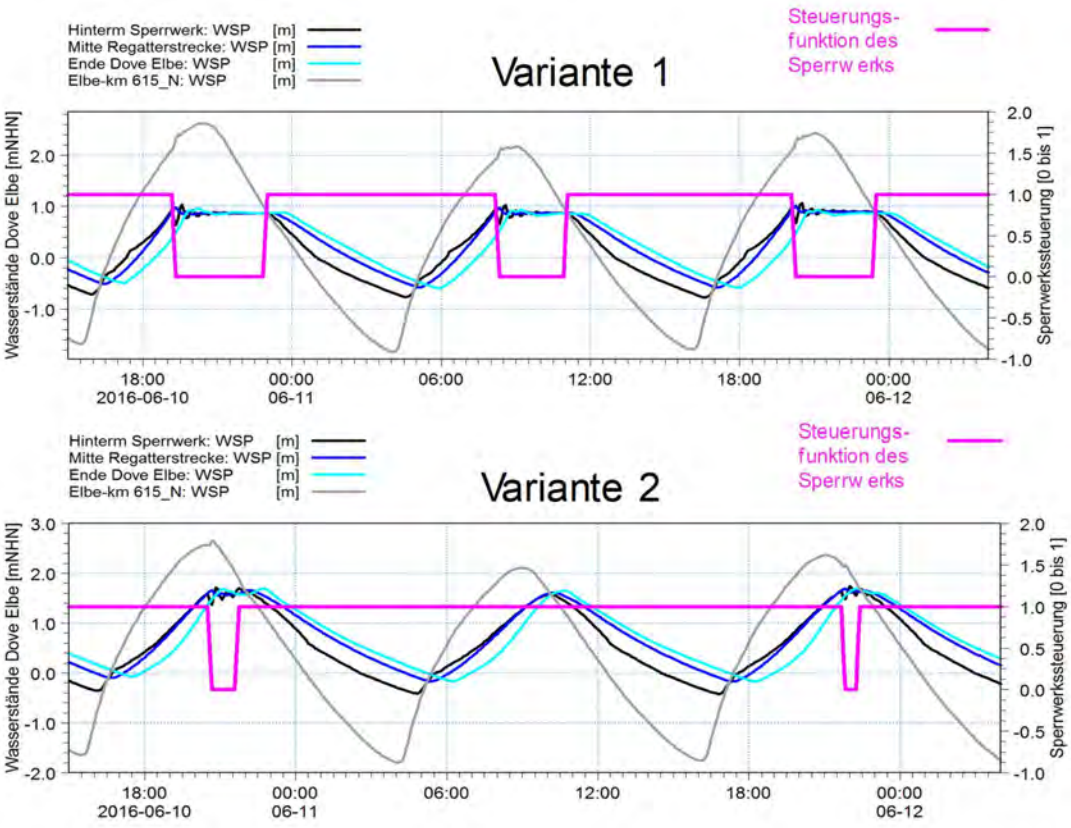


Abbildung 5.6: Zeitreihen zum Wasserstand bei Elbe-km 615 (Norderelbe) in grau, Wasserstände in der Dove Elbe in hell- bis dunkelblau und Steuerungsfunktion des Sperrwerkes (1 = voll geöffnet, 0 = voll geschlossen) in magenta. Wasserstände und Steuerung zur Variante 1 (oben) und zur Variante 2 (unten).

5.3 Hydrologische Daten und Randbedingungen

Die hydrologischen Randbedingungen in der Elbe werden durch den Oberwasserzufluss am Wehr Geesthacht und die bei Cuxhaven einlaufende Tidewelle geprägt. Anhand des Pegels Cuxhaven und der Oberwasserkurve in Neu Darchau wird die Hydraulik der Tideelbe beschrieben.

5.3.1 Hydraulische Randwerte

Als Referenzzeitraum wurde ein geringer Oberwasserabfluss mit einer mittleren Tide kombiniert, um ein für den Flussauftransport der Sommermonate typisches Ereignis in der Elbe zu Grunde zulegen.

Der Abflusskennwert wurde für das Modell konstant bei 350 m³/s gewählt. Dies entspricht einem Abflusswert knapp über dem MNQ. Der Abfluss wird am Wehr Geesthacht in das Modell eingespeist.

Der Wasserspiegel am Pegel Cuxhaven ist tidebeeinflusst. Als Referenzzeitraum für die Untersuchung wurde ein mittlere Nipp-Spring-Zyklus im Juni 2016 gewählt.

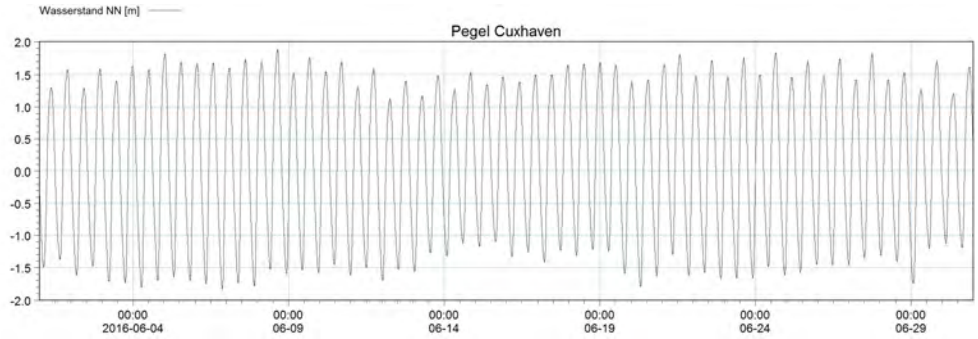


Abbildung 5.7: Wasserstand am Pegel Cuxhaven im Untersuchungszeitraum

5.3.2 Randwerte zu Salzgehalt und Temperatur

Salzgehalt und Temperatur sind weitere wesentliche Parameter für die hydrologischen Verhältnisse der Elbe. In Abbildung 5.8 ist der Salzgehalt dargestellt, der am seewärtigen Modellrand bei Cuxhaven gemessen und dort eingesteuert wurde. Bei Geesthacht werden 0,4 PSU konstant angesetzt.

Abbildung 5.9 zeigt die gemessene und eingesteuerte Ganglinie der Wassertemperatur zwischen 15°C und 19°C bei Cuxhaven. Die Messung zur Wassertemperatur am Pegel Bunthaus zwischen 20°C und 24°C wird bei Geesthacht als Randwerte eingesteuert.

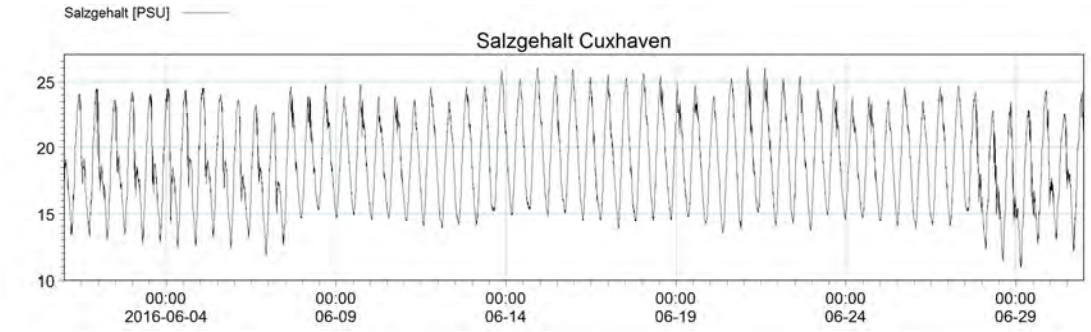


Abbildung 5.8: Im Modell eingesteuerter Salzgehalt am seewärtigen Rand bei Cuxhaven

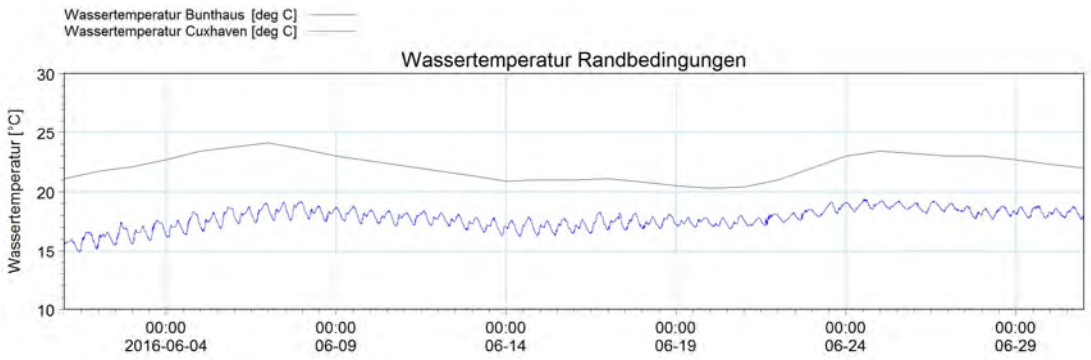


Abbildung 5.9: Gemessene Temperatur in der Elbe bei Bunthaus (schwarz) und bei Cuxhaven (blau)

Für beide Parameter, Salzgehalt und Wassertemperatur wurden Anfangswerte im Modell aus einem Initiallauf bis zum Juni 2016 3D-extrahiert und entsprechend im Modell flächig angesetzt.

5.3.3 Gewässer- und Vorlandrauheiten

Die Rauheiten wurden auf Basis des anstehenden Sedimentes an der Sohle (Sande bis Schluffe) und für Langzeit- und Einzelmessungen zu Wasserständen, Abfluss und Strömungen im Rahmen verschiedenster Studien nachkalibriert und validiert. Im hier zugrunde gelegten Modell sind die Rauheiten gemäß des Fließwiderstandes nach Nikuradse mit Werten zwischen 0,5 bis 11 mm belegt (Abbildung 5.10). Die gewählte Rauheit im Planungsraum der Dove Elbe beträgt 5 mm.

Die Turbulenzen werden durch ein kombiniertes k-ε und Mischweglängen-Turbulenzmodell im Modell erfasst. Das k-ε Modell hat eine geringe vertikale Dissipation. Zusätzlich wurde ein variabler Smagorinsky-Faktor zwischen 0,25 und 0,11 gewählt (Abbildung 5.11).

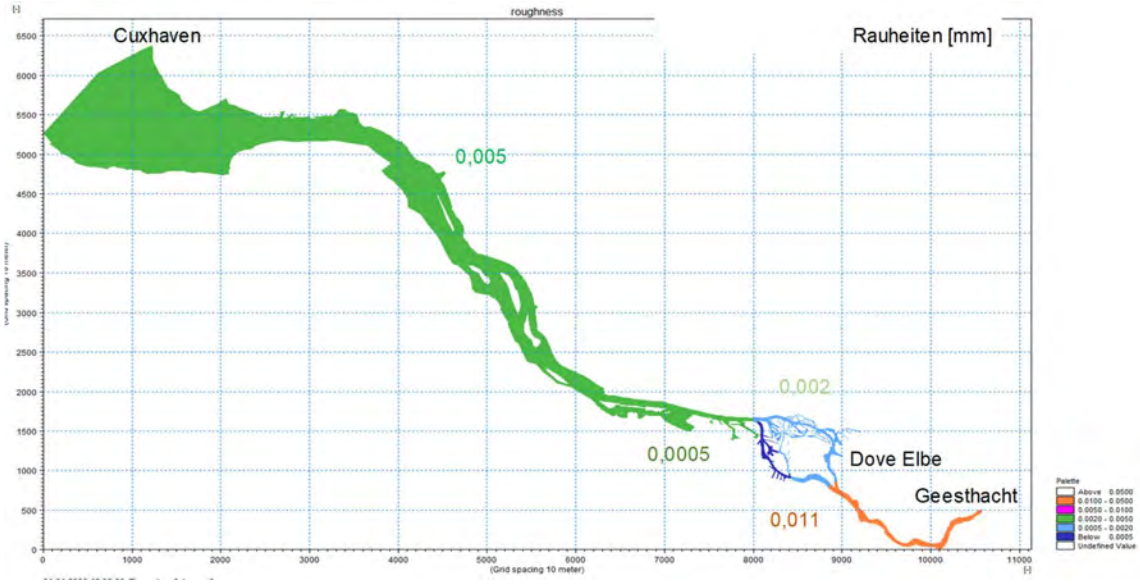


Abbildung 5.10: Rauheitskarte für das gesamte Modellgebiet Tideelbe

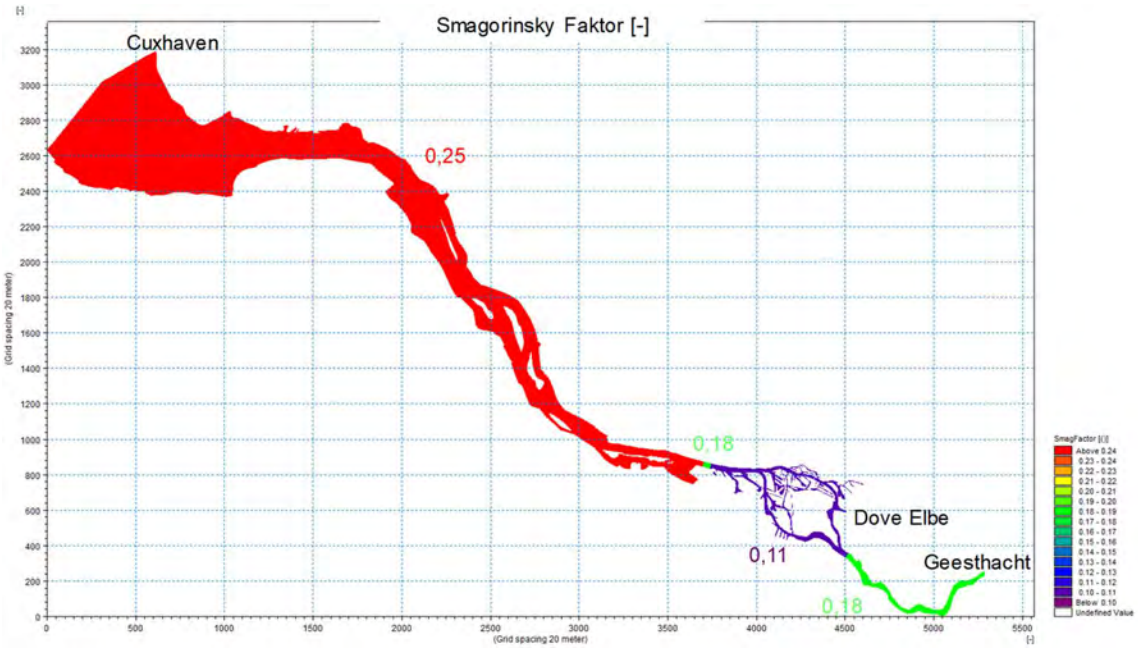


Abbildung 5.11: Smagorinskykarte für das gesamte Modellgebiet Tideelbe

6 Kalibrierung

Das bisherige dreidimensionale, hydrodynamische Modell zur Tideelbe wurde bereits in zurückliegenden Projekten kalibriert und validiert. Nach der Modellaktualisierung wurde eine Validierung bzw. eine Nachkalibrierung mit aktuellen Messdaten für das Jahr 2016 durchgeführt. Für den Zeitraum Mai 2016 stehen Messwerte des Wasserstands an 8 Stationen, Strömungen, Temperatur und Salzgehalt an 6 Stationen zur Verfügung, Abflusswerte wurden aus dem Jahr 2015 verwendet.

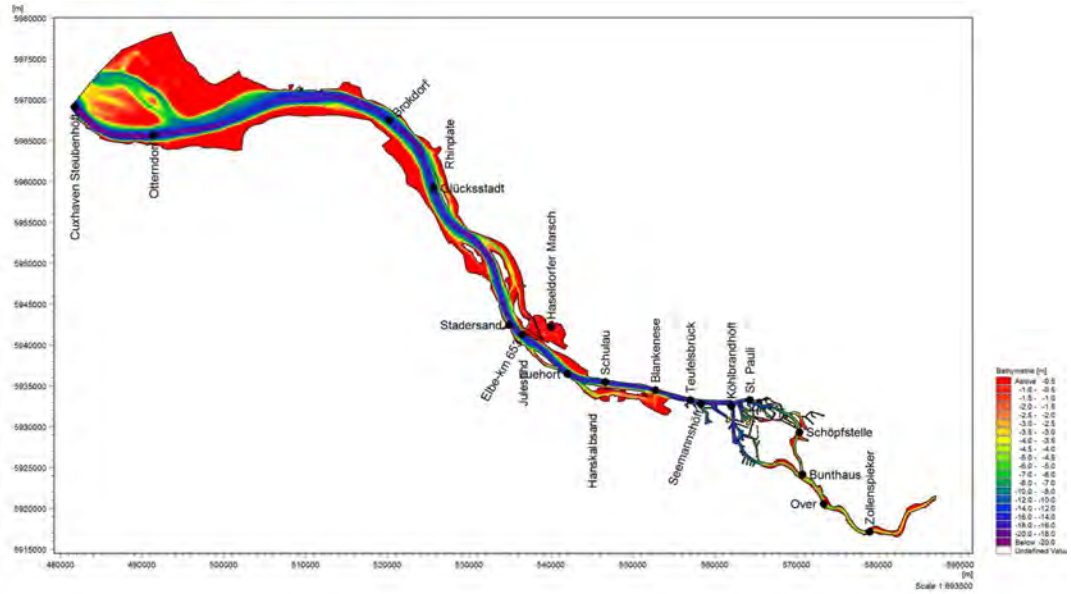


Abbildung 6.1: Messstationen entlang der Elbe zu Wasserstand, Strömung, Temperatur und Salzgehalt

6.1 Wasserstand

Das Modell der Tideelbe wurde mit Wasserstandsdaten an den Pegeln Otterndorf, Brokdorf, Stadersand, Blankenese, Seemannshöft, Bunthaus und Zollenspieker kalibriert. Die Auswertung in Abbildung 6.2 zeigt, dass durch die gesamte Tideelbe von der Mündung (Otterndorf) bis in den Oberlauf (Zollenspieker) sowohl die Tidephase (zeitlicher Verlauf der Tidekurve) als auch die Tideamplitude (Tidehochwasser und Tideniedrigwasser) vom Modell sehr gut abgebildet werden.

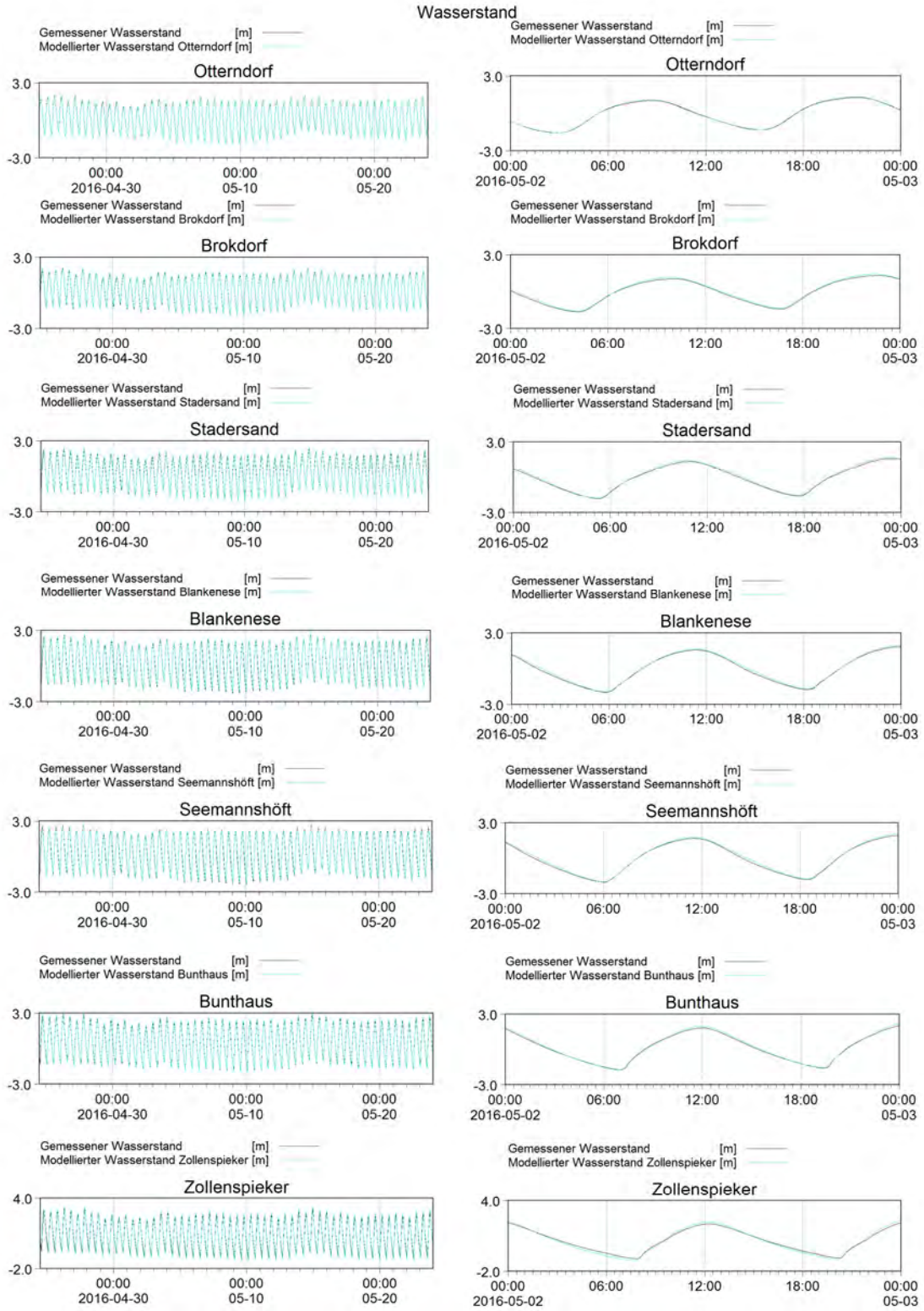


Abbildung 6.2: Vergleich der gemessenen und modellierten Wasserstände für den Kalibrierzeitraum Mai 2016 an den Stationen Otterndorf, Brokdorf, Stadersand, Blankenese, Seemanshöft, Bunthaus und Zollenspieker

6.2 Strömungen

Die Auswertung erfolgt an den Stationen Rhinplate Nord (D4), Juelsand (D2) und Hanskalbsand (D1) jeweils an der Gewässeroberfläche und -sohle. Die Auswertung in Abbildung 6.3 zeigt den Vergleich der modellierten mit den gemessenen Strömungen. Die Modellqualität an den Stationen Rhinplate Nord (D4) und Juelsand (D2) ist hinsichtlich der Amplitude der Strömungsgeschwindigkeiten, auch differenziert über die Wassertiefe (höhere Geschwindigkeiten an der Gewässeroberfläche) ebenso wie im Verlauf der Strömungen (Anstieg und Abfall bei Ebbe und Flut) gut. An der Station bei Hanskalbsand (D1) sind Abweichungen in der Strömungsform bei Ebbstrom und in der Amplitude zu erkennen. Die zeitliche Lage der Strömungskenterung und die Maxima sind hier jedoch stimmig.

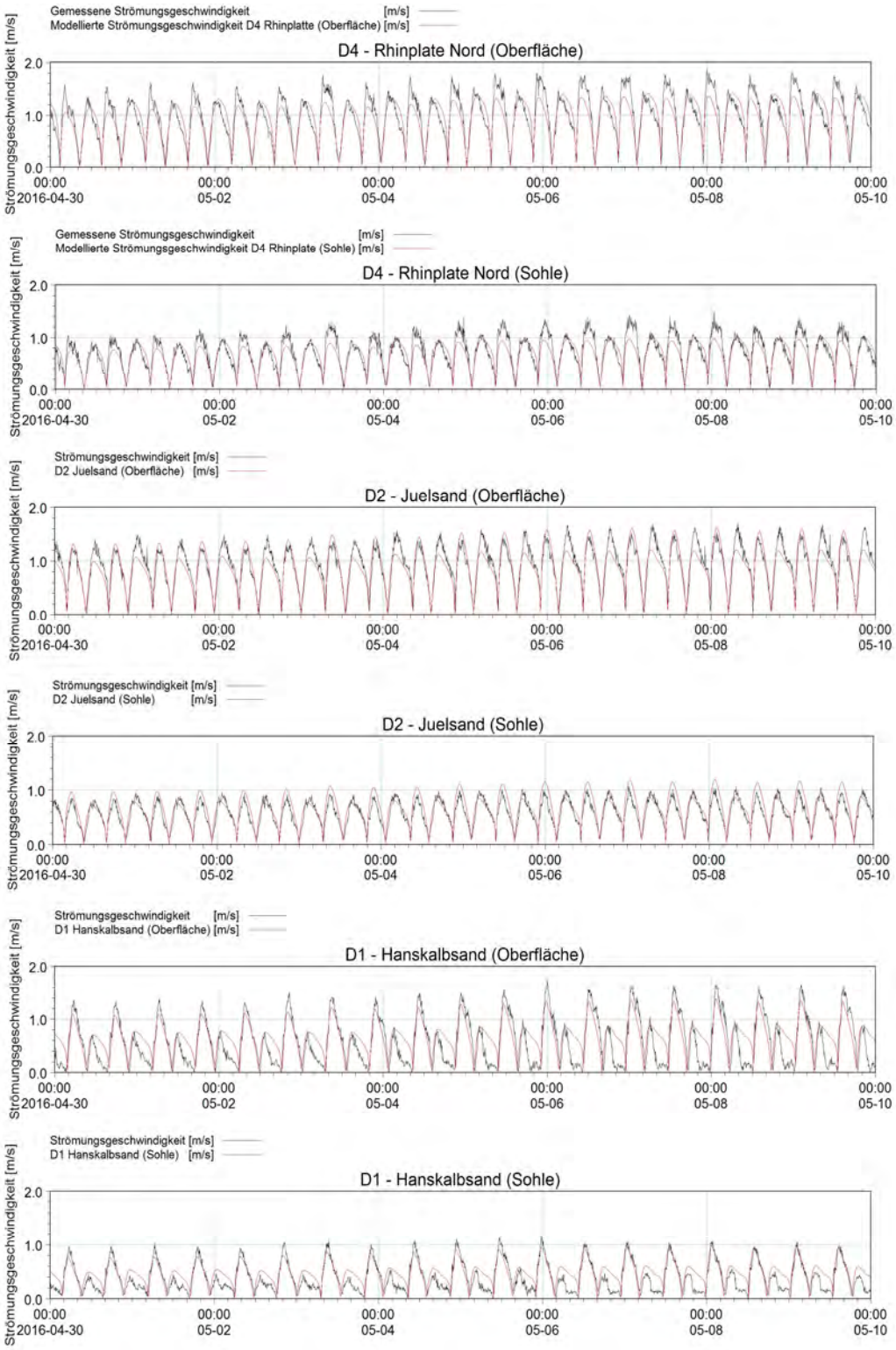


Abbildung 6.3: Vergleich der gemessenen und modellierten Strömungsgeschwindigkeiten an der Gewässeroberfläche und -sohle für einen Ausschnitt (30.4.2016 bis 10.5.2016) des Kalibrierzeitraums Mai 2016 an den Stationen Rhinplate Nord (D4), Juelsand (D2) und Hanskalbsand (D1).

6.3 Temperatur

Abbildung 6.4 zeigt die Modellergebnisse sowie die gemessenen Wassertemperaturen an den Stationen Bunthaus, Seemannshöft und Juelsand Oberfläche (D2). Die Abweichungen der berechneten und gemessenen Temperaturen nehmen im Fließverlauf von Geesthacht bis Cuxhaven tendenziell leicht zu. So liegen die Modellergebnisse an der Station Juelsand zeitweise knapp 1°C über den Messergebnissen. Insgesamt wird die Temperatur durch das Modell gut abgebildet.

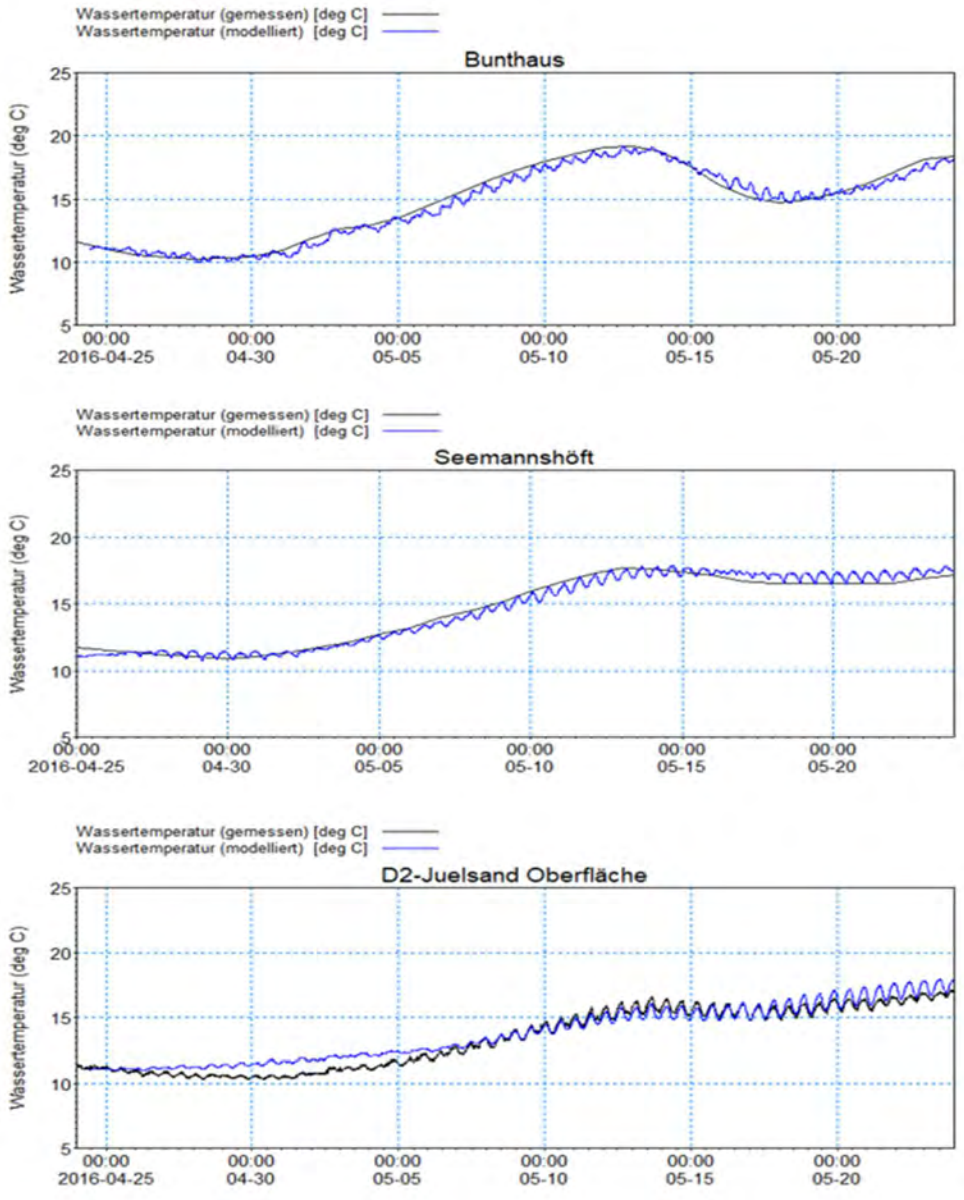


Abbildung 6.4: Vergleich der gemessenen und modellierten Wassertemperatur für den Kalibrierungszeitraum Mai 2016 an den Stationen Bunthaus, Seemannshöft und Juelsand (D2)

6.4 Salzgehalt

Abbildung 6.5 vergleicht die Zeitreihen der modellierten und gemessenen Salzgehalte und zeigt die Abnahme des Salzgehalts im Verlauf der Tideelbe nach Oberstrom von 6 bis 21 PSU in der Nähe des Nordseemodellrands (Altenbrucher Bogen) bis nur noch 0,6 bis 3,6 PSU im Bereich der Rhinplate bis hin zu 0,4 bis 0,7 PSU auf Höhe Hanskalbsand. Der Vergleich der modellierten und gemessenen Salzgehaltverteilung zeigt insbesondere für die Stationen LZ3c Altenbrucher Bogen und Brunsbüttel, dass das Modell sowohl die Schwankungen über die Tide, als auch die abnehmende Konzentration nach Oberstrom gut abbildet. Ebenso werden die hydrodynamisch bedingten Schwankungen gut berücksichtigt.

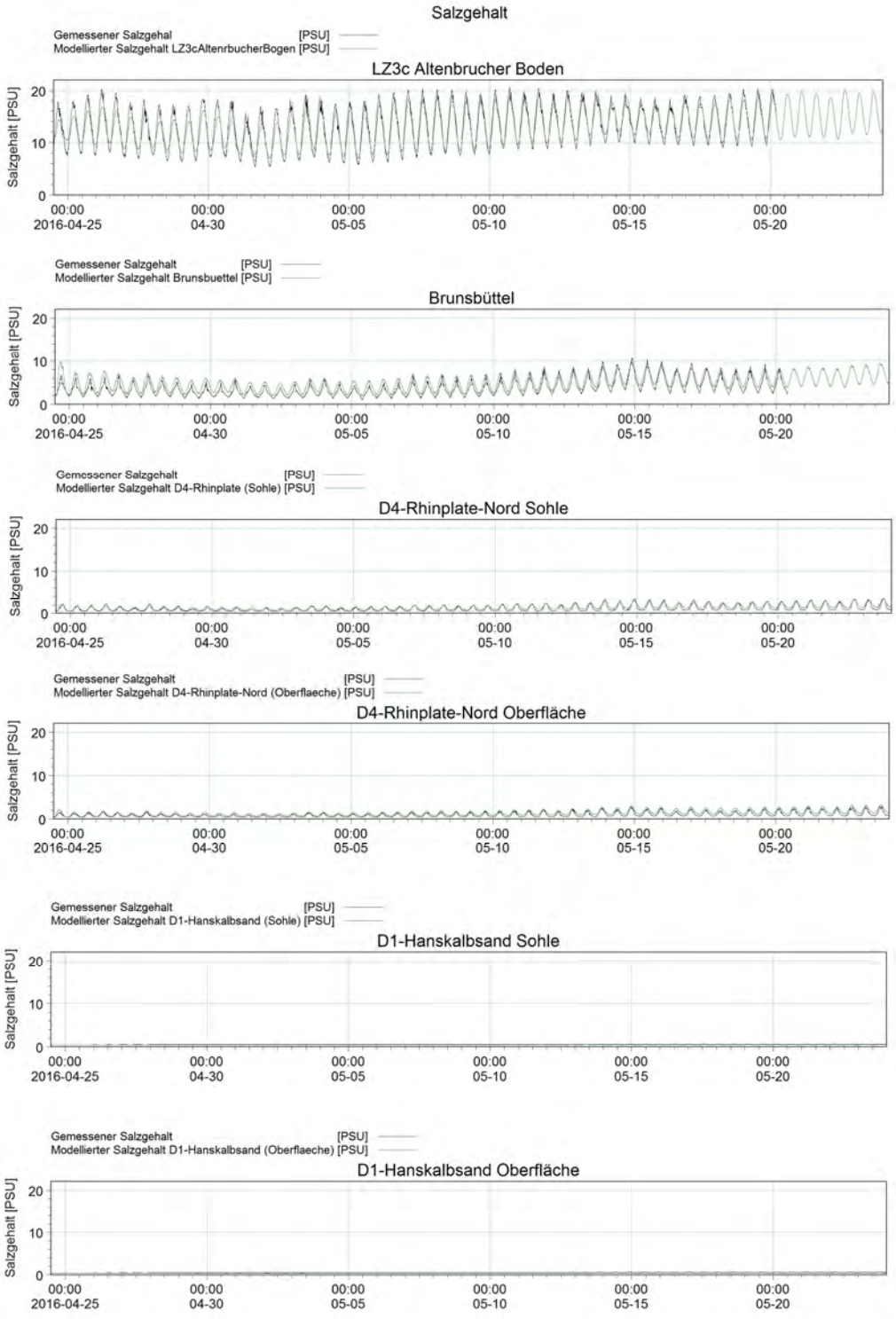


Abbildung 6.5: Vergleich des gemessenen und modellierten Salzgehalts für den Kalibrierzeitraum Mai 2016 an den Stationen LZ3c Altenbrucher Bogen, Brunsbüttel, Rhinplate Nord (D4, Gewässeroberfläche und -sohle) und Hanskalbsand (D1, Gewässeroberfläche und -sohle)

7 Anbindung der Dove Elbe (Ergebnisse)

Die Wirkung der Anbindung der Dove Elbe im hydronumerischen Modell wird mit Fokus auf Elbe und im Hinblick auf den Nahbereich am Flutraum ausgewertet und interpretiert.

7.1 Wirkanalyse für die Elbe

Für die Wirkanalyse in der Elbe wurden die Tidekennwerte entlang der Elbe ausgewertet. Die Tidekennwerte (Abbildung 7.1) Wasserstände, Abflüsse, Strömungen und Salzgehalte wurden je Tide über einen Nipp-Spring-Zyklus ausgewertet und über den Gesamtzeitraum gemittelt. Die Werte für die Wasserstände, Strömungen und Salzgehalte sind nachträglich tiefengemittelte Größen, die entlang der Fahrrinne je Flusskilometer extrahiert wurden. Die Abflüsse bzw. Volumina wurden anhand von Querprofilen an den strömungslotrechten Achsen je Flusskilometer extrahiert.

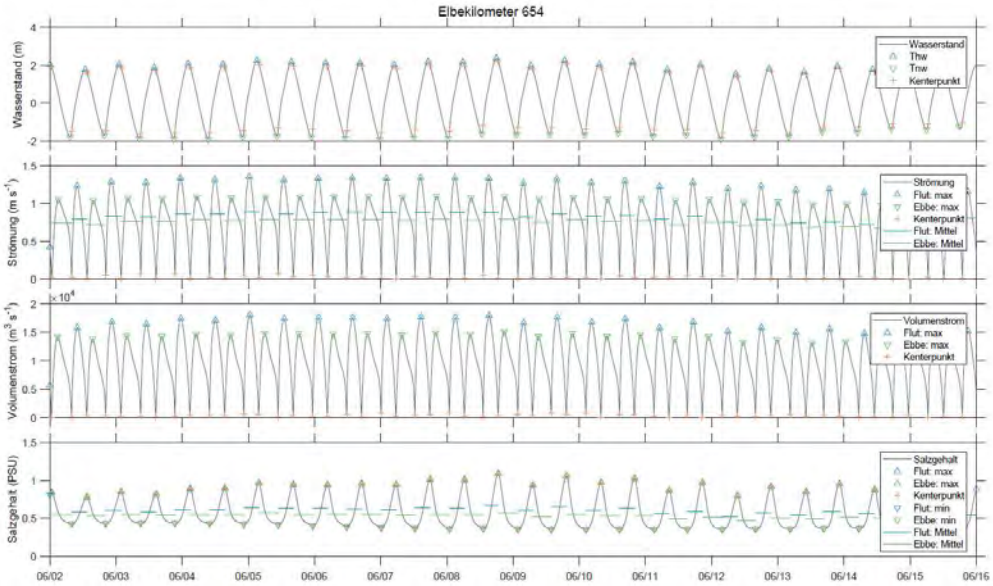


Abbildung 7.1: Analyse und Auswertung der Ergebnisse je Elbe-km in der Tidekennwertanalyse am Beispiel der Station 654

Der Tidenhub und der Salzgehalt dienen als Indikator für eine großräumige Systemwirkung. Die Flutstromdominanz, der Gradient der Strömungskenterung und das Verhältnis des Tidestroms dienen als maßgebende Indikatoren für die Wirkung auf den Sedimenttransport.

Zur Bewertung der Variante wurden für Feinsedimente repräsentative Kennwerte aus der Hydrodynamik ausgewählt. Die Wahl der Kennwerte erfolgte entsprechend ihrer Bedeutung für den Transport von feinen Sedimenten:

- Abnahme des Tidehubs als allgemeiner Indikator für eine Verbesserung der hydraulischen Situation mit der Folge einer Schwächung der maximalen Flutströmung und einer Stärkung der maximalen Ebbströmung.
- Verringerung der Tideasymmetrie basierend auf einem Verhältniswert der Abflüsse als Verhältnis zwischen Flut- und Ebbstrom. Darin enthalten ist eine Abnahme des Flutstroms als Indikator für einen Rückgang des durch den Flutstrom induzierten Sedimenttransports und eine Zunahme des Ebbstroms.

- Verringerung des Verhältnisses der maximalen Strömungsgradienten von Flut- und Ebbstrom (dv/dt), das zufolge Dronkers (1986) ein Indikator für den Sedimenttransport ist. Die Abnahme der maximalen Kenterungsgradienten von Flut- und Ebbströmung ist eine Indikation für die abnehmende Sedimentmobilisierung bei einsetzendem Flut- bzw. Ebbstrom. Der maximale Gradient der Flutströmung steht für den Grad der Remobilisierung nach der Ebbstromkenterung. Je steiler der Gradient, desto größer die Beschleunigung in m/s² und desto stärker die Remobilisierung. Nimmt der maximale Gradient der Flutströmung ab, nimmt auch die Remobilisierungskraft für den flussaufwärtigen Transport ab.

- Reduktion der Flutstromdominanz auf Basis eines Verhältnisses der maximalen Flutströmung zur maximalen Ebbströmung im Hauptgerinne von weniger als 1 (Flutstromdominanz mit einem Verhältnis von > 1). Diese kennzeichnet die sich typischer Weise aufsteilenden Tidewelle in Richtung Oberwasser (hypersynchroner Charakter) des Ästuars und ist nach Dronkers (1986) ein Indikator für den Transport grober Sedimente.

Bei der Interpretation des Verhältnisses der maximalen Strömungsgradienten ist zu beachten, dass die Gradienten der Strömungskenterung bewertet werden. Gemäß DIN 4049-3 (Abbildung 7.2) wird der Gradient für den Ebbstrombeginn als Flutstromkenterung bezeichnet, der Gradient für den Flutstrombeginn als Ebbstromkenterung bezeichnet.

$$Faktor = \frac{Gradient\ Flutstromkenterung}{Gradient\ Ebbstromkenterung} = \frac{Gradient\ Ebbstrombeginn}{Gradient\ Flutstrombeginn}$$

Folglich ist die Abnahme des Faktors negativ zu bewerten, da dies darauf hinweisen kann das der Flutstrombeginn steiler verläuft als bisher. Die Zunahme des Faktors der Gradienten ist hingegen positiv zu bewerten.

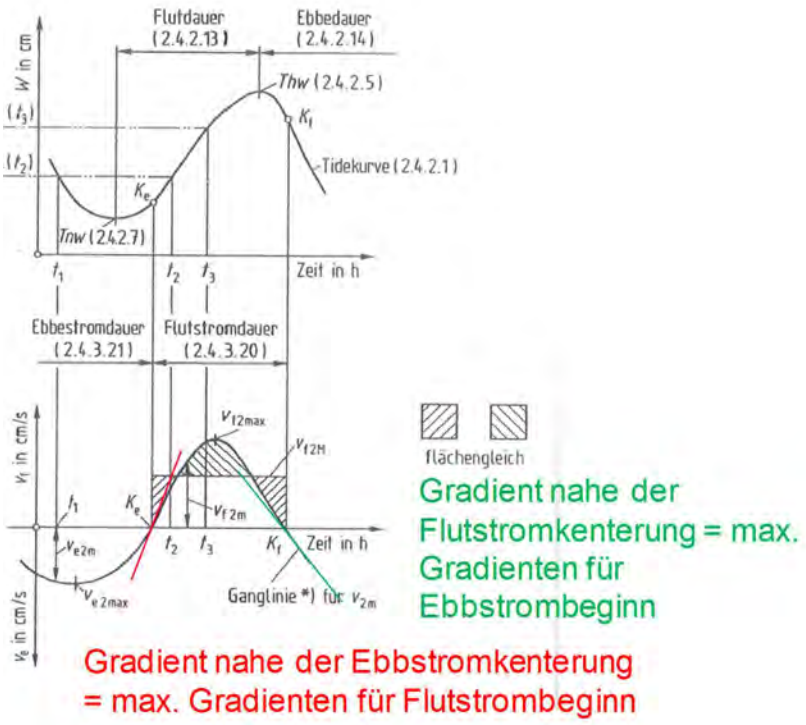


Abbildung 7.2: Definition des Verhältnisses der maximalen Strömungsgradienten bei Kenterung (aus DIN 4049-3)

7.1.1 Mittlerer Tidenhub

In Abbildung 7.3 wird der Kennwert mittlerer Tidenhub zwischen Bunthaus und Cuxhaven entlang der Strommitte in den Plan- und dem Istzustand sowie als Differenz dargestellt. An Elbe-km 615 befindet sich im Plan-Zustand der Anschluss der Dove Elbe an die Norderelbe. Der Anschluss des Flutraums zeigt lokal eine hohe Abnahme des Tidenhubs um ca. 10 bis 15 cm. Die großskalige Wirkung für beide Varianten der Tidehubabnahme reicht von Bunthaus bis ca. Elbe-km 690 mit ca. 6 cm im Mittel. Nahe Brunsbüttel stellt sich infolge der Anbindung der Dove Elbe (beide Varianten) eine leichte Zunahme des Tidehubs mit bis zu 3 cm ein.

Die Entwicklung des Tidehubs infolge des Flutraumanschlusses ist positiv durch die großräumigen Abnahmen zu bewerten.

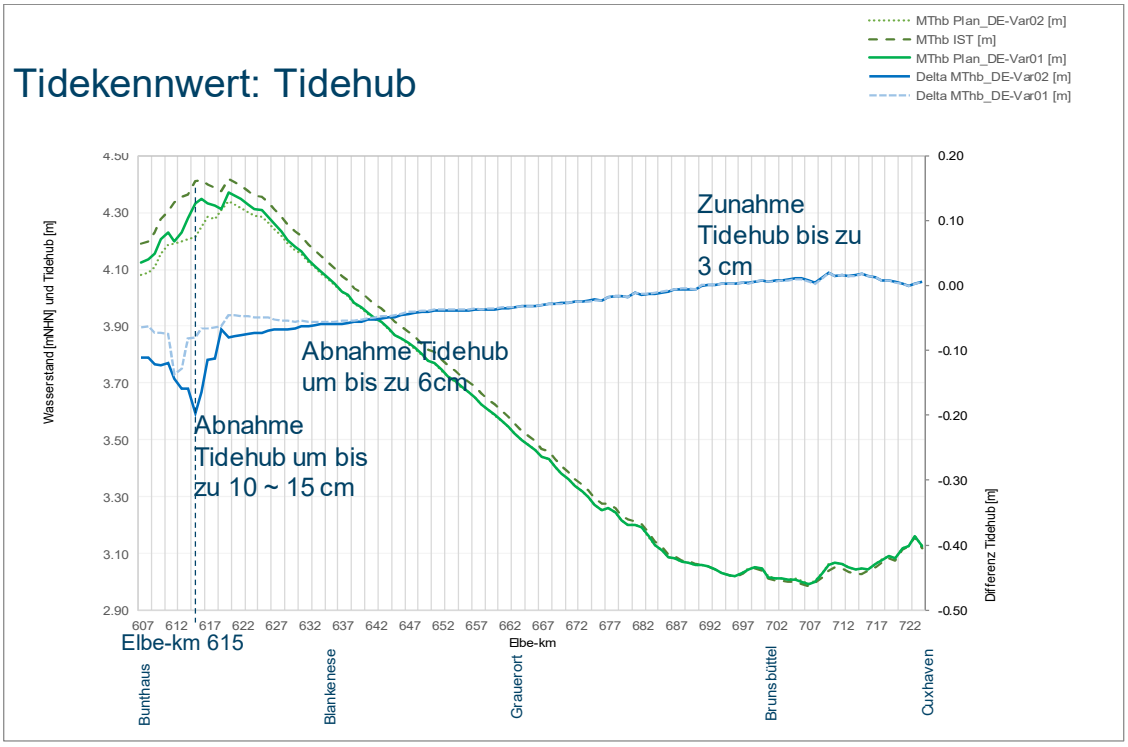


Abbildung 7.3: Kennwert Tidehub in der Elbe. Die Abbildung zeigt den mittleren Tidenhub für den Ist-Zustand (grün gestrichelt) und die Varianten 1 (grün durchgezogen) und 2 (grün gepunktet) mit dem Anschluss der Dove Elbe an der Elbe-km 615. Auf der rechten Achse sind die Differenzen zwischen Istzustand und der Variante1 (blau gestrichelt) und 2 (blau durchgezogen) dargestellt.

7.1.2 Maximaler Ebb- und Flutstrom

Die Abbildung 7.4 zeigt den Verhältniswert aus dem über den Nipp-Spring-Zyklus gemittelten, maximalen Abfluss für Ebb- und Flutstrom zwischen Bunthaus und Cuxhaven. Der Verhältniswert aus maximalem Flut- und Ebbstrom nimmt sein Maximum im Unterwasser des Hamburger Hafens bei ca. Elbe-km 635 (Istzustand) ein. Dieses Maximum wird durch den Anschluss des Flutraums (Planzustände) nicht merklich verändert.

Zu dem Verhältnis von Flut- und Ebbstrom (jeweils in grün) werden in Abbildung 7.4 auch die Differenzen jeweils zwischen Ist- und Variante 1 bzw. 2 in blau dargestellt. Aus der Differenz wird ersichtlich, dass es im Nahbereich und flussauf des Anschlusses der Dove Elbe im Planzustand (Variante 1 und 2) im maximalen Flutstromabfluss zu einer leichten Zunahme kommt im Vergleich zum maximalen Ebbstromabfluss. Flussabwärts des Hamburger Hafens ab ca. Elbe-km 622 bis 645 unterhalb der Maßnahme zeigt sich eine positive Entwicklung mit einer stärkeren Zunahme des Ebbstroms gegenüber der Zunahme des Flutstroms, so dass sich eine leichte Abnahme in der Differenz der Verhältniswerte (blau) einstellt. Ab Elbe-km 645 klingt die Wirkung ab und es zeigt sich eine geringe Zunahme des Ebbstroms in Relation zum Flutstrom.

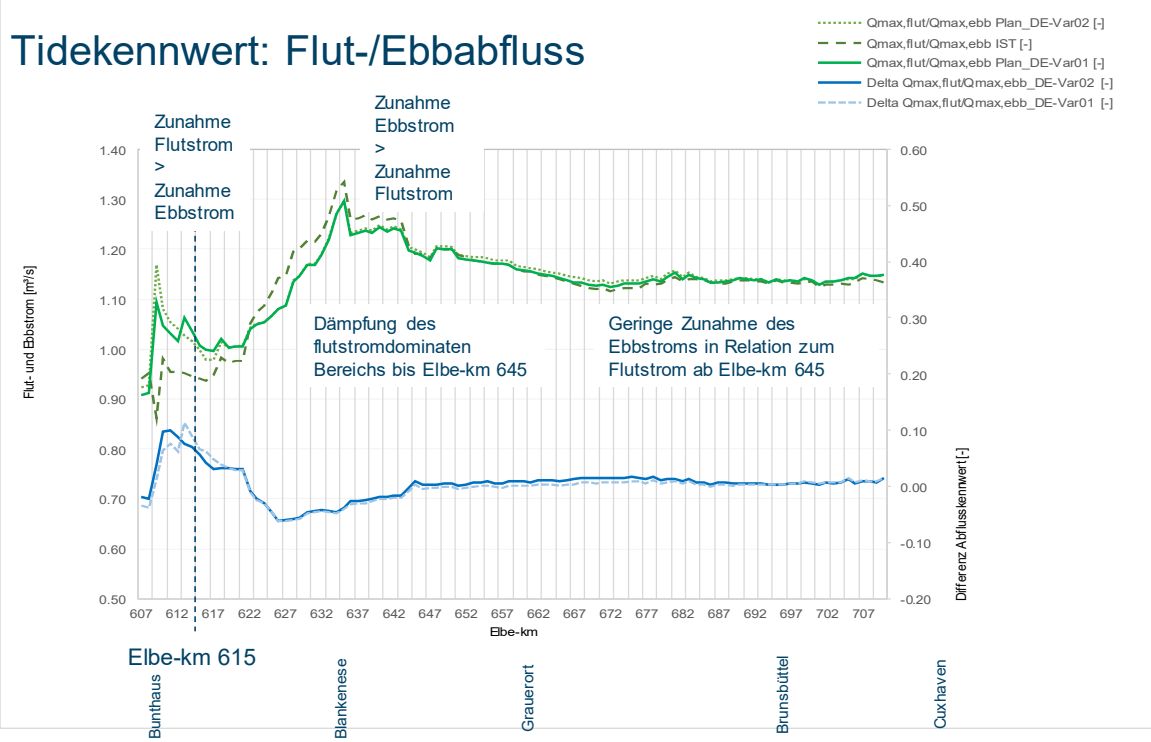


Abbildung 7.4: Tidekennwerte Verhältnis aus Flut-/Ebbstromabfluss in der Elbe. Die Abbildung zeigt das Verhältnis des mittleren maximalen Abflusses von Flut- mit Ebbstrom (grün) für den Ist- (gestrichelt) und die Varianten 1 (grün durchgezogen) und 2 (grün gepunktet) mit dem Anschluss der Dove Elbe an der Elbe-km 615. Auf der rechten Achse sind die Differenzen zwischen Istzustand und der Variante1 (blau gestrichelt) und 2 (blau durchgezogen) zu sehen.

7.1.3 Maximale Ebb- und Flutströmung

Der Tidekennwert der über den Nipp-Spring-Zyklus gemittelten, maximalen Strömungen in Abbildung 7.5 zeigt die Strömungen für Ebbe und Flut im Ist- und den Planzuständen. Die Ergebnisse zeigen, dass der Anschluss der Dove Elbe an das Tidegeschehen eine geringe, aber ausgedehnte Dämpfung der maximalen Flutströmung zwischen Elbe-km 615 bis 655 erzeugt.

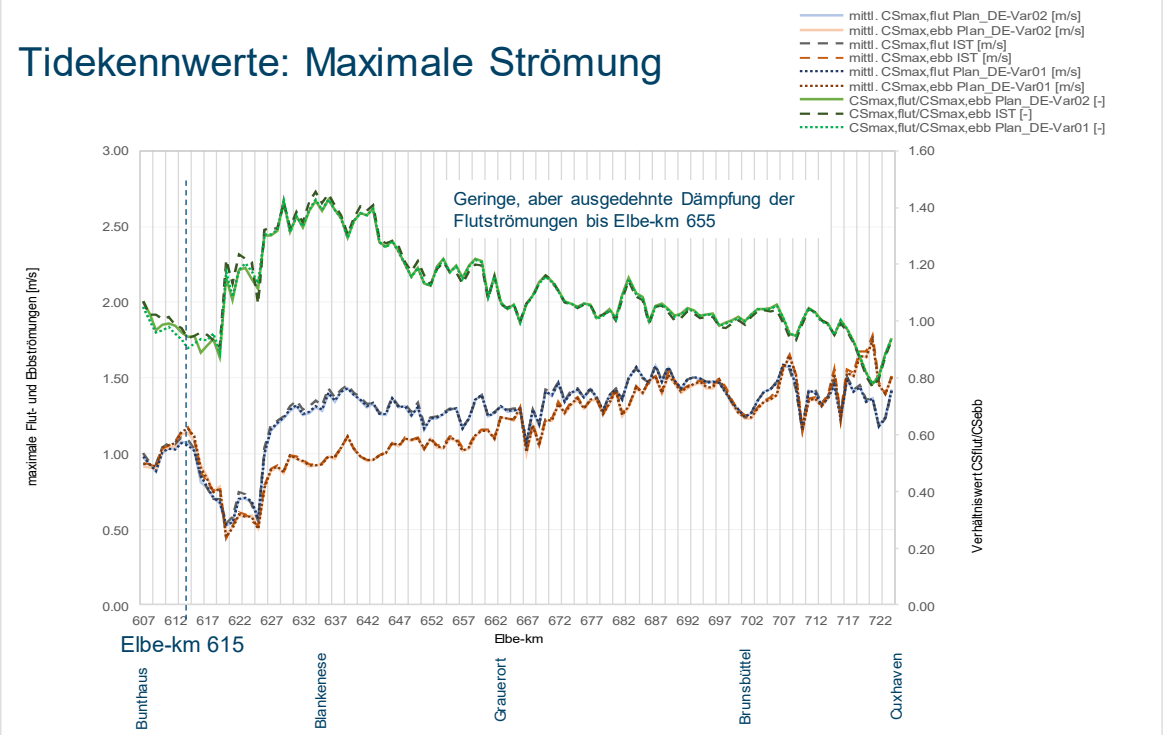


Abbildung 7.5: Tidekennwert gemittelte maximale Strömung in der Elbe. Die Abbildung zeigt die maximale Strömung für den Ist- (gestrichelt) und die Varianten 1 (gepunktet) und 2 (durchgezogen) jeweils für Flut- (orange) und Ebbströmung (blau) mit dem Anschluss der Dove Elbe an der Elbe-km 615. Auf der rechten Achse ist das Verhältnis zwischen Flut- und Ebbströmung für den Istzustand (grün durchgezogen), der Variante1 (grün gestrichelt) und 2 (grün durchgezogen) dargestellt.

7.1.4 Maximale Strömungsgradienten

Die Entwicklung des Verhältnisses der Gradienten (Abbildung 7.6) ist positiv zu bewerten, wenn der Wert zunimmt (vgl. Kap. 7.1). Mit dem Anschluss der Dove Elbe zeigt sich eine ausgedehnte Dämpfung der Remobilisierung entlang der Elbe infolge Anbindung der Dove Elbe (Variante 1 und 2).

Aus der Differenz (Abbildung 7.6, blau) zwischen Istzustand und den Varianten 1 und 2 ist jeweils eine Zunahme des Verhältnisses der Gradienten zu erkennen, was positiv zu bewerten ist.

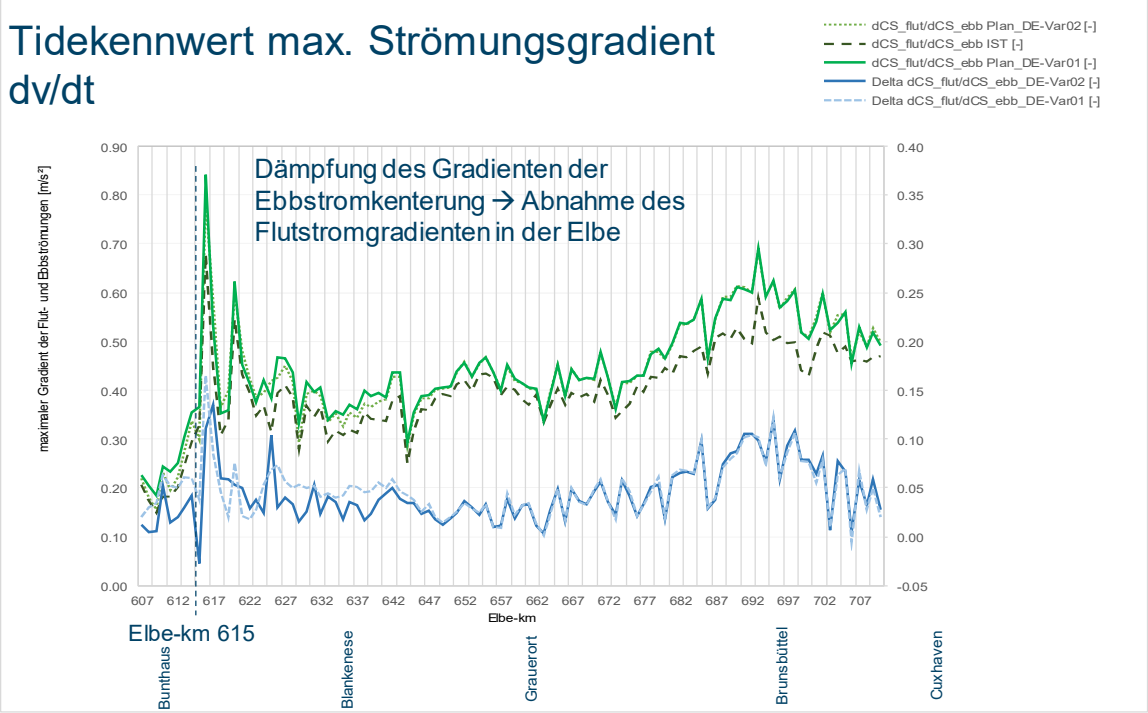


Abbildung 7.6: Tidekennwert Verhältnis der Strömungsgradienten in der Elbe. Die Abbildung zeigt das Verhältnis der maximalen Strömung von Flut und Ebbe (grün) für den Istzustand (gestrichelt), die Varianten 1 (durchgezogen) und 2 (gepunktet) mit dem Anschluss der Dove Elbe an der Elbe-km 615. Auf der rechten Achse sind die Differenzen zwischen Istzustand und der Variante1 (blau gestrichelt) und 2 (blau durchgezogen) zu sehen.

7.1.5 Salzgehalt

Mit dem Anschluss von zusätzlichem Tidevolumen, wird flussab des angeschlossenen Flutraumes nicht nur das bewegte Wasservolumen vergrößert, sondern auch die darin gelösten bzw. bewegten Stoffe, wie Salz oder Schwebstoffe. Durch den Anschluss eines zusätzlichen Tidevolumens von 3,9 bzw. 7,1 Mio m³ erhöht sich die bewegte Wassermenge und es wird auch die Menge des transportierten Salzes bzw. Schwebstoffe erhöht.

In Abbildung 7.7 wird die Entwicklung des Salzgehaltes zwischen Bunthaus und Cuxhaven in den Planzuständen (Variante 1 und 2) und dem Istzustand dargestellt. Bei Elbe-km 615 erfolgt im Planzustand der Anschluss der Dove Elbe. Durch den Anschluss des Flutraumes zeigt sich eine Erhöhung des Salzgehalts und eine flussaufwärtige Verschiebung des Maximums.

Im Bereich der Änderungen zeigt sich zwischen Elbe-km 645 und 722 eine mittlere Zunahme um 20% im Salzgehalt. Dies entspricht einem Mittelwert von ca. 1,1 PSU (Abbildung 7.8) und einem Maximalwert von bis zu 2 PSU bei Brunsbüttel. Diese Zunahme ist negativ zu bewerten und wirkt nachteilig auf den Bereich zwischen Elbe-km 645 und 722. Die merkliche und flussaufwärtige Erhöhung der Salzgehalte wird vor allem dem gewählten Ereignis mit geringem Oberwasserabfluss von 350m³/s zugeordnet. Bei höheren Abflüssen ist eine abnehmende Wirkung auf den Salzgehalt zu erwarten.

Eine vergleichbare Studie der BAW (2011) zeigte eine geringere und flussabwärtig gelegene Erhöhung im Salzgehalt infolge des Flutraumanschlusses an die Süderelbe von

0,6 bis 1 PSU im Scheitelwert. Wobei der hier zugrundgelegte Oberwasserabfluss aus dem Juni 2002 bei ca. 550 m³/s deutlich über dem Wert von 350 m³/s lag. Aus dem Längsschnitt der Salzgehalte ist ebenfalls zu entnehmen, dass es sich um einen höheren Oberwasserabfluss handelt.

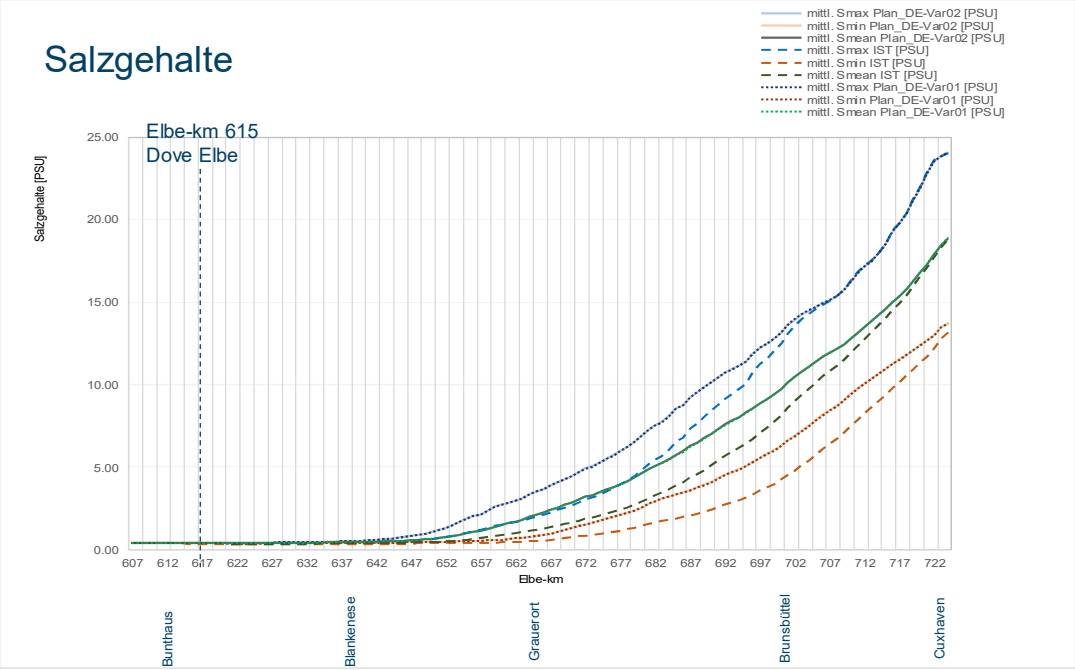


Abbildung 7.7: Tidekennwert gemittelter Salzgehalt in der Elbe. Die Abbildung zeigt den Salzgehalt für den Istzustand (gestrichelt), die Varianten 1 (gepunktet) und 2 (durchgezogen) für minimale (orange), mittlere (grün) und maximale (blau) Salzgehalte je Tide. An Elbe-km 615 befindet sich in den Planzuständen der Anschluss der Dove Elbe.

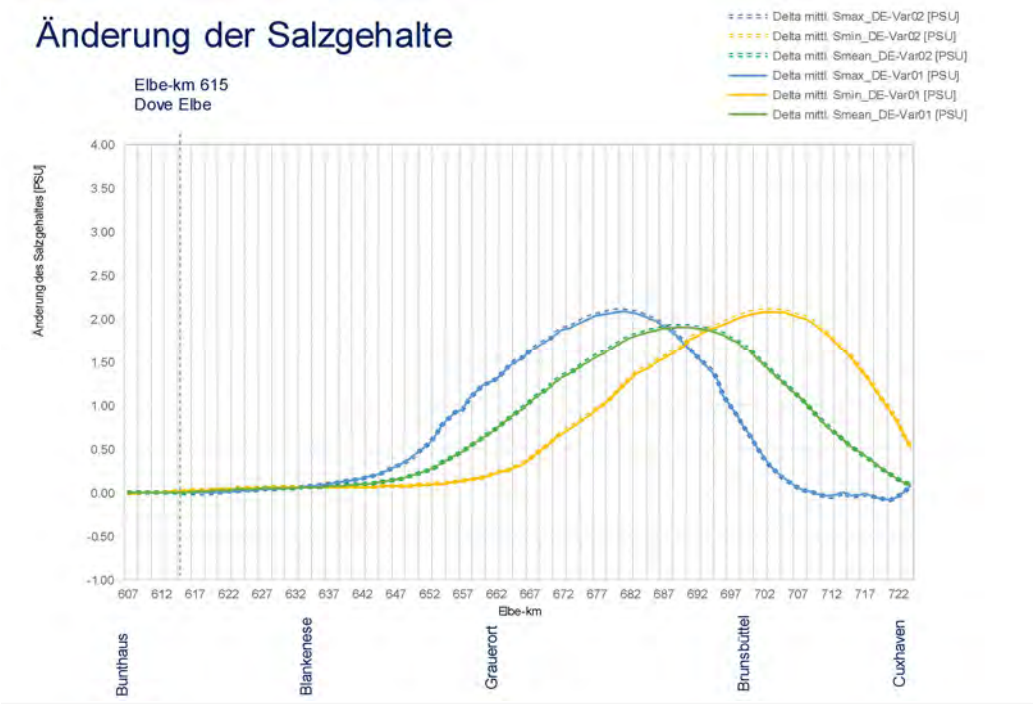


Abbildung 7.8: Tidekennwert Änderung des mittleren Salzgehaltes in der Elbe. Die Abbildung zeigt die Änderungen des Salzgehaltes jeweils zwischen dem Planzustand (Variante 1 oder 2) und dem Istzustand für minimale (orange), mittlere (grün) und maximale (blau) Salzgehalte je Tide. An Elbe-km 615 befindet sich in den Planzuständen der Anschluss der Dove Elbe.

7.2 Wirkanalyse für die Dove Elbe

Die hydrodynamische Wirkung auf die Dove Elbe wird im Hinblick auf eine Veränderung der Wasserstände, Strömungen, Sohlschubspannungen und Salzgehalte untersucht und zudem Aussagen zum Unterhaltungsaufwand abgeleitet. Durch die Anbindung der Dove Elbe ist eine stärkere und veränderte Durchströmung zu erwarten.

7.2.1 Wirkung auf die Dove Elbe: Wasserstände & Staudauern

Die Anbindung der Dove Elbe verändert die derzeitigen Wasserstände im Untersuchungsraum. Durch die örtlichen Gegebenheiten nahe der Tatenberger Schleuse, kann nur eine schmale Sperrwerksöffnung, im Modell wurden 25 m angenommen, zur Tidereaktivierung der Dove Elbe genutzt werden. Durch die schmale Öffnung wird der Zu- und Abfluss in die bzw. aus der Dove Elbe gedrosselt und stellt sich eine z.T. erhebliche Wasserspiegeldifferenz von über einem Meter zwischen dem Binnen- und Außenbereich ein.

Nachteilig ist diese Drosselung für die entstehenden hydraulischen Verhältnisse (Drücke infolge Wasserspiegeldifferenz, hohe Strömungen, Kolkgefahr) im Nahbereich des Sperrwerks. Vorteilig wirkt sich dies auf die Veränderungen der Wasserstände in der Dove Elbe aus. Durch die Drosselung des Zu- und Abflusses variieren die Wasserstände in der Dove Elbe weitaus geringer als in der Elbe (vgl. Abbildung 5.6). Für die Varianten ergaben sich:

- Variante 1: Tidewasserstände in der Dove Elbe mit einen niedrigeren Thw (ca. -1 bis -1,5m) und höheren Tnw (ca. +1m) im Vergleich zu den Tidekennwerten in der Norderelbe bei Elbe-km 615
- Variante 2: Tidewasserstände in der Dove Elbe mit einen niedrigeren Thw (ca. -0,5 bis -1,0m) und höheren Tnw (ca. +1,5m) im Vergleich zu den Tidekennwerten in der Norderelbe bei Elbe-km 615

Durch das Öffnen bei Ebbstrom und Schließen bei Flutstrom des Sperrwerks wird ein Schwall bzw. Sunk in der Elbe und Dove Elbe erzeugt. Dieser liegt je nach Strömung und Variante bei ca. ±20 cm und wenigen cm.

Die sich neu unter den Varianten einstellenden Wasserstände und Staudauern sind in der Tabelle 4-3 festgehalten.

Tabelle 7-1: Wasserstände in der Dove Elbe (Regattastrecke)

Parameter	Variante 1 (bis 0,90 mNHN)	Variante 2 (bis 1,7 mNHN)
Minimaler Wasserstand (Tnw Elbe = -1,7 mNHN)	-0,60 mNHN	-0,3 mNHN
Maximaler Wasserstand	1,1 mNHN (Schwall)	1,7 mNHN
Mittlere Dauer WSP < 0,80 mNHN je Tide	8,1 h	6,7 h
Mittlere Dauer WSP 0,80 bis 1,05 mNHN je Tide	4,1 h	1,3 h
Mittlere Dauer WSP > 1,05 mNHN je Tide	0,04 h	4,3 h
Mittlere Staudauer je Tide	3,3 h	0,6 h

7.2.2 Wirkung auf den Nahbereich der Elbe und die Dove Elbe: Schubspannung & Strömung

In Abbildung 7.9 werden die tiefengemittelten Strömungen während des Flutstroms flächig und als Zeitreihe in der Strommitte der Elbe für den Istzustand und die beiden Planzustände dargestellt. Unter beiden Varianten ist insbesondere aus der Zeitreihe (Abbildung 7.9, unten) zu erkennen, dass sich eine Verlängerung des Flutstroms und eine Dämpfung der maximalen Flutströmung, vor allem unter Variante 2, einstellt. Diese Entwicklung weist auf eine leichte Reduzierung der Tideasymmetrie hin und ist daher positiv zu bewerten. Gleichzeitig erhöht sich die maximale Ebbströmung durch die zusätzliche Stärkung aus der Dove Elbe in beiden Varianten. Aus dieser Auswertung im Nahfeld ist erstmalig eine merklich positivere Wirkung der Variante 2 auf die Elbe zu erkennen.

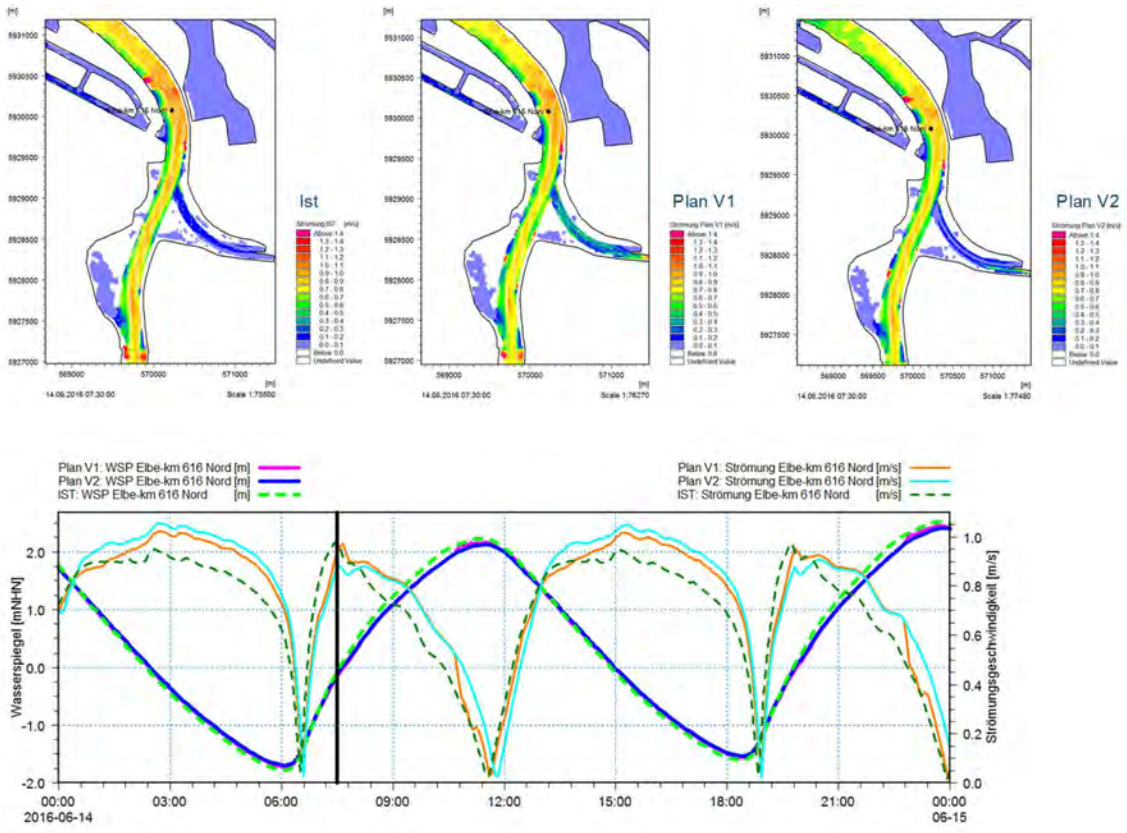


Abbildung 7.9: Flächige Darstellung der tiefengemittelten Strömungsgeschwindigkeit und -richtung bei Flutstrom im Istzustand (links oben), in der Variante 1 (oben Mitte) und der Variante 2 (oben rechts). Zeitreihe zu Tidewasserständen und den Strömungsgeschwindigkeiten in Strommitte bei Norderelbe-km 615 für den Istzustand (gestrichelt) und die Planzustände (durchgezogene Linien). Die schwarze vertikale Linie zeigt den Zeitpunkt der flächigen Abbildungen darüber.

Die Stärkung der tiefengemittelten Ebbströmung in der Elbe ist auch aus der flächigen Darstellung in Abbildung 7.10 oben zu erkennen.

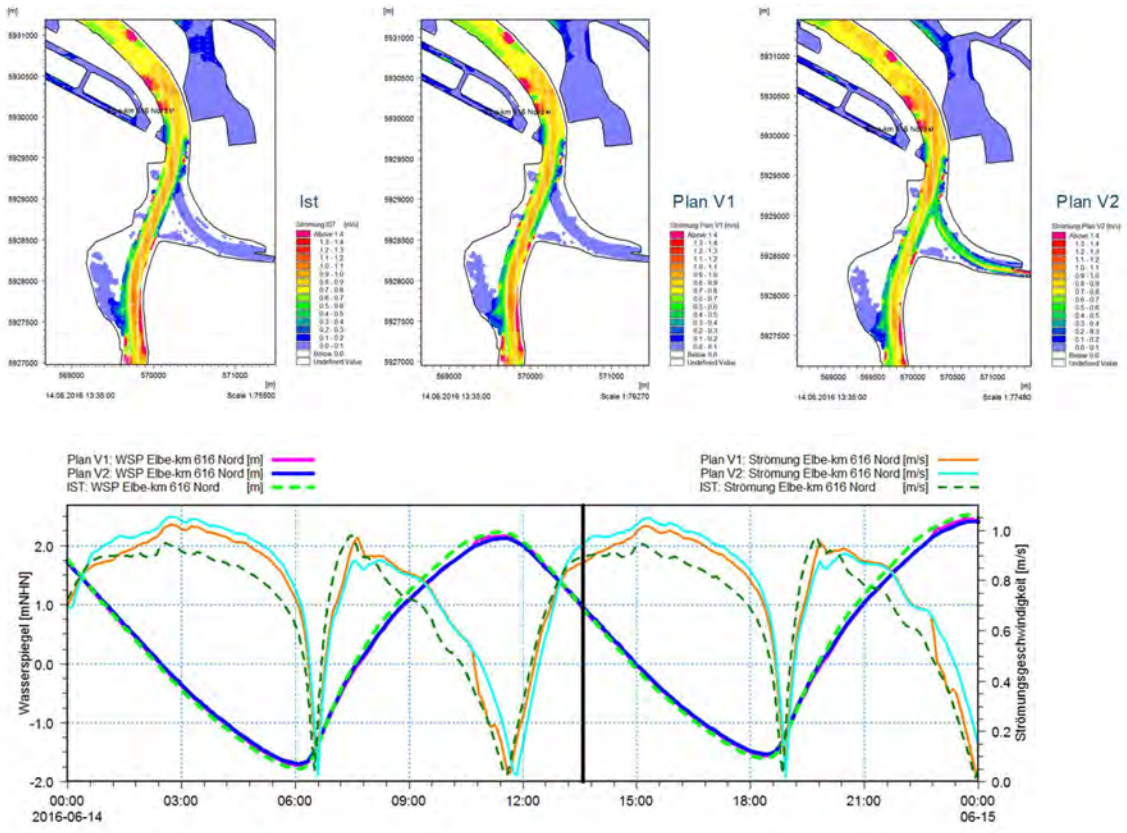


Abbildung 7.10: Flächige Darstellung der tiefengemittelten Strömungsgeschwindigkeit und -richtung bei Ebbstrom im Istzustand (links oben), in der Variante 1 (oben Mitte) und der Variante 2 (oben rechts). Zeitreihe zu Tidewasserständen und den Strömungsgeschwindigkeiten in Strommitte bei Norderelbe-km 615 für den Istzustand (gestrichelt) und die Planzustände (durchgezogene Linien). Die schwarze vertikale Linie zeigt den Zeitpunkt der flächigen Abbildungen darüber.

Die tiefengemittelten Strömungen in der Dove Elbe (Abbildung 7.11) liegen unter Flutstrom in beiden Varianten im Bereich zwischen Sperrwerk und Regattastrecke bei ca. 1,2 bis 2,9 m/s, in der Regattastrecke bleiben sie unter 0,1 m/s und im Oberlauf der Dove Elbe stellen sich ca. 0,7 m/s ein.

Unter Ebbstrom liegen die tiefengemittelten Strömungen in der Dove Elbe (Abbildung 7.12) im Bereich zwischen Sperrwerk und Regattastrecke bei ca. 0,7 bis 2,0 m/s, in der Regattastrecke bleiben sie unter 0,1 m/s und im Oberlauf der Dove Elbe stellen sich ca. 0,4 m/s ein.

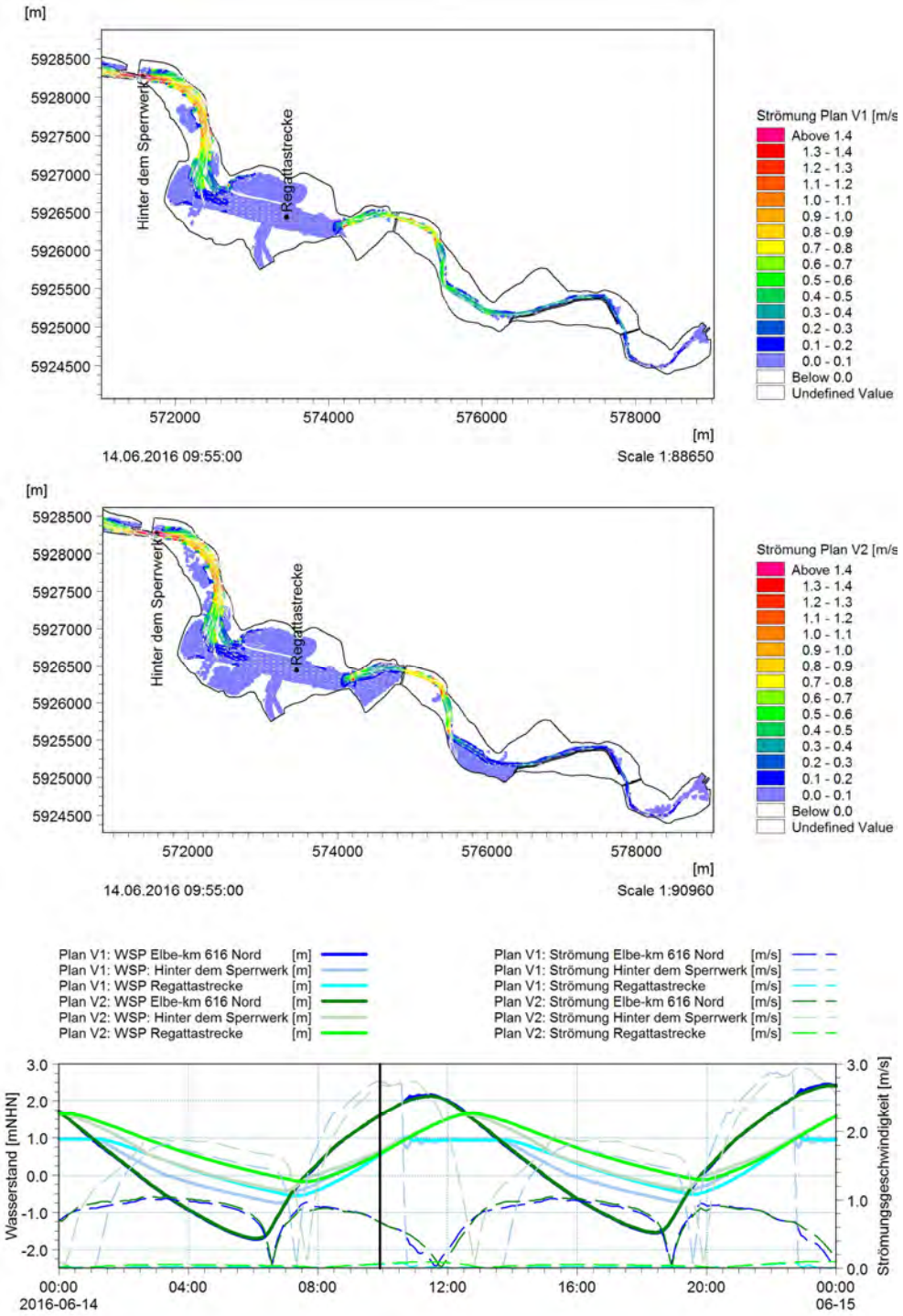


Abbildung 7.11: Flächige Darstellung der tiefengemittelten Strömungsgeschwindigkeit und -richtung bei Flutstrom in der Variante 1 (oben) und der Variante 2 (Mitte). Zeitreihe zu Tidewasserständen und den Strömungsgeschwindigkeiten in Strommitte bei Norderelbe-km 615 und in der Dove Elbe für die Planzustände (gestrichelten Linien). Die schwarze vertikale Linie zeigt den Zeitpunkt der flächigen Abbildungen darüber.

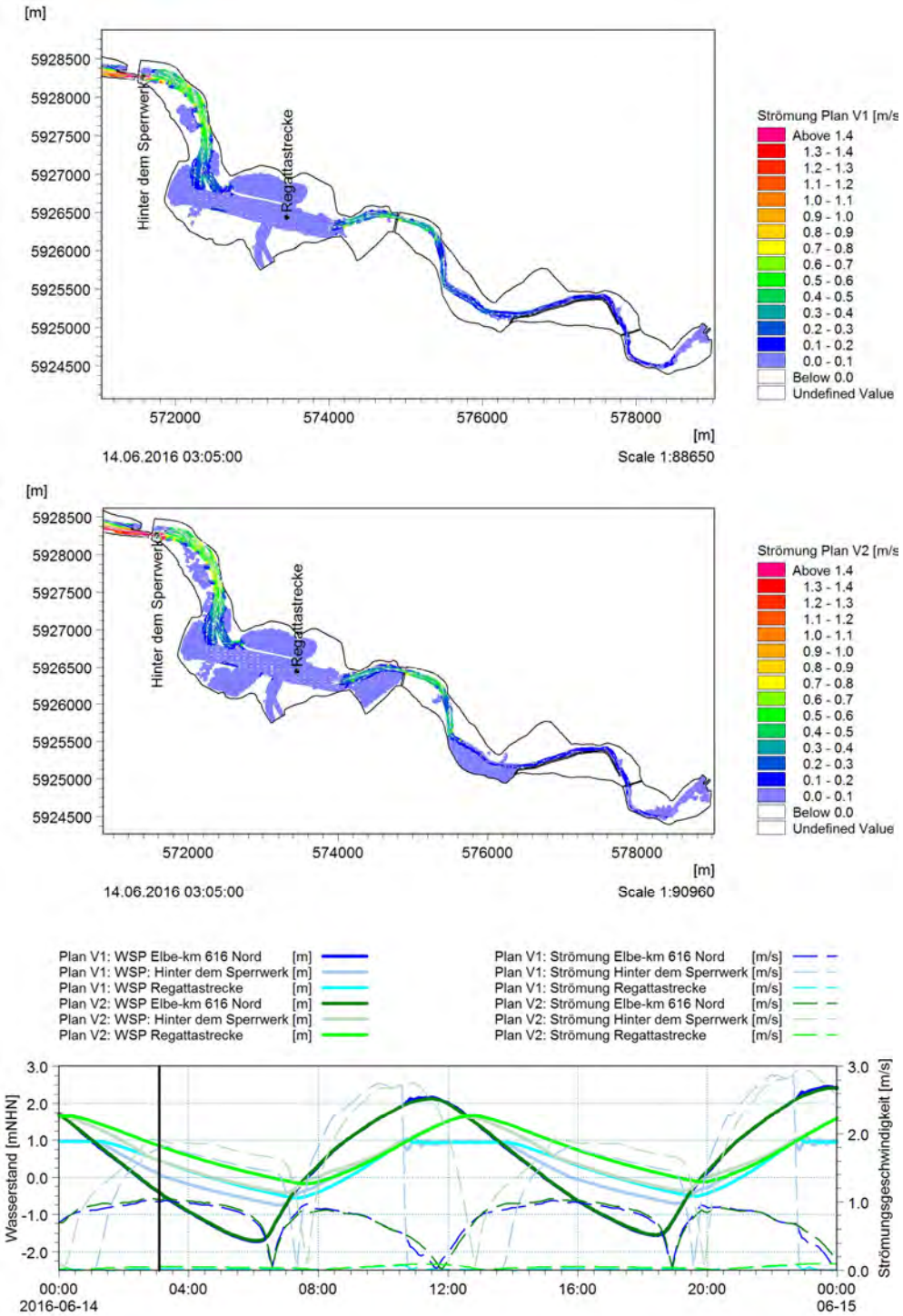


Abbildung 7.12: Flächige Darstellung der tiefengemittelten Strömungsgeschwindigkeit und -richtung bei Ebbstrom in der Variante 1 (oben) und der Variante 2 (Mitte). Zeitreihe zu Tidewasserständen und den Strömungsgeschwindigkeiten in Strommitte bei Norderelbe-km 615 und in der Dove Elbe für die Planzustände (gestrichelten Linien). Die schwarze vertikale Linie zeigt den Zeitpunkt der flächigen Abbildungen darüber.

7.2.3 Wirkung auf die Dove Elbe: Salzgehalt

Der Salzgehalt wird wie in Kap. 7.1.5 dargestellt unter dem untersuchten geringem Oberwasserabfluss von 350 m³/s im Bereich unterhalb von Blankenese (unterhalb von Elbe-km 645) erhöht. Der Hamburger Hafen und auch die Dove Elbe liegen weit entfernt von der Brackwasserzone, so dass auch unter für den Salzgehalt kritische Abflusssituationen die Dove Elbe immer im Süßwasserbereich bleibt.

7.2.4 Einschätzung zur Schwebstoffkonzentration und Sedimentation in der Dove Elbe

Aus dem Gewässerkundlichen Jahrbuch (HPA, 2012) für die Messstelle Hitzacker auf Basis langjähriger Messzeitreihen (Messung der BfG über Schöpfproben) kann eine mittlere Schwebstoffkonzentration von ca. 35 bis 55 mg/l für die sommerlichen Abflussmonate abgeleitet werden. Unter Berücksichtigung der Staudauern stellen sich unter dieser Randbedingung Schwebstoffkonzentrationen in der Dove Elbe zwischen 10 bis 60 mg/l ein. Während der Staudauer von ca. 3,3 (Variante 1) bis 0,6 h (Variante 2) ist von einer Sedimentationsrate mit ca. 10 bis 15 cm/Jahr für den Bereich zwischen Sperrwerk bis zur Regattastrecke zu rechnen. Im Nahbereich des Sperrwerks werden Sedimente mit dem Öffnen des Sperrwerks remobilisiert und unter Flutstrom in die Elbe ausgetragen. Über die Regattastrecke hinaus ist mit einer Sedimentation unter ca. 3 mm/a zu rechnen unter der Annahme, dass aus dem Oberlauf z.B. über die Bille keine zusätzlichen Sedimente eingetragen werden.

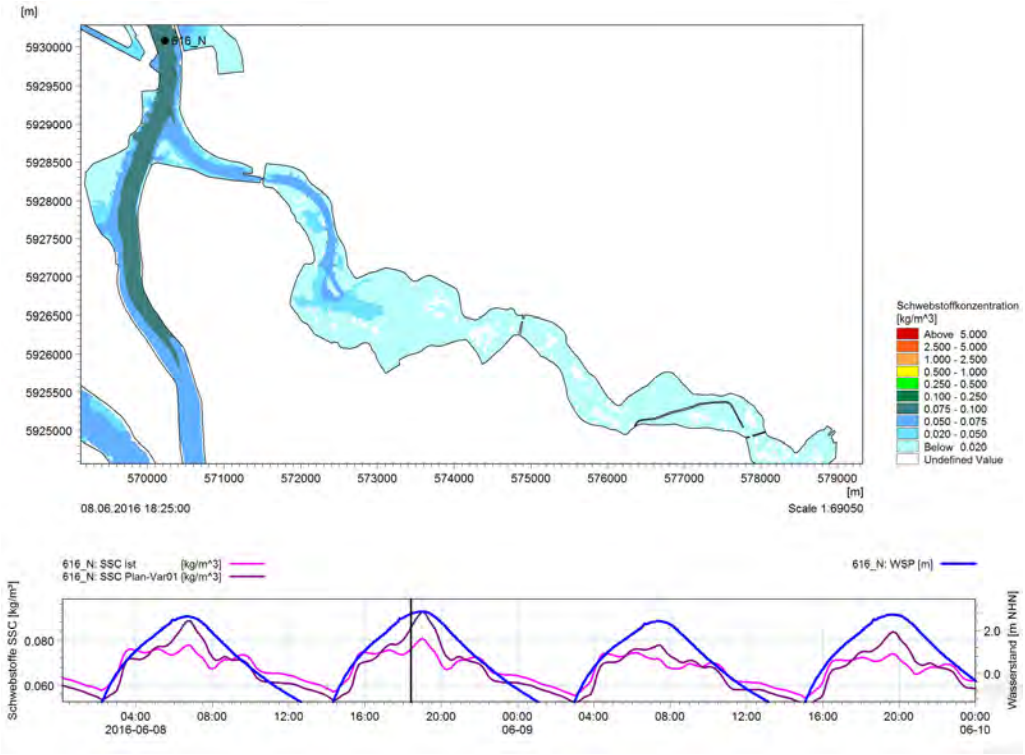


Abbildung 7.13: Darstellung der tiefengemittelten Schwebstoffkonzentrationen (SSC) nahe dem Tidehochwasser zum Ende des Flutstroms (oben). Zeitreihe zur Tide und zur tiefengemittelten Schwebstoffkonzentration in der Norderelbe bei Elbe-km 615 (unten).

7.3 Exkurs: Geringe Differenz Variante 1 und Variante 2

Aus den Ergebnissen der beiden Varianten zeigt sich trotz des in Kap. 4.2 bestimmten großen Tidevolumenunterschiedes zwischen den Varianten nahezu eine vergleichbare Wirkung auf die Elbe. Ursächlich hierfür ist die starke Drosselung des Zu- und Abflusses über die Sperrwerksbreite von 25 m. Durch diese Drosselung kann in der Variante 1 ca. 16 % der potentiellen Flut- bzw. Ebbstromstärkung nicht ausgeschöpft werden. In der Variante 2 sind es ca. 38% der potentiellen Flut- bzw. Ebbstromstärkung, die nicht ausgeschöpft werden können. In Abbildung 7.14 ist die Abflussdynamik am Sperrwerk der Dove Elbe für beide Varianten aufgetragen.

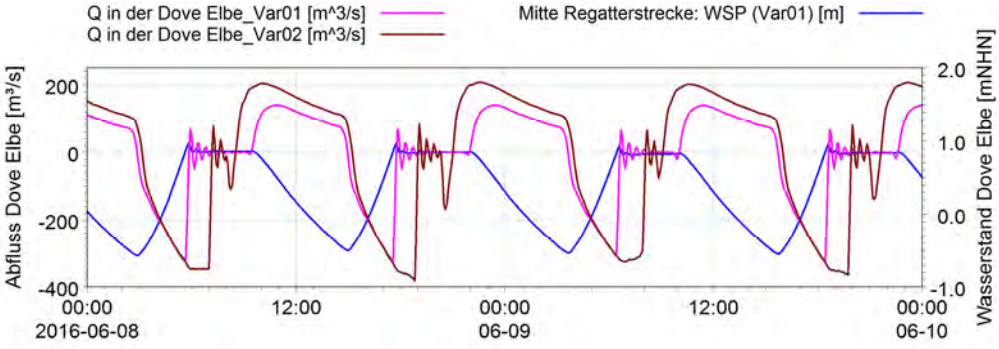


Abbildung 7.14: Tidebedingter Zu- und Abfluss hinter dem Sperrwerk für die Varianten 1 und 2 und Wasserstand in der Regattastrecke in der Dove Elbe für die Variante 1.

Vor diesem Hintergrund ist zu prüfen, ob eine merkliche Aufweitung des Sperrwerksbereiches auf ca. 29 bis 34 m möglich ist, um die Wirkung in der Tideelbe auf den Abfluss zu verstärken.

8 Zusammenfassung

Die Wirkungsanalyse zur Gewinnung von Flutraum in der Dove Elbe umfasst eine Vorprüfung mittels Volumen-Abfluss-Beziehungen und überschlägigen Berechnungen (Phase 1) sowie die Prüfung einer in der Wirkung optimierten Variante mittels numerischem 3D-Modell (Phase 2).

Die Vorprüfung (Phase 1) zeigte, dass die Reaktivierung der Dove Elbe, sowohl in einer Untersuchung der BAW (2011), als auch aus den überschlägigen hydraulischen Abschätzungen von DHI eine Wirkung auf die Elbe durch die flussaufwärtige Lage eine höhere und positivere Wirksamkeit hat, als flussabwärtige Fluträume gleicher Größe. Aus den untersuchten Varianten zeigte sich ein Spektrum von 10% bis 20% Wirkung auf Flut- und Ebbstrom der Elbe. Die Phase 1 zeigte aber auch einen hohen Nutzungsdruck im Projektraum Dove Elbe, u.a. infolge von Bewässerung für die Landwirtschaft, Entwässerungen, Hochwasserentlastung der oberen Bille, Nutzung für die Freizeitschifffahrt. Folglich ist der derzeitige Stauwasserstand der Dove Elbe von 0,90 mNHN (±0,1m) für viele wasserwirtschaftliche Belange relevant. Eine Tidereaktivierung der Dove Elbe wurde im Rahmen der 3.Sitzung der Arbeitsgruppe Hamburg, Fokus Dove Elbe am 24.05.2018 in Hamburg u.a. auf Grundlage der von DHI vorgestellten Ergebnisse aus Phase 1 gemeinsam diskutiert. Hierin hatte DHI bereits eine Reaktivierung bis zum Stauwasserstand 0,90 mNHN und eine bis maximal zum Tidehochwasser gegenübergestellt. Aus der gemeinsamen Diskussion wurden eine weitergehende Untersuchung im numerischen 3D-Modell der Tideelbe einer sogenannten Minimal- (Variante 1) und einer Maximalvariante (Variante 2) herausgearbeitet.

Die Minimalvariante sieht ein Zulassen der Tidedynamik von Tnw bis 0,9 mNHN und eine Wiederanbindung des Eichbaumsees an die Dove Elbe vor. Der Wasserstand in der Dove Elbe wird durch eine zeitweise Reaktivierung des Tideeinflusses abgesenkt (3,9 Mio m³ Tidevolumen). Die Maximalvariante sieht ein Zulassen der Tidedynamik von Tnw bis 1,7 mNHN, eine Wiederanbindung des Eichbaumsees und dreier zusätzlich abgegrabener Polderflächen an die Dove Elbe vor (7,1 Mio m³ Tidevolumen). Für beide Varianten erfolgt der Tideanschluss über den südlichen Bereich der Tatenberger Schleuse durch ein 25 m breites Sperrwerk, parallel zur nördlichen Schleuse. Dieses Sperrwerk wird entsprechend der obigen Zielwasserstände in der Dove Elbe gesteuert. Beide Varianten wurden für mittlere Tiden (-1,9 bis 1,9 m HNH bei Cuxhaven) aus dem Juni 2016 mit einem konstanten Oberwasserabfluss von 350 m³/s in ihrer Wirkung untersucht.

Auf die Tidekennwerte der Elbe wirkt sich die Anbindung der Dove Elbe z.T. merklich aus. Der Tidehub nimmt um bis zu 6 cm flussabwärts der Maßnahme ab. Elbemündungsnah ist jedoch eine Zunahme mit 3 cm zu verzeichnen. Im Tideabfluss, Tidevolumen und der Flutstromdominanz (Verhältnis aus Flut-/ Ebbstrom) zeigen sich eine weiträumige und flutstromdämpfende Wirkung (ca.10%). Eine Interpretation der hydraulischen Kennwerte hinsichtlich der Wirkung auf den Sedimenttransport der Elbe lässt sich anhand der Strömungskennwerte (Flutstromdominanz, Gradienten, Verhältnis der Volumina) daher positiv einstufen. Nachteilig scheint hingegen die Zunahme des Salzgehaltes für die Elbe und Nutzer entlang der Elbe um ca. 1,1 PSU (20% im Mittel) in der Elbe zwischen km 722 bis 645. Dies entspricht einer mittleren Verschiebung der Salzfront um ca. 5 km flussauf. In der Dove Elbe tritt kein Salzeintrag auf.

Die Wirkung des Flutraumanschlusses auf die Dynamik der Dove Elbe zeigt, dass je nach Steuerungsvariante Wasserstände zwischen -0,6 und +1,1 mNN (Variante 1) mit einer mittleren Staudauer von 3,3 h/ Tide und zwischen -0,3 und +1,7 mNN (Variante 2) mit einer mittleren Staudauer von 0,6 h/ Tide auftreten werden. Die Strömungen in der Regattastrecke blieben unter 0,1 m/s während die Strömungen im Bereich des Sperrwerks mit 2 bis 3 m/s sehr hoch ausfallen.

Durch den Anschluss der Dove Elbe an das Tidegeschehen erfolgt in der Variante 1 eine Variation des Schwebstoffgehaltes in der Dove Elbe im Bereich bis zur Regattastrecke von ca. 10 bis 60 mg/l. In diesem Bereich ist im Mittel von einer Sedimentation von 10 bis 15 cm/a auszugehen.

Mit Blick auf die vorgelegten Untersuchungsergebnisse empfiehlt sich die Umsetzung eines Flutraumanschlusses Dove Elbe auch in der Minimalvariante, da diese zumindest in der hydrodynamischen Wirkung auf die Elbe nahezu vergleichbar ist, wie die Wirkung der Maximalvariante Dove Elbe.

Durch die schmale Sperrwerksbreite von 25 m wird derzeit ein Teil des potentiell verfügbaren Tidevolumens der Dove Elbe in den Varianten 1 (nichtaktivierter Teil ca. 16%) und 2 (nichtaktivierter Teil 38%) nicht vollausgeschöpft. Eine Verbesserung der Nutzung des Tidevolumens und eine Erhöhung der Wirkung auf die Tideelbe wäre mit einer Verbreitung des Sperrwerks zur Dove Elbe hin auf ca. 29 bzw. 34 m möglich.

9 Literatur

BAW (2011): Strombaumaßnahmen Tideelbe: Tidepolder Alte Süderelbe und Dove Elbe, Präsentation der BAW Hamburg, BAW-DH

DIN 4049-3: Hydrologie – Begriffe der quantitativen Hydrologie, Stand Oktober 1994

DHI - “MIKE 3 Estuarine and Coastal Hydraulics and Oceanography, Hydrodynamic Module, User Guide “, Horsholm, Dänemark, 2013

DHI “MIKE 3 Estuarine and Coastal Hydraulics and Oceanography, Scientific Documentation“, Horsholm, Dänemark, 2009a

Dronkers, J.: Tidal Asymmetry and estuarine morphology, Netherlands Journal of Sea Research 20 (2/3), 117-131, 1986.

HPA (2012): Deutsches Gewässerkundliches Jahrbuch, Elbegebiet, Teil III, Untere Elbe ab der Havelmündung

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

Nehlsen, E. (2017): Wasserbauliche Systemanalyse zur Bewertung der Auswirkungen des Klimawandels für tidebeeinflusste Nebengewässer der Elbe, Dissertation am Institut für Wasserbau, Technische Universität Hamburg-Harburg, Hamburger Wasserbauschriften, Band 19

Stoll S., Greuner-Pönicke St. und Mattern S. (2015): Machbarkeitsstudie zur Herstellung der ökologischen Durchgängigkeit gemäß EU-WRRL im Bereich der Tatenberger Schleuse, Ingenieurbüro Dr. Lehners + Wittorf, BBS Büro Greuner-Pönicke, im Auftrag der Freie und Hansestadt Hamburg, Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt.