



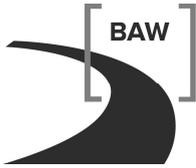
Bundesanstalt für Wasserbau
Kompetenz für die Wasserstraßen

**Wasserbauliche Systemanalyse für das
Offshore-Terminal Bremerhaven**

Ergänzungsgutachten

**Zu den Wirkungen des Terminals ohne die derzeit
geplante Fahrrinnenanpassung der Unter- und
Außenweser**

A39550210163



Bundesanstalt für Wasserbau
Kompetenz für die Wasserstraßen

**Wasserbauliche Systemanalyse für das Offshore-
Terminal Bremerhaven**

**Ergänzungsgutachten
zu den Wirkungen des Terminals ohne die derzeit
geplante Fahrrinnenanpassung der Unter- und Au-
ßenweser**

Auftraggeber: bremenports GmbH & Co. KG
 Am Strom 2
 27568 Bremerhaven

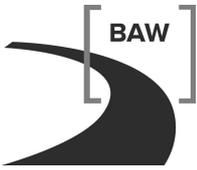
Auftrag vom: 18.02.2014, Az.: 4000/5200

Auftrags-Nr.: BAW-Nr. **A39550210163**

Aufgestellt von: Abteilung: Wasserbau im Küstenbereich
 Referat: Ästuarsysteme I (K2)
 Bearbeiter: Dipl. Ing. M. Klöpper
 Dr.-Ing. U. Vierfuß
 Dr. rer. nat. R. Seiffert
 Dipl.-Ing. S. Gärtner

Hamburg, Juni 2015

Das Gutachten darf nur ungekürzt vervielfältigt werden. Die Vervielfältigung und eine Veröffentlichung bedürfen der schriftlichen Genehmigung der BAW.



Bundesanstalt für Wasserbau
Wasserbauliche Systemanalyse für das Offshore- Terminal Bremerhaven
BAW-Nr. A39550210163 – Ergänzungsgutachten – Juni 2015

Zusammenfassung

Die bremenports GmbH & Co. KG (bremenports) plant die Errichtung eines Offshore-Terminals in Bremerhaven (OTB). Im Rahmen des Planfeststellungsverfahrens hat die Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) im Auftrag von bremenports eine wasserbauliche Systemanalyse zur Wirkung des OTB durchgeführt. Für diese Untersuchung wurde ein Systemzustand angenommen, der die derzeit im Planfeststellungsverfahren befindliche Fahrrinnenanpassung der Unter- und Außenweser (BAW, 2012a) enthält. Im Februar 2014 beauftragte bremenports die BAW, zusätzlich eine wasserbauliche Systemanalyse ohne Berücksichtigung der derzeit geplanten Fahrrinnenanpassung der Unter- und Außenweser durchzuführen. Bei der vorliegenden Untersuchung wurden aus Gründen der Aktualität neue topographische und hydrologische Datengrundlagen berücksichtigt. Eine wasserbauliche Optimierung des Terminals wurde von der BAW nicht durchgeführt. Bauzustände wurden nicht untersucht.

Die maßnahmenbedingten Wirkungen sind im Wesentlichen:

- ein lokaler Anstieg der Strömungsgeschwindigkeiten durch die Kontraktion der Strömung,
- ein Anstieg der Wellenhöhen bei Blexen durch die Seegangsreflektion an der OTB-Kaje.

Das geplante Terminal ragt in den Fließquerschnitt der Weser hinein (Einengung) und bewirkt somit eine veränderte Stromführung am Prallhang. Dadurch wird die Strömung im verbleibenden Querschnitt zwischen OTB und Blexener Ufer beschleunigt und im Abschattungsbereich vor und hinter dem OTB reduziert. Die Vertiefung des Zufahrtbereichs und der Liegewanne ergibt nur ein geringes Baggervolumen und die daraus resultierende Zunahme des Durchflussquerschnitts ist von untergeordneter Bedeutung. Durch die bauwerksbedingte Einengung und Umlenkung der Strömung ergeben sich Zunahmen der tiefengemittelten Strömungsgeschwindigkeiten unter 0,25 m/s. Dadurch werden auch bisher schon vorhandene Zonen hoher Strömungsgeschwindigkeiten ausgedehnt. Die Strömungscharakteristik des Blexer Bogens wird nicht verändert. Der Abschattungseffekt des Terminals führt zu ufernahen Geschwindigkeitsabnahmen unmittelbar vor und hinter dem Bauwerk. Die nennenswerten Änderungen der abiotischen Systemparameter betreffen die Weser maximal bis zu einem Abstand von ca. 5 km vom Terminal.

Wegen der Strömungsveränderungen ist mit einer morphologischen Reaktion der Gewässersole im Bereich Blexen / Nordenham zu rechnen. Weil nach Nasner, 2011 keine Änderung des Erosionsverhaltens zu erwarten ist, wird sich in der Fahrrinne die Wassertiefe örtlich maximal in der Größenordnung von 1,5 m vergrößern, so dass sich der vor dem Terminal liegende Kolk ausdehnen wird. An der Unterwasserböschung am gegenüberliegenden Ufer (Übergang zum Blexener Watt) kann ein teilweiser Abtrag nicht ausgeschlossen werden. Auch im Bereich der Terminalzufahrt sind morphologische Anpassungsprozesse zu erwarten, insbesondere eine Kolkbildung an den Ecken des Terminals. Durch die morpholo-

gischen Anpassungsprozesse werden die anfänglichen Zunahmen der Strömungsgeschwindigkeiten reduziert.

Es wird empfohlen, die Sohlage im Blexer Bogen jährlich im Herbst (gegen Ende der Periode geringer Oberwasserzuflüsse) auf Veränderungen zu prüfen.

Aufgrund der Strömungsabschattung durch das Terminal ist mit einer Sedimentation im nördlichen und südlichen Bereich zwischen Hafenflanke und Ufer und mit der Neubildung bzw. Erweiterung von Wattflächen zu rechnen.

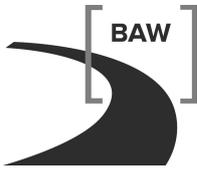
Das Terminal-Bauwerk wird sich auf die Seegangparameter im Umfeld des Hafens auswirken. Insbesondere werden die senkrechten Wände des Terminals die anlaufenden Wellen reflektieren und dadurch zu einem lokalen Anstieg der Wellenhöhen führen.

Die Veränderungen der Wasserstände sind aus wasserbaulicher Sicht vernachlässigbar gering.

Im Blexer Bogen wird es im Bereich zwischen der Fahrrinne und dem rechten Ufer vorhabensbedingt zu lokalen Veränderungen / Verschiebungen der Salz- und Schwebstoffkonzentrationen kommen, wenn dort – je nach hydrologischer Situation – Konzentrationsgradienten auf Grund der Lage des Salzkeils bzw. der Trübungszone vorhanden sind.

Grundsätzlich ist die Wirkung des OTB bei sonst gleichen Voraussetzungen ohne die derzeit geplante Fahrrinnenanpassung der Unter- und Außenweser geringer ist als mit der derzeit geplanten Fahrrinnenanpassung der Unter- und Außenweser, weil die relative Querschnittseinengung in diesem Fall geringer ist. Dies resultiert aus der in diesem Fall nicht realisierten Verschwenkung der Fahrrinne in einen Bereich mit größeren Wassertiefen. Dennoch wurden im vorliegenden Gutachten für den Anfangszustand (vor der morphologischen Anpassung der Sohle) teilweise größere absolute Werte der vorhabensbedingten Änderung ermittelt. Sie sind auf die unterschiedlichen Analysezeiträumen (2012 im vorliegenden Gutachten und 2002 in BAW, 2012a) der Untersuchungen und auf die unterschiedlichen Topographie-Grundlagen zurückzuführen. Hinsichtlich der Wirkung auf die Wellenhöhen bei Sturmflutseegegang führen diese von der derzeit geplanten Fahrrinnenanpassung der Unter- und Außenweser unabhängigen Einflüsse zu einer größeren Zunahme der Wellenhöhen. Dieser Effekt ist im weiterführenden Gutachten des NLWKN, 2014b bereits enthalten, welches darüber hinaus auf dem Zustand mit der derzeit geplanten Fahrrinnenanpassung der Unter- und Außenweser basiert und somit auch in dieser Hinsicht den (geringfügig) ungünstigeren Systemzustand berücksichtigt.

Im Übrigen ändern sich die Prognosewerte der Vorhabenswirkung des OTB gegenüber der Untersuchung unter Berücksichtigung der Fahrrinnenanpassung der Außen- und Unterweser (BAW, 2012a) nicht.



Inhaltsverzeichnis		Seite
1	Veranlassung und Aufgabenstellung	1
2	Unterlagen und Daten	1
3	Untersuchungskonzept	2
4	Methoden und Verfahren	3
4.1	Vorbemerkung	3
4.2	Hauptmodell des Weserästuars (UnTRIM)	4
4.2.1	Modellgebiet, Gitterauflösung und Topographie	4
4.2.2	Untersuchungsszenarien	8
4.2.3	Modellvalidierung	11
4.3	Nebenmodell des Weserästuars (Delft3D)	11
4.4	Seegangmodell der Außen- und Unterweser bis Nordenham (SWAN)	12
4.5	Analyse und Bewertung der numerischen Modellergebnisse	13
5	Auswirkungen auf die Strömungen und die Wasserstände in der Weser	14
5.1	Allgemeines, Wirkzusammenhänge	14
5.2	Einfluss des geplanten OTB auf den Gewässerquerschnitt	16
5.3	Abgrenzung zur vorangegangenen Untersuchung der vorhabensbedingten Änderung (unter Berücksichtigung der derzeit geplanten Fahrrinnenanpassung der Unter- und Außenweser)	21
5.4	Vorhabensbedingten Änderung der Strömung	23
5.5	Vorhabensbedingte Änderung der Wasserstände	33
5.6	Bewertung der Ergebnisse im Vergleich zu den bisherigen Untersuchungen (Unterschied der Maßnahmen mit und ohne die derzeit geplante Fahrrinnenanpassung der Unter- und Außenweser)	34
6	Auswirkungen auf die Transportprozesse (bei mittleren Tide- und Oberwasserverhältnissen)	35
6.1	Allgemeines, Wirkzusammenhänge	35
6.2	Untersuchungsmethodik	36
6.3	Vorhabensbedingte Änderungen des Salzgehalts	38
6.4	Vorhabensbedingte Änderungen des Schwebstoffgehalts	43
6.5	Bewertung der Ergebnisse im Vergleich zu den bisherigen Untersuchungen (Unterschied der Maßnahmen mit und ohne die derzeit geplante Fahrrinnenanpassung der Unter- und Außenweser)	46

7	Auswirkung auf die Scheitelwasserstände und Laufzeiten bei Sturmflut	47
7.1	Allgemeines, Wirkzusammenhänge	47
7.2	Untersuchungsmethodik	47
7.3	Vorhabensbedingte Änderungen	48
7.4	Bewertung der Ergebnisse im Vergleich zu den bisherigen Untersuchungen (Unterschied der Maßnahmen mit und ohne die derzeit geplanten Fahrrinnenanpassung der Unter- und Außenweser)	49
8	Auswirkungen auf die Seegangsverhältnisse	50
8.1	Wirkungszusammenhänge	50
8.2	Untersuchungsmethodik	50
8.3	Vorhabensbedingte Änderungen des Seegangs	51
8.4	Bewertung der Ergebnisse im Vergleich zu den bisherigen Untersuchungen (Unterschied der Maßnahmen mit und ohne die derzeit geplante Fahrrinnenanpassung der Unter- und Außenweser)	55
9	Auswirkungen auf die Morphodynamik	55
9.1	Wirkungszusammenhänge	55
9.2	Untersuchungsmethodik	58
9.3	Vorhabensbedingte Änderungen der Sohlschubspannungen	60
9.4	Vorhabensbedingte Änderungen der Morphodynamik	64
9.5	Unterhaltungsaufwand für den Zufahrts- und Liegewannenbereich	67
9.6	Bewertung der Ergebnisse im Vergleich zu den bisherigen Untersuchungen (Unterschied der Maßnahmen mit und ohne die derzeit geplante Fahrrinnenanpassung der Unter- und Außenweser)	68
10	Bewertung der Vorhabenswirkungen unter Berücksichtigung von Betroffenheiten	69
10.1	Allgemeines	69
10.2	Deichsicherheit	70
10.3	Anleger und Ufer am Blexener und Nordenhamer Ufer	70
10.4	Fischerei	71
11	Literaturverzeichnis	72

Bildverzeichnis

Seite

Bild 1:	Schematische Darstellung des Bearbeitungskonzepts	2
Bild 2:	Modellgebiet des Hauptmodells	5
Bild 3:	Differenz der Modelltopographie der Jahre 2012 und 2007/2009	6
Bild 4:	Differenztopographie zwischen Referenz- und Ist-Zustand	7
Bild 5:	Differenztopographie zwischen Referenz- und Ausbauzustand	8
Bild 6:	Wasserstand und Oberwasserzufluss im Analysezeitraum	9
Bild 7:	Modellierte Wasserstandskurve bei der Bemessungssturmflut 2107	11
Bild 8:	Bereich des Blexer Bogens mit dem geplanten OTB	14
Bild 9:	Schematische Darstellung des Fließquerschnitts im Bereich des OTB	17
Bild 10:	Lage der Querprofile zur Analyse des Querschnitts im Bereich der OTB-Kaje	19
Bild 11:	Querschnittsflächen der Querprofile in Abhängigkeit vom Wasserstand	20
Bild 12:	Änderung der Querschnittsflächenänderung durch das OTB	20
Bild 13:	Mittlere Flutstromgeschwindigkeit im Analysezeitraum (Referenzzustand)	25
Bild 14:	Mittlere Flutstromgeschwindigkeit im Analysezeitraum (Ausbauzustand)	25
Bild 15:	Vorhabensbedingte Änderung der mittleren Flutstromgeschwindigkeit	26
Bild 16:	Mittlere Ebbestromgeschwindigkeit im Analysezeitraum (Referenzzustand)	27
Bild 17:	Mittlere Ebbestromgeschwindigkeit im Analysezeitraum (Ausbauzustand)	27
Bild 18:	Vorhabensbedingte Änderung der mittleren Ebbestromgeschwindigkeit	28
Bild 19:	Maximale Flutstromgeschwindigkeit im Analysezeitraum (Referenzzustand)	29
Bild 20:	Maximale Flutstromgeschwindigkeit im Analysezeitraum (Ausbauzustand)	29
Bild 21:	Vorhabensbedingte Änderung der maximalen Flutstromgeschwindigkeit	30
Bild 22:	Maximale Ebbestromgeschwindigkeit im Analysezeitraum (Referenzzustand)	31
Bild 23:	Maximale Ebbestromgeschwindigkeit im Analysezeitraum (Ausbauzustand)	31
Bild 24:	Vorhabensbedingte Änderung der maximalen Ebbestromgeschwindigkeit	32
Bild 25:	Änderung des mittleren Tidehubs auf einem Längsprofil	33
Bild 26:	Sedimentbelegung der Modellsohle	37
Bild 27:	Mittlerer Salzgehalt (Ausbauzustand)	40
Bild 28:	Vorhabensbedingte Änderung des mittleren Salzgehalts	40

Bild 29:	Maximaler Salzgehalt im Mittel des Analysezeitraums (Ausbauzustand)	41
Bild 30:	Vorhabensbedingte Änderung des maximalen Salzgehalts	41
Bild 31:	Maximale Salzgehaltsvariation (Ausbauzustand)	42
Bild 32:	Vorhabensbedingte Änderung der maximalen Salzgehaltsvariation	42
Bild 33:	Mittlerer Schwebstoffgehalt (Ausbauzustand)	44
Bild 34:	Vorhabensbedingte Änderung des mittleren Schwebstoffgehalts	44
Bild 35:	Maximaler Schwebstoffgehalt im Analysezeitraum (Ausbauzustand)	45
Bild 36:	Vorhabensbedingte Änderung des maximalen Schwebstoffgehalts	45
Bild 37	Sturmflutscheitelwasserstand der Bemessungsturmflut 2107	48
Bild 38	Änderung des Scheitelwasserstandes	49
Bild 39:	Signifikante Wellenhöhen (Referenzzustand ohne OTB)	52
Bild 40:	Signifikante Wellenhöhen (Ausbauzustand mit OTB)	53
Bild 41:	Vorhabensbedingte Änderungen der signifikanten Wellenhöhen	54
Bild 42:	Sohllagen im Frühjahr und Herbst der Jahre 2007 und 2010	56
Bild 43:	Bathymetrie im Bereich des OTB	57
Bild 44:	Mittlere integrierte Sohlschubspannung des Flutstroms (Referenzzustand)	61
Bild 45:	mittlere integrierte Sohlschubspannung des Flutstroms (Ausbauzustand)	62
Bild 46:	Vorhabensbedingte Änderungen der mittleren integrierten Sohlschubspannung des Flutstroms	62
Bild 47:	Mittlere integrierte Sohlschubspannung des Ebbestroms (Referenzzustand)	63
Bild 48:	Mittlere integrierte Sohlschubspannung des Ebbestroms (Ausbauzustand)	63
Bild 49:	Vorhabensbedingte Änderungen der mittleren integrierten Sohlschubspannung des Ebbestroms	64
Bild 50:	Qualitative Abschätzung der vorhabensbedingten Sohländerung	66

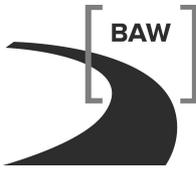
Tabellenverzeichnis

Seite

Tabelle 1: MTnw und MThw am Pegel Bremerhaven Alter Leuchtturm als 10-jähriges Mittel der Sommerhalbjahre der Abflussjahre 2002 bis 2011 nach NLWKN, 2014a und im Analysezeitraum 2012, basierend auf den Modellergebnissen	10
Tabelle 2: Übersicht des Simulationszeitraums und der verwendeten Analysezeiträume. Weitere Informationen zu der tideunabhängigen Analyse des Wasserstands und der Strömungsgeschwindigkeiten sind im BAWiki (BAW, 2010b, 2010c) zu finden.	48

Abkürzungsverzeichnis

AZ	Ausbauzustand
BAL	Bremerhaven Alter Leuchtturm
BAW	Bundesanstalt für Wasserbau
bremenports	bremenports GmbH & Co. KG
DGM-W	Digitales Geländemodell – Wasser (beinhaltet eine Land-Wasser-Trennung)
dThb	Differenz des Tidehubs
HMN-Modell	hydro- und morphodynamisch numerisches Modell
MThw	mittleres Tidehochwasser
MTnw	mittleres Tideniedrigwasser
NHN	Normalhöhennull
NLWKN	Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz
OTB	Offshore Terminal in Bremerhaven
RZ	Referenzzustand
PNP	Pegelnullpunkt
SKN	Seekartennull
WSD	ehemals Wasser- und Schifffahrtsdirektion des Bundes
WSV	Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes



1 Veranlassung und Aufgabenstellung

Auf Grund des stark wachsenden Marktes für Offshore Windkraftanlagen plant bremenports GmbH & Co. KG (bremenports) die Errichtung eines Offshore Terminals in Bremerhaven (OTB).

Im Auftrag von bremenports hat die Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) bereits eine wasserbauliche Systemanalyse für das OTB durchgeführt (BAW, 2012a, 2012b). Darin wurden die Vorhabenswirkungen unter der Voraussetzung ermittelt, dass die geplante Fahrrinnenanpassung der Unter- und Außenweser (Planfeststellungsbeschluss der WSD Nordwest vom 15. Juli 2011) realisiert wird.

Um eine Unabhängigkeit des Planverfahrens des OTB von der ebenfalls geplanten Fahrrinnenanpassung der Unter- und Außenweser zu erreichen, hat bremenports die BAW beauftragt, eine wasserbauliche Systemanalyse ohne Berücksichtigung der derzeit geplanten Fahrrinnenanpassung der Unter- und Außenweser durchzuführen.

2 Unterlagen und Daten

- [U1] Lageplan mit Liegewanne, E-Mail mit 1 Zeichnung, Ulrich Kraus, bremenports GmbH & Co. KG, 22. Dezember 2010
- [U2] Baugrunderkundung im Rahmen einer Machbarkeitsstudie. Notiz, Dr. A. Richwien, bremenports, 09.04.2009
- [U3] Baugrunderkundung im Bereich des OTB. Institut Dr. Nowak, Oldenburg, 19.04.2011
- [U4] Schwerlastkai Steelwind, Lageplan Gesamtanlage Planung, Zeichnung 521212/1-1-0.03, Vorabzug Stand 20.04.2012
- [U5] Offshore-Terminal Bremerhaven (OTB), Erläuterungsbericht. bremenports GmbH & Co. KG, Dok-ID 412348, Dezember 2012
- [U6] Offshore-Terminal Bremerhaven, Randdämme – Querschnitte Seedeich / Anschluss Terminal, Zeichnungs-Nr. 5.8, bremenports GmbH & Co. KG, 01.11.2012

Für die im vorliegenden Gutachten verwendeten Bilder wurde Kartenmaterial aus dem WSV-Geoportal verwendet.

3 Untersuchungskonzept

Zu ermitteln waren die maßnahmebedingten Wirkungen des OTB auf die folgenden abiotischen Systemparameter des Weserästuars:

- Strömungen und Wasserstände
- Salzgehalt und Schwebstofftransport
- Scheitelwasserstände und Laufzeiten bei Sturmflut
- Seegang bei Sturmflut
- Morphodynamik und Sedimenttransport

Das Untersuchungskonzept entspricht dem Untersuchungskonzept zur wasserbaulichen Systemanalyse für das Offshore-Terminal Bremerhaven mit Fahrrinnenanpassung der Unter- und Außenweser (BAW, 2012a). Der Unterschied zwischen BAW, 2012a und der vorliegenden Untersuchung liegt in einem anderen Referenzzustand (RZ). Es wurde nicht wie in BAW, 2012a die derzeit geplante Fahrrinnenanpassung der Unter- und Außenweser berücksichtigt, sondern die zur Zeit der Gutachtenerstellung planfestgestellte Solltiefe der Fahrrinne.

Für das vorliegende Gutachten wurden die vorhabensbedingten Änderungen abiotischer Systemparameter auf der Grundlage wasserbaulicher Systemstudien ermittelt, bei denen hydro- und morphodynamisch numerische Modelle zur Anwendung kamen. Wegen der Reflektionswirkung der Kaje wurden außerdem Untersuchungen mit einem Seegangsmodell durchgeführt. Die Änderungen der Kenngrößen der Hydrodynamik und der Transportprozesse wurden durch Differenzenbildung der Kenngrößen zwischen zwei unterschiedlichen topographischen Zuständen des Modells (dem Ausbauzustand (AZ) und dem Referenzzustand (RZ)) berechnet. Eine schematische Darstellung des Bearbeitungskonzepts unter dem Einsatz numerischer Modelle ist in Bild 1 abgebildet. Aus den Analyseergebnissen des numerischen Modells wurden die vorhabensbedingten, verfahrensrelevanten Änderungen unter Einbeziehung des wasserbaulichen Expertenwissens bestimmt.

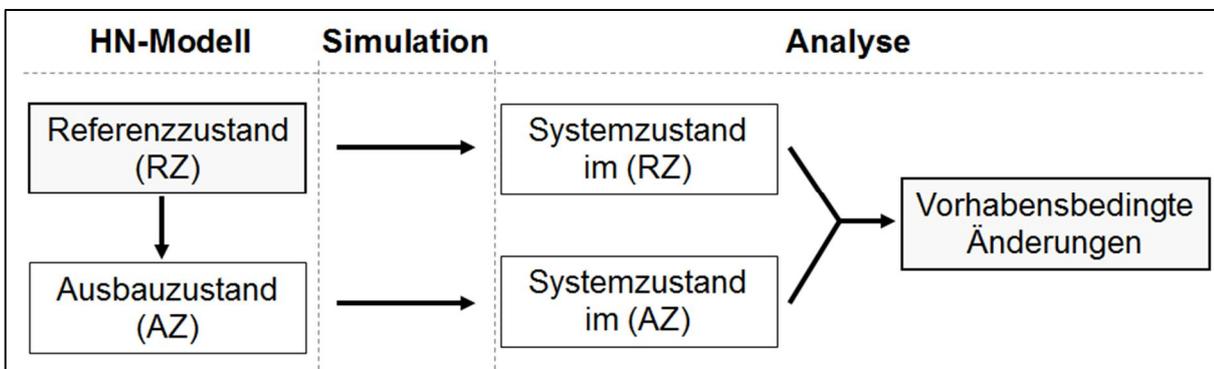


Bild 1: Schematische Darstellung des Bearbeitungskonzepts zur Bestimmung der vorhabensbedingten Änderung unter Einsatz numerischer Modelle im Rahmen des Gutachtens.

4 Methoden und Verfahren

4.1 Vorbemerkung

Eine wesentliche Grundlage für diese Systemanalyse und für die Quantifizierung der maßnahmenbedingten Wirkungen auf das Ästuarsystem sind die Simulationen mit 3D- hydro- und morphodynamisch numerischen Modellen (HMN-Modellen) und mit einem Seegangsmodell. Nachfolgend werden zunächst die angewendeten Modellverfahren und die wesentlichen Modelleinstellungen erläutert (Abschnitte 4.1 bis 4.4). Der Abschnitt 4.5 enthält einen Überblick über die Analyseverfahren der Modellergebnisse.

Die verwendeten HMN-Modelle bilden die relevanten physikalischen Prozesse im Jade-Weser-Ästuar mit Hilfe numerischer Verfahren dreidimensional unter Berücksichtigung barokliner Effekte ab. Zum Einsatz kamen das Modellverfahren UnTRIM-3D¹ (Casulli, Lang, 2004) gekoppelt mit dem Morphologie-Modul SediMorph (Malcherek et al., 2005), sowie das Modellverfahren Delft3D². Für das Seegangsmodell kam das spektrale Modellverfahren SWAN in der in Delft3D integrierten Form zur Anwendung. Die örtliche Auflösung der Rechengitter und die zeitliche Auflösung der Simulationen wurden so gewählt, dass alle charakteristischen, d. h. gewässerprägenden physikalischen Prozesse berücksichtigt und die entsprechend dem Bauvorhaben vorzunehmenden Änderungen der Topographie aufgelöst wurden. Die Strömungsmodelle wurden an Naturmessungen kalibriert und verifiziert (BAW, 2015). Die Modelltopographie der Tideweser basiert auf dem Digitalen Geländemodell-Wasser (DGM-W) des Jahres 2012. Das DGM-W setzt sich aus verschiedenen Fächerecholot- und Linienpeilungen sowie Befliegungsdaten der Wattbereiche zusammen, die in Groszer et al., 2013, 2014 dokumentiert sind.

Die Berechnungsergebnisse aus den Modellsimulationen und deren Analysen bedürfen der fachkundlichen Interpretation („wasserbauliches Expertenwissen“), um fundierte Prognosen über die Ausbauwirkungen abzugeben. Die Berechnungsergebnisse sind somit nicht die alleinige Grundlage der gutachterlichen Aussagen, weil in die Bewertung sowohl die gewässerkundlichen Erkenntnisse über das Untersuchungsgebiet, als auch die revier- und methodenspezifischen Erfahrungen des Modellierers in die wasserbauliche Systemanalyse einfließen müssen.

¹ UnTRIM 2007, Version 18.03.2014

² Delft3D, Version 4.01.00

4.2 Hauptmodell des Weserästuars (UnTRIM)

Die Hauptuntersuchung der wasserbaulichen Systemanalyse wird mit dem dreidimensionalen hydrodynamisch-numerischen Modellverfahren UnTRIM-3D durchgeführt. UnTRIM ist ein Finite-Volumen/ -Differenzen Verfahren für unstrukturierte Gitter zur Simulation stationärer und instationärer Strömungs- und Transportprozesse in Gewässern mit freier Oberfläche. Durch das mathematische Modell werden u.a. die Wasserspiegelauslenkung, die Strömungsgeschwindigkeit, der Transport von Wärme und Substanzen (z.B. Salz oder Schwebstoff) und des hydrodynamischen Drucks an den diskreten Berechnungsknoten berechnet. Für Details zum Modellverfahren siehe Casulli, Lang, 2004.

4.2.1 Modellgebiet, Gitterauflösung und Topographie

Das Modellgebiet wurde ausreichend großräumig gewählt, um die maßgebenden physikalischen Prozesse hinsichtlich der vorhabensbedingten Änderungen naturähnlich abzubilden und für alle zu behandelnden Fragestellungen eine Beeinflussung der Ergebnisse durch Randeffekte auszuschließen.

Das in Bild 2 dargestellte Jade-Weser-Modell umfasste folgende Gebiete:

- Außenweser
- Unterweser
- Außen- und Innenjade
- Jadebusen
- Die Nebenflüsse: Geeste, Hunte, Ochtum sowie das Lesum-Wümme-Hamme System

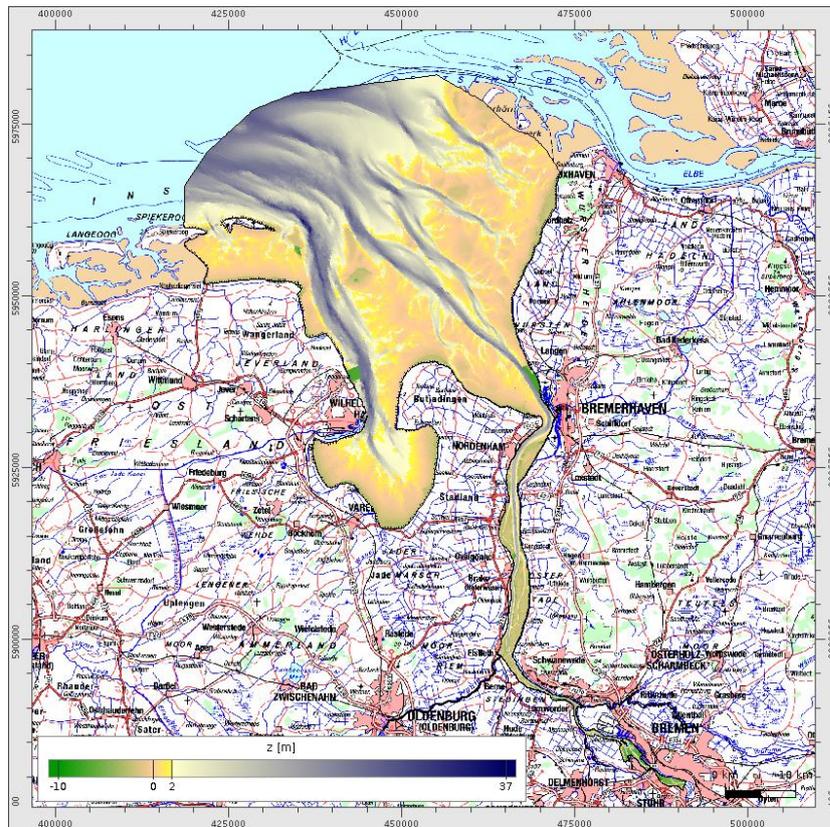


Bild 2: Modellgebiet des Hauptmodells

Der offene seeseitige Rand des Jade-Weser-Modells verläuft von Spiekeroog bogenförmig entlang der SKN - 20 m Tiefenlinie durch die Deutsche Bucht bis nach Sahlenburg westlich von Cuxhaven. Die Mittelweser oberhalb von Bremen ist bei normalen hydrologischen Verhältnissen von der Tidedynamik der Unterweser abgekoppelt, da die Tide an der Staustufe Bremen reflektiert wird. Im Sturmflutfall ist das Wehr jedoch gelegt. Das Sturmflutmodell umfasst daher auch die Mittelweser bis Intschede.

Um die Vorhabenswirkungen im Modell naturähnlich abbilden zu können, wurde das Modellgitter (ca. 88.000 Elementen) im Bereich des geplanten Offshore-Terminals ausreichend verfeinert. Die Kantenlängen im Bereich des Blexer Bogens betragen 4 m bis 100 m. Außerhalb dieses Bereichs liegen die Kantenlängen zwischen 18 m und 845 m in der Außenweser und zwischen 8 m und 195 m in der Unterweser. Die Tiefen im Modellgitter basieren auf dem Digitalen Geländemodell –Wasser (DGM-W) des Jahres 2012 (siehe Grosser et al., 2014, 2013).

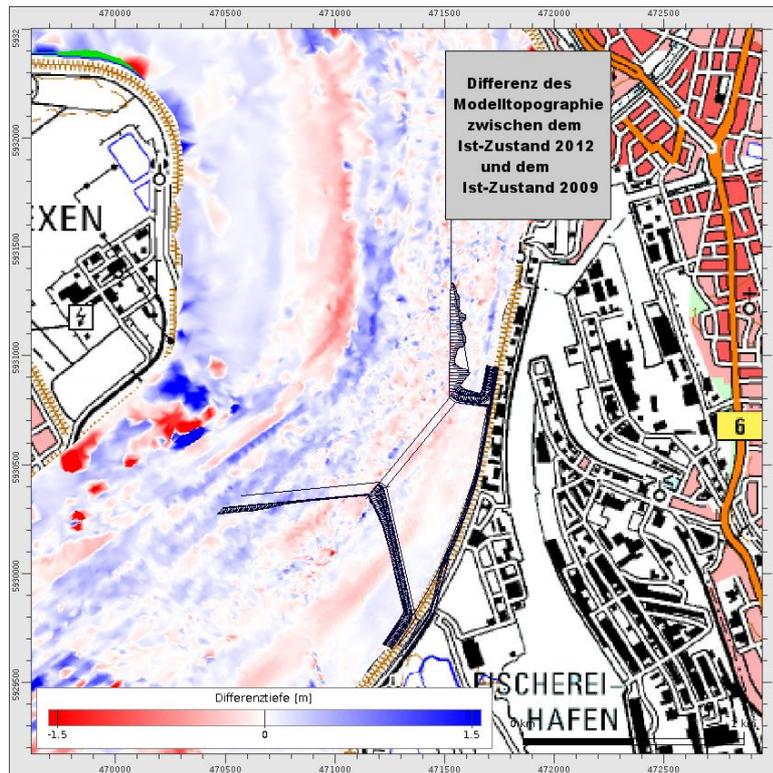


Bild 3: Differenz zwischen der verwendeten Modelltopographie des Jahre 2012 und der in BAW, 2012a verwendeten Modelltopographie der Jahre 2007/2009 im Nahbereich des OTB.

Im Gegensatz zur vorliegenden Untersuchung basierte das Gutachten von 2012 (BAW, 2012a) auf dem DGM-W des Jahres 2007 bzw. 2009 (im Bereich des Blexer Bogens). Der Unterschied zu der für diese Untersuchungen verwendeten Topographie des Jahre 2012 ist in Bild 3 dargestellt. Bereiche die in der Topographie 2012 tiefer liegen (z.B. der Bereich vor Blexen), werden blau dargestellt.

Referenzzustand:

Der Referenzzustand beschreibt den Referenzzustand ohne das OTB (vgl. Abschnitt 3). Er unterscheidet sich vom Ist-Zustand (gemessene Topographie) dadurch, dass die planfestgestellte Solltiefe der Fahrrinne der Weser berücksichtigt wird. Im Bereich des OTB wird die Fahrrinne bedarfsgerecht unterhalten. Die Solltiefe der Fahrrinne liegt im Bereich der Unterwasserböschungen bis zu ca. 4 m unterhalb des Sohl-niveaus im Ist-Zustand. Dargestellt ist dies in Bild 4.

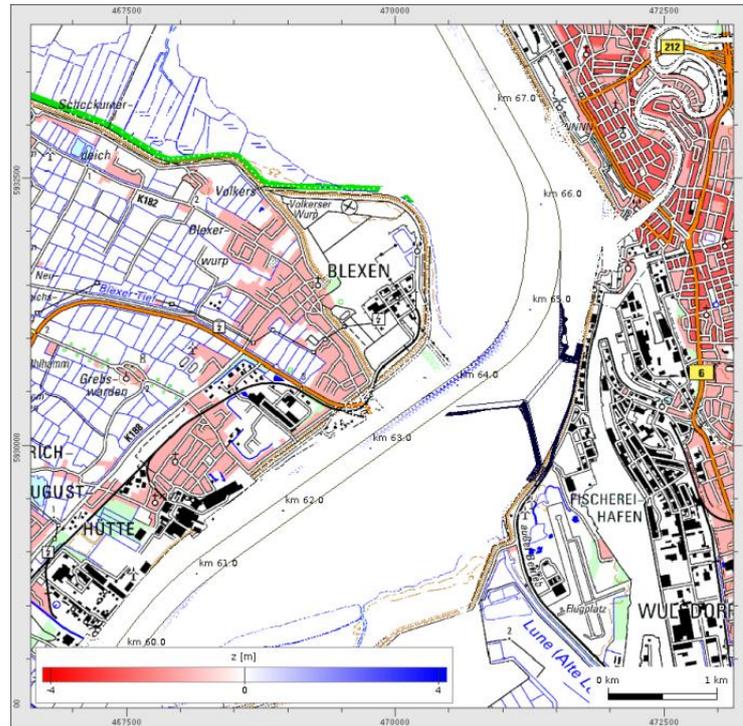


Bild 4: Differenztopographie zwischen dem Referenzzustand und dem Ist-Zustand im Bereich des OTB

Ausbauzustand:

In die Topographie des Referenzzustandes wird die Kaje, die Zufahrt und die Liegewanne des Offshore Terminals Bremerhaven ([U1] bis [U6]) eingebaut. Die Differenztopographie zwischen dem Referenzzustand und dem Ausbauzustand ist in Bild 5 dargestellt.

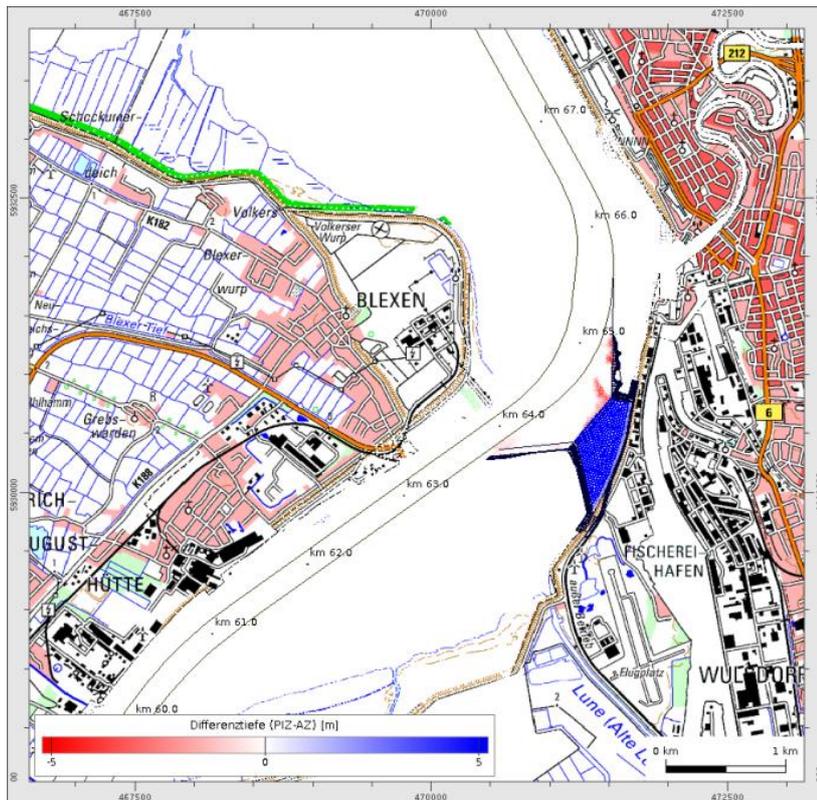


Bild 5: Differenztopographie zwischen dem Referenzzustand und dem Ausbauzustand im Bereich des OTB

4.2.2 Untersuchungsszenarien

Im Rahmen der wasserbaulichen Systemanalyse werden die folgenden zwei Untersuchungsszenarien betrachtet:

- a) Normaltiden (Spring-Nipp-Zyklus)
- b) Sturmflut (Bemessungssturmflut 2107)

Nachfolgend werden die beiden Untersuchungsszenarien erläutert:

- a) Normaltiden (Spring-Nipp-Zyklus)

Das Untersuchungsszenario Normaltiden bildet charakteristische Verhältnisse im Weser-Ästuar ab. Am seeseitigen Rand des Modells werden die Wasserstände vorgegeben. Am Tidewehr werden Messwerte des Durchflusses (Oberwasserzufluss) eingesteuert. Die Randwerte zur Steuerung des Modells repräsentieren hinsichtlich der Wasserstände und Strömungen einen charakteristischen Systemzustand der Weser. Der Analysezeitraum deckt einen Spring-Nipp-Zyklus im August 2012 ab:

07.08.2012 05:00 Uhr – 22.08.2012 0:00 Uhr

Mit einem Spring-Nipp-Zyklus werden die 14-tägigen astronomischen Ungleichheiten der Tide berücksichtigt. Der gewählte Analysezeitraum ist konsistent zur Topographie des Modellgitters (Jahrestopographie 2012).

Unter normalen meteorologischen Bedingungen werden die hydrodynamischen Verhältnisse im Bereich Bremerhaven durch die Tidedynamik geprägt. Die Tidewelle wird mit zunehmendem Oberwasserzufluss im Weserästuar gedämpft. Die größte Wirkung des Vorhabens auf die abiotischen Systemparameter ist bei starken Tidedrömungen zu erwarten, also bei geringem Oberwasserzufluss. Im Analysezeitraum schwankt der Oberwasserzufluss zwischen 107 m³/s und 145 m³/s. Im Mittel liegt der Oberwasserzufluss bei ca. 123 m³/s und entspricht damit in etwa dem mittleren niedrigsten Abfluss (MNQ) der Sommerhalbjahre³. Der Oberwasserzufluss ist geringer als der in BAW, 2012a berücksichtigte Oberwasserzufluss. Die Dämpfung der Tidewelle ist hinsichtlich des Oberwasserzuflusses daher geringer als in BAW, 2012a, was gegenüber BAW, 2012a tendenziell zu einer höheren zu erwartenden Wirkung des Vorhabens auf die abiotischen Systemparameter führt. Der im Modell eingesteuerte Oberwasserzufluss ist in Bild 6 (rote Kurve) für den Analysezeitraum dargestellt.

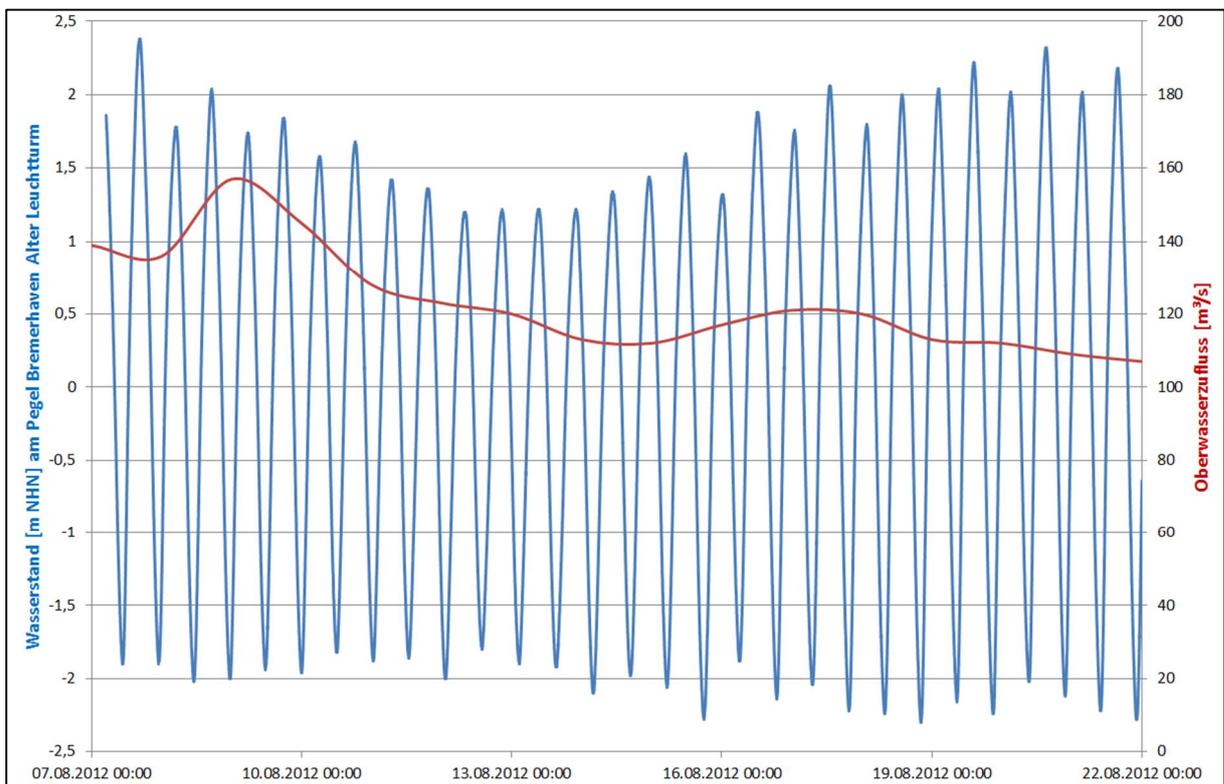
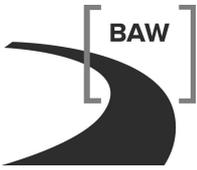


Bild 6: Wasserstand am Pegel Bremerhaven Alter Leuchtturm (blaue Kurve) und Oberwasserzufluss am Pegel Intschede für den Analysezeitraum

³ Der mittlere niedrigste Abfluss (MNQ) im Sommerhalbjahr für die Jahr 1941 bis 2011 liegt am Pegel Intschede nach NLWKN, 2014a bei 126 m³/s.



Der Wasserstand am Pegel Bremerhaven Alter Leuchtturm (BAL) schwankt im Analysezeitraum zwischen ca. -2,22 m NHN und ca. 2,41 m NHN. Das mittlere Tidehoch- (MThw) und mittlerer Tideniedrigwasser (MTnw) liegen im Analysezeitraum etwa im Bereich des mittleren 10 jährigen Tidehoch- und Tideniedrigwassers des Sommerhalbjahres am Pegel BAL (Tabelle 1).

[m NHN]	2002-2011*	Analysezeitraum
MTnw	-1,92	-1,89
MThw	1,86	1,69

* Bezogen auf den Sommer der Abflussjahre

Tabelle 1: MTnw und MThw am Pegel Bremerhaven Alter Leuchtturm als 10-jähriges Mittel der Sommerhalbjahre der Abflussjahre 2002 bis 2011 nach NLWKN, 2014a und im Analysezeitraum 2012, basierend auf den Modellergebnissen

b) Sturmflut (Bemessungssturmflut 2107)

Das Untersuchungsszenario Sturmflut basiert auf der Bemessungssturmflut 2107 (Niemeyer, 2007). Diese synthetische Sturmflut wurde auf der Grundlage der Sturmflut vom 3. Dezember 1999 vom Niedersächsischen Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (NLWKN) entwickelt. Dabei wurde die Windgeschwindigkeit über der Nordsee erhöht, um höhere Wasserstände zu erreichen. Die Bemessungssturmflut ist durch westliche Windrichtungen mit Windgeschwindigkeiten von bis zu 28 m/s bei Bremerhaven geprägt. Sie berücksichtigt zudem ein Vorsorgemaß für einen säkularen Anstieg des Meeresspiegels durch Klimaänderungen von 50 cm (Niemeyer, 2007). Der Oberwasserzufluss beträgt während der Bemessungssturmflut 2000 m³/s (NLÖ, 2003). Am Pegel Bremerhaven erreicht die Bemessungssturmflut den Bemessungswasserstand von 6,62 m NHN. Bild 7 zeigt den Verlauf des Wasserstands am Pegel Bremerhaven.

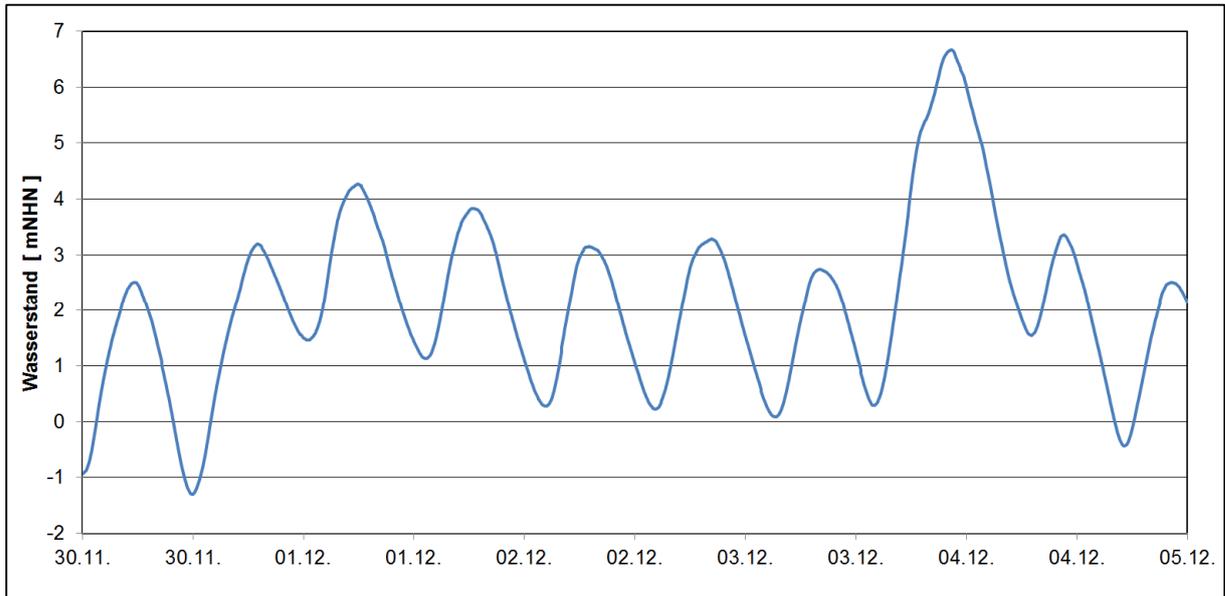


Bild 7: Modellierte Wasserstandskurve am Pegel Bremerhaven bei der Bemessungssturmflut 2107

4.2.3 Modellvalidierung

Im Rahmen einer Validierung wird die Naturähnlichkeit des Modells nachgewiesen. Das Modellverfahren ist in der Lage, die wesentlichen Prozesse der Hydrodynamik in der Weser abzubilden. Gemessene physikalische Größen wie der Wasserstand, die Strömungsgeschwindigkeit, der Salzgehalt und die Schwebstoffkonzentration können im Modell naturähnlich reproduziert werden. Details sind dem Validierungsdokument des Modells zu entnehmen (BAW, 2015).

Die Validierung des Modells erfolgt auf der Basis der IST-Topographie des Jahres 2012. Die IST-Topographie unterscheidet sich von der Topographie des Referenzzustandes dadurch, dass die Sohle der Fahrrinne im Referenzzustand auf die Solltiefe (optimale Unterhaltung) gesetzt wird. Weiterhin wird das Modellgitter im Bereich des Blexer Bogens gegenüber dem in BAW, 2015 verwendeten Gitternetz verfeinert, um die Systemgeometrie des zu untersuchenden OTB erfassen zu können. Die Qualität der Validierung des Modells wird dadurch nicht negativ beeinflusst.

4.3 Nebenmodell des Weserästuars (Delft3D)

Analog zur Vorgehensweise beim Hauptmodell wurde mit Hilfe des Modellverfahrens Delft3D ein Nebenmodell erstellt. Dieses diente dazu, die Strömungsfelder für die Seegangssimulationen zu berechnen und somit gekoppelte Simulationen von Strömung und Seegang zu ermöglichen (vgl. Abschn. 4.4). Wegen der genannten Zielsetzung wurde für das Nebenmodell eine abweichende Auflösung gewählt, mit Kantenlängen zwischen 70 m und 2000 m in der

Jade und dem äußeren Außenweserbereich und mit Kantenlängen zwischen 10 m und 60 m im Bereich des Blexer Bogens.

4.4 Seegangmodell der Außen- und Unterweser bis Nordenham (SWAN)

Das Seegangmodell umfasst die Außenweser bis zur SKN - 20 m Tiefenlinie und die Unterweser bis Dedesdorf. Auf die Nachbildung des Jadebusens und der äußersten westlichen und nordöstlichen Randbereiche wurde zu Gunsten einer höheren Auflösung verzichtet, da diese Bereiche für den Seegang am OTB keine Bedeutung haben. Die Auflösung wurde so gewählt, dass das Einlaufen des Seegangs über die Außenweser in die Unterweser und auch die Auswirkungen des Terminals (z. B. Reflektionswirkungen) naturähnlich simuliert werden können. Die Kantenlängen liegen zwischen 13 m und 300 m (bzw. bis zu 80 m im Bereich des Blexer Bogens).

Als Modellverfahren wurde das spektrale Seegangmodell SWAN verwendet. Wegen der Beeinflussung des Seegangs durch die Strömung der Weser war eine gekoppelte Simulation von Tidedynamik und Seegang erforderlich. Dazu wurde die innerhalb des Delft3D-Modellsystems⁴ realisierte Kopplung zwischen SWAN (= Delft3D-WAVE) und dem Strömungsmodul Delft3D-FLOW genutzt. Die Seegangsspektren wurden in der Richtung mit 4° aufgelöst (90 Intervalle), die Frequenzen von 0,05 Hz bis 1 Hz mit 36 Intervallen.

Die senkrechten Uferwände und Kajen am linken Weserufer (Bereich Blexen-Nordenham) wurden hinsichtlich ihrer Reflektionswirkung berücksichtigt (einschließlich der Kaje des Unternehmens „Steelwind“). Ihre Lage wurde den digitalen Bundeswasserstraßenkarten der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung entnommen. Der Reflektionsfaktor wurde hinsichtlich der Vorhabenswirkungen (Sekundärreflektionen) auf der sicheren Seite liegend mit 1,0 angenommen (Totalreflektion).

Das Modellsystem SWAN enthält Kalibrierparameter u. a. für die in einem spektralen Seegangmodell nicht aufgelösten Prozesse Sohltreibung, Wellenbrechen, Reflektion und Refraktion. Mit den Standardeinstellungen der Kalibrierparameter des Modells wurde eine ausreichende Naturähnlichkeit erreicht, um die relative Wirkung des Offshore-Terminals zu berechnen.

⁴ www.delft3d.com

4.5 Analyse und Bewertung der numerischen Modellergebnisse

Alle Ergebnisse der numerischen Modelle beruhen auf dreidimensionalen Strömungsberechnungen. Bei den Ergebnisdateien handelt es sich um sehr große synoptische Datensätze. Mit Hilfe BAW-eigener Analyseverfahren (Langzeit- und Tidekennwertanalyse) wurden die Modellergebnisse weitergehend analysiert. Die Analyseverfahren und Parameter sind auf den Internetseiten der BAW (BAW, 2010a) ausführlich dokumentiert. Da die Untersuchungsergebnisse mit Hilfe zweidimensionaler (tiefengemittelter) Analysebilder repräsentativ und mit besserer Übersichtlichkeit dargestellt werden können, wurde auf die Darstellung einzelner Tiefenschichten verzichtet. Die gewählten Bildausschnitte stellen die wesentlichen Vorhabenswirkungen dar.

Die vorhabensbedingten Änderungen ergeben sich aus den Differenzdarstellungen (Ausbauzustand -Referenzzustand). Basierend auf dem Untersuchungskonzept (Abschnitt 3) wurde eine vorhabensbedingte Erhöhung eines Kennwertes als ein positiver Differenzwert dargestellt.

Hinsichtlich der Bewertung des Vorhabens wurden ausbaubedingte Änderungen nur berücksichtigt, wenn sie einen sinnvollen, messtechnisch auch zu erfassenden Wert überschreiten. Dieser richtet sich sowohl nach der Genauigkeit der numerischen Modelle, als auch nach der Messgenauigkeit der jeweiligen Parameter. Für diese Untersuchung liegen die Grenzen der Vorhabenswirkung bei einer Wasserstandänderung von 1 cm, Strömungsänderungen von 2,5 cm/s und Salzgehaltsänderungen von 0,1 ‰. In den Bildern dieses Gutachtens sind teilweise geringere Werte dargestellt, um auch schwache Tendenzen und die grundsätzliche Art der Vorhabenswirkung aufzuzeigen.

Bei der Auswertung und Bewertung der Simulationsergebnisse wurden u.a. die folgenden zusätzlichen Unterlagen und Informationen genutzt:

- a) Strömungsmessungen im Blexer Bogen (Institut für Wasserbau der Hochschule Bremen, 2011)
- b) Untersuchung der bisherigen langfristigen morphologischen Veränderungen im Blexer Bogen (Nasner, 2011)
- c) wasserbauliches Expertenwissen der BAW u. a. auf Grund
 - des Schrifttums
 - zahlreicher eigener Untersuchungen mit HN-Modellen
 - umfangreicher eigener Messungen der Strömungsverhältnisse (seit 2002) und des Transportregimes (seit 2006) in der Weser.

5 Auswirkungen auf die Strömungen und die Wasserstände in der Weser

5.1 Allgemeines, Wirkzusammenhänge

Das geplante OTB befindet sich am Außenufer des Blexer Bogens der Weser. Der Gewässerabschnitt ist durch eine starke Gezeitenströmung gekennzeichnet. Die höchsten Strömungsgeschwindigkeiten treten bei Ebbe auf.

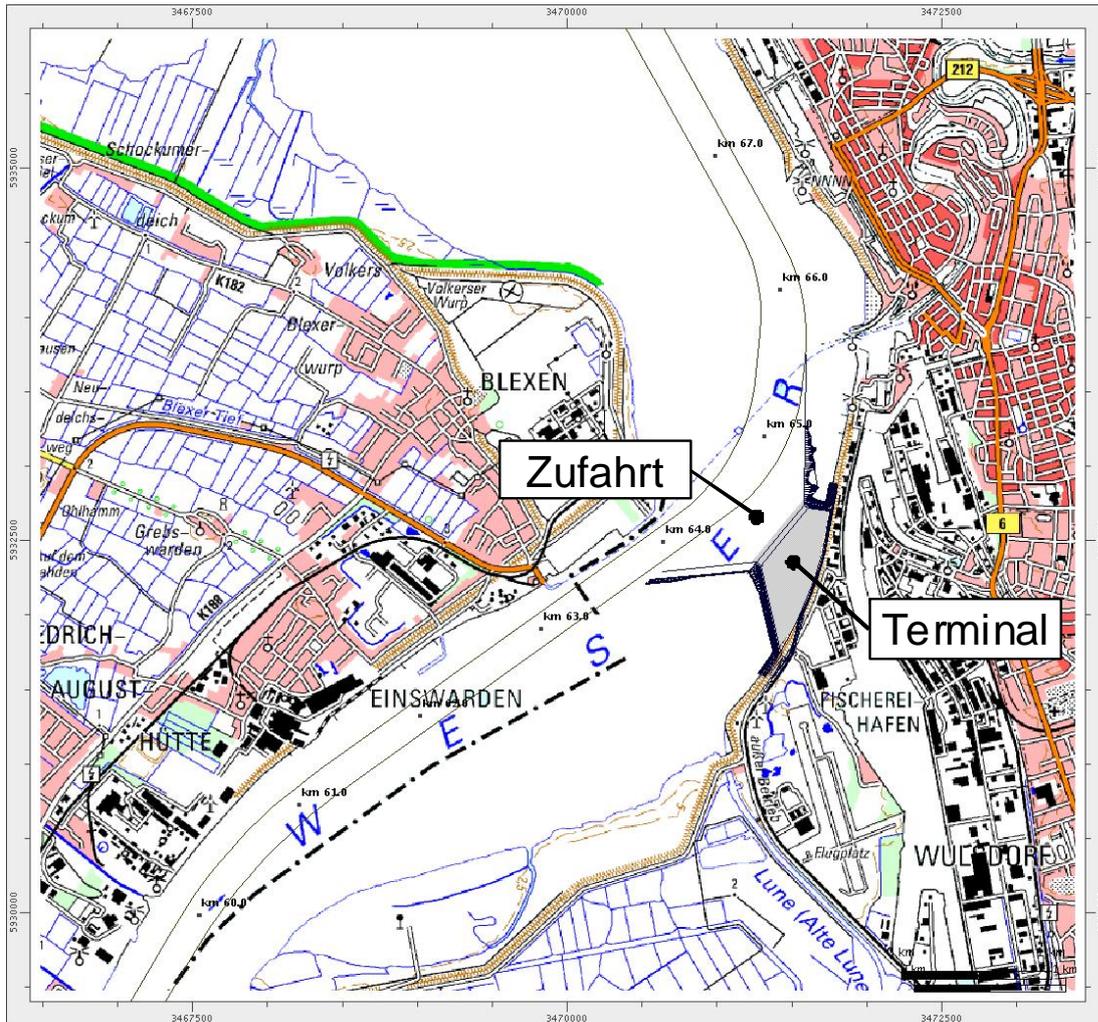


Bild 8: Bereich des Blexer Bogens (Unterweser-km 59 bis 68) mit dem geplanten OTB

Der in Bild 8 dargestellte Unterweserbereich zeichnet sich durch zwei gegenläufige Kurven (Nordenham und Blexer Bogen) aus. Die Krümmungsradien betragen ca. 6500 m bei Nordenham und ca. 1750 m im Blexer Bogen. Gerade im Blexer Bogen stellt dies einen extremen Krümmungsradius dar, der so in den Ästuarien an der deutschen Nordseeküste nicht nochmals auftritt. Daraus ergeben sich ausgeprägte Krümmungseffekte in den Strömungen (z. B. Ausbildung von Sekundärströmungen).

Der Krümmungseffekt führt grundsätzlich dazu, dass die Strömung sich am Außenufer (Prallhang) konzentriert und dort große Wassertiefen schafft. Bei Flutstrom sind die hydrodynamischen Voraussetzungen für eine solche Ausprägung des Geschwindigkeitsprofils gegeben, jedoch wirken folgende Bedingungen entgegen:

- Im östlichen Bereich der Gewässersohle befinden sich erosionsfeste Sedimente und Hartsubstrate (u. a. Bauschutt). Sie behindern die morphodynamische Reaktion der Sohle und somit die Ausbildung des typischen natürlichen Talwegs.
- Die Fahrrinne liegt relativ weit am Innenufer (Gleithang) und konzentriert die Strömung dort auf Grund der großen Wassertiefen.

Darüber hinaus ist die Wirkung der Krümmung im Nordenhamer Bogen zu berücksichtigen. Da es sich um eine Gegenkrümmung zum Blexer Bogen handelt (siehe Bild 8), wirkt der Krümmungseffekt dort in die entgegengesetzte Richtung. Zwischen den beiden Krümmungen entsteht eine Diskontinuität (unterschiedliche Ebbe- und Flutwege / -rinnen). Die normale Ausprägung der Kurvenströmung wird bei Ebbe im Blexer Bogen durch die zum Nordenhamer Ufer verlagerte Anströmung behindert.

Alle genannten Einflüsse führen dazu, dass sich die Strömung der Weser im Blexer Bogen nicht in dem Maße am Außenufer konzentriert, wie man es bei einer so engen Krümmung erwarten könnte.

Aus hydrodynamischer Sicht ergeben sich durch den Bau des OTB folgende vorhabensbedingte Effekte:

- Durch das Terminal selbst wird ein Teil des Gewässerquerschnitts verbaut. Dies beeinflusst die Strömung bzw. die Tidewelle folgendermaßen:
 - Für die tide- und oberwasserbedingte Strömung erfolgt eine Einengung mit einer lokalen Erhöhung der Strömungsgeschwindigkeit (lokale Beschleunigung) sowie der Energiedissipation (lokaler Widerstand). Damit können auch die Wasserstände (u. a. Anstau auf der Anströmseite) und die Tidevolumina im Ästuar (Drosselwirkung) beeinflusst werden.
 - Bei einer Betrachtung der Tide als Welle ergibt sich eine Teilreflektion am Terminal. Die Amplitude der Tidewelle wird dadurch seeseitig des OTB verstärkt und binnenseitig des Terminals reduziert.
 - Ferner ergibt sich auch ein Verlust an Tidevolumen durch das Volumen des Bauwerks selbst. Wegen der relativ geringen Größe und mündungsnahen Lage des Bauwerks ist dieser Effekt jedoch von untergeordneter Bedeutung.
- Die Vertiefung des Zufahrtsbereichs und der Liegewannen wirkt der Einengung entgegen, da die Wassertiefen lokal vergrößert und somit die Energiedissipation vermindert wird.

Entsprechend der vorliegenden Planung sind nur geringe Abgrabungen im Bereich der Liegewanne und der Zufahrt erforderlich, um die geplanten Solltiefen herzustellen (Bild 5). Daher überwiegt der Einfluss der Einengung des Fließquerschnitts. Aus der Differenz der Modelltopographien für den Zufahrts- und Liegebereich (Ausbauzustand – Referenzzustand) wurde ein Volumen von ca. 70 000 m³ feste Masse ermittelt.

Das Ausmaß der hydrodynamischen Wirkungen ist davon abhängig, welche relative hydraulische Bedeutung dem verbauten Gewässerquerschnitt zukommt. Da sich das geplante Terminal größtenteils im hochliegenden (teilweise trockenfallenden) Uferbereich befindet und die Durchströmung aus den oben beschriebenen Gründen dort nicht sehr intensiv ist, sind mäßige Auswirkungen auf die Hydrodynamik der Weser zu erwarten.

5.2 Einfluss des geplanten OTB auf den Gewässerquerschnitt

Wie oben beschrieben hängt das Ausmaß der hydrodynamischen Wirkungen des geplanten OTB maßgeblich von der relativen Veränderung des zur Verfügung stehenden Fließquerschnitts im Bereich des Terminals ab. Eine schematische Darstellung des Querschnitts im Bereich des OTB ist in Bild 9 dargestellt. Dargestellt sind:

- Schwarz: vorhandene Sohle
- Rot: Kontur der OTB Kaje sowie der geplanten Liegewanne und Zufahrt
- Grün: Lage der aktuell planfestgestellten Sollsohle der Fahrrinne der Weser
- Blau: Lage der verschwenkten Fahrrinne entsprechend der derzeit geplanten Fahrinnenanpassung der Unter- und Außenweser

Die farbig schraffierten Flächen skizzieren die jeweilige Querschnittsänderung gegenüber dem Ist-Zustand. Aufgrund der Lage der Fahrrinne am Gleithang des Blexer Bogens bedingt die im Referenzzustand vorgesehene Solltiefe der planfestgestellten Fahrrinne der Weser eine Querschnittsänderung gegenüber dem Ist-Zustand (grüne Schraffur Bild 9).

Die Skizze in Bild 9 verdeutlicht, dass zur Beurteilung der Querschnittsverhältnisse im Blexer Bogen zwei Fallunterscheidungen zu berücksichtigen sind:

- a) mit oder ohne OTB (vorhabensbedingte Querschnittsänderungen)
- b) mit oder ohne die derzeit geplante Fahrinnenanpassung der Unter- und Außenweser (Einfluss des Ausgangsquerschnitts auf die Verbauwirkung des OTB)

zu a) vorhabensbedingte Querschnittsänderungen:

Durch das Offshore-Terminal ergeben sich sowohl Abnahmen als auch Zunahmen des Querschnitts:

- Das Offshore-Terminal befindet sich in einem Bereich am rechten Ufer des Blexer Bogens, der ohne OTB je nach Wasserstand zumindest teilweise überflutet ist. Durch den Einbau der Kaje des OTB wird der Fließquerschnitt verringert. Mit steigendem Wasserstand nimmt der verbaute Querschnitt zu.
- Der Zufahrtsbereich soll auf eine vorgegebene Solltiefe von -13 m NHN gebracht werden. Zusätzlich ist eine 100 m breite Liegewanne mit einer Solltiefe von -14,1 m NHN geplant. Dort wo die vorhandene Sohle (schwarze Linie in Bild 9) höher als diese Solltiefe liegt, kommt es durch Baggerung zu einer Zunahme des Fließquerschnitts.

Entsprechend der vorliegenden Planung sind nur relativ geringe Abgrabungen erforderlich, um die geplanten Sohllagen in der Liegewanne und der Zufahrt herzustellen (Bild 5). Die Querschnittsabnahme durch den Bau der Kaje überwiegt die durch Abgrabung entstehende Zunahme des Querschnitts.

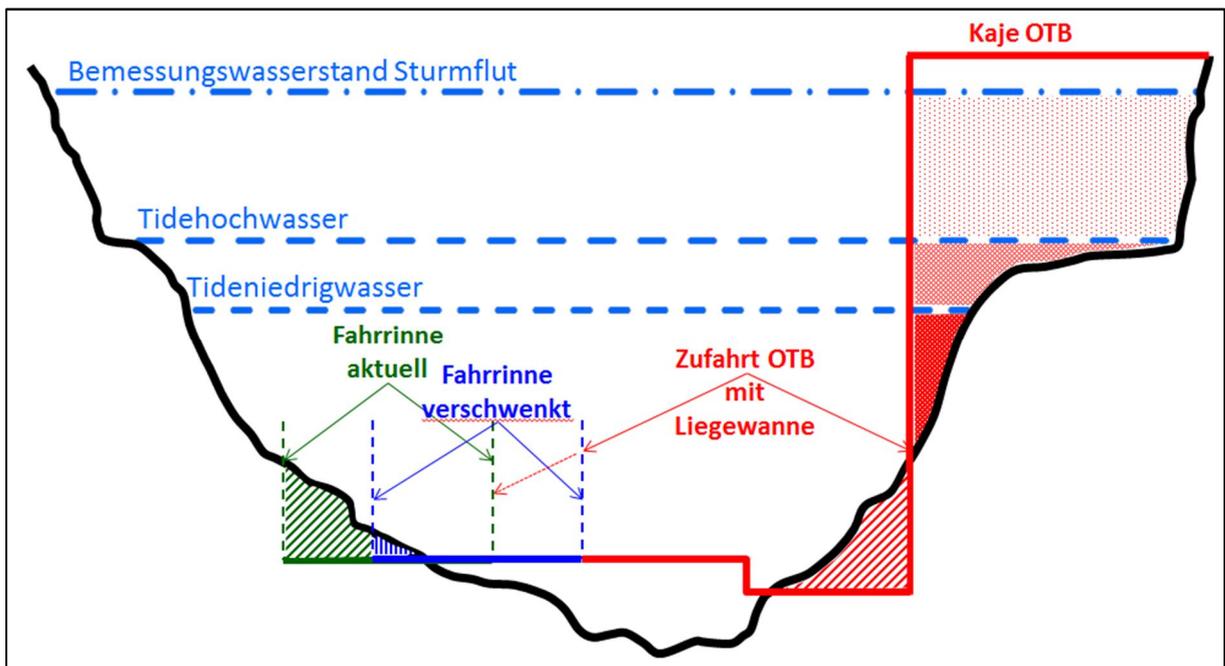


Bild 9: Schematische Darstellung des Fließquerschnitts im Bereich des OTB

zu b) Einfluss des Ausgangsquerschnitts auf die Verbauwirkung des OTB:

Die Wirkung des OTB ist auch davon abhängig, wie groß der Ausgangsquerschnitt (Fließquerschnitt vor Einbau des OTB) im Bereich des Terminals ist. Je größer der Ausgangsquerschnitt ist, desto geringer ist der relative Verbau des Fließquerschnitts durch das Vorhaben. Der Ausgangsquerschnitt der Weser im Bereich des OTB unterscheidet sich mit oder ohne die derzeit geplante Fahrinnenanpassung der Unter- und Außenweser in folgender Weise:

- Ohne derzeit geplante Fahrrinnenanpassung der Unter- und Außenweser, also mit den aktuell planfestgestellten Solltiefen der Fahrrinne, schneidet die Fahrrinne am linken Ufer deutlich in die natürliche Topographie ein (Bild 4). Für den Referenzzustand mit der aktuell planfestgestellten Solltiefe sind daher Baggerungen zu berücksichtigen. Sie sind in Bild 9 mit grüner und blauer Schraffur schematisch dargestellt.
- Im Rahmen der derzeit geplanten Fahrrinnenanpassung der Unter- und Außenweser bleibt die Solltiefe im Bereich des Blexer Bogens unverändert. Die Fahrrinne wird allerdings in Richtung der Gewässermitte verlegt. Dadurch muss weniger gebaggert werden (nur die blau schraffierte Fläche in Bild 9). Durch den Wegfall der grün schraffierten Fläche wird der Ausgangsquerschnitt kleiner als ohne die derzeit geplante Fahrrinnenanpassung der Unter- und Außenweser.

Da die Wasserstände im Bereich Bremerhaven durch die derzeit geplante Fahrrinnenanpassung der Unter- und Außenweser um maximal 2 cm (Anstieg des Tidehochwassers bei mittleren Verhältnissen) bzw. 3 cm (bei Sturmflut) verändert werden (BAW, 2006), kann die aus der derzeit geplanten Fahrrinnenanpassung der Unter- und Außenweser resultierende Änderung der Durchflussquerschnitte vernachlässigt werden (sie beträgt rd. 0,2 % der Fläche).

Für drei Querprofile im Bereich der OTB-Kaje wird eine genaue Analyse der Flächenänderung des Fließquerschnittes durchgeführt. Als Basis dient das DGM-W des Jahres 2012 (Grosser et al., 2014). Die Lage der analysierten Profile ist in Bild 10 abgebildet. Berechnet wird:

1. Die Durchflussflächen A für verschiedene Wasserstände (Bild 11)

$$A = \int h \cdot db$$

mit h = Wassertiefe
 b = Breite des Wasserspiegels

2. die Durchflusskapazitäten K für verschiedene Wasserstände

$$K = \int k_{St} \cdot h^{5/3} \cdot db$$

mit k_{St} = Abflussbeiwert (hier als konstant angenommen)

Die Werte werden für die in Bild 9 dargestellten Situationen:

- Fahrrinne Aktuell (grün in Bild 9, Bild 11 und Bild 12) ohne die derzeit geplante Fahrrinnenanpassung der Unter- und Außenweser
- Fahrrinne Ausbau (blau in Bild 9, Bild 11 und Bild 12) mit der derzeit geplanten Fahrrinnenanpassung der Unter- und Außenweser

sowohl mit als auch ohne Berücksichtigung des OTB berechnet. Mit der Berechnung der Durchflusskapazitäten wird berücksichtigt, dass große Wassertiefen einen überproportionalen Beitrag zur Abflussleistung eines Flusses liefern. Der Exponent $5/3$ ergibt sich aus dem bekannten Ansatz von Gauckler, Manning und Strickler.

In Bild 11 sind die Querschnittsflächen in Abhängigkeit des Wasserstandes dargestellt. Die vorhabensbedingte Änderung der Querschnittsflächen und der Durchflusskapazitäten ist in Bild 12 abgebildet.

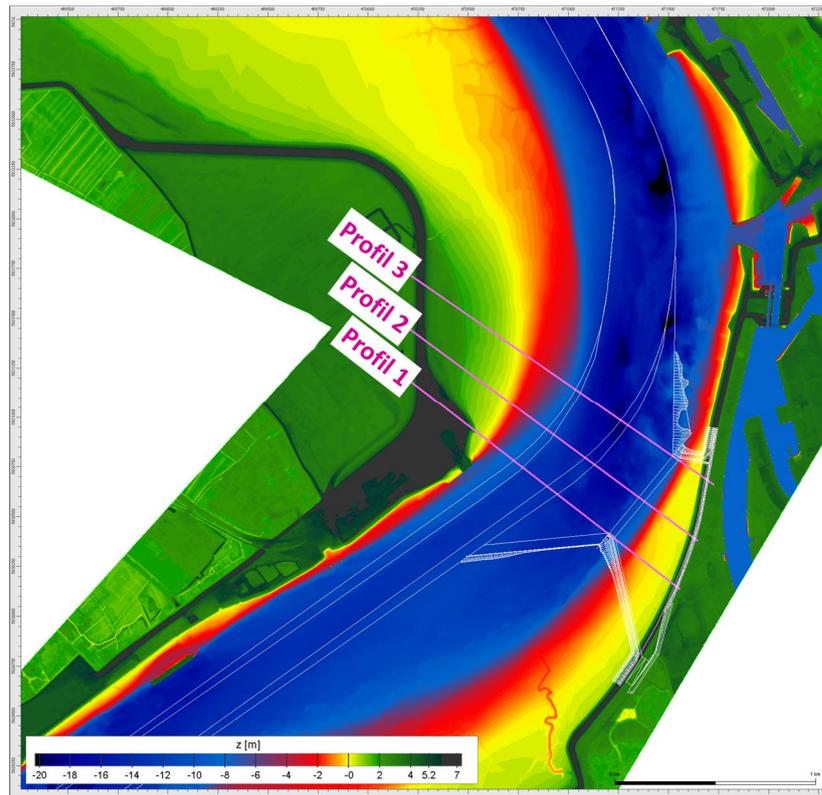


Bild 10: Lage der drei Querprofile zur Analyse des Querschnitts im Bereich der Kaje des OTB auf der Basis des DGM-W 2012

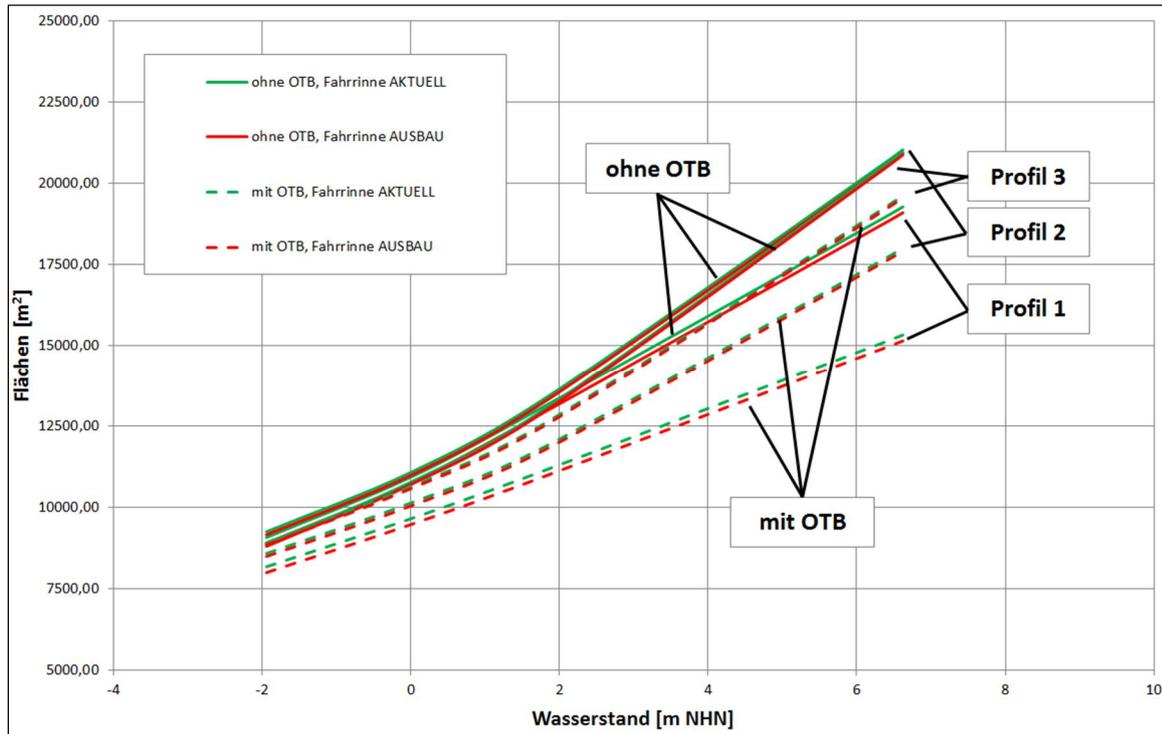


Bild 11: Querschnittsflächen der Querprofile 1 bis 3 (Bild 10) mit (gestrichelte Kurven) und ohne (durchgezogene Linien) OTB in Abhängigkeit vom Wasserstand

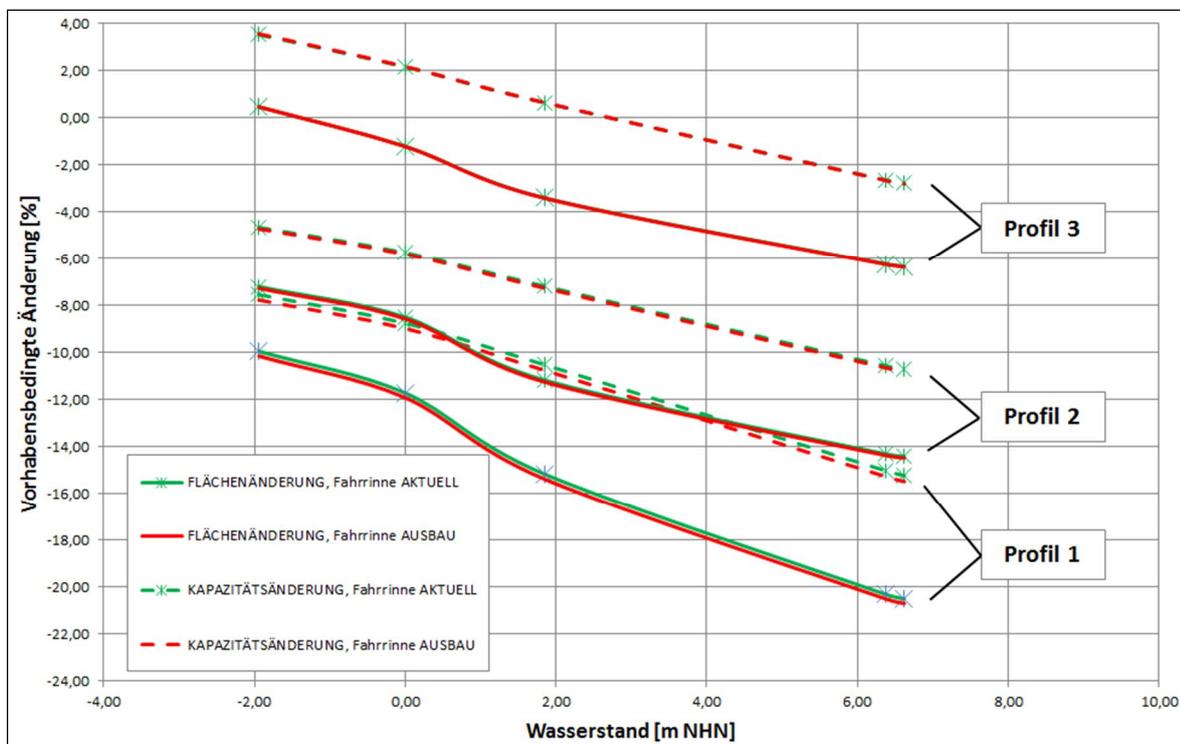


Bild 12: Änderung der Querschnittsflächen (durchgezogene Linien) und Durchflusskapazitäten (gestrichelt) durch das OTB in den Querprofilen 1 bis 3 (Bild 10) in Abhängigkeit vom Wasserstand

Die ungünstigste Situation, also der engste Querschnitt mit dem größten Verbau, ist im Profil 1 (Bild 10) gegeben. Im Profil 1 hat sowohl die derzeit geplante Fahrrinnenanpassung der Unter- und Außenweser als auch das OTB den größten Einfluss auf die Flächenverhältnisse. Für das Profil 1 gilt:

- Die vorhabensbedingte Reduktion der Querschnittsfläche liegt je nach Wasserstand bei 10% bis 21%.
- Die vorhabensbedingte Reduktion der Durchflusskapazität liegt je nach Wasserstand bei 8% bis 16%.
- Die vorhabensbedingte Reduktion der Querschnittsfläche und der Durchflusskapazität ist im vorliegenden Gutachten (ohne die derzeit geplante Fahrrinnenanpassung der Unter- und Außenweser) um 0,2% bis 0,25% kleiner als mit der derzeit geplanten Fahrrinnenanpassung der Unter- und Außenweser.

Für alle Profile gilt, dass sowohl die Reduktion der Querschnittsfläche als auch die Abnahme der Durchflusskapazität mit steigendem Wasserstand zunimmt. Das bedeutet, dass die Vorhabenswirkungen mit steigendem Wasserstand zunehmen.

5.3 Abgrenzung zur vorangegangenen Untersuchung der vorhabensbedingten Änderung (unter Berücksichtigung der derzeit geplanten Fahrrinnenanpassung der Unter- und Außenweser)

Die BAW hat die vorhabensbedingte Änderung der Strömungsgeschwindigkeit durch das OTB unter Berücksichtigung der derzeit geplanten Fahrrinnenanpassung der Unter- und Außenweser (BAW, 2012a) untersucht. Die vorliegende Untersuchung zur Wirkung des OTB ohne Berücksichtigung der derzeit geplanten Fahrrinnenanpassung der Unter- und Außenweser unterscheidet sich von der vorangegangenen Untersuchung (mit der derzeit geplanten Fahrrinnenanpassung der Unter- und Außenweser) hinsichtlich:

- der Wirkung der derzeit geplanten Fahrrinnenanpassung der Unter- und Außenweser:
 - a) relativer Verbau des Querschnitts im Bereich des OTB
 - b) Wirkung der derzeit geplanten Fahrrinnenanpassung der Unter- und Außenweser auf die Tidedynamik
- anderer Wirkungen:
 - c) Modelltopographie
 - d) Analysezeitraum

Die genannten Punkte haben unterschiedliche und zum Teil entgegengesetzte Auswirkungen auf die vorhabensbedingte Änderung durch das OTB. Sie werden nachfolgend kurz zusammengefasst:

- a) Die unterschiedlichen Ausgangsquerschnitte werden in Abschnitt 5.2 ausführlich erläutert. Ohne die geplante Fahrrinnenanpassung der Weser ist der Ausgangsquerschnitt im Bereich des OTB kleiner als mit Fahrrinnenanpassung (Sohle auf Solltiefe). Der relative Verbau durch das OTB ist ohne Fahrrinnenanpassung daher geringer als mit Fahrrinnenanpassung. Ohne die geplante Fahrrinnenanpassung der Weser sind unter sonst gleichen Voraussetzungen geringere vorhabensbedingte Änderungen durch das OTB zu erwarten.
- b) Die geplante Fahrrinnenanpassung verstärkt die Tidedynamik der Weser. Ohne die derzeit geplante Fahrrinnenanpassung der Unter- und Außenweser sind der Tidehub und das Tidevolumen in der Unterweser geringer. Außerdem ist die Strömungsgeschwindigkeit im Blexer Bogen um 2 bis 4 cm/s niedriger als mit der derzeit geplanten Fahrrinnenanpassung der Unter- und Außenweser (BAW, 2006). Beides mindert die Vorhabenswirkungen des OTB ohne die derzeit geplante Fahrrinnenanpassung der Unter- und Außenweser gegenüber der Ausgangssituation mit der derzeit geplanten Fahrrinnenanpassung der Unter- und Außenweser.
- c) Als Basis der Untersuchungen der BAW zur vorhabensbedingten Änderung des OTB mit der derzeit geplanten Fahrrinnenanpassung der Unter- und Außenweser (BAW, 2012a) wurden Topographiedaten der Jahre 2007 und 2009 verwendet. Die aktuellen Berechnungen basieren auf der Jahrestopographie 2012. Die sich daraus ergebenden Differenzen der Modelltopographien sind im Bild 3 dargestellt. Sie haben Einfluss auf die lokalen Strömungsbedingungen. Die Blexer Plate und der Langlütjensand liegen im DGM-W 2012 z.B. etwas tiefer als im DGM-W 2007 bzw. 2009 (blau in Bild 3). Der Bereich zwischen der südlichen Blexer Plate und der Fahrrinne der Weser liegt im DGM-W 2012 höher als im DGM-W 2009 (rot in Bild 3). Die Durchströmung am Blexener Ufer ist in dem aktuellen Modell daher stärker als bei der Untersuchung mit der Topographie 2007/2009. Es können dort daher größere Vorhabenswirkungen auftreten.
- d) Beide Untersuchungen beziehen sich auf Analysezeiträume, die eine typische Sommersituation in der Weser abbilden. Aufgrund der natürlichen Schwankungen unterscheiden sich die abiotischen Systemparameter der Analysezeiträume der Jahre 2002 und 2012. So liegt das mittlere Tidemittelwasser in dem Analysezeitraum 2002 im Bereich des Blexer Bogens beispielsweise bei ca. -0,04 m NHN, während es im Analysezeitraum 2012 ca. 14 cm höher liegt. Da die vorhabensbedingte Querschnittseinengung vom Wasserstand abhängig ist (siehe Bild 12), ist auch die Wirkung des OTB tendenziell wasserstandsabhängig. Bei der Interpretation der Rechenergebnisse muss dies berücksichtigt werden. So ergibt sich für den im vorliegenden Gutachten untersuchten Analysezeitraum 2012 aufgrund des höheren Mittelwassers tendenziell eine höhere Wirkung des OTB auf die abiotischen Systemparameter als in dem in BAW, 2012a betrachteten Analysezeitraum 2002.

5.4 Vorhabensbedingten Änderung der Strömung

Wie oben beschrieben ist die Wirkung des Vorhabens durch den Vorbau der Hafensfläche in den Strom der Weser geprägt. Der Bau der Kaje des OTB engt den Fließquerschnitt am östlichen Ufer ein und führt dort zu einer veränderten Stromführung am Prallhang des Blexer Bogens. Die entgegengesetzte Wirkung der Vertiefung im Zufahrts- und Liegebereich ist demgegenüber geringfügig. Sie führt im Prinzip dazu, dass dieser Bereich hydraulisch leistungsfähiger wird und die Hauptströmungen von Ebbe und Flut sich örtlich zum Offshore-Terminal hin verschieben.

Ein wesentliches Merkmal der Vorhabenswirkung ist die lokale Veränderung der Strömungsgeschwindigkeit. Die Wirkung des Vorhabens ist auf das nahe Umfeld des OTB beschränkt („lokale Effekte“). Spätestens in einem Abstand von ca. 5 km vom Terminal sind die Geschwindigkeitsänderungen abgeklungen. Aus diesem Grund werden flächenhafte Analysegrößen nur im nahen Umfeld des OTB dargestellt. Bei den abgebildeten Tidekennwerten und deren vorhabensbedingten Differenzen handelt es sich um Mittelwerte oder Maxima innerhalb einer Tide, die jeweils über alle Tiden des Analysezeitraums (28 Tiden) gemittelt werden. Dargestellt wird die:

- tiefengemittelte mittlere Flutstromgeschwindigkeit: Bild 13 bis Bild 15
- tiefengemittelte mittlere Ebbestromgeschwindigkeit: Bild 16 bis Bild 18
- tiefengemittelte maximale Flutstromgeschwindigkeit: Bild 19 bis Bild 21
- tiefengemittelte maximale Ebbestromgeschwindigkeit: Bild 22 bis Bild 24

Aus der Einengung der Strömung ergeben sich sowohl Strömungszunahmen als auch Strömungsabnahmen. Im Wesentlichen sind die folgenden Wirkungen zu unterscheiden:

- Die Vorhabenswirkungen werden durch den Einengungseffekt dominiert, der die Strömungsgeschwindigkeiten über den gesamten Gewässerquerschnitt zwischen Kaje und Gegenufer erhöht. In der Fahrrinne beträgt die Zunahme der tiefengemittelten mittleren Strömungsgeschwindigkeiten bis zu rd. 0,05 m/s. Die Zunahme der tiefengemittelten maximalen Ebbestromgeschwindigkeit ist in der Fahrrinne kleiner als 0,10 m/s.
- Die geringfügige Vertiefung des Zufahrtsbereichs erhöht die hydraulische Leistungsfähigkeit des eingengten Durchflussquerschnitts nicht wesentlich. Die im Referenzzustand vorliegende Konzentration der Strömung auf den Bereich der Fahrrinne bleibt deshalb erhalten.
- Bereiche, in denen maßnahmenbedingt ausgebaggert wird, sind hauptsächlich die Liegewanne und eine Untiefe vor dem nördlichen Abschnitt der Kaje (vgl. Bild 5). Dadurch wird die Gewässersohle in diesem Bereich lokal geglättet. Dies macht sich besonders bei voll entwickeltem Flutstrom durch einen Anstieg der Strömungsgeschwindigkeiten be-

merkbar (Bild 21). Insgesamt sind die tiefengemittelten Strömungszunahmen im Zufahrtbereich dort besonders groß, wo zuvor geringe Geschwindigkeiten vorlagen. Die Zunahme der tiefengemittelten mittleren Flutstromgeschwindigkeit liegt unter 0,2 m/s.

- Am Blexener Ufer ist die Geschwindigkeitserhöhung im Flutstrom größer als im Ebbestrom. Dies resultiert aus der bei Flut und Ebbe unterschiedlichen Anströmung der südlichen Blexer Plate (Krümmungseffekt).
- Bei Ebbestrom konzentriert sich die Strömung aus dem Bereich der Blexer Reede am Süden der OTB Kaje. In diesem Bereich tritt die größte Zunahme der tiefengemittelten Ebbestromgeschwindigkeit auf (Bild 24). Die Zunahme der maximalen Ebbestromgeschwindigkeit liegt unter 0,2 m/s.
- Der Abschattungseffekt des Terminals führt zu ufernahen Geschwindigkeitsabnahmen unmittelbar vor und hinter dem Bauwerk (bis zu 0,6 m/s).
- Bei Ebbestrom findet nördlich des Bauwerks (Weser-km 65 bis 67) eine Verlagerung der Strömung zum Bremerhavener Ufer statt, so dass (jenseits der Abschattung des Terminals) in Ufernähe tiefengemittelte Geschwindigkeitszunahmen von etwa 0,05 m/s (lokal bis zu 0,15 m/s) auftreten (Bild 24).

Bei der Bewertung der lokalen Geschwindigkeitszunahmen sollte beachtet werden, dass es sich (bei punktueller Betrachtungsweise) zwar um deutliche, signifikante Änderungen handelt. Die Strömungscharakteristik des Blexer Bogens insgesamt wird dadurch jedoch nicht verändert, sondern – wie z.B. der Vergleich von Bild 16 mit Bild 17 zeigt – es werden vorhandene Zonen (Isofarbflächen) mit hohen Strömungsgeschwindigkeiten ausgeweitet. Außerdem liegt dem Vergleich der Zustand unmittelbar nach Herstellung des OTB zu Grunde. Mit einer morphologischen Anpassung der Sohle gehen die Zunahmen zurück (vgl. Abschnitt 9).

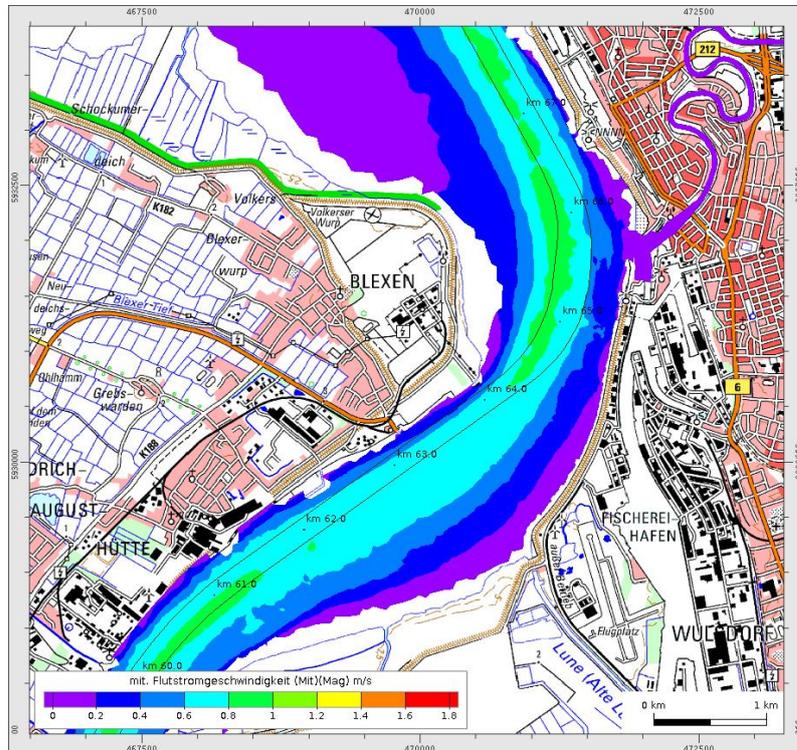


Bild 13: Mittlere Flutstromgeschwindigkeit im Analysezeitraum (Referenzzustand)

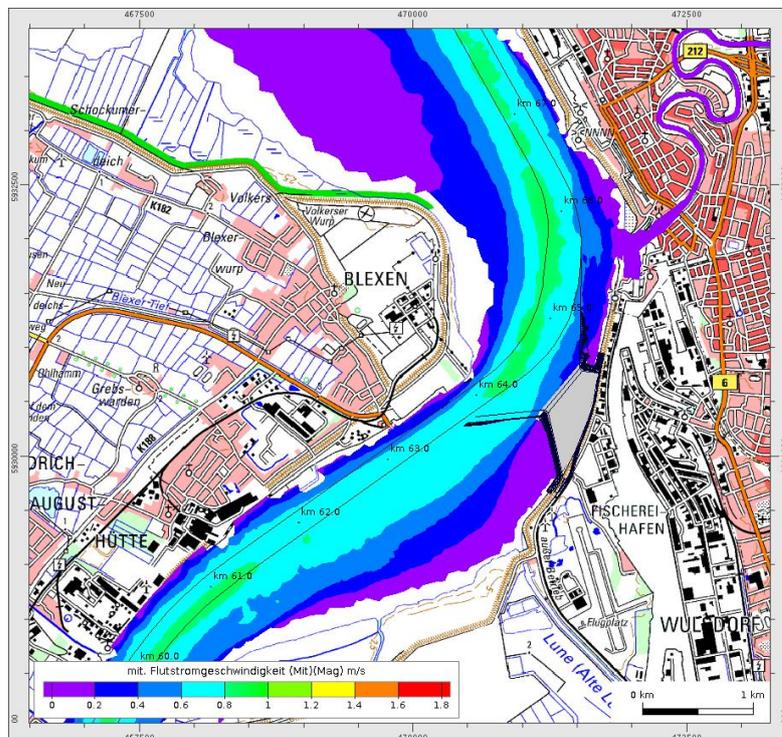


Bild 14: Mittlere Flutstromgeschwindigkeit im Analysezeitraum (Ausbauzustand)

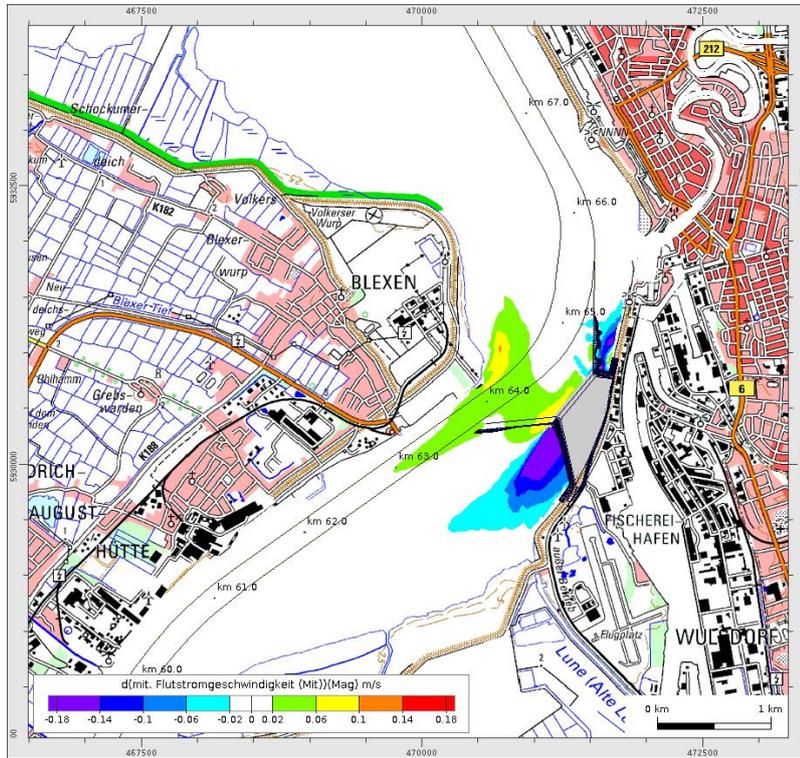


Bild 15: Vorhabensbedingte Änderung (Differenz: Ausbauzustand-Referenzzustand) der mittleren Flutstromgeschwindigkeit im Analysezeitraum

Bild 13 bis Bild 15

Strömungsgeschwindigkeit im Analysezeitraum und vorhabensbedingte Änderung (bei mittleren Tide- und Oberwasserverhältnissen)

Mittlere Flutstromgeschwindigkeit (Mit)
(tiefengemittelt)

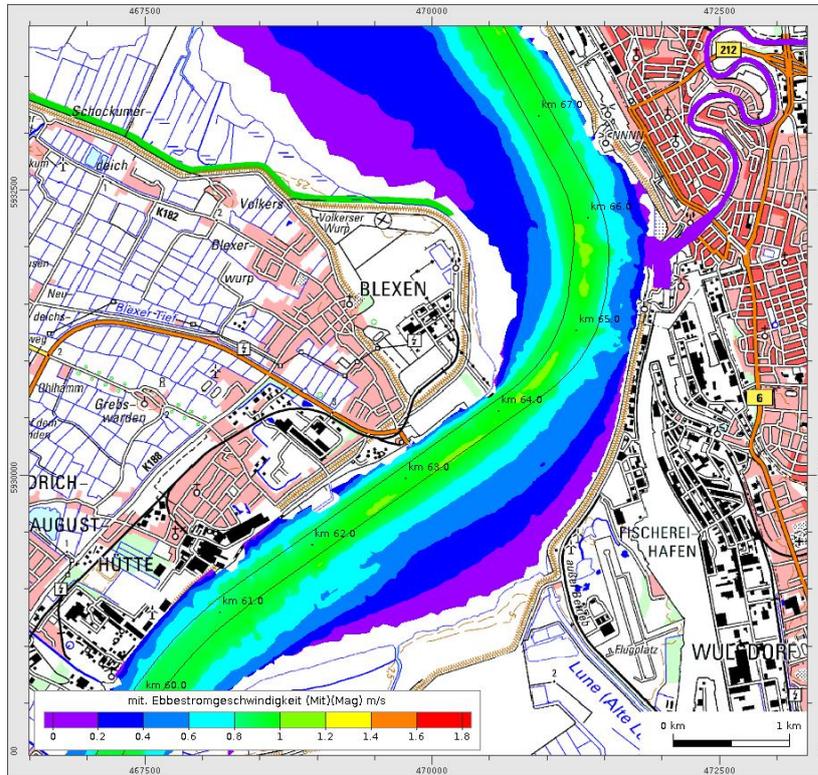


Bild 16: Mittlere Ebbestromgeschwindigkeit im Analysezeitraum (Referenzzustand)

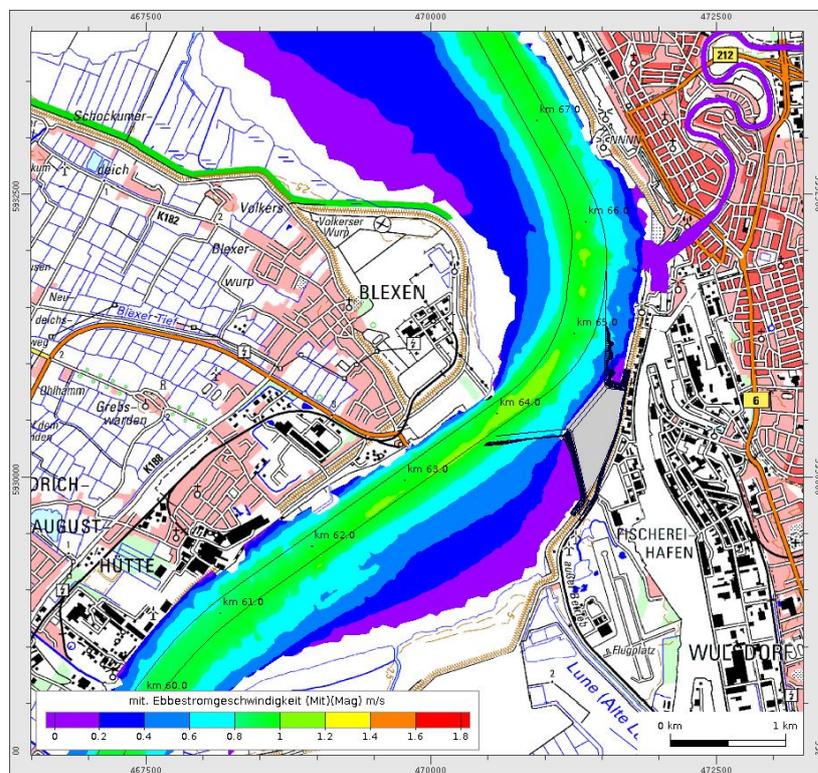


Bild 17: Mittlere Ebbestromgeschwindigkeit im Analysezeitraum (Ausbauzustand)

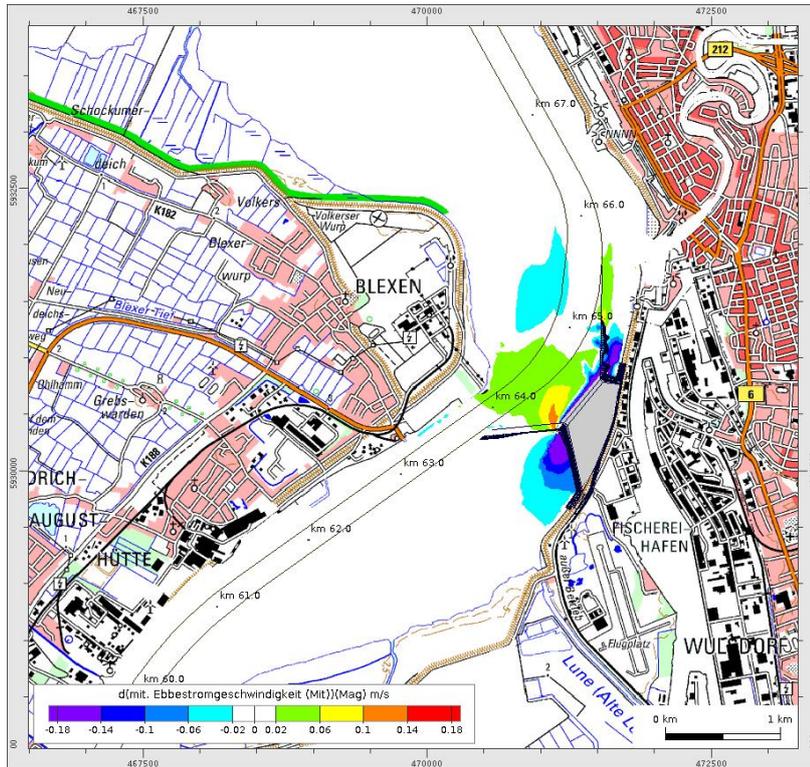


Bild 18: Vorhabensbedingte Änderung (Differenz: Ausbauzustand-Referenzzustand) der mittleren Ebbestromgeschwindigkeit im Analysezeitraum

Bild 16 bis Bild 18

**Strömungsgeschwindigkeit im Analysezeitraum und
 vorhabensbedingte Änderung
 (bei mittleren Tide- und Oberwasserverhältnissen)**

**Mittlere Ebbestromgeschwindigkeit (Mit)
 (tiefengemittelt)**

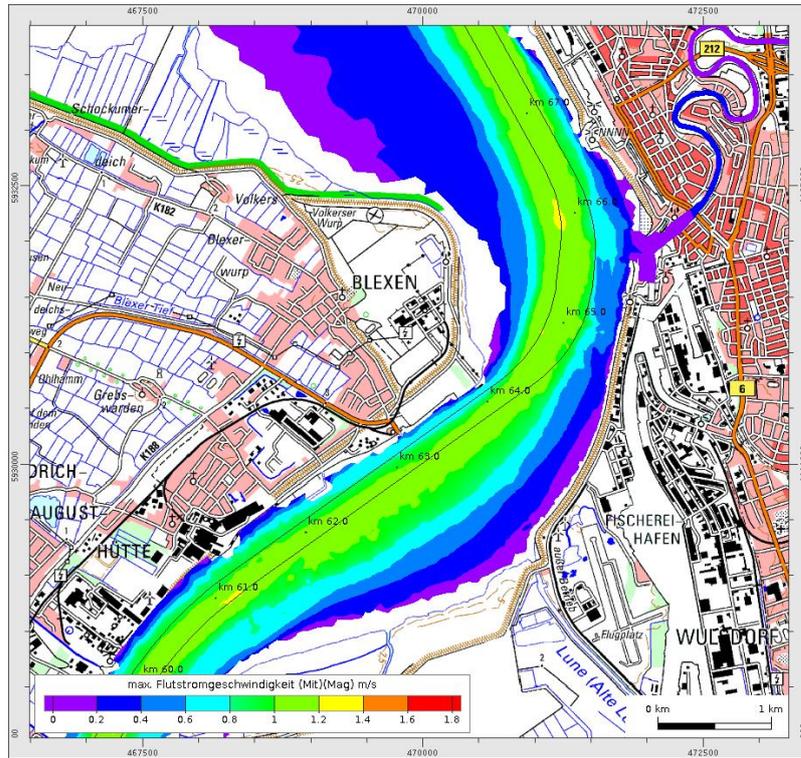


Bild 19: Maximale Flutstromgeschwindigkeit im Analysezeitraum (Referenzzustand)

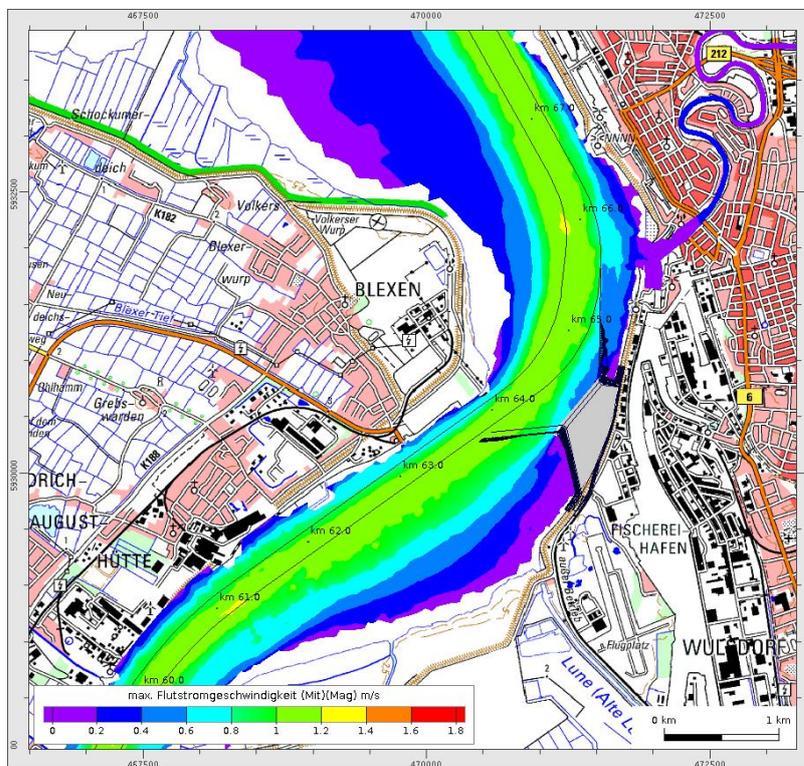


Bild 20: Maximale Flutstromgeschwindigkeit im Analysezeitraum (Ausbauzustand)

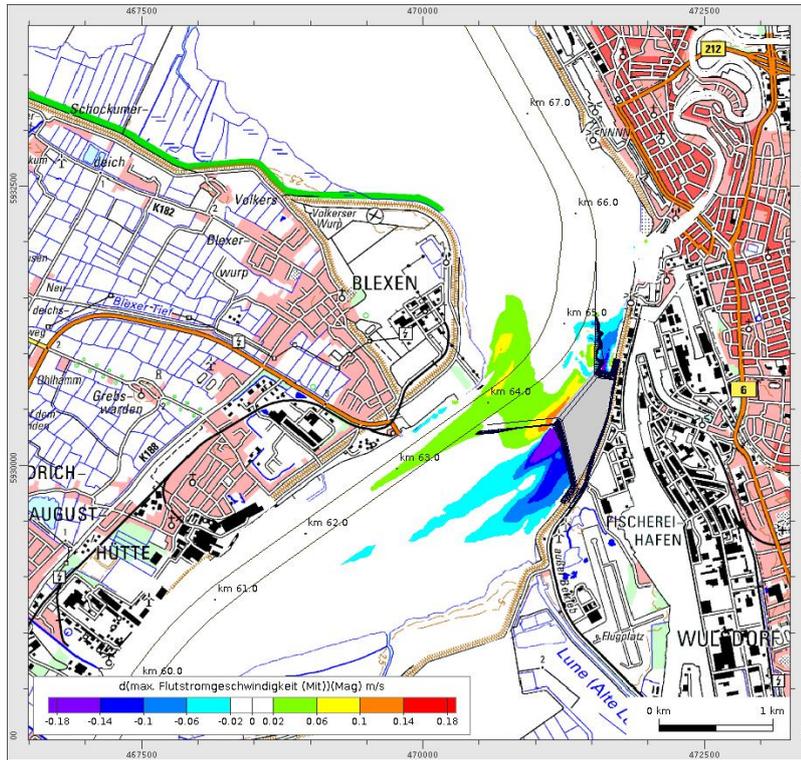


Bild 21: Vorhabensbedingte Änderung (Differenz: Ausbauzustand-Referenzzustand) der maximalen Flutstromgeschwindigkeit im Analysezeitraum

Bild 19 bis Bild 21

Strömungsgeschwindigkeit im Analysezeitraum und vorhabensbedingte Änderung (bei mittleren Tide- und Oberwasserverhältnissen)

Maximale Flutstromgeschwindigkeit (Mit)
(tiefengemittelt)

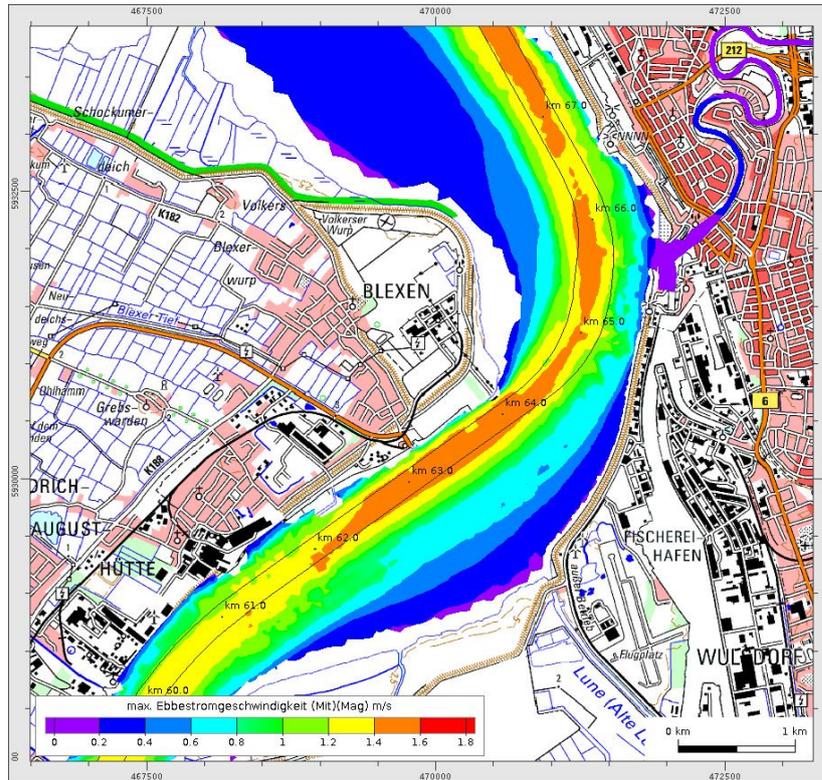


Bild 22: Maximale Ebbestromgeschwindigkeit im Analysezeitraum (Referenzzustand)

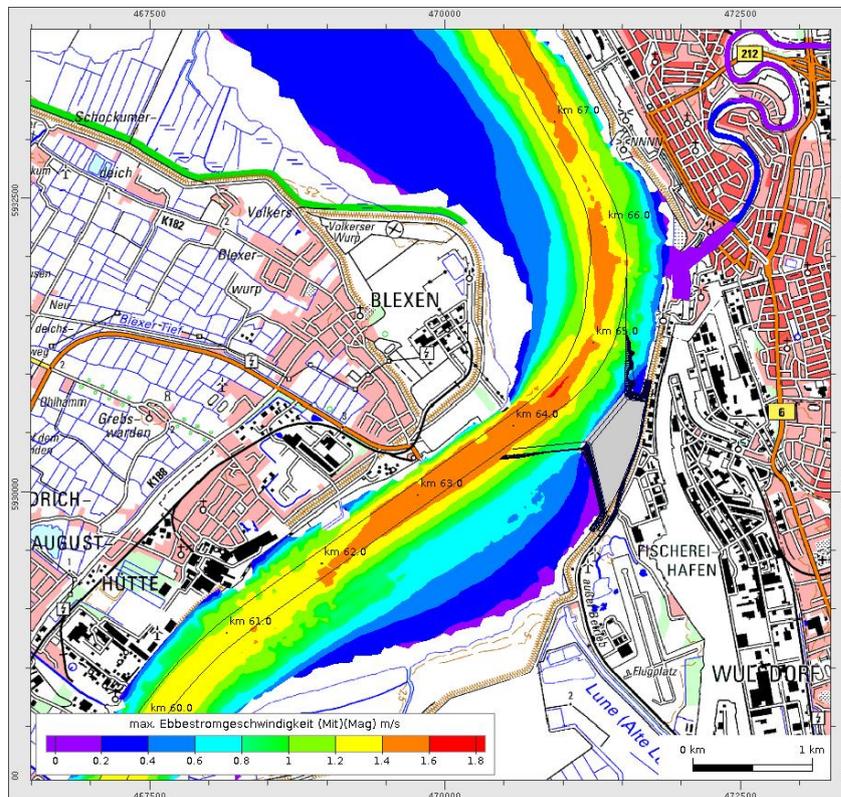


Bild 23: Maximale Ebbestromgeschwindigkeit im Analysezeitraum (Ausbauzustand)

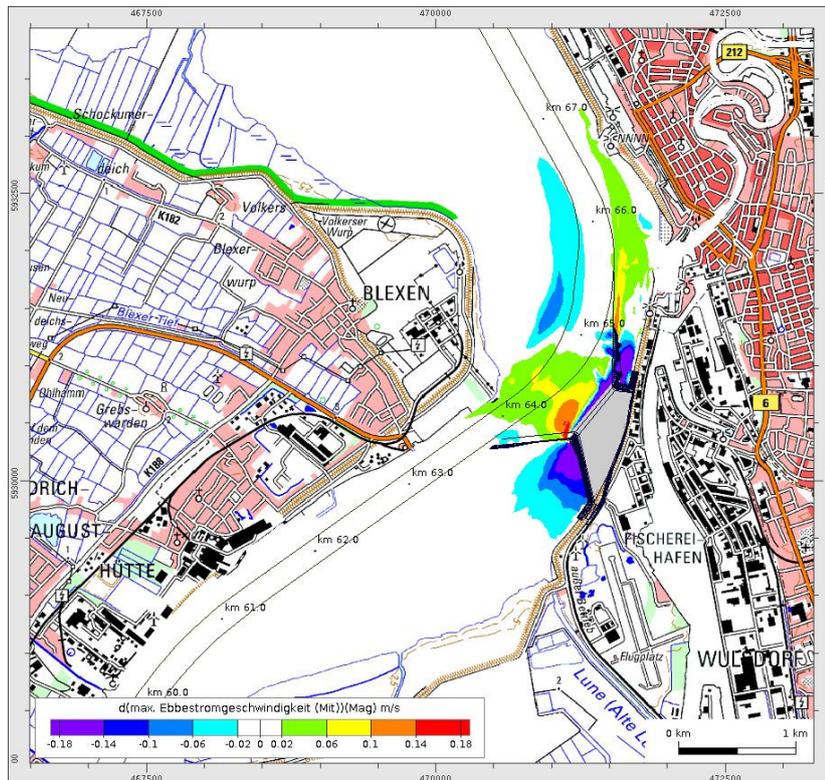


Bild 24: Vorhabensbedingte Änderung (Differenz: Ausbauzustand-Referenzzustand) der maximalen Ebbestromgeschwindigkeit im Analysezeitraum

Bild 22 bis Bild 24

**Strömungsgeschwindigkeit im Analysezeitraum und
 vorhabensbedingte Änderung
 (bei mittleren Tide- und Oberwasserverhältnissen)**

**Maximale Ebbestromgeschwindigkeit (Mit)
 (tiefengemittelt)**

5.5 Vorhabensbedingte Änderung der Wasserstände

Die Simulationsergebnisse spiegeln die in Abschnitt 5.1 (Allgemeinen Wirkzusammenhänge) beschriebenen Effekte wieder. Durch die Teilreflexion der Tidewelle am Bauwerk sinkt die Amplitude der Tidewelle (der Tidehub) binnenseitig des OTB bis Bremen (siehe Bild 25). Durch die Erhöhung des lokalen Widerstands sinkt der mittlere Tidehub im Nahbereich des Bauwerks ebenfalls ab. Eine Erhöhung des Tidehubs seeseitig des Bauwerks tritt nur sehr lokal auf und fällt gering aus. Durch die starke Aufweitung des Querschnitts seeseitig des OTB führt die Teilreflexion des Bauwerks zu keinem erkennbaren Anstieg des Tidehubs seeseitig des OTB. Insgesamt ist die Wirkung des OTB auf die Wasserstände deutlich geringer als der sinnvolle, messtechnisch noch zu erfassende Wert von 1 cm (gestrichelte Linie in Bild 25). Die vorhabensbedingte Änderung des Wasserstandes in der Weser durch den Bau des OTB ist daher aus wasserbaulicher Sicht vernachlässigbar, d.h. ohne praktische Relevanz. Dieses Ergebnis stimmt mit der Prognose in BAW, 2012a überein.

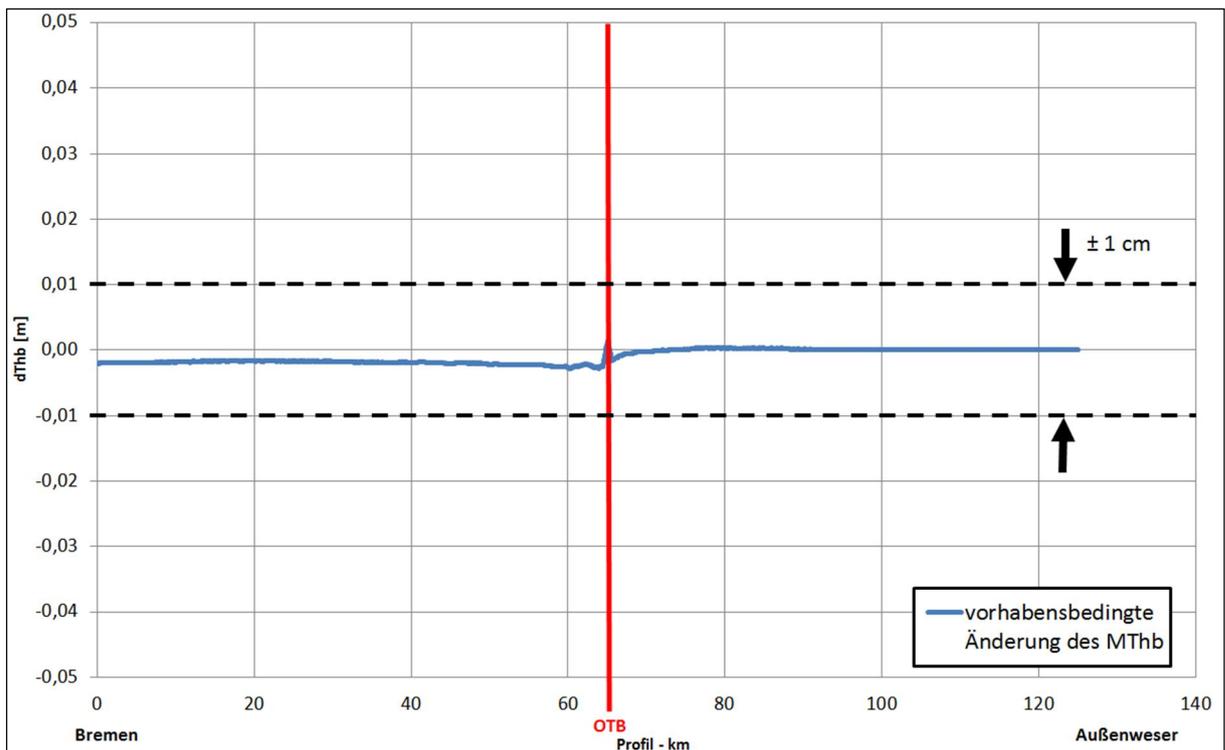


Bild 25: Änderung des mittleren Tidehubs (Blaue Kurve) im Analysezeitraum auf einem Längsprofil durch die Weser

5.6 Bewertung der Ergebnisse im Vergleich zu den bisherigen Untersuchungen (Unterschied der Maßnahmen mit und ohne die derzeit geplante Fahrrinnenanpassung der Unter- und Außenweser)

Auf die ohnehin geringen vorhabensbedingten Änderungen der Wasserstände durch das OTB ($dThb \ll 1 \text{ cm}$) hat die derzeit geplante Fahrrinnenanpassung der Unter- und Außenweser keinen nennenswerten (weder messtechnisch zu erfassenden noch praktisch relevanten) Einfluss.

Die vorhabensbedingte Änderung der mittleren (Bild 18) und maximalen (Bild 24) Ebbestromgeschwindigkeit unterscheidet sich geringfügig von der in BAW, 2012a. Die Strömungsabnahme auf der Blexener Seite der Fahrrinne zwischen Weser-Km 65 und 67 ist in der vorliegenden Untersuchung etwas größer, die Zunahme am Bremerhavener Ufer vor allem hinsichtlich der maximalen Ebbestromgeschwindigkeit geringer als in BAW, 2012a. Außerdem reicht der Bereich der Strömungszunahme im Einengungsbereich (OTB-Kaje) weiter zum Gegenufer (Blexener Ufer), ist aber vor allem hinsichtlich der maximalen Ebbestromgeschwindigkeit stellenweise geringer als in BAW, 2012a. In Anbetracht des höheren Geschwindigkeitsniveaus im Analysezeitraum der vorliegenden Untersuchung sind die relativen Änderungen damit überwiegend kleiner als in BAW, 2012a. Die größte relative Änderung der mittleren und maximalen Ebbestromgeschwindigkeit ist kleiner als 10 %.

Die Unterschiede der Vorhabenswirkung auf die Flutstromgeschwindigkeit zwischen der vorliegenden Untersuchung und BAW, 2012a sind größer als die bei der Ebbestromgeschwindigkeit. Dies liegt vor allem an der unterschiedlichen Anströmung im Flutstrom. Sie resultiert aus den Topographieunterschieden (vgl. Bild 3). Mit der Topographie 2012 wird der tiefer liegende Bereich der südlichen Blexer Plate (Bereich vor Blexen) stärker durchströmt. Dies führt zu einer stärkeren vorhabensbedingten Zunahme der Flutstromgeschwindigkeit in diesem Bereich und zu einer geringeren Änderung direkt vor der OTB-Kaje (siehe Bild 15 und Bild 21). Aufgrund der Krümmung der Weser im Blexer Bogen kommt dieser Effekt im Ebbestrom kaum zum Tragen. Stromauf der Einengung sind sowohl die absoluten Werte der Zunahme (im Bereich der Fahrrinne) als auch der Abnahme (im Abschattungsbereich der OTB-Kaje) der Flutstromgeschwindigkeit größer als in BAW, 2012a. Unter Berücksichtigung des höheren Niveaus der Flutstromgeschwindigkeit liegt die relative Änderung der mittleren und maximalen Flutstromgeschwindigkeit in der vorliegenden Untersuchung in der gleichen Größenordnung (ca. 10 %) wie in BAW, 2012a und lokal auch darunter. **Die prognostizierte Vorhabenswirkungen aus BAW, 2012a auf die Strömungen und Wasserstände gelten damit unverändert auch für die Ausgangssituation ohne die derzeit geplante Fahrrinnenanpassung der Unter- und Außenweser.**

6 Auswirkungen auf die Transportprozesse (bei mittleren Tide- und Oberwasserverhältnissen)

6.1 Allgemeines, Wirkzusammenhänge

In diesem Abschnitt wird auf Stoffe eingegangen, die mit dem Wasser in gelöster Form (Salz) oder in Suspension transportiert werden. Die maßgebenden Transportarten sind der advective Transport (Bewegung zusammen mit dem strömenden Wasser) und der konvektive Transport (Bewegung auf Grund von Dichteunterschieden). Bei den suspendierten Sedimenten haben zusätzlich die Sinkgeschwindigkeit und die Turbulenz Einfluss auf den Transportvorgang, da Partikel sich absetzen oder resuspendiert werden können. Abhängig von der Korngröße und von den Strömungsbedingungen können Sedimente auch als Geschiebe transportiert werden, d. h. durch rollende oder springende Bewegung in unmittelbarer Sohlnähe. Der Übergang zwischen „Geschiebebewegung“ und „Suspensionstransport“ ist fließend. Wegen der hohen Strömungsgeschwindigkeiten und der relativ kleinen Korngrößen im Blecher Bogen ist für die vorliegende Fragestellung der suspendierte Transport maßgebend.

Der Einfluss des geplanten OTB auf die Transportprozesse resultiert aus den lokal veränderten Strömungsgeschwindigkeiten (Abschnitt 5.4) auf Grund folgender Effekte:

- lokale Veränderung des advectiven Transports
- lokale Veränderung des Erosions- und Sedimentationsregimes

Der konvektive Transport wird indirekt über die Wirkung dieser beiden Effekte beeinflusst.

Zur lokalen Veränderung des advectiven Transports ist folgendes festzustellen: Da die Veränderung der Strömungsgeschwindigkeiten gem. Abschnitt 5.4 lokal begrenzt ist und sich keine nennenswerte Veränderung der Massenbilanz (kein geändertes Tidevolumen) ergibt, bleiben auch die Auswirkungen der veränderten Advektion lokal begrenzt. Wäre die Stoffverteilung im Bereich des OTB sehr homogen, so würden sich also keine nennenswerten Veränderungen der Suspensionskonzentrationen ergeben. Das OTB liegt jedoch in der Brackwasserzone der Weser. In Abhängigkeit von der Oberwassermenge und damit der Lage des Salzkeils können sich an dieser Stelle Salzgehaltsgradienten in Gewässerlängs- und -querrichtung ergeben. Entsprechendes gilt für die Schwebstoffgehalte in Abhängigkeit von der Lage der Trübungszone. Vorhabensbedingt kann es daher durch die Veränderungen des advectiven Transports zu erkennbaren Veränderungen der Konzentrationen kommen, wenn

- Veränderungen der Strömungsgeschwindigkeiten
- Verlagerungen der Strömungen
- Änderungen der Strömungsrichtung (von graduellen Änderungen bis zur Richtungs- umkehr bei Walzenströmungen im Abschattungsbereich des Bauwerks)

zu einer geänderten lokalen Durchmischung führen, weil Wasservolumina aus Bereichen mit bisher höheren Konzentrationen mit einer veränderten Intensität in Bereiche mit bisher niedrigeren Konzentrationen transportiert werden (und umgekehrt).

6.2 Untersuchungsmethodik

Die Untersuchung des Salz- und Schwebstoffgehalts erfolgen mit der gleichen Methode wie die Untersuchung der Hydrodynamik (Abschnitt 5). Dabei wird das Sedimenttransportmodul Sedimorph verwendet. Es berücksichtigt u.a. die Sedimentbelegung der Sohle (Sedimentinventar) sowie den Austausch zwischen der Sohle und dem Wasserkörper (Sedimentation und Erosion).

Unter dem Begriff Schwebstoff (Schwebstoffkonzentration, Suspensionskonzentration) werden hier alle Feststoffe verstanden, die in der Wassersäule in Suspension transportiert, an der Sohle abgelagert und wieder resuspendiert werden können. Von anderen transportierten Substanzen (z. B. Salz) unterscheiden sie sich u. a. durch eine größen- und dichteabhängige Sinkgeschwindigkeit. Die Schwebstoffkonzentrationen und -transporte wurden im Modell in Abhängigkeit von den an der Gewässersohle gemessenen Oberflächensedimenten mit Korngrößen von Feinschluff bis Grobsand modelliert. Biologische und chemische Einflüsse auf die Bildung und das Verhalten von Schwebstoffen wurden nicht berücksichtigt.

Die Verteilung der Oberflächensedimente im Modell basierte auf den vorliegenden Messungen und Kartierungen der sedimentologischen Verhältnisse. Für die wasserbauliche Systemanalyse werden die Ergebnisse der unterschiedlichen Probenentnahmeverfahren und -zeiten in ein vereinfachtes, systemcharakteristisches Ersatzsystem überführt werden (Bild 26). Dazu wurden die flächenhaft kartierten Sedimente der Wattgebiete und die punktuell kartierten Sedimente der Rinnen über einen nach Datensatz-Layern differenzierten Interpolationsalgorithmus in das Modell eingearbeitet, wobei die Kornfraktionen Feinschluff, Mittelschluff, Grobschluff, Feinsand, Mittelsand und Grobsand (gemäß der Udden-Wentworth scale) Berücksichtigung fanden. Bindige Sedimente (Schluffe und feiner) werden als Suspension und nicht bindige Sedimente (Sande) je nach Korngröße als Geschiebe oder Suspension transportiert. Die Sinkgeschwindigkeiten der als Suspension transportierten Sedimentfraktionen wurden nach Stokes berechnet. Es wurde berücksichtigt, dass es bei hohen Konzentrationen (vor allem in Sohlnähe) zu einer Verringerung der Sinkgeschwindigkeit infolge der Wechselwirkungen zwischen den Partikeln kommt.

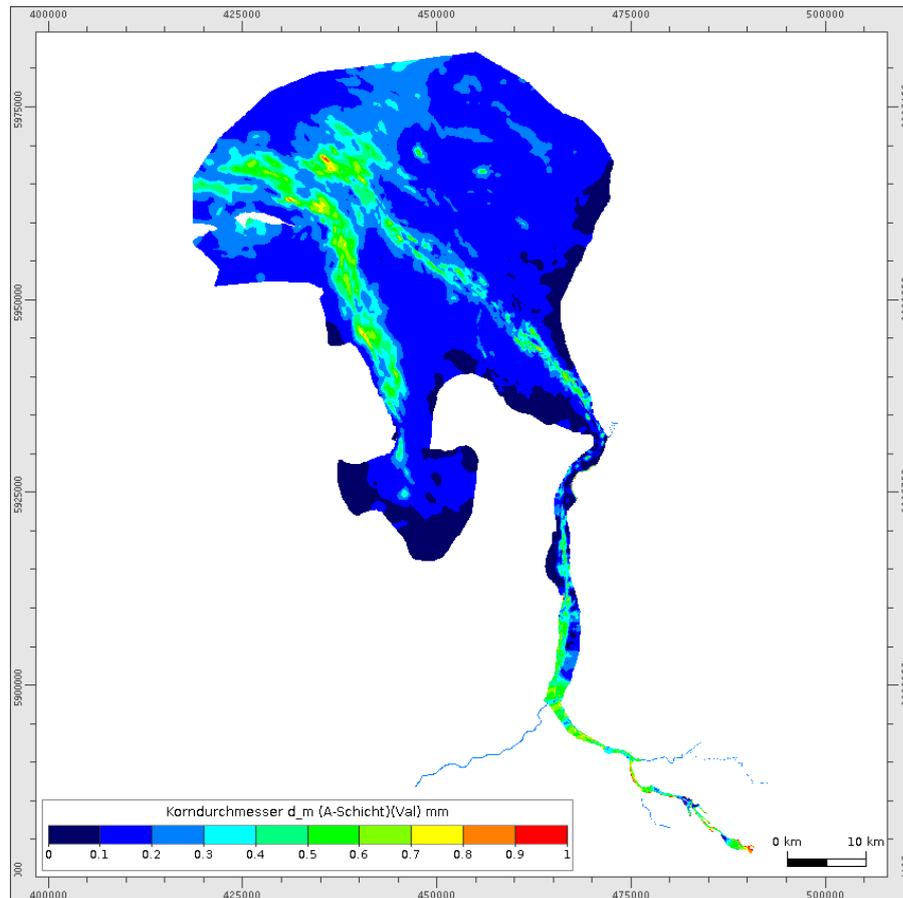


Bild 26: Sedimentbelegung der Modellsohle (dargestellt anhand des mittleren Korndurchmessers)

Wie oben beschrieben ist die lokale Vorhabenswirkung u.a. vom Gradienten der Stoffkonzentrationen abhängig. Diese Gradienten werden im Wesentlichen von der Lage der Brackwasserzone bestimmt und damit sowohl vom aktuellen Oberwasserzufluss, als auch vom Verlauf der Zuflüsse und der Tidemittelwasser in den vorhergehenden Tagen. Hinsichtlich der Schwebstoffe gibt es weitere Abhängigkeiten, insbesondere durch biogene Einflüsse, die im Modell nicht abgebildet werden können, bei der Interpretation der Ergebnisse aber zu berücksichtigen sind.

Für beliebige Analysezeiträume sind somit jeweils unterschiedlichen Vorhabenswirkungen möglich. Für die vorliegende Untersuchung wurde ein Beispiel für eine ungünstige Situation gewählt, in der große Vorhabenswirkungen zu erwarten sind. Eine repräsentative Aussage ist möglich, wenn die relativen Veränderungen betrachtet werden; d. h. die vorhabensbedingten Änderungen müssen vor dem Hintergrund der lokalen Variabilität der Ausgangsgröße interpretiert und bewertet werden.

6.3 Vorhabensbedingte Änderungen des Salzgehalts

Der tiefen- und tidegemittelte Salzgehalt im Blexer Bogen liegt im simulierten Analysezeitraum zwischen 12 ‰ und 16 ‰ (Bild 27). Der maximale (über die Tiefe gemittelte) Salzgehalt beträgt ca. 21 ‰ (Bild 29). In tieferen Bereichen (Fahrinne) dringt das Salz weiter in das Ästuar hinein. Dadurch entstehen in der Horizontalen sowohl in Fließrichtung der Weser als auch quer dazu Gradienten des Salzgehalts.

Der Salzgehalt im Bereich des OTB wird lokal durch die vorhabensbedingte Änderung der Strömungsverhältnisse beeinflusst (advektiver Transport). Vorhabensbedingte Änderungen der Strömungsgeschwindigkeit und -richtung verändern den Massenaustausch zwischen den Bereichen unterschiedlichen Salzgehalts sowohl in der Vertikalen als auch in der Horizontalen. In Bild 28 bis Bild 32 ist die vorhabensbedingte Änderung des Salzgehalts und der Salzgehaltsvariation (jeweils tiefen- und tidengemittelt) dargestellt. Die vorhabensbedingten Änderungen sind im Wesentlichen auf die folgenden drei Effekte zurückzuführen:

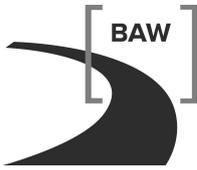
- a) Stauwirkung (in Strömungsrichtung) vor der OTB Kaje
- b) Abschattung (in Strömungsrichtung) hinter der OTB Kaje
- c) Veränderte Anströmung im Bereich der Blexer Reede bei Flutstrom.

Nordöstlich der OTB-Kaje bewirken der Stauwirkung (a) im Flutstrom und die Abschattung (b) im Ebbestrom einen vorhabensbedingten Anstieg des Salzgehalts. Der maximale Salzgehalt steigt vor der OTB-Kaje um bis zu 0,5 ‰ (Bild 30). Bis zur (ca. 1 km entfernten) Mündung der Geeste ist die Änderung des Salzgehalts abgeklungen.

Südöstlich der OTB-Kaje sorgen der Stauwirkung (a) im Ebbestrom und die Abschattung (b) im Flutstrom für eine Reduktion des Salzgehalts. Der mittlere (Bild 28) und maximale (Bild 30) Salzgehalt sinkt direkt vor der Kaje um bis zu 0,9 ‰. In einem Abstand von rund 0,5 km von der Kaje ist die Abnahme des Salzgehalts abgeklungen.

Im Bereich der Blexer Reede steigt der Salzgehalt im ufernahen, zeitweise trockenfallenden Bereich vorhabensbedingt an. Dies liegt an der veränderten Anströmung des Bereiches im Flutstrom (c). Der durch die OTB-Kaje eingeeengte Fließquerschnitt weitet sich im Bereich der Blexer Reede auf. Die Anströmung erfolgt durch die OTB-Kaje stärker aus dem tieferen Fahrwasserbereich. Durch die oben beschriebenen Salzgehaltsgradienten steigt der Salzgehalt dadurch im Bereich der Blexer Reede um bis zu 0,6 ‰.

Die lokale Änderung des Strömungsgeschehens (Abschnitt 5) führt damit nur zu lokalen (Abstand von maximal 5 km zum OTB) vorhabensbedingten Änderungen des Salzgehalts. Grundlegende Änderungen in der Salzverteilung in der Weser ergeben sich vorhabensbedingt nicht. Die lokale Zunahme des Salzgehalts liegt unter 0,6 ‰, die lokale Abnahme beträgt rund 1 ‰. Bezogen auf den Referenzzustand liegt die vorhabensbedingte Änderung



des Salzgehalts damit unter 10 % (relative Änderung). Auch im Verhältnis zur natürlichen Variabilität des Salzgehalts im Blexer Bogen von ca. 10 ‰ bis 16 ‰ (Bild 31) sind die vorhabensbedingten Änderungen des Salzgehalts damit aus wasserbaulicher Sicht gering.

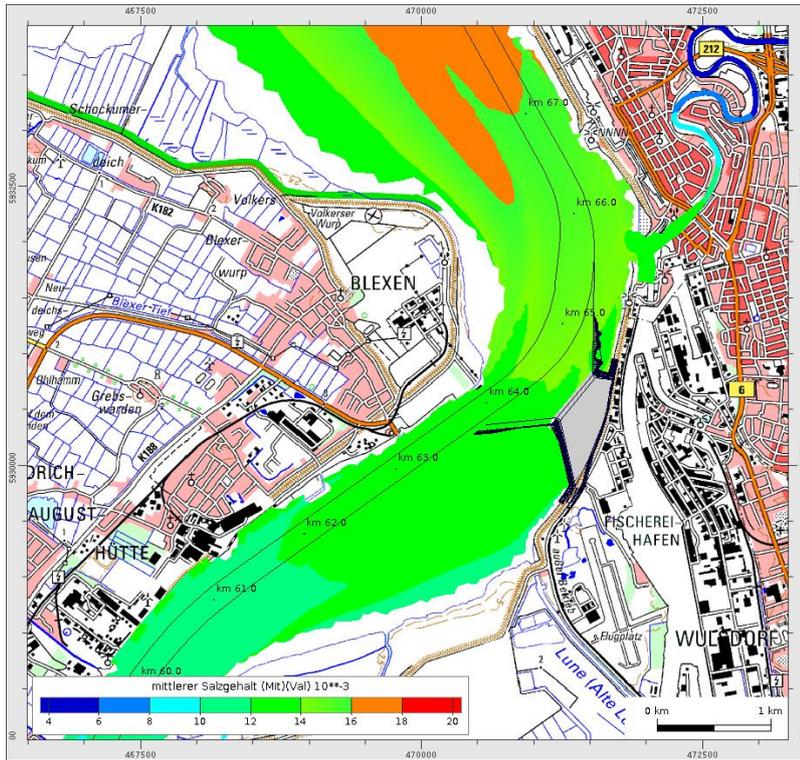


Bild 27: Mittlerer Salzgehalt (tide- und tiefengemittelt) im Analysezeitraum (Ausbauzustand)

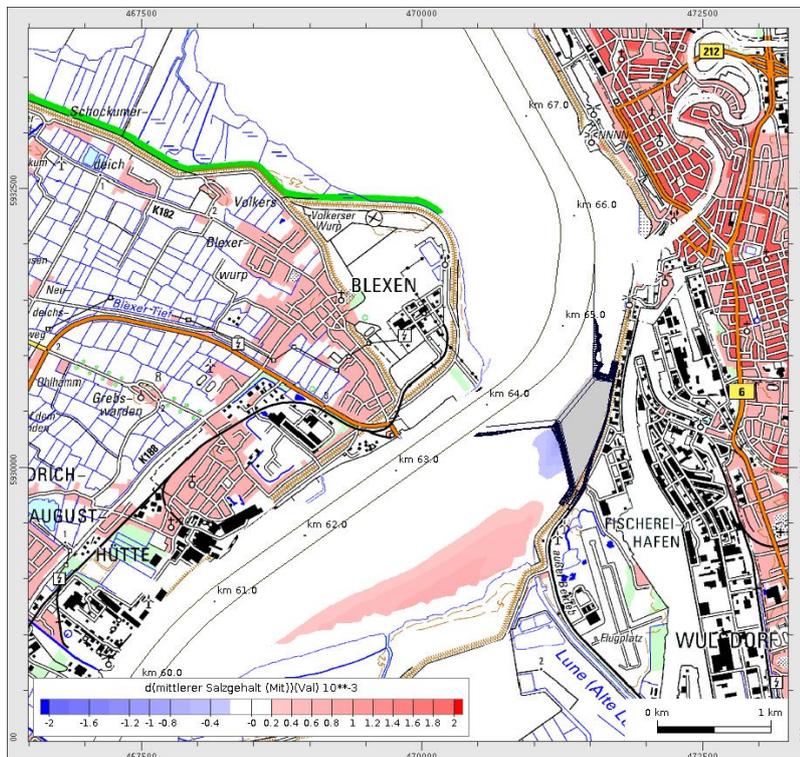


Bild 28: Vorhabensbedingte Änderung des mittleren Salzgehalts (tide- und tiefengemittelt) im Analysezeitraum

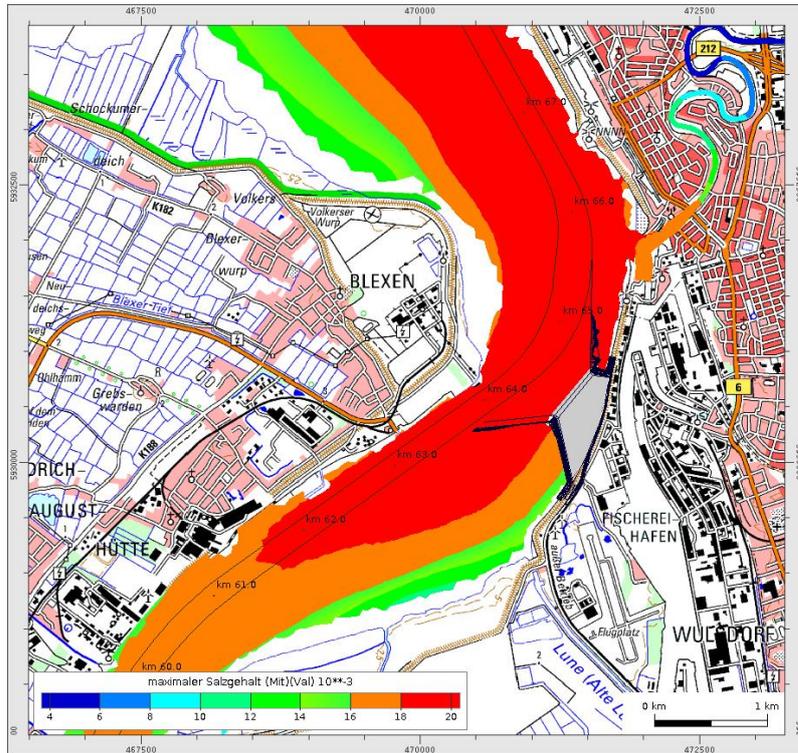


Bild 29: Maximaler Salzgehalt (tiefigemittelt) im Mittel des Analysezeitraums (Ausbauzustand)

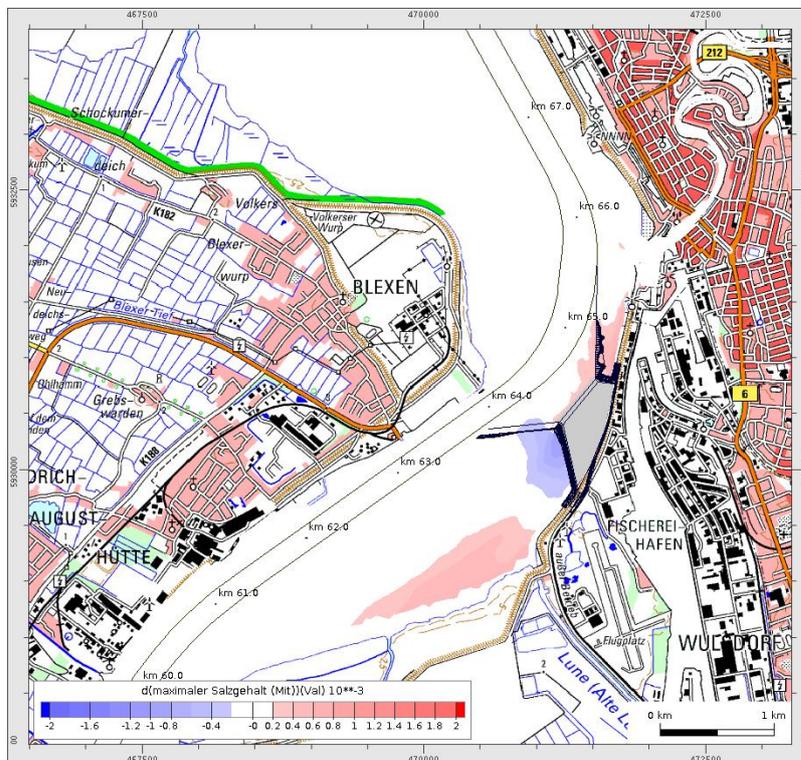


Bild 30: Vorhabensbedingte Änderung des maximalen Salzgehalts (tiefigemittelt) im Mittel des Analysezeitraums

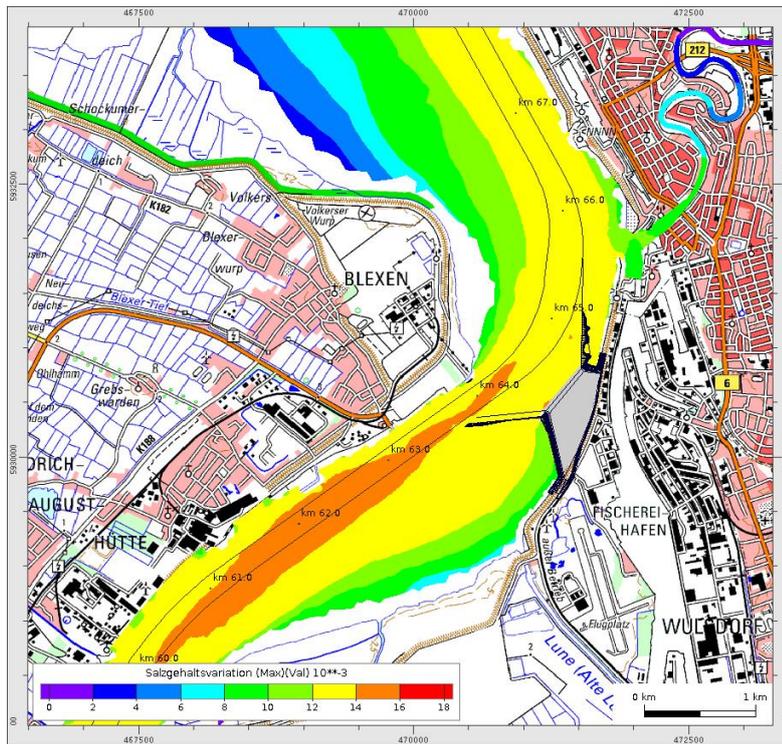


Bild 31: Maximale Salzgehaltsvariation (tiefengemittelt) im Analysezeitraum (Ausbauzustand)

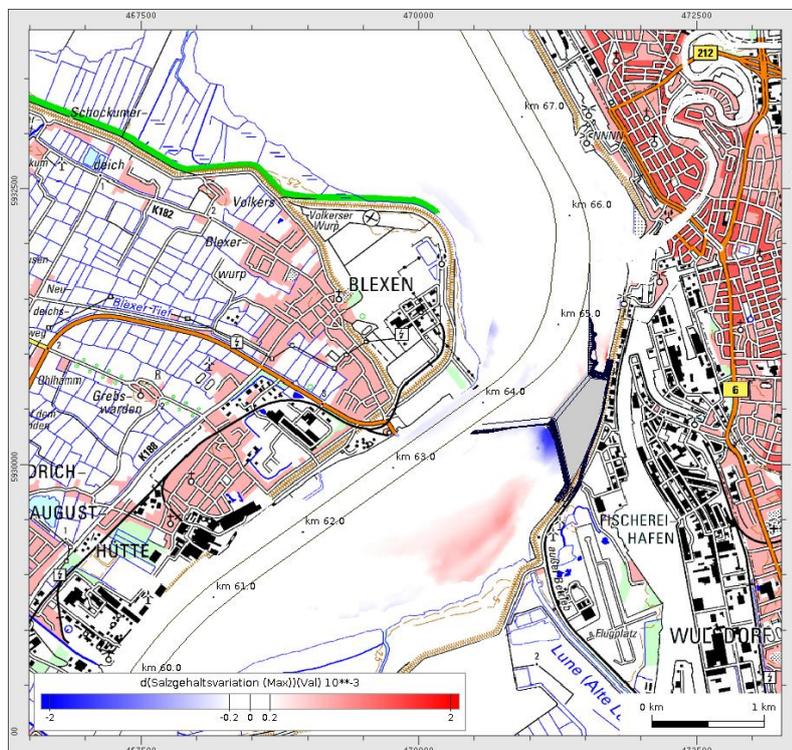


Bild 32: Vorhabensbedingte Änderung der maximalen Salzgehaltsvariation (tiefengemittelt) im Analysezeitraum

6.4 Vorhabensbedingte Änderungen des Schwebstoffgehalts

Das OTB befindet sich im Bereich der Trübungszone (Bereich mit den höchsten Schwebstoffkonzentrationen) der Weser. Das Zentrum der Trübungszone (siehe Bild 33) liegt im betrachteten Analysezeitraum wenige Kilometer stromauf des OTB (ca. Weser km 60). Im Gegensatz zum Salzgehalt (Abschnitt 6.3) überwiegen beim Schwebstoffgehalt die Gradienten quer zur Fließrichtung der Weser gegenüber den schwächeren Gradienten in Längsrichtung (Bild 33 und Bild 35). Die vorhabensbedingte Änderung des Schwebstoffgehalts wird bei der untersuchten Lage der Trübungszone daher überwiegend durch die Änderungen der advektiven Transporte in Querrichtung (siehe Punkt c in Abschnitt 6.3) verursacht. Änderungen treten vorwiegend im Abschattungsbereich des OTB auf. Zusätzlich wird der Schwebstoffgehalt durch den Austausch mit der Bodenschicht (Erosion und Deposition) geprägt. Änderungen der sohnnahen Strömungsgeschwindigkeit verursachen daher ebenfalls Änderungen des Schwebstoffgehalts.

In Bild 34 und Bild 36⁵ ist die vorhabensbedingte Änderung des über die Tiden des Analysezeitraums und die jeweiligen Wassertiefen gemittelten Schwebstoffgehalts im Bereich des Blexer Bogens dargestellt. Änderungen im Schwebstoffgehalt treten überwiegend in den Abschattungsbereichen stromauf und stromab der OTB-Kaje auf. Nördlich des OTB (am Bremerhavener Ufer) steigt der mittlere und maximale Schwebstoffgehalt um 3 % bis 4 % an. Im Bereich der Blexer-Reede steigt der maximale Schwebstoffgehalt um weniger als 10 %. In den zeitweise trockenfallenden Bereichen sind die Änderungen punktuell auch höher (bis zu 20 %). Jenseits eines Abstands von 5 km von der OTB-Kaje sind die Änderungen des Schwebstoffgehalts kleiner als rd. 2,5 %. Der natürliche Schwankungsbereich bezogen auf den maximalen Schwebstoffgehalts innerhalb einer Tide liegt im Bereich des Blexer Bogens bei 70 % bis 80 % und ist damit um ein vielfaches größer als die vorhabensbedingten Änderungen.

Insgesamt führen die vorhabensbedingten Änderungen hinsichtlich des Schwebstoffgehalts zu keiner großräumigen Änderung der Transportprozesse und somit zu keiner nennenswerten Wirkung auf den Schwebstoffhaushalt im weiteren Verlauf der Weser.

⁵ Das Ziel dieses Untersuchungsabschnitts ist nicht die Betrachtung von Absolutwerten, sondern von relativen Änderungen. Daher wurden die Wertebereiche in Bild 35 und Bild 36 gegenüber BAW, 2012a an die höheren Konzentrationen (andere Lage der Trübungszone) angepasst.

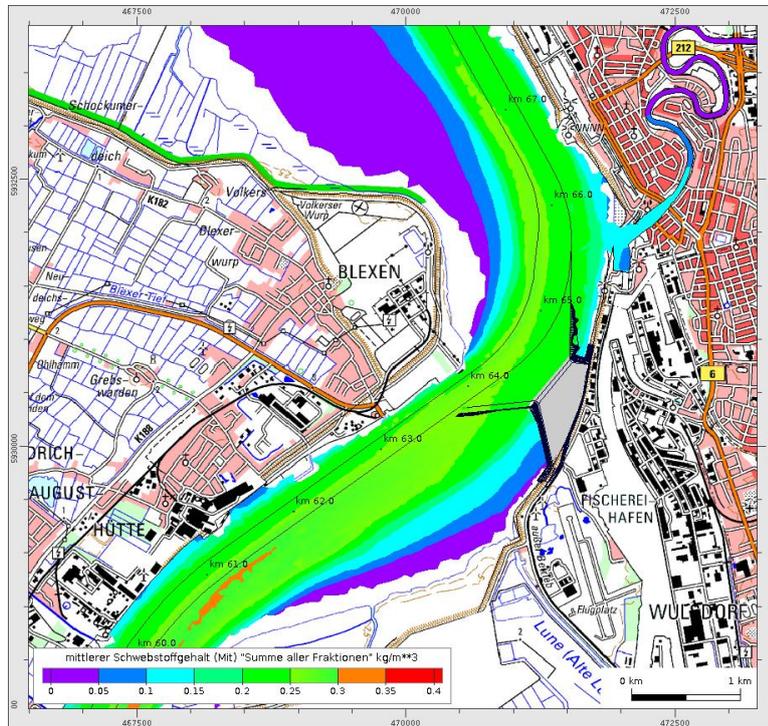


Bild 33: Mittlerer Schwebstoffgehalt im Analysezeitraum (Ausbauzustand, tide- und tiefengemittelt)

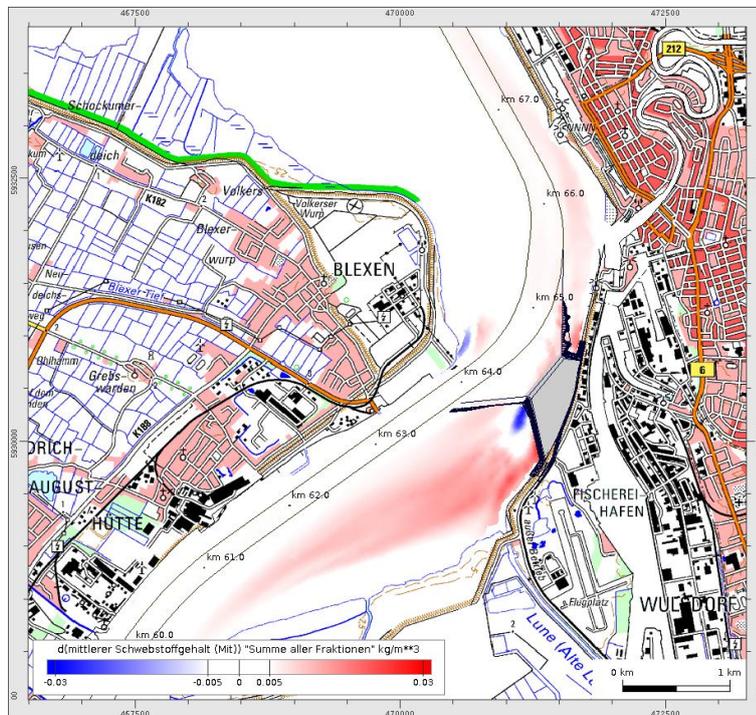


Bild 34: Vorhabensbedingte Änderung des mittleren Schwebstoffgehalts im Analysezeitraum (tide- und tiefengemittelt)

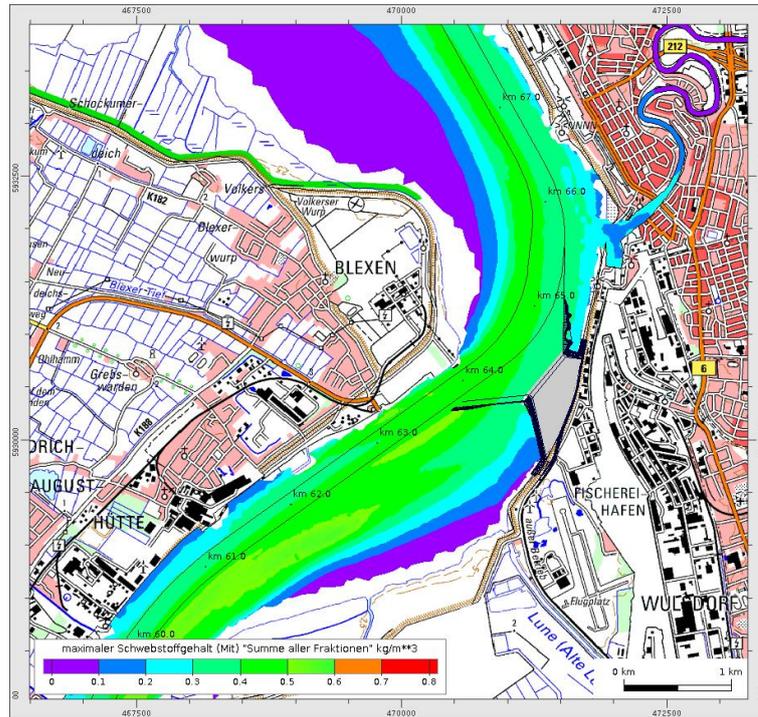


Bild 35: Maximaler Schwebstoffgehalt im Analysezeitraum (Ausbauzustand, tide- und tiefengemittelt)

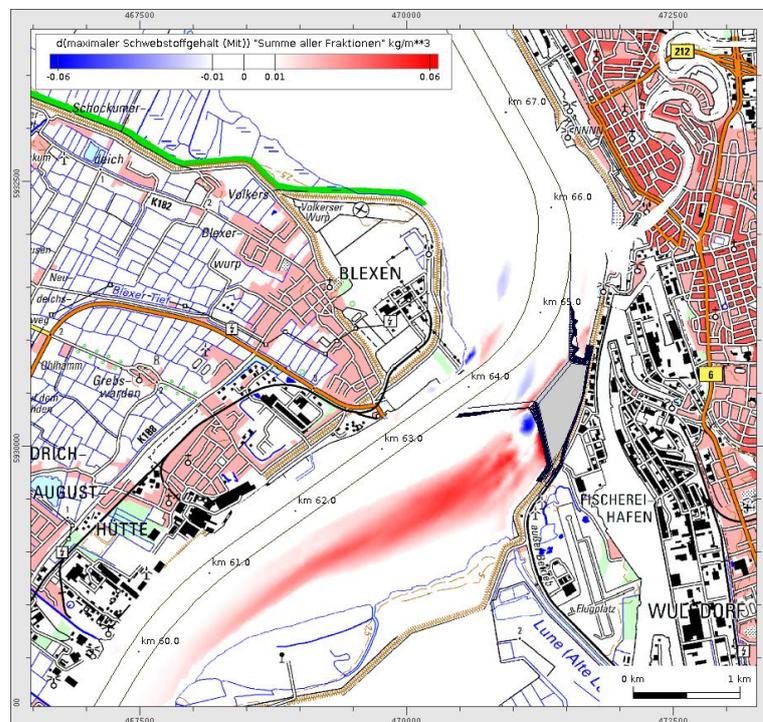


Bild 36: Vorhabensbedingte Änderung des maximalen Schwebstoffgehalts im Analysezeitraum (tide- und tiefengemittelt)

6.5 **Bewertung der Ergebnisse im Vergleich zu den bisherigen Untersuchungen** (Unterschied der Maßnahmen mit und ohne die derzeit geplante Fahrrinnenanpassung der Unter- und Außenweser)

Im Vergleich zu den Ergebnissen aus BAW, 2012a unterscheidet sich die vorhabensbedingten Änderung der Salzgehalte durch das OTB in der vorliegenden Untersuchung lokal. Dies liegt hauptsächlich an den unterschiedlichen Systemzuständen der beiden Untersuchungen. Im Analysezeitraum 2012 liegt die Brackwasserzone gegenüber dem Analysezeitraum 2002 weiter stromauf. Daher ist der Salzgehalt im Bereich des OTB im Analysezeitraum 2012 höher als 2002. Weiterhin unterscheiden sich die Gradienten des Salzgehalts zwischen beiden Analysezeiträumen sowohl längs als auch quer zur Fließrichtung. Die Salzgehaltsvariation ist im Gegensatz zum Analysezeitraum 2002 im Analysezeitraum 2012 stromab der OTB-Kaje größer als stromauf der OTB-Kaje. Diese Unterschiede beeinflussen die Vorhabenswirkung des OTB, sind aber unabhängig von der derzeit geplanten Fahrrinnenanpassung der Unter- und Außenweser. Im Vergleich zu den Ergebnissen aus BAW, 2012a sind die absoluten Werte der vorhabensbedingten Änderung der Salzgehalte in der vorliegenden Untersuchung stellenweise etwas größer. Die relative Änderung des mittleren und des maximalen Salzgehalts sind aufgrund des höheren Salzgehalts in der vorliegenden Untersuchung jedoch kleiner als in BAW, 2012a. Nur vereinzelt kann es durch die unterschiedlichen Systemzustände zu Abweichungen davon kommen (z.B. im Bereich der Blexer-Reede). **Die Prognosewerte der Änderung des Salzgehalts von maximal 2 ‰ bzw. 10 % (relative Änderung) aus BAW, 2012a haben auch ohne die derzeit geplante Fahrrinnenanpassung der Unter- und Außenweser Bestand**, da die derzeit geplante Fahrrinnenanpassung der Unter- und Außenweser keinen nennenswerten Einfluss auf die Wirkung des OTB auf den Salzgehalt hat.

Wie bei der vorhabensbedingten Änderungen des Salzgehalts sind die Unterschiede der Vorhabenswirkung auf den Schwebstoffgehalt gegenüber BAW, 2012a im Wesentlichen auf die unterschiedlichen Systemzustände in den beiden Analysezeiträumen zurückzuführen. Durch die im Vergleich zu BAW, 2012a andere Lage der Trübungszone unterscheiden sich die Konzentrationsgradienten des Schwebstoffgehalts im vorliegenden Gutachten. Die höheren Konzentrationsgradienten des Schwebstoffgehalts (vor allem quer zur Fließrichtung) gegenüber BAW, 2012a führen in der vorliegenden Untersuchung zu höheren absoluten vorhabensbedingten Änderungen des Schwebstoffgehalts. **Die relativen Änderungen des Schwebstoffgehalts liegen in der gleichen Größenordnung wie in BAW, 2012a. Der Einfluss der derzeit geplanten Fahrrinnenanpassung der Unter- und Außenweser auf die Wirkung des OTB hinsichtlich des Schwebstoffgehalts ist gering.** Im Abschattungsbereich stromauf der Kaje wird der Anstieg des Schwebstoffgehalts aufgrund der höheren Abnahme der Strömungsgeschwindigkeit im vorliegenden Gutachten gegenüber BAW, 2012a reduziert. In der Fahrrinne steigt der advective Transport gegenüber BAW, 2012a leicht an. **Die Unterschiede sind aber so gering, dass die Prognosewerte der vorha-**

bensbedingten relativen Änderung des Schwebstoffgehalts von maximal 10 % aus BAW, 2012a auch ohne die derzeit geplante Fahrrinnenanpassung der Unter- und Außenweser Bestand haben.

7 Auswirkung auf die Scheitelwasserstände und Laufzeiten bei Sturmflut

7.1 Allgemeines, Wirkzusammenhänge

Für die Auswirkungen des Vorhabens auf die Strömungen und Wasserstände bei Sturmflut gelten grundsätzlich die gleichen Wirkzusammenhänge wie bei normalen Tiden (s. Abschn. 5.1). Da sich ein großer Teil der Verbauwirkung auf die flachen, lediglich bei hohen Wasserständen überfluteten Seitenbereiche bezieht, können die Auswirkungen bei hohen Wasserständen (Behinderung der Durchströmung der Seitenbereiche) größer als bei mittleren Tiden sein.

7.2 Untersuchungsmethodik

Die vorhabensbedingten Änderungen wurden für den Bemessungslastfall der Weserdeiche bestimmt. Zur Quantifizierung der vorhabensbedingten Änderungen wurde die Bemessungssturmflut 2107 (s. Abschn. 4.2.2) mit und ohne OTB simuliert.

Im Gutachten zur Untersuchung der Vorhabenswirkung des OTB unter Berücksichtigung der derzeit geplanten Fahrrinnenanpassung der Unter- und Außenweser (BAW, 2012a) wurde im Gegensatz zu den hier beschriebenen Untersuchungen die Bemessungssturmflut 2100 (NLÖ, 2003) simuliert. Sie erreicht in Bremerhaven einen Scheitelwasserstand von 6,37 m NHN. Die derzeit zu berücksichtigende Bemessungssturmflut 2107 (Niemeyer, 2007) erreicht dagegen in Bremerhaven einen Sturmflutscheitelwasserstand von 6,62 m NHN.

Für die Sturmflutuntersuchungen wurde das dreidimensionale hydronumerisch-numerische Modell des Weserästuars, das in Abschn. 4.2 beschrieben ist, verwendet. Das Modellgebiet wurde für die Simulation der Sturmflut stromauf bis Intschede erweitert, da das Weserwehr während einer Sturmflut in der Regel gelegt wird und die Tide in diesem Fall weiter stromauf vordringt. Die Sperrwerke an den Nebenflüssen sind in den Sturmflutsimulationen geschlossen. Der Simulationszeitraum beginnt etwa 5 Tage vor Eintritt des Scheitelwasserstands (Tabelle 2), so dass der Wasserstand genügend Zeit hat sich einzuschwingen. Der Oberwasserzufluss wird über die gesamte Simulationszeit konstant mit 2000 m³/s eingesteuert. Zu Beginn der Simulation wird eine mittlere Salzgehaltsverteilung zu Grunde gelegt. Eine Variation der Anfangssalzgehaltsverteilung von +/- 5 ‰ führt zu keinen wesentlichen Änderungen der Vorhabenswirkungen, was durch BAW-interne Systemstudien belegt ist.

Simulationszeitraum	29.11. 18:00 Uhr – 05.12. 00:00 Uhr
Zeitraum für die Analyse der Scheitelwasserstände	03.12. 12:00 Uhr – 04.12. 08:00 Uhr
Zeitraum für die Analyse der max. Strömungsgeschwindigkeit während der Flutphase	03.12. 15:00 Uhr – 03.12. 23:00 Uhr
Zeitraum für die Analyse der max. Strömungsgeschwindigkeit während der Ebephase	04.12. 00:00 Uhr – 04.12. 08:00 Uhr

Tabelle 2: Übersicht des Simulationszeitraums und der verwendeten Analysezeiträume.
 Weitere Informationen zu der tideunabhängigen Analyse des Wasserstands und der Strömungsgeschwindigkeiten sind im BAWiki (BAW, 2010b, 2010c) zu finden.

7.3 Vorhabensbedingte Änderungen

Bild 37 und Bild 38 zeigen den Scheitelwasserstand und die Änderungen des Scheitelwasserstands entlang des Weserfahrwassers zwischen Intschede in der Mittelweser und Weser km 125 in der Außenweser. Der Scheitelwasserstand ist der höchste im Sturmflutzeitraum (Tabelle 2) auftretende Wasserstand. Stromauf des Offshore-Terminals bis Bremen wird der Sturmflutscheitelwasserstand in der Simulation geringfügig (um knapp 2 cm) reduziert. In Bild 37 liegt die schwarze Kurve (Sturmflutscheitelwasserstand im Referenzzustand) daher unter der roten Kurve (Sturmflutscheitelwasserstand im Ausbausezustand).

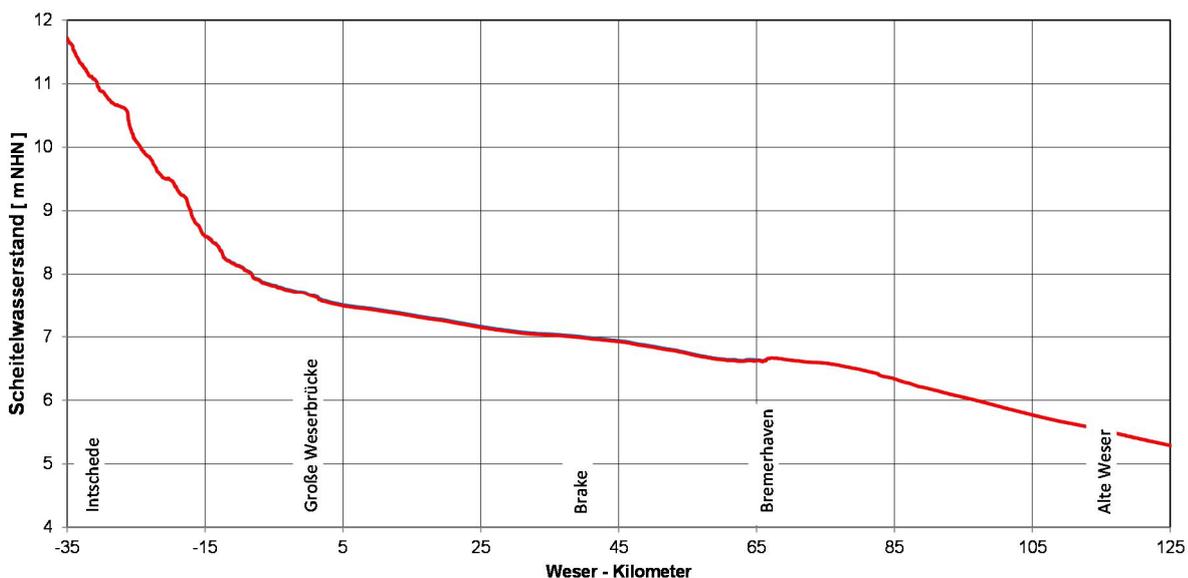


Bild 37 Sturmflutscheitelwasserstand der Bemessungsturmflut 2107 im Referenzzustand (schwarz) und im Ausbausezustand (rot) entlang des Weserfahrwassers zwischen Intschede und Leuchtturm Alte Weser.

Die einlaufende Sturmflut wird durch die den Fließquerschnitt einengende Wirkung des Offshore-Terminals in der Unterweser gedämpft (Bild 38). Seeseitig des Offshore-Terminals zeigen die Modellergebnisse einen geringen Anstieg (max. 0,5 cm) des Scheitelwasserstands.

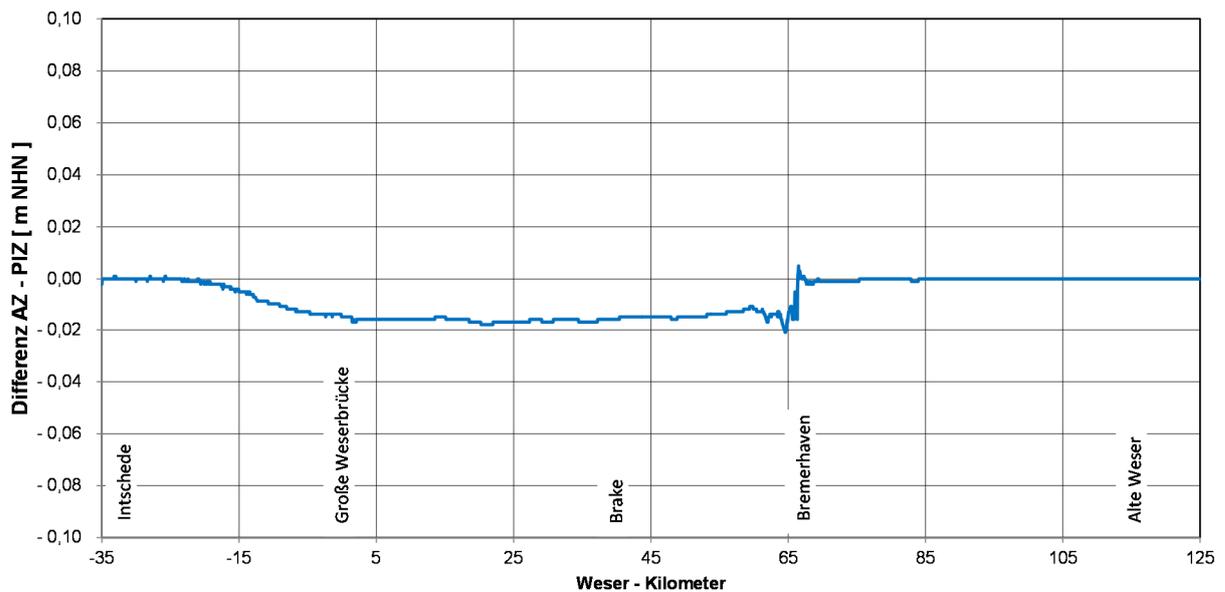


Bild 38 Änderung des Scheitelwasserstandes (Ausbauzustand – Referenzzustand) der Bemessungsturmflut 2107 entlang des Weserfahrwassers zwischen Intschede und Leuchtturm Alte Weser

7.4 Bewertung der Ergebnisse im Vergleich zu den bisherigen Untersuchungen (Unterschied der Maßnahmen mit und ohne die derzeit geplanten Fahrrinnenanpassung der Unter- und Außenweser)

Das Untersuchungskonzept bei Sturmflut unterscheidet sich im vorliegenden Gutachten in mehreren Punkten von dem in BAW, 2012a. Neben der aktualisierten Topographie (DGM-W 2012) wird in der vorliegenden Untersuchung die Bemessungsturmflut 2107 (Scheitelwasserstand bei Bremerhaven: 6,62 m NHN) simuliert. In BAW, 2012a wurde dagegen die Bemessungsturmflut 2100 (Scheitelwasserstand bei Bremerhaven: 6,37 m NHN) verwendet. Trotz der Unterschiede liegt die Vorhabendwirkung des OTB auf die Scheitelwasserstände in der gleichen Größenordnung wie die in BAW, 2012a. Die Scheitelwasserstände werden in beiden Untersuchungen stromauf des OTB um wenige Zentimeter (1 cm bis 2 cm) abgesenkt und seeseitig geringfügig (unter 1 cm) angehoben. **Die Prognose zum Anstieg des Scheitelwasserstands durch den OTB ist damit unabhängig von der derzeit geplanten Fahrrinnenanpassung der Unter- und Außenweser.**

8 Auswirkungen auf die Seegangsverhältnisse

8.1 Wirkungszusammenhänge

Das geplante OTB befindet sich von See her betrachtet am Ende des Außenweser-Trichters. Für den Seegang an dieser Stelle stehen bei nordwestlichen Windrichtungen beträchtliche Fetchlängen zur Verfügung, so dass relativ große Wellenhöhen auftreten können.

Das Terminal-Bauwerk und die örtlich veränderten Tiefenverhältnisse werden sich auf die Seegangparameter im Umfeld des Hafens auswirken. Insbesondere werden die senkrechten Wände des Terminals (oder ggf. dort liegende Schiffe) die anlaufenden Wellen reflektieren und dadurch zu einem Anstieg der Wellenhöhen vor der Kaje und am gegenüberliegenden Ufer führen. Die Reflexionswirkung ist am größten, wenn die Reflexionsfläche als glatte senkrechte Fläche ausgebildet wird und so zu einer Totalreflexion der Wellen führt (Reflexionsfaktor ≈ 1).

Starke nordwestliche Winde fallen in der Regel mit erhöhten Wasserständen durch Windstau in der Deutschen Bucht zusammen (Sturmflutsituation). Es war deshalb zu untersuchen, in welchen Bereichen und in welchem Maße vorhabensbedingte Änderungen der Wellenhöhen zu erwarten sind.

8.2 Untersuchungsmethodik

Zur Untersuchung dieser Vorhabenswirkung waren Simulationen in einem Seegangmodell erforderlich. Das verwendete numerische Modellverfahren SWAN (Abschnitt 4.4) ermöglicht, sowohl die Entstehung und die Umformung des Seegangs in der Außenweser (einschl. des von außen einlaufenden Nordseeseegangs), als auch die Reflexionswirkungen der senkrechten bzw. geböschten Kajenflächen zu simulieren und dabei die Auswirkungen der Strömungen auf die Seegangsausbreitung zu berücksichtigen.

Für die Weser wurde vom NLWKN eine Bemessungssturmflut festgelegt (vgl. Abschnitt 4.2.2 b). Diese liefert zwar hinsichtlich der Wasserstände die relevanten Bemessungsparameter und weist zum Zeitpunkt des Hochwasserscheitels sehr hohe Windgeschwindigkeiten auf. Jedoch liegen die Windrichtungen im Untersuchungsgebiet bei West. Da für den Seegang am OTB bei westlichen Windrichtungen nur kurze Fetchlängen vorliegen, ist für dieses Szenario nicht mit den größten Vorhabenswirkungen zu rechnen. Aus diesem Grunde wurden die maximalen Vorhabenswirkungen für die Kombination der folgenden Bedingungen auf der sicheren Seite liegend abgeschätzt:

- Wasserstände und Strömungen gemäß der Bemessungssturmflut des NLWKN (Abschnitt 4.2.2 b)
- Seegang für die Windrichtung Nordwest bei einer konstanten Windgeschwindigkeit von 30 m/s

In Übereinstimmung mit dem BAW-Gutachten (BAW, 2012a) wurde die Reflexionswirkung des OTB durch folgende Reflexionsfaktoren k_R berücksichtigt:

- Kaje (Spundwand): $k_R = 1,0$ (Totalreflektion)
- Norddamm: $k_R = 0,5$
- Süddamm: $k_R = 0,5$

Alle Seegangsberechnungen wurden im stationären Modus durchgeführt. Die Wirkung der Wellendiffraktion wurde berücksichtigt. Die Seegangsbedingungen mit und ohne OTB werden für den Zeitpunkt des Sturmflut-Scheitelwasserstandes ausgewertet.

Die Kombination der Bemessungssturmflut (Westwind) mit dem Seegang für Nordwestwind ergibt zwar kein homogenes Szenario. Dennoch ist diese Überlagerung der Wasserstands- und Seegangsbedingungen für den Bereich des OTB sinnvoll, weil das Erreichen des Bemessungswasserstandes von 6,62 m NHN bei Bremerhaven auch bei nordwestlichen Windrichtungen möglich erscheint. Das NLWKN ging bei eigenen Untersuchungen zur Sturmflutsicherheit an der Unterweser (NLÖ, 2003; NLWKN, 2014b) in ähnlicher Weise vor: Dort wurden für die lokale Seegangsentwicklung Windrichtungen von West bis Nordwest untersucht, um den ungünstigsten Fall ansetzen zu können. Dabei wurde der Seegang stationär für den Scheitelwasserstand modelliert und die synchrone Strömung aus dem Tidemodell eingespeist. (Wegen der Verschiebung der Stromkenterung ist im Untersuchungsgebiet zum Zeitpunkt des Sturmflutscheitels noch eine Flutströmung vorhanden.) Für die Windrichtung Nordwest lagen die signifikanten Wellenhöhen am Ort der geplanten Kaje bei etwa 1,5 bis 1,75 m (NLÖ, 2003). Im Gegensatz zum vorliegenden Gutachten wurde in der Untersuchung des NLWKN, 2014b die Windgeschwindigkeit räumlich differenziert; sie erreichte über der offenen Nordsee 30 m/s und schwächte sich landeinwärts etwas ab.

8.3 Vorhabensbedingte Änderungen des Seegangs

Die beschriebene Szenarienkombination der Bemessungssturmflut mit einem durch Nordwestwind (30 m/s) hervorgerufenen Seegang ergibt am Ort der geplanten Kaje signifikante Wellenhöhen von rund 2,0 m beim Sturmflutscheitel (Bild 39; Wasserstand am Pegel Bremerhaven 6,62 m NHN). Die Größe der Wellenhöhe resultiert daraus, dass der Seegang von der Außenweser her fast geradlinig auf diesen Bereich trifft. Die genannte Wellenhöhe ist höher als in den Simulationen aus NLÖ, 2003 (vgl. Abschn. 8.2), so dass eine konservative Ermittlung der Vorhabenswirkungen erfolgt.

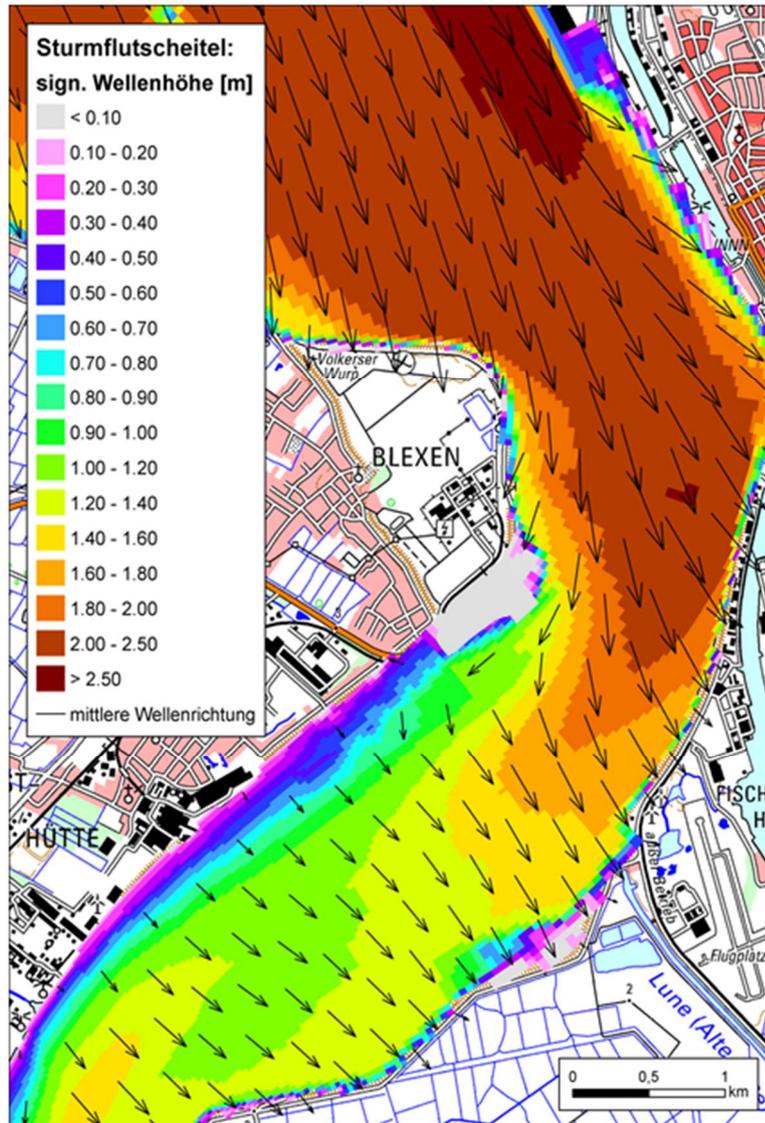


Bild 39: Signifikante Wellenhöhen zum Zeitpunkt des Scheitelwasserstands der synthetischen Sturmflutsituation (Referenzzustand ohne OTB)

Weiter westlich vom OTB wird die Abschirmung durch das Blexener Ufers wirksam (Bild 39). Dadurch tritt bei typischen Sturmfluten nahe dem linken Weserufer nur schwacher, vom Deich weg gerichteter Seegang auf und am rechten Ufer (Große Luneplate) sind die Wellenhöhen hauptsächlich durch die lokale, auf einer kurzen Fetchlänge basierende Windsee bestimmt.

Durch die Reflexionswirkung des OTB, insbesondere der senkrechten Kajenwand, wird der relativ starke Seegang zum Blexener Ufer gelenkt und dort nochmals von Uferwänden und Anlegern, insbesondere bei den Titan-Werken, reflektiert (Bild 40). Dadurch gelangt vermehrt

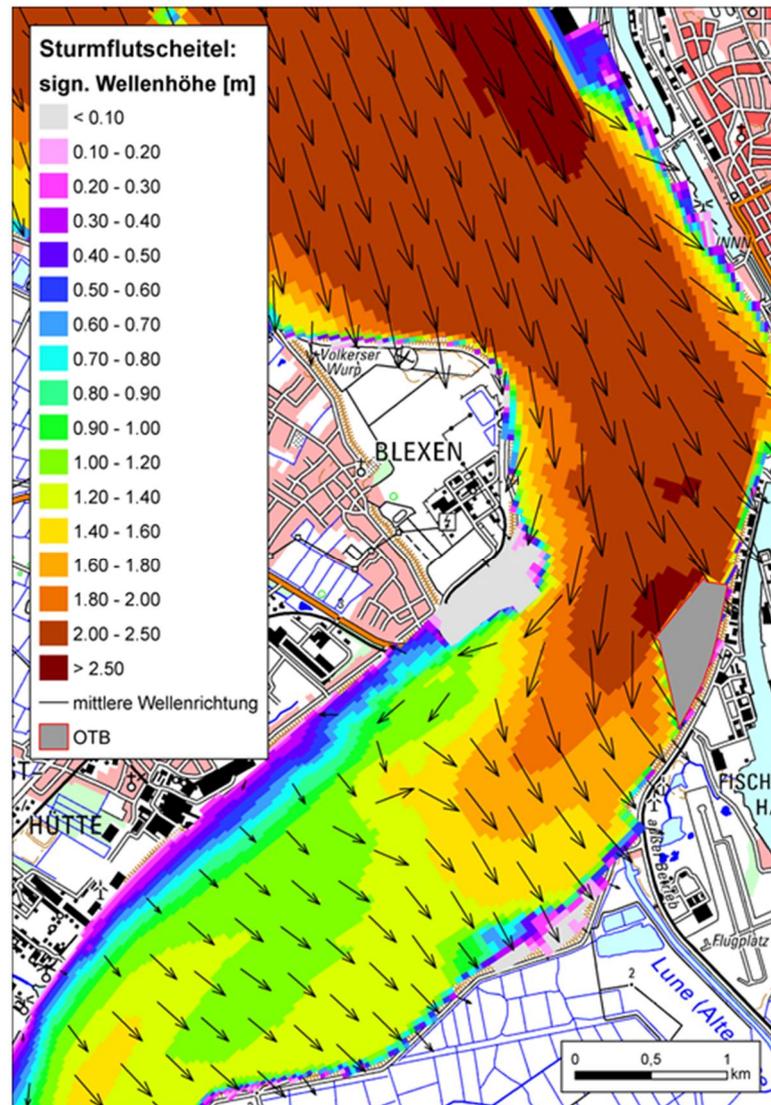


Bild 40: Signifikante Wellenhöhen zum Zeitpunkt des Scheitelwasserstands der synthetischen Sturmflutsituation (Ausbauzustand mit OTB)

Seegangsenergie in die bisher weniger beaufschlagten Bereiche (Bild 41) des Blexer Bogens (Blexen bis Friedrich-August-Hütte).

Dabei liegen die größten Zunahmen der signifikanten Wellenhöhen (0,30 m bis über 0,60 m) jeweils vor den reflektierenden Wänden (Bild 41). In Deichnähe werden die größten Zunahmen auf der Blexener Seite stromauf vom Fähranleger (Einswarden, Am Deich) mit Maximalwerten von 0,10 bis 0,20 m erreicht. Dieser Wert ist deutlich höher als in BAW, 2012a. Die Ursache für diesen Unterschied ist jedoch nicht der Einfluss der Weseranpassung: Die Vorhabenswirkungen des OTB auf den Sturmflutseegang sind im Wesentlichen von der Reflexionswirkung der senkrechten Kajen bestimmt und somit der Größe des einlaufenden Seegangs proportional; ohne die derzeit geplante Fahrinnenanpassung der Unter- und

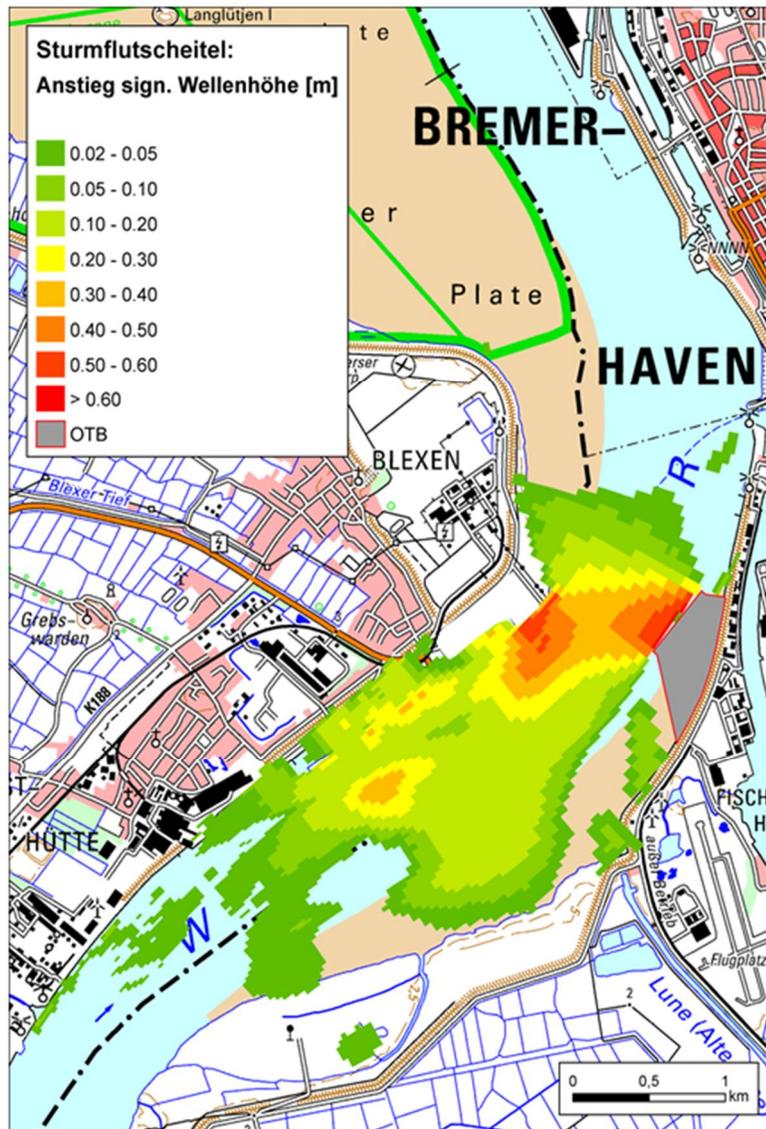


Bild 41: Vorhabensbedingte Änderungen der signifikanten Wellenhöhen zum Zeitpunkt des Scheitelwasserstands der synthetischen Sturmflutsituation

Außenweser sind die einlaufenden Wellenhöhen tendenziell geringer und somit auch die reflektierten Wellenhöhen. Die größeren Zunahmen der Wellenhöhe sind auf Höhendifferenzen zwischen dem aktuellen DGM-W 2012 gegenüber der in BAW, 2012a verwendeten Grundlage und daraus resultierende Strömungseffekte zurückzuführen. Auch im weiterführenden Gutachten NLWKN, 2014b, das ebenfalls auf Simulationen in der Topographie des DGM-W 2012 basiert, wird festgestellt, dass die Reflexion des Seegangs an der Kaje des OTB bei Nordwestwind zu einer Vergrößerung der Wellenhöhen um bis zu 15 cm am gegenüberliegenden Westufer führt.

8.4 Bewertung der Ergebnisse im Vergleich zu den bisherigen Untersuchungen (Unterschied der Maßnahmen mit und ohne die derzeit geplante Fahrrinnenanpassung der Unter- und Außenweser)

Wegen der Lage am Ende des von der Außenweser gebildeten Trichters können am OTB unter ungünstigen meteorologischen Bedingungen große Wellenhöhen auftreten. Infolge der Seegangsreflexion an der Kaje des OTB werden diese Wellenhöhen im Bereich des Terminals verstärkt.

Sowohl im Rahmen des vorliegenden Gutachtens wie auch in BAW, 2012a wurde der Sturmflutseegang für ein konstruiertes, sehr ungünstiges Sturmflutszenario betrachtet. Dabei wurden im Vergleich zum Gutachten BAW, 2012a neuere Topographiedaten verwendet.

Da die Vorhabenswirkungen des OTB auf den Sturmflutseegang im Wesentlichen von der Reflexionswirkung der senkrechten Kajen bestimmt sind, sind die vorhabensbedingten Zunahmen der Wellenhöhen der Größe des einlaufenden Seegangs proportional. Für den Fall, dass die derzeit geplante Fahrrinnenanpassung der Unter- und Außenweser nicht durchgeführt wird, sind die einlaufenden Wellenhöhen tendenziell geringer und somit auch die reflektierten Wellenhöhen. Der in BAW, 2012a berücksichtigte Referenzzustand mit der derzeit geplanten Fahrrinnenanpassung der Unter- und Außenweser ist somit hinsichtlich der Wirkung des OTB auf die Seegangsverhältnisse der ungünstigere Fall.

Im scheinbaren Widerspruch dazu zeigt das vorliegende Gutachten mit aktualisierter Topographie (DGM-W 2012) lokal größere Änderungen der Wellenhöhen als BAW, 2012a. Dies ist jedoch nicht auf die Effekte der derzeit geplanten Fahrrinnenanpassung der Unter- und Außenweser zurückzuführen, sondern auf die aktualisierten topographischen Verhältnisse und dem damit verbundenen tendenziell höher einlaufenden Seegang im Bereich des geplanten OTB. Dies wird u.a. durch die Ergebnisse des weiterführenden Gutachtens NLWKN, 2014b bestätigt.

9 Auswirkungen auf die Morphodynamik

9.1 Wirkungszusammenhänge

Für die Beurteilung der Auswirkungen des Offshore-Terminals auf die Morphodynamik und den Sedimenttransport sind sowohl die vorliegenden morphodynamischen Randbedingungen (Aufbau der sohnahen Bodenschichten, Sedimenttransport, Sedimentation und Erosion) als auch die Wirkung der maßnahmenbedingt veränderten Strömung zu erörtern.

Die Weser im Bereich des Blexer Bogens ist durch sehr hohe Strömungsgeschwindigkeiten, insbesondere bei Ebbe, gekennzeichnet. Jedoch ist das Sedimentmaterial, das bei Greiferproben von der Sohle entnommen werden kann, relativ fein (mittl. Korndurchmesser etwa

0,5 mm) und auch bei Bohrungen wird überwiegend Feinsand und Schluff angetroffen [U2],[U3]. Das Bettmaterial ist also allgemein nicht erosionsstabil, sondern kann durch die Strömungen leicht mobilisiert werden.

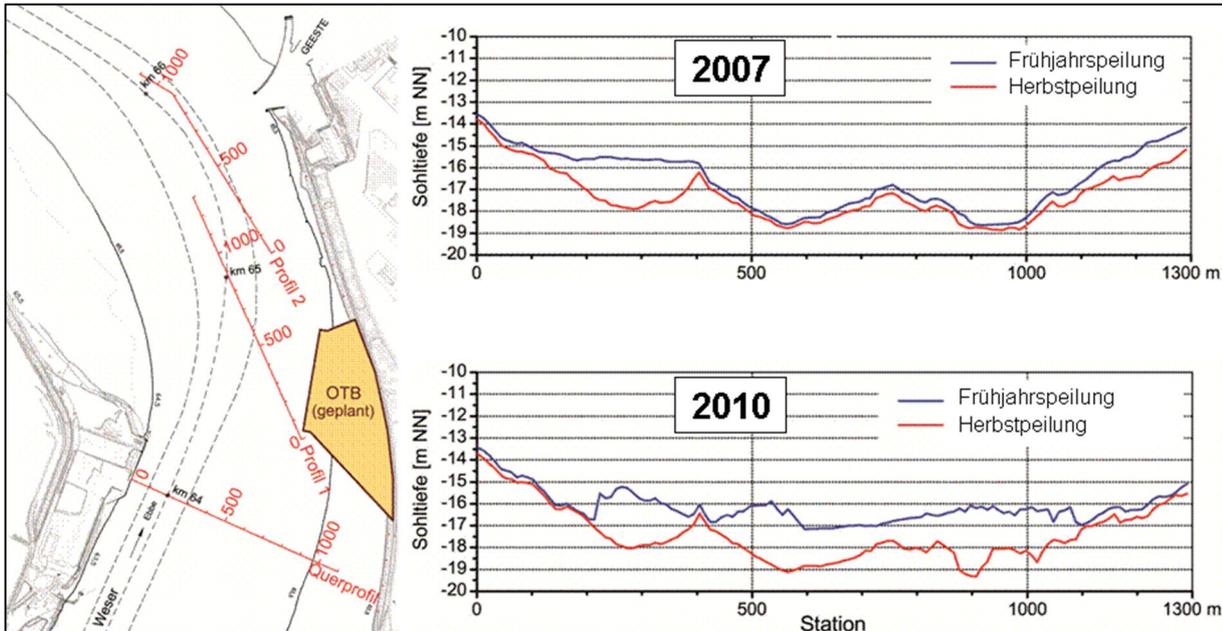


Bild 42: Sohllagen im Frühjahr und Herbst der Jahre 2007 und 2010 (Profil 1 der Auswertungen von Nasner, 2011)

Die Peilplan-Auswertungen von Nasner, 2011 zeigen starke Sedimentationen auf Grund von hohen Oberwasserabflüssen (Frühjahrssituation), die bei normalen und niedrigen Oberwassermengen von der Tideströmung wieder ausgeräumt werden (Herbstsituation). Bild 42 zeigt diese Fluktuation beispielhaft für zwei ausgewählte Jahre. Dabei lassen die niedrigsten Sohllagen (Herbstsituationen) im Laufe der untersuchten 13 Jahre von 1998 bis 2010 keinen langfristigen Erosionstrend erkennen. In der heutigen Situation ist die Weser im betrachteten Bereich demnach trotz der Mobilität ihres Bettmaterials und der starken Strömungen stabil. Dies muss darauf zurückgeführt werden, dass zwar große Sedimentmengen bei Ebbe und bei Flut bewegt werden, diese aber langfristig miteinander im Gleichgewicht stehen.

Lokal werden die beschriebenen Fluktuationen der Sohlenlage durch erosionsfestere Materialien beeinflusst. So wurden bei Bohrungen zum Teil auch fest gelagerte Sande, Klei- und Mergelschichten angetroffen. Außerdem liegen bereichsweise Hartsubstrate in Form von Bauschutt vor. Grundsätzlich wären am Außenufer (Prallhang) einer so starken Flusskrümmung wie dem Blexer Bogen durchgängig große Wassertiefen zu erwarten (vgl. Abschnitt 5.1). Stattdessen liegt hier eine sehr ungleichmäßige, „zerklüftete“ Form des Flussbetts vor (Bild 43), die auf die o. g. örtlich begrenzten Einschlüsse von Hartsubstraten und erosionsfesteren Sedimenten zurückzuführen ist.

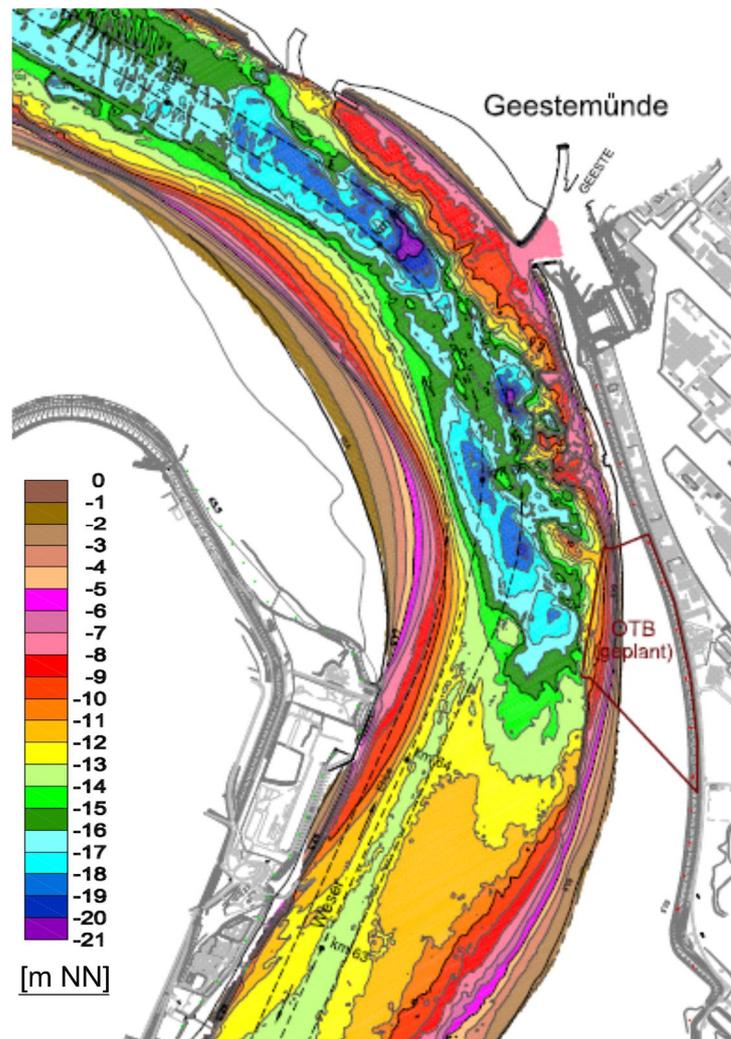


Bild 43: Bathymetrie im Bereich des OTB (Herbstspeilung 2010 des WSA Bremerhaven, aus Nasner, 2011)

Auf Grund der vorhabensbedingten Änderungen der Strömungsdynamik (Abschnitt 5.4) sind die folgenden Auswirkungen auf die Morphodynamik und den Sedimenttransport möglich:

- Es ist in Folge der Strömungsveränderungen mit einer morphologischen Reaktion der Gewässersohle im Bereich Blexen / Nordenham zu rechnen, insbesondere mit einem Erosionspotential in den Bereichen mit maßnahmenbedingt erhöhter Strömungsgeschwindigkeit.
- Grundsätzlich könnten morphologische Anpassungsprozesse im Bereich der Hauptströmung die Fließquerschnitte weiter verändern und dadurch die bisher berechneten ausbaubedingten Wirkungen beeinflussen.
- Aufgrund der Strömungsabschattung durch das Terminal ist mit einer Sedimentation im nördlichen und südlichen Bereich zwischen Hafenflanke und Ufer zu rechnen.

Damit wird eine Neubildung von Wattflächen bzw. Erweiterung bestehender Wattflächen wahrscheinlich.

- Durch die Umströmung des Bauwerks erfolgt eine erhöhte Turbulenzproduktion, die die lokale Kolkbildung verstärken kann.

Das OTB ist zwar im Verhältnis zur Flussbreite sehr groß, aber der größte Teil der Terminalfläche wird im Bereich von Sohlagen über NHN errichtet (weiße Flächen in Bild 43), die nicht sehr intensiv durchströmt werden. Es ist deshalb mit mäßigen lokalen Vorhabenswirkungen zu rechnen, die das großräumige Sedimenttransportregime nicht nennenswert beeinflussen.

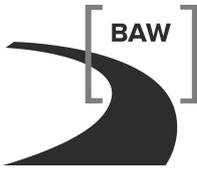
9.2 Untersuchungsmethodik

Nach dem Stand der Technik können numerische morphodynamische Modelle die Reaktion der Flusssohle auf Strömungen und auf veränderte Strömungsbedingungen mit Einschränkungen wiedergeben. Im vorliegenden Falle ist es z. Zt. nicht möglich, das Verhalten der Sohle im Modell exakt nachzubilden, u. a. weil das Sedimentgleichgewicht durch kleine Differenzen großer Flut- und Ebbtransportmengen bestimmt wird. Trotz dieser Einschränkung sollte die morphodynamische Modellierung als Hilfsmittel zur Prognose der Vorhabenswirkungen angewendet werden, um die Differenz der Simulation mit und ohne das Bauvorhaben analysieren zu können. Die Ergebnisse sind als „Indikator“ zu verstehen und bedürfen der fachwissenschaftlichen prozessorientierten Interpretation und Bewertung, die nicht allein auf morphodynamischen Rechenergebnissen beruht, sondern zu einem wesentlichen Teil:

- auf den Resultaten hydrodynamischer Simulationen (Strömungsgeschwindigkeiten, Sohlschubspannungen und deren vorhabensbedingte Änderungen) und
- auf Naturbeobachtungen und –analysen.

Wenn die Simulationsergebnisse nur zur Bewertung der qualitativen Wirkung dienen, müssen zur Abschätzung der quantitativen Wirkungen andere Kriterien herangezogen werden. Beim Institut für Wasserbau, Bremen, wurde eine eingehende Analyse der Sohlenstabilität des Blexer Bogens im Ist-Zustand durchgeführt (Nasner, 2011). Daraus ergibt sich, dass sich das Erosionsverhalten der Sohle durch das OTB nicht grundsätzlich ändert. Unter dieser Voraussetzung wird der maßnahmenbedingte Anstieg des Erosionspotentials (durch erhöhte Strömungsgeschwindigkeiten) dann verschwinden, wenn nach einer entsprechenden Eintiefung der Sohle das Geschwindigkeitsniveau des Referenzzustands wieder erreicht wird, bzw. die Sohlschubspannung durch die Anpassung der Sohle wieder auf das alte Niveau sinkt.

Um die hydro- und morphodynamischen Bedingungen im Blexer Bogen naturähnlich wiederzugeben und großräumige Änderungen ausschließen zu können, wurden die Simulationen nicht mit einem (kleinräumigen) Bauwerksmodell, sondern mit einem (großräumigen) Ästu-



armodell durchgeführt. Die o. g. zusätzliche bauwerksbezogene Turbulenzproduktion wird darin nicht aufgelöst. Sie muss bei der Interpretation der Ergebnisse (Bildung von Bauwerkskolken) und der Bauausführung (Sohlensicherung) berücksichtigt werden.

Auch wenn die genannten Unwägbarkeiten bei der Prognose der Vorhabenswirkungen so weit wie möglich durch die beschriebene Vorgehensweise ergründet bzw. reduziert werden, bleibt dennoch festzuhalten, dass morphodynamische Prognosen nach dem Stand der Technik erheblich weniger belastbar sind als die Prognose hydrodynamischer Auswirkungen.

9.3 Vorhabensbedingte Änderungen der Sohlschubspannungen

Die vorhabensbedingt erhöhte Strömungsgeschwindigkeit an der Gewässersohle führen zu einer erhöhten Sohlschubspannung. Dieser Parameter spiegelt unmittelbar die potentiell erosionswirksamen Kräfte an der Gewässersohle wider. Er wird hier in Form der tidephasen-integrierten mittleren Sohlschubspannung dargestellt (über die Zeit integrierte effektive Sohlschubspannung, wobei die Integration getrennt jeweils über die Flut- und über die Ebbestromphase erfolgt). Generell sind Bereiche mit erhöhtem Erosionspotential (Anstieg der mittleren Sohlschubspannungswirkung) und Bereiche mit erhöhtem Sedimentationspotential zu unterscheiden. In welchem Maße sich aus diesen Potentialen morphologische Veränderungen ergeben, bedarf allerdings weitergehender Betrachtungen.

Bild 44 zeigt die mittlere integrierte Sohlschubspannung des Flutstroms im Analysezeitraum für den Referenzzustand. Hohe Werte konzentrieren sich hauptsächlich auf den Fahrrinnenbereich. Das Bild entspricht grundsätzlich der Verteilung der Strömungsgeschwindigkeiten (vgl. Bild 13), wobei die Unterschiede durch den nichtlinearen Zusammenhang von Strömungsgeschwindigkeit und Schubspannung gespreizt werden. Die mittlere integrierte Sohlschubspannung des Flutstroms im Analysezeitraum ist in Bild 45 für den Ausbauzustand dargestellt. Die Ausprägung der mittleren integrierten Sohlschubspannung des Flutstroms wird durch den OTB nicht grundlegend verändert. Die vorhabensbedingte Änderung der mittleren integrierten Sohlschubspannung des Flutstroms (Bild 46) konzentriert sich auf den Nahbereich des OTB. Im Bereich der Einengung des Fließquerschnitts durch das OTB steigt die mittlere integrierte Sohlschubspannung des Flutstroms an, da dort die Strömungsgeschwindigkeit u.a. an der Sohle steigt. In den Abschattungsbereichen stromauf und stromab der OTB-Kaje nimmt die mittlere integrierte Sohlschubspannung des Flutstroms durch die Reduzierung der Strömungsgeschwindigkeit (vgl. Bild 15 und Bild 21) ab.

In Bild 47 (Referenzzustand), Bild 48 (Ausbauzustand) und Bild 49 (vorhabensbedingte Änderung) ist die mittlere integrierte Sohlschubspannung des Ebbestroms dargestellt. Die Werte im Referenz- und Ausbauzustand sowie die vorhabensbedingten Änderungen sind größer als im Flutstrom. Dies liegt an dem höheren Niveau der Strömungsgeschwindigkeit im Ebbestrom (vgl. Bild 13 mit Bild 16). Wie im Flutstrom steigt die mittlere integrierte Sohlschubspannung des Ebbestroms vorhabensbedingt im Bereich der Querschnittseinengung der OTB-Kaje und sinkt in den Abschattungsbereichen. Nordöstlich der Zufahrt zum OTB tritt im Ebbestrom, äquivalent zu dem vorhabensbedingten Anstieg der Ebbestromgeschwindigkeit (vgl. Bild 18 und Bild 24), eine Zunahme der mittleren integrierten Sohlschubspannung des Ebbestroms auf.

Im Flut- wie im Ebbestrom handelt es sich bei der vorhabensbedingten Änderung der mittleren integrierten Sohlschubspannung um lokale Effekte. Die morphodynamischen Systemeigenschaften werden nicht grundsätzlich verändert. Global ergibt sich vorhabensbedingt daher kein erhöhtes Erosions- oder Sedimentationspotential.

Gegenüber BAW, 2012a treten keine wesentlichen Unterschiede hinsichtlich der vorhabensbedingten Änderung der mittleren integrierten Sohlschubspannung auf. Infolge höherer Strömungsgeschwindigkeiten (unterschiedliche Analysezeiträume) ist die mittlere integrierte Sohlschubspannung des Flutstroms stromauf des OTB im Zeitraum 2012 etwas größer als in BAW, 2012a. Auch die absoluten Werte der Änderung der mittleren integrierten Sohlschubspannung sind in diesem Bereich in der vorliegenden Untersuchung höher als in BAW, 2012a. Dies ist aber nur ein scheinbarer Widerspruch dazu, dass die Änderung der mittleren integrierten Sohlschubspannung durch den größeren Fließquerschnitt im Bereich des OTB (vgl. Abschnitt 5.3 a) geringer ausfallen müsste als in BAW, 2012a. Die relative Änderung der mittleren integrierten Sohlschubspannung ist, äquivalent zu den relativen Änderungen der Strömungsgeschwindigkeit, im Bereich des OTB in der vorliegenden Untersuchung geringer als in BAW, 2012a.

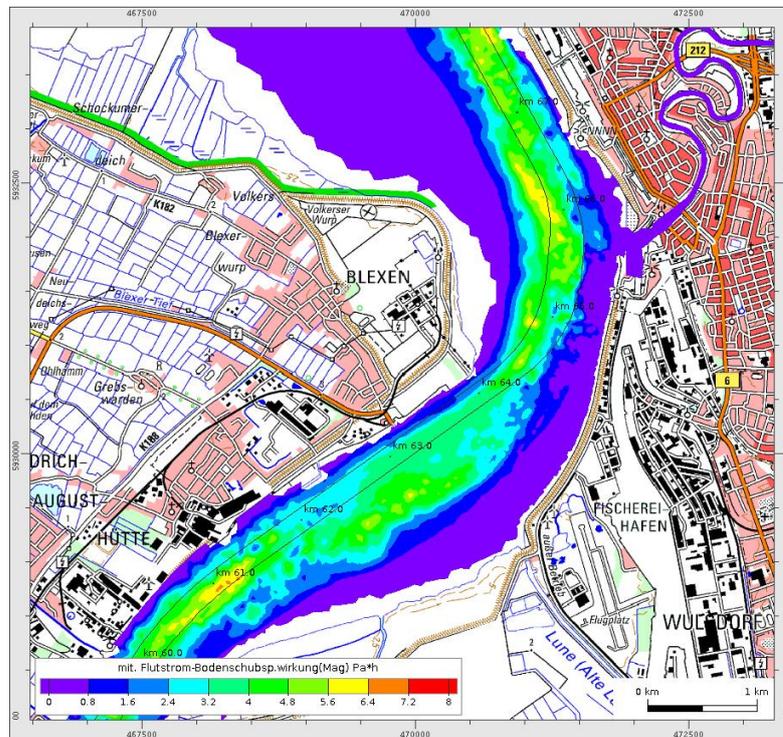


Bild 44: Mittlere integrierte Sohlschubspannung des Flutstroms (Referenzzustand)

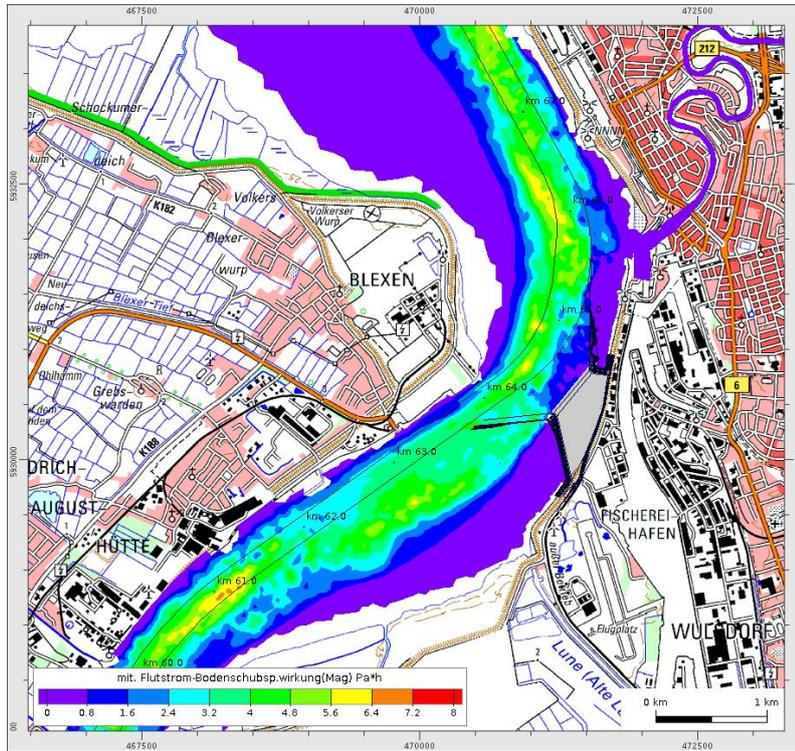


Bild 45: mittlere integrierte Sohlschubspannung des Flutstroms (Ausbauzustand)

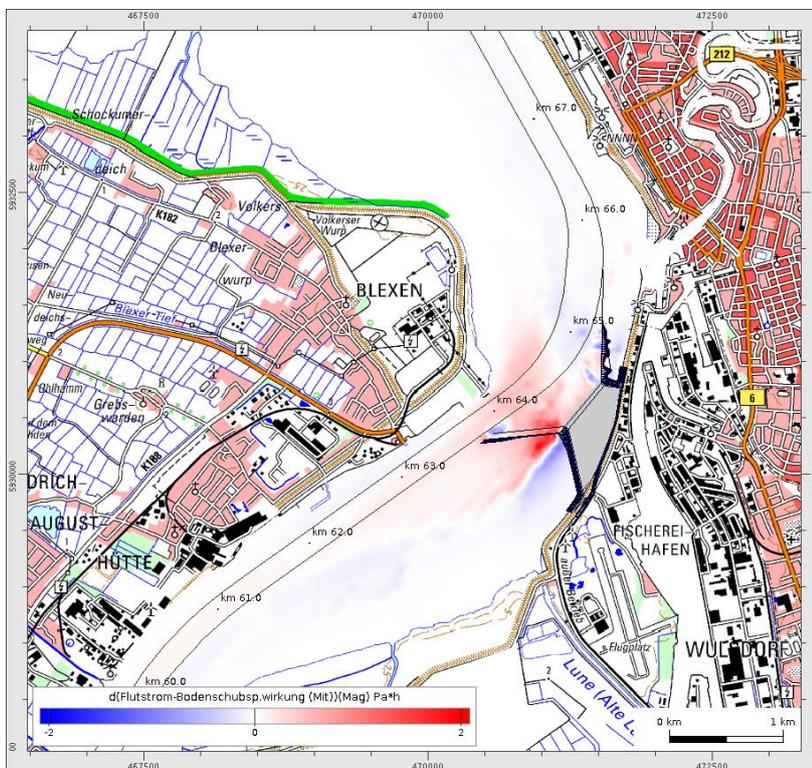


Bild 46: Vorhabensbedingte Änderungen der mittleren integrierten Sohlschubspannung des Flutstroms

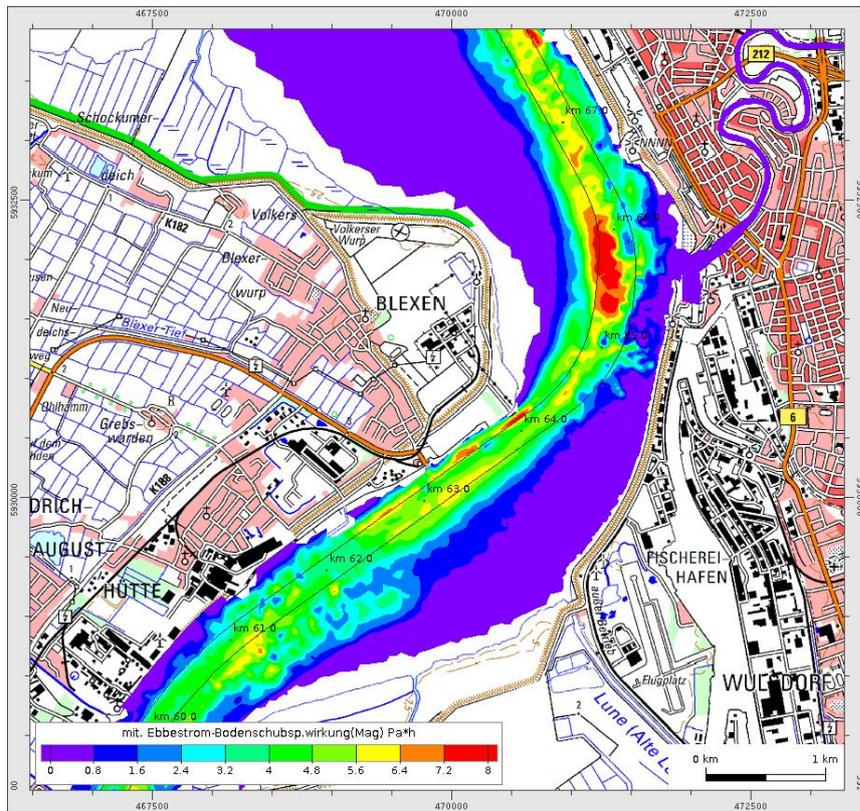


Bild 47: Mittlere integrierte Sohl Schubspannung des Ebbestroms (Referenzzustand)

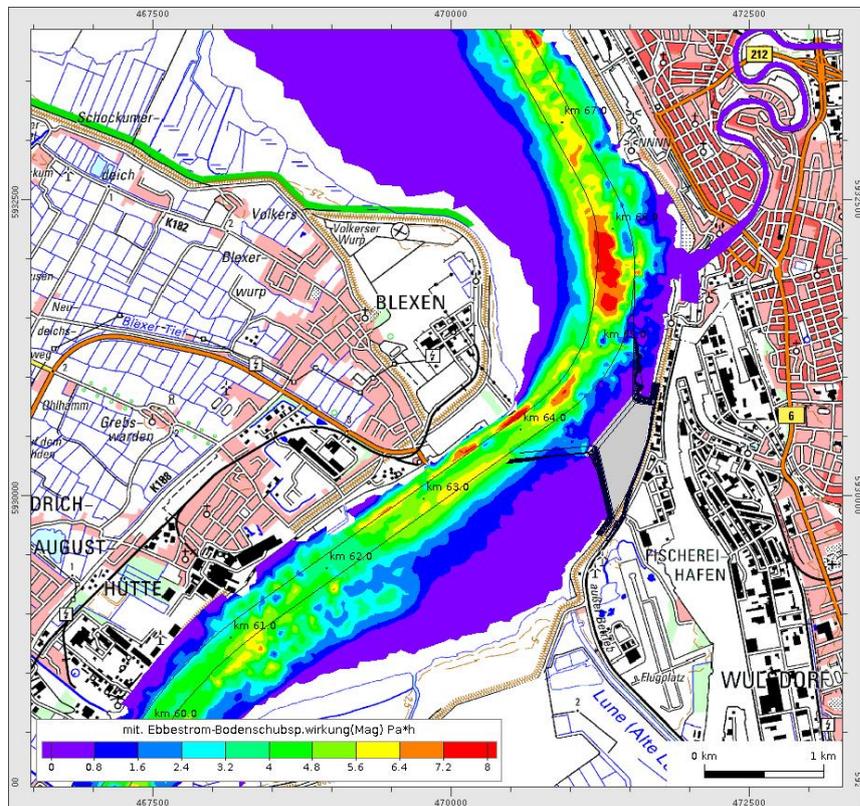


Bild 48: Mittlere integrierte Sohl Schubspannung des Ebbestroms (Ausbauzustand)

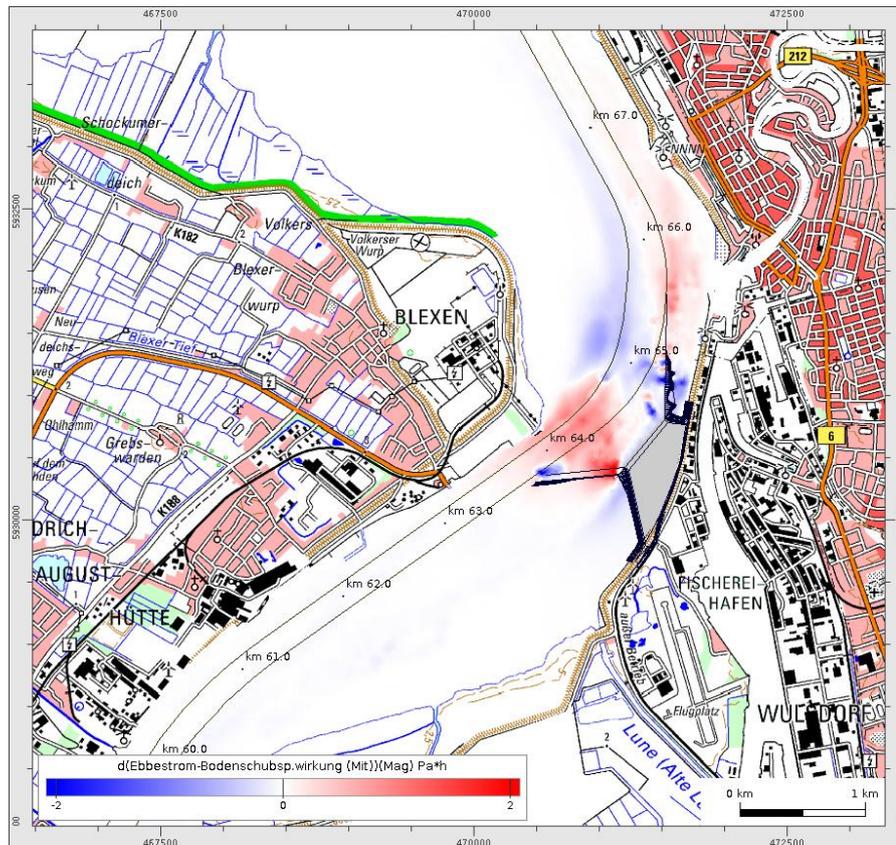


Bild 49: Vorhabensbedingte Änderungen der mittleren integrierten Sohlschubspannung des Ebbestroms

9.4 Vorhabensbedingte Änderungen der Morphodynamik

Die vorhabensbedingte Änderung der Morphodynamik durch das OTB ist vor allem von den vorliegenden morphodynamischen Randbedingungen (Abschnitt 9.1) und der Wirkung der maßnahmenbedingt veränderten Strömung (Abschnitt 9.3) geprägt. Beides hat sich gegenüber der Untersuchung zur Wirkung des OTB unter Berücksichtigung der derzeit geplanten Fahrrinnenanpassung der Unter- und Außenweser (BAW, 2012a) nicht signifikant geändert. **Demzufolge gelten die in BAW, 2012a dokumentierten Vorhabenswirkungen auf die Morphodynamik uneingeschränkt auch für den Systemzustand ohne die derzeit geplante Fahrrinnenanpassung der Unter- und Außenweser:**

- Die simulierten Verhältnisse (vgl. Abschnitt 4.2.2 a) können als prägend für die tiefsten Sohllagen und die daraus berechneten vorhabensbedingten Änderungen als maßgebend für die morphologische Reaktion auf das Vorhaben angenommen werden. Nach Nasner, 2011 ist die Gewässersohle im gegenwärtigen Zustand „stabil“. Sie unterliegt zwar jahreszeitlichen Schwankungen (Sedimentation in Folge der Frühjahrshochwasser und Erosion im Laufe des Sommers), die jeweils im Herbst erreichten tiefsten Sohllagen zeigen jedoch keine langfristige Erosionstendenz.

- In der Fahrrinne ändern sich die mittlere und maximale tiefengemittelte Strömungsgeschwindigkeit in einer Größenordnung von maximal ca. 10%. Unter der Annahme eines unveränderten Erosionsverhaltens (Nasner, 2011) wird sich die Wassertiefe in diesem Bereich der Fahrrinne in Anbetracht einer mittleren Wassertiefe von ca. 14 bis 16 m (im Kolk bis zu 20 m, vgl. Bild 43) in der Größenordnung von maximal 10% (ca. 1,5 m) vergrößern, bis das zuvor im Referenzzustand vorhandene Geschwindigkeitsniveau näherungsweise wieder erreicht ist.
- Der vor dem Terminal liegende Kolk (siehe Bild 43) wird sich in Richtung Südwesten ausdehnen. Auch zum gegenüberliegenden Ufer wird sich der Kolk ausdehnen und zu einem weiteren Abtrag der Böschung führen. Der Böschungsbereich ist von Strömungszunahmen (Abschnitt 5.4) und einem Anstieg der Sohlschubspannung (Bild 46 und Bild 49) betroffen.
- Im Zufahrtbereich des OTB sind ähnliche morphologische Anpassungsprozesse wie in der Fahrrinne zu erwarten. Die Zunahme der Strömungsgeschwindigkeit liegt dort ebenfalls bei ca. 10% und die Wassertiefen unterscheiden sich durch den sich dort befindenden Kolk nicht wesentlich von der Wassertiefe in der Fahrrinne.
- Am südlichen Ende der OTB Kaje sind am Übergang zur Unterwasserböschung stärkere Anpassungen der Sohle möglich, die ggf. durch einen Kolkschutz auf das Niveau der Liegewanne begrenzt werden müssen.
- Im Abschattungsbereich des Terminals wird es bis zum Niveau des MThw zu Auflandungen kommen. Davon betroffen sind ein etwa 1000 m langer Bereich südlich des Terminals (bis Neue Lunesiel) und ein ca. 500 m langer Uferabschnitt nördlich der OTB-Kaje.

Die berechnete qualitative Sohländerung (Erosion und Sedimentation) ist in Bild 50 dargestellt. Vor allem die Erosionstendenz am südlichen Ende der OTB Kaje ist durch den blauen Bereich deutlich zu erkennen. Die zu erwartenden Auflandungstendenzen in den Abschattungsbereichen des Terminals werden in Bild 50 nicht angezeigt, weil aufgrund des oben beschriebenen jahreszeitlichen Wechsels vorwiegend über das Winterhalbjahr und nicht innerhalb des Analysezeitraums im Sommer mit Auflandungen zu rechnen ist.

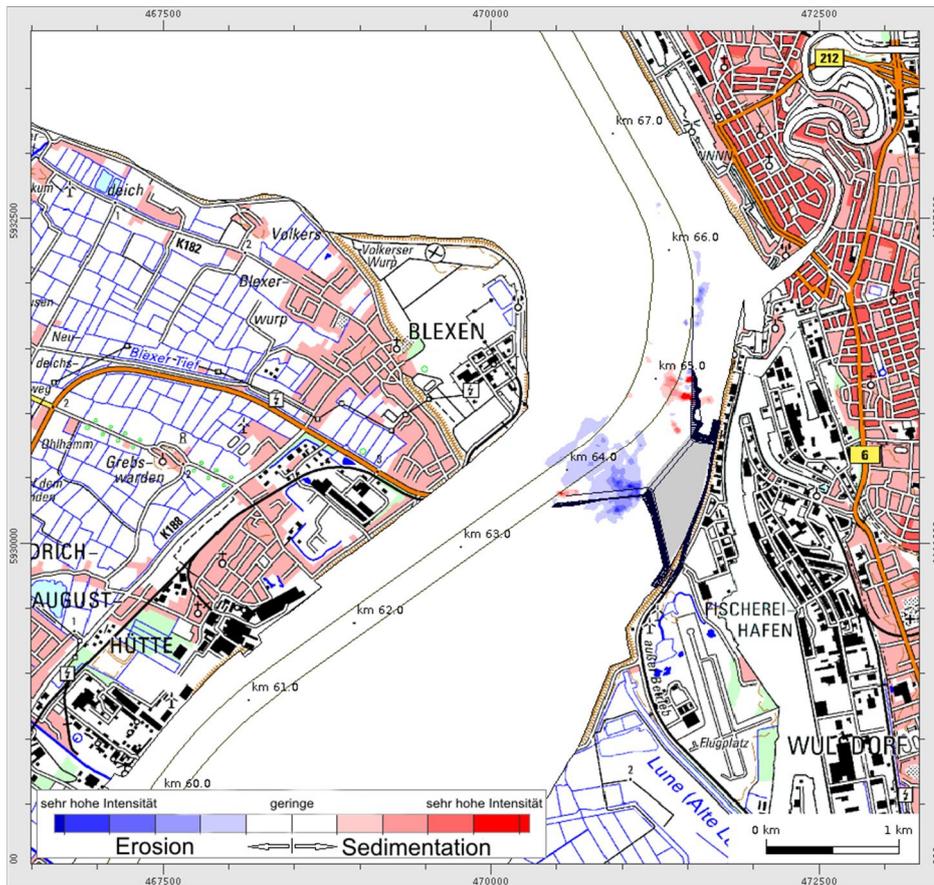


Bild 50: Qualitative Abschätzung der vorhabensbedingten Sohländerung

Die Anpassung der Gewässersohle infolge der vorhabensbedingten Änderung der Strömungsverhältnisse stellt eine Systemreaktion dar, die der Vorhabenswirkung entgegen wirkt. Die Gewässersohle wird sich so lange den veränderten Strömungsbedingungen anpassen, bis sich wieder ein Gleichgewicht einstellt. Die größte vorhabensbedingte Wirkung wird daher während und unmittelbar nach der Realisierung der Maßnahme auftreten.

Auf der Basis der vorhabensbedingten Strömungsänderungen, der Sedimenteigenschaften im Blexer Bogen und der analysierten morphodynamischen Prozesse kann ein wahrscheinlicher Systemzustand abgeleitet werden, zu dem sich die Gewässersohle vorhabensbedingt und unter der Annahme der maximal zu erwartenden morphologischen Änderungen (auf der sicheren Seite liegende Prognosewerte) entwickeln wird. Da sich die vorhabensbedingte Änderung der Morphodynamik nicht signifikant von den Ergebnissen aus (BAW, 2012a) unterscheidet, wird sich langfristig auch ein sehr ähnlicher morphologischer Systemzustand einstellen. Er lässt sich nach BAW, 2012a wie folgt beschreiben:

- Vertiefung der Gewässersohle im Fahrrinnen- und Zufahrtsbereich um bis zu 1,5 m.
- Erosion der Unterwasserböschung auf der Blexer Seite im ungünstigsten Fall auf rd. 500 m Länge um bis zu 50 m.

- Reduktion der Wassertiefen im südwestlichen Abschattungsbereich der OTB-Kaje auf einer Länge von ca. 1500 m und einer Breite von ca. 400 m.
- Geringe Sedimentationen im nordwestlichen Abschattungsbereich der OTB-Kaje.

Der morphologische Nachlauf wirkt der vorhabensbedingten Erhöhung der Strömungsgeschwindigkeit (Abschnitt 5.4) entgegen und mindert die Vorhabenswirkungen langfristig. Daher ist nicht zu erwarten, dass sich die beschriebenen hydro- und morphodynamischen Veränderungen langfristig verstärken werden. Gestützt wird diese Prognose durch die in Abschn. 9.1 beschriebene Studie zur Stabilität der Kolke im Blexer Bogen (Nasner, 2011). Auf Grund seiner detaillierten Auswertung von Naturmessungen kommt Nasner, 2011 zu dem Ergebnis, dass der geplante Bau des Offshore-Terminals Bremerhaven die morphodynamischen Gegebenheiten praktisch nicht beeinflussen wird. Unberührt von der Abnahme der vorhabensbedingten Erhöhung der Strömungsgeschwindigkeit bleiben die Auswirkungen des Vorhabens auf den lokalen Salzgehalt und die Suspensionskonzentration (Abschnitt 6). Sie wird hauptsächlich durch die lokale Verlagerung der Strömungen und weniger durch die o. g. Zunahme der Strömungsgeschwindigkeiten beeinflusst. Daher werden die lokalen Änderungen der Salz- und Schwebstoffkonzentration in der prognostizierten Größenordnung langfristig bestehen bleiben. Hingegen wird die vorhabensbedingte Sedimentation im Strömungsschatten des OTB ebenfalls zu Anfang am intensivsten sein. Mit der sedimentationsbedingten Verringerung der Wassertiefen wird dort die Zufuhr an Sedimenten abnehmen und damit auch die Sedimentationsgeschwindigkeit.

9.5 Unterhaltungsaufwand für den Zufahrts- und Liegewannenbereich

Der Blexer Bogen ist durch eine Sedimentationstendenz bei hohen Oberwasserabflüssen (Winter) und eine Erosionstendenz bei niedrigen Oberwasserabflüssen (Sommer) gekennzeichnet (Nasner, 2011). Diese Tendenzen bleiben grundsätzlich erhalten. Da das geplante Offshore-Terminal die Strömung nur lokal verstärkt (vgl. Abschnitt 5.4), ist hinsichtlich des voraussichtlichen Unterhaltungsbedarfs im Zufahrts- und Liegewannenbereich mit keiner Verschlechterung der grundsätzlichen Bedingungen zu rechnen.

Für weitergehende Aussagen zum voraussichtlichen Unterhaltungsbedarf können die Auswertungen der Frühjahrs- und Herbstpeilungen aus Nasner, 2011 herangezogen werden. Besonders starke Sedimentationen im geplanten Zufahrtsbereich wurden in den Frühjahrspeilungen der Jahre 2007 und 2010 festgestellt. Bild 42 zeigt die zugehörigen Längsschnitte. Die Sedimentation fand aber hauptsächlich in den Kolken statt und erreichte die Solltiefen (Zufahrt: -13,0 mNHN, Liegewanne: -14,1 m NHN) nicht. Nahe der geplanten Kaje (Station 0 des Profils 1, Bild 42), wo die Sohle höher als -14 m NHN und somit im Bereich der Solltiefe liegt, wurden Sedimentationen von einigen Dezimetern gemessen.

Für die Unterhaltung des Zufahrtsbereichs ist es also von Vorteil, dass im Bereich des OTB große Übertiefen vorhanden sind. Wo die Sohllage mit der geplanten Solltiefe übereinstimmt, ist im Winterhalbjahr mit betriebsbehindernden Sedimentationen in Höhe von einigen Dezimetern zu rechnen. Für die Liegewanne kommt hinzu, dass sie zum Teil tiefer als die Zufahrt liegt („Sedimentfang“) und dass die Kaje in Bezug auf die Anströmung nicht optimal ausgerichtet ist (Ablösung der Ebbeströmung, siehe Bild 17). Daher ist auch im Sommer ein Unterhaltungsbedarf der Liegewanne nicht auszuschließen. Allerdings wirkt der Verkehr der an- und ablegenden Schiffe der Sedimentation entgegen.

Eine zuverlässige Quantifizierung der erforderlichen Baggermengen ist aufgrund der jährlichen Schwankungen und der Einflüsse aus dem Betrieb nicht möglich. Die Mengen werden zwischen Null (in sedimentationsarmen Jahren) und einem Maximalwert (unter den oben beschriebenen Verhältnissen) schwanken. Mit der Annahme, dass Bereiche oberhalb eines Niveaus -15 m NHN um etwa 3 dm aufsedimentieren, lässt sich für das Sedimentationsvolumen in einem ungünstigen Winterhalbjahr eine Größenordnung von 50 000 m³ bis 60 000 m³ abschätzen. Das Sedimentvolumen ändert sich gegenüber der Untersuchung zur Vorhabenswirkung des OTB unter Berücksichtigung der derzeit geplanten Fahrrinnenanpassung der Unter- und Außenweser (BAW, 2012a) nicht.

9.6 Bewertung der Ergebnisse im Vergleich zu den bisherigen Untersuchungen (Unterschied der Maßnahmen mit und ohne die derzeit geplante Fahrrinnenanpassung der Unter- und Außenweser)

Die vorhabensbedingte Änderung der Morphodynamik durch das OTB ist vor allem von der Wirkung der maßnahmenbedingt veränderten Strömung und den vorliegenden morphodynamischen Randbedingungen geprägt. Die derzeit geplante Fahrrinnenanpassung der Unter- und Außenweser beeinflusst die vorhabensbedingte Änderung der Strömungsgeschwindigkeit durch das OTB nicht wesentlich. Die Unterschiede zu BAW, 2012a bezüglich der Vorhabenswirkung (Abschnitt 5.4) sind im Wesentlichen auf die unterschiedlichen Bedingungen innerhalb der betrachteten Analysezeiträume zurückzuführen (Abschnitt 5.6). Gleiches gilt für die unterschiedliche Vorhabenswirkung auf die mittlere integrierte Sohlschubspannung (Abschnitt 9.3). Die grundsätzlichen morphodynamischen Randbedingungen im Bereich des Blexer Bogens (Abschnitt 9.1) werden durch die derzeit geplante Fahrrinnenanpassung der Unter- und Außenweser nicht signifikant verändert. Wie die Untersuchungen von Nasner, 2011 verdeutlichen, unterliegt die Sohllage im Bereich des Blexer Bogens zwar bei unterschiedlichen hydrologischen Situationen Schwankungen, langfristig weist sie aber keine Tendenzen auf. Diese Erkenntnis wurde für die Prognosen zur morphodynamischen Reaktion durch das OTB in BAW, 2012a berücksichtigt. **Aus diesen Gründen gilt die in BAW, 2012a prognostizierte morphodynamischen Reaktion auf das OTB auch ohne die derzeit geplante Fahrrinnenanpassung der Unter- und Außenweser uneingeschränkt.**

10 Bewertung der Vorhabenswirkungen unter Berücksichtigung von Betroffenenheiten

10.1 Allgemeines

Die Vorhabenswirkung durch das OTB ist geprägt durch:

- die Zunahme der Strömungsgeschwindigkeit im eingegengten Bereich zwischen der OTB-Kaje und dem Gegenufer (Blexener Ufer),
- die Abnahme der Strömungsgeschwindigkeit im Abschattungsbereich stromauf und stromab des Terminals,
- die daraus resultierende Erosion und Sedimentation, d.h. die morphodynamische Reaktion der Gewässersohle,
- die Zunahme des Seegangs durch die Reflektionswirkung der OTB-Kaje.

Ferner ergibt sich aus den veränderten Strömungsgeschwindigkeiten eine Beeinflussung der lokalen Durchmischung und damit der lokalen Salz- und Schwebstoffkonzentrationen.

Aus wasserbaulicher Sicht relevante Änderungen der Wasserstände sind nicht festzustellen. Die wesentlichen Vorhabenswirkungen der abiotischen Systemparameter sind innerhalb eines Abstands von maximal 5 km zum OTB abgeklungen.

Bauzustände, die je nach Bauverfahren u. a. zu einer nennenswerten Erhöhung der Suspensionskonzentrationen führen können, wurden im Rahmen der vorliegenden Systemanalyse nicht betrachtet.

Die vorliegende Untersuchung stützt das Gutachten BAW, 2012a, da die grundsätzlichen Trends der Vorhabenswirkung des OTB bestätigt werden. Hinsichtlich der Vorhabenswirkungen auf die abiotischen Systemparameter liegt die Berücksichtigung der derzeit geplanten Fahrrinnenanpassung der Unter- und Außenweser in BAW, 2012a auf der sicheren Seite. Durch den größeren Fließquerschnitt ist die relative Querschnittseinengung durch das OTB ohne die derzeit geplante Fahrrinnenanpassung der Unter- und Außenweser geringer. Im scheinbaren Widerspruch dazu stehen die gegenüber BAW, 2012a teilweise größeren absoluten Werte der vorhabensbedingten Änderung im vorliegenden Gutachten. Sie sind im Wesentlichen auf die unterschiedlichen Verhältnisse in den Analysezeiträumen (2002 in BAW, 2012a und 2012 im vorliegenden Gutachten) zurückzuführen. Damit sind die gutachterlichen Aussagen aus BAW, 2012a auch für weitere hydrologische Situationen abgesichert. Durch den Vergleich der relativen Änderungen, bezogen auf die jeweils zugrundeliegenden Referenzzustände, erschließt sich der Einflüsse der derzeit geplanten Fahrrinnenan-

passung der Unter- und Außenweser auf die Vorhabenswirkung des OTB auf die abiotischen Systemparameter in der Weser.

Die relativen Änderungen sind in der vorliegenden Untersuchung (ohne die derzeit geplante Fahrrinnenanpassung der Unter- und Außenweser) zumeist kleiner als in BAW, 2012a. **Damit werden die Prognosen aus BAW, 2012a gestützt und es wird gezeigt, dass die Prognosen unabhängig von der derzeit geplanten Fahrrinnenanpassung der Unter- und Außenweser auf der sicheren Seite liegen.**

Durch die geringen Unterschiede der Vorhabenswirkung mit und ohne die derzeit geplante Fahrrinnenanpassung der Unter- und Außenweser auf die Strömungen und die Sohlschubspannungswirkung behalten die Aussagen zur vorhabensbedingten Änderung der Morphodynamik aus BAW, 2012a ihre Gültigkeit. Da die morphologische Wirkung mit Hilfe der vorliegenden Kenntnisse und Simulationsergebnisse nur abgeschätzt werden kann, wird empfohlen, die Sohllage jährlich im Herbst auf Veränderungen zu prüfen, weil wegen des jahreszeitlichen Wechsels gegen Ende der Periode geringer Oberwasserzuflüsse (Sommer) die tiefsten Sohllagen zu erwarten sind und die tatsächliche Entwicklung der Gewässersohle kontrolliert werden kann.

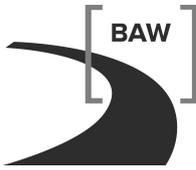
Im Folgenden werden die Vorhabenswirkungen hinsichtlich der Betroffenheiten – soweit auf Grund der vorliegenden Untersuchung erkannt oder vermutet – zusammengefasst.

10.2 Deichsicherheit

Die geringen vorhabensbedingten Änderungen der Sturmflut-Scheitelwasserstände und der Laufzeiten der Sturmflut-Scheitelwasserstände haben keinen relevanten Einfluss auf das derzeitige Hochwasserschutzniveau. Eine Betroffenheit der Deichsicherheit kann sich jedoch durch die Seegangsreflektion an der Kaje und die daraus folgende Zunahme der Wellenhöhen ergeben. Da hierfür weiterführende Untersuchungen vorliegen (NLWKN, 2014b), wird hier nicht weiter darauf eingegangen.

10.3 Anleger und Ufer am Blexener und Nordenhamer Ufer

Am Anleger der Titan-Werke ist vorhabensbedingt mit einem Anstieg der Strömungsgeschwindigkeiten von 0,02 bis 0,06 m/s zu rechnen. Tendenziell steigen dadurch die Sedimenttransportmengen in diesem Bereich an. Da die Liegewanne eine Unstetigkeitsstelle für den Sedimenttransport bildet, bedeutet dies tendenziell eine Verstärkung der Sedimentationsmengen.



Wegen der geringen Änderungsbeträge ist aber keine nennenswerte Zunahme der Baggermengen zu erwarten. Durch die Reflektion des Seegangs am OTB kommt es hier zu einer verstärkten Belastung durch Wellen.

Auch der Anleger der Weserfähre Bremerhaven-Blexen liegt im direkten Einflussbereich der Seegangsreflektion vom OTB, so dass hier vorhabensbedingt höhere Wellen auftreten können. Dies betrifft auch den Uferabschnitt zwischen den Anlegern der Weserfähre und der Titan-Werke (Uferdeckwerk), sowie in geringerem Maße den Uferabschnitt Einswarden, Am Deich.

Für die übrigen Anleger (Nordenhamer Ufer) sind keine nennenswerten Strömungsänderungen zu erwarten. Die Schwebstoffgehalte und Geschiebetransportmengen werden sich hier vorhabensbedingt nicht nennenswert verändern. Die Verstärkung des Seegangs durch vorhabensbedingte Reflektionswirkungen des OTB ist hier geringfügig. Mit einer nennenswerten Verschlechterung der Unterhaltungsbedingungen ist hier nicht zu rechnen.

10.4 Fischerei

Im Bereich des geplanten Offshore-Terminals ergeben sich vorhabensbedingte Veränderungen der Strömungsgeschwindigkeiten (über den gesamten Durchflussquerschnitt) und je nach Lage der Brackwasserzone vorhabensbedingte Anstiege der Schwebstoffkonzentrationen (nahe dem OTB und dem rechten Weserufer).

Bundesanstalt für Wasserbau
Hamburg, Juni 2015

Im Auftrag

Bearbeiter

gez. Rahl f

gez. Kl öpper

Dipl.-Ing. Holger Rahlf

Dipl.-Ing. Morten Klöpfer

11 Literaturverzeichnis

BAW (2006): Fahrrinnenanpassung der Unterweser, Fahrrinnenanpassung der Außenweser an die Entwicklungen im Schiffsverkehr sowie Tiefenanpassung der hafenbezogenen Wendestelle – Summationswirkung der Anpassungen von Unter- und Außenweser. Gutachten zur ausbaubedingten Änderung von Hydrodynamik und Salztransport. Bundesanstalt für Wasserbau, Hamburg (BAW-Nr. 5.02.10048.00-1).

BAW (2010a): Analyse der Berechnungsergebnisse. Hg. v. Bundesanstalt für Wasserbau. Bundesanstalt für Wasserbau. Online verfügbar unter http://www.baw.de/methoden/index.php5/Analyse_der_Berechnungsergebnisse, zuletzt aktualisiert am 26.08.2014Uhr, zuletzt geprüft am 20.03.2015 Uhr.

BAW (2010b): Tideunabhängige Kennwerte der Strömung. Bundesanstalt für Wasserbau. Online verfügbar unter http://www.baw.de/methoden/index.php5/Tideunabhängige_Kennwerte_der_Strömung, zuletzt aktualisiert am 16.09.2014Uhr, zuletzt geprüft am 18.02.2015 Uhr.

BAW (2010c): Tideunabhängige Kennwerte des Wasserstands. Bundesanstalt für Wasserbau. Online verfügbar unter http://www.baw.de/methoden/index.php5/Tideunabhängige_Kennwerte_des_Wasserstands, zuletzt aktualisiert am 16.09.2014Uhr, zuletzt geprüft am 18.02.2015 Uhr.

BAW (2012a): Wasserbauliche Systemanalyse für das Offshore-Terminal Bremerhaven. Bundesanstalt für Wasserbau, Hamburg (A 3955 02 10135).

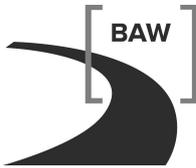
BAW (2012b): Wasserbauliche Systemanalyse für das Offshore-Terminal Bremerhaven - Klappstellenuntersuchung. Bundesanstalt für Wasserbau, Hamburg (A 3955 02 10135).

BAW (2015): Validierung des Basismodells „Jade-Weser-Ästuar“ für das Verfahren Un-TRIM2007-SediMorph Version 1: Topographie 2012. Bundesanstalt für Wasserbau, Hamburg.

Casulli, V., Lang, G. (2004): Technical Report Mathematical Model UnTRIM Validation Document. Version June 2004 (1.0), Trento Hamburg. Online verfügbar unter http://www.baw.de/downloads/wasserbau/mathematische_verfahren/pdf/Simulationsverfahren_Kueste_validation_document-untrim-2004.pdf.

Grosser, M. et al. (2013): Aufbau eines Digitalen Geländemodells des Jade-Wasserlaufes – 2012. DGM-W Jade 2012. Abschlussbericht. Hg. v. Arbeitsgemeinschaft (ARGE) inphoris GmbH – smile consult GmbH, Oberhaching.

Grosser, M. et al. (2014): Airborne Laser-Scanner-Befliegungen der Unter- und Außenweser – 2012 bis 2015. Abschlussbericht Bearbeitungsjahr 2012. Unter Mitarbeit von M. Betzler et al. Hg. v. Arbeitsgemeinschaft (ARGE) inphoris GmbH – smile consult GmbH, Oberhaching.



Institut für Wasserbau der Hochschule Bremen (Hrsg.) (2011): In situ Messungen im Bereich des geplanten Offshore Terminals Bremerhaven. Institut für Wasserbau der Hochschule Bremen, Bremen.

Malcherek, A. et al. (2005): Technical Report Matematical Module SediMorph Validation Document. Version 1.1. Bundesanstalt für Wasserbau, Hamburg. Online verfügbar unter http://www.baw.de/downloads/wasserbau/mathematische_verfahren/pdf/vd-sedimorph.pdf.

Nasner, H. (2011): Offshore Terminal Bremerhaven, Studie zur Stabilität der Kolke im Blexer Bogen. 1998-2010. Bremenports GmbH Co. KG.

Niemeyer (2007): Ermittlung des rechnerischen Besticks an der Unterweser bei Berücksichtigung des neu festgesetzten Vorsorgemaßes für säkularen Anstieg und Klimaänderungen. Hg. v. NLWKN. Forschungsstelle Küste.

NLÖ (2003): Ergebnisse der Untersuchungen zur Sturmflutsicherheit an der Unterweser. Hg. v. Niedersächsisches Landesamt für Ökologie. Forschungsstelle Küste, Norderney.

NLWKN (Hrsg.) (2014a): Deutsches Gewässerkundliches Jahrbuch 2011. Weser- und Emsgebiet. 1.11.2010 - 31.12.2011, Norden.

NLWKN (Hrsg.) (2014b): Überprüfung der Sturmflutsicherheit im Einflussbereich des geplanten Offshore-Terminals Bremerhaven. Forschungsstelle Küste, Norderney.



Bundesanstalt für Wasserbau
Kompetenz für die Wasserstraßen

Kußmaulstraße 17 · 76187 Karlsruhe
Tel. 0721 97 26-0 · Fax 0721 97 26-45 40

Wedeler Landstraße 157 · 22559 Hamburg
Tel. 040 81 908-0 · Fax 040 81 908-373

www.baw.de