

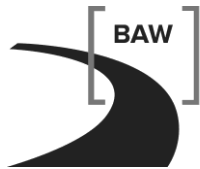
**Bundesanstalt für Wasserbau**  
Kompetenz für die Wasserstraßen

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

**S t e l l u n g n a h m e  
zu den Wirkungen des Terminals  
o h n e Fahrinnenanpassung  
der Unter- und Außenweser**

**A 3955 02 10163**





**Bundesanstalt für Wasserbau**  
Kompetenz für die Wasserstraßen

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

**S t e l l u n g n a h m e  
zu den Wirkungen des Terminals  
o h n e Fahrinnenanpassung  
der Unter- und Außenweser**

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

Auftrag vom: 26.11.2013

Auftrags-Nr.: BAW-Nr. A 3955 02 10163

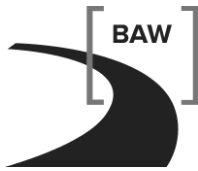
Aufgestellt von: Abteilung: Wasserbau im Küstenbereich  
Referat: Ästuarsysteme I (K2)  
Bearbeiter: Dr.-Ing. R. Schubert  
Dr.-Ing. U. Vierfuß  
Dipl.-Ing. M. Klöpper  
Dipl.-Ing. H. Brand  
Dipl.-Ing. U. Schiller

Hamburg, im Februar 2014

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







## Zusammenfassung

Die Bremenports GmbH & Co KG plant die Errichtung eines Offshore-Terminals in Bremerhaven (OTB) für den wachsenden Markt der Offshore-Windkraftanlagen. Verschiedene Randbedingungen führten zu einem Ausführungsentwurf, der eine Anlage des Terminals im Blexer Bogen auf der Seite Bremerhavens vorsieht. Im Auftrag des Vorhabensträgers hat die BAW ein Untersuchungskonzept zur Ermittlung maßnahmenbezogener Wirkungen auf abiotische Systemparameter aufgestellt und umgesetzt. Zur Dokumentation und Bewertung der Ergebnisse wurde im September 2012 ein Gutachten vorgelegt (BAW 2012a). Außerdem ist geplant, bei der Herstellung des Terminals (Liegewanne, Zufahrt) anfallendes Baggergut, soweit zur Verklappung geeignet, auf Klappstellen in der Außenweser zu verbringen. Eine zur Beurteilung dieser Maßnahme erforderliche Klappstellenuntersuchung wurde ebenfalls von der BAW durchgeführt und im Gutachten von September 2012 dokumentiert (BAW 2012b).

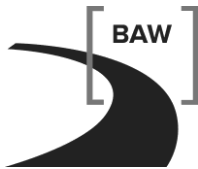
Beide Gutachten beruhen unter anderem auf den Simulationsergebnissen numerischer Modelle, bei deren Topographie die Umsetzung der Fahrrinnenanpassung Unter- und Außenweser (Planfeststellungsbeschluss der WSD Nordwest vom 15. Juli 2011) vorausgesetzt wurde. Wegen der anhängigen Gerichtsverfahren zur geplanten Fahrrinnenanpassung ist deren Umsetzung z. Z. unsicher. Um diesbezügliche Fragen im Rahmen des Planfeststellungsverfahrens für das OTB beantworten zu können, wurde die BAW beauftragt, kurzfristig eine Einschätzung abzugeben, mit welchen Vorhabenswirkungen unter der Randbedingung zu rechnen ist, dass die Fahrrinnenanpassung nicht ausgeführt wird. Dies betrifft die Wirkungen auf

- die Strömungen und Wasserstände
- die Transportprozesse
- die Scheitelwasserstände und Laufzeiten bei Sturmfluten
- die Seegangsverhältnisse
- die Morphodynamik und Sedimenttransport
- die Ausbreitung des verklappten Baggerguts

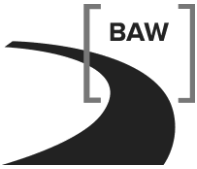
In der vorliegenden Stellungnahme werden die wesentlichen Ergebnisse der o. g. Gutachten zusammengefasst, die relevanten Ausbauwirkungen der Fahrrinnenanpassung der Unter- und Außenweser beschrieben und darauf aufbauend die Auswirkungen des OTB für den Fall ohne die geplante Fahrrinnenanpassung abgeschätzt.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass die Prognosen der o. g. BAW-Gutachten auch für den Fall ohne die geplante Fahrrinnenanpassung angewendet werden können, weil sie auf der sicheren Seite liegen und weil nur geringfügige Unterschiede zu erwarten sind.





<b>Inhaltsverzeichnis</b>		<b>Seite</b>
1	Veranlassung und Aufgabenstellung	7
2	Unterlagen und Daten	8
3	Untersuchungskonzept	10
3.1	Hydro- und morphodynamische Wirkungen im Weserästuar durch die Errichtung des Terminals im Blexer Bogen	10
3.2	Ausbreitung des Baggerguts bei Verbringung von Aushubmaterial in die Außenweser	11
4	Auswirkungen auf die Strömungen und die Wasserstände (mittlere Tide- und Oberwasserverhältnisse)	13
4.1	Allgemeines, Wirkungszusammenhänge	13
4.2	Vorhabenswirkungen mit Fahrrinnenanpassung (BAW 2012a)	14
4.2.1	Vorhabensbedingte Änderungen der Strömungen	14
4.2.2	Vorhabensbedingte Änderungen des Tidenhubs und der Wasserstände	18
4.3	Relevante Wirkungen der Fahrrinnenanpassung	18
4.3.1	Vorbemerkung	18
4.3.2	Ausbauwirkungen der Fahrrinnenanpassung (BAW 2006a)	18
4.3.3	Analyse der Gewässerquerschnitte im Bereich des geplanten OTB	20
4.4	Vorhabenswirkungen ohne Fahrrinnenanpassung	26
5	Auswirkungen auf die Transportprozesse (mittlere Tide- und Oberwasserverhältnisse)	28
5.1	Allgemeines, Wirkungszusammenhänge	28
5.2	Vorhabenswirkungen mit Fahrrinnenanpassung (BAW 2012a)	29
5.2.1	Vorhabensbedingte Änderungen der Salzgehalte	29
5.2.2	Vorhabensbedingte Änderungen der Schwebstoffgehalte	33
5.3	Relevante Wirkungen der Fahrrinnenanpassung (BAW 2006a, b)	35
5.4	Vorhabenswirkungen ohne Fahrrinnenanpassung	35
6	Auswirkungen auf die Scheitelwasserstände und Laufzeiten der Sturmfluten	38
6.1	Allgemeines, Wirkungszusammenhänge	38
6.2	Vorhabenswirkungen mit Fahrrinnenanpassung (BAW 2012a)	39
6.3	Relevante Wirkungen der Fahrrinnenanpassung (BAW 2006c, d)	43
6.4	Vorhabenswirkungen ohne Fahrrinnenanpassung	43
7	Auswirkungen auf die Seegangsverhältnisse	45



7.1	Allgemeines, Wirkungszusammenhänge	45
7.2	Vorhabenswirkungen mit Fahrrinnenanpassung (BAW 2012a)	46
7.3	Relevante Wirkungen der Fahrrinnenanpassung (BAW 2006a - d)	48
7.4	Vorhabenswirkungen ohne Fahrrinnenanpassung	49
8	Auswirkungen auf die Morphodynamik und den Sedimenttransport	50
8.1	Allgemeines, Wirkungszusammenhänge	50
8.2	Vorhabenswirkungen mit Fahrrinnenanpassung (BAW 2012a)	52
8.3	Relevante Wirkungen der Fahrrinnenanpassung (BAW 2006a, b)	54
8.4	Vorhabenswirkungen ohne Fahrrinnenanpassung	54
9	Klappstellenuntersuchung	56
9.1	Allgemeines, Wirkungszusammenhänge	56
9.2	Vorhabenswirkungen mit Fahrrinnenanpassung (BAW 2012b)	59
9.2.1	Suspensionskonzentrationen	59
9.2.2	Sedimentationshöhen	63
9.3	Relevante Wirkungen der Fahrrinnenanpassung (BAW 2006a, b)	65
9.4	Vorhabenswirkungen ohne Fahrrinnenanpassung	69
10	Literaturverzeichnis	71

## Bildverzeichnis

## Seite

Bild 1:	Lage des geplanten Offshore-Terminals Bremerhaven	7
Bild 2:	3D-Darstellung der Topographie des Blexer Bogens (Blick aus südwestlicher Richtung, Überhöhung 1 : 10)	13
Bild 3:	Maximale Flutstromgeschwindigkeiten im Analysezeitraum: mit OTB, mit Fahrrinnenanpassung (tiefengemittelt, mittl. Tide- und Oberwasserverhältnisse)	16
Bild 4:	Vorhabensbedingte Änderungen der maximalen Flutstromgeschwindigkeiten durch das OTB im Analysezeitraum, mit Fahrrinnenanpassung (tiefengemittelt, mittlere Tide- und Oberwasserverhältnisse)	16
Bild 5:	Maximale Ebbestromgeschwindigkeiten im Analysezeitraum: mit OTB, mit Fahrrinnenanpassung (tiefengemittelt, mittl. Tide- und Oberwasserverhältnisse)	17
Bild 6:	Vorhabensbedingte Änderungen der maximalen Ebbestromgeschwindigkeiten durch das OTB im Analysezeitraum, mit Fahrrinnenanpassung (tiefengemittelt, mittlere Tide- und Oberwasserverhältnisse)	17
Bild 7:	Ausbaubedingte Änderung der maximalen Flutstromgeschwindigkeiten und Ebbestromgeschwindigkeiten durch die Fahrrinnenanpassung (tiefengemittelt, BAW 2006a)	19
Bild 8:	Schematische Darstellung der betrachteten Querschnittsänderungen im Blexer Bogen (unmaßstäblich)	20
Bild 9:	Ausgewertete Querprofile	21
Bild 10:	Darstellung des Querprofils 1	23
Bild 11:	Darstellung des Querprofils 2	23
Bild 12:	Darstellung des Querprofils 3	24
Bild 13:	Querschnittsflächen der Querprofile 1 bis 3 mit und ohne OTB in Abhängigkeit vom Wasserstand	24
Bild 14:	Integrale $h^{5/3}$ -db der Querprofile 1 bis 3 mit und ohne OTB in Abhängigkeit vom Wasserstand	25
Bild 15:	Vorhabensbedingte Änderung der Querschnittsflächen und Durchflusskapazitäten in den Querprofilen 1 bis 3	25
Bild 16:	Maximale Salzgehalte im Analysezeitraum (mit OTB, mit Fahrrinnenanpassung, tiefengemittelt)	31
Bild 17:	Vorhabensbedingte Änderungen der maximalen Salzgehalte im Analysezeitraum (mit Fahrrinnenanpassung, tiefengemittelt)	31
Bild 18:	Maximale Salzgehaltsvariation im Analysezeitraum (mit OTB, mit Fahrrinnenanpassung, tiefengemittelt)	32
Bild 19:	Vorhabensbedingte Änderungen der maximalen Salzgehaltsvariation im Analysezeitraum (mit Fahrrinnenanpassung, tiefengemittelt)	32
Bild 20:	Maximale Schwebstoffgehalte im Analysezeitraum (mit OTB, mit Fahrrinnenanpassung, tiefengemittelt)	34

Bild 21: Vorhabensbedingte Änderungen der maximalen Schwebstoffgehalte im Analysezeitraum (mit Fahrrinnenanpassung, tiefengemittelt)	34
Bild 22: Flutstromgeschwindigkeiten bei der Bemessungssturmflut 2003 (Referenz)	40
Bild 23: Flutstromgeschwindigkeiten bei der Bemessungssturmflut 2003 (mit OTB, mit Fahrrinnenanpassung)	40
Bild 24: Vorhabensbedingte Änderungen der Flutstromgeschwindigkeiten bei der Bemessungssturmflut 2003 (mit Fahrrinnenanpassung)	41
Bild 25: Wasserstandsganglinien der Bemessungssturmflut 2003 und Differenzen am Pegel Bremen (Wilhelm-Kaisen-Brücke), mit Fahrrinnenanpassung	41
Bild 26: Wasserstandsganglinien der Bemessungssturmflut 2003 und Differenzen am Pegel Bremerhaven (Alter Leuchtturm), mit Fahrrinnenanpassung	42
Bild 27: Änderung des Scheitelwasserstandes der Bemessungssturmflut 2003 (mit Fahrrinnenanpassung)	42
Bild 28: Signifikante Wellenhöhen beim Scheitelwasserstand (mit OTB, mit Fahrrinnenanpassung)	47
Bild 29: Vorhabensbedingte Änderungen der signifikanten Wellenhöhen beim Scheitelwasserstand (mit Fahrrinnenanpassung)	47
Bild 30: Prognosewerte für die Zunahme der signifikanten Wellenhöhen an den Deichlinien (mit Fahrrinnenanpassung, mit Steelwind-Kaje, mit Anhebung der Wasserstände um 25 cm, mit Berücksichtigung der Ausführungsplanung für die geböschten Flanken des OTB)	48
Bild 31: Unterwassertopographie im Bereich des OTB (Herbstpeilung 2010 des WSA Bremerhaven, aus: Nasner 2011)	50
Bild 32: Angenommener langfristiger morphologischer Systemzustand	53
Bild 33: Höhendifferenzen des angenommenen langfristigen morphologischen Systemzustands (Bild 32) zum Ausbauzustand unmittelbar nach Einbau des Terminals und des Zufahrtsbereichs	53
Bild 34: Lage der Klappstellen (Quelle: <a href="http://www.weseranpassung.de">www.weseranpassung.de</a> )	56
Bild 35: Verklappungsbedingte Suspensionskonzentrationen unmittelbar nach der vorletzten Verklappung auf Klappstelle T2 („09.06. 06:30“, tiefengemittelt)	60
Bild 36: Verklappungsbedingte Suspensionskonzentrationen am Ende der nächsten Flutphase nach Bild 35 („09.06. 12:30“, tiefengemittelt)	60
Bild 37: Verklappungsbedingte Suspensionskonzentrationen unmittelbar nach der letzten Verklappung auf Klappstelle T2 („09.06. 18:30“, tiefengemittelt)	61
Bild 38: Verklappungsbedingte Suspensionskonzentrationen unmittelbar nach der letzten Verklappung („15.06. 18:30“, tiefengemittelt)	61
Bild 39: Verklappungsbedingte Suspensionskonzentrationen am Ende der Ebbephase nach der letzten Verklappung („15.06. 23:00“, tiefengemittelt)	62
Bild 40: Verklappungsbedingte Suspensionskonzentrationen am Ende der nächsten Flutphase nach der letzten Verklappung („16.06. 05:30“, tiefengemittelt)	62
Bild 41: Verklappungsbedingte Sedimentationshöhen am Ende des Verklappungszeitraums	64

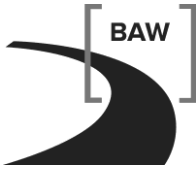


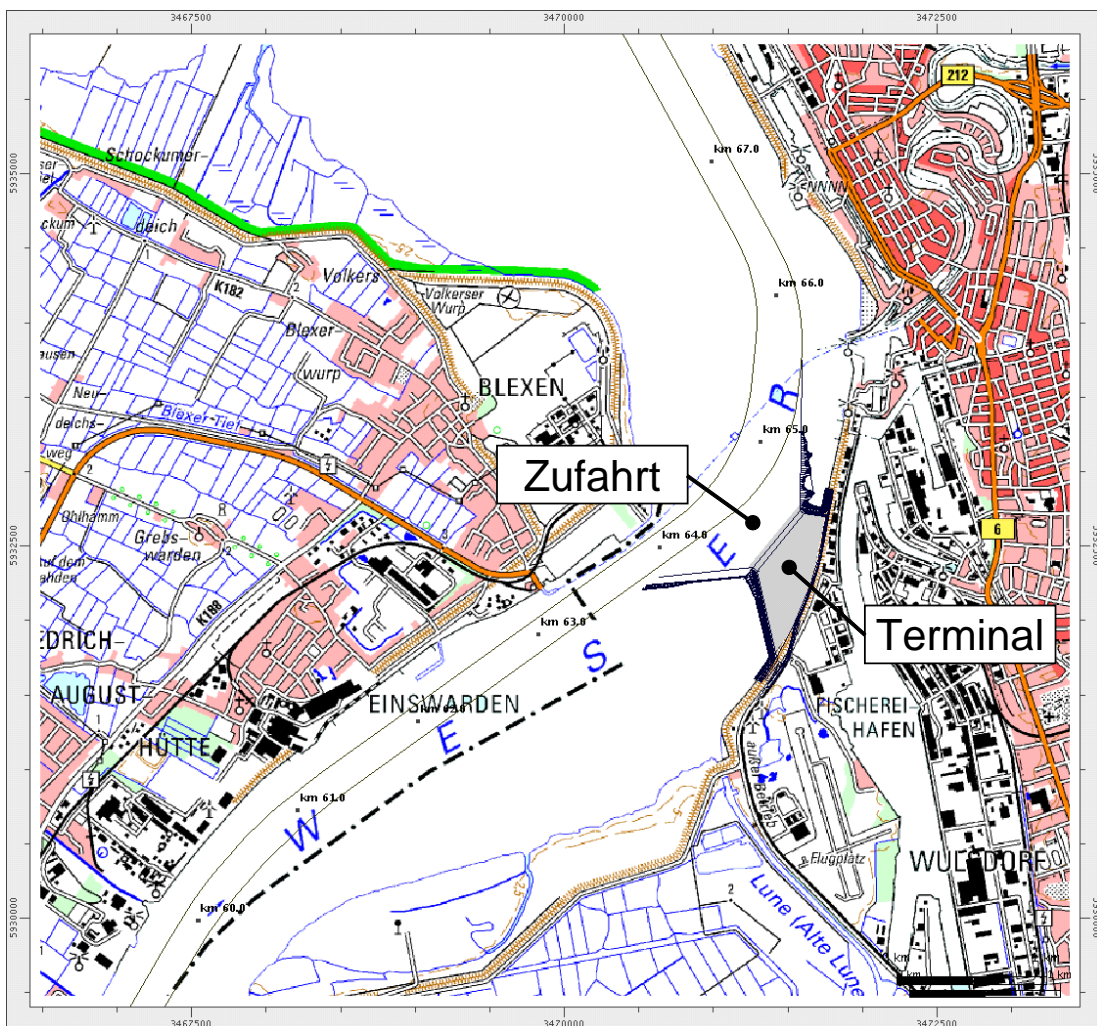
Bild 42: Maximale Flutstromgeschwindigkeiten in der Außenweser für den Referenzzustand mit heutigen Solltiefen (tiefengemittelt, BAW 2006a)	66
Bild 43: Änderung der maximalen Flutstromgeschwindigkeiten in der Außenweser durch die Fahrrinnenanpassung (tiefengemittelt, BAW 2006a)	66
Bild 44: Maximale Ebbestromgeschwindigkeiten in der Außenweser für den Referenzzustand mit heutigen Solltiefen (tiefengemittelt, BAW 2006a)	67
Bild 45: Änderung der maximalen Ebbestromgeschwindigkeiten in der Außenweser durch die Fahrrinnenanpassung (tiefengemittelt, BAW 2006a)	67





## 1 Veranlassung und Aufgabenstellung

Auf Grund des stark wachsenden Marktes für Offshore-Windkraftanlagen plant Bremenports die Errichtung eines Offshore-Terminals in Bremerhaven (OTB). Verschiedene Randbedingungen (landseitige Transportwege, benötigte Flächen, Abstände zur Fahrrinne und zu avifaunistisch hochwertigen Bereichen) führten zu einem Ausführungsentwurf, der eine Anlage des Terminals im Blexer Bogen auf der Seite Bremerhavens vorsieht (Bild 1).



**Bild 1: Lage des geplanten Offshore-Terminals Bremerhaven**

Die Auswirkungen des Terminals auf die Hydrodynamik und auf die Transportprozesse im Weserästuar waren detailliert zu untersuchen. Im Auftrag des Vorhabensträgers, der Bremenports GmbH & Co. KG, hat die BAW ein Untersuchungskonzept zur Ermittlung maßnahmenbezogener Wirkungen auf abiotische Systemparameter aufgestellt und umgesetzt.

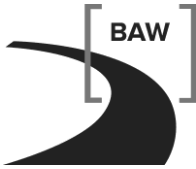
Zur Dokumentation und Bewertung der Ergebnisse wurde im September 2012 ein Gutachten vorgelegt (BAW 2012a).

Es ist geplant, bei der Herstellung des Terminals (Liegewanne, Zufahrt) anfallendes Baggergut, soweit zur Verklappung geeignet, auf Klappstellen in der Außenweser zu verbringen. Eine zur Beurteilung dieser Maßnahme erforderliche Klappstellenuntersuchung wurde ebenfalls von der BAW durchgeführt und im Gutachten von September 2012 dokumentiert (BAW 2012b).

Beide Gutachten beruhen unter anderem auf den Simulationsergebnissen numerischer Modelle, bei deren Topographie die Umsetzung der Fahrrinnenanpassung Unter- und Außenweser (Planfeststellungsbeschluss der WSD Nordwest vom 15. Juli 2011) vorausgesetzt wurde. Wegen der anhängigen Gerichtsverfahren zur geplanten Fahrrinnenanpassung ist deren Umsetzung z. Z. unsicher. Daher wurde die BAW beauftragt, kurzfristig eine Einschätzung abzugeben, mit welchen Vorhabenswirkungen des OTB unter der Randbedingung zu rechnen ist, dass die Fahrrinnenanpassung nicht ausgeführt wird.

## 2 Unterlagen und Daten

- [1] Lageplan mit Liegewanne, E-Mail mit 1 Zeichnung, Ulrich Kraus, Bremenports GmbH & Co. KG, 22. Dezember 2010
- [2] Offshore-Terminal Bremerhaven (OTB), Erläuterungsbericht. Bremenports GmbH & Co. KG, Dok-ID 412348, Dezember 2012
- [3] Offshore-Terminal Bremerhaven, Randdämme – Querschnitte Seedeich / Anschluss Terminal, Zeichnungs-Nr. 5.8, Bremenports GmbH & Co. KG, 01.11.2012
- [4] Baugrunderkundung im Rahmen einer Machbarkeitsstudie. Notiz, Dr. A. Richwien, Bremenports, 09.04.2009
- [5] Baugrunderkundung im Bereich des OTB. Institut Dr. Nowak, Oldenburg, 19.04.2011
- [6] Schwerlastkai Steelwind, Lageplan Gesamtanlage Planung, Zeichnung 521212/1-1-0.03, Vorabzug Stand 20.04.2012
- [7] Angaben zu den zugewiesenen Klappstellen, E-Mail, Anna Ebbighausen, Bremenports GmbH & Co. KG, 21. September 2011
- [8] Bericht zum Einzelauftrag von Bremenports zur Entnahme und Untersuchung von Proben am geplanten Offshore-Terminal in Bremerhaven, erstellt durch Dr. Jörg Ebert, Institut Dr. Nowak, Ottersberg, 22.06.2011



- [9] DGM-W Weser 2012. Erstellt im Auftrag der Bundesanstalt für Gewässerkunde durch die Inphoris GmbH, Oberhaching (Abschlussbericht in Vorbereitung)

Für die Bilder in der vorliegenden Stellungnahme wurde Kartenmaterial aus dem WSV-Geoportal verwendet.

### **3 Untersuchungskonzept**

#### **3.1 Hydro- und morphodynamische Wirkungen im Weserästuar durch die Errichtung des Terminals im Blexer Bogen**

In der vorliegenden Stellungnahme werden die maßnahmenbedingten Wirkungen des Offshore-Terminals Bremerhaven (OTB) auf die abiotischen Systemparameter des Weserästuars:

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

unter Berücksichtigung der heute gültigen Solltiefen (d. h. ohne die geplante Fahrrinnenanpassung) eingeschätzt.

Die Grundlage dafür ist die im BAW-Gutachten 2012a dargestellte Hauptuntersuchung, die der Erstellung der Antragsunterlagen für das Planfeststellungsverfahren und als grundlegender Beitrag für die darauf aufbauenden Umweltfolgenabschätzungen diente. Dort wurden die maßnahmenbedingten Änderungen abiotischer Parameter auf der Grundlage wasserbaulicher Systemstudien eingehend untersucht, wobei hydro- und morphodynamische 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 Zustand mit OTB und Referenzzustand) berechnet. Die maßnahmebedingten, verfahrensrelevanten Änderungen wurden hieraus unter Einbeziehung des wasserbaulichen Expertenwissens bestimmt.

Die Fahrrinnenanpassung der Unter- und Außenweser wurde in den Modelltopographien berücksichtigt. Die Prognosewerte der Vorhabenswirkungen des OTB im Gutachten BAW 2012a beziehen sich also auf den planerischen Ist-Zustand nach Realisierung der Fahrrinnenanpassungen und enthalten somit die daraus resultierende Beeinflussung der Vorhabenswirkungen.

Die exakte Quantifizierung der Vorhabenswirkungen ohne Fahrrinnenanpassung erfordert nach dem Stand der Technik die Durchführung neuer Modellsimulationen und somit die Wiederholung praktisch des gesamten in BAW 2012a beschriebenen Untersuchungsprogramms. Die daraus resultierenden Verzögerungen für das Planfeststellungsverfahren sollen dadurch vermieden werden, dass unter Verzicht auf die exakte Quantifizierung eine

Einschätzung der veränderten Vorhabenswirkungen mit Hilfe theoretischer Überlegungen auf der Grundlage der vorliegenden Untersuchungsergebnisse durchgeführt wird.

Die Wirkungen des OTB auf die Tidedynamik - und damit auf die Transportprozesse und die Morphodynamik - sind im Wesentlichen durch den Einengungseffekt bestimmt, der wiederum von den Querschnittsverhältnissen vor und nach dem Bau des OTB bzw. mit und ohne die Fahrrinnenanpassung der Weser abhängt. Aus diesem Grunde werden zunächst im Kapitel 4 die Strömungsbedingungen eingehend behandelt und die Abflussquerschnitte im Bereich des OTB unter den verschiedenen Bedingungen analysiert.

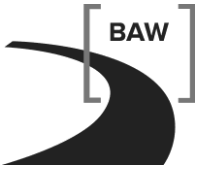
In der vorliegenden Stellungnahme werden – analog zum Gutachten BAW 2012a – die o. g. Systemparameter kapitelweise behandelt, wobei jeweils wie folgt vorgegangen wird:

- Beschreibung der Wirkungszusammenhänge
- Auswertung der Ergebnisse der bisherigen Untersuchungen
  - Wirkungen des Offshore-Terminals (BAW 2012a)
  - Wirkungen der Fahrrinnenanpassung (BAW 2006 a, b, c, d)
- Einschätzung der Vorhabenswirkungen des OTB
  - Berücksichtigung der genannten Ergebnisse
  - Berücksichtigung konzeptbedingter Prognoseunsicherheiten z. B. durch entsprechende Aufschläge auf Prognosewerte

Im Gutachten 2012a wurde die Fahrrinnenanpassung sowohl der Unter- als auch der Außenweser vorausgesetzt, daher ist im Folgenden mit dem Begriff „Ausbauwirkung“ der Fahrrinnenanpassung immer die Summationswirkung des Unter- und Außenweserausbaus gemeint. Im Gegensatz dazu werden die Effekte des OTB als „Vorhabenswirkung“ bezeichnet. Da mit Vorlage dieser Stellungnahme und dem Gutachten 2012a eine Prognose der Vorhabenswirkungen sowohl mit als auch ohne Ausbau der Unter- und Außenweser vorliegt, kann die Wirkung des OTB auch für einen reduzierten Weserausbau mit geringeren Ausbauwirkungen beurteilt werden.

### **3.2 Ausbreitung des Baggerguts bei Verbringung von Aushubmaterial in die Außenweser**

Im Rahmen der Herstellung des Terminals ist geplant, die Gewässersohle vor dem Terminal zu vertiefen, um so die erforderlichen Wassertiefen für den Zufahrtsbereich und die Liegewanne zu schaffen. Die Baggermengen sollen, soweit sie zur Verklappung geeignet sind, auf die bestehenden Unterhaltungsklappstellen T1 und T2 in der Außenweser verbracht werden.



Im Auftrag von Bremenports wurde bereits untersucht, wie sich das in der Bauphase entnommene Baggergut nach der Verklappung auf die zugewiesenen Klappstellen verhalten wird:

- verklappungsbedingte lokale Zunahme der Suspensionskonzentration („Baggergutwolke“)
- Verdriftung des Baggerguts
- verklappungsbedingte Sedimentationshöhen

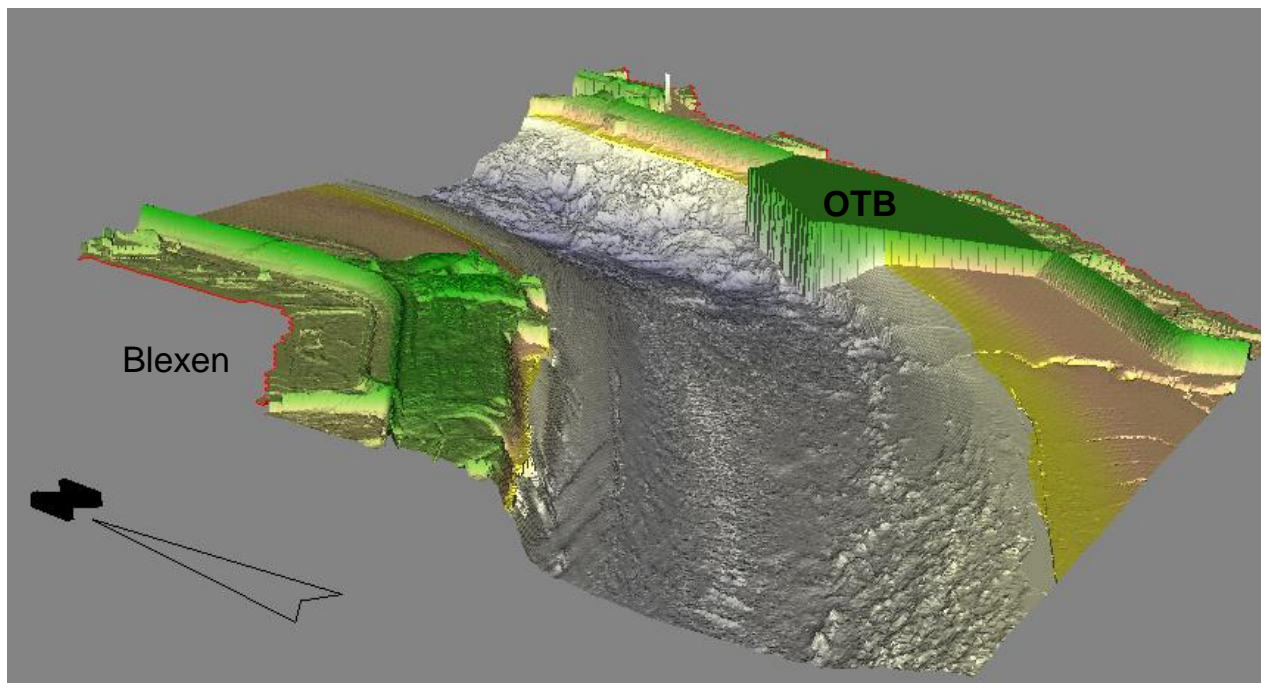
Die Ergebnisse dieser Klappstellenuntersuchung wurden im BAW-Gutachten 2012b beschrieben und bewertet. Auch hier wurde als Randbedingung die geplante Fahrrinnenanpassung der Unter- und Außenweser berücksichtigt.

Die o. g. Effekte der Baggergutverklappung sind von den Strömungsbedingungen in der Außenweser abhängig, die wiederum durch Ausbaumaßnahmen in der Fahrrinne beeinflusst werden können (Größe und Verteilung der Strömungsgeschwindigkeiten Fahrrinne / Seitenbereiche). In der vorliegenden Stellungnahme werden daher die vorliegenden Untersuchungsergebnisse über die Wirkungen des Fahrrinnenausbaus (BAW 2006a) im Hinblick auf die Baggergutausbreitung analysiert und die Ergebnisse der Klappstellenuntersuchung (BAW 2012b) auf dieser Basis überprüft.

## 4 Auswirkungen auf die Strömungen und die Wasserstände (mittlere Tide- und Oberwasserverhältnisse)

### 4.1 Allgemeines, Wirkungszusammenhänge

Das geplante OTB befindet sich am Außenufer des Blexer Bogens der Weser. Der Gewässerabschnitt ist durch eine starke Gezeitenströmung gekennzeichnet, wobei die höchsten Strömungsgeschwindigkeiten bei Ebbe erreicht werden.



**Bild 2:** 3D-Darstellung der Topographie des Blexer Bogens (Blick aus südwestlicher Richtung, Überhöhung 1 : 10)

Vorhabensbedingt ergeben sich mit der Einrichtung des OTB aus hydrodynamischer Sicht folgende Effekte:

- Durch das Terminal selbst wird ein Teil des Gewässerquerschnitts verbaut mit folgenden grundsätzlichen Einflüssen auf die Strömung bzw. die Tidewelle:
  - Für die tide- und oberwasserbedingte Strömung erfolgt eine Einengung mit einer lokalen Erhöhung der Strömungsgeschwindigkeiten (lokale Beschleunigung) und 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 und daraus eine Verstärkung der Amplitude seeseitig und Minderung binnenseitig des Terminals.
- Ferner ergibt sich auch ein Verlust an Tidevolumen durch das Volumen des Bauwerks selbst. Wegen der relativ geringen Größe und mündungsnahen Lage ist dieser Effekt jedoch von untergeordneter Bedeutung für das Gesamtästuar.
- 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 jedoch nur geringe Abgrabungen erforderlich, um die geplanten Sohllagen herzustellen, so dass der Einfluss der Einengung überwiegt.

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 dort nicht sehr intensiv ist, sind mäßige Auswirkungen auf die Hydrodynamik der Weser zu erwarten. Diese Auswirkungen wurden im BAW-Gutachten 2012a quantifiziert; im folgenden Abschnitt 4.2 werden sie kurz zusammengefasst.

## **4.2 Vorhabenswirkungen mit Fahrrinnenanpassung (BAW 2012a)**

### **4.2.1 Vorhabensbedingte Änderungen der Strömungen**

Die Wirkungen der Maßnahme sind durch den Vorbau der Hafensfläche in den Strom der Weser geprägt. Der Vorbau der Hafensfläche engt den Fließquerschnitt am östlichen Ufer ein und führt dort zu einer veränderten Stromführung am Prallhang des Weserästuars. 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.

Die lokale Veränderung der Strömungsgeschwindigkeiten ist ein wesentliches Merkmal der Vorhabenswirkungen. In den folgenden Bildern sind die maximalen Flut- und Ebbestromgeschwindigkeiten des Analysezeitraums und deren vorhabensbedingte Änderungen gem. BAW-Gutachten 2012a nochmals wiedergegeben (Bild 3 bis Bild 6).

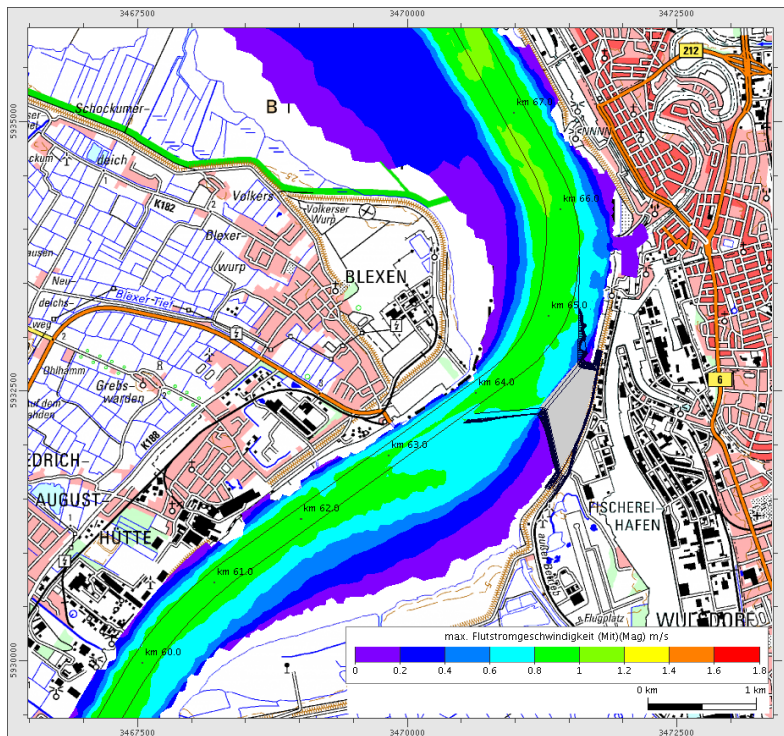
Aus der Einengung der Strömung ergeben sich sowohl Strömungszunahmen als auch Strömungsabnahmen, wobei im Wesentlichen die folgenden Wirkungen zu unterscheiden sind:



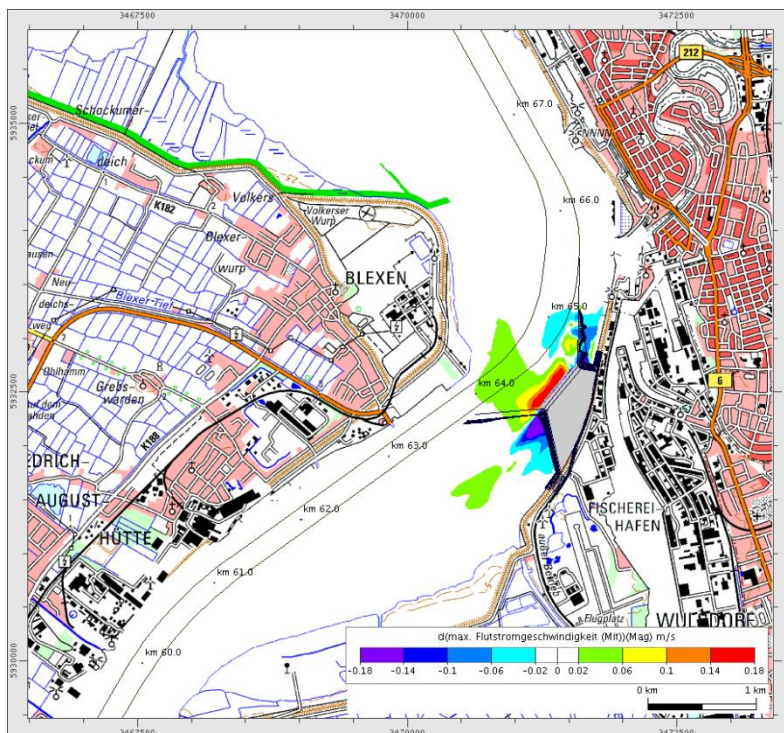
- Die Vorhabenswirkungen werden durch den Einengungseffekt dominiert, der die Strömungsgeschwindigkeiten über den gesamten Gewässerquerschnitt zwischen Kaje und Gegenufer erhöht. In der Fahrrinne beträgt die Zunahme der tiefengemittelten mittleren Strömungsgeschwindigkeiten bis zu rd. 0,05 m/s, die Zunahme der tiefengemittelten maximalen Ebbestromgeschwindigkeiten bis zu 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.
- Die Baggerung betrifft hauptsächlich die Liegewanne und eine Untiefe vor dem nördlichen Abschnitt der Kaje; damit wird die Gewässersohle in diesem Bereich lokal geglättet. Dies macht sich besonders bei voll entwickeltem Flutstrom durch einen Anstieg der Strömungsgeschwindigkeiten bemerkbar (Bild 4). Insgesamt sind die tiefengemittelten Strömungszunahmen im Zufahrtsbereich dort besonders groß, wo zuvor geringe Geschwindigkeiten vorlagen, und betragen bis zu rd. 0,20 m/s.
- Der Abschattungseffekt des Terminals führt zu ufernahen Geschwindigkeitsabnahmen unmittelbar vor und hinter dem Bauwerk.
- Bei Ebbestrom findet eine Verlagerung der Strömung zum Bremerhavener Ufer statt (Weser-km 65 bis 68), so dass in Ufernähe tiefengemittelte Geschwindigkeitszunahmen von etwa 0,05 m/s auftreten (lokal bis zu 0,15 m/s).

Die genannten Wirkungen sind im Wesentlichen auf das nahe Umfeld des OTB beschränkt („lokale Effekte“). Spätestens in einem Abstand von ca. 5 km vom Terminal sind die Geschwindigkeitsänderungen auf unter 0,02 m/s abgeklungen.

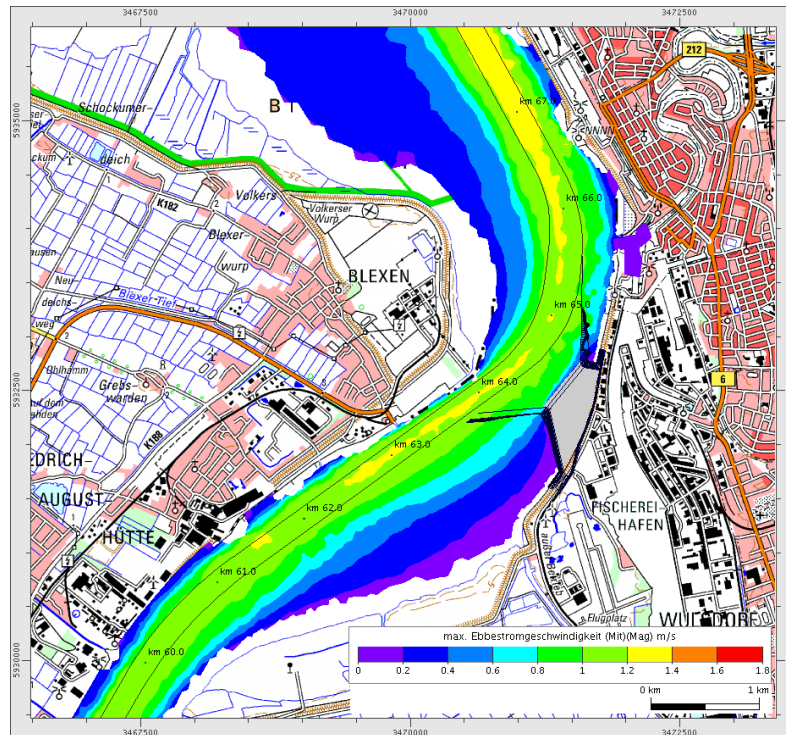
Bei der Bewertung der lokalen Geschwindigkeitszunahmen sollte beachtet werden, dass es sich (bei punktueller Betrachtungsweise) zwar um deutliche, signifikante Änderungen handelt. Die Strömungscharakteristik des Blexer Bogens insgesamt wird dadurch jedoch nicht verändert. Mit einer möglichen morphologischen Anpassung der Sohle (vgl. Abschnitt 8) werden die Geschwindigkeitszunahmen reduziert.



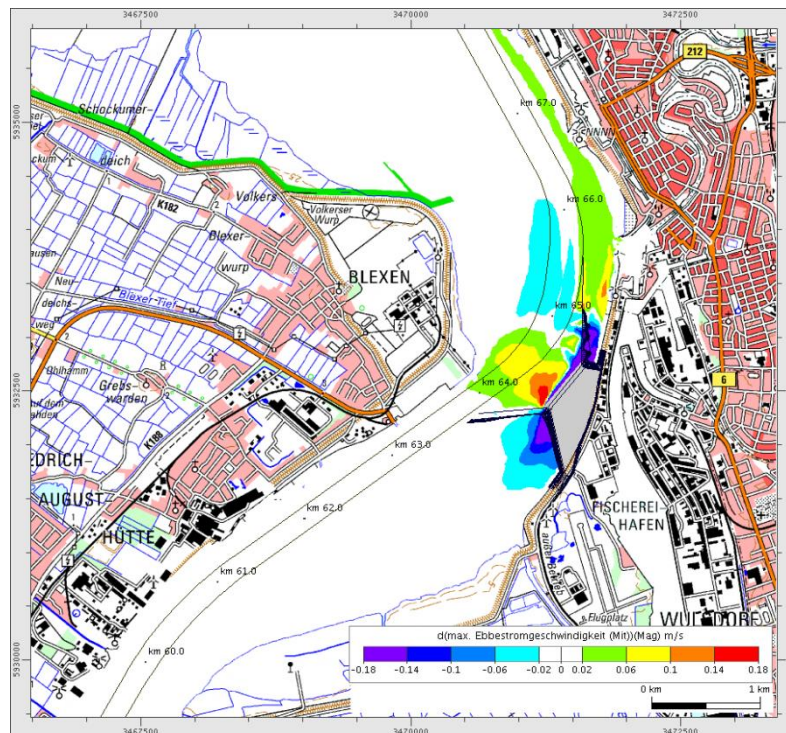
**Bild 3: Maximale Flutstromgeschwindigkeiten im Analysezeitraum: mit OTB, mit Fahrinnenanpassung (tiefgemittelt, mittl. Tide- und Oberwasserverhältnisse)**



**Bild 4: Vorhabensbedingte Änderungen der maximalen Flutstromgeschwindigkeiten durch das OTB im Analysezeitraum, mit Fahrinnenanpassung (tiefgemittelt, mittlere Tide- und Oberwasserverhältnisse)**



**Bild 5: Maximale Ebbestromgeschwindigkeiten im Analysezeitraum: mit OTB, mit Fahrrinnenanpassung (tiefengemittelt, mittl. Tide- und Oberwasserverhältnisse)**



**Bild 6: Vorhabensbedingte Änderungen der maximalen Ebbestromgeschwindigkeiten durch das OTB im Analysezeitraum, mit Fahrrinnenanpassung (tiefengemittelt, mittlere Tide- und Oberwasserverhältnisse)**



## **4.2.2 Vorhabensbedingte Änderungen des Tidenhubs und der Wasserstände**

Die Simulationen (BAW 2012a) bestätigten grundsätzlich die in Abschn. 4.1 beschriebene Beeinflussung der Wasserstände. Wegen der Lage des Terminals im relativ schwach durchströmten Randbereich des Gewässers beträgt die Veränderung des Tidehubs aber nur wenige Millimeter. Auch die lokalen Veränderungen des mittleren und maximalen Tidehubs unmittelbar am Terminal sind kleiner als 1 cm. Die vorhabensbedingten Änderungen des Tidehubs so wie auch der Tidewasserstände Thw, Tmw und Tnw sind deshalb aus wasserbaulicher Sicht vernachlässigbar, d. h. ohne praktische Relevanz.

## **4.3 Relevante Wirkungen der Fahrrinnenanpassung**

### **4.3.1 Vorbemerkung**

Die Vorhabenswirkungen des OTB (Abschn. 4.2, BAW 2012a) sind durch den Einengungseffekt und die daraus resultierenden lokalen Änderungen der Strömungsgeschwindigkeiten geprägt. Dies betrifft die Weser maximal bis zu einer Entfernung zum Terminal von 5 km. In diesem Bereich sind mögliche Überlagerungseffekte mit der geplanten Fahrrinnenanpassung der Unter- und Außenweser zu betrachten.

Der Einengungseffekt des OTB wird im Wesentlichen von folgenden Faktoren bestimmt:

- a) die Größe der Strömungsgeschwindigkeiten bzw. der Durchflussmenge im Bereich des OTB
- b) die geometrische Veränderung des Gerinnequerschnitts bezogen auf den Ausgangsquerschnitt

Die geplante Fahrrinnenanpassung der Unter- und Außenweser beeinflusst beide Faktoren. Im folgenden Abschnitt 4.3.2 werden zunächst die Wirkungen auf die Tidedynamik betrachtet. Anschließend werden in Abschnitt 4.3.3 die Abflussquerschnitte analysiert.

### **4.3.2 Ausbauwirkungen der Fahrrinnenanpassung (BAW 2006a)**

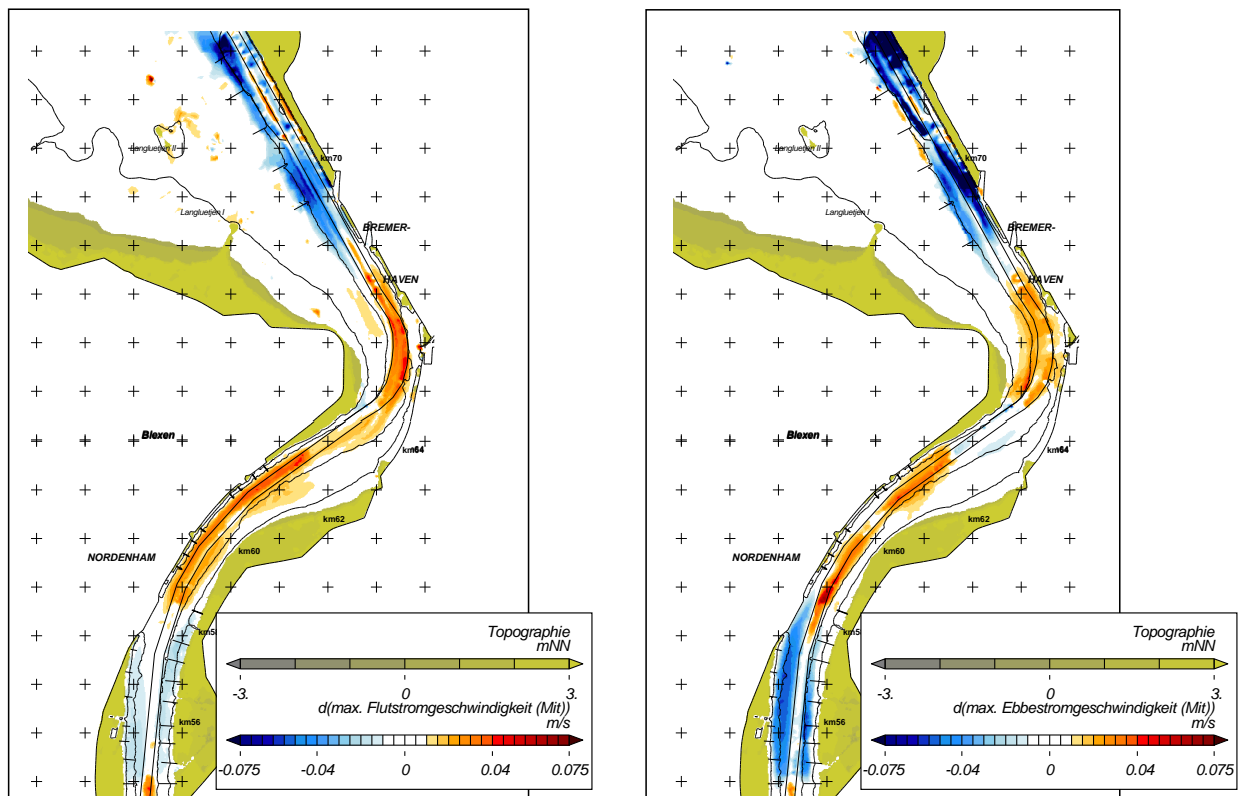
Die Ausbauwirkungen der geplanten Fahrrinnenanpassung (BAW 2006a) sind dadurch geprägt, dass auf ca. 120 km Länge die Solltiefen vergrößert werden und deshalb auf einem Großteil dieser Strecke Abaggerungen erfolgen müssen. Dies führt im Gegensatz zum geplanten OTB (das überwiegend lokale Wirkungen hervorruft) zu großräumigen ausbaubedingten Änderungen, weil u. a. durch die Vertiefung der Fahrrinne deren hydraulische Leistungsfähigkeit zunimmt. Dies macht sich vor allem in der Unterweser durch einen

ausbaubedingten Anstieg des Tidehubs bemerkbar, d. h. das Tidevolumen und – bei Betrachtung eines einzelnen Gewässerquerschnitts – der Durchfluss steigen an. Dadurch vergrößern sich die Strömungsgeschwindigkeiten vor allem dort, wo der Gewässerquerschnitt nicht oder wenig durch Baggermaßnahmen vergrößert wird.

In Bezug auf das geplante OTB ist zu berücksichtigen, dass die Fahrrinne im Blexer Bogen

- ihre bisherige Soll-Sohlage von -13 m NHN behält,
- so verschwenkt wird, dass natürliche Wassertiefen besser ausgenutzt und somit Baggerungen reduziert werden.

Als Ausbauwirkung der geplanten Fahrinnenanpassung wurden im Blexer Bogen signifikante Zunahmen der Strömungsgeschwindigkeiten ermittelt (Bild 7). Sie liegen bei 2 – 4 cm/s und sind damit wesentlich geringer als die Vorhabenswirkungen des OTB (Abschn. 4.2.1).



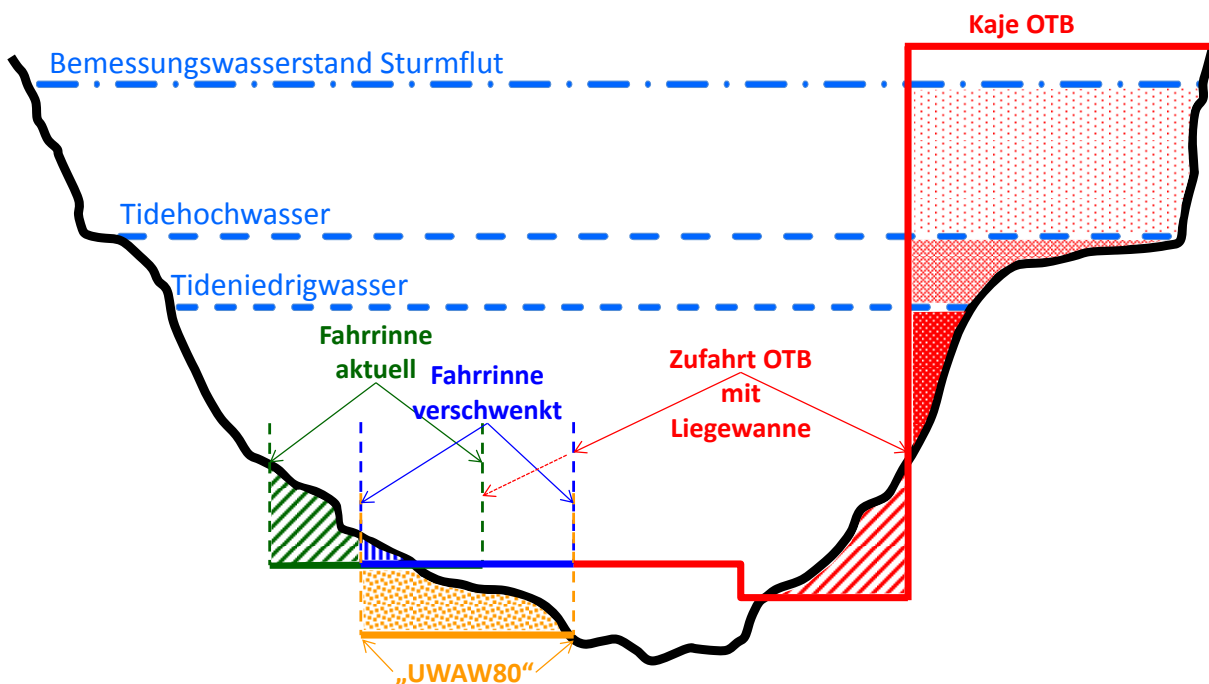
**Bild 7: Ausbaubedingte Änderung der maximalen Flutstromgeschwindigkeiten (links) und Ebbestromgeschwindigkeiten (rechts) durch die Fahrinnenanpassung (tiefergemittelt, BAW 2006a)**

Die ausbaubedingten Änderungen der Tidewasserstände (mittlere Verhältnisse) wurden im Bereich Bremerhaven zu +2 cm (Anstieg des Tidehochwassers) bzw. -2 cm (Absenk des Tideniedrigwassers) ermittelt (jeweils Prognosewerte).

### 4.3.3 Analyse der Gewässerquerschnitte im Bereich des geplanten OTB

Zur Beurteilung der Querschnittsverhältnisse im Blexer Bogen sind folgende Fallunterscheidungen zu berücksichtigen:

- mit oder ohne OTB (vorhabensbedingte Querschnittsänderungen)
- mit oder ohne die geplante Fahrrinnenanpassung der Weser (Einfluss des Ausgangsquerschnitts auf die Verbauwirkung des OTB)



**Bild 8:** Schematische Darstellung der betrachteten Querschnittsänderungen im Blexer Bogen (unmaßstäblich, stark überhöht)

Durch das Offshore-Terminal ergeben sich vor allem Querschnittsabnahmen, in geringem Umfang aber auch Zunahmen (Bild 8):

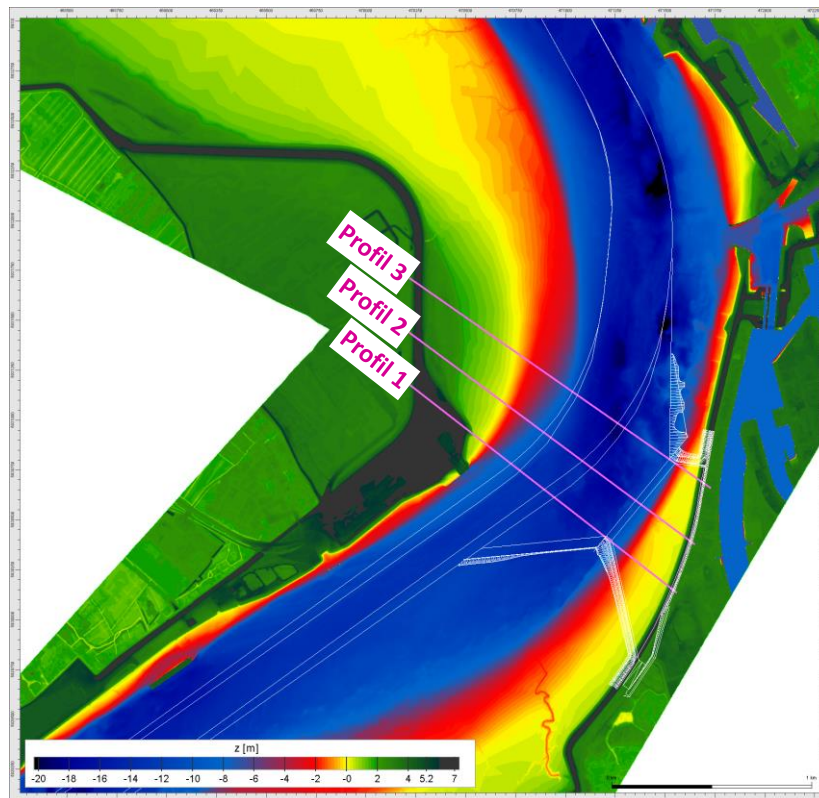
- Das Offshore-Terminal befindet sich am rechten Ufer des Blexer Bogens, wo es dem Abflussquerschnitt eine mit dem Wasserstand zunehmende Fläche entzieht.
- Der Zufahrtbereich soll auf eine vorgegebene Solltiefe von -13 m NHN gebracht werden, und es ist eine 100 m breite Liegewanne mit einer Solltiefe von -14,1 m NHN geplant. Es treten also Flächenzunahmen durch Baggerungen auf, wo die vorhandene Sohle (schwarze Linie in Bild 8) höher als diese Solltiefen liegt.

Die Ausgangsquerschnitte der Weser mit oder ohne die geplante Fahrrinnenanpassung der Unter- und Außenweser unterscheiden sich in folgender Weise:

- Ohne Weseranpassung, also mit den aktuell gültigen Solltiefen der Fahrrinne, schneidet die Fahrrinne am linken Ufer deutlich in die natürliche Topographie ein. Für den Referenzzustand mit heutigen Solltiefen sind also Baggerungen zu berücksichtigen, die in Bild 8 mit grüner und blauer Schraffur dargestellt sind.
- Im Rahmen der Weseranpassung bleibt die Solltiefe im Bereich des Blexer Bogens unverändert, aber die Fahrrinne wird weiter zur Gewässermitte verlegt, so dass weniger gebaggert werden muss (nur die blau schraffierte Fläche in Bild 8). Durch den Entfall der grün schraffierte Fläche wird der Ausgangsquerschnitt etwas kleiner als ohne Fahrinnenanpassung.
- Bei den Untersuchungen zur Weseranpassung (BAW 2006) wurde zur großzügigen Berücksichtigung von Baggertoleranzen und Vorratsmaßen so wie eines morphologischen Nachlaufs eine Vertiefung der Fahrrinne um 80 cm gegenüber der Sollsohle berücksichtigt (Untersuchungsvariante „UWAW80“). In diesem Fall kommt zum vorgenannten Ausgangsquerschnitt die orange gekennzeichnete Fläche hinzu.

Da die Wasserstände durch den Weserausbau um maximal 2 cm (mittlere Verhältnisse) bzw. 3 cm (Sturmflut) verändert werden, kann die daraus resultierende Änderung der Durchflussquerschnitte vernachlässigt werden (sie beträgt rd. 0,2 % der Fläche).

Die Lage der analysierten Querschnitte ist in Bild 9 dargestellt. Profil 1 wurde am stromauf gelegenen Ende der Kaje angeordnet, Profil 2 in der Mitte und Profil 3 am seeseitigen Ende.



**Bild 9: Ausgewertete Querprofile**

Die Profile sind in Bild 10, Bild 11 und Bild 12 maßstäblich mit einer Überhöhung von ca. 1 : 40 dargestellt.

Berechnet und ausgewertet wurden auf der Basis des aktuellen DGM-W Weser 2012 [9]:

1. die Durchflussflächen  $A$  für verschiedene Wasserstände (Bild 13)

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

mit  $h$  = Wassertiefe  
 $b$  = Breite des Wasserspiegels

2. die Durchflusskapazitäten  $K$  (Bild 14)

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

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

in Abhängigkeit vom Wasserstand für die unterschiedlichen Situationen.

Mit der Berechnung der Durchflusskapazitäten (2. Formel, Bild 14) 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. Die Unterschiede der betrachteten Profilvarianten betreffen hauptsächlich die flacheren Randbereiche, so dass die Kurven in Bild 14 enger zusammen liegen als in Bild 13.

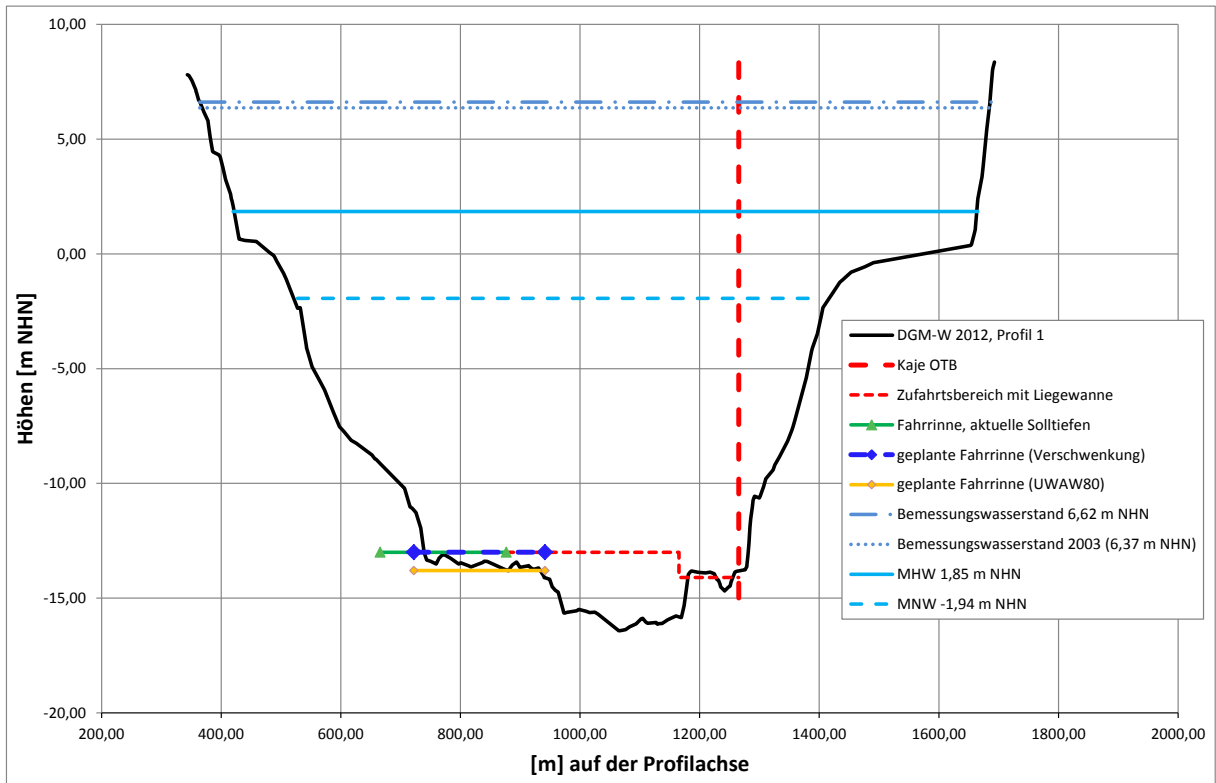
Vorhabensbedingte Änderung der Querschnittsflächen und Durchflusskapazitäten durch das OTB ist in Bild 15 für die drei Profile jeweils mit und ohne die geplante Fahrrinnenanpassung dargestellt. Die ungünstigste Situation (engster Querschnitt, größtes Verbaumaß, größter Einfluss der Fahrrinnenanpassung) ist im Profil 1 gegeben, für das die Änderungen in Tabelle 1 und Tabelle 2 als Zahlenwerte angegeben sind.

Daraus ergibt sich für das Profil 1:

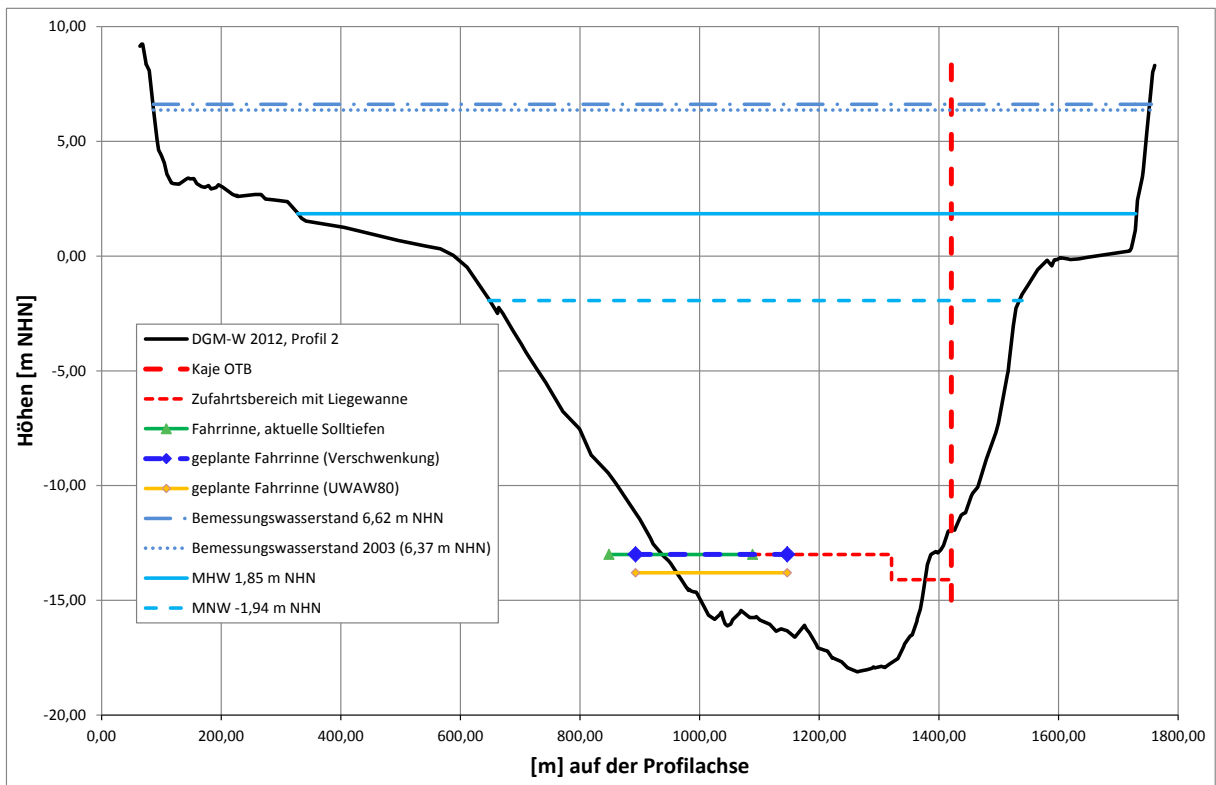
- Die vorhabensbedingte Reduzierung der Querschnittsfläche liegt je nach Wasserstand bei 10% bis 21%.
- Die vorhabensbedingte Reduzierung der Durchflusskapazität liegt je nach Wasserstand bei 8% bis 16%.
- Die vorhabensbedingte Reduzierung der Querschnittsfläche und der Durchflusskapazität ist ohne Fahrrinnenanpassung der Weser um 0,1% bis 0,25% geringer als mit Fahrrinnenanpassung (der geringere Wert gilt für die Variante „UWAW80“).

In den Profilen 2 und 3 sind die vorhabensbedingten Änderungen wesentlich geringer und der Einfluss der Weseranpassung beträgt nur 0,01% bis 0,1%.

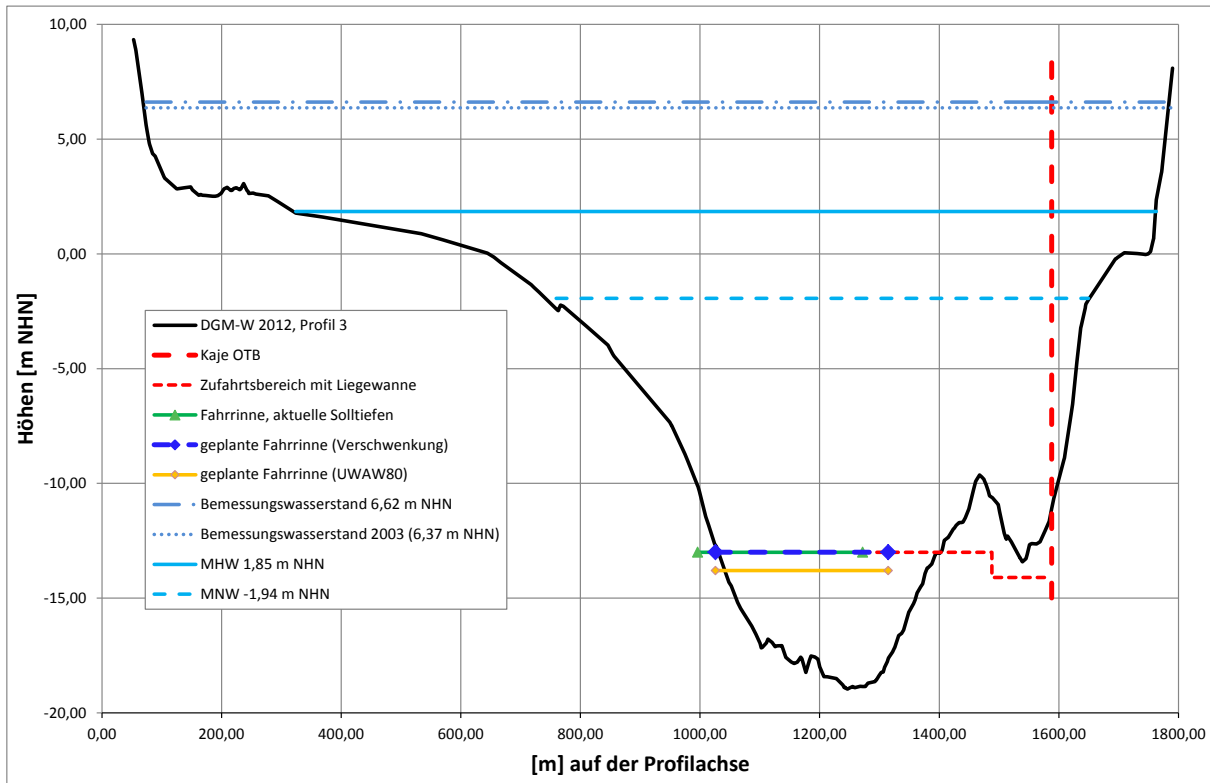




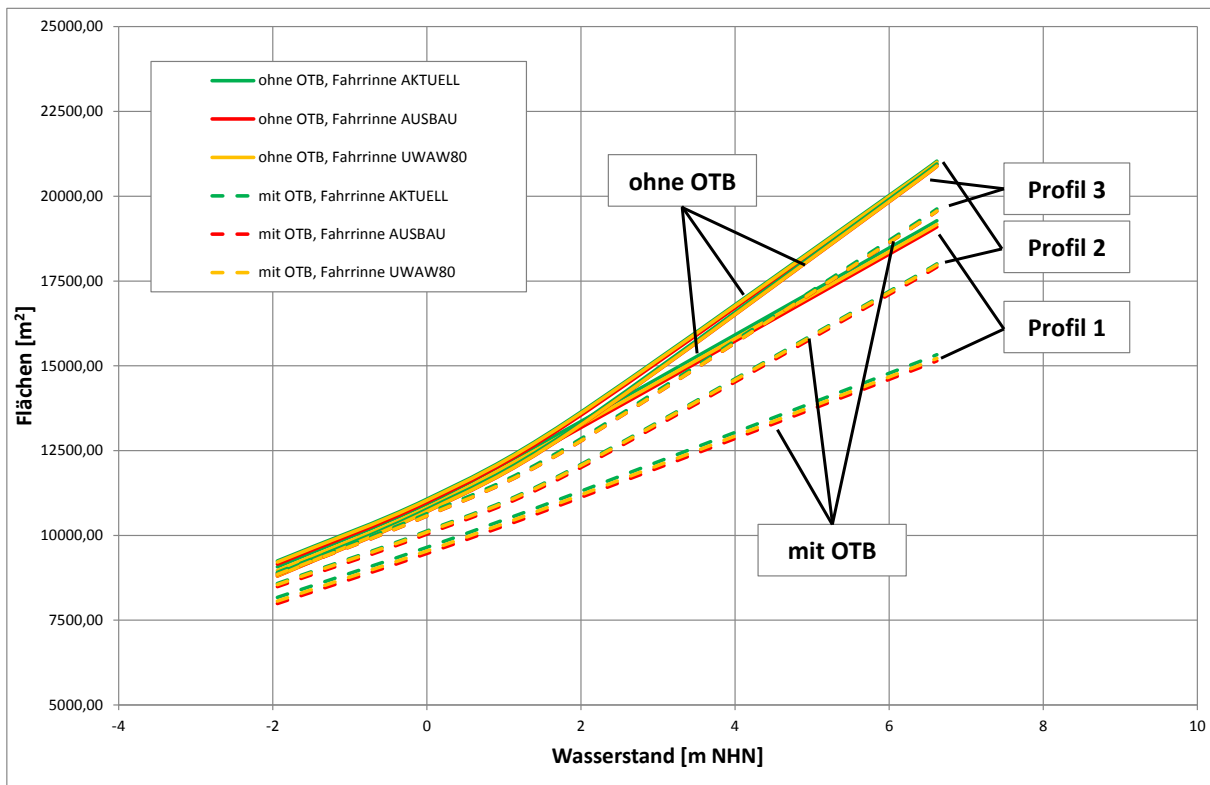
**Bild 10: Darstellung des Querprofils 1 (Basis: DGM-W Weser 2012 [9])**



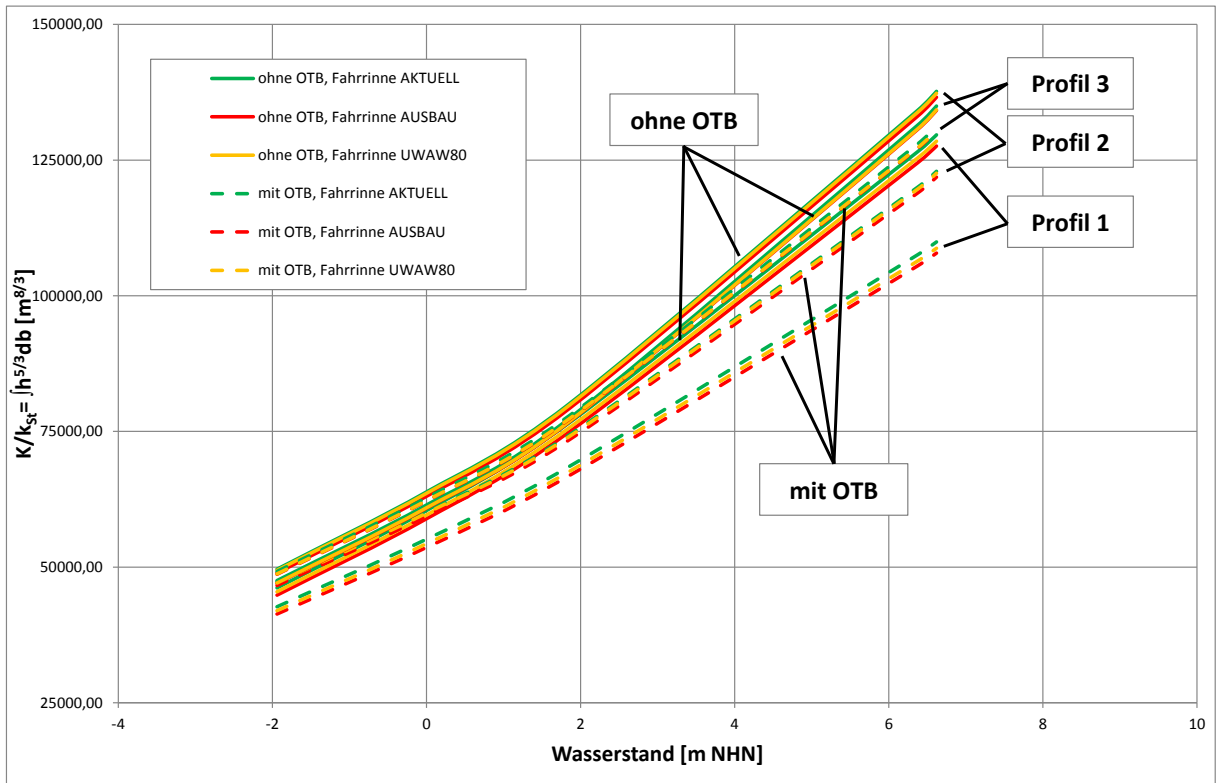
**Bild 11: Darstellung des Querprofils 2 (Basis: DGM-W Weser 2012 [9])**



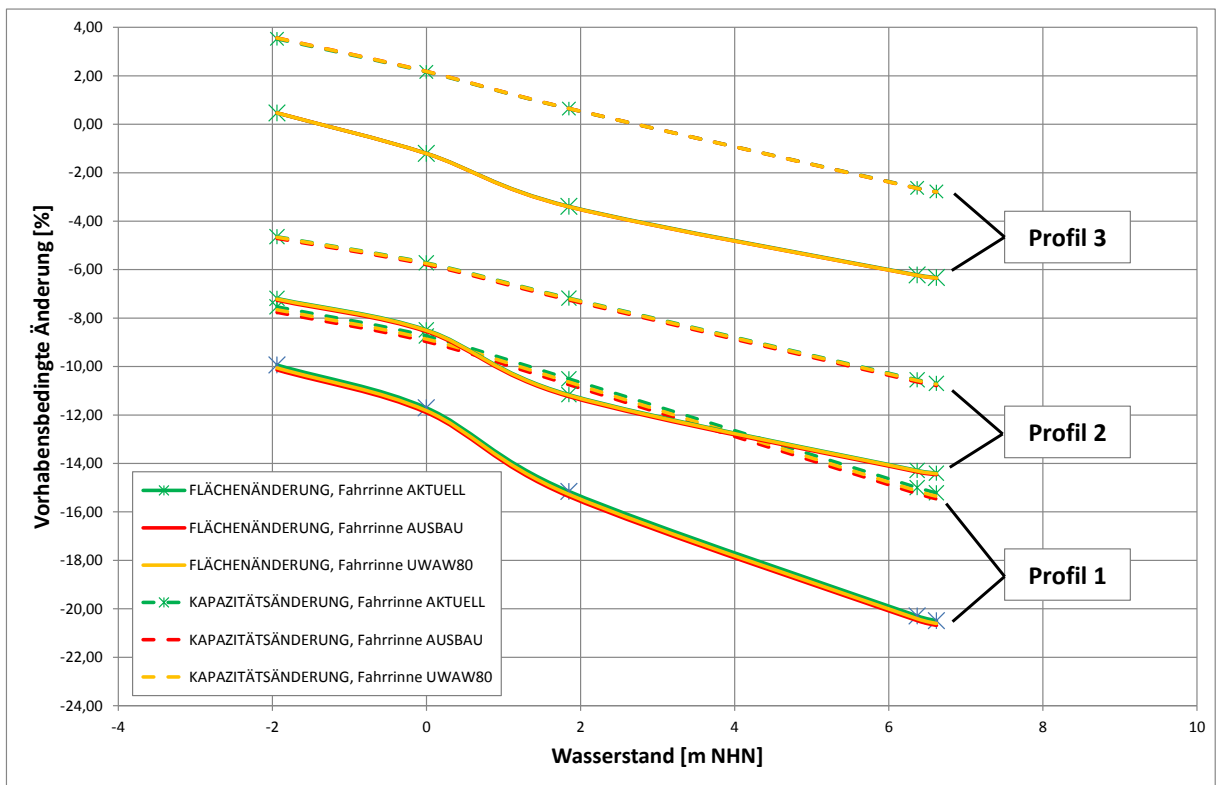
**Bild 12:** Darstellung des Querprofils 3 (Basis: DGM-W Weser 2012 [9])



**Bild 13:** Querschnittsflächen der Querprofile 1 bis 3 mit und ohne OTB in Abhängigkeit vom Wasserstand



**Bild 14:** Integrale  $h^{5/3} \cdot db$  der Querprofile 1 bis 3 mit und ohne OTB in Abhängigkeit vom Wasserstand



**Bild 15:** Vorhabensbedingte Änderung der Querschnittsflächen (durchgezogene Linien) und Durchflusskapazitäten (gestrichelt) in den Querprofilen 1 bis 3

Wasserstand [m NHN]	Flächenänderung durch das OTB in %		
	ohne Weseranpassung (aktuelle Solltiefen)	mit Weseranpassung	mit Weseranpassung "UWAW80"
-1,94	-9,9	-10,1	-10,1
0,00	-11,7	-11,9	-11,8
1,85	-15,2	-15,4	-15,3
6,37	-20,3	-20,5	-20,4
6,62	-20,5	-20,7	-20,6

**Tabelle 1: Tabelle der vorhabensbedingten Änderungen der Querschnittsflächen im engsten Querprofil (Profil 1)**

Wasserstand [m NHN]	Kapazitätsänderung durch das OTB in %		
	ohne Weseranpassung (aktuelle Solltiefen)	mit Weseranpassung	mit Weseranpassung "UWAW80"
-1,94	-7,5	-7,8	-7,7
0,00	-8,7	-9,0	-8,9
1,85	-10,5	-10,7	-10,6
6,37	-15,0	-15,2	-15,1
6,62	-15,2	-15,5	-15,4

**Tabelle 2: Tabelle der vorhabensbedingten Änderungen der Durchflusskapazitäten im engsten Querprofil (Profil 1)**

#### 4.4 Vorhabenswirkungen ohne Fahrrinnenanpassung

Zusammengefasst ergeben sich nach Abschnitt 4.3 bei einem Verzicht auf die geplante Fahrrinnenanpassung folgende Änderungen im Vergleich zu den Randbedingungen in Abschnitt 4.2:

- a) Das Tidevolumen in der Unterweser und somit die Strömungsgeschwindigkeiten und Durchflussmengen im Blexer Bogen sind geringer als mit Fahrrinnenanpassung (Abschnitt 4.3.2).
- b) Die vorhabensbedingte Reduzierung der Querschnittsfläche und der Durchflusskapazität durch das OTB ist geringer als mit Fahrrinnenanpassung (Abschnitt 4.3.3).

Da die hydrodynamischen Wirkungen des OTB im Wesentlichen auf dem Einengungseffekt beruhen, werden sie durch geringere Durchflüsse (Effekt a) und durch die geringere OTB-bedingte Einengung des Querschnitts (Effekt b) gemindert.

Es ist daher **eindeutig** zu erwarten, dass die Auswirkungen des OTB auf die Strömungsbedingungen (und damit auch auf die Morphodynamik) geringer sind als bei einer Realisierung der geplanten Fahrrinnenanpassung der Unter- und Außenweser. Allerdings ist von einer geringen Reduzierung der Vorhabenswirkungen auszugehen, da

- die ausbaubedingten Änderungen der Strömungsgeschwindigkeiten mit einer Größenordnung von 2 – 4 cm/s gering sind im Verhältnis zu den Vorhabenswirkungen des OTB mit 5 – 20 cm/s, und
- die vorhabensbedingte Reduzierung der Querschnittsfläche und der Durchflusskapazität sich mit und ohne Fahrrinnenanpassung nur um 0,1% bis 0,25% unterscheidet.

**Dies bedeutet, dass die Prognosen des Gutachtens BAW 2012a für die Auswirkungen des OTB auf die Strömungen und Wasserstände bei mittlere Tideverhältnissen (vgl. Abschnitt 4.2) für die Bedingungen ohne die geplante Fahrrinnenanpassung der Unter- und Außenweser auf der sicheren Seite liegen und weiter zu Grunde gelegt werden können.**

## **5 Auswirkungen auf die Transportprozesse (mittlere Tide- und Oberwasser- verhältnisse)**

### **5.1 Allgemeines, Wirkungszusammenhänge**

In diesem Abschnitt wird auf Stoffe eingegangen, die mit dem Wasser in gelöster Form (Salz) oder in Suspension (Sedimente) transportiert werden.

Der Einfluss des geplanten OTB resultiert im Wesentlichen aus den lokal veränderten Strömungsgeschwindigkeiten (Abschnitt 4) auf Grund folgender Effekte:

- lokale Veränderung des advektiven Transports.
- lokale Veränderung des Erosions- und Sedimentationsregimes

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

Da die vorhabensbedingte Veränderung der Strömungsgeschwindigkeiten gem. Abschnitt 4 lokal begrenzt ist und sich keine nennenswerte vorhabensbedingte Veränderung der Massenbilanz (praktisch kein geändertes Tidevolumen im Gesamtästuar) 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 -querichtung ergeben. Entsprechendes gilt für die Schwebstoffgehalte in Abhängigkeit von der Lage der Trübungszone. Vorhabensbedingt kann es daher durch die Veränderungen des advektiven Transports zu erkennbaren Veränderungen der Konzentrationen kommen, weil

- 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 (Wasservolumina aus Bereichen mit bisher höheren Konzentrationen werden mit einer veränderten Intensität in Bereiche mit bisher niedrigeren Konzentrationen transportiert und umgekehrt).

Wie oben beschrieben hängen die lokalen Vorhabenswirkungen von den Gradienten der Stoffkonzentrationen ab. 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.

Es sind somit unendlich viele Szenarien mit jeweils unterschiedlichen (lokalen) 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.

## 5.2 Vorhabenswirkungen mit Fahrrinnenanpassung (BAW 2012a)

### 5.2.1 Vorhabensbedingte Änderungen der Salzgehalte

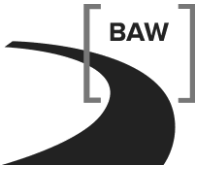
Im simulierten Beispiel (Bild 16 und Bild 17) ergaben sich im Blexer Bogen als tiefengemittelte Ergebnisse der 3D-Simulation maximale Salzgehalte von 4 bis 16 ‰. Sowohl in Richtung der Flussachse als auch in Querrichtung sind Gradienten vorhanden. Diese „Zonierung“ der Salzgehalte<sup>1</sup> wird durch das Terminal nicht grundsätzlich verändert, aber die vorhabensbedingten Änderungen der Strömungsgeschwindigkeiten und -richtungen führen zu einem veränderten Massenaustausch zwischen den „Zonen“. Wie die Änderungen der maximalen Salzgehalte (Bild 17) zeigen, überwiegen dabei die Salzgehalts-Zunahmen, weil sich hauptsächlich eine Zunahme des Transports vom salzigeren Fahrrinnenbereich in die weniger salzhaltigen Randbereiche stattfindet.

Die vorhabensbedingten lokalen Änderungen des mittleren Salzgehalts liegen überwiegend unter 0,4 ‰. Die Änderungen des maximalen Salzgehalts erreichen ufernah bis zu 2 ‰. Bei der Betrachtung der maximalen Salzgehaltsvariation (Bild 18, Bild 19) ergeben sich ähnliche Relationen. Die vorhabensbedingten Änderungen haben damit eine Größenordnung von 10 %, wenn sie vor dem Hintergrund der örtlichen Variabilität innerhalb des Gebiets Blexer Bogen betrachtet werden. Bei einer ortsfesten Betrachtungsweise eines bestimmten Punktes können sich größere relative Änderungen ergeben (z. B. 2 ‰ Anstieg bei 10 ‰ Salzgehaltsvariation an einem Punkt nördlich des OTB, also 20% relative Veränderung). In Bodennähe sind keine größeren Salzgehaltsänderungen als im Tiefenmittel zu erwarten.

Die lokalen Änderungen der Strömungsgeschwindigkeiten (Abschn. 4) führen somit zu lediglich lokalen Änderungen (Verlagerungen) der Salzkonzentrationen. Diese Änderungen sind

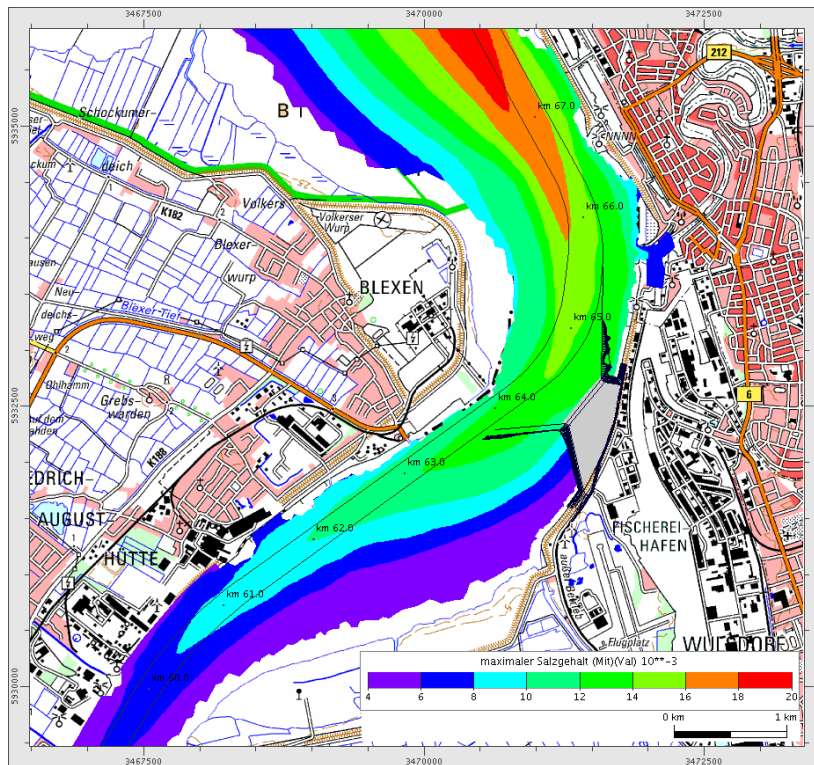
---

<sup>1</sup> Der Begriff wird hier bildhaft in Anlehnung an die Isofarbflächendarstellungen gewählt. Tatsächlich gibt es keine Salzgehalts-„Zonen“, sondern fließende Übergänge.

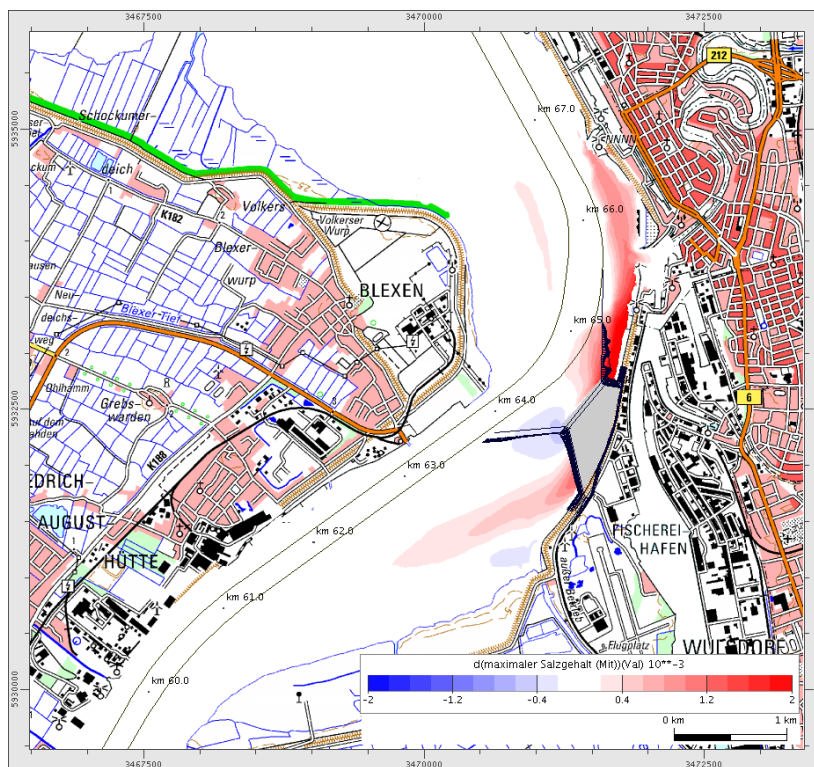


aus wasserbaulicher Sicht gering im Verhältnis zur natürlichen (örtlichen und zeitlichen) Variabilität der Salzgehalte im Blexer Bogen. In Abhängigkeit von der hydrologischen Situation und damit der Lage des „Salzkeils“ können die vorhabensbedingten Änderungen - bei ähnlicher relativer Größe - nach Ort und Größe variieren; sie bleiben dabei auf den Bereich zwischen Fahrrinne und rechtem Ufer bis zu einem maximalen Abstand von 3 bis 5 km vom OTB beschränkt.

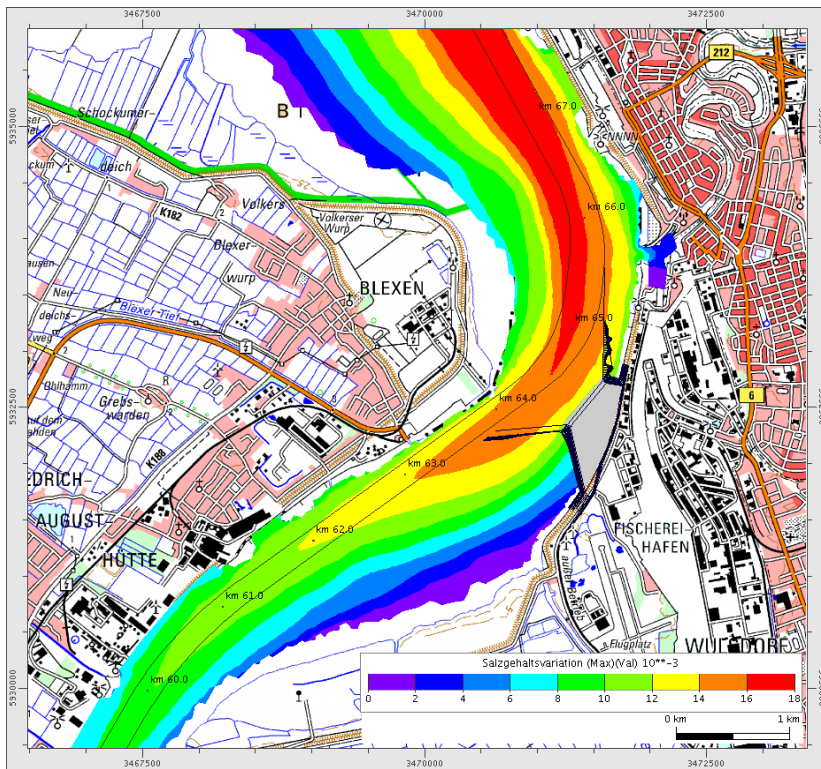




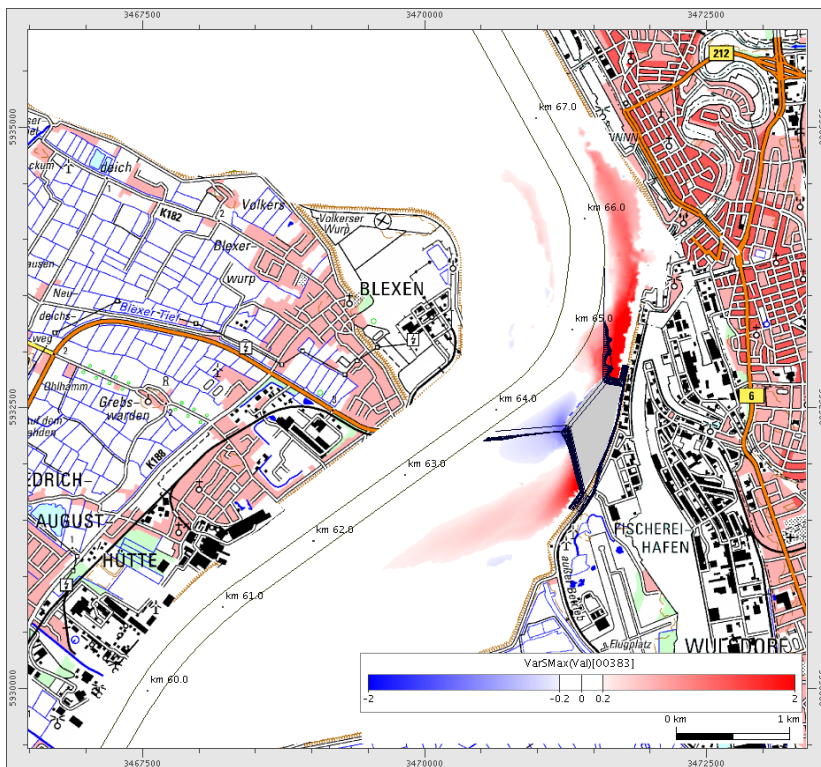
**Bild 16:** Maximale Salzgehalte im Analysezeitraum (mit OTB, mit Fahrrinnenanpassung, tiefengemittelt)



**Bild 17:** Vorhabensbedingte Änderungen der maximalen Salzgehalte im Analysezeitraum (mit Fahrrinnenanpassung, tiefengemittelt)



**Bild 18:** Maximale Salzgehaltsvariation im Analysezeitraum (mit OTB, mit Fahrrinnenanpassung, tiefengemittelt)



**Bild 19:** Vorhabensbedingte Änderungen der maximalen Salzgehaltsvariation im Analysezeitraum (mit Fahrrinnenanpassung, tiefengemittelt)

### **5.2.2 Vorhabensbedingte Änderungen der Schwebstoffgehalte**

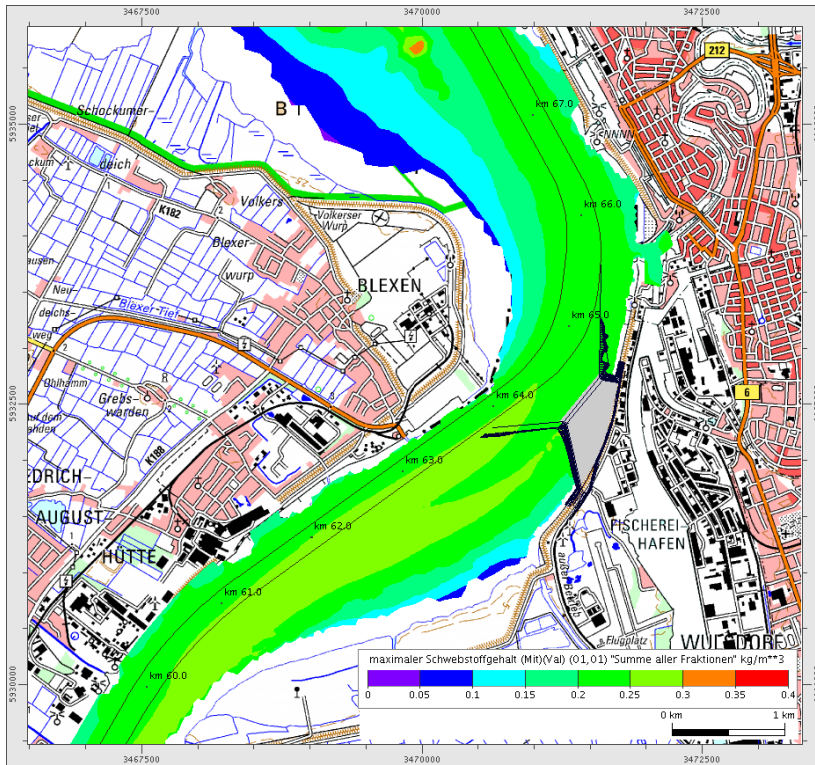
Für das simulierte Beispiel wurden u. a. die maximalen Schwebstoffgehalte und die vorhabensbedingten Änderungen durch eine Tidekennwertanalyse ermittelt (Bild 20 und Bild 21).

Für die gewählte Situation zeigen die Schwebstoffgehalte im Bereich des OTB im Gegensatz zur Salzgehaltsverteilung (Abschn. 5.2.1) hauptsächlich quer zur Flussachse Gradienten. Deshalb liegen die vorhabensbedingten Änderungen zwar in derselben Größenordnung von 10% (bezogen auf die örtliche Variabilität innerhalb des Gebiets Blexer Bogen), aber sie zeigen einfachere Änderungsmuster und sind stärker auf den Abschattungsbereich des OTB beschränkt.

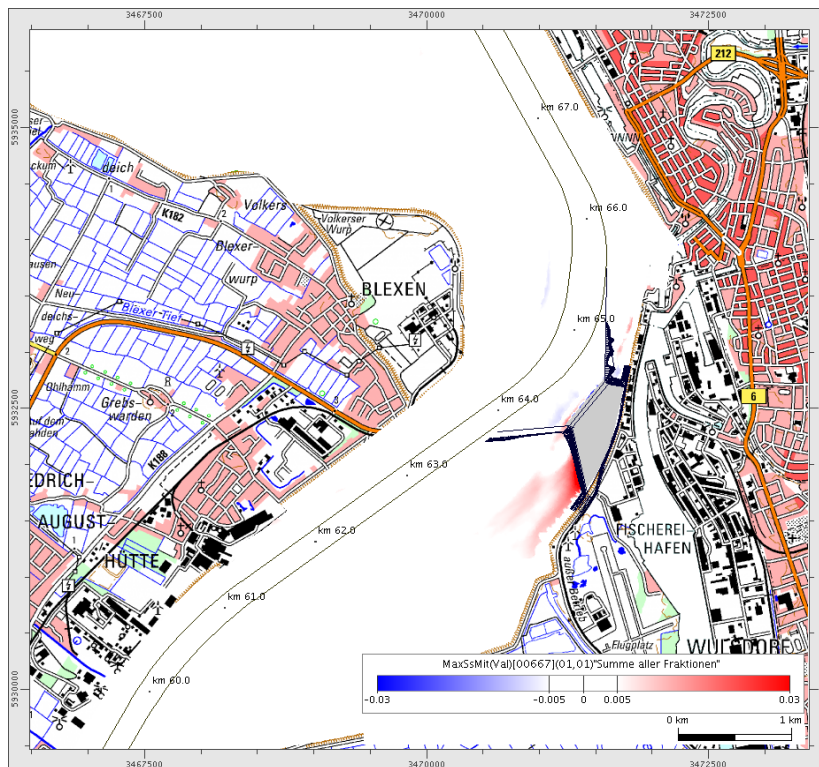
Da es sich im Wesentlichen um örtliche Stau- und Verlagerungseffekte handelt, bleiben die Änderungen lokal begrenzt. Sie führen zu keinen großräumigen Änderungen der Transportprozesse und somit zu keinen nennenswerten Wirkungen im weiteren Verlauf des Weser-ästuars.

In Abhängigkeit von der Lage der Trübungszone können die dargestellten lokalen vorhabensbedingten Änderungen - bei ähnlicher relativer Größe - nach Ort und Absolutbetrag variieren. Wenn der Rand der Trübungszone im Bereich des OTB liegt, können sich ähnliche relative Änderungen ergeben, wie für den Salzgehalt gezeigt wurde (Abschn. 5.2.1). Auch in diesem Fall bleiben sie auf den Bereich zwischen Fahrrinne und rechtem Ufer bis zu einem maximalen Abstand von 3 – 5 km vom OTB beschränkt.





**Bild 20:** Maximale Schwebstoffgehalte im Analysezeitraum (mit OTB, mit Fahrrinnenanpassung, tiefengemittelt)



**Bild 21:** Vorhabensbedingte Änderungen der maximalen Schwebstoffgehalte im Analysezeitraum (mit Fahrrinnenanpassung, tiefengemittelt)

### 5.3 Relevante Wirkungen der Fahrrinnenanpassung (BAW 2006a, b)

Zu betrachten sind die Ausbauwirkungen der geplanten Fahrrinnenanpassung der Unter- und Außenweser, soweit sie die vorhabensbedingten Effekte des OTB auf die Verteilung und Größe der Salzgehalte und der Suspensionskonzentrationen beeinflussen können. Daher sind die Ausbauwirkungen der Fahrrinnenanpassung auf

- die Strömungen
- die Salzgehalte
- die Suspensionskonzentrationen

im Blexer Bogen im Hinblick auf die Veränderung der Ausgangssituation für den Bau des OTB zu betrachten.

Die Wirkungen des Fahrrinnenausbaus auf die Strömungen wurde bereits in Abschnitt 4.3 dargestellt: Im Blexer Bogen nehmen die Strömungsgeschwindigkeiten großflächig um rd. 0,05 m/s zu.

Durch die ausbaubedingte Stromaufverschiebung der Brackwasserzone (bei niedrigen Oberwasserzuflüssen bis zu 1000 m) vergrößern sich für die simulierten Szenarien die maximalen Salzgehalte im Blexer Bogen um etwa 2 – 4 ‰. Die Salzgehaltsvariation ändert sich hier praktisch nicht.

Ausbaubedingt wird außerdem die Trübungszone um maximal 500 bis 1000 m gedehnt, wobei die Suspensionskonzentrationen für das betrachtete Szenario geringfügig um etwa 0,002 kg/m<sup>3</sup> abnehmen.

### 5.4 Vorhabenswirkungen ohne Fahrrinnenanpassung

Die Ausgangssituation ohne Fahrrinnenanpassung der Weser ist somit durch etwas geringere Strömungsgeschwindigkeiten im Blexer Bogen und durch den Entfall der Stromaufverschiebung bzw. der Dehnung der Brackwasser- und Trübungszone gekennzeichnet. Bei der Analyse der Effekte ist zu berücksichtigen, dass es durch das OTB zu keinen großräumigen Veränderungen der Salz- und Sedimenttransporte kommt, sondern zu lokalen Änderungen der Salz- und Suspensionskonzentrationen. Diese resultieren aus lokalen Konzentrationsgradienten, die durch vorhabensbedingte Änderungen der Strömungsgeschwindigkeiten auf andere Weise durchmischt werden (vgl. Abschn. 5.1).

Die o. g. Abnahme der Strömungsgeschwindigkeiten im Referenzzustand ohne Fahrrinnenanpassung ist gering im Verhältnis zu dem hohen Geschwindigkeitsniveau im Blexer Bogen,

so dass sich aus dieser Randbedingung allein keine nennenswerten Änderungen der Vorhabenswirkungen des OTB auf die Transportprozesse ableiten lassen.

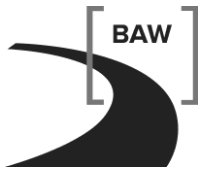
Zu berücksichtigen ist dagegen die Verlagerung der Brackwasser- und Trübungszone. Bei Betrachtung gleicher hydrologischer Szenarien mit und ohne Fahrrinnenausbau (gleiche Oberwasserzuflüsse etc.) ergeben sich in den Referenzzuständen unterschiedliche Lagen der Brackwasser- und Trübungszone, so dass die für die Vorhabenswirkungen maßgebenden Konzentrationsgradienten im Bereich des OTB unterschiedlich groß sein können. Dem entsprechend unterscheiden sich bei dieser Betrachtungsweise auch die vorhabensbedingten Konzentrationsänderungen. Für die Prognose der Vorhabenswirkungen ist es aber erforderlich, für beide Ausgangssituationen (ohne / mit Fahrrinnenanpassung) jeweils die hinsichtlich der vorhabensbedingten Konzentrationsänderungen ungünstigsten hydrologische Situation zu erfassen. Solche Situationen mit hohen Konzentrationsgradienten im Bereich des OTB können sowohl mit als auch ohne Fahrrinnenausbau auftreten. Dabei werden sich die jeweils ungünstigsten Situationen nicht wesentlich unterscheiden, weil die o. g. Auswirkungen der geplanten Fahrrinnenanpassung auf die Strömungen und Konzentrationen relativ gering sind.

Somit sind im Wesentlichen die (gemäß Abschnitt 4.4) geringfügig reduzierten vorhabensbedingten Strömungsänderungen im Hinblick auf die lokale Durchmischung zu betrachten.

Im Vergleich zu der Situation mit realisierter Fahrrinnenanpassung sind die vorhabensbedingten Änderungen der Strömungsgeschwindigkeiten (Zu- und Abnahmen durch das OTB, Abschnitt 4.4) überwiegend geringer. Dabei können sie sich in ihrem Muster etwas unterscheiden. In Folge dieses Effekts werden auch die vorhabensbedingten Änderungen der Konzentrationen (Salz, Suspension) geringer sein als in Abschn. 5.2 beschrieben, und sie können sich (innerhalb des Nahbereichs) etwas verlagern.

Damit liegt die Prognose des BAW-Gutachtens 2012a auf der sicheren Seite:

- 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.
- Die vorhabensbedingten Änderungen der Salzgehalte haben eine Größenordnung von 10 %, wenn sie vor dem Hintergrund der örtlichen Variabilität innerhalb des Gebiets Blexer Bogen betrachtet werden. Bei einer ortsfesten Betrachtungsweise eines bestimmten Punktes können sich größere relative Änderungen ergeben (z. B. 20%). In Bodennähe sind keine größeren Salzgehaltsänderungen als im Tiefenmittel zu erwarten.



- Die vorhabensbedingten Änderungen der Suspensionskonzentrationen liegen in derselben Größenordnung von 10% (bezogen auf die örtliche Variabilität innerhalb des Gebiets Blexer Bogen). In Abhängigkeit von der Lage der Trübungszone können sie - bei ähnlicher relativer Größe - nach Ort und Absolutwert variieren. Wenn der Rand der Trübungszone im Bereich des OTB liegt, können sich ähnliche relative Änderungen ergeben, wie für den Salzgehalt gezeigt wurde.
- Da es sich im Wesentlichen um örtliche Stau- und Verlagerungseffekte handelt, bleiben die Änderungen lokal begrenzt (maximalen Abstand 3 – 5 km vom OTB). Sie führen zu keinen großräumigen Änderungen der Transportprozesse und somit zu keinen nennenswerten Wirkungen im weiteren Verlauf des Weserästuars

## **6 Auswirkungen auf die Scheitelwasserstände und Laufzeiten der Sturmfluten**

### **6.1 Allgemeines, Wirkungszusammenhänge**

Für die Auswirkungen des Vorhabens auf die Strömungen und Wasserstände bei Sturmflut gelten grundsätzlich die gleichen Wirkungszusammenhänge wie bei normalen Tiden (vgl. Abschn. 4). Da sich ein großer Teil der Verbauwirkung auf die flachen Seitenbereiche bezieht, können die Auswirkungen bei hohen Wasserständen (mit stärkerer Durchströmung der Seitenbereiche) größer als bei normalen Tiden sein. Aufgrund von Reflektionswirkungen sind Zunahmen der Wasserstände seeseitig des Terminals und Abnahmen oberstrom zu erwarten.

Die Vorhabenswirkungen sind für den Bemessungslastfall der Weserdeiche nachzuweisen. Die Bemessungsturmflut für die Unterweser wurde auf der Grundlage der Sturmflut vom 3.12.1999 beim NLÖ (heute NLWKN) entwickelt. Durch eine Erhöhung der Windgeschwindigkeiten über der Nordsee erreicht diese synthetische Sturmflut den Bemessungswasserstand BWSt(2100) von 6,37 mNN in Bremerhaven (NLÖ, 2003). Sie ist durch westliche Windrichtungen mit Windgeschwindigkeiten bis zu 28 m/s bei Bremerhaven geprägt. Der Oberwasserzufluss beträgt 2000 m<sup>3</sup>/s.

Der Bemessungswasserstand in Bremerhaven wurde nach 2003 um 0,25 m angehoben. Die Randbedingungen dieser modifizierten Bemessungsturmflut (Wasserstände am Nordseerand, Oberwassermengen, Windfelder) lagen der BAW bei der Bearbeitung des Gutachtens 2012a und der vorliegenden Stellungnahme nicht vor, jedoch werden sich die vorhabensbedingten Änderungen der Scheitelwasserstände und Laufzeiten bei gleicher Sturmflutcharakteristik nicht wesentlich voneinander unterscheiden.

Hinsichtlich der Sturmflutsicherheit sind im Wesentlichen folgende Vorhabenswirkungen zu betrachten:

- Veränderung des Sturmflutscheitelwasserstandes
- Laufzeitänderung des Sturmflutscheitels
- räumliche Ausdehnung der Vorhabenswirkung



## 6.2 Vorhabenswirkungen mit Fahrrinnenanpassung (BAW 2012a)

Bei auflaufender Sturmflut bewirkt die vorhabensbedingte Einengung des Durchflussquerschnitts eine Beschleunigung der Strömung (vgl. Abschn. 4). In Bild 22 bis Bild 24 ist ein Zeitpunkt mit ausgeprägtem Flutstrom 4½ Stunden vor Erreichen des Sturmflutscheitels in Bremerhaven als charakteristisches Beispiel dargestellt. Die Zunahmewerte liegen hier großflächig bei bis zu 0,20 m/s (Bild 24). Sie sind damit deutlich größer als bei mittleren hydrologischen Verhältnissen (vgl. Änderung der Tidekennwerte gem. Bild 4). Während dort im Stau- und Abschattungsbereich des Terminals Geschwindigkeitsabnahmen festzustellen waren, ergibt sich im Sturmflutfall ufernah eine Zunahme. Sie ist darauf zurückzuführen, dass sich hier bei den großen Wassertiefen des Sturmflutfalls eine ausgeprägte Walzenströmung einstellt.

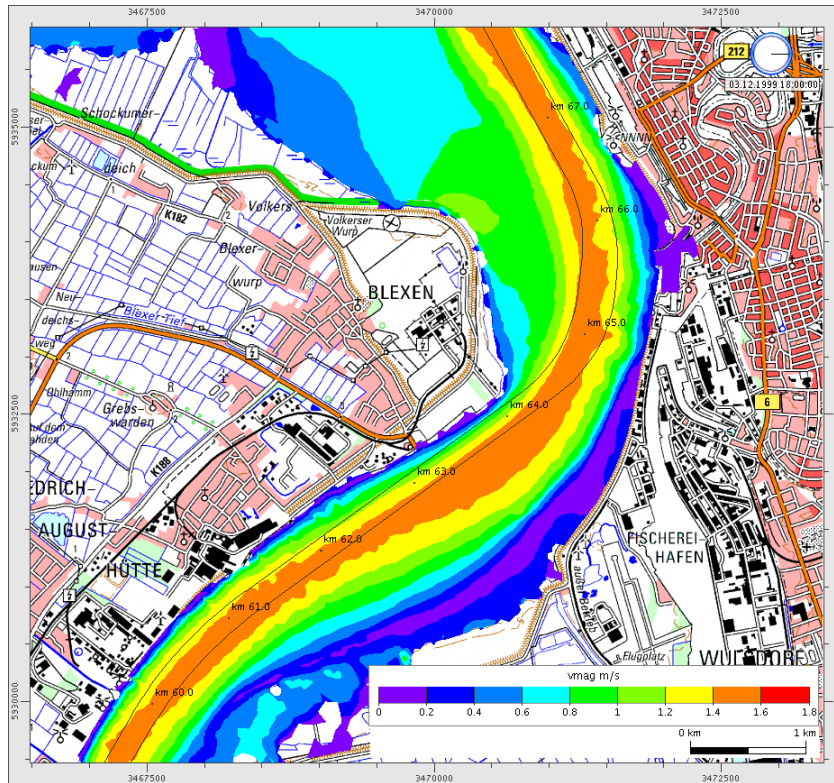
Wegen der gegenüber normalen Verhältnissen größeren Auswirkung auf die Strömung ergeben sich prinzipiell größere Auswirkungen auf die Wasserstände als in Abschn. 4, wobei eine Reduzierung der Scheitelwasserstände überwiegt: Stromaufwärts des Offshore-Terminals bis Bremen werden die Sturmflutscheitelwasserstände geringfügig (um etwa 1 cm) reduziert, wie Bild 25 am Beispiel des Pegels Bremen zeigt.

Seeseitig des OTB ergibt sich kein nennenswerter Anstieg des Scheitelwertes. Die Differenz liegt, wie am Beispiel des Pegels Bremerhaven (Bild 26) gezeigt, unter 0,01 m. Auch lokal ist kein nennenswerter Anstieg des Scheitelwasserstandes festzustellen. Die Absenkung des Scheitelwasserstandes beginnt am OTB (Bild 27) und wirkt bis Bremen (s. o., Bild 25).

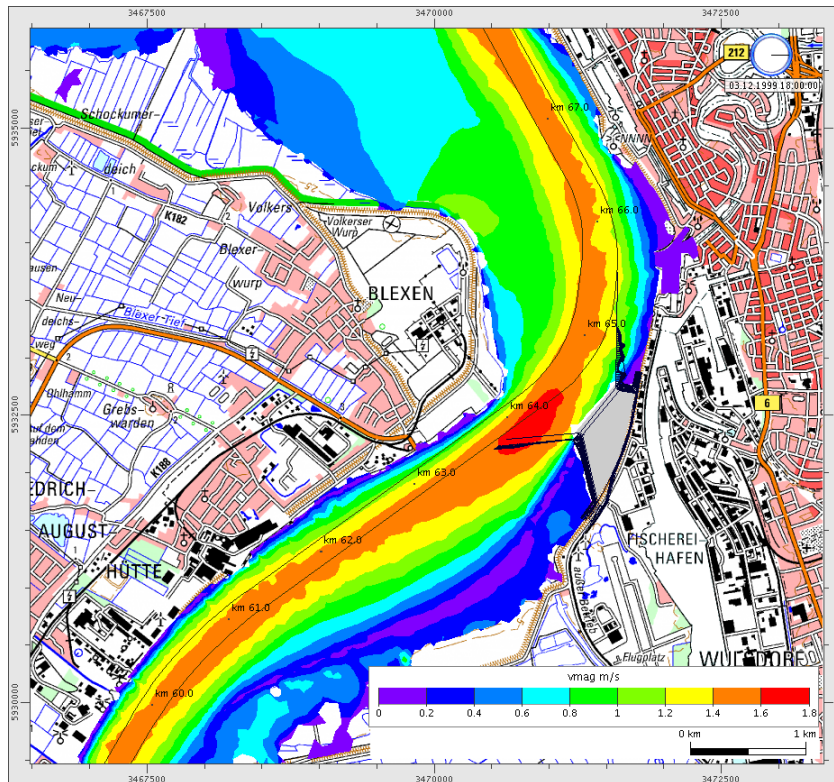
Die Laufzeiten (Eintrittszeitpunkt des Sturmflutscheitels in Bremen) ändern sich nicht signifikant (weniger als 1 Minute).

Im Hinblick auf die Anhebung des Bemessungswasserstandes in Bremerhaven von 6,37 m NHN auf 6,62 m NHN) gilt folgendes:

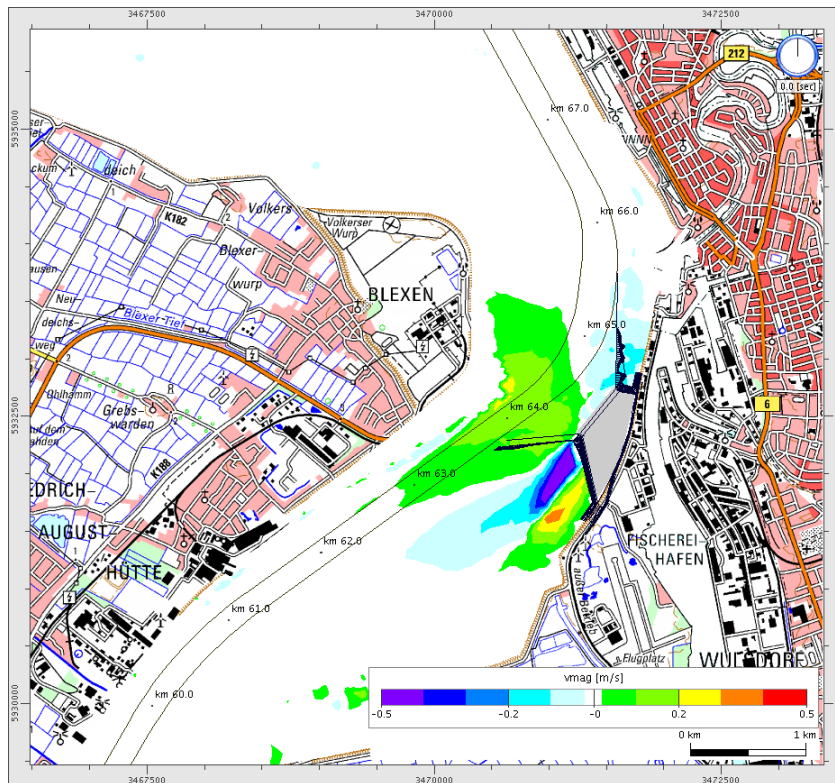
- Durch die Wasserstandserhöhung um 25 cm wird die Verbauwirkung des OTB nicht mehr nennenswert zunehmen.
- Bei ansonsten gleicher Sturmflutdynamik werden die vorhabensbedingten lokalen Änderungen der Strömungsgeschwindigkeiten so wie die Änderungen des Scheitelwasserstandes wegen der Zunahme der Wassertiefe tendenziell abnehmen.
- Falls mit der Anhebung des Bemessungswasserstandes eine Zunahme der Sturmflutdynamik gegeben wäre, könnten die vorhabensbedingten lokalen Geschwindigkeitsänderungen verstärkt werden. Damit wäre eine weitere vorhabensbedingte Abnahme der Scheitelwasserstände in der Unterweser und eine Zunahme seeseitig des OTB verbunden. Dabei wären geringfügige Änderungsbeträge zu erwarten.



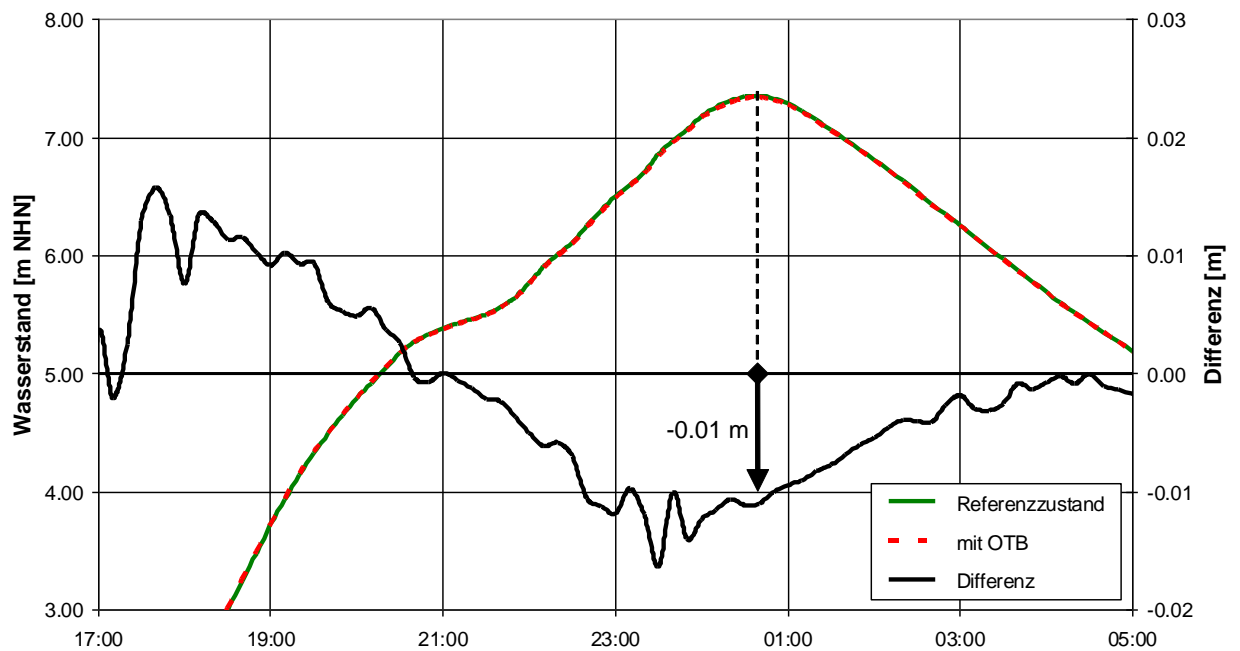
**Bild 22:** Flutstromgeschwindigkeiten bei der Bemessungssturmflut 2003 (Referenz)



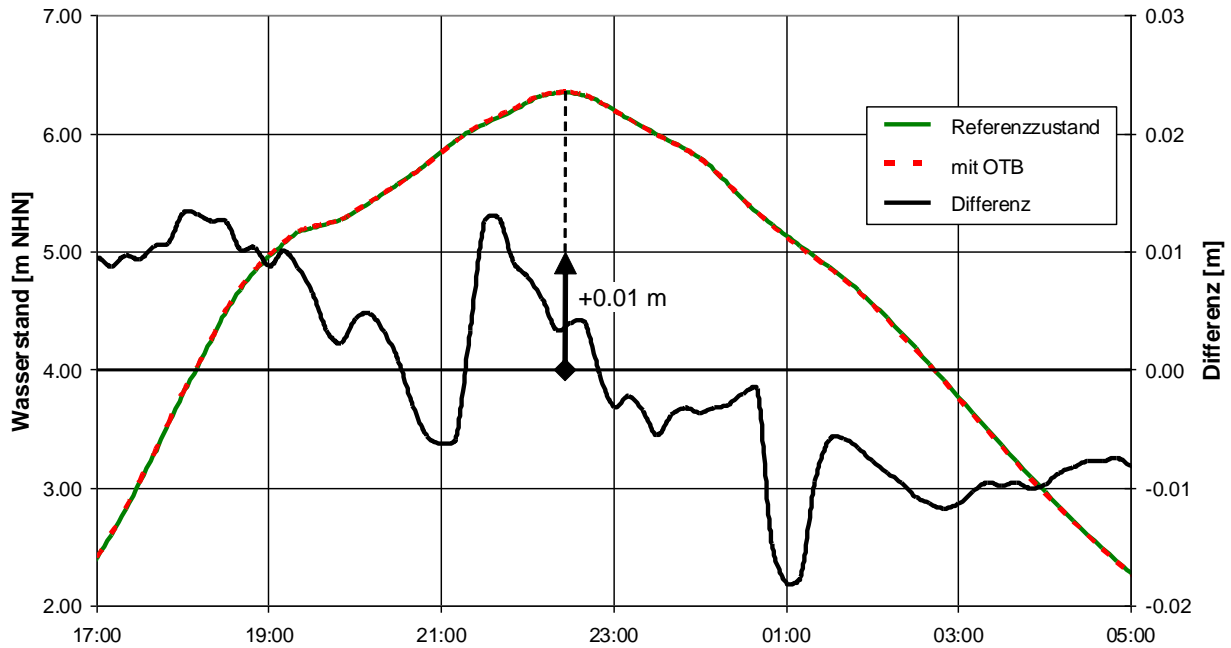
**Bild 23:** Flutstromgeschwindigkeiten bei der Bemessungssturmflut 2003 (mit OTB, mit Fahrrinnenanpassung)



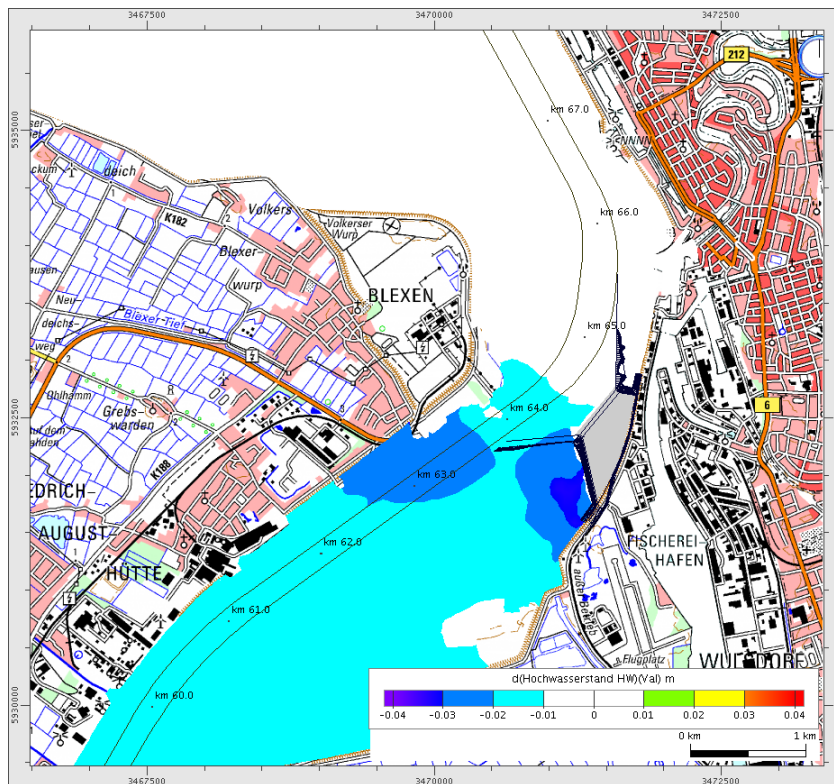
**Bild 24:** Vorhabensbedingte Änderungen der Flutstromgeschwindigkeiten bei der Bemessungssturmflut 2003 (mit Fahrrinnenanpassung)



**Bild 25:** Wasserstandsganglinien der Bemessungssturmflut 2003 und Differenzen am Pegel Bremen (Wilhelm-Kaisen-Brücke), mit Fahrrinnenanpassung



**Bild 26:** Wasserstandsganglinien der Bemessungsturmflut 2003 und Differenzen am Pegel Bremerhaven (Alter Leuchtturm), mit Fahrrienenanpassung



**Bild 27:** Änderung des Scheitelwasserstandes der Bemessungsturmflut 2003 (mit Fahrrienenanpassung)

### **6.3 Relevante Wirkungen der Fahrrinnenanpassung (BAW 2006c, d)**

Für die BAW-Gutachten 2006c und d wurden die Ausbauzustände nach der geplanten Fahrrinnenanpassung der Unter- und Außenweser mit Hilfe eines HN-Modells bezüglich der Wirkungen bei Sturmfluten untersucht. Dazu wurden mehrere mit den Einvernehmensbehörden abgestimmte Sturmfluten simuliert, nämlich die Sturmfluten vom 3. 1. 1976 und vom 28. 1. 1994 (ergänzt durch Parametervariationen), sowie eine synthetische vom NLWKN vorgeschlagene Sturmflut, die der Bemessungssturmflut mit einem Scheitelwasserstand in Bremerhaven von 6,37 m NN entspricht.

Für den gleichzeitigen Ausbau der Unter- und Außenweser wurden folgende Wirkungen ermittelt: In der Jade und der Außenweser ergaben sich keine ausbaubedingten Änderungen der Sturmflutenkenngößen. In der Unterweser erhöhten sich die Sturmflutscheitelwasserstände um bis zu 3 cm. Die Eintrittszeit des Sturmflutscheitelwasserstandes veränderte sich ausbaubedingt um weniger als  $\pm 10$  Minuten. Die Dauer hoher Wasserstände veränderte sich um weniger als  $\pm 10$  Minuten.

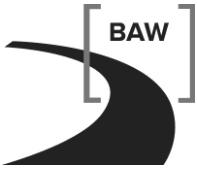
### **6.4 Vorhabenswirkungen ohne Fahrrinnenanpassung**

Während die Vorhabenswirkungen bei Sturmflutwasserständen größer sind als bei normalen Wasserständen (der Querschnittsverbau am Gewässerrand wird dann stärker wirksam), ist es bei den Ausbauwirkungen der geplanten Fahrrinnenanpassung umgekehrt, weil bei hohen Füllungsgraden des Gewässerquerschnitts die ausbaubedingte Vertiefung der Fahrrinne eine geringere Rolle spielt. Grundsätzlich bewirkt die für Unter- und Außenweser geplante Vertiefung der Fahrrinne zwar eine Veränderung der Form der Tidewelle sowie eine Veränderung der Fortschrittsgeschwindigkeit der Tidewelle. Jedoch sind diese Änderungen gering und beeinflussen die Sturmflutcharakteristiken nicht wesentlich. Daher ist nicht anzunehmen, dass in der Überlagerung der OTB-Wirkungen mit einem Nicht-Ausbau der Fahrrinne aus solchen großräumigen Aspekten ungünstige Effekte auftreten können, die die Vorhabenswirkungen des OTB verstärken.

Bei der lokalen Betrachtung des Einengungseffekts sind die gleichen Effekte zu berücksichtigen wie in Abschnitt 4.4, nämlich:

- a) Das Tidevolumen in der Unterweser und somit die Strömungsgeschwindigkeiten und Durchflussmengen im Blexer Bogen sind geringer als mit Fahrrinnenanpassung.
- b) Die vorhabensbedingte Reduzierung der Querschnittsfläche und der Durchflusskapazität durch das OTB ist geringer als mit Fahrrinnenanpassung.





Daher ist auch hier – wie unter mittleren Tidebedingungen – für den Fall ohne Fahrrinnenanpassung eine Reduzierung der Vorhabenswirkungen anzunehmen. Diese kann jedoch, auch in Anbetracht der ohnehin geringen Vorhabenswirkungen auf die Sturmflutwasserstände, vernachlässigt werden.

Dies bedeutet, dass die Prognose für die Auswirkungen des OTB auf die Sturmflutbedingungen für die Fälle mit und ohne die geplante Fahrrinnenanpassung der Unter- und Außenweser gleich lautet:

- Stromaufwärts des Offshore-Terminals bis Bremen werden die Sturmflutscheitelwasserstände geringfügig (um etwa 1 cm) reduziert.
- Seeseitig des OTB ergibt sich kein nennenswerter Anstieg des Scheitelwertes (unter 1 cm).
- Die Laufzeiten (Eintrittszeitpunkt des Sturmflutscheitels in Bremen) ändern sich nicht signifikant (weniger als 1 Minute).

## 7 Auswirkungen auf die Seegangsverhältnisse

### 7.1 Allgemeines, 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. 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.

Für das Weserästuar wurde vom NLWKN eine Bemessungssturmflut (2003) festgelegt (vgl. Abschn. 6). 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 (2003)
- Seegang für die Windrichtung Nordwest und eine Windgeschwindigkeit von 30 m/s
- Totalreflektion der senkrechten Kajeinfläche, Reflektionsfaktor 0,5 für die geböschten Flanken

Das NLWKN ging bei Untersuchungen zur Sturmflutsicherheit an der Unterweser in ähnlicher Weise vor (NLÖ, 2003): Für die lokale Seegangsentwicklung wurden 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.

Die Kombination der Bemessungssturmflut 2003 (Westwind) mit dem Seegang für Nordwestwind ergibt zwar kein homogenes Szenario. Dennoch war diese Überlagerung der Wasserstands- und Seegangbedingungen für den Bereich des OTB sinnvoll, weil das Errei-

chen des Bemessungswasserstandes auch bei nordwestlichen Windrichtungen möglich erscheint.

Zur Ermittlung eines oberen Wertes für die Prognose der Vorhabenswirkungen wurde an den senkrechten Reflektionsflächen (Kajen) eine Totalreflektion angenommen.

## 7.2 Vorhabenswirkungen mit Fahrrinnenanpassung (BAW 2012a)

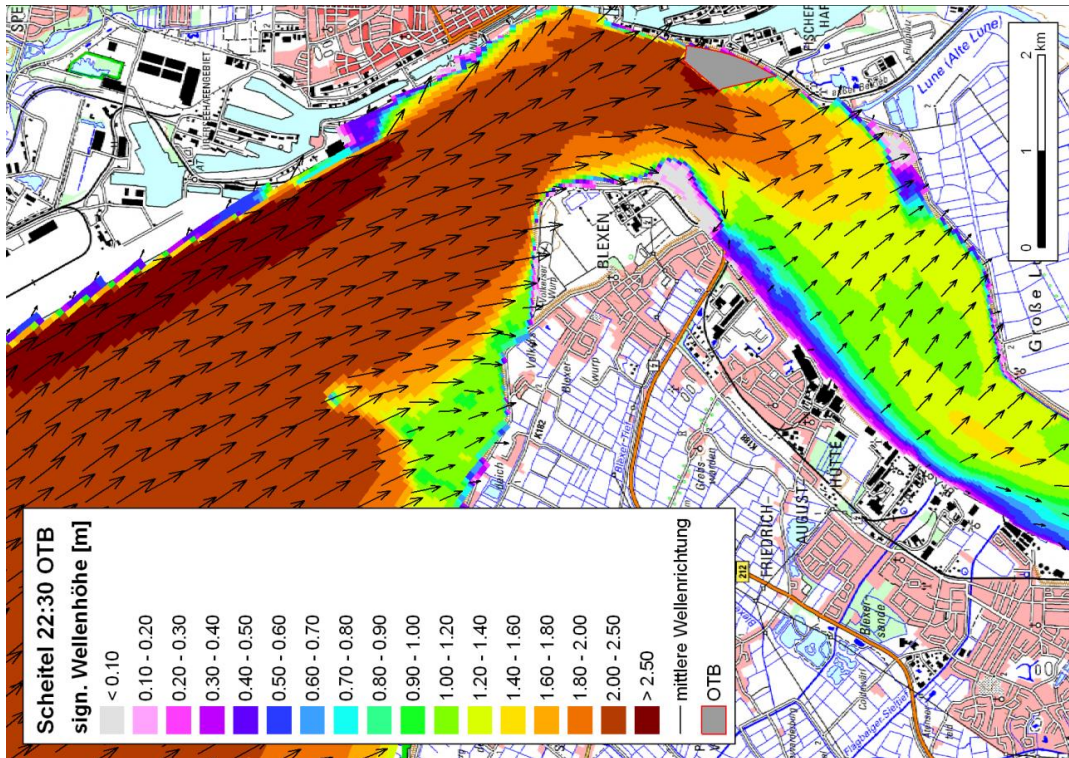
Die beschriebene Szenarienkombination der Bemessungsturmflut mit einem durch Nordwestwind (30 m/s) hervorgerufenen Seegang ergab am Ort der geplanten Kaje signifikante Wellenhöhen von rund 2,0 m beim Sturmflutscheitel. Die Größe der Wellenhöhe resultiert daraus, dass der Seegang von der Außenweser her fast geradlinig auf diese Stelle trifft.

Durch die Reflektionswirkung des OTB wird der relativ starke Seegang zum Blexener Ufer gelenkt und dort nochmals von Uferwänden und Anlegern reflektiert (Bild 28 und Bild 29). Dadurch gelangt vermehrt Seegangenergie in die bisher weniger beaufschlagten Bereiche des Blexer Bogens (Blexen bis Friedrich-August-Hütte). Dabei liegen die größten Zunahmen der sign. Wellenhöhen jeweils vor den reflektierenden Wänden.

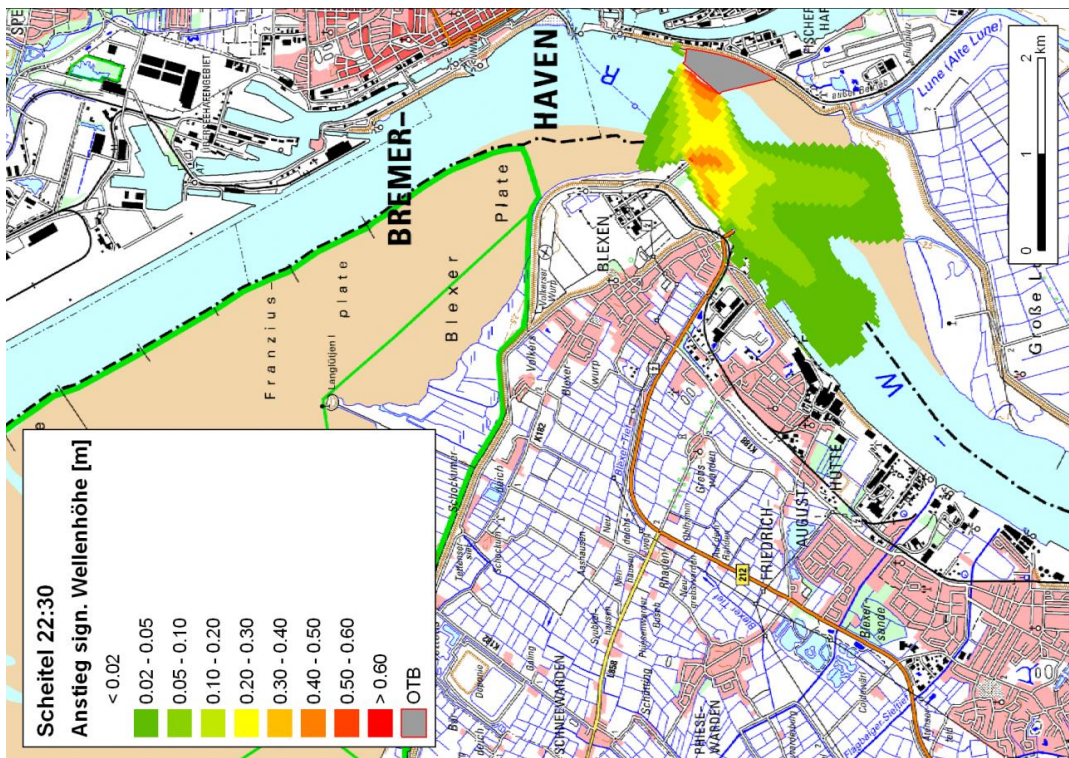
Auf der Grundlage des konstruierten, sehr ungünstigen Sturmflutszenarios können auf der sicheren Seite liegend folgende Annahmen über die vorhabensbedingten Zunahmen der signifikanten Wellenhöhen getroffen werden:

- Im ungünstigsten Fall kommt es im Fahrwasserbereich zwischen dem OTB und dem Uferabschnitt Fähranleger – Titan-Anleger zu einem Anstieg der signifikanten Wellenhöhe von bis zu 0,70 m. So hohe Anstiege erreichen zwar die betreffenden Uferdeckwerke und Anleger, aber auf Grund des Vorlandes oder der Entfernung nicht die Deiche.
- In unmittelbarer Deichnähe ist an beiden Seiten der Weser mit einem Anstieg von bis zu 0,05 m zu rechnen bzw. bis zu 0,10 m am Bremerhavener Seedeich (Bild 30, unter Berücksichtigung der geböschten Ausbildung der Terminal-Nordflanke gem. [3], vgl. BAW 2013).
- Auf der sicheren Seite liegend ist der Zuschlag von 0,05 m für folgende Bereiche zu berücksichtigen (Bild 30):
  - für die Deichlinie am linken Weserufer etwa vom Turm bei Weser-km 65,5 bis zum Anleger der Friedrich-August-Hütte bei Weser-km 60,5 und
  - für den Deichabschnitt südwestlich des OTB und des Lunesiels bis zum Knick bei der Radarstation Luneplate.

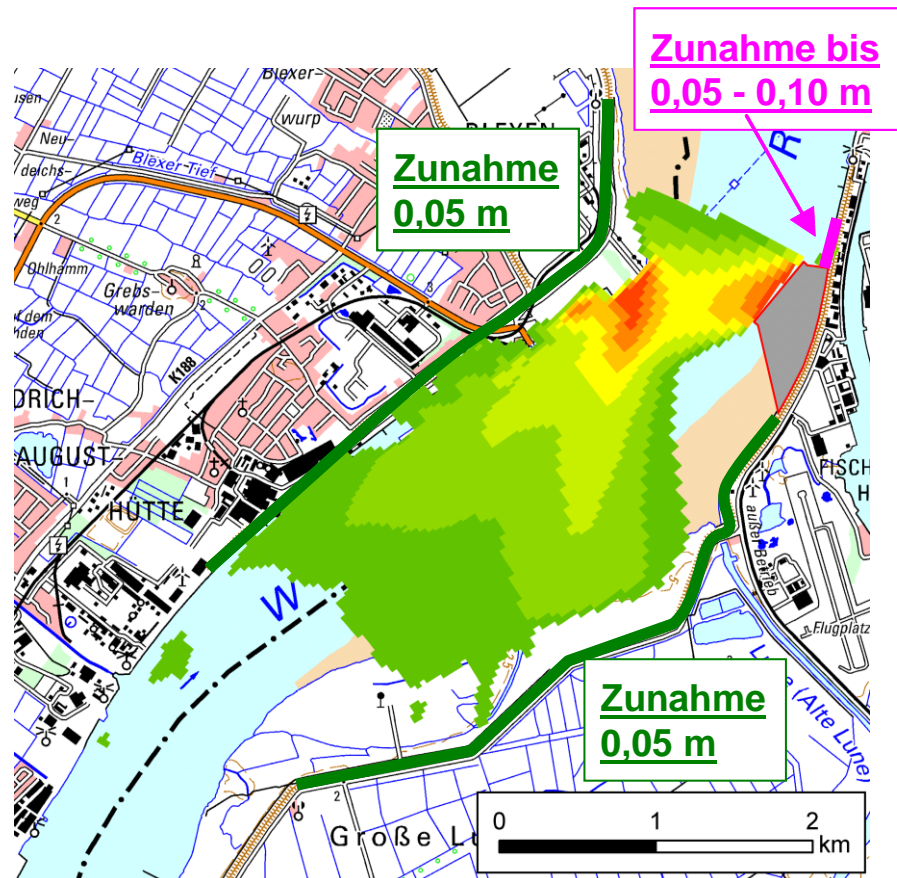




**Bild 28: Signifikante Wellenhöhen beim Scheitelwasserstand (mit OTB, mit Fahrrinnenanpassung)**



**Bild 29: Vorhabensbedingte Änderungen der signifikanten Wellenhöhen beim Scheitelwasserstand (mit Fahrrinnenanpassung)**



**Bild 30:** Prognosewerte für die Zunahme der signifikanten Wellenhöhen an den Deichlinien (mit Fahrrinnenanpassung, mit Steelwind-Kaje, mit Anhebung der Wasserstände um 25 cm, mit Berücksichtigung der Ausführungsplanung für die geböschten Flanken des OTB)

### 7.3 Relevante Wirkungen der Fahrrinnenanpassung (BAW 2006a - d)

Der in den Blexer Bogen einlaufende Sturmflutseegang setzt sich zusammen aus ortsständigem Seegang, der in der Außenweser entsteht, und Nordsee-Seegang, der von außen in das Weserästuar einläuft.

Der geplante Fahrrinenausbau umfasst in der Außenweser:

- Absenkung der Fahrrinnen- Sollsohle um bis zu 1,2 m über eine Strecke von insgesamt rd. 52 km von Weser-km 65 oberhalb des Containerterminals (CT) Bremerhaven bis etwa Weser-km 120.
- Vergrößerung der Fahrrinnenbreite in der äußeren Außenweser ab km 99 seewärts um 80 m auf 380 m.

- Westverschwenkung des Fahrwassers um bis zu 240 m in Bereiche größerer natürlicher Wassertiefen zwischen km 99 und km 110.
- Tiefenanpassung der hafenbezogenen Wendestelle bei km 70,6 bis km 73,2.

Im Blexer Bogen soll bei gleichbleibender Solltiefe eine Verschwenkung der Fahrrinne durchgeführt werden, so dass zur Unterhaltung weniger gebaggert werden muss.

Grundsätzlich kann durch die ausbaubedingte Zunahme der Wassertiefen in der Fahrrinne mehr Seegangsenergie in den Blexer Bogen gelangen. Dieser Effekt wird durch Strömungsrefraktion gemindert: Beim Erreichen des Sturmflutscheitelwasserstandes in Bremerhaven besteht noch Flutströmung, d. h. Seegangsrichtung und Strömungsrichtung in der Außenweser sind gleichgerichtet. Da die höchsten Strömungsgeschwindigkeiten im zentralen Bereich der tiefen Rinne auftreten und das horizontale Geschwindigkeitsprofil entsprechend gekrümmt ist, werden mit der Strömung laufende Wellen aufgefächert und zum Rand der Fahrrinne geleitet. Die Fahrrinntiefe spielt also nur eine eingeschränkte Rolle, da bei Flutstrom der Seegang mit ggf. großer Wellenhöhe und –länge der Fahrrinne ohnehin nur begrenzt folgen kann.

Die Wasserstände und die Tiefenverhältnisse im Blexer Bogen ändern sich ausbaubedingt nicht wesentlich.

#### **7.4 Vorhabenswirkungen ohne Fahrrinnenanpassung**

Da die Vorhabenswirkungen des OTB auf den Sturmflutseegang im Wesentlichen von der Reflektionswirkung der senkrechten Kajen bestimmt sind, sind die vorhabensbedingten Zunahmen der Wellenhöhen der Größe des einlaufenden Seegangs proportional. Für den Fall, dass die Fahrrinnenanpassung der Weser nicht durchgeführt wird, sind die einlaufenden Wellenhöhen tendenziell geringer und somit auch die reflektierten Wellenhöhen.

Dabei ist der Einfluss der geplanten Fahrrinnenanpassung auf diese Vorhabenswirkungen als relativ gering einzuschätzen, so dass auch für den Fall ohne Weserausbau von den in Abschnitt 7.2 zusammengefassten Prognosen des BAW-Gutachtens 2012a (unter Berücksichtigung der Stellungnahme BAW 2013 für den Seedeich Bremerhaven) ausgegangen werden sollte.

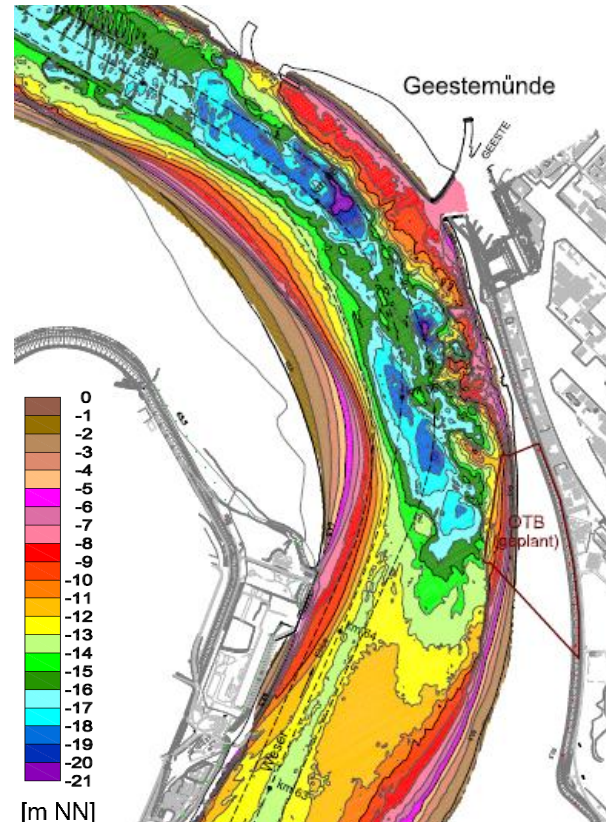


## 8 Auswirkungen auf die Morphodynamik und den Sedimenttransport

### 8.1 Allgemeines, Wirkungszusammenhänge

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 und auch bei Bohrungen wird überwiegend Feinsand und Schluff angetroffen [4],[5]. Das Bettmaterial ist also allgemein nicht erosionsstabil, sondern kann durch die Strömungen leicht mobilisiert werden.

Auswertungen von Peilplänen (Nasner 2011) zeigen starke Sedimentationen auf Grund von hohen Oberwasserabflüssen (Frühjahrssituation), die bei normalen und niedrigen Oberwassermengen von der Tide wieder ausgeräumt werden (Herbstsituation wie z. B. in Bild 31). 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.



**Bild 31:** Unterwassertopographie im Bereich des OTB (Herbstpeilung 2010 des WSA Bremerhaven, aus: Nasner 2011)

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.

Auf Grund der vorhabensbedingten Änderungen der Strömungsdynamik sind die folgenden Auswirkungen auf die Morphodynamik und den Sedimenttransport zu erwarten:

- 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 vorhabensbedingt erhöhter Strömungsgeschwindigkeit.
- Morphologische Anpassungsprozesse im Bereich der Hauptströmung können die Fließquerschnitte weiter verändern und dadurch die in Abschnitt 4 beschriebenen Vorhabenswirkungen beeinflussen (z. B. werden vorhabensbedingte Strömungszunahmen durch eine Erosion der Sohle gemindert).
- 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 31), die nicht sehr intensiv durchströmt werden (vgl. Abschn. 4). Es ist deshalb mit mäßigen lokalen Vorhabenswirkungen zu rechnen, die das großräumige Sedimenttransportregime nicht nennenswert beeinflussen.

Unter der Voraussetzung, dass sich das Erosionsverhalten der Sohle nicht grundsätzlich ändert, wird der vorhabensbedingte Anstieg des Erosionspotentials (durch erhöhte Strömungsgeschwindigkeiten) dann verschwinden, wenn nach einer entsprechenden Eintiefung der Sohle das Geschwindigkeitsniveau des Referenzzustands wieder erreicht wird oder, genauer, die Sohlschubspannungen dadurch wieder auf das alte Niveau sinken.

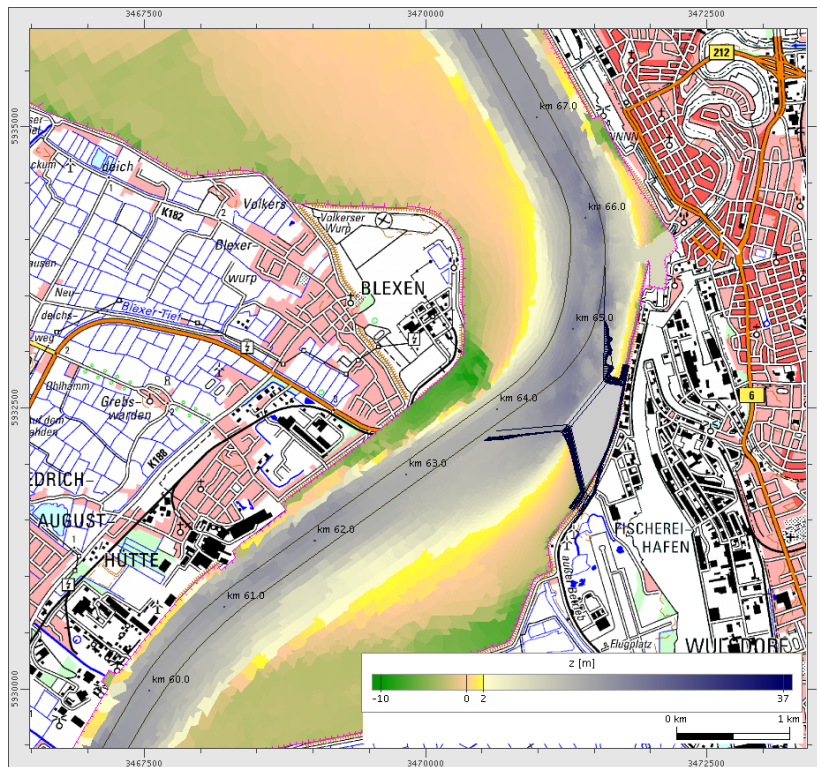
## 8.2 Vorhabenswirkungen mit Fahrrinnenanpassung (BAW 2012a)

Auf der Grundlage der untersuchten Strömungsbedingungen, der Sedimenteigenschaften im Blexer Bogen und der analysierten morphodynamischen Prozesse konnte in BAW 2012a ein wahrscheinlicher Systemzustand beschrieben werden, zu dem sich der Referenzzustand durch die Wirkungen des OTB entwickeln kann, wenn die maximal zu erwartenden Erosionswirkungen berücksichtigt werden (auf der sicheren Seite liegende Prognosewerte).

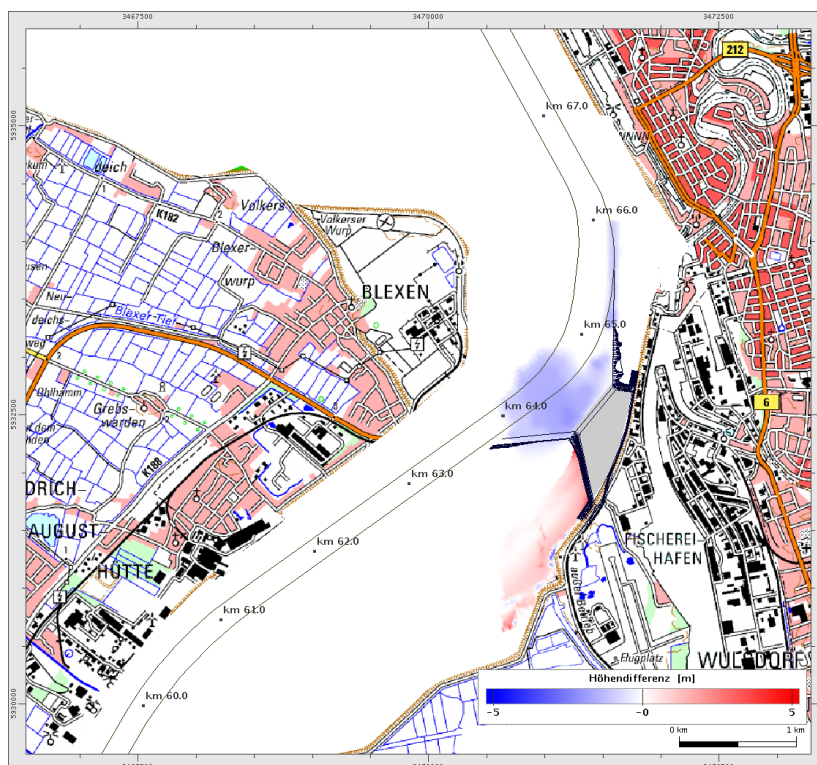
Der begründet angenommene langfristige morphologische Systemzustand berücksichtigt, dass der Fahrrinnen- und Zufahrtsbereich sich in Folge der vorhabensbedingt erhöhten Strömungsgeschwindigkeiten weiter eintieft und die Abschattungsbereiche aufsedimentieren (vgl. Bild 32 und Bild 33):

- Im Fahrrinnen- und Zufahrtsbereich wird sich die Gewässersohle entsprechend der Verteilung der Vorhabenswirkungen (Änderung der Strömungsgeschwindigkeiten, Ergebnisse der morphodynamischen Berechnung) um bis zu 1,5 m vertiefen.
- Auf der Blexer Seite wird die Unterwasserböschung im ungünstigsten Fall auf rd. 500 m Länge um bis zu 50 m zurückweichen.
- Durch die Sedimentation im südwestlichen Abschattungsbereich des Offshore-Terminals werden sich dort die Wassertiefen verringern, wobei die Tiefen- bzw. Höhenlinien sich dem Strömungsverlauf anpassen (Länge des betroffenen Bereichs etwa 1500 m, Breite 400 m).
- Durch Sedimentationen im nordwestlichen Abschattungsbereich sind relativ kleine Veränderungen zu erwarten; sie wurden deshalb in Bild 33 vernachlässigt.

Die größten vorhabensbedingten Erosionswirkungen sind während und unmittelbar nach der Realisierung der Maßnahme zu erwarten, weil dann die Drosselwirkung des Terminals die Querschnittserweiterung durch die Vertiefung des Zufahrtsbereichs überwiegt und das hydro-morphologische System zunächst gestört ist. Der morphologische Nachlauf im Bereich vorhabensbedingt erhöhter Strömungsgeschwindigkeiten wirkt diesem Effekt entgegen und mindert die Vorhabenswirkungen langfristig. Daher ist nicht zu erwarten, dass sich die beschriebenen hydro- und morphodynamischen Veränderungen langfristig verstärken werden.



**Bild 32: Angenommener langfristiger morphologischer Systemzustand**



**Bild 33: Höhendifferenzen des angenommenen langfristigen morphologischen Systemzustands (Bild 32) zum Ausbauzustand unmittelbar nach Einbau des Terminals und des Zufahrtbereichs**

### **8.3 Relevante Wirkungen der Fahrrinnenanpassung (BAW 2006a, b)**

Einflüsse der geplanten Fahrrinnenanpassung der Unter- und Außenweser auf die Vorhabenswirkungen des OTB können einerseits über die verursachenden Kräfte entstehen, also durch eine ausbedingte Änderung der vorhabensbedingten Änderung der Strömungsgeschwindigkeiten. Dies wurde bereits in Abschnitt 4 behandelt.

Weiter ist zu überprüfen, ob Auswirkungen der Fahrrinnenanpassung auf die morphodynamischen Randbedingungen, also auf das Sedimenttransportregime, für die Vorhabenswirkungen des OTB relevant sein können. Dem BAW-Gutachten 2006b ist für den Blexer Bogen zu entnehmen:

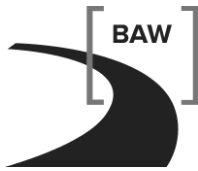
- Die Weseranpassung bewirkt eine sehr schwache Verringerung der tiefengemittelten mittleren Suspensionskonzentrationen in der Trübungszone.
- In den Transportmustern der lokalen Flut- und Ebbestrom- Suspensionstransporte ergeben sich Verlagerungen (Zu- und Abnahmen).
- Die Flutstrom-Geschiebefrachten im Blexer Bogen verändern sich sehr geringfügig.
- Die Ebbestrom-Geschiebefrachten nehmen querab und seewärts vom geplanten Terminal zu und stromaufwärts ab. Die größeren Änderungen betreffen hauptsächlich den Bereich, der vom OTB überbaut wird. Im Übrigen sind sie geringfügig.

### **8.4 Vorhabenswirkungen ohne Fahrrinnenanpassung**

Hinsichtlich der Strömungsbedingungen und somit auch hinsichtlich der Morphodynamik sind geringere Auswirkungen des OTB zu erwarten als bei einer Realisierung der Fahrrinnenanpassung (vgl. Abschnitt 4). Allerdings sind die ausbaubedingten Änderungen der Strömungsgeschwindigkeiten mit einer Größenordnung von 2 – 4 cm/s gering im Verhältnis zu den (örtlich begrenzten) Vorhabenswirkungen des OTB mit 5 – 20 cm/s (mit Fahrrinnenanpassung). Es ist daher von einer geringen Reduzierung der Vorhabenswirkungen auszugehen, die zu keiner Modifikation der Prognose der morphodynamischen Wirkungen des OTB führt.

Bei einer detaillierteren Betrachtung sind die o. g. ausbaubedingten Änderungen der morphodynamischen Randbedingungen (Abschn. 8.3) zu berücksichtigen. Diese sind jedoch so einzuschätzen, dass sie das morphodynamische Regime nicht wesentlich verändern und somit auch die Vorhabenswirkungen des OTB nur sehr geringfügig beeinflussen.





Die Prognosen im BAW-Gutachten 2012a zur den Wirkungen des OTB auf die Morphodynamik können somit auch für den Fall ohne die geplante Fahrrinnenanpassung der Weser angewendet werden und liegen auf der sicheren Seite.

## 9 Klappstellenuntersuchung

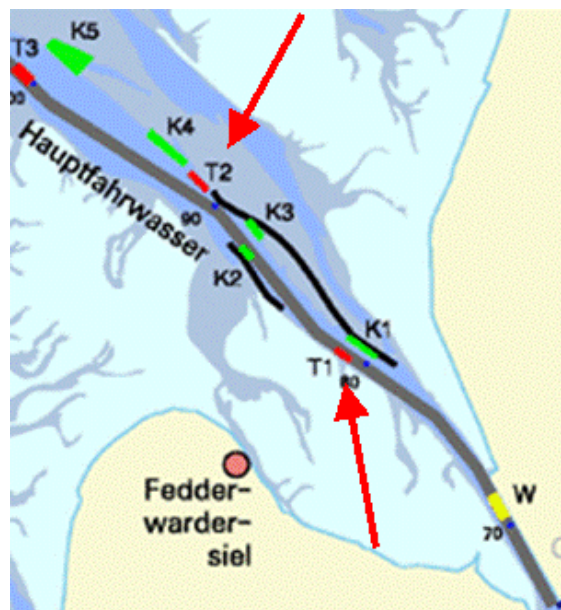
### 9.1 Allgemeines, Wirkungszusammenhänge

Im Rahmen der Herstellung des Terminals ist geplant, die Gewässersohle vor dem Terminal zu vertiefen, um so die erforderlichen Wassertiefen für den Zufahrtsbereich und die Liegewanne zu schaffen. Die Baggermengen sollen, soweit sie zur Verklappung geeignet sind, auf bestehende Unterhaltungsklappstellen in der Außenweser verbracht werden. Im BAW-Gutachten 2012b war zu klären, wie sich das in der Bauphase entnommene Baggergut nach der Verklappung auf die zugewiesenen Klappstellen verhalten wird (Verdriftungsberechnungen).

Das Baggergut soll mit einem Hopperbagger entnommen und zu den Klappstellen T1 (Wremer Loch) und T2 (Fedderwarder Fahrwasser) verbracht werden. Dabei wird

- Sand tideunabhängig auf T1,
- Schluff bei Ebbe auf T1, bei Flut auf T2

verklappt (Bild 34).



**Bild 34: Lage der Klappstellen** (Quelle: [www.weseranpassung.de](http://www.weseranpassung.de))

Die erforderliche Baggermenge wurde vom Auftraggeber nach oben hin abgeschätzt und auf der sicheren Seite liegend mit 180 000 m<sup>3</sup> feste Masse vorgegeben (rd. 50% Sand und 50% Schluff). Bei einem Hopperbagger mit einem Laderaumvolumen von 4000 m<sup>3</sup> und vier Umläufen pro Tag sind für die Durchführung der Baggerung rund 14 Tage erforderlich (7 Arbeitstage pro Woche).

Beim Verklappvorgang fällt das im Laderaum gesammelte Baggergut nach dem Öffnen der Laderaumklappen größtenteils als zusammenhängender Körper durch die Wassersäule auf den Gewässerboden. Ein Teil durchmischt sich mit dem Wasser und geht in Suspension. Das auf dem Boden abgelagerte Material wird abhängig von der Strömungsgeschwindigkeit und der Korngröße mobilisiert und entweder sohnah als Geschiebe bewegt oder in die Wassersäule eingemischt und als Suspension transportiert.

Bei abnehmender Strömungsgeschwindigkeit (Flut-, Ebbestromkenterung) setzt sich suspendiertes Material teilweise ab, um später mit der einsetzenden Tideströmung wieder mobilisiert und weiter transportiert zu werden.

Die Transportprozesse des Baggerguts finden vor dem Hintergrund des natürlichen Sedimenttransportgeschehens statt. Dieses ist in der Außenweser durch die komplexen Randbedingungen und Wechselwirkungen der Topographie (Fahrrinnen, Leitwerke, Priele, Sande etc.), des natürlichen Sedimentvorrats (am Boden und in Suspension) sowie der Strömungs-, Seegangs- und Turbulenzbedingungen geprägt. Die Morphologie und Sedimentologie der Außenweser wurde z. B. in (BAW 2006b) ausführlich beschrieben. Durch die Verklappung wird der natürlich vorhandene Sedimenttransport lokal verstärkt. Dabei findet eine Wechselwirkung statt.

Die geplanten Baggergutverklappungen finden in einem Gebiet statt, in dem regelmäßig Verklappungen auf Grund anderer Vorhaben durchgeführt werden.

Aus Naturbeobachtungen ist bekannt, dass die Baggergutwolke nur über eine kurze Zeit und Entfernung (einige hundert Meter) an der Oberfläche sichtbar bleibt.

Die Klappstellenuntersuchung erfolgte im Sinne einer Systemstudie, denn hinsichtlich der Modellbildung der physikalischen Prozesse und hinsichtlich des Szenarios (zeitlicher Ablauf der Verklappvorgänge) sind Vereinfachungen immanent bzw. waren Annahmen zu treffen. Die gewählten Methoden und Verfahren wurden bei der Bewertung der Ergebnisse und bei der Formulierung der Prognosen berücksichtigt.

Im Modell wurde über einen ganzen Spring-Nippzyklus (14 Tage) alle 6 Stunden (vier Umläufe pro Tag) je ein volles Laderaumvolumen verklappt (56 Verklappungen). Unter Berücksichtigung eines Auflockerungsfaktors von 12% entsprach dies einer Gesamtmenge von 200 000 m<sup>3</sup>, also etwa 10% mehr als die Vorgabe. Es wurde abwechselnd Schluff und Sand verklappt. Nach der letzten Verklappung wurde die Simulation für weitere 14 Tage fortgesetzt, um die weitere Verdriftung des Materials zu ermitteln.

Die exakte Simulation des Verklappungsvorgangs selbst war nicht möglich, weil geeignete Datensätze für die Kalibrierung der Prozesse fehlen, die bei der Einleitung des Baggerguts

und der dabei erfolgenden Vermischung mit dem Wasserkörper stattfinden. Daher wurde auf die dafür ggf. erforderliche extrem hohe zeitliche und räumliche Auflösung eines Detailmodells verzichtet und das Baggergut in die Wassersäule der entsprechenden Berechnungszellen des Ästuarmodells eingeleitet. Dadurch war es sofort vollständig mobilisiert und konnte sich strömungsabhängig als Baggergutwolke weiterbewegen. Diese Vorgehensweise liegt hinsichtlich der erzeugten Höhe der Suspensionskonzentrationen und der Ausbreitung des Baggerguts auf der sicheren Seite.

Der Sedimenttransport wurde jeweils unter Berücksichtigung der verschiedenen Korngrößenanteile („fraktionierter Transport“) berechnet. Die natürliche Verteilung der Oberflächensedimente wurde wie im morphodynamischen Gutachten zum Weserausbau (BAW, 2006b) nachgebildet. Die Grundlagen waren die umfangreichen Sedimentbeprobungen der WSÄ Bremerhaven, Bremen und Wilhelmshaven in den Jahren 1987 und 2003, sowie die Kartierungen von FIGGE (1980) und vom NLÖ (1999). Zur Modellierung des Baggerguts wurden je drei Schluff- und Sandfraktionen berücksichtigt.

Die Sinkgeschwindigkeiten der Einzelfraktionen wurden nach Stokes berechnet. Die Porosität des zu baggernden Bodens in situ wurde mit 30% angenommen, die Kornrohddichte mit  $2650 \text{ kg/m}^3$ . Als „Einleitungsdauer“ je Verklappvorgang wurden 30 Minuten angenommen.

Bei den Klappstellenuntersuchungen wurde die tiefengemittelte Tideströmung modelliert, wodurch die Sedimenttransportwege tendenziell überschätzt wurden. Grundsätzlich ist in der Außenweser auch der Seegang an den Sedimenttransportprozessen beteiligt, weil er insbesondere in den flachen Randbereichen für eine Mobilisierung und weitere Verteilung von Sedimenten sorgt. Im vorliegenden Fall konnte auf eine Modellierung des Seegangs verzichtet werden, weil sich der Seegang in der Außenweser vorhabensbedingt nicht ändert und weil (wie durch die Untersuchungsergebnisse bestätigt) eine nennenswerte verklappungsbedingte Sedimentation auf den Sanden und Watten nicht zu erwarten war.

## **9.2 Vorhabenswirkungen mit Fahrrinnenanpassung (BAW 2012b)**

Im Gutachten BAW 2012b wurde die Frage behandelt, wohin das verklappte Material verdriftet wird und welche Suspensionskonzentrationen und Sedimentationsraten die Verklappung des Baggerguts der OTB-Baustelle im Einflussbereich der Klappstellen herbeiführen kann.

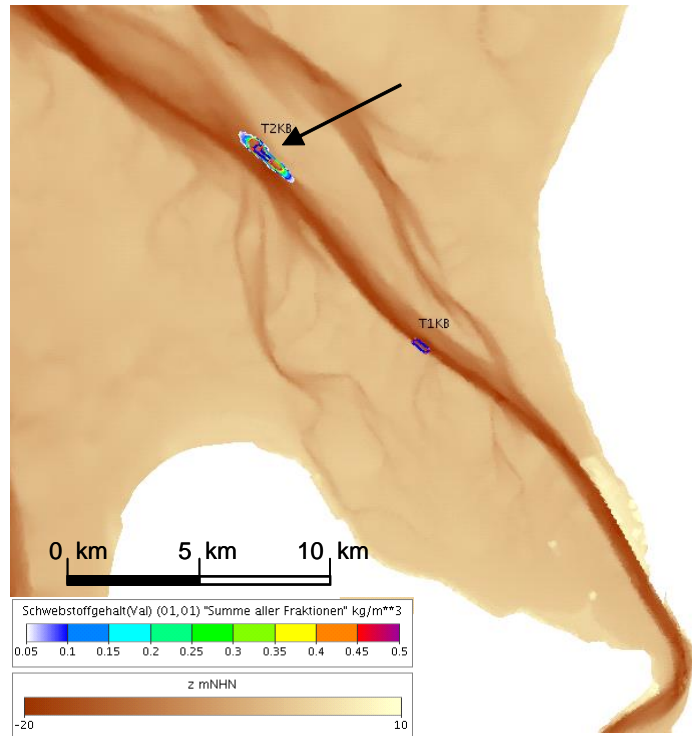
### **9.2.1 Suspensionskonzentrationen**

Im Zeitraum der Baggergutverbringung wird mit jeder Verklappung lokal eine erhöhte Suspensionskonzentration erzeugt (Zone erhöhter Trübung = Baggergutwolke). Die Baggergutwolke wird jeweils mit der Tideströmung verdriftet. Bei stationärer Betrachtung eines betroffenen Ortes im Ästuar kommt es also beim Passieren der Trübungswolke zu „kurzfristigen“ Erhöhungen der Trübung.

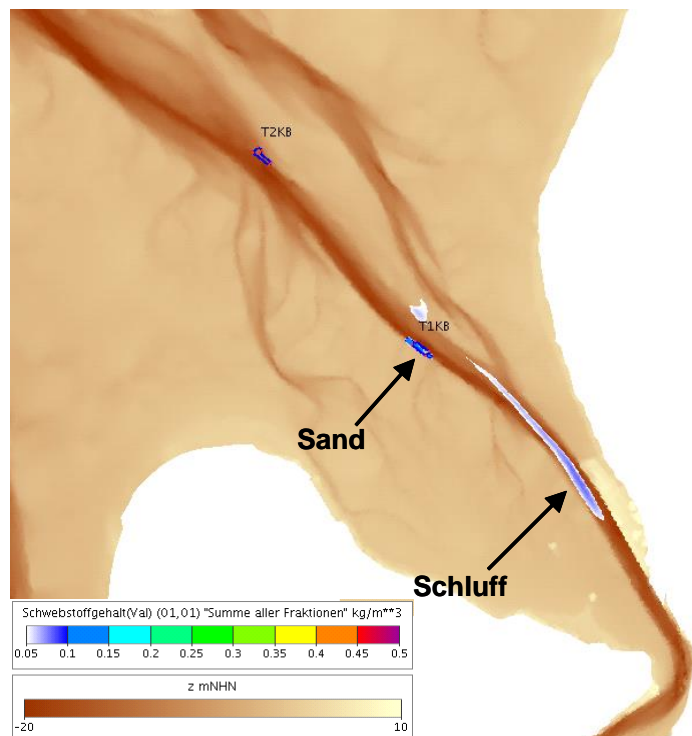
Die Baggergutwolke wird mit der Tide stromauf- bzw. –abwärts transportiert, wobei sie sich durch Dispersion und Sedimentation verdünnt. Die Auswertungen in Bild 35 bis Bild 40 zeigen für einige Zeitpunkte des Verklappungszeitraums den verklappungsbedingten Anstieg der Suspensionskonzentrationen in der Modellsimulation.

Hohe Trübungszunahmen konzentrieren sich auf den Fahrrinnenbereich (Fedderwarder Fahrwasser). Dabei wurden im Modell noch in einer Entfernung von rd. 5 km zur Klappstelle maximale Konzentrationszunahmen berechnet, die dem ein- bis dreifachen der simulierten natürlichen Hintergrundkonzentrationen entsprachen (vgl. Bild 36, Bild 39). Sie müssten demnach in der Natur noch in dieser Entfernung – bei einem Zeitabstand zur Verklappung von rd. 6 Stunden - sichtbar sein. Tatsächlich werden aber nur im Nahfeld von Verklappungen Trübungszunahmen beobachtet. Dies zeigt, dass die Intensität und Größe der Baggergutwolken im Modell überschätzt wird.

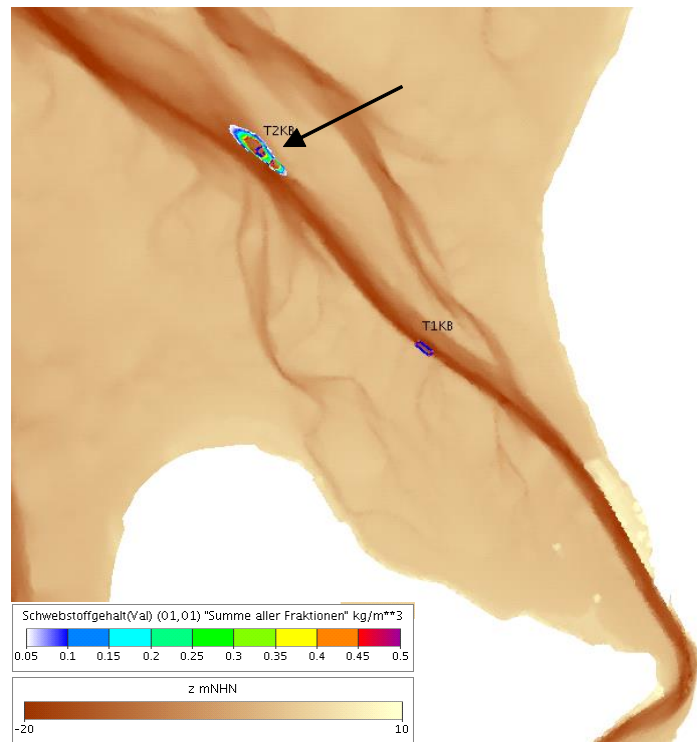
Alle im Modell simulierten verklappungsbedingten Suspensionskonzentrationen liegen somit auf der sicheren Seite.



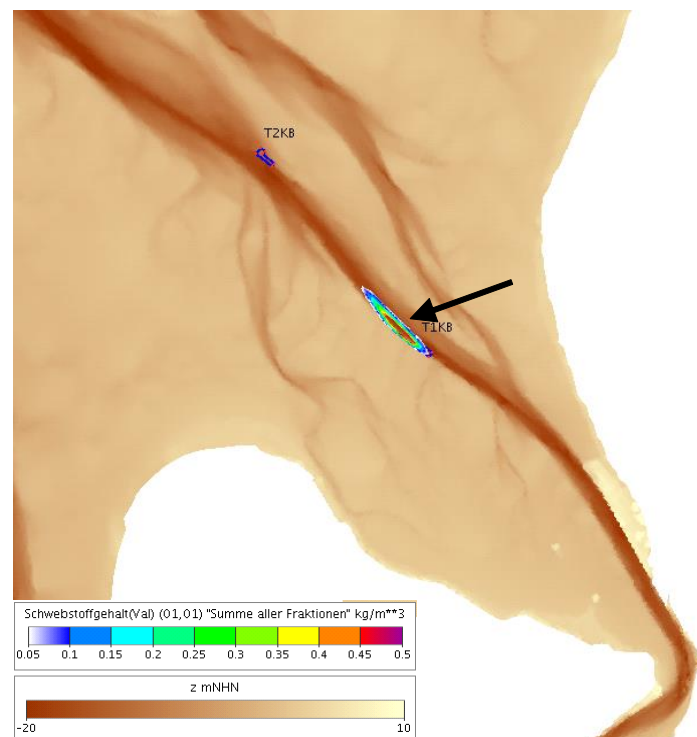
**Bild 35:** Verklappungsbedingte Suspensionskonzentrationen unmittelbar nach der vorletzten Verklappung auf Klappstelle T2 („09.06. 06:30“, tiefengemittelt)



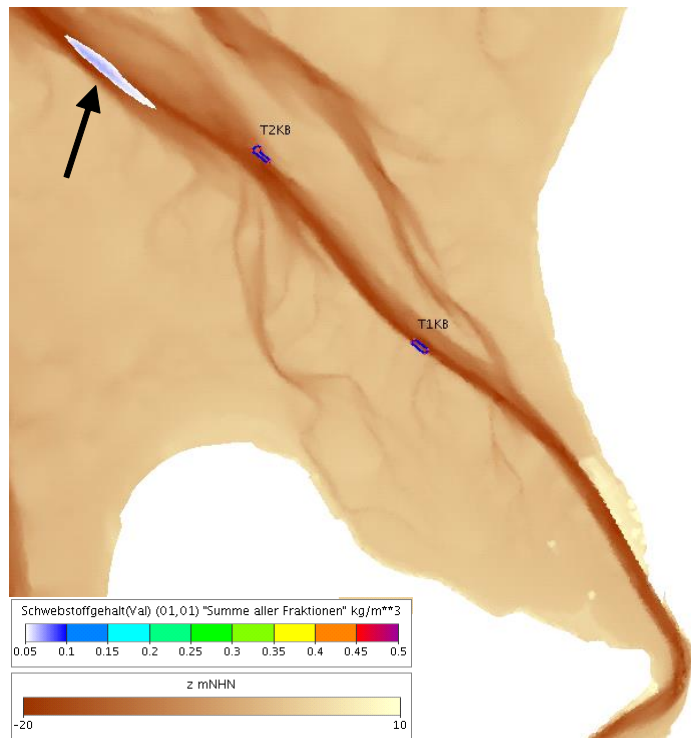
**Bild 36:** Verklappungsbedingte Suspensionskonzentrationen am Ende der nächsten Flutphase nach Bild 35 („09.06. 12:30“, tiefengemittelt)



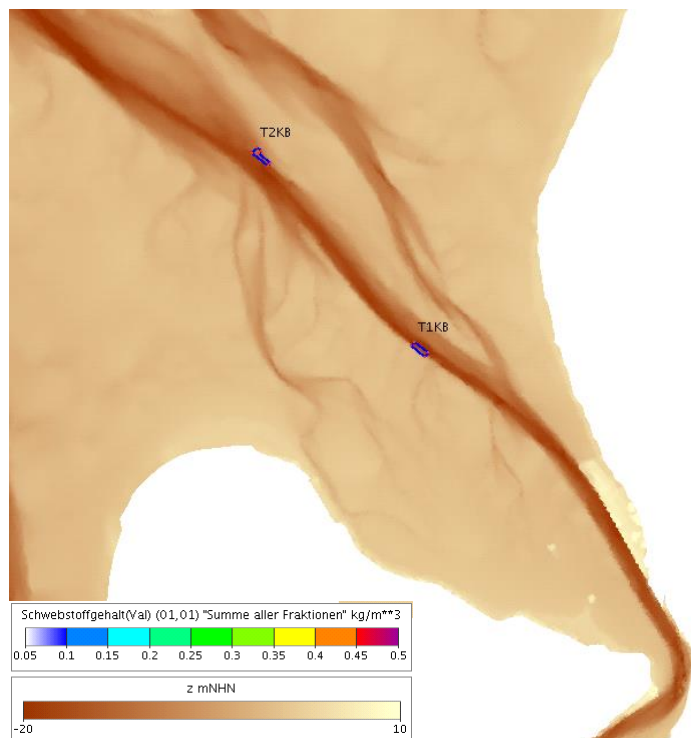
**Bild 37:** Verklappungsbedingte Suspensionskonzentrationen unmittelbar nach der letzten Verklappung auf Klappstelle T2 („09.06. 18:30“, tiefengemittelt)



**Bild 38:** Verklappungsbedingte Suspensionskonzentrationen unmittelbar nach der letzten Verklappung („15.06. 18:30“, tiefengemittelt)



**Bild 39:** Verklappungsbedingte Suspensionskonzentrationen am Ende der Ebbe-  
 phase nach der letzten Verklappung („15.06. 23:00“, tiefengemittelt)



**Bild 40:** Verklappungsbedingte Suspensionskonzentrationen am Ende der nächsten  
 Flutphase nach der letzten Verklappung („16.06. 05:30“, tiefengemittelt)



### 9.2.2 Sedimentationshöhen

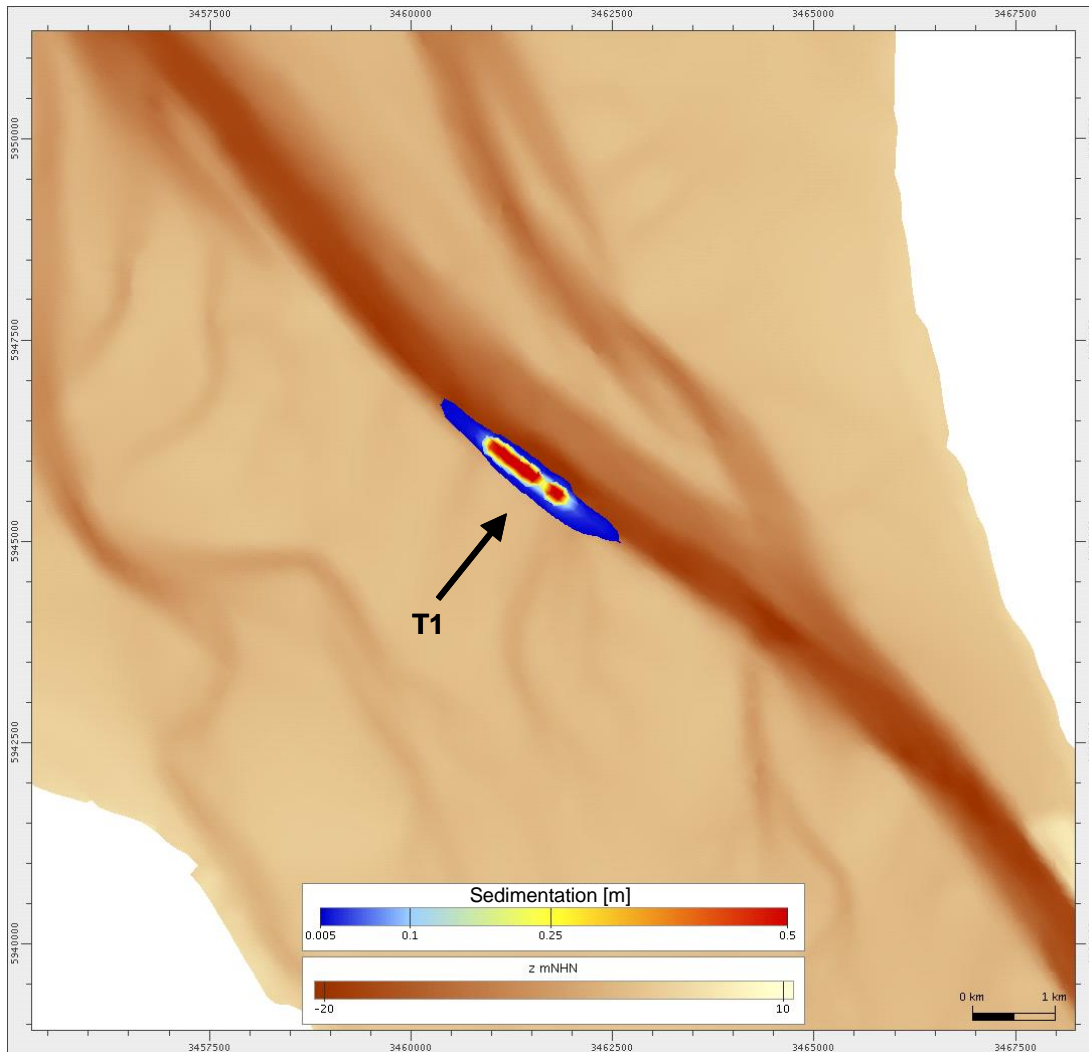
Abhängig von der Suspensionskonzentration und von der Sinkgeschwindigkeit der einzelnen Kornfraktionen findet Sedimentation hauptsächlich bei jeder Tidekenterung statt. Mit dem Wiedereinsetzen der Tideströmung wird dieses Material – bei ausreichender Strömungsgeschwindigkeit – resuspendiert. Eine Akkumulation von Sedimenten ist deshalb grundsätzlich am wenigsten in der Fahrrinne und in den tiefen Prielen zu erwarten (hohe Strömungsgeschwindigkeiten), sondern in den Seitenräumen des Fahrrinnenbereichs (z. B. in den Bühnenfeldern), an den flachen Enden der Priele und auf den Wattens. Dort reichen die Ebbestromgeschwindigkeiten häufig nicht aus, um nach der Flut sedimentiertes Material zu erodieren. Für die verklappungsbedingte Sedimentation ergibt sich eine weitere räumliche Einschränkung dadurch, dass sich das von den Klappstellen verdriftete Baggergut im Wesentlichen in der Fahrrinne der Weser bewegt.

Hinsichtlich der Sedimentationshöhen ist nur auf der Klappstelle T1 und ihrem nächsten Umfeld mit nennenswerten Auswirkungen der Verklappungen zu rechnen (Bild 41). In einem rund 3 km langen Bereich sind dort Sedimentationshöhen zu erwarten, die bis zum Ende des Verklappzeitraums auf Werte über 1 cm akkumulieren. Dieser Bereich liegt hauptsächlich innerhalb der Klappstellengrenzen und geht parallel zur Fahrrinne um rd. 1000 m, quer dazu um bis zu rd. 200 m darüber hinaus. Bild 41 zeigt die Situation am Ende des Verklappungszeitraums, der wegen der stetigen Akkumulation von Sedimenten die maximalen Sedimentationshöhen wiedergibt. Nach Abschluss der Verklappungen wurde das akkumulierte Material im weiteren Verlauf der Simulation langsam weiter verteilt, wobei sich die Fläche mit Sedimentationshöhen über 1 cm nicht wesentlich veränderte. Auf der Klappstelle T2 verklapptes Schluffmaterial bleibt (auch kurzzeitig) nicht in nennenswertem Umfang liegen.

Für die maximalen Sedimentationshöhen auf den Klappstellen ist die Verteilung des Baggerguts bei der Einbringung durch den Bagger zu berücksichtigen. Bei gleichmäßiger Verteilung über die Klappstelle ist am Ende des Verklappzeitraums auf der Klappstelle T1 eine maximale Sedimentationshöhe zwischen einigen Dezimetern und etwa einem Meter zu erwarten, auf der Klappstelle T2 weniger als 1 cm. In weiterer Entfernung verliert sich die Wirkung der Verklappungen im natürlichen Hintergrundgeschehen.

Die Klappstellen T1 und T2 sind von der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung als Durchgangsklappstellen eingestuft, d. h. langfristig wird – wie die bisherige Erfahrung zeigt -praktisch das gesamte Baggergut im System verteilt und die vorherige Sohllage wiederhergestellt.

Da die Mobilisierung und Sedimentation im Wesentlichen von der Korngröße abhängt und keine neuen Kornfraktionen eingebracht werden, sind baubedingt keine wesentlichen Sedimentveränderungen (Schlickwatt / Sandwatt) zu erwarten.



**Bild 41: Verklappungsbedingte Sedimentationshöhen am Ende des Verklappungszeitraums**

### 9.3 Relevante Wirkungen der Fahrrinnenanpassung (BAW 2006a, b)

Zu beurteilen sind die Auswirkungen der Verklappungen aus der Baumaßnahme OTB unter den hydro- und morphodynamischen Bedingungen der Weser ohne die Fahrrinnenanpassung der Unter- und Außenweser. Dazu sind die Auswirkungen der Fahrrinnenanpassung zu betrachten, die auf die in Abschn. 9.1 und 9.2 beschriebenen Prozesse und Effekte einen Einfluss haben können.

Zu beachten ist der gem. Abschn. 9.2 betroffene Bereich der Außenweser.

Der geplante Ausbau der Unter- und Außenweser umfasst in diesem Bereich:

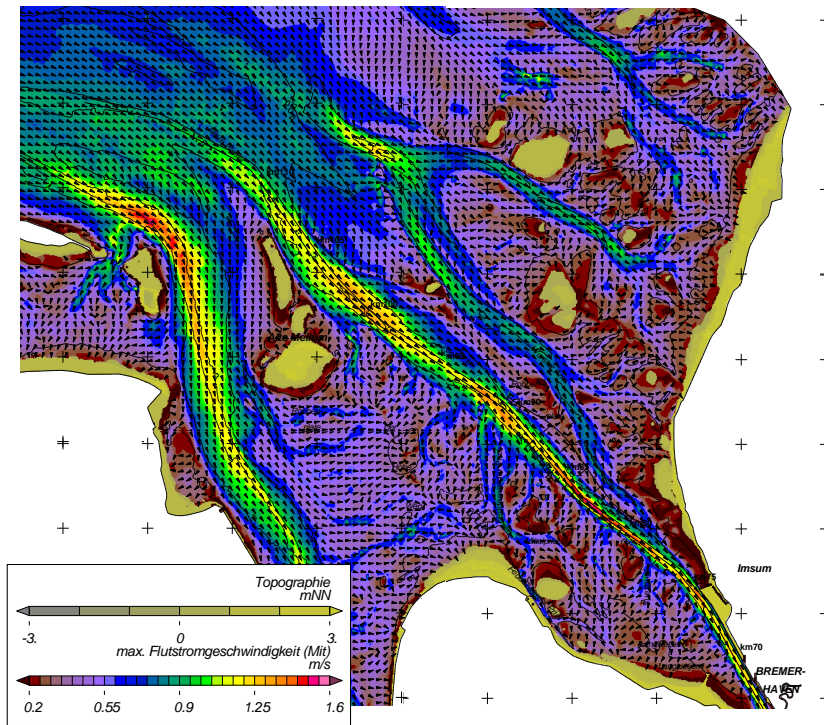
- Absenkung der Fahrrinnen- Sollsohle um bis zu 1,2 m über eine Strecke von insgesamt rd. 52 km von Weser-km 65 oberhalb des Containerterminals (CT) Bremerhaven bis etwa Weser-km 120.
- Vergrößerung der Fahrrinnenbreite in der äußeren Außenweser ab km 99 seewärts um 80 m auf 380 m.
- Westverschwenkung des Fahrwassers um bis zu 240 m in Bereiche größerer natürlicher Wassertiefen zwischen km 99 und km 110.
- Tiefenanpassung der hafenbezogenen Wendestelle bei km 70,6 bis km 73,2.

Relevante Wirkungen der geplanten Fahrrinnenanpassung (Unter- und Außenweser) sind:

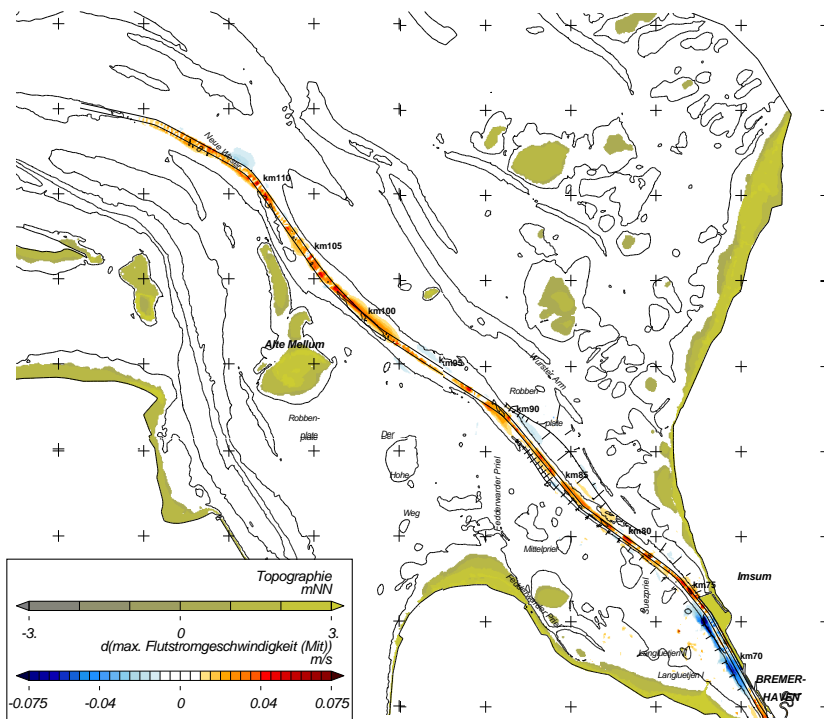
- Änderungen der Strömungsgeschwindigkeiten nach Betrag und Richtung
- Änderungen der Suspensionskonzentrationen und der Sedimenttransporte

Die Wirkungen der Fahrrinnenanpassung auf die Strömungsbedingungen in der Außenweser sind in Bild 42 bis Bild 45 veranschaulicht. Die Darstellungen sind der Anlage 1.1 des Gutachtens BAW 2006a entnommen, die auch weitere Auswertungen enthält.

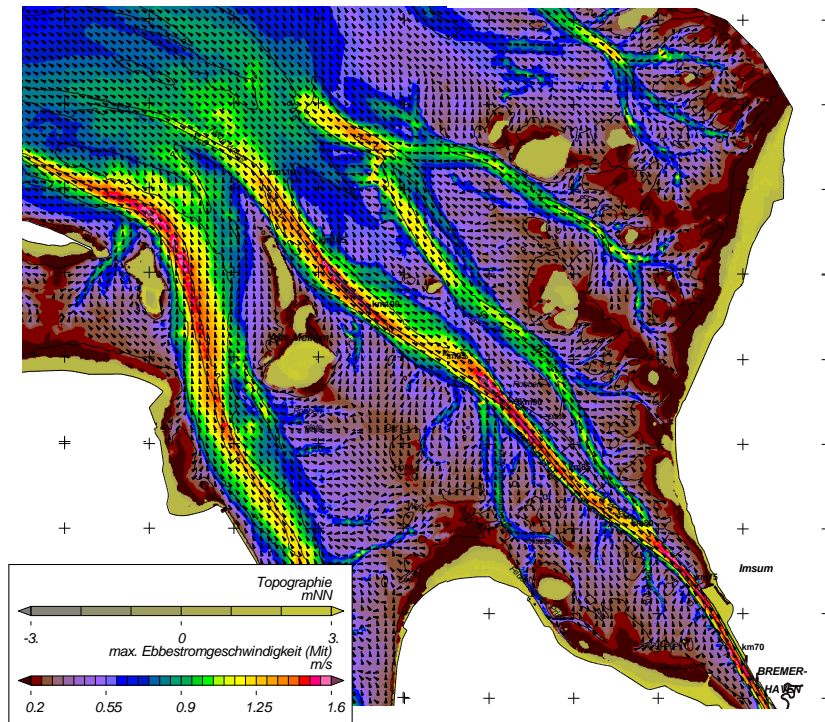
In den tiefen Rinnen der Außenweser erreichen die maximalen Tidestromgeschwindigkeiten (tiefengemittelt) Werte von rd. 0,9 m/s bis rd. 1,2 m/s (Bild 42, Bild 44). In der Fahrrinne der Neuen Weser werden mehr als 1,2 m/s erreicht, in einigen Bereichen der Hohewegrinne und des Fedderwarder Fahrwassers mehr als 1,6 m/s. Die maximalen Geschwindigkeiten sind bei Ebbe größer als bei Flut (in der Größenordnung 0,2 m/s). Über den Rinnenböschungen nehmen mit abnehmender Wassertiefe die Geschwindigkeiten ab. Auf den Watten sind die Geschwindigkeiten schließlich deutlich geringer als in der Rinne: sie liegen überwiegend unter 0,5 m/s, vereinzelt werden rd. 0,75 m/s erreicht. Im Wurster Arm und im Unterlauf des Fedderwarder Priels liegen die Ebbestromgeschwindigkeit bei rd. 1,0 m/s und die Flutstromgeschwindigkeiten bei rd. 0,75 m/s.



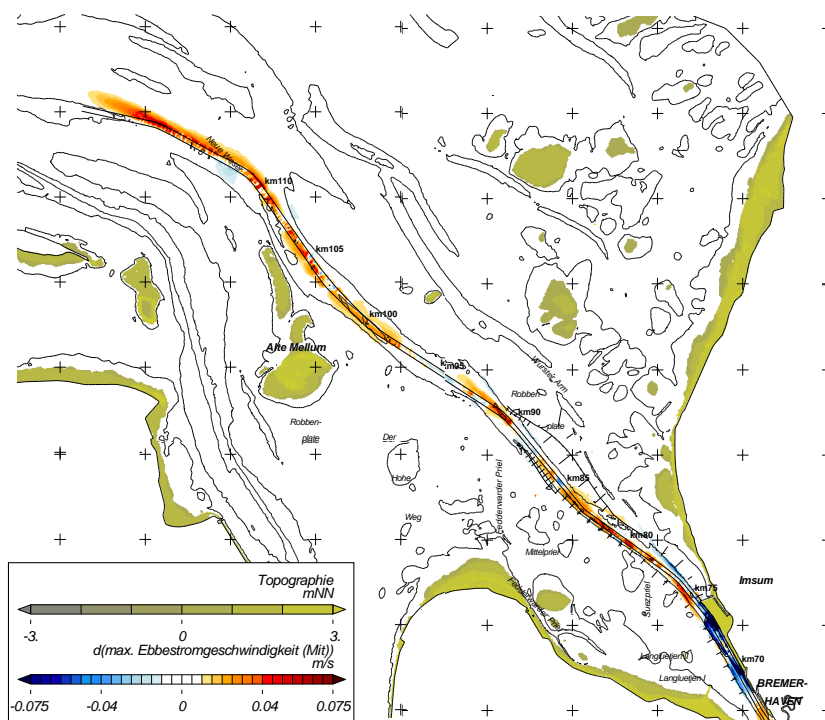
**Bild 42:** Maximale Flutstromgeschwindigkeiten in der Außenweser für den Referenzzustand mit heutigen Solltiefen (tiefengemittelt, BAW 2006a)



**Bild 43:** Änderung der maximalen Flutstromgeschwindigkeiten in der Außenweser durch die Fahrrinnenanpassung (tiefengemittelt, BAW 2006a)



**Bild 44:** Maximale Ebbestromgeschwindigkeiten in der Außenweser für den Referenzzustand mit heutigen Solltiefen (tiefengemittelt, BAW 2006a)



**Bild 45:** Änderung der maximalen Ebbestromgeschwindigkeiten in der Außenweser durch die Fahrrinnenanpassung (tiefengemittelt, BAW 2006a)

Durch die geplante Fahrrinnenanpassung der Unter- und Außenweser sind in der Außenweser ausbaubedingte Änderungen der Strömungsgeschwindigkeiten nur in der tiefen Fahrrinne und an deren Rändern erkennbar (Bild 43, Bild 45). Die maximalen Geschwindigkeiten nehmen stromauf bis km 75 zu, überwiegend in der Größenordnung von rd. 0,05 m/s. Geringfügige Abnahmen (ca. 0,02 m/s) treten an der östlichen Böschung im Bereich von km 97 bis 90 auf. Zwischen km 90 und 85 sind auch Abnahmen der Ebbestromungsgeschwindigkeiten in der Rinne sichtbar.

Die ausbaubedingten Änderungen (überwiegend Zunahmen) der Ebbe- und Flutstromgeschwindigkeiten ziehen weitere Auswirkungen nach sich (BAW 2006a, b):

- Die (Eulerschen) Ebbe- und Flutstromwege in der Fahrrinne der Außenweser und in Fahrrinnennähe verändern sich, wobei die Größenordnung hauptsächlich bei 200 bis 400 m liegt. Hinsichtlich der Flutstromwege sind durchweg Zunahmen zu verzeichnen, bei den Ebbestromwegen in kleineren Bereichen auch Abnahmen. Die Eulerschen Reststromwege verändern sich in der gleichen Größenordnung. Auf den Klappstellen T1 und T2 ändern sich die Reststromwege nur geringfügig.
- Die Weseranpassung bewirkt eine sehr schwache Verringerung der tiefengemittelten mittleren Suspensionskonzentrationen in der Trübungszone (km 80 bis 40) und lokal sehr schwache Zunahmen auf Langlütjensand jeweils in der Größenordnung von rd. 0,001 bis 0,002 kg/m<sup>3</sup> (kg/m<sup>3</sup> = g/l = 10<sup>3</sup> mg/l).
- Der Geschiebetransport in der Fahrrinne der Außenweser wird sowohl bei Ebbe- als auch bei Flutstrom gestärkt. Außerhalb der tiefen Rinne sind durchweg keine Änderungen erkennbar.

#### 9.4 Vorhabenswirkungen ohne Fahrrinnenanpassung

Bei einem Verzicht auf die Fahrrinnenanpassung der Unter- und Außenweser entfallen die in Abschn. 9.3 beschriebenen Effekte. Im Vergleich zu den Untersuchungsbedingungen, die zu den Ergebnissen gem. Abschn. 9.2 geführt haben, bedeutet dies hauptsächlich, dass

- die Strömungsgeschwindigkeiten,
- die Ebbe- und Flutstromwege und
- der Geschiebetransport

in der Fahrrinne der Außenweser vorwiegend geringer sind.

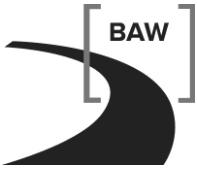
Die Baggergutwolke (Bild 35 bis Bild 40) wird unter diesen Bedingungen entsprechend der o. g. Änderung der Ebbe- und Flutstromwege in einer Größenordnung von maximal 200 bis 400 m weniger weit stromauf und stromab transportiert werden. Das von der Baggergutwolke überstrichene Gebiet verringert sich somit und damit tendenziell auch der Verdünnungseffekt auf die Suspensionskonzentrationen in der Baggergutwolke. Die Änderung ist jedoch klein im Verhältnis zu den Transportwegen (Größenordnung 1 – 2 %), so dass nennenswerte Einflüsse auf die Suspensionskonzentrationen in der Baggergutwolke daraus nicht abzuleiten sind. Die o. g. Änderungen der Suspensionskonzentrationen in der Umgebung der Baggergutwolke sind vernachlässigbar gering.

Die Sedimentation infolge der Baggergutverklappungen wird durch die geringeren Strömungsgeschwindigkeiten und den geringeren Geschiebetransport beeinflusst. Das verklappte Baggergut wird dadurch langsamer transportiert und die Sedimentationshöhen am Ende der Verklappungsarbeiten (Bild 41) können höher ausfallen. Dabei ist jedoch zu berücksichtigen, dass gem. Bild 41 nur im Nahbereich der Klappstelle T1 Sedimentationshöhen über ca. 1 cm zu erwarten sind. Dieser Bereich liegt am Rande der Fahrrinne, wo geringe Änderungen der Strömungsgeschwindigkeiten berechnet wurden und somit auch relativ geringe Änderungen der mittleren effektiven Sohlschubspannungen.

Die Auswirkungen des Fahrrinenausbaus auf die Baggergutausbreitung sind daher als gering einzuschätzen, so dass die folgenden Aussagen des Gutachtens BAW 2012b auch für den Fall gültig bleiben, dass die geplante Fahrrinnenanpassung der Unter- und Außenweser nicht durchgeführt wird:

- Hohe Trübungszunahmen konzentrieren sich auf den Fahrrinnenbereich (Fedderwar-der Fahrwasser).
- Die im Modell simulierten verklappungsbedingten Suspensionskonzentrationen (Bild 35 bis Bild 40) liegen auf der sicheren Seite.
- Hinsichtlich der Sedimentationshöhen ist nur auf der Klappstelle T1 und ihrem nächsten Umfeld mit nennenswerten Auswirkungen der Verklappungen zu rechnen.





- In einem rund 3 km langen Bereich sind dort Sedimentationshöhen zu erwarten, die bis zum Ende des Verklappzeitraums auf Werte über 1 cm akkumulieren. Dieser Bereich liegt hauptsächlich innerhalb der Klappstellengrenzen und geht parallel zur Fahrinne um rd. 1000 m, quer dazu um bis zu rd. 200 m darüber hinaus.
- Auf der Klappstelle T2 verklapptes Schluffmaterial bleibt (auch kurzzeitig) nicht in nennenswertem Umfang liegen.
- Bei gleichmäßiger Verteilung des Baggerguts über die Klappstelle ist am Ende des Verklappzeitraums auf der Klappstelle T1 eine maximale Sedimentationshöhe zwischen einigen Dezimetern und etwa einem Meter zu erwarten, auf der Klappstelle T2 weniger als 1 cm. In weiterer Entfernung verliert sich die Wirkung der Verklappungen im natürlichen Hintergrundgeschehen.

Bundesanstalt für Wasserbau – Dienststelle Hamburg  
Hamburg, im Februar 2014

Im Auftrag

Bearbeiter

gez. Rahlf

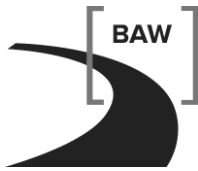
gez. Vierfuß

---

Dipl.-Ing. H. Rahlf

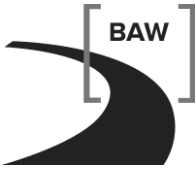
---

Dr.-Ing. U. Vierfuß



## 10 Literaturverzeichnis

- BAW (Bundesanstalt für Wasserbau): 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. BAW-Nr. 5.02.10048.00–1, Hamburg, März 2006a
- BAW (Bundesanstalt für Wasserbau): Fahrrinnenanpassung der Unterweser und 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 Transportprozessen und Morphodynamik. BAW-Nr. 5.02.10048.00–2, Hamburg, März 2006b
- BAW (Bundesanstalt für Wasserbau): Fahrrinnenanpassung der Außenweser an die Entwicklungen im Schiffsverkehr sowie Tiefenanpassung der hafenbezogenen Wendestelle – Summationswirkung der Anpassungen von Unter- und Außenweser – Gutachten zur ausbaubedingten Änderung der Sturmflutscheitelwasserstände. BAW-Nr. 5.02.10048.00–5, Hamburg, März 2006c.
- BAW (Bundesanstalt für Wasserbau): Fahrrinnenanpassung der Unterweser an die Entwicklungen im Schiffsverkehr – Summationswirkung der Anpassungen von Unter- und Außenweser – Gutachten zur ausbaubedingten Änderung der Sturmflutscheitelwasserstände. BAW-Nr. 5.02.10048.00–6, Hamburg, März 2006d.
- BAW (Bundesanstalt für Wasserbau): Validierung des Weser-Basismodells 2002 für das Verfahren UnTRIM 2007 – SediMorph, Hamburg, 2011. (Im Internet abrufbar unter [http://www.baw.de/methoden/index.php5/Validierungsstudien\\_Jade-Weser](http://www.baw.de/methoden/index.php5/Validierungsstudien_Jade-Weser) )
- BAW (Bundesanstalt für Wasserbau): Wasserbauliche Systemanalyse für das Offshore-Terminal Bremerhaven. BAW-Nr. A 3955 02 10135, Hamburg, September 2012a
- BAW (Bundesanstalt für Wasserbau): Wasserbauliche Systemanalyse für das Offshore-Terminal Bremerhaven - Klappstellenuntersuchung. BAW-Nr. A 3955 02 10135, Hamburg, September 2012b



BAW (Bundesanstalt für Wasserbau): Wasserbauliche Systemanalyse für das Offshore-Terminal Bremerhaven – Stellungnahme zur Veränderung der Seegangsbelastung des Seedeichs Bremerhaven. BAW-Nr. A 3955 02 10135, Hamburg, Januar 2013

GRABEMANN, I. und KRAUSE, G.: Dynamik des Suspensionstransports in einem Tide-ästuar. Abschlussbericht zum BMFT-Forschungsvorhaben MFU 05242, Alfred-Wege-ner-Institut für Polar- und Meeresforschung, Bremerhaven, 1986.

GRABEMANN, I.: Die Trübungszone im Weser-Ästuar: Messungen und Interpretation. Dissertation, GKSS 92/E/15, GKSS-Forschungszentrum Geesthacht GmbH, 1992.

FIGGE, K. et al.: Schlickuntersuchungen im Wattenmeer der Deutschen Bucht. Die Küste 35, 1980.

INSTITUT FÜR WASSERBAU DER HOCHSCHULE BREMEN: Gutachten über die morphologischen Veränderungen in der Unterweser seit dem 9 m-Ausbau. Erstellt für: Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes, Bremen, 2006

INSTITUT FÜR WASSERBAU DER HOCHSCHULE BREMEN: In situ Messungen im Bereich des geplanten Offshore Terminals Bremerhaven (OTB), Bremen, September 2011

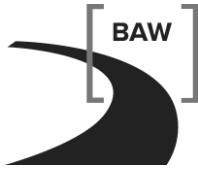
NASNER, H.: Offshore Terminal Bremerhaven, Studie zur Stabilität der Kolke im Blexer Bogen, 1998 - 2010. Erstellt für: Bremenports GmbH & Co. KG, Bremen, November 2011

NLÖ (Niedersächsisches Landesamt für Ökologie), Forschungsstelle Küste: KFKI-Forschungsvorhaben Sedimentverteilung als Indikator für morphodynamische Prozesse MTK 0591, Norderney, 21/1999.

NLÖ (Niedersächsisches Landesamt für Ökologie), Forschungsstelle Küste: Ergebnisse der Untersuchungen zur Sturmflutsicherheit an der Unterweser. Norderney, Dienstbericht 09/2003.

NLÖ (Niedersächsisches Landesamt für Ökologie, Hrsg.): Deutsches gewässerkundliches Jahrbuch – Weser- und Emsgebiet 2001 (DGJ 2001). Hildesheim, 2004.

NLWKN (Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz), Forschungsstelle Küste: Ermittlung der Bemessungswasserstände für die Unterweser mit mathematischen Modellen. Norderney, Forschungsbericht 01/2006



RAGUTZKI, G.: Verteilung der Oberflächensedimente auf den niedersächsischen Watten. Forschungsstelle für Insel- und Küstenschutz. Jahresbericht 1980, Band 32, 1982.

SCHROTTKE, K.: Bed Mobility in the Weser Estuary Turbidity Zone. Hydro International, Vol. 9, No. 7, September 2005.

Wasser- und Schifffahrtsamt Bremerhaven: Entwicklung des morphologischen Nachlaufs nach dem 9 m-Ausbau der Unterweser und dem 14 m-Ausbau der Außenweser. Gewässerkundlicher Bericht 2002-3.

WOLTERING, S. und VISSCHER, G.: Messungen des tideabhängigen Schwebstoffgehalts in der Brackwasserzone der Weser bei Bremerhaven. Wasser & Boden 50/5, Blackwell Wissenschafts-Verlag, Berlin, 1998.



**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

Am Ehrenberg 8 · 98693 Ilmenau  
Tel. 03677 669-0 · Fax 03677 669-33 33

[www.baw.de](http://www.baw.de)