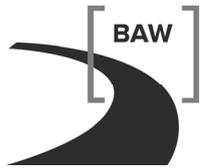


Bundesanstalt für Wasserbau
Kompetenz für die Wasserstraßen

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

- Klappstellenuntersuchung –

A 3955 02 10135



Bundesanstalt für Wasserbau
Kompetenz für die Wasserstraßen

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

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

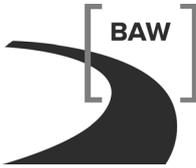
Auftrag vom: 11.11.2010, Az.: 42816850

Auftrags-Nr.: BAW-Nr. A 3955 02 10135

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

Hamburg, im September 2012

Das Gutachten 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.

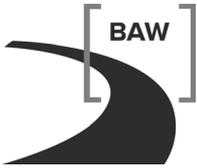
Bei der Herstellung des Terminals anfallende Baggermengen (Liegewanne, Zufahrt) sollen, soweit zur Verklappung geeignet, in der Außenweser auf die Klappstellen T1 und T2 verbracht werden. Im Auftrag von Bremenports war daher zu untersuchen, wie sich das in der Bauphase entnommene Baggergut nach der Verklappung auf die zugewiesenen Klappstellen verhalten wird (Verdriftungsberechnungen).

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 bei der Verklappung eingebrachten Sedimentfraktionen sind mit einem Vielfachen der Menge auch natürlicherweise im Ästuar vorhanden. Es kommt also zu einer Vermischung und gegenseitigen Beeinflussung.

Ausgehend von einem sinnvoll festgelegten Verklappungsszenario wurde der maßnahmenbedingte Anstieg der Suspensionskonzentrationen im Modell auf der sicheren Seite liegend ermittelt, indem jeweils das gesamte Ladungsvolumen des Hopperbaggers in die Wassersäule eingeleitet wurde und somit an der Klappstelle sehr hohe Suspensionskonzentrationen erzeugt wurden.

Die Zone mit erhöhter Suspensionskonzentration (Baggergutwolke) wird mit der Tide stromauf- bzw. -abwärts transportiert, wobei sie sich durch Dispersion und Sedimentation verdünnt. 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 12, Bild 15, Bild 19). 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.

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 Grenzen der Klappstelle. Bei gleichmäßiger Verteilung durch den Bagger sind kurzzeitig maximale Höhen von einigen Dezimetern bis zu etwa einem Meter realistisch. Auf der Klappstelle T2 verklapptes Schluffmaterial bleibt (auch kurzzeitig) nicht in nennenswertem Umfang liegen. In weiterer Entfernung verliert sich die Wirkung der Verklappungen im natürlichen Hintergrundgeschehen.

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.

Inhaltsverzeichnis		Seite
1	Veranlassung und Aufgabenstellung	3
2	Unterlagen und Daten	4
3	Physikalische Prozesse / Wirkungszusammenhänge	5
4	Untersuchungsmethodik	7
4.1	Allgemeines	7
4.2	Verwendete Modelle	7
4.3	Hydrologische Randbedingungen	9
4.4	Simulation der Verklappungen	10
5	Simulationen mit dem Tracermodell	12
5.1	Vorbemerkung	12
5.2	Ausbreitungsberechnung	12
5.3	Bewertung	15
6	Simulationen mit dem Sedimenttransportmodell	17
6.1	Vorbemerkung	17
6.2	Verklappungsbedingte Suspensionskonzentrationen	17
6.3	Sedimentation des verdrifteten Baggerguts	24
6.4	Bewertung	26
7	Schlussfolgerungen	28
8	Literaturverzeichnis	30

Bildverzeichnis	Seite
Bild 1: Lage der Klappstellen	3
Bild 2: Modellgebiet des Hauptmodells	8
Bild 3: Gesteuerte Wasserstands- und Abflusskurve	9
Bild 4: Zeitlicher Verlauf der Baggergutverklappungen	10
Bild 5: Suspensionskonzentrationen unmittelbar nach der vorletzten Verklappung auf Klappstelle T2 („09.06. 06:30“, tiefengemittelt)	14
Bild 6: Suspensionskonzentrationen am Ende der nächsten Flutphase nach Bild 5 („09.06. 12:30“, tiefengemittelt)	14
Bild 7: Suspensionskonzentrationen unmittelbar nach der letzten Verklappung auf Klappstelle T2 („09.06. 18:30“, tiefengemittelt)	14
Bild 8: Suspensionskonzentrationen unmittelbar nach der letzten Verklappung („15.06. 18:30“, tiefengemittelt)	14
Bild 9: Suspensionskonzentrationen am Ende der Ebbephase nach der letzten Verklappung („15.06. 23:00“, tiefengemittelt)	15
Bild 10: Suspensionskonzentrationen am Ende der nächsten Flutphase nach der letzten Verklappung („16.06. 05:30“, tiefengemittelt)	15
Bild 11: Verklappungsbedingte Suspensionskonzentrationen unmittelbar nach der vorletzten Verklappung auf Klappstelle T2 („09.06. 06:30“, tiefengemittelt)	19
Bild 12: Verklappungsbedingte Suspensionskonzentrationen am Ende der nächsten Flutphase nach Bild 11 („09.06. 12:30“, tiefengemittelt)	20
Bild 13: Verklappungsbedingte Suspensionskonzentrationen unmittelbar nach der letzten Verklappung auf Klappstelle T2 („09.06. 18:30“, tiefengemittelt)	20
Bild 14: Verklappungsbedingte Suspensionskonzentrationen unmittelbar nach der letzten Verklappung („15.06. 18:30“, tiefengemittelt)	21
Bild 15: Verklappungsbedingte Suspensionskonzentrationen am Ende der Ebbephase nach der letzten Verklappung („15.06. 23:00“, tiefengemittelt)	21
Bild 16: Verklappungsbedingte Suspensionskonzentrationen am Ende der nächsten Flutphase nach der letzten Verklappung („16.06. 05:30“, tiefengemittelt)	22
Bild 17: Auswertepositionen der Ganglinien	22
Bild 18: Verklappungsbedingte tiefengemittelte Suspensionskonzentrationen als Ganglinien: Positionen auf den Klappstellen	23
Bild 19: Verklappungsbedingte tiefengemittelte Suspensionskonzentrationen als Ganglinien: weitere Positionen	23
Bild 20: Verklappungsbed. Sedimentationshöhen am Ende des Verklappungszeitraums	25
Bild 21: Verklappungsbedingte Sedimentationshöhen als Ganglinien	26

1 Veranlassung und Aufgabenstellung

Die Bremenports GmbH & Co. KG plant die Errichtung eines Offshore-Terminals in Bremerhaven (OTB) für den wachsenden Markt der Offshore-Windkraftanlagen.

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. Es war zu klären, wie sich das in der Bauphase entnommene Baggergut nach der Verklappung auf die zugewiesenen Klappstellen verhalten wird (Verdriftungsberechnungen). Die BAW wurde von Bremenports beauftragt, die Klappstellenuntersuchung durchzuführen.

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,
- Schlack bei Ebbe auf T1, bei Flut auf T2

verklappt (Bild 1).

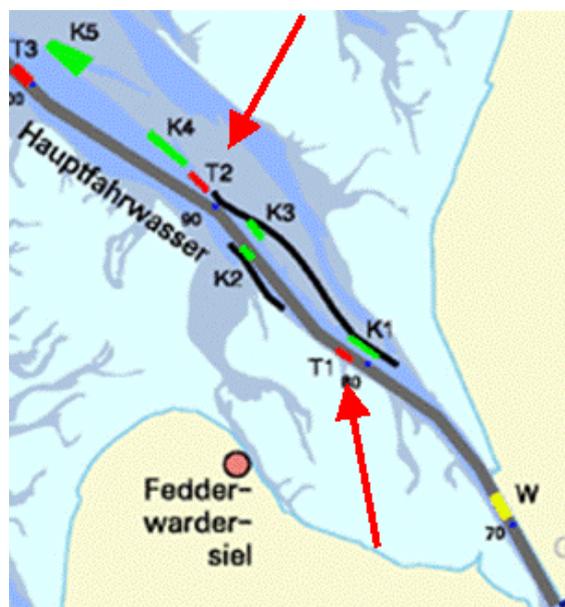
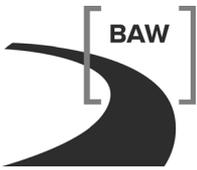


Bild 1: Lage der Klappstellen (Quelle: www.weseranpassung.de)

Die erforderliche Baggermenge wurde vom Auftraggeber nach oben hin abgeschätzt und auf der sicheren Seite liegend mit 180 000 m³ feste Masse vorgegeben (rd. 50% Sand und 50% Schluff). Bei einem Hopperbagger mit einem Laderaumvolumen von 4000 m³ und vier Umläufen pro Tag sind für die Durchführung der Baggerung rund 14 Tage erforderlich (7 Arbeitstage pro Woche).



Im vorliegenden Gutachten wird 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. Die dargestellte Untersuchung ist als grundlegender Beitrag für die Antragsunterlage und für weitergehende Umweltgutachten konzipiert. Dazu wurden die maßnahmenbedingten Änderungen abiotischer Parameter auf der Grundlage wasserbaulicher Systemstudien ermittelt.

2 Unterlagen und Daten

- [1] Lageplan mit Liegewanne, E-Mail mit 1 Zeichnung, Ulrich Kraus, Bremenports GmbH & Co. KG, 22. Dezember 2010
- [2] Baugrunderkundung im Rahmen einer Machbarkeitsstudie. Notiz, Dr. A. Richwien, Bremenports, 09.04.2009
- [3] Baugrunderkundung im Bereich des OTB. Institut Dr. Nowak, Oldenburg, 19.04.2011
- [4] Angaben zu den zugewiesenen Klappstellen, E-Mail, Anna Ebbighausen, Bremenports GmbH & Co. KG, 21. September 2011
- [5] 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

3 Physikalische Prozesse / Wirkungszusammenhänge

Beim Verklappvorgang fällt das im Laderaum gesammelte Baggergut nach dem Öffnen der Laderaumklappen großenteils 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, daher wird an dieser Stelle darauf verzichtet. Durch die Verklappung wird der natürlich vorhandene Sedimenttransport lokal verstärkt. Dabei findet eine Wechselwirkung statt, die folgendermaßen beschrieben werden kann:

- a) Durch die Verklappung wird eine Zone erhöhter Suspensionskonzentrationen erzeugt, die als „Baggergutwolke“ visuell zu erkennen ist. Sie wird mit der aktuell herrschenden Tideströmung verdriftet.
- b) Während der Stromkenterung setzt sich ein großer Teil der suspendierten Sedimente (aus Verklappung und natürlichem Vorrat) auf der Gewässersohle ab.
- c) Bei Wiedereinsetzen der Tideströmung werden frisch abgelagerte Sedimente remobilisiert. Deren Menge hängt von der Strömungsgeschwindigkeit und –turbulenz und von der (korngrößenabhängigen) Mobilisierbarkeit der Sedimente ab.
- d) Die Korngrößen (Fraktionen) des Baggerguts sind gleichzeitig der überwiegende Bestandteil des natürlichen Sedimentvorrats, so dass die Erosions- und Sedimentationsbedingungen grundsätzlich wenig verändert werden.
- e) In vielen Bereichen ist der Sedimentvorrat am Boden sowohl mit als auch ohne Verklappungen größer, als von der Strömung remobilisierbar. Der Sedimenttransport und die Suspensionskonzentrationen verändern sich dort durch die Verklappung nicht.

- f) Wo ohne die Verklappung ein Sedimentdefizit bestand, kommt es zu einer Zunahme der Suspensionskonzentrationen und des Sedimenttransports. Das Gleiche gilt, wenn der lokale Sedimentvorrat durch Material aus dem Baggergut verfeinert (leichter erodierbar) wird. Der umgekehrte Fall (Deckschichtbildung durch Baggergut) ist ebenfalls möglich.

Die geplanten Baggergutverklappungen finden in einem Gebiet statt, in dem regelmäßig Verklappungen auf Grund anderer Vorhaben durchgeführt werden. Aus Naturbeobachtungen ist bekannt, dass die o. g. Baggergutwolke nur über eine kurze Zeit und Entfernung (einige hundert Meter) an der Oberfläche sichtbar bleibt. Dies wird durch Messungen bestätigt, die im Rahmen des Beweissicherungsverfahrens für die Elbe bei Otterndorf auch in der Wassersäule durchgeführt wurden. Dort wurde festgestellt (GKSS 2000):

- „Bei feinkörnigem Material konnte die Wolke bei entwickelter Strömung bis 700 m auf der strömungsabgewandten Seite der Klappstelle messtechnisch vom Schwebstoffhintergrund unterschieden werden. Bei der überwiegenden Mehrheit der grobkörnigen Ladungen war der Nachweisbereich geringer. Quer zu Strömung lässt sich die Wolke noch in maximal 100 m Entfernung nachweisen.“
- „Die Messungen zeigen neben dem Transport mit der Strömung in Flusslängsrichtung eine Bewegung der bodennahen Schichten der Wolke entlang des Gefälles zur Strommitte. Uferzonen, Hafenbecken und Buchten dürften nur beeinflusst werden, wenn die Wolke mit der Tidenströmung direkt in solche Bereiche transportiert wird. In den untersuchten Gebieten ist das nicht der Fall.“
- „Der geringste Einflussradius besteht bei Baggerung und besonders Verklappung zur Stauwasserzeit, da dann das mobilisierte bzw. verklappte Material vor Ort bleibt. Ob feinkörniges Material dann bei einsetzender Strömung wieder mobilisiert wird, konnte nicht geklärt werden.“ Der Nachweis „dürfte aber bei den in diesem Flussabschnitt vorherrschenden hohen natürlichen Schwebstoffkonzentrationen messtechnisch nicht möglich sein.“

4 Untersuchungsmethodik

4.1 Allgemeines

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.

Modelltechnisch wurden für die Systemanalyse zwei unterschiedliche Herangehensweisen genutzt:

- 1.) ein „Tracermodell“. Dabei wurden die natürlichen Sedimenttransporte ausgeblendet und das Baggermaterial isoliert betrachtet, um die maximale Ausbreitung des Baggerguts zu ermitteln. Die Methodik bildet eine Analogie zur Tracersimulation im physikalischen Strömungsmodell mit fester Sohle.
- 2.) ein „Transportmodell“ unter Einbeziehung der natürlichen Sedimenttransporte und der damit verbundenen Wechselwirkungen. Auf diese Weise konnten die vorhabensbedingten Suspensionskonzentrationen und Sedimentationen abgeschätzt werden. Die Vorhabenswirkungen wurden in diesem Fall durch die Differenzbildung zweier Simulationen (mit und ohne Verklappungen) ermittelt.

Der Sedimenttransport wurde jeweils unter Berücksichtigung der verschiedenen Korngrößenanteile („fraktionierter Transport“) berechnet.

Die Änderungen der Kenngrößen der Transportprozesse wurden also durch gezielte Simulation der maßnahmenbedingten Prozesse bzw. durch Differenzbildung der Kenngrößen zwischen zwei unterschiedlichen Zuständen des Modells (dem vorhabensbedingten Zustand und dem Vergleichszustand) berechnet (Näheres siehe Abschn. 4.4). Die vorhabensbedingten, verfahrensrelevanten Änderungen (Prognosen) wurden hieraus unter Einbeziehung des wasserbaulichen Expertenwissens bestimmt.

4.2 Verwendete Modelle

Eine wesentliche Grundlage für die erforderlichen Systemanalysen und für die Quantifizierung der Verklappungswirkungen sind die Simulationen mit numerischen Modellen. Die verwendeten Modelle bilden die relevanten physikalischen Prozesse im Jade-Weser-Ästuar mit

Hilfe des numerischen Verfahrens UnTRIM¹ (Hauptmodell) bzw. Delft3D² (Nebenmodell zur Qualitätssicherung) ab.

Die Modellgebiete und -topographien werden im Hauptgutachten zum OTB erläutert (BAW, 2012). Die seeseitigen Modellgrenzen lagen so weit außen, dass die Simulationen unbeeinflusst von Randeffekten durchgeführt werden konnten (vgl. Bild 2). Die örtliche Auflösung der Rechengitter und die zeitliche Auflösung der Simulationen wurden so gewählt, dass alle charakteristischen, d. h. gewässerprägenden physikalischen Prozesse berücksichtigt wurden. Im Gegensatz zum Hauptgutachten wurde bei den Klappstellenuntersuchungen die tiefengemittelte Strömung modelliert, wodurch die Sedimenttransportwege tendenziell überschätzt wurden.



Bild 2: Modellgebiet des Hauptmodells

¹ UnTRIM 2007, Version 15.07.2010

² Version 3.28.10

Es wurde der durch Tideströmungen verursachte Sedimenttransport modelliert. 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 eine nennenswerte verklappungsbedingte Sedimentation auf den Sanden und Watten nicht zu erwarten war.

4.3 Hydrologische Randbedingungen

Für die Steuerung des Modells wurden Randwerte verwendet, die hinsichtlich der Wasserstände und Strömungen einen charakteristischen Systemzustand der Weser repräsentieren und den Zeitraum eines Spring-Nipp-Zyklus abdecken. Es wurden Randwerte aus dem Juni 2002 gewählt (Bild 3), da aus diesem Zeitraum eine auf Messdaten basierende räumliche und zeitliche Verteilung der Wasserstände am Modellrand vorlag. Folgende Daten wurden verwendet (Bild 3):

- Wasserstände am offenen, seeseitigen Modellrand aus Messungen der BAW,
- tägliche Mittelwerte des Oberwasserabflusses der Weser am Pegel Intschede,
- stündliche Winddaten aus dem Lokalen Modell (LM) des Deutschen Wetterdienstes (DWD), die vom Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH) zur Verfügung gestellt wurden.

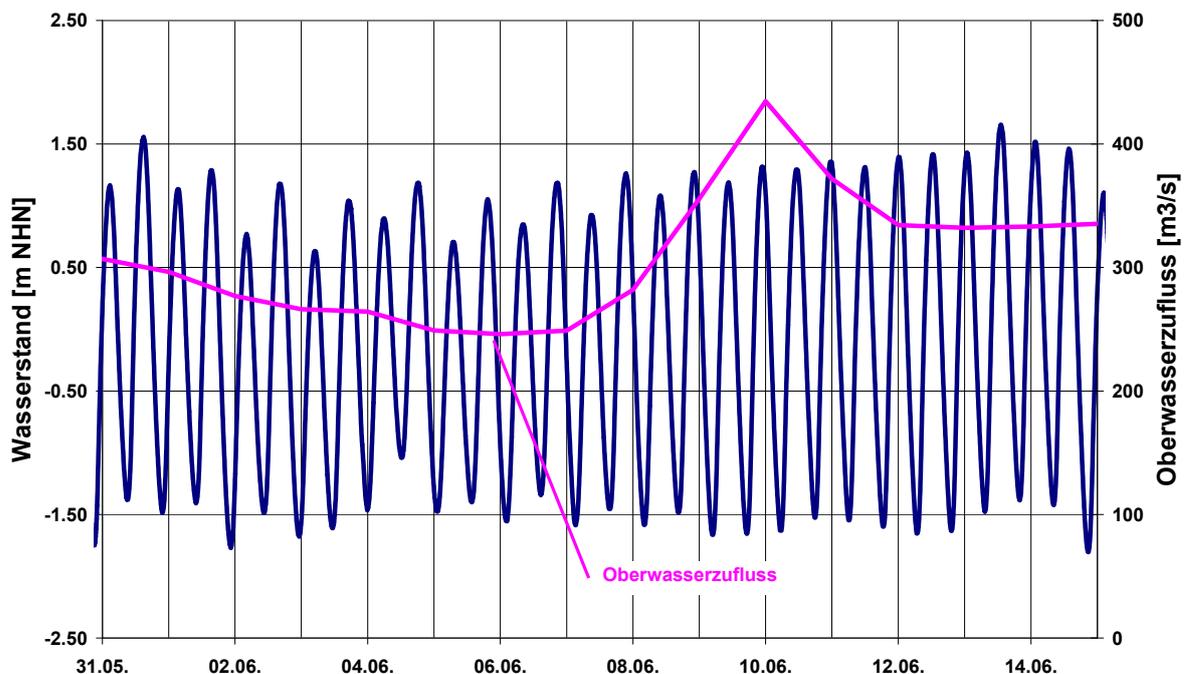


Bild 3: Gesteuerte Wasserstands- und Abflusskurve

4.4 Simulation der Verklappungen

Um die Vorgaben des Auftraggebers bzw. der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung für die Verklappungen (Abschn. 1) in ein Modellszenario umzusetzen, waren weitere Annahmen zu treffen.

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 m³, 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.

In der folgenden Grafik (Bild 4) sind die Verklappzeitpunkte auf der Pegelkurve des Simulationszeitraums (Randwerte Juni 2002) dargestellt und die Summenkurven der Verklappmengen angegeben. Dabei ist zwischen

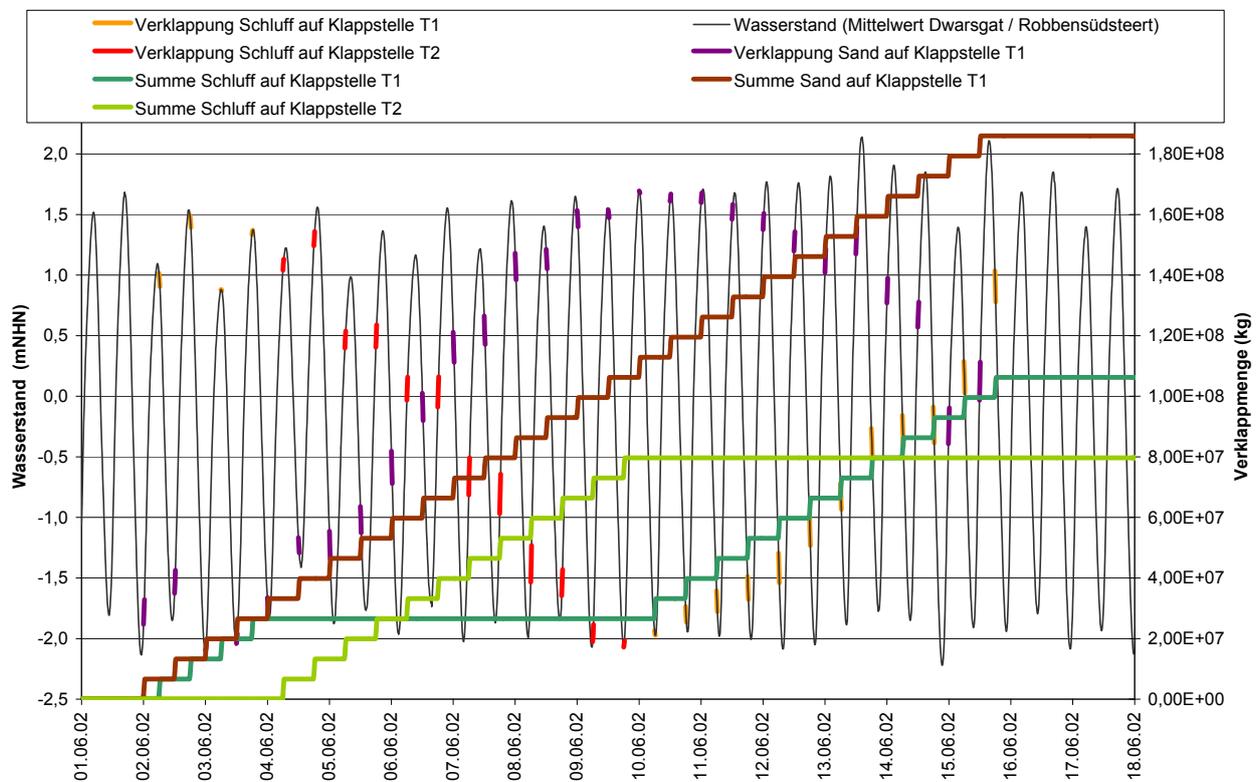


Bild 4: Zeitlicher Verlauf der Baggergutverklappungen

- Sand (Klappstelle T1)
- Schluff (Ebbeklappstelle T1)
- Schluff (Flutklappstelle T2)

unterschieden.

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.

Die Verdriftung des Baggerguts von der Klappstelle wurde im Modell als fraktionierter Transport berechnet. Dafür wurden, in Anlehnung an die Udden-Wentworth-Skala, für Schluff und Sand jeweils drei Fraktionen mit folgenden mittleren Korndurchmessern berücksichtigt:

Schluff:

Feinschluff (0,0115 mm)
Mittelschluff (0,023 mm)
Grobschluff (0,047 mm)
(Anteil je 1/3)

Sand:

Sehr feiner Sand (0,094 mm)
Feinsand (0,1875 mm)
Mittelsand (0,375 mm)
(Anteil je 1/3)

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

5 Simulationen mit dem Tracermodell

5.1 Vorbemerkung

Analog zur Tracermodellierung in einem physikalischen Strömungsmodell ist es möglich, die Ausbreitung des verklappten Baggermaterials in einem numerischen Modell mit fester Sohle zu simulieren. Das natürliche „Hintergrundgeschehen“, also die Belegung der Sohle mit beweglichen Sedimenten und deren Erosion, Transport und Sedimentation, wird dabei ausgeblendet. Ein solches „Tracermodell“ liefert qualitative Hinweise, wohin und mit welcher Intensität das Baggergut verdriftet und sedimentiert wird.

Das Baggergut wurde wie in Abschn. 4.4 beschrieben eingeleitet und die weitere Ausbreitung als fraktionierter Transport berechnet.

5.2 Ausbreitungsberechnung

Bei jeder einzelnen Verklappung entsteht eine Zone erhöhter Suspensionskonzentration. Tideabhängig bewegt sich diese Zone in der Hauptströmungsrichtung weserauf- und -abwärts (je nach Verklappzeitpunkt zunächst in die eine oder andere Richtung), wobei die Konzentration in Folge der Dispersion und Sedimentation abnimmt.

Wegen der unberücksichtigten Wechselwirkung mit dem natürlichen Sedimentvorrat lässt sich mit Hilfe des Tracermodells zeigen, auf welchen Wegen und wie weit einzelne Partikel von den Klappstellen aus transportiert werden können. Die Suspensionskonzentrationen werden dabei überhöht abgebildet. Dies wird im Folgenden beispielhaft für die letzten Verklappungen auf der Flutklappstelle T2 („09.06.“) und auf der Ebbeklappstelle T1 („15.06.“) betrachtet (vgl. Bild 4).

Bild 5 zeigt die Suspensionskonzentrationen im Tracermodell zu einem Zeitpunkt kurz nach der vorletzten Verklappung auf die Klappstelle T2. Es handelt sich um Schluff. Der Zeitpunkt liegt kurz nach Tideniedrigwasser. An der Klappstelle (Pfeil) zeigt das Modell eine sehr hohe Suspensionskonzentration („Schwebstoffwolke“) in Folge der gerade abgeschlossenen Verklappung. Die übrigen, geringeren Konzentrationen sind auf die vorangegangenen Verklappungen zurückzuführen.

In Bild 6 hat sich die o. g. Schwebstoffwolke mit der Flutströmung stromaufwärts bis zum Containerterminal CT4 bewegt (Pfeil mit Kennzeichnung „Schluff“), wobei die Konzentration

abgenommen hat. Kurz vor dem gezeigten Zeitpunkt wurde an der Klappstelle T1 eine Verklappung durchgeführt (Pfeil mit Kennzeichnung „Sand“). Da es sich um Sand handelt (größere Sinkgeschwindigkeit der Körner), ist die Zunahme der Suspensionskonzentration deutlich geringer, als unmittelbar nach einer Schluff-Verklappung. Wegen der größeren Mobilisierbarkeit und der geringeren Sinkgeschwindigkeit ergeben sich für die Schluffanteile weitaus größere Transportraten, höhere Suspensionskonzentrationen und weitere Transportwege.

Das Bild 7 zeigt einen dem Bild 5 sehr ähnlichen Zustand: Kurz vorher hat bei T2 wieder eine Verklappung von Schluff stattgefunden (Pfeil). Die Reste der in Bild 6 dargestellten Suspension befinden sich in einer stromabwärts gelegenen Position.

Nach dem in Bild 7 dargestellten Zeitpunkt wird im simulierten Szenario nur noch auf der Klappstelle T1 verklappt. Im Bild 8 (Pfeil) ist die letzte Verklappung auf T1 zu erkennen. Es handelt sich um Schluff. Durch den herrschenden Ebbstrom werden Sedimente remobilisiert, welche sich auf Grund der vorangegangenen Verklappungen vor allem in den Seitenbereichen der Fahrrinne und in den Mündungsbereichen der großen Priele verteilt haben. Dadurch liefert das Tracermodell großflächig eine Zunahme der Suspensionskonzentrationen.

Diese nehmen zum Ende der Ebbphase (Bild 9) durch die Dispersionswirkung (hohe Strömungsgeschwindigkeiten in der Fahrrinne) wieder deutlich ab. Das Konzentrationsmaximum (Pfeil) befindet sich hier in einer weit stromabwärts gelegenen Position.

In Bild 10 ist ein Zeitpunkt gegen Ende der darauf folgenden Flutströmung dargestellt. Auch hier ist die Remobilisierung von verdrifteten Sedimenten zu erkennen, die sich vorher auf der festen Sohle abgesetzt haben. Auf diese Weise gelangt Sedimentmaterial prinzipiell auch in die flachen Seitenbereiche (Watten, Prielwurzeln).

Insgesamt betrachtet konzentriert sich die Schwebstoffwolke hauptsächlich auf den Fahrinnenbereich der Weser. Geringere Anteile der Suspension gelangen mit dem Flutstrom durch den Fedderwarder Priel, das Wremer Loch und den Suezpriel in den Bereich des Langlütjensandes. Auf die gegenüberliegende Seite, also in den Bereich nordöstlich der Leitwerke, gelangen Teile der Suspensionswolke dagegen bei Ebbstrom. Sie werden bei Robben-südsteert in den Wurster Arm transportiert, wenn sich die Schwebstoffwolke auf dem „Rückweg“ von ihrem oberstromigen Wendepunkt befindet und ihre Konzentration bereits abgenommen hat.

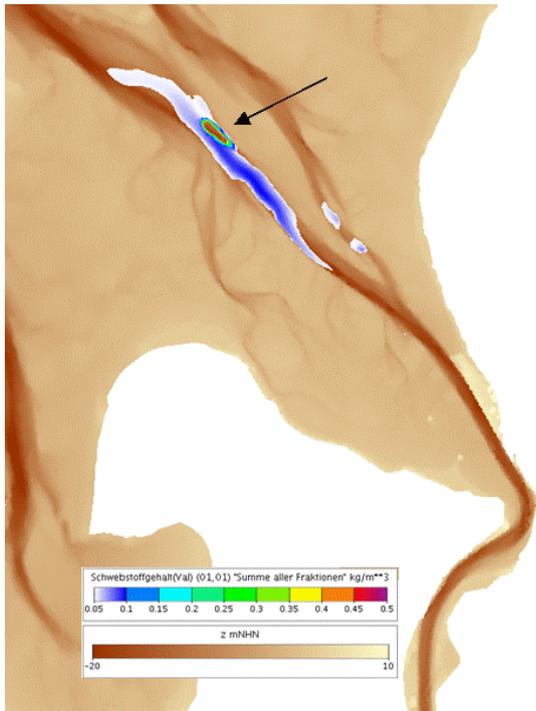


Bild 5: Suspensionskonzentrationen unmittelbar nach der vorletzten Verklappung auf Klappstelle T2 („09.06. 06:30“, tiefengemittelt)

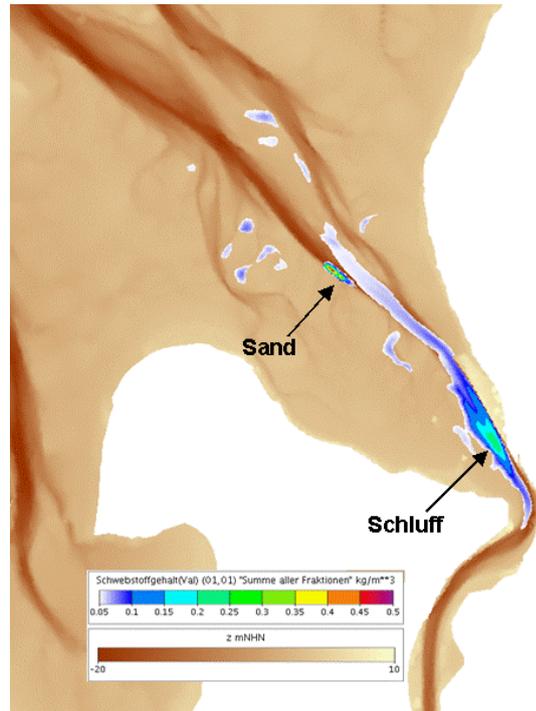


Bild 6: Suspensionskonzentrationen am Ende der nächsten Flutphase nach Bild 5 („09.06. 12:30“, tiefengemittelt)

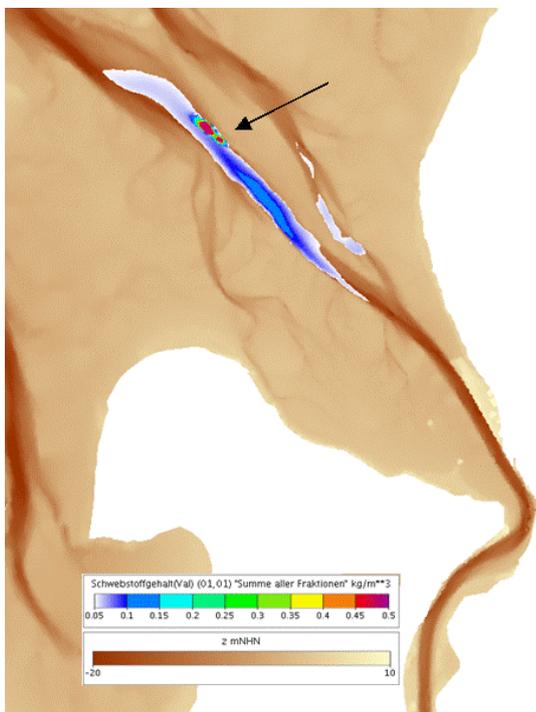


Bild 7: Suspensionskonzentrationen unmittelbar nach der letzten Verklappung auf Klappstelle T2 („09.06. 18:30“, tiefengemittelt)

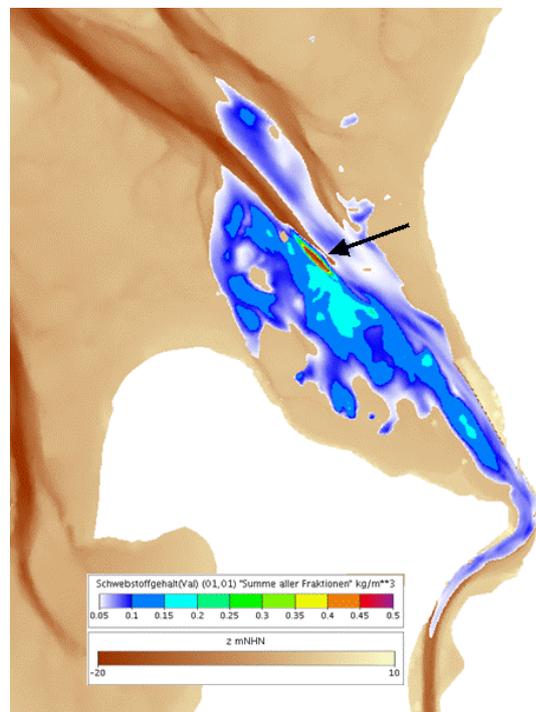


Bild 8: Suspensionskonzentrationen unmittelbar nach der letzten Verklappung („15.06. 18:30“, tiefengemittelt)

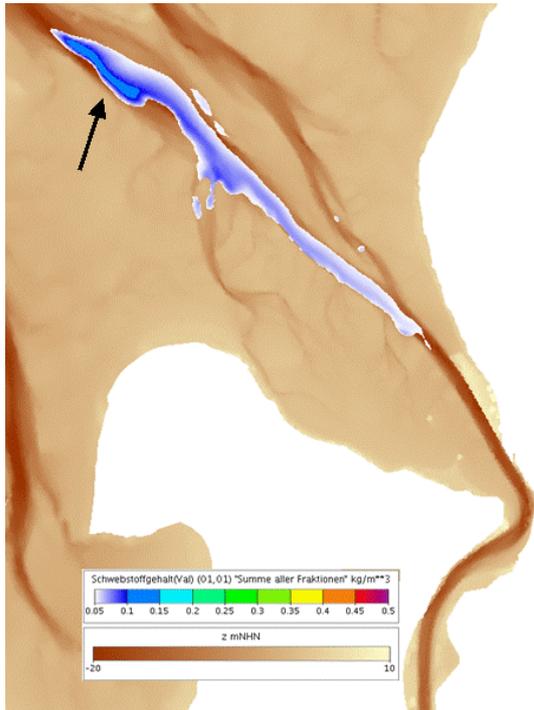


Bild 9: Suspensionskonzentrationen am Ende der Ebbephase nach der letzten Verklappung („15.06. 23:00“, tiefengemittelt)

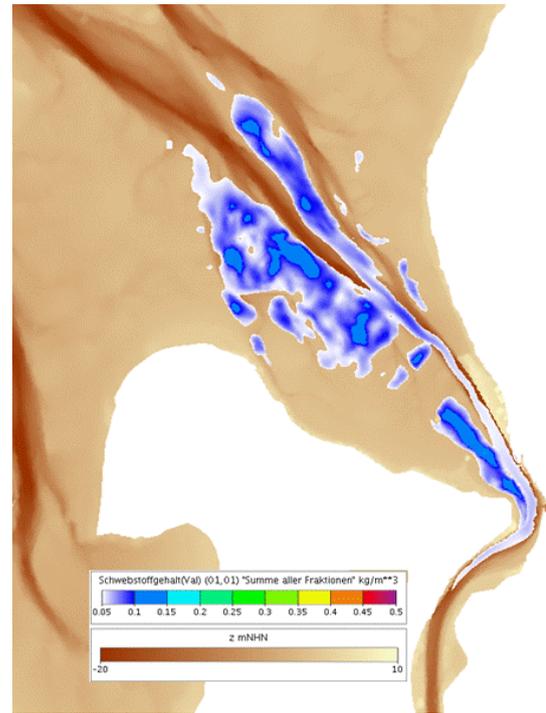
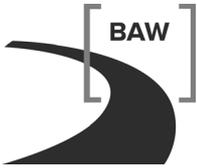


Bild 10: Suspensionskonzentrationen am Ende der nächsten Flutphase nach der letzten Verklappung („16.06. 05:30“, tiefengemittelt)

5.3 Bewertung

Im Tracermodell mit fester Sohle konnten starke und lang anhaltende Zunahmen der Sedimentkonzentrationen beobachtet und über lange Transportwege verfolgt werden. Wie aber in Abschnitt 3 erläutert, führt die Dynamik der natürlich vorhandenen Sedimente im Wesentlichen zu einer Reduzierung der verklappungsbedingten Wirkungen. Im Tracermodell werden nach jeder Kenterphase (= Sedimentationsphase) grundsätzlich zu große Mengen sedimentierten Baggermaterials remobilisiert: Wo im Tracermodell das gesamte Baggermaterial von der „festen Sohle“ wieder in Bewegung gesetzt wird, kann es sich in der Natur mit dem natürlichen Sedimentvorrat vermischen, und wird dann nur anteilmäßig remobilisiert und transportiert. Dadurch ist im Tracermodell einerseits die dauerhafte (über mehrere Tiden ermittelte) verklappungsbedingte Sedimentation im näheren (der Länge des Flut- bzw. Ebbewegs entsprechenden) Einflussbereich der Klappstelle zu klein. Andererseits liefert das Tracermodell großflächig zu weite Transporte und zu hohe Suspensionskonzentrationen in Folge des verklappten Materials. Diese Bewertung wird durch Naturuntersuchungen bestätigt, bei denen die Baggergutwolke im Tidestrom der Elbe nur bis zu einer Entfernung von 700 m nachweisbar war (GKSS 2000, vgl. Abschnitt 3).



Die in Bild 5 bis Bild 10 angegebenen Werte der Suspensionskonzentrationen liefern deshalb nur qualitative Hinweise. Sie dürfen nicht quantitativ auf die Natur übertragen werden, weil das Tracermodell die Verdriftung des Baggerguts aus den genannten Gründen nicht naturgetreu abbildet.

Das Tracermodell kann aber als ein Zeitraffermodell verstanden werden und zeigt somit, dass sich das Baggergut von den untersuchten Klappstellen langfristig in der gesamten Außenweser verteilen kann. Dabei muss die Farbskala im Sinne einer (nicht quantifizierten) Wahrscheinlichkeit interpretiert werden, mit der Sedimente vom Ort der Klappstellen in bestimmte Bereiche der Außenweser verdriftet werden können. Dementsprechend sind hohe (kurzzeitige) Spitzenkonzentrationen und Sedimentationsraten im Bereich des Fedderwarder Fahrwassers zu erwarten. Weiträumig handelt es sich um sehr geringe Mengen, die im natürlichen Geschehen zu vernachlässigen sind.

Um die verfahrensbedingte Überschätzung der verklappungsbedingten Wirkungen zu vermeiden und um die Konzentrationen und Sedimentationsraten zu quantifizieren, ist die Berücksichtigung der im System bereits vorhandenen natürlichen Sedimente erforderlich (Abschnitt 6).

6 Simulationen mit dem Sedimenttransportmodell

6.1 Vorbemerkung

Ein naturähnlicheres „Transportmodell“ entsteht, wenn die natürliche Sedimentbelegung und das sedimentologische Hintergrundgeschehen im Untersuchungsgebiet abgebildet wird.

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).

6.2 Verklappungsbedingte Suspensionskonzentrationen

Analog zu Abschnitt 5.2 werden im Folgenden wieder die Suspensionskonzentrationen für die letzten Verklappungen auf der Flutklappstelle T2 („09.06.“) und auf der Ebbeklappstelle T1 („15.06.“) betrachtet (vgl. Bild 4). Dargestellt wird jeweils die aus den Verklappungen resultierende Erhöhung der Suspensionskonzentration, die sich zusätzlich zum natürlichen Geschehen einstellt (Differenz der Simulationen mit und ohne Verklappungen).

Bild 11 zeigt die Suspensionskonzentrationen (verklappungsbedingter Anstieg) im Modell zu einem Zeitpunkt kurz nach der vorletzten Verklappung auf die Klappstelle T2. Es handelt sich um Schluff. Der Zeitpunkt liegt kurz nach Tideniedrigwasser. An der Klappstelle (Pfeil) zeigt das Modell eine erhöhte Suspensionskonzentration („Baggergutwolke“) in Folge der gerade abgeschlossenen Verklappung. Auswirkungen der vorangegangenen Verklappungen sind nicht zu erkennen.

In Bild 12 hat sich die o. g. Baggergutwolke mit der Flutströmung stromaufwärts bis zum Containerterminal CT4 bewegt (Pfeil mit Kennzeichnung „Schluff“), wobei die Konzentration abgenommen hat. Kurz vor dem gezeigten Zeitpunkt wurde an der Klappstelle T1 eine Verklappung durchgeführt (Pfeil mit Kennzeichnung „Sand“). Da es sich um Sand handelt (größere Sinkgeschwindigkeit der Körner), ist die Zunahme der Suspensionskonzentration deutlich geringer, als unmittelbar nach einer Schluff-Verklappung. Wegen der größeren Mobilisierbarkeit und der geringeren Sinkgeschwindigkeit ergeben sich für die Schluffanteile des Baggerguts die weitaus höheren Transportraten und Suspensionskonzentrationen.

Das Bild 13 zeigt einen dem Bild 11 sehr ähnlichen Zustand: Kurz vorher hat bei T2 wieder eine Verklappung von Schluff stattgefunden (Pfeil). Reste der vorangegangenen Verklappungen sind nicht erkennbar.

Nach dem in Bild 13 dargestellten Zeitpunkt wird im simulierten Szenario nur noch auf der Klappstelle T1 verklappt. Im Bild 14 (Pfeil) ist die letzte Verklappung auf T1 zu erkennen. Es handelt sich um Schluff. Die in Bild 8 gezeigten Effekte einer deutlichen Remobilisierung von Baggergut treten hier nicht hervor, weil in großem Umfang auch natürlich vorhandene Sedimente mobilisiert werden und dies den in Bild 8 gezeigten Effekt überdeckt.

Am Ende der Ebbephase (Bild 15) befindet sich die Baggergutwolke in ihrer seeseitigen Position. Die Konzentration ist bereits deutlich reduziert. Am Ende der folgenden Flutphase (Bild 16) ist sie nicht mehr zu erkennen.

Wie die Verklappungen an ausgewählten Orten (Bild 17) die Suspensionskonzentrationen verändern, ist in Bild 18 und Bild 19 dargestellt. In der Simulation wurden mit der Einleitung (Verklappung) extrem große Sedimentmengen in Suspension gebracht, um auf der sicheren Seite liegende Ergebnisse zu erzielen. Daher wurden auf den Klappstellen (Bild 18) im Modell sehr hohe Zunahmen von bis zu $2,4 \text{ kg/m}^3$ (T1) bzw. bis zu $1,2 \text{ kg/m}^3$ (T2) erreicht. Diese Werte gelten im Volumenmittel unter einer rd. $10\,000 \text{ m}^2$ bzw. $30\,000 \text{ m}^2$ großen Wasserfläche (Rechenzelle). Die Größe der einzelnen Peaks hängt davon ab, ob es sich um Sand (kleinere Peaks von rd. $0,2 \text{ kg/m}^3$ auf T1) oder um Schluff handelt, und ob die Einbringung bei hoher Strömungsgeschwindigkeit (Verdünnung) oder geringer Strömungsgeschwindigkeit erfolgt. Wenn die Einbringung nahe dem Kenterpunkt erfolgt, sind die Konzentrationen im Modell am höchsten, weil das eingeleitete Material sofort über das gesamte Zellvolumen verteilt, aber nur wenig durch die Strömung weitertransportiert wird. In der Natur würde das Baggergut dagegen größtenteils auf den Boden sinken. Vor allem die Peaks (hier: Werte über $0,5 \text{ kg/m}^3$ auf T2 bzw. 1 kg/m^3 auf T1) sind daher auf Grund der modelltechnischen Möglichkeiten überhöht und nicht realistisch. Da eine naturgetreue Simulation des Verklappvorgangs wegen fehlender Kalibrierdaten nicht möglich ist, können die Suspensionskonzentrationen auf der Klappstelle nicht im Modell sondern nur durch Naturmessungen ermittelt werden.

Im weiteren Umfeld überwiegen die im Modell erfassten Effekte der Sedimenttransportprozesse. Dort sind die Simulationsergebnisse also belastbarer. Sie sind aber auch durch die hohen Ursprungskonzentrationen beeinflusst und übertreffen deshalb die tatsächlichen Vorhabenswirkungen. In Bild 19 sind die Ergebnisse für Auswertungspositionen dargestellt, die jeweils rd. 5 km von der nächsten Klappstelle entfernt liegen. Die größten Konzentrationszunahmen mit bis zu $0,5 \text{ kg/m}^3$ wurden an der Position „Mitte“ zwischen den beiden Klapp-

stellen errechnet. An den Positionen „Binnen“ und „Außen“ waren es bis zu $0,25 \text{ kg/m}^3$ bzw. $0,1 \text{ kg/m}^3$.

Die simulierten „natürlichen“ Suspensionskonzentrationen der betrachteten Positionen „außen“ bis „T1“ lagen bei einem Mittelwert von $0,07$ bis $0,08 \text{ kg/m}^3$ und an der Position „binnen“ bei $0,10 \text{ kg/m}^3$. Der Maximalwert war jeweils doppelt so hoch, also bei $0,14$ bis $0,20 \text{ kg/m}^3$. Die maximalen verklappungsbedingten Erhöhungen der Suspensionskonzentrationen betragen damit an den 5 km entfernten Positionen etwa das ein- bis dreifache der natürlichen Konzentrationen und wären damit in der Natur optisch erkennbar und messtechnisch nachweisbar. Da dies im Widerspruch zu vorliegenden Erkenntnissen steht (vgl. Abschn. 3, die Baggergutwolke war über weniger als 1 km nachweisbar), ist davon auszugehen, dass auch diese Modellwerte deutlich auf der sicheren Seite liegen, d. h. die tatsächlichen Vorhabenswirkungen überschätzt werden.

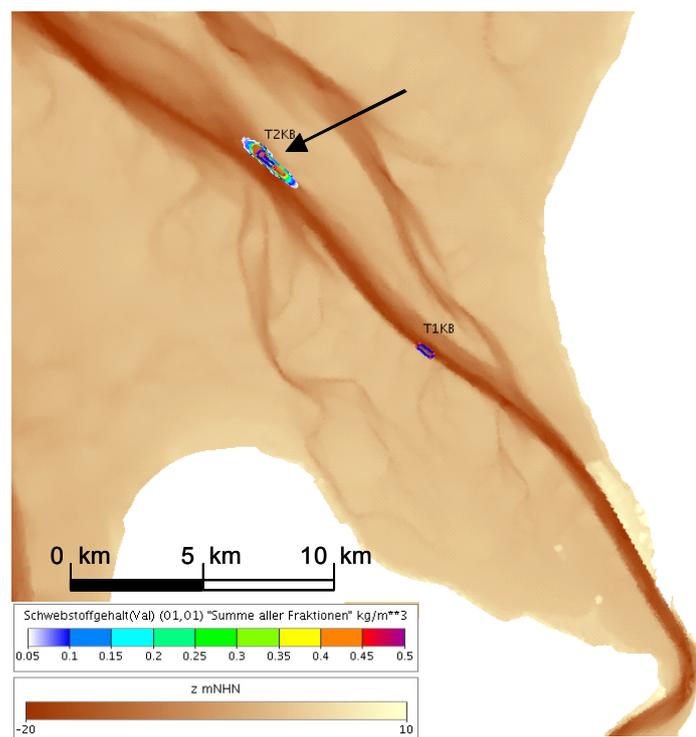


Bild 11: Verklappungsbedingte Suspensionskonzentrationen unmittelbar nach der vorletzten Verklappung auf Klappstelle T2 („09.06. 06:30“, tiefengemittelt)

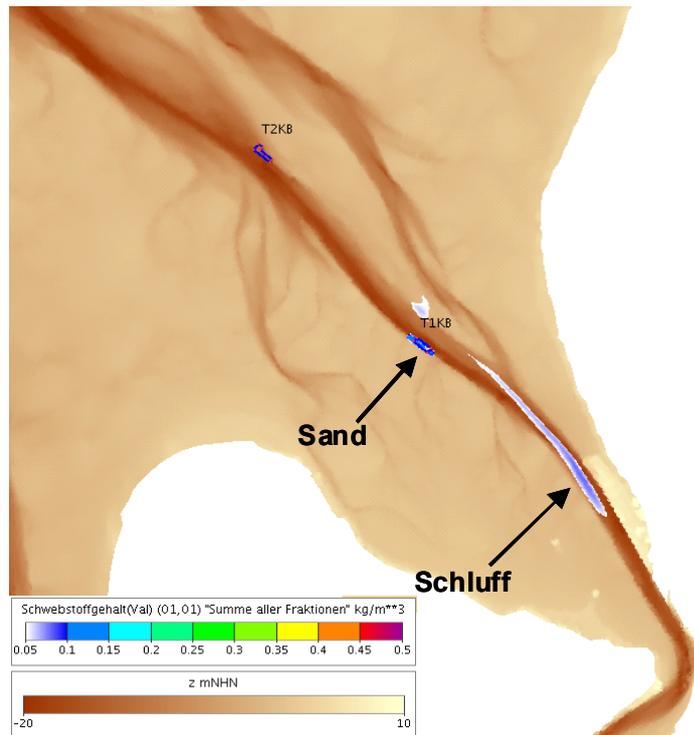


Bild 12: Verklappungsbedingte Suspensionskonzentrationen am Ende der nächsten Flutphase nach Bild 11 („09.06. 12:30“, tiefengemittelt)

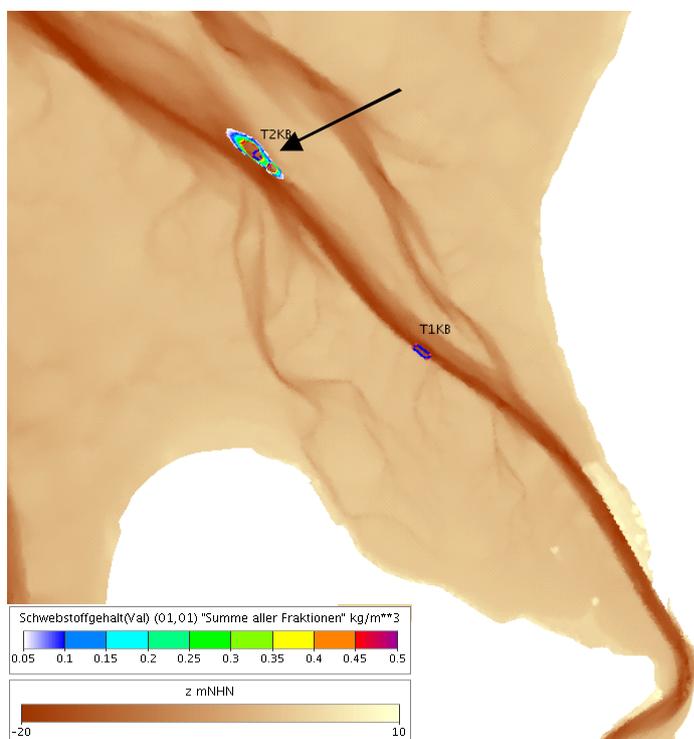


Bild 13: Verklappungsbedingte Suspensionskonzentrationen unmittelbar nach der letzten Verklappung auf Klappstelle T2 („09.06. 18:30“, tiefengemittelt)

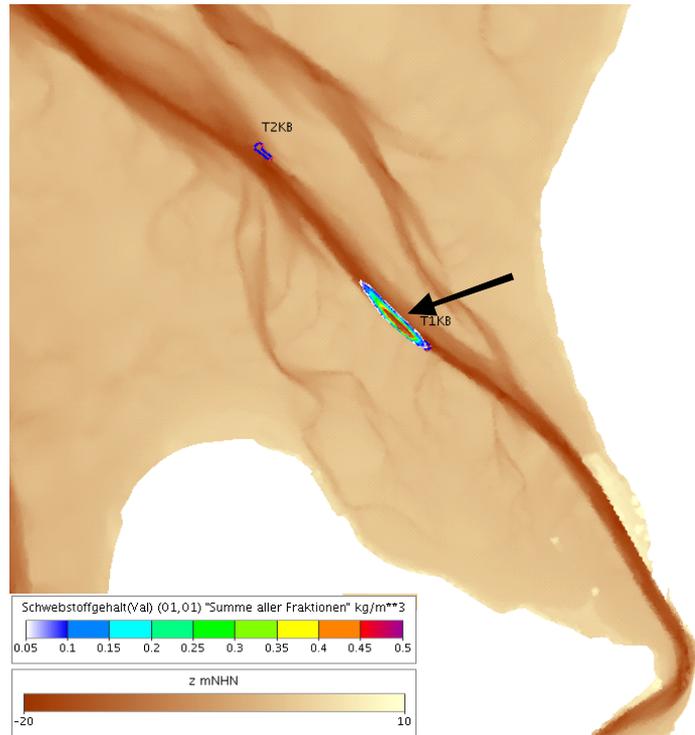


Bild 14: Verklappungsbedingte Suspensionskonzentrationen unmittelbar nach der letzten Verklappung („15.06. 18:30“, tiefengemittelt)

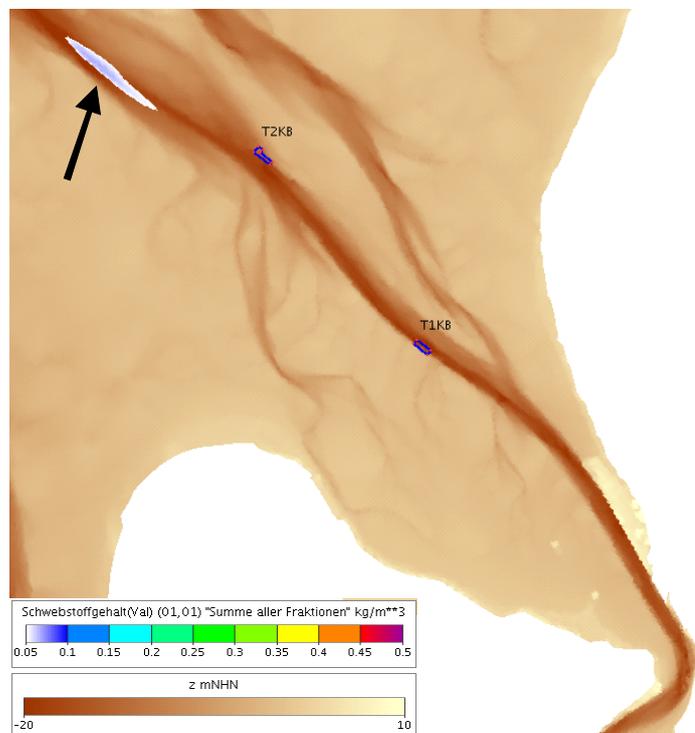


Bild 15: Verklappungsbedingte Suspensionskonzentrationen am Ende der Ebbe-phase nach der letzten Verklappung („15.06. 23:00“, tiefengemittelt)

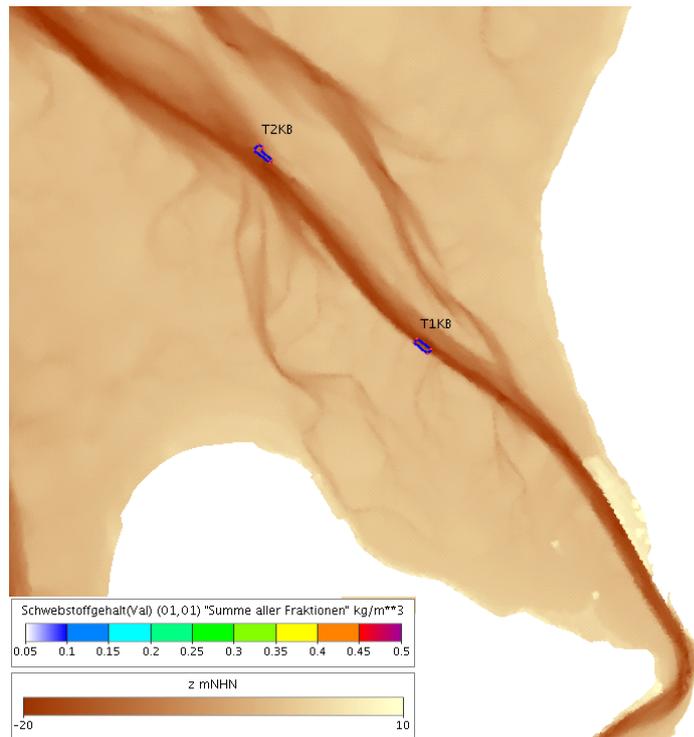


Bild 16: Verklappungsbedingte Suspensionskonzentrationen am Ende der nächsten Flutphase nach der letzten Verklappung („16.06. 05:30“, tiefengemittelt)

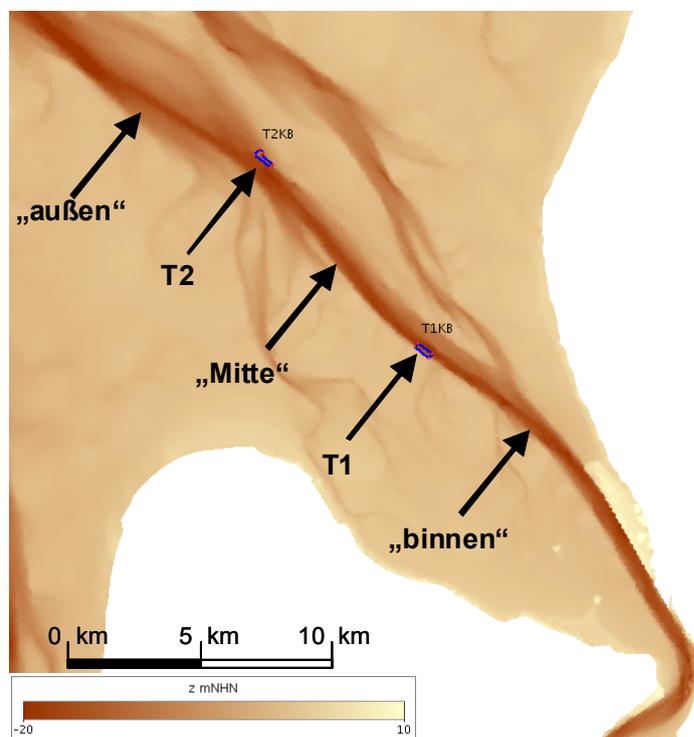


Bild 17: Auswertepositionen der Ganglinien (zu Bild 18 und Bild 19)

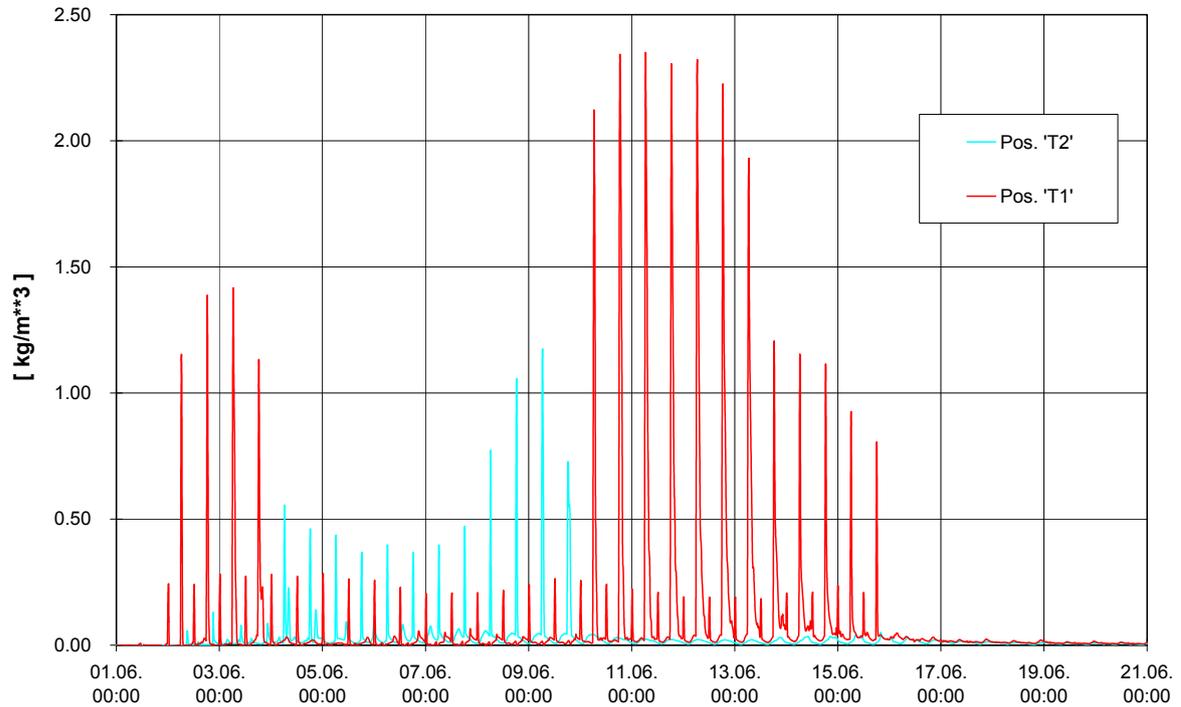


Bild 18: Verklappungsbedingte tiefengemittelte Suspensionskonzentrationen als Ganglinien: Positionen auf den Klappstellen

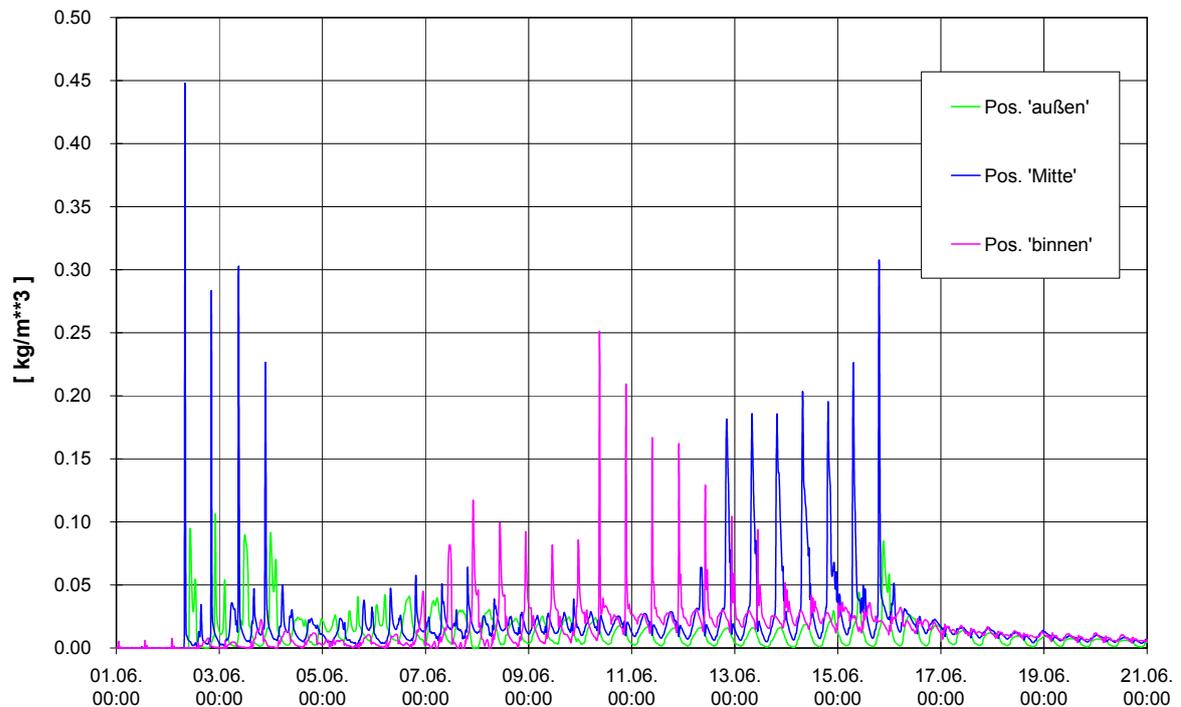


Bild 19: Verklappungsbedingte tiefengemittelte Suspensionskonzentrationen als Ganglinien: weitere Positionen (s. Bild 17)

6.3 Sedimentation des verdrifteten Baggerguts

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 Fahrinnenbereichs (z. B. in den Bühnenfeldern), an den flachen Enden der Priele und auf den Watten. 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 (Abschnitt 6.2). Nach dem Ergebnis der Simulation (Bild 20) treten am Ende des vierzehntägigen Verklappzeitraums Sedimentationshöhen über ca. 1 cm nur im Bereich der Klappstelle T1 auf (Länge des Bereichs etwa 2 – 3 km). Im Bereich der Klappstelle T2, wo nur Schluff verklappt wird, bleibt praktisch kein Baggergut liegen.

Auf den Klappstellen selbst hängt die Sedimentationshöhe sehr vom tatsächlichen Ablauf der Verklappvorgänge ab (Verteilung durch den Bagger über die Fläche der Klappstelle, Größe der unmittelbar durch die Verklappung erzeugten Suspensionskonzentrationen). In der Simulation wurde auf der Klappstelle T1 eine Akkumulation von etwa sechs Dezimetern errechnet.

Außerhalb des in Bild 20 gezeigten Sedimentationsbereichs sind die Sedimentationshöhen gering ($< 1/2$ cm). Das Bild 21 verdeutlicht dies für ausgewählte Positionen.

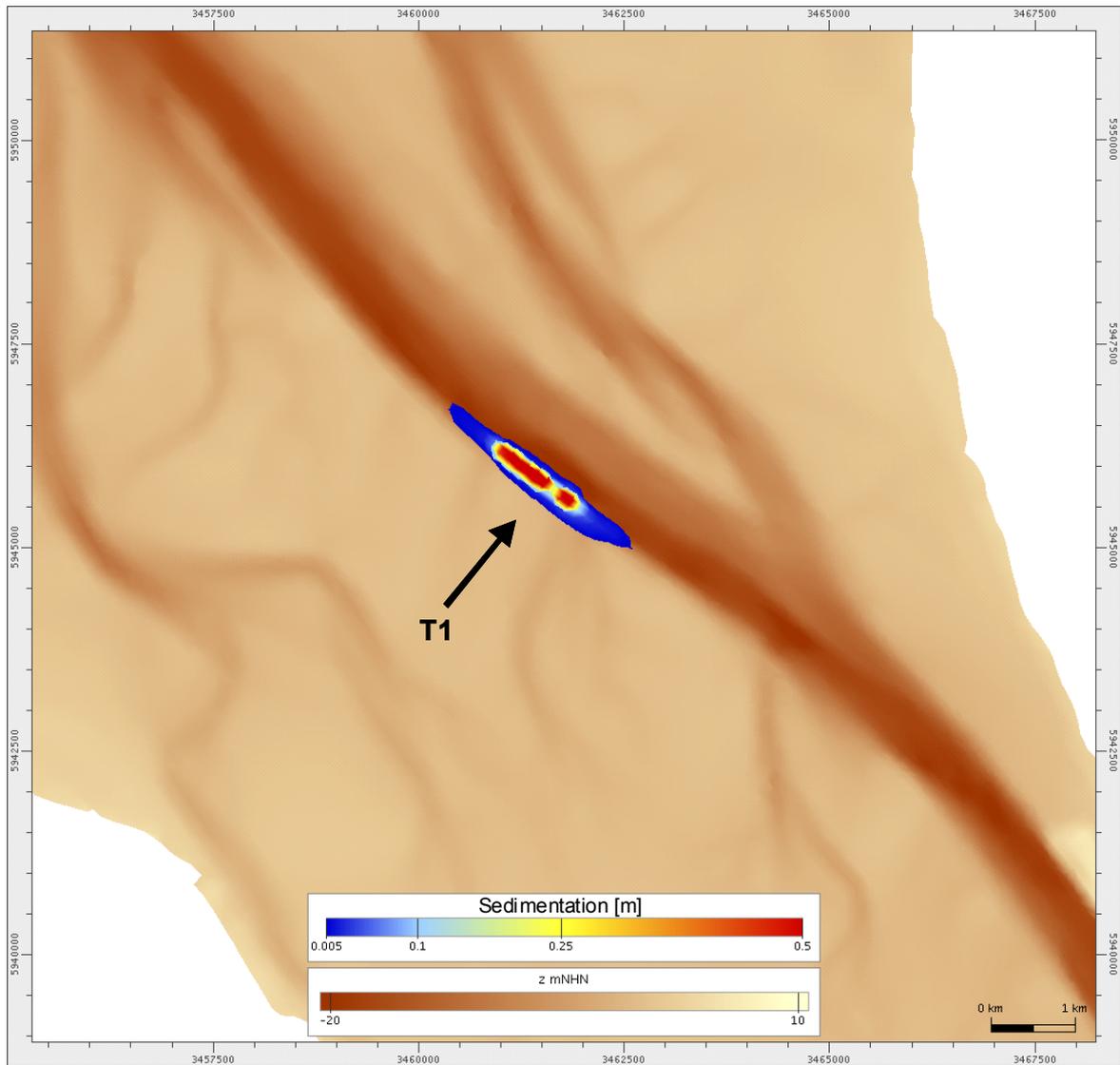


Bild 20: Verklappungsbedingte Sedimentationshöhen am Ende des Verklappungszeitraums

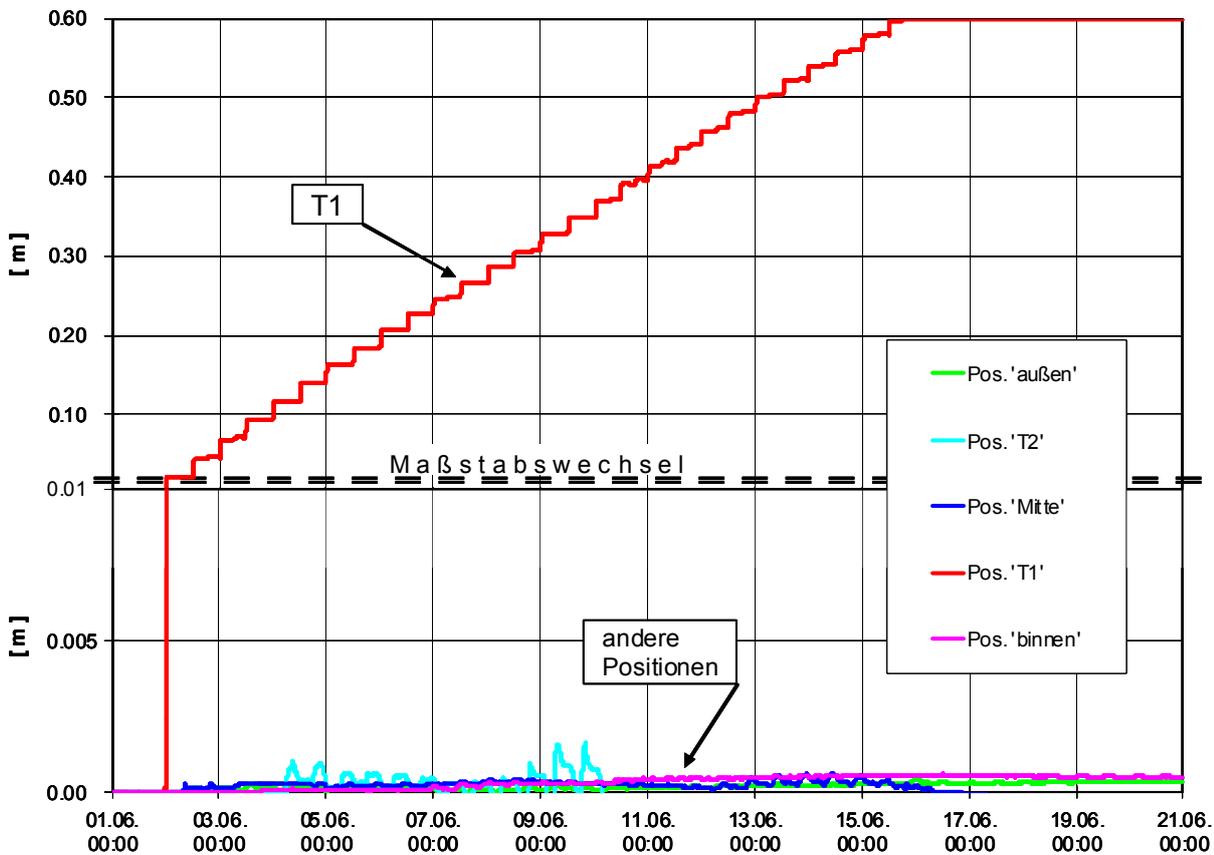


Bild 21: Verklappungsbedingte Sedimentationshöhen als Ganglinien (Positionen s. Bild 17)

6.4 Bewertung

Durch die Berücksichtigung des natürlichen Sedimentvorrats der Weser und des daraus resultierenden Sedimenttransportgeschehens ergibt sich ein naturähnlicheres Bild der Verklappungswirkungen als im Tracermodell. Wegen fehlender Kalibrierdaten verbleibt als Unsicherheit jedoch die Frage, wie viel Material beim Verklappvorgang unmittelbar in Suspension gelangt. In der Simulation wurde das gesamte Baggermaterial bei der Einleitung in Suspension gebracht, so dass die erzeugten Suspensionskonzentrationen im Nahbereich der Klappstellen und die Transportwege überhöht sind. Die damit verbundene Unterschätzung der Sedimentationsraten im Nahbereich wird bei der Bewertung berücksichtigt.

Im Modell wurden noch in einer Entfernung von rd. 5 km zur Klappstelle maximale Konzentrationszunahmen berechnet, die dem ein- bis dreifachen der simulierten Hintergrundkonzentrationen entsprachen (vgl. Bild 12, Bild 15, Bild 19). Sie müssten demnach in der Natur noch in dieser Entfernung – bei einem Zeitabstand zur Verklappung von rd. 6 Stunden –

sichtbar sein. Tatsächlich werden in Ästuaren aber nur im Nahfeld von Verklappungen (Abstand < 1 km) Trübungszunahmen beobachtet bzw. gemessen. Dies zeigt, dass die Intensität und Größe der Baggergutwolken im Modell auch noch in dieser Entfernung überschätzt wird.

Alle im Modell simulierten verklappungsbedingten Suspensionskonzentrationen (Abschnitt 6.2) liegen somit auf der sicheren Seite.

Nennenswerte Sedimentationshöhen (über ca. 1 cm) in Folge der Verklappungen wurden nur im Bereich der Klappstelle T1 ermittelt (Bild 20). 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 20 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.

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 und unter Berücksichtigung der o. g. prinzipiellen Unterschätzung der Sedimentationsraten 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.

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 Sohlage wiederhergestellt.

7 Schlussfolgerungen

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 Bedeutung der Konzentrationszunahmen und Sedimentationen hängt vom natürlichen „Hintergrundgeschehen“ ab, also vom Umfang der bereits natürlicherweise im System bewegten Sedimente. Dies wird neben dem Strömungsklima durch den natürlichen Sedimentvorrat und den Seegang bestimmt. Die bei der Verklappung eingebrachten Sedimentfraktionen sind mit einem Vielfachen der Menge auch natürlicherweise im Ästuar vorhanden. Es kommt also zu einer Vermischung und gegenseitigen Beeinflussung.

Für die Verdriftungsrechnungen im numerischen Modell wurden die Vorgaben des Auftraggebers zum Ablauf der Baggerungen in ein Verklappungsszenario umgesetzt. Da keine geeigneten Kalibrierdaten vorlagen, war es in der numerischen Simulation nicht möglich, den Verklappungsvorgang naturgetreu zu simulieren, also den Verlauf der Sedimentation und der Entstehung von Suspension bei der Leerung des Hopperbaggers nachzubilden. Daher wurde der verklappungsbedingte Anstieg der Suspensionskonzentrationen auf der sicheren Seite liegend ermittelt, indem jeweils das gesamte Ladungsvolumen in die Wassersäule eingeleitet wurde und somit an der Klappstelle sehr hohe Suspensionskonzentrationen erzeugt wurden.

Die Zone mit erhöhter Suspensionskonzentration (Baggergutwolke) wird mit der Tide stromauf- bzw. -abwärts transportiert, wobei sie sich in Folge der dabei stattfindenden Dispersion und Sedimentation verdünnt. Hohe Trübungszunahmen konzentrieren sich auf den Fahrinnenbereich (Fedderwarder Fahrwasser):

- Über die tatsächlich zu erwartende Höhe der Suspensionskonzentrationen unmittelbar nach einer Verklappung kann das Modell keine Angaben liefern, weil entsprechende Kalibrierdaten fehlen. Die in Abschnitt 6.2 dargestellten Konzentrationen liegen deutlich auf der sicheren Seite.
- Auch in weiterer Entfernung zur Klappstelle sind die Modellwerte noch durch die hohen Einleitungskonzentrationen beeinflusst und übersteigen die tatsächlich zu erwartenden Konzentrationen erheblich.
- Die in Abschnitt 6.2 (Bild 11 bis Bild 19) dargestellten Suspensionskonzentrationen können also zur Einschätzung der Umweltauswirkungen herangezogen werden; sie 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 Streifen im Bereich der Klappstelle T1 (Bild 20) sind Sedimentationshöhen zu erwarten, die bis zum Ende des Verklappzeitraums auf Werte über 1 cm akkumulieren. Die größeren Sedimentationshöhen liegen überwiegend innerhalb der Grenzen der rd. 1,5 km * 0,2 km großen Klappstelle T1.
- Die maximalen Sedimentationshöhen sind davon abhängig, wie das Material bei der Einbringung durch den Bagger innerhalb der Klappstellengrenzen verteilt wird. Bei gleichmäßiger Verteilung über die Klappstelle sind vorübergehend Höhen von einigen Dezimetern bis zu etwa einem Meter für Klappstelle T1 realistisch.
- Auf der Klappstelle T2 verklapptes Schluffmaterial bleibt nicht in nennenswertem Umfang liegen, sondern verteilt sich weiträumig.
- Im weiteren Einflussbereich der Trübungswolke (Bild 11 bis Bild 16) ist mit maximalen verklappungsbedingten Sedimentationshöhen von einigen Millimetern zu rechnen (vgl. Bild 21).
- In weiterer Entfernung zu den Klappstellen verliert sich die Wirkung der Verklappungen im natürlichen Hintergrundgeschehen.
- Erfahrungsgemäß wirkt die Klappstelle T1 als Durchgangsklappstelle, d. h. auch das dort akkumulierte Material wird längerfristig (Wochen, Monate) großräumig verteilt.

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

Bundesanstalt für Wasserbau – Dienststelle Hamburg
Hamburg, im September 2012

Im Auftrag

Bearbeiter

gez. Rahlf

gez. Vierfuß

Dipl.-Ing. H. Rahlf

Dr.-Ing. U. Vierfuß

8 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.

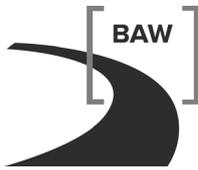
BAW (Bundesanstalt für Wasserbau): Fahrrinnenanpassung der Unterweser an die Entwicklungen im Schiffsverkehr – Summationswirkung der Anpassungen von Unter- und Außenweser – Gutachten zur ausbaubedingten Änderung der Sturmflutscheitelwasserstände. BAW-Nr. 5.02.10048.00–6, Hamburg, März 2006d.

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)

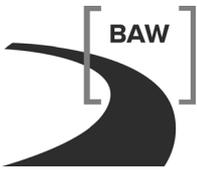
BAW (Bundesanstalt für Wasserbau): Wasserbauliche Systemanalyse für das Offshore-Terminal Bremerhaven. BAW-Nr. A 3955 02 10135, Hamburg, August 2012

GRABEMANN, I. und KRAUSE, G.: Dynamik des Suspensionstransports in einem Tide-ästuar. Abschlussbericht zum BMFT-Forschungsvorhaben MFU 05242, Alfred-Wegeener-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.
- GKSS: Untersuchungen zur Schwebstoffausbreitung und Sauerstoffzehrung während der Baggerung und Verklappung im Rahmen der Neubaubaggerungen zur Fahrrinnenanpassung der Unter- und Außenelbe an die Containerschifffahrt, Gutachten für das Wasser- und Schifffahrtsamt Hamburg, GKSS-Auftragsnummer: 1KG01F01, Juni 2000
- 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