



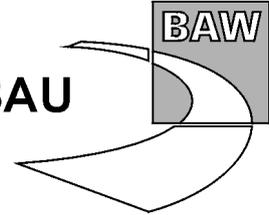
BUNDESANSTALT FÜR WASSERBAU
KARLSRUHE · HAMBURG · ILMENAU

BAW



GUTACHTEN

**Wasserbauliche Systemanalyse
zur Verlegung der Spülrohrleitung
an den NOK-Schleusen Brunsbüttel**



**Wasserbauliche Systemanalyse
zur Verlegung der Spülrohrleitung
an den NOK-Schleusen Brunsbüttel**

Auftraggeber: Wasser- und Schifffahrtsamt Brunsbüttel
Alte Zentrale 4
25541 Brunsbüttel

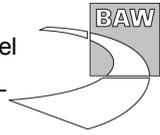
Auftrag vom: 06.12.2007, Az.: 2-231.2/1 PFS5510

Auftrags-Nr.: BAW-Nr. A 3955 02 10091

Aufgestellt von: Abteilung: Wasserbau im Küstenbereich
Referat: Ästuarsysteme I (K2)
Bearbeiter: Dr.-Ing. U. Vierfuß
Dipl.-Ing. (FH) H. Brand
Dipl.-Ing. (FH) S. Gärtner

Hamburg, im Dezember 2008

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



Zusammenfassung

Der bauliche Zustand der Großen Schleusen in Brunsbüttel macht eine Grundinstandsetzung erforderlich. Um unter Beachtung der hohen Auslastung der Schleusenanlagen die erforderliche Schleusenkapazität während der Grundinstandsetzung der Großen Schleusen sicherzustellen, wird der Neubau einer zusätzlichen Schleusenkammer zwischen den vorhandenen Großen und Kleinen Schleusen angestrebt.

Im Zuge dieser Baumaßnahme und der daraus resultierenden Neugestaltung der Schleuseninsel wird eine Verlegung der dort liegenden Spülrohrleitung erforderlich. Über sie wird jährlich eine Menge von ca. 2 Mio. m³ Nassbaggeregut vom Binnenhafen in die Elbe gepumpt. Das Wasser- und Schifffahrtsamt Brunsbüttel beauftragte deshalb die Bundesanstalt für Wasserbau, Dst. Hamburg, mit Schreiben vom 06.12.2007, die Auswirkungen einer Verlegung der Spülrohrleitung unter den vorgegebenen Randbedingungen mit Hilfe wasserbaulicher Systemuntersuchungen zu ermitteln. Dabei waren folgende Varianten zu betrachten:

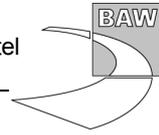
- Referenzzustand mit dem heutigen Zustand des Schleusenvorhafens und mit Spülguteinleitung an der heutigen Stelle zwischen Mole 2 und 3
- Ausbauzustand nach dem Bau der fünften Schleusenkammer mit der Vorhafenvariante „Lange Mole 2“ und der Spülguteinleitung nahe der 3. Buhne östlich der Mole 1

Eine Einleitposition westlich der Vorhäfen (bei Mole 4) konnte auf Grund der erarbeiteten Erkenntnisse ohne weitere Simulationen beurteilt und ausgeschlossen werden.

Um die Auswirkungen der Baggereguteinleitungen auf die Umwelt, auf den Wiedereintrieb in die Schleusenvorhäfen und auf Nachbaranlagen beurteilen zu können, wurden die einleitungsbedingten Schwebstoffgehalte (Schwebstofffahnen) und Sedimentationsraten in einem 3D-HN-Modell mit fester Sohle ermittelt.

Während der Betriebszeiten der Spülrohrleitung wird die natürliche Schwebstoffkonzentration in einem je nach Tidephase maximal 1000 m · 100 m großen Bereich etwa verdoppelt. Gegenüber der heutigen Einleitungsposition wird der betroffene Bereich um etwa 1000 m nach Osten verlagert. Darüber hinaus gibt es eine größere Zone mit einer Ausdehnung von mehreren 1000 m, in der die Steigerung der natürlichen Schwebstoffkonzentration unter 10% bis maximal 50% liegt. Diese Zone verändert sich durch die Verlegung der Spülrohrleitung nicht wesentlich.

Für die Schleusenvorhäfen ist die neue Einleitungsposition günstiger, weil weniger Spülgut in die Vorhäfen gelangt.



Westlich der Kaje des Elbehafens wird z. Zt. die Entnahme von Kühlwasser für ein Kraftwerk geplant. Hier ist, in Abhängigkeit von der Tidephase, mit einer Erhöhung der Schwebstoffgehalte um maximal 40 mg/l zu rechnen.

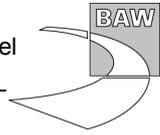
Der durch nennenswerte Sedimentationen betroffene Bereich ist durch seine Lage an der gut durchströmten Krümmungsaußenseite mit relativ großen Wassertiefen gekennzeichnet, so dass die Sedimentationen langfristig nicht zu großen Höhen akkumulieren können; dort werden die einleitungsbedingten Sedimentationen daher im natürlichen Sedimenttransportgeschehen nicht hervortreten.

Höhere Aufsedimentationen können nur im näheren Umkreis der Einleitposition durch folgende Effekte entstehen:

- In unmittelbarer Nähe des Einleitposition (Größenordnung 50 m bis 100 m) können die hohen Sedimentkonzentrationen nicht sofort von der Strömung aufgenommen werden, so dass sich hier Spülgut absetzen und akkumulieren kann.
- In den ohnehin weit aufgelandeten Bühnenfeldern ist eine Verfestigung der o. g. Sedimentationen möglich, so dass eine Resuspension erschwert wird.

Die letztgenannten Effekte können gemindert werden, wenn die Rohrleitung mindestens bis zur Streichlinie der Bühnenköpfe geführt wird und so in die turbulente Hauptströmung der Elbe reicht.

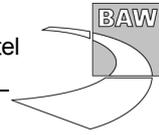
Beim Elbehafen und seinen Zufahrten ist eine signifikante Beeinträchtigung der Unterhaltung nicht zu erwarten.



Inhaltsverzeichnis

Seite

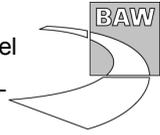
1	Veranlassung und Aufgabenstellung	1
2	Arbeitsunterlagen und Daten	2
3	Bearbeitungskonzept	2
4	Modellbeschreibung	3
4.1	Modellgebiet und Gitternetz	3
4.2	Modelltopographien	5
4.3	Modellsteuerung	6
4.4	Modellkalibrierung und -validierung	6
4.5	Spülguteinleitung	7
5	Untersuchungsergebnisse	9
5.1	Vorbemerkung	9
5.2	Spülgutausbreitung nach Verlegung der Einleitstelle im Vergleich zur heutigen Position (tideunabhängige Einleitung)	9
5.3	Andere Position der Spülrohrleitung	11
6	Zusammenfassung und Bewertung	18
7	Literaturverzeichnis	20



Bildverzeichnis

Seite

Abb. 1:	Übersicht der Gebietsgrenzen des HN-Modells	4
Abb. 2:	HN-Modell im Bereich des Vorhafens und Ausschnittvergrößerung mit Berechnungsgitter	5
Abb. 3:	Ausbauvariante „Lange Mole 2“	6
Abb. 4:	Schwebstofffahne im Referenzzustand kurz nach Ebbekenterung	12
Abb. 5:	Schwebstofffahne im Ausbauzustand kurz nach Ebbekenterung	12
Abb. 6:	Schwebstofffahne im Referenzzustand bei Flut	13
Abb. 7:	Schwebstofffahne im Ausbauzustand bei Flut	13
Abb. 8:	Schwebstofffahne im Referenzzustand gegen Ende der Flut (Thw)	14
Abb. 9:	Schwebstofffahne im Ausbauzustand gegen Ende der Flut (Thw)	14
Abb. 10:	Schwebstofffahne im Referenzzustand bei Ebbe (ca. 1,5 h nach Thw)	15
Abb. 11:	Schwebstofffahne im Ausbauzustand bei Ebbe (ca. 1,5 h nach Thw)	15
Abb. 12:	Schwebstofffahne im Referenzzustand bei Ebbe (ca. 2 h vor Tnw)	16
Abb. 13:	Schwebstofffahne im Ausbauzustand bei Ebbe (ca. 2 h vor Tnw)	16
Abb. 14:	Sedimentation des Spülguts im Referenzzustand	17
Abb. 15:	Sedimentation des Spülguts im Ausbauzustand	17



1 Veranlassung und Aufgabenstellung

Der bauliche Zustand der Großen Schleusen in Brunsbüttel (Baujahr 1910-1914) macht eine Grundinstandsetzung erforderlich. Um unter Beachtung der hohen Auslastung der Schleusenanlagen die erforderliche Schleusenkapazität während der Grundinstandsetzung der Großen Schleusen sicherzustellen, wird der Neubau einer zusätzlichen Schleusenkammer zwischen den vorhandenen Großen und Kleinen Schleusen angestrebt (Erlass WS 12/52.06.1-NOK 00 vom 20.03.2007 des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung).

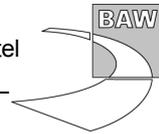
Im Zuge dieser Baumaßnahme und der daraus resultierenden Neugestaltung der Schleuseninsel wird eine Verlegung der dort liegenden Spülrohrleitung erforderlich. Über sie wird jährlich eine Menge von ca. 2 Mio. m³ Nassbaggergut vom Binnenhafen in die Elbe gepumpt.

Das Wasser- und Schifffahrtsamt Brunsbüttel beauftragte deshalb die BAW, Dst. Hamburg, mit Schreiben vom 06.12.2007, die Auswirkungen einer Verlegung der Spülrohrleitung unter den vorgegebenen Randbedingungen mit Hilfe wasserbaulicher Systemuntersuchungen zu ermitteln.

Zur Beantwortung dieser Frage wurden Simulationen in einem 3D-HN-Modell mit fester Sohle durchgeführt, bei denen an der heutigen bzw. der geplanten Einleitposition eine Sedimentsuspension zur Simulation des Baggerguts eingeleitet wurde. Folgende Varianten waren zu betrachten:

- Referenzzustand mit dem heutigen Zustand des Schleusenvorhafens und mit Spülguteinleitung an der heutigen Stelle zwischen Mole 2 und 3
- Ausbauzustand nach dem Bau der fünften Schleusenkammer mit der Vorhafenvariante „Lange Mole 2“ und der Spülguteinleitung nahe der 3. Buhne östlich der Mole 1

Als eine weitere Variante konnte die Einleitposition westlich der Vorhäfen (bei Mole 4) auf Grund der erarbeiteten Erkenntnisse ohne weitere Simulationen beurteilt werden.



2 Arbeitsunterlagen und Daten

a) Systemgeometrie der NOK-Schleusen Brunsbüttel

Die Abbildung der Systemgeometrie der NOK-Schleusen Brunsbüttel im Ist-Zustand in das o. g. numerische Elbe-Modell erfolgte nach den Vorgaben der Projektgruppe NOK-Schleusen des WSA Brunsbüttel. Die Vorgaben basierten auf aktuellen Peil-, Vermessungs- und Baubestandsplänen.

Bezeichnung	Ort	Quelle	Stand
Schiffsschleusenanlage Brunsbüttel: Lageplan mit Koordinaten	Elbe-Strom-km 695 bis 699	WSA Brunsbüttel	2007
NOK Vorhäfen außen: Baggerpeilung km -0,09 bis km 1,69, Plan-Nr. B7	Brunsbüttel	WSA Tönning	03.07.2007
NOK Vorhäfen außen: Baggerpeilung km -0,35 bis km 1,69, Plan-Nr. B11	Brunsbüttel	WSA Tönning	13.11.2007

b) Ausbauvariante

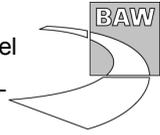
Die untersuchte Ausbauvariante wurde auf der Grundlage der folgenden Zeichnung erstellt:

- Schiffsschleusenanlage Brunsbüttel, Lange Mole 2, Lageplan mit 5. Schleusenkammer, WSA Brunsbüttel, 20.12.2007

3 Bearbeitungskonzept

Zu ermitteln war die Ausbreitung des eingeleiteten Baggerguts und dessen Sedimentation vor und nach der Umlegung der Spülrohrleitung. Dazu war ein HN-Modell zu erstellen, mit dem die Strömungsbedingungen im Schleusenvorhafen und im Brunsbütteler Bereich der Elbe naturähnlich und detailliert abgebildet und die Ausbreitung des Spülguts simuliert werden konnte (Modell mit fester Sohle ohne Nachbildung des natürlichen Sedimenttransports).

Zur Simulation des Baggerguts wurde an der Einleitstelle eine Quelle vorgesehen, wo das Spülgut als Suspension (drei Fraktionen) eingeleitet wurde. Die Ausbreitung des Spülguts wurde als Suspension (Schwebstoffwolke in der Elbe) verfolgt und schließlich die daraus resultierende Deposition analysiert und bewertet.



Bei der Modellierung wurde die Vorgabe des WSA Brunsbüttel berücksichtigt, dass das Spülgut zwar bisher vorzugsweise bei ablaufendem Wasser eingeleitet wird, diese Einschränkung aber auf Grund des Schleusenbetriebs nicht immer eingehalten werden kann.

Gleichzeitig mit der Verlegung der Spülrohrleitung war der Bau der fünften Schleusenkammer und die Erweiterung des Schleusenvorhafens zu berücksichtigen. Gemäß dem aktuellen Planungsstand wurde die Variante „Lange Mole 2“ zu Grunde gelegt.

Es wurde davon ausgegangen, dass die binnenseitigen Sedimentmengen, die durch Schleusungsvorgänge vom Außenvorhafen nach binnen gelangen und dort durch Baggerungen beseitigt werden müssen, durch Zunahme der Schleusungsvorgänge und der Schleusenabmessungen nur geringfügig ansteigen werden (vgl. BAW, 2008b). Daher wurde im Referenz- und Ausbauzustand von der gleichen Spülgutmenge ausgegangen.

4 Modellbeschreibung

Ein dem Bearbeitungskonzept entsprechendes Modell lag bei der BAW-DH bereits aus den Untersuchungen zur Vorhafengestaltung vor (BAW 2008b) und musste lediglich um die Quellen zur Simulation der Spülguteinleitung ergänzt werden.

Als Modellverfahren wurde das dreidimensionale HN-Verfahren UNTRIM-3D verwendet. UNTRIM-3D ist ein Finite-Volumen-Verfahren für unstrukturierte Gitter zur Simulation stationärer und instationärer Strömungs- und Transportprozesse in Gewässern mit freier Wasseroberfläche. Eine detaillierte Beschreibung des Verfahrens wird auf den Internet-Seiten der BAW gegeben (<http://www.baw.de/vip/abteilungen/wbk/Methoden/hnm/hnm-de.html>).

Modelliert wurde die Hydrodynamik einschl. Salz- und Sedimenttransport. Dabei wurde die Baggergutausbreitung für sich allein, also ohne den Hintergrund des natürlichen Sedimenttransports berechnet.

4.1 Modellgebiet und Gitternetz

Wie im BAW-Gutachten zur Erweiterung des Schleusenvorhafens (BAW 2008b) war im Rahmen der Fragestellung die nähere Umgebung des Vorhafens Brunsbüttel zu betrachten. Dabei war die Naturähnlichkeit der Tide- und Strömungsbedingungen in der Elbe vor dem Vorhafen sicherzustellen, da sie für die Füll- und Sekundärströmungen im Vorhafen verantwortlich sind. Dies wurde dadurch gewährleistet, dass das verwendete Modell aus dem kalibrierten Ästuarmodell des gesamten Elbeästuars weiterentwickelt wurde, welches für die

Umweltverträglichkeitsuntersuchungen zur geplanten Fahrrienenanpassung der Elbe verwendet worden war (BAW 2006a und b). Nach der Verfeinerung des Berechnungsgitters im Vorhafenbereich Brunsbüttel konnten sowohl die Elbestromung vor dem Vorhafen, als auch die Strömung im Vorhafen mit der erforderlichen Genauigkeit und Naturähnlichkeit nachgebildet werden.

Die seeseitige Grenze des Modellgebiets (Abb. 1) lag auf der Linie Sahlenburg – Neuwerk – Nigehörn – Bake A – Blauortsand – Wesselburen. Die oberwasserseitige Grenze bildete das Wehr Geesthacht. Das Modellgitter wurde durch ein unregelmäßiges Drei- und Vierecksgitter an die Topographie angepasst. Außerhalb des Vorhafenbereichs wurde das Modellgebiet durch rund 150 000 Gitterzellen aufgelöst (häufigste Kantenlängen 20 m bis 80 m). Im Bereich des Vorhafens (Abb. 2) lagen die Kantenlängen bei 2 m bis maximal 15 m.

Alle Simulationen wurden mit dreidimensionaler Auflösung durchgeführt. Die vertikale Auflösung betrug 0,50 m im Bereich $\text{NN} \pm 3,00 \text{ m}$, darunter 1,00 m.

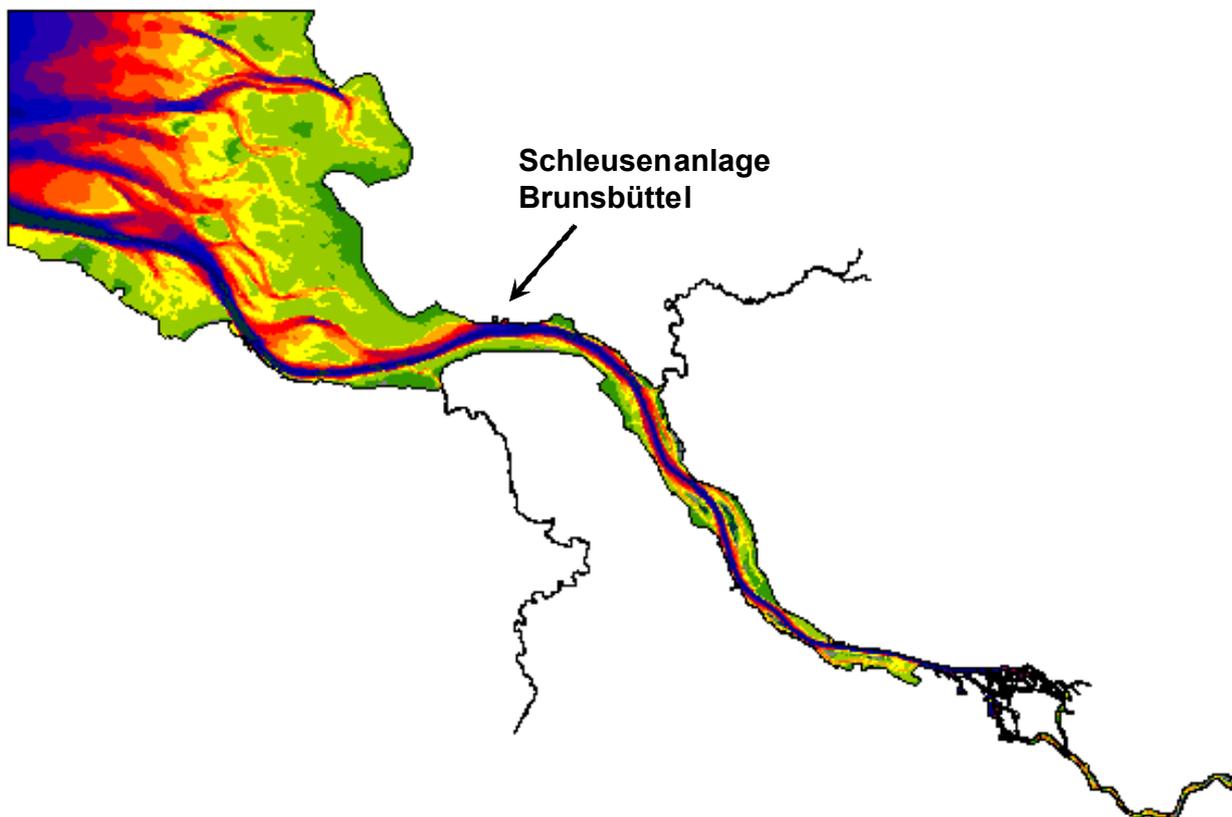


Abb. 1: Übersicht der Gebietsgrenzen des HN-Modells

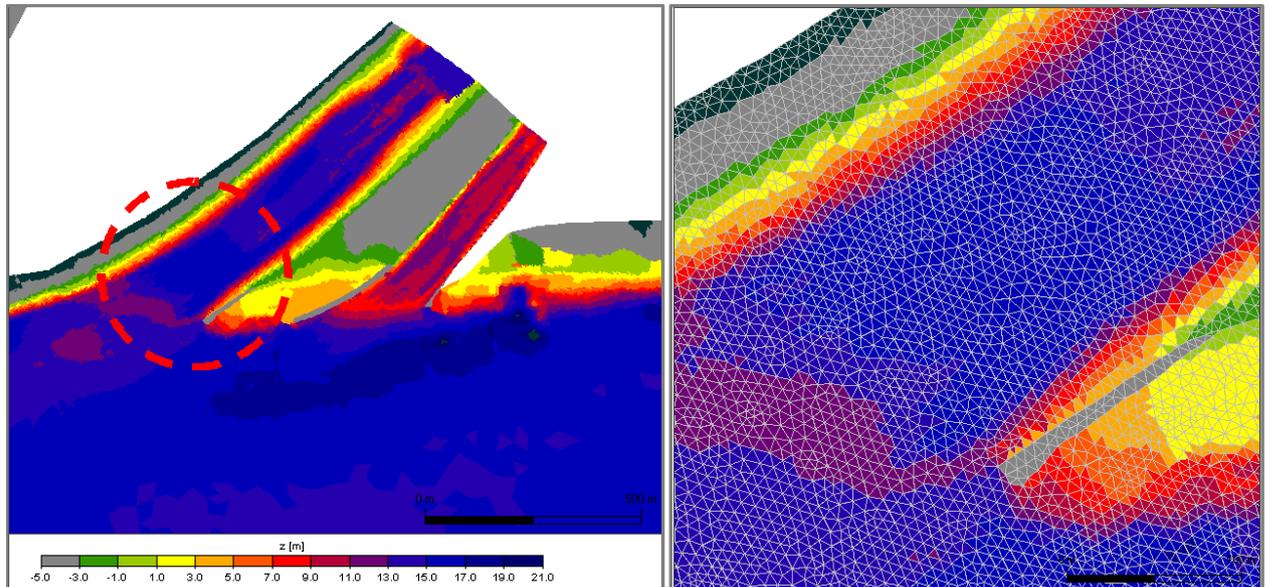


Abb. 2: HN-Modell im Bereich des Vorhafens und Ausschnittvergrößerung mit Berechnungsgitter

4.2 Modelltopographien

Die Modelltopographie berücksichtigt die geplante Fahrrinnenanpassung der Unter- und Außenelbe mit Stand vom Juli 2007. Sie beruht auf den Peilungen des Jahres 2003 und schließt die Fahrrinnenanpassung mit Unterwasserablagerungsflächen, Ufervorspülungen und sonstigen Ausgleichsmaßnahmen (Stand Juli 2007) ein. Die Geometrie und Bathymetrie des Neuen und Alten Vorhafens (heutiger Zustand) wurde gem. Abschn. 2a) erstellt. Dieser „planerische Ist-Zustand“ (PIZ) ist der Referenzzustand des vorliegenden Gutachtens.

Auf dieser Basis wurde der Ausbauzustand gem. Abschn. 20 erzeugt (Variante „Lange Mole 2“ (Abb. 3):

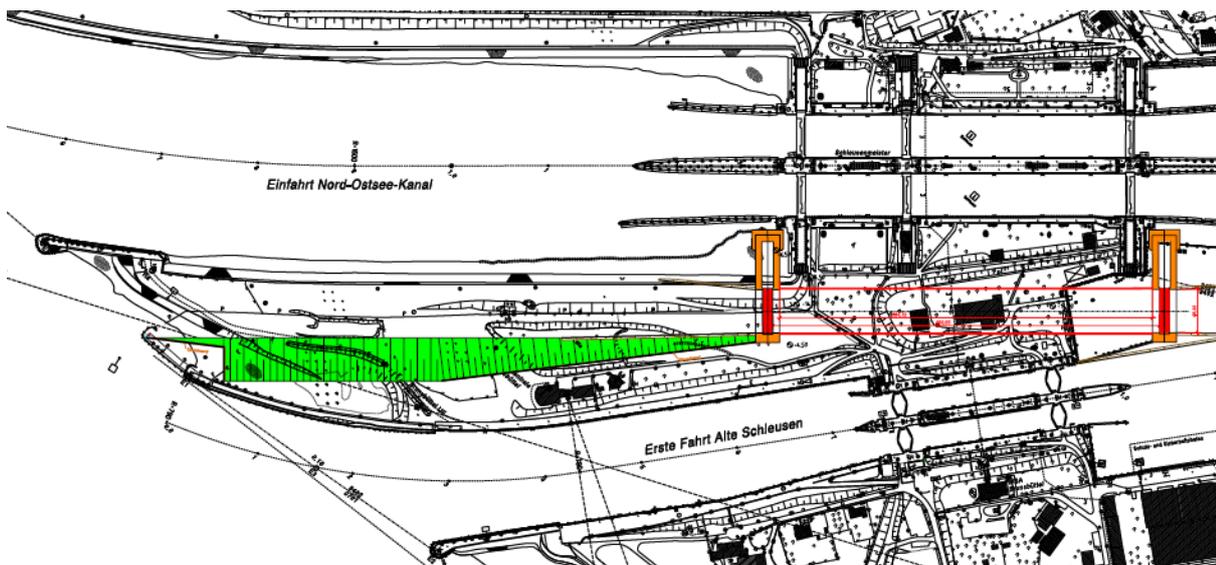


Abb. 3: Ausbauvariante „Lange Mole 2“

4.3 Modellsteuerung

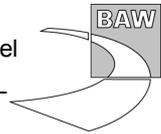
Für Modellsimulationen wurden Randwerte aus dem Mai 2002 genutzt, weil auf Grund der damaligen umfangreichen Messkampagne der BAW und der beteiligten Wasser- und Schifffahrtsämter für die Steuerung und die Validierung hochwertige, homogene Datensätze zur Verfügung stehen.

Bei der Modellierung des Schleusenvorhafens Brunsbüttel wurde das Modell am offenen Nordseerand durch die gemessenen Wasserstandszeitreihen gesteuert. Die Salzkonzentration am seeseitigen Rand wurde konstant mit 30 PSU angenommen.

Am oberstromigen Rand (Geesthacht) wurde der häufigste Oberwasserzufluss der Elbe eingesteuert. Er beträgt $350 \text{ m}^3/\text{s}$.

4.4 Modellkalibrierung und -validierung

Die Kalibrierung und Validierung des Ästuarmodells der Elbe (Ursprungsmodell) im Hinblick auf die Wasserstände, Strömungsgeschwindigkeiten, Salzgehalte und den Sedimenttransport wurde in den BAW-Gutachten zur Fahrrinnenanpassung der Elbe (BAW 2006 a und b) ausführlich beschrieben.



Die Verfeinerung des Berechnungsgitters gegenüber dem Ursprungsmodell machte eine Verkürzung des Berechnungszeitschritts und Überprüfung der Modellkalibrierung erforderlich. Dabei wurde sichergestellt

- dass die Wasserstände bei Brunsbüttel naturähnlich berechnet wurden, und
- dass das Tidevolumen oberhalb von Brunsbüttel und die Strömungen in der Elbe vor dem Vorhafen naturähnlich wiedergegeben wurden.

4.5 Spülguteinleitung

Durch die Spülleitung werden pro Jahr rund 2 Mio. m³ Nassbaggertgut vom Binnenhafen in die Elbe gepumpt. Der Auslass befindet sich bisher am südlichen Ende der Schleuseninsel zwischen Mole 2 und 3.

Als zukünftige Einleitungsstelle ist unter Berücksichtigung des geplanten Lotsenversetzbootanlegers eine Position nahe der 3. Buhne östlich der Mole 1 vorgesehen.

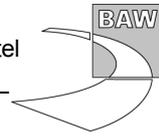
Daher wurden die folgenden beiden Zustände simuliert:

- Referenzzustand mit dem heutigen Zustand des Schleusenvorhafens und mit Spülguteinleitung an der heutigen Stelle zwischen Mole 2 und 3
- Ausbauzustand mit der Variante „Lange Mole 2“ und der Spülguteinleitung nahe der 3. Buhne östlich der Mole 1

Bisher fanden die Einleitungen an fünf Tagen pro Woche vorzugsweise bei Ebbeströmung statt. Die Einschränkung auf die Ebbephase wird jedoch zukünftig wegen des Schleusenbetriebs entfallen. Daher wurde das Baggertgut im Modell kontinuierlich eingeleitet.

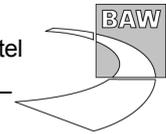
Nach Auswertungen des WSA Brunsbüttel für die Jahre 2006 bis 2007 werden im Mittel der tatsächlichen Spüldauer etwa 1,0 m³/s Baggertgut mit einer mittleren Dichte von 1,15 t/m³ eingeleitet. Dies ergibt eine mittlere Trockenmasse von 100 kg/s. Da nicht ständig gespült wird (bisher vorzugsweise bei Ebbe, nicht an Wochenenden), ist die Einleitungsmenge im Mittel der Gesamtzeit erheblich geringer: Nach den o. g. Auswertungen des WSA Brunsbüttel wurde im Jahresmittel nur zu etwa 6% Spülbetrieb durchgeführt. Im Modell wurde dennoch eine Trockenmasse von konstant 100 kg/s eingeleitet, um die möglichen Schwebstoffkonzentrationen nicht unterzubewerten, sondern zur sicheren Seite hin abzuschätzen. Die tatsächlichen einleitungsbedingten Schwebstoffkonzentrationen werden also im Mittel erheblich geringer sein und die im gleichen Zeitraum tatsächlich zu erwartenden Sedimentationsmengen werden stark überschätzt.

Für die Zusammensetzung des Baggertguts lagen aus Untersuchungen der BAW-DH zahlreiche Kornverteilungskurven vor. In der Simulation wurde das Baggertgut in Anlehnung an diese Daten durch folgende drei Sedimentfraktionen angenähert:



- 25% Ton ($d_m = 0,0015 \text{ mm}$)
- 45% Schluff ($d_m = 0,0235 \text{ mm}$)
- 30% Feinsand ($d_m = 0,1875 \text{ mm}$)

Die im Modell simulierte Baggermenge von 100 kg/s Trockenmasse wurde in der Ausbauvariante („Lange Mole 2“ mit Spülguteinleitung östlich der Mole 1) nicht verändert. Nach den Ermittlungen des WSA Brunsbüttel wird die Anzahl der Schleusungsvorgänge nach dem Ausbau nicht wesentlich steigen und die veränderte Situation des vergrößerten Neuen Vorhafens wird keine signifikanten Auswirkungen auf die Baggermengen binnenseits der Schleusen haben (BAW 2008b).



5 Untersuchungsergebnisse

5.1 Vorbemerkung

Im Folgenden werden die Simulationsergebnisse anhand der berechneten Schwebstoffkonzentrationen (Schwebstofffahnen) und der akkumulierten Sedimentationen ausgewertet (Isofarbflächengrafiken). Um den Vergleich der Situationen a) Referenzzustand / heutige Auslassposition und b) Ausbauzustand / neue Position zu erleichtern, werden die Ergebnisse zu a) jeweils oben und zu b) jeweils unten auf den folgenden Seiten dargestellt (S. 12 - 17). Da die Effekte der Spülguteinleitung allein, d. h. ohne den natürlichen Sedimenttransport modelliert wurden, enthalten die Darstellungen nur den einleitungsbedingten Anstieg der Schwebstoffgehalte bzw. der Sedimentation.

Um die Einleitungseffekte und die Unterschiede der Varianten verdeutlichen zu können, wurden sehr hohe Auflösungen gewählt:

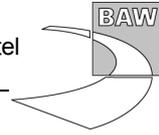
- Beim Schwebstoffgehalt reicht die Skala bis $0,16 \text{ kg/m}^3$ (= g/l); eine Farbstufe bedeutet $0,005 \text{ g/l} = 0,5 \text{ mg/l}$. Dagegen liegt der natürliche Schwebstoffgehalt der Elbe bei Brunsbüttel in der Größenordnung $100 - 500 \text{ mg/l}$.
- Die Sedimentationsskala löst Veränderungen von 1 mm bis $1,5 \text{ cm}$ auf.

5.2 Spülgutausbreitung nach Verlegung der Einleitstelle im Vergleich zur heutigen Position (tideunabhängige Einleitung)

Für verschiedene Tidephasen wird jeweils zunächst als Vergleichsmaßstab die heutige Position der Spülrohrleitung in Verbindung mit dem Ist-Zustand der Schleusenvorhöfen beschrieben und anschließend die zukünftige Situation betrachtet (jeweils kontinuierliche Einleitung von 100 kg/s Trockenmasse).

Abb. 4 auf Seite 12 oben zeigt für den Referenzzustand eine Situation kurz nach Ebbekenterung. Der Flutstrom beginnt, die nach der vorhergehenden Tide stromabwärts ausgerichtete Schwebstofffahne nach stromaufwärts zu verlagern, wobei sich ihre Ausläufer weit zur Flussmitte hin erstrecken. Sowohl im Neuen Vorhafen wie auch im Alten Vorhafen ist ein geringer Anstieg der Schwebstoffgehalte zu erkennen.

- Nach Verlegung der Rohrleitung (Abb. 5) befindet sich die Einleitungsstelle in rd. 500 m bzw. 1000 m Entfernung zu den Vorhöfen. Die einleitungsbedingten Schwebstoffgehalte in den Vorhöfen sind in dieser Tidephase geringer.



Bei ausgeprägter Flutströmung (Abb. 6) liegt die Schwebstofffahne dicht am Ufer an. Ihr Kernbereich (wenn man diesen Begriff für Schwebstoffgehalte ab etwa $0,1 \text{ kg/m}^3$ verwendet) liegt vor dem Alten Vorhafen und erstreckt sich über rd. 1000 m stromaufwärts, danach tritt infolge der turbulenten Durchmischung eine deutliche Verdünnung ein. An der Kaje des Elbehafens kommen mit rd. $0,03 \text{ kg/m}^3$ maximal $1/3$ des natürlichen Schwebstoffgehalts hinzu, wenn die Spülleitung in Betrieb ist.

- Mit der Verlegung der Rohrleitung (Abb. 7) entfällt die Schwebstoffbelastung im Bereich des Alten Vorhafens. Die Einleitung befindet an einer Stelle mit guter Durchströmung. So ist die Schwebstoffkonzentration östlich der neuen Einleitungsstelle nicht höher als im Referenzzustand (Abb. 6).

Gegen Ende der Flutphase (Tidehochwasser, Abb. 8) konzentriert sich die Schwebstofffahne auf die Einfahrt des Alten Vorhafens; die Schwebstoffgehalte steigen hier stark an. Wenn also bei der heutigen Auslassposition auch bei Flut eingeleitet würde, dann gelänge ein Teil des Baggerguts in den Alten Vorhafen.

- Auch nach der Verlegung (Abb. 9) liegt der Kernbereich der Schwebstofffahne in dieser Tidephase dicht am Ufer (Länge etwa 250 m), betrifft aber wegen der östlicheren Lage nicht mehr den Alten Vorhafen. Am Elbehafen beträgt der Anstieg der Schwebstoffgehalte etwa $0,02 \text{ kg/m}^3$.

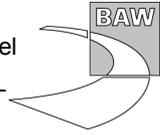
Auch zu Beginn der Ebbephase (Abb. 10) ist die Schwebstofffahne sehr kompakt und erhöht deutlich den Schwebstoffgehalt in der Einfahrt des Neuen Vorhafens.

- Nach Verlegung der Rohrleitung (Abb. 11) ist diese Tidephase die ungünstigste Situation, weil mit der beginnenden Ebbe hohe Schwebstoffkonzentrationen unmittelbar vor die Schleusenvorhäfen transportiert werden. Die Strömung transportiert diese Zone jedoch an den Einfahrten vorbei und es gelangt nur sehr wenig Baggergut in die Vorhäfen hinein.

Später, bei voll entwickelter Ebbströmung (Abb. 12), wird die Schwebstofffahne in die Länge gezogen, d. h. verdünnt. Ihr Kernbereich liegt zwar dicht vor dem Neuen Vorhafen, aber die Schwebstoffgehalte in den Vorhäfen sind in geringerem Maße erhöht als zu Beginn der Ebbe.

- Durch den Abstand zu den Vorhäfen und durch die west-südwestliche Ausbreitungsrichtung der Schwebstofffahne nach der Spülrohrverlegung (Abb. 13) sind die Schleusenvorhäfen und die Brunsbütteler Braake (Sportboothafen, Siel) deutlich weniger von der Einleitung betroffen.

Zusätzlich zu den Schwebstoffgehalten wurde die Sedimentation des Spülguts ausgewertet, die nach der Simulation von 8 Tagen ununterbrochener Spülguteinleitung berechnet wurde.



Für den Referenzzustand wurden bis zu einer Entfernung von etwa 1000 m beiderseits der Einleitstelle Sedimentationen zwischen 1 mm und 1,5 cm ermittelt (Abb. 14). Die Sedimentationen in den Vorhäfen liegen im Bereich einiger Millimeter, im näheren Umkreis der Einleitung (Einfahrt Neuer Vorhafen bis Mole 1) im Zentimeter-Bereich. In unmittelbarer Nähe der Einleitstelle (Größenordnung 50 m bis 100 m) sind die Sedimentationen erheblich höher. Da sie aber vom Impuls des Spülstroms und der genauen Position des Auslaufs abhängen, sind sie im Modell nicht naturähnlich nachzubilden; hier muss die praktische Erfahrung Anhaltswerte liefern.

- Nach der Spülrohrverlegung (Abb. 15) sind die Vorhäfen praktisch nicht mehr durch einen Rücktransport des Spülguts betroffen. Die Simulation liefert hier deutlich unter 1 mm Sedimentation. Sedimentationen im Zentimeter-Bereich bleiben auf einen etwa 700 m langen Uferstreifen östlich der Mole 1 beschränkt.

Insgesamt ist die neue Lage der Spülrohrleitung also deutlich günstiger für die Schleusenvorhäfen als die bisherige Position; dies gilt besonders dann, wenn nicht mehr tideabhängig eingeleitet werden soll.

5.3 Andere Position der Spülrohrleitung

Neben einer Verlegung der Spülrohrleitung östlich der Schleusenvorhäfen ist auch eine Verlegung nach Westen (Einleitung bei Mole 4) denkbar. Bei dieser Variante wäre jedoch mit stärkeren Eintreibungen in den Neuen Vorhafen und in die Brunsbütteler Braake zu rechnen. Außerdem wäre gegenüber der untersuchten östlichen Position eine längere Rohrleitung erforderlich. Da von dieser Variante somit keine Vorteile zu erwarten waren, wurde auf eine entsprechende Simulation verzichtet.

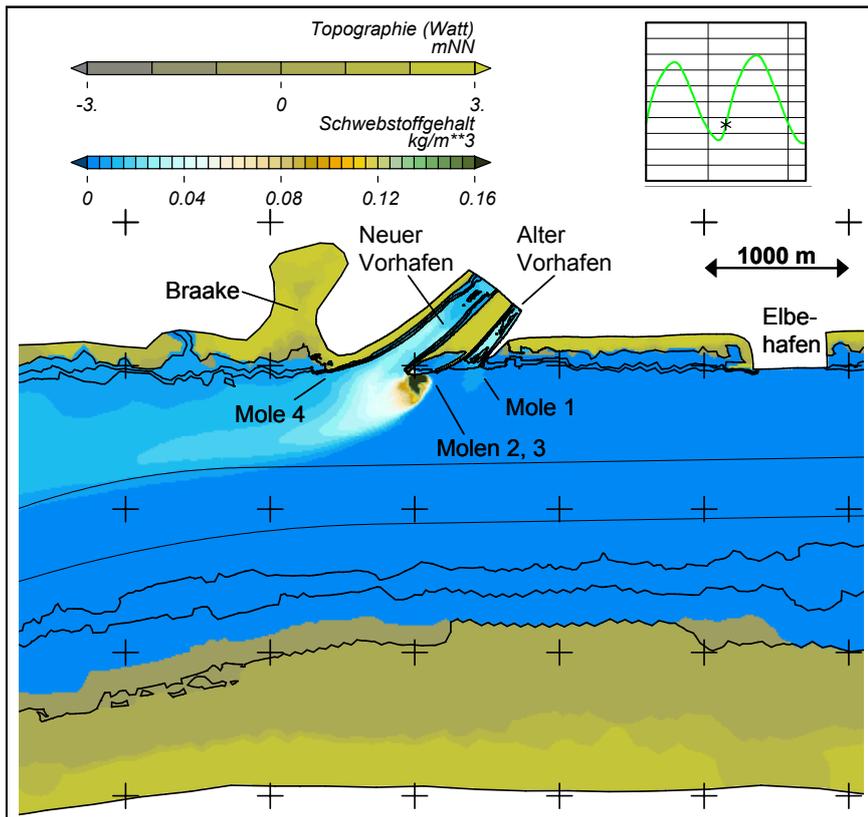


Abb. 4: Schwebstofffahne im Referenzzustand kurz nach Ebbekehrung

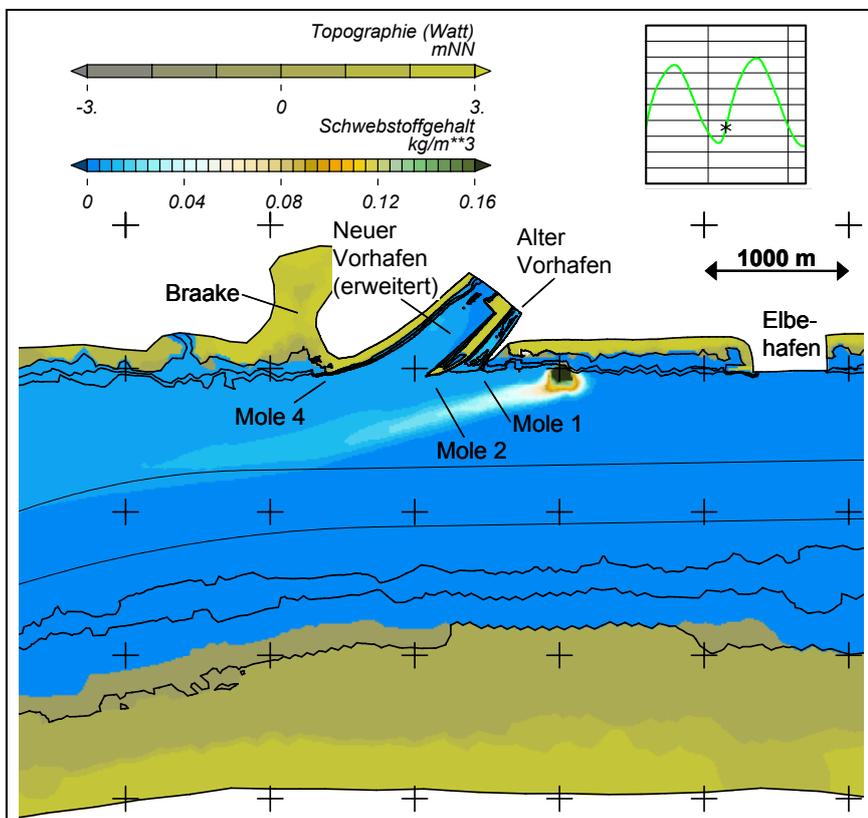


Abb. 5: Schwebstofffahne im Ausbauzustand kurz nach Ebbekehrung

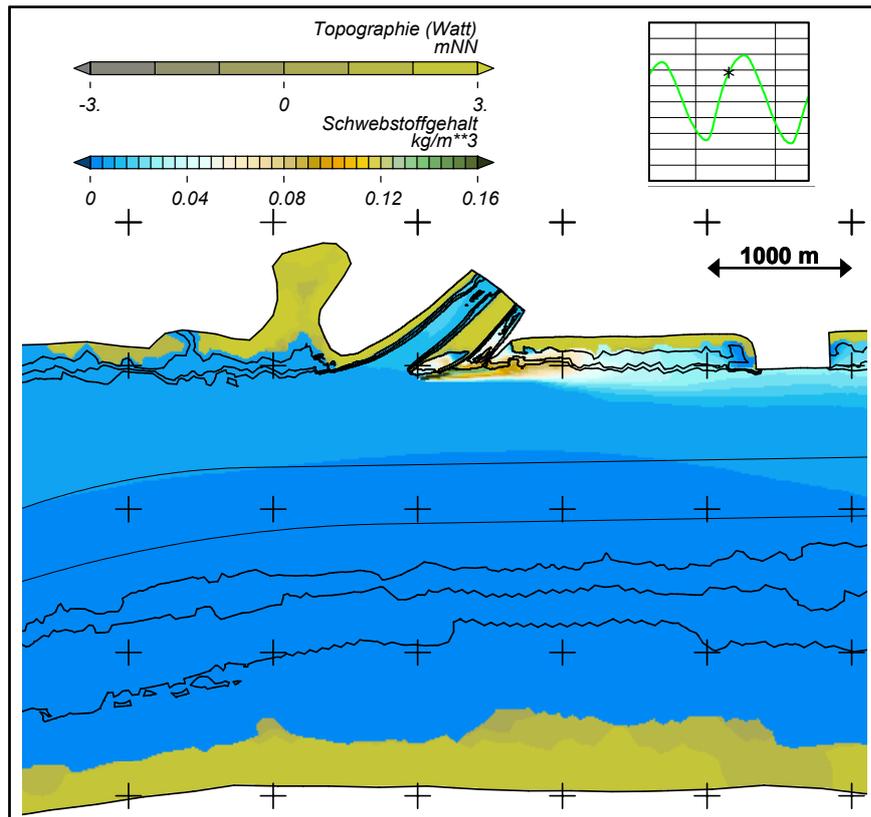


Abb. 6: Schwebstofffahne im Referenzzustand bei Flut

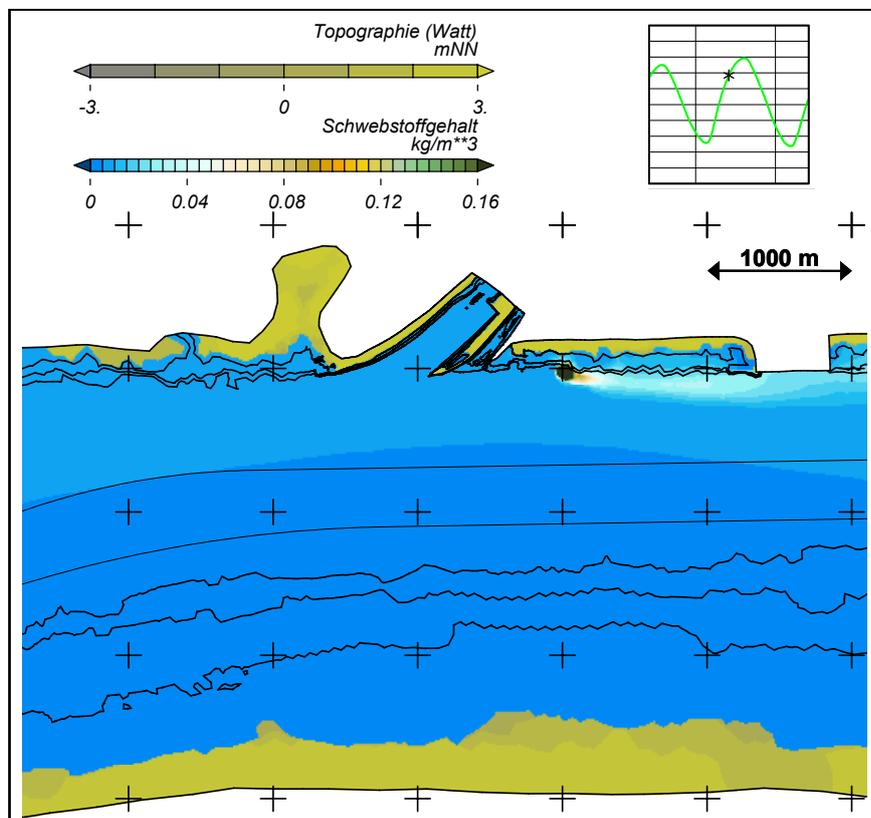


Abb. 7: Schwebstofffahne im Ausbauzustand bei Flut

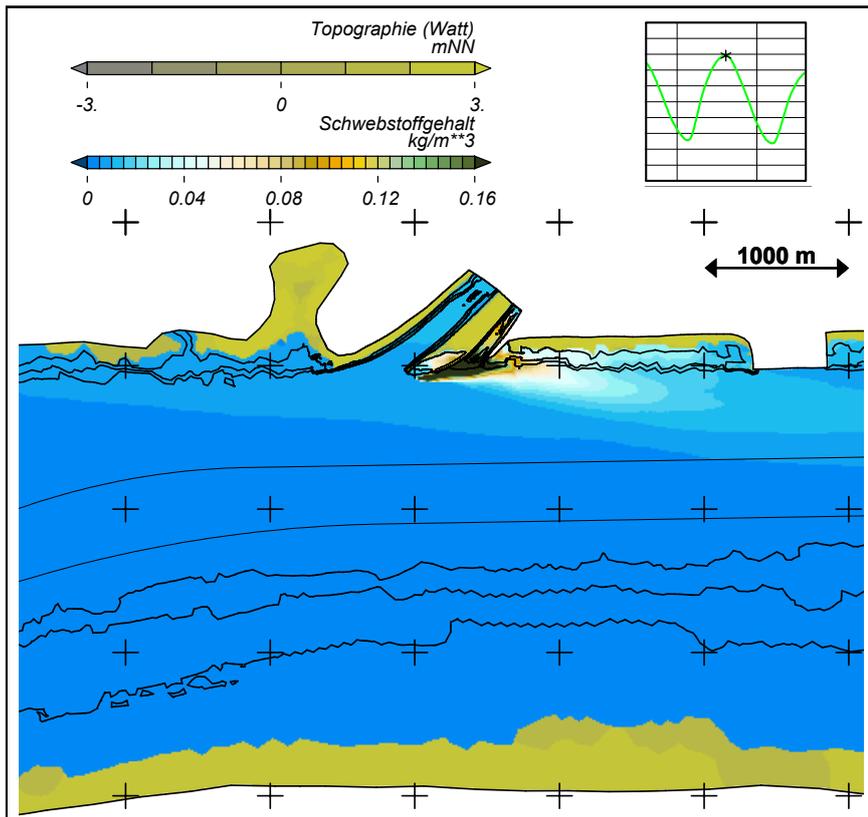


Abb. 8: Schwebstofffahne im Referenzzustand gegen Ende der Flut (Thw)

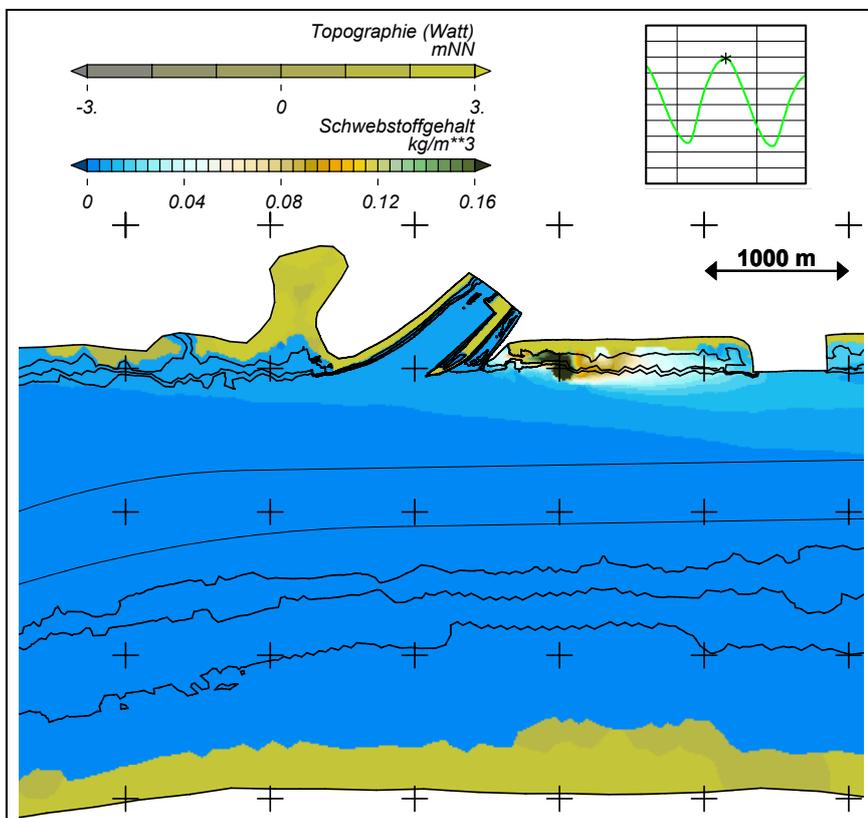


Abb. 9: Schwebstofffahne im Ausbauzustand gegen Ende der Flut (Thw)

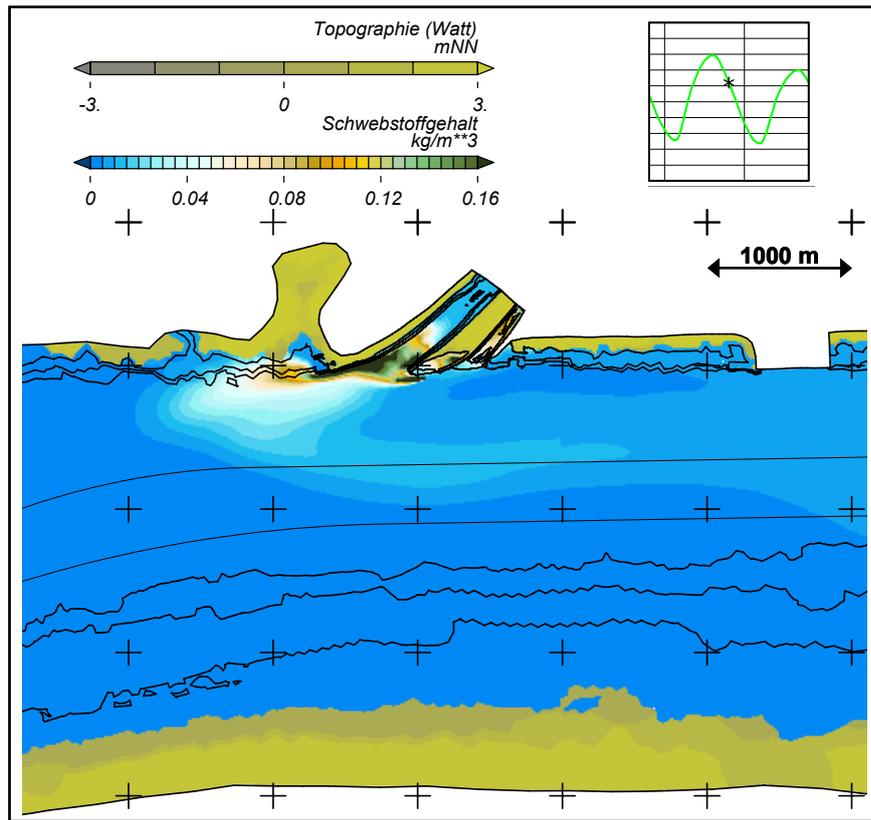


Abb. 10: Schwebstofffahne im Referenzzustand bei Ebbe (ca. 1,5 h nach Thw)

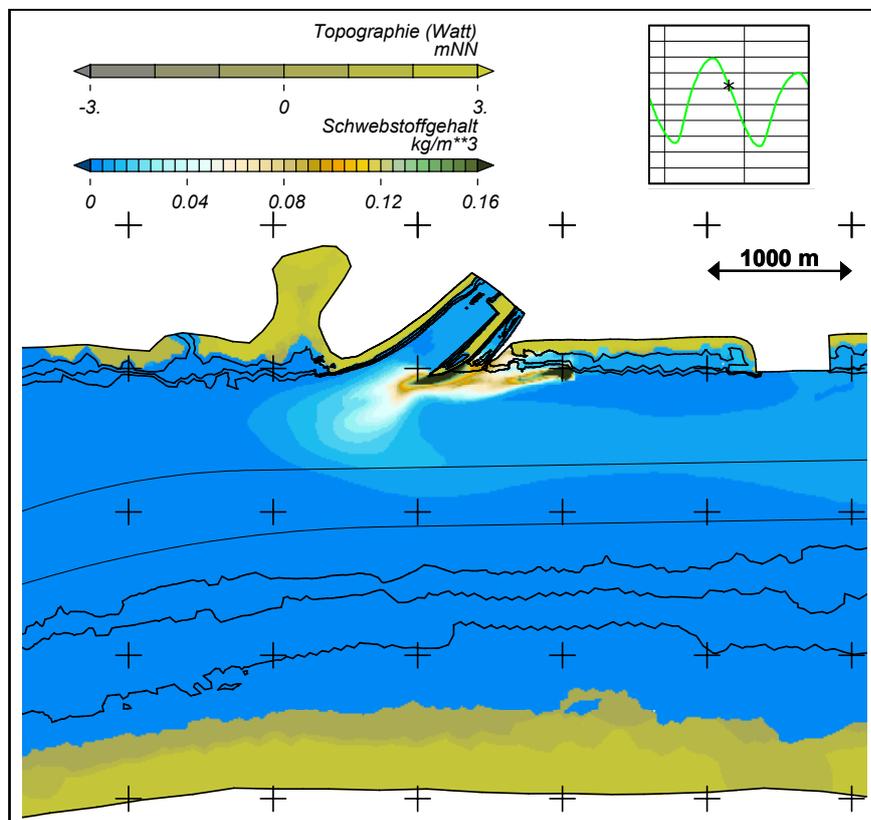


Abb. 11: Schwebstofffahne im Ausbauzustand bei Ebbe (ca. 1,5 h nach Thw)

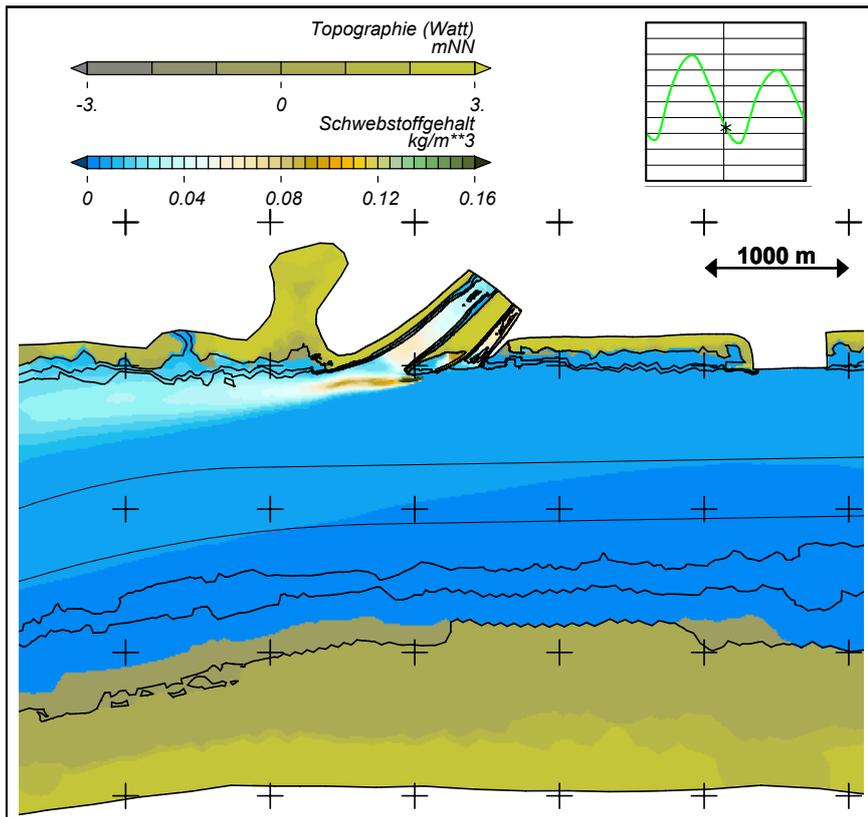


Abb. 12: Schwebstofffahne im Referenzzustand bei Ebbe (ca. 2 h vor Tnw)

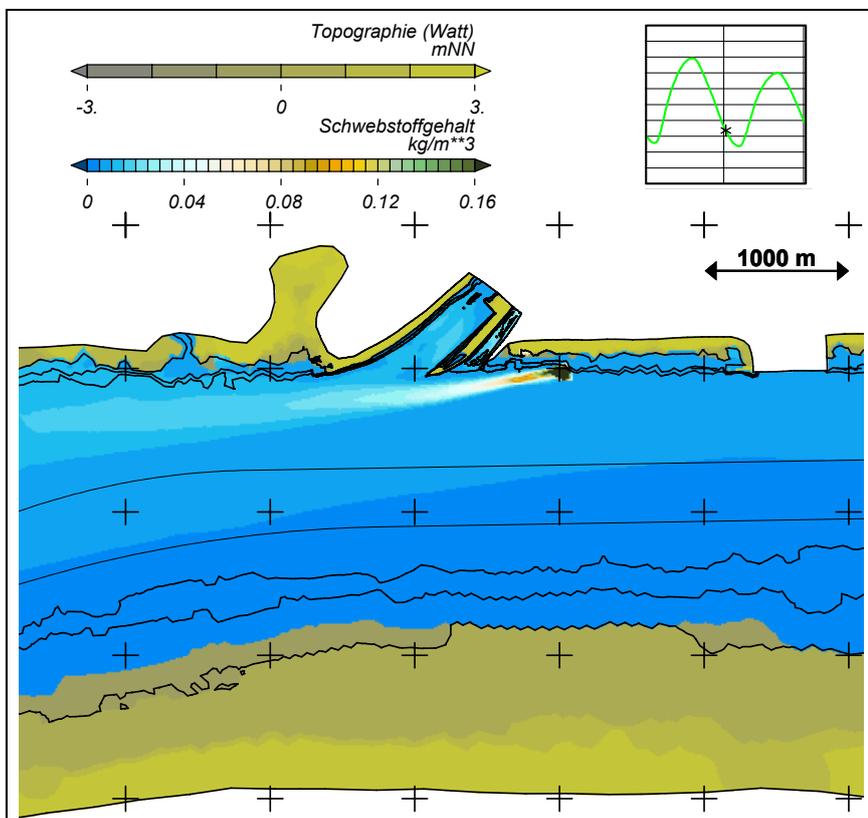


Abb. 13: Schwebstofffahne im Ausbauzustand bei Ebbe (ca. 2 h vor Tnw)

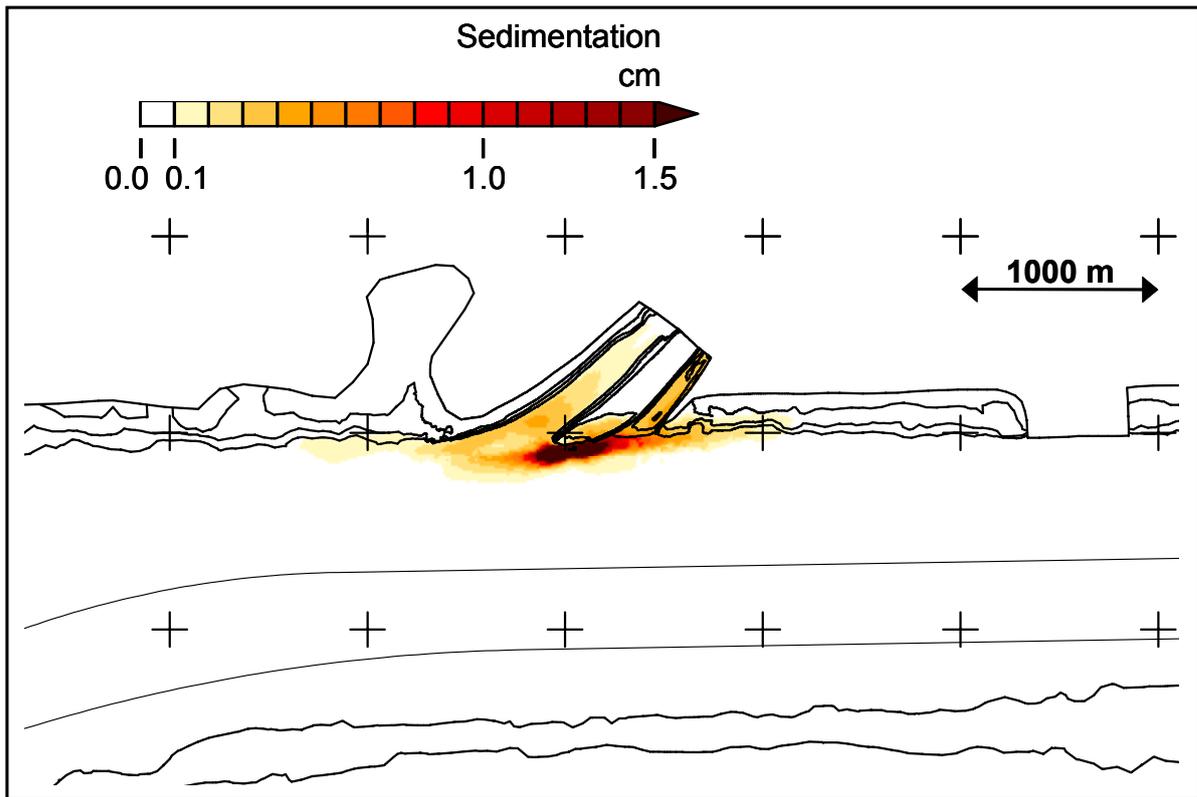


Abb. 14: Sedimentation des Spülguts im Referenzzustand

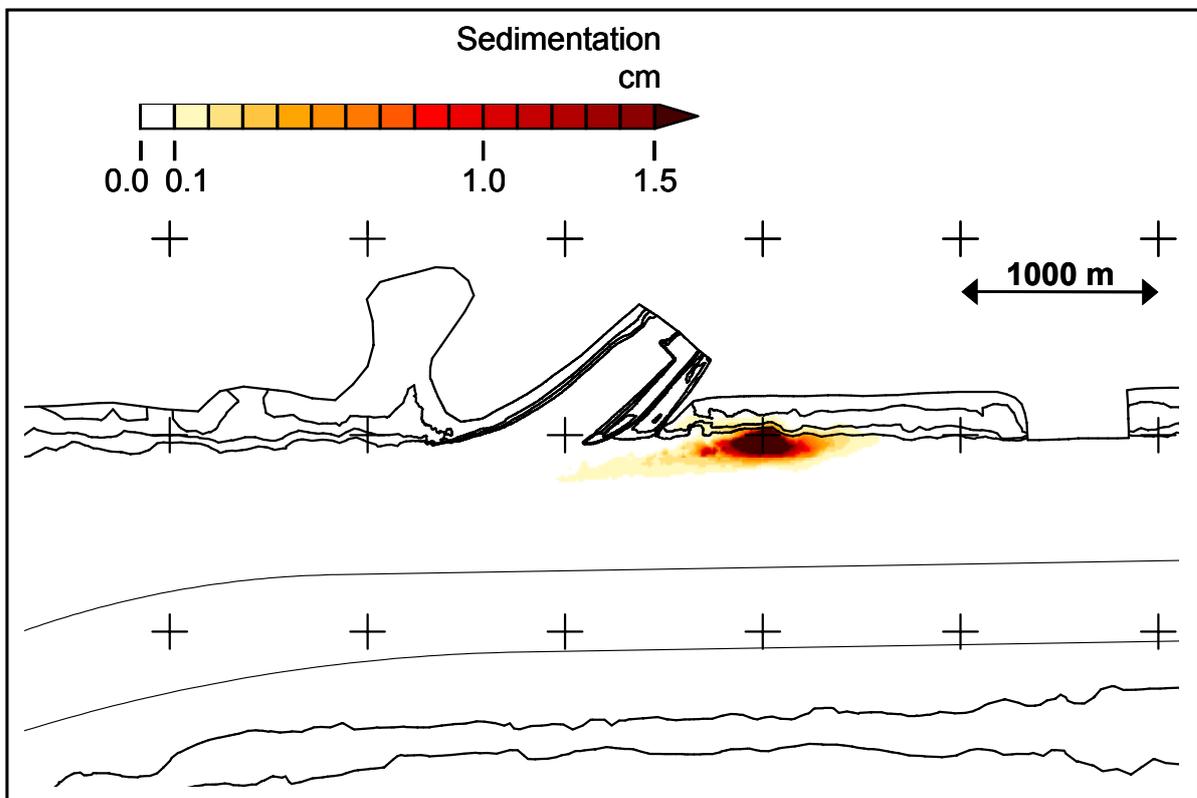
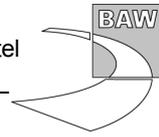


Abb. 15: Sedimentation des Spülguts im Ausbauzustand



6 Zusammenfassung und Bewertung

Für die heutige Lage der Spülrohrleitung und für die geplante Position nach dem Bau der 5. Schleusenkammer wurden die einleitungsbedingten Schwebstoffkonzentrationen und Sedimentationen durch HN-Modellrechnungen ermittelt. Bei der Bewertung der Ergebnisse ist zu berücksichtigen, welchen Anteil das eingeleitete Spülgut am gesamten (natürlichen) Sedimenttransportgeschehen hat:

- Die Elbe weist im Bereich Brunsbüttel eine hohe natürliche Schwebstoffkonzentration auf.
- Auf Grund dieser natürlichen Konzentrationen gelangen ständig Schwebstoffe in die Außenvorhöfen der Schleuse Brunsbüttel.
- Ein Teil dieser Schwebstoffe wird durch Schiffsschleusungen auf die Binnenseite transportiert, dort gebaggert und in die Elbe zurückgepumpt.
- Der Spülbetrieb findet nach den Auswertungen des WSA Brunsbüttel im Durchschnitt nur an etwa 6% des Jahres statt.

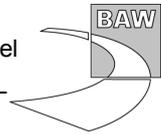
Aus verschiedenen Messungen geht hervor, dass die natürliche Schwebstoffkonzentration im Bereich Brunsbüttel im Tidemittel in der Größenordnung von 100 bis 500 mg/l liegt (BAW 2006b). Während der Betriebszeiten der Spülrohrleitung wird die natürliche Schwebstoffkonzentration im Bereich der braunen und grünen Isofarbflächen (Abb. 4 bis Abb. 13) etwa verdoppelt. Dies betrifft, je nach Tidephase, eine Ausdehnung von maximal etwa 1000 m · 100 m und ist auch bei der heutigen Einleitungsposition gegeben. Mit der neuen Position wird der betroffene Bereich jedoch um etwa 1000 m nach Osten verlagert.

In den Bereichen mit blauen Farbtönen liegt die Steigerung der natürlichen Schwebstoffkonzentration unter 10% bis maximal 50%. Diese Zone mit einer Ausdehnung von mehreren 1000 m verändert sich durch die Verlegung der Spülrohrleitung nicht wesentlich.

Für die Schleusenvorhöfen ist die neue Einleitungsposition günstiger, weil weniger Spülgut in die Vorhöfen gelangt. Allerdings waren die bisher dort eingetragenen Spülgutmengen nicht so hoch, dass von der Verlegung eine signifikante Verringerung der Baggermengen zu erwarten ist.

Westlich der Kaje des Elbehafens, in einem Abstand von etwa 300 m, wird z. Zt. die Entnahme von Kühlwasser für ein Kraftwerk geplant. Diese Stelle liegt, in Abhängigkeit von der Tidephase, zeitweise im Einflussbereich der Schwebstofffahne. In der ungünstigsten Tidephase (Tidehochwasser, Abb. 9) ist mit einer Erhöhung der Schwebstoffgehalte um rd. 40 mg/l zu rechnen.

Da der Spülbetrieb im Jahresdurchschnitt nur zu 6% der Zeit durchgeführt wird, wurde die Gesamteinleitungsmenge durch die ununterbrochene Einleitung in den Simulationen etwa um den Faktor 16 überhöht. Wegen dieser Überhöhung und weil die Sedimentation in den



letzten Tiden der Simulation nicht mehr wesentlich zunahm, können aus den Simulationsergebnissen folgende Schlussfolgerungen gezogen werden:

Mit nennenswerten einleitungsbedingten Sedimentationen ist in einem schmalen ufernahen Streifen bis zu 1000 m stromauf und stromab von der geplanten Einleitungsstelle zu rechnen (Breite 100 – 300 m). Im äußeren Teil dieser Fläche werden die Sedimentationen im Bereich einiger Millimeter pro Jahr liegen. Bis zu 500 m Entfernung von der Einleitungsstelle ist im genannten Streifen mit einigen Zentimetern einleitungsbedingter Sedimentation zu rechnen. Der betroffene Bereich ist durch seine Lage an der gut durchströmten Krümmungsaußenseite mit relativ großen Wassertiefen gekennzeichnet, so dass die Sedimentationen langfristig nicht zu großen Höhen akkumulieren können; die einleitungsbedingten Sedimentationen werden daher im natürlichen Sedimenttransportgeschehen nicht hervortreten.

Höhere Aufsedimentationen können nur im näheren Umkreis der Einleitungsstelle durch folgende Effekte entstehen:

- In unmittelbarer Nähe des Rohrauslaufs (Größenordnung 50 bis 100 m) können die hohen Sedimentkonzentrationen nicht sofort von der Strömung aufgenommen werden, so dass sich hier Spülgut absetzen, konsolidieren und akkumulieren kann.
- In den ohnehin weit aufgelandeten Bühnenfeldern ist eine Verfestigung der o. g. Sedimentationen möglich, so dass eine Resuspension erschwert wird.

Die letztgenannten Effekte können gemindert werden, wenn die Rohrleitung mindestens bis zur Streichlinie der Bühnenköpfe geführt wird und so in die turbulente Hauptströmung der Elbe reicht. Da die Gewässersohle in diesem Bereich stark abfällt, hat dies auch den Vorteil, dass auf aufwändige Kolkenschutzmaßnahmen verzichtet werden kann.

Beim Elbehafen und seinen Zufahrten ist eine signifikante Beeinträchtigung der Unterhaltung nicht zu erwarten.

Bundesanstalt für Wasserbau – Dienststelle Hamburg
Hamburg, im Dezember 2008

Im Auftrag

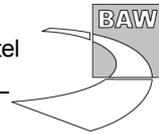
Bearbeiter

gez. Rahlf

gez. Vierfuß

Dipl.-Ing. H. Rahlf

Dr.-Ing. U. Vierfuß



7 Literaturverzeichnis

- BAW Anpassung der Fahrrinne von Unter- und Außenelbe an die Containerschiffahrt: Gutachten zur ausbaubedingten Änderung von Hydrodynamik und Salztransport, BAW-Nr. A3955 03 10062, 2006a
- BAW Anpassung der Fahrrinne von Unter- und Außenelbe an die Containerschiffahrt: Gutachten zur ausbaubedingten Änderung der morphodynamischen Prozesse, BAW-Nr. A3955 03 10062, 2006b
- BAW Strömungsdaten für die nautische Simulation des Verkehrsflächenbedarfs im Neuen Vorhafen der NOK-Schleusen Brunsbüttel: Referenzzustand und Varianten, Bericht, 2008a
- BAW Wasserbauliche Systemanalysen zur Vorhafengestaltung der NOK-Schleusen Brunsbüttel (Vorhafenerweiterung für die 5. Schleusenkammer). Gutachten, 2008b