

GRÅDYB  
FAHRRINNENVERTIEFUNG  
PROJEKTVORSCHLAG  
MAI 2022



Projekttitle	Esbjerg Havn, Grådyb Fahrrinnenvertiefung
Kunde	Esbjerg Havn
Ansprechpartner	Jesper Jørgensen
Projektnummer	22000985
An	Esbjerg Havn
Erstellt von	Helle Brig Otzen
Qualitätsprüfung	Daniel Flytkær Virgilsen
Genehmigt von	Lars Bendixen
Version	2
Version vom	31.06.2022
Erste Herausgabe	18.05.2022

# INHALT

1	EINLEITUNG	4
2	AUSHUBMENGEN	6
3	AUSFÜHRUNGSVERFAHREN UND -ZEIT	9

## ZEICHNUNGEN

Nr.	Thema:	Maßstab	Datum
001	Grädyb, Tiefen (m DVR90) gemäß Multibeam Survey	01:50.000	10.05.2022
002	Grädyb Aushubmengen	01:50.000	29.06.2022

# 1 EINLEITUNG

Esbjerg Havn hat die Firma WSP mit der Ausarbeitung eines Projektvorschlags für die Vertiefung der Fahrrinne Grådyb, in welcher Schiffe zwischen der Nordsee und dem Esbjerg Havn verkehren, beauftragt. Die Grådyb verläuft von Boje 0 bis zum Tauruskaj und hat eine Länge von etwa 21,6 km.

Der Verlauf der Fahrrinne ist im Seekartenausschnitt in Abb. 1. wiedergegeben.



Abb. 1 - Fahrrinne Grådyb, Esbjerg Havn.

Laut Seekarte liegt der Fahrriengrund etwa bei Kote -10,3 m MLWS. Die künftige Mindestsolltiefe soll -12,5 m MLWS betragen, siehe Abb. 2 (allerdings mit Ausnahme der Teilstrecken 1 und 2, auf denen eine Solltiefe von lediglich -11,5 m MLWS vorgesehen ist – diesbezüglich wird auf die Anlage zu 002 betreffend Streckenabschnitte verwiesen).

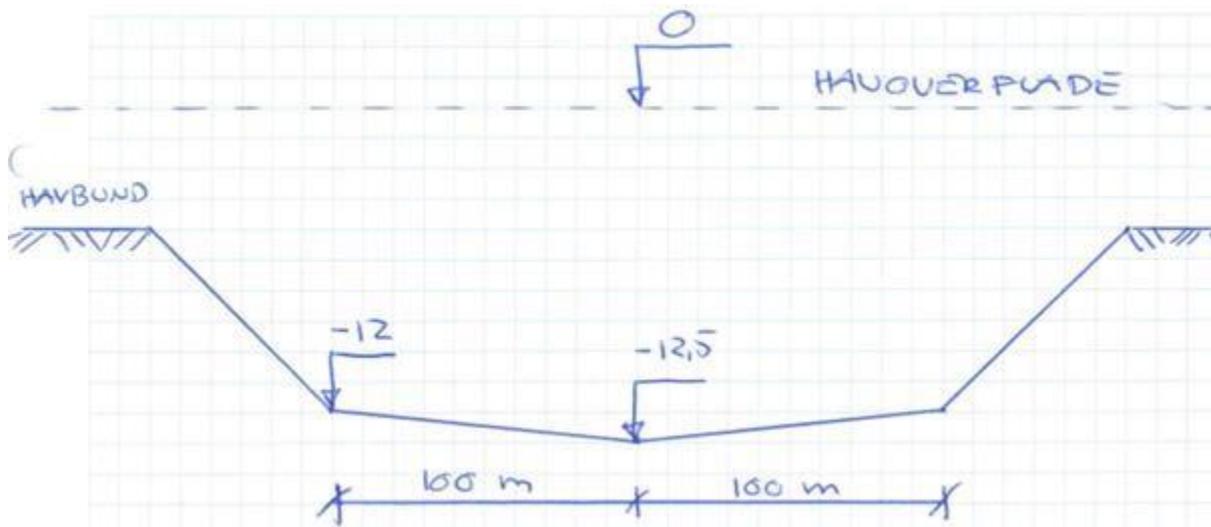
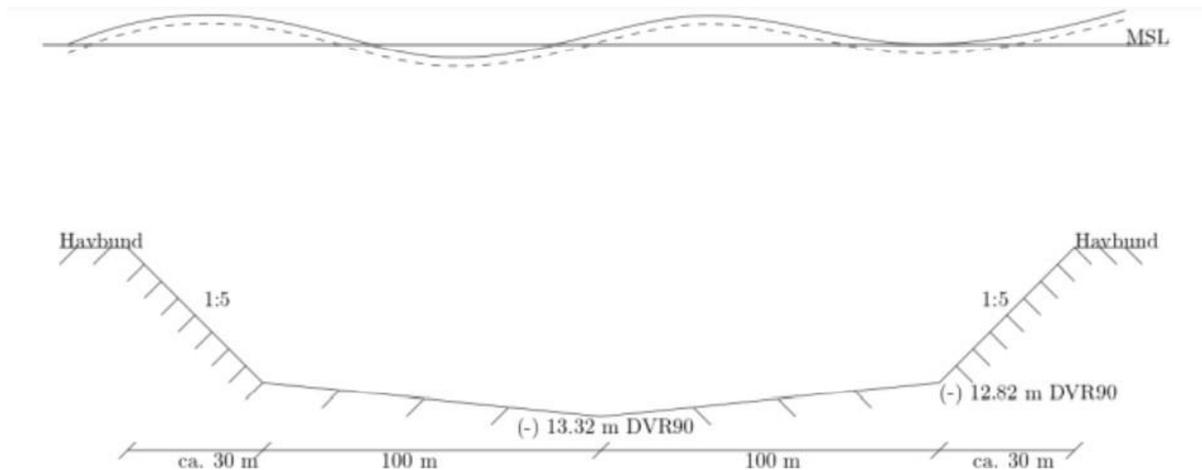


Abb. 2 – Sollprofil der Fahrrinne Grådyb (Koten gemäß MLWS), Esbjerg Havn, 25/11-2021.

Sowohl in der Seekarte als auch dem Vertiefungsprofil und den Karten von Esbjerg Havn sind die Koten in m gemäß MLWS (Mean Low Water Spring) angegeben. In den sonstigen Unterlagen beziehen sich die Angaben in m auf DVR90. Im Esbjerg Havn beträgt das Verhältnis zwischen den Kotensystemen: DVR90 = MLWS + (-0,82 m).

Abb. 3 zeigt das Vertiefungsprofil mit Koten gemäß DVR90.



**Abb. 3 – Sollprofil der Fahrrinne Grådyb (Koten gemäß MLWS). MSL gibt die schematische Position bei mittlerem Wasserpegel an, welcher der Kote 0 m DVR90 entspricht.**

Dieser Projektvorschlag beschreibt in aller Wesentlichkeit das Ausführungsverfahren und den Zeitplan für die Projektumsetzung sowie die veranschlagten Aushubmengen. Voraussetzung für den Projektvorschlag ist das Vorliegen aller Zulassungen (Umweltverträglichkeitsprüfung, Baggergutverwertung etc.).

Der Projektvorschlag beruht auf folgender Datengrundlage:

- Grådyb Vertiefungsprofil, *Esbjerg Havn*, 25/11-2021
- Elektronische Peilpläne, XYZ-Dateien, *Esbjerg Havn/Kystdirektoratet*, 07/03-2017
- Seekarte 95, *dänisches Ministerium für Energie, Versorgung und Klima [Energi-, forsynings- og klimaministeriet]*, Oktober 2015
- Plan mit Übersicht über Hafen und Fahrinne (DWG), Esbjerg Havn
- Längsquerschnitt - Vertiefung - Grådyb, Boje 0-10 (DWG und PDF), Esbjerg Havn, 01/12-2021
- Auszug aus der Umweltverträglichkeitsprüfung 1993
- Wesentlichkeitsbewertung der Vertiefung am Esbjerg Havn, Grådyb-Vertiefung, *Niras*, 27/01-2022

Peildaten aus dem Jahr 2017 dienen als Grundlage für die Berechnungen der Aushubmengen.

Peildaten/hydrographische Vermessungen sind mit einer gewissen Unsicherheit verbunden, da die Fahrinne versandet und laufender Unterhaltung bedarf (zuständig für die Unterhaltungsbaggerei ist das dänische Küstendirektorat, KDI [Kystdirektoratet]). Da eine solche Unterhaltung laufend erfolgt, wird die diesbezügliche Unsicherheit als geringfügig eingeschätzt.

## 2 AUSHUBMENGEN

Das im Rahmen der Vertiefung anfallende Aushubmenge wurde auf der Grundlage einer am 7.-8. März 2017 durchgeführten Multibeam-Vermessung und die folgende Subtraktion eines CAD-Profiles über die Fahrrinnsolltiefe von den Vermessungsdaten ermittelt. Die Differenz der beiden Profile entspricht dem auszuhebenden Sedimentvolumen. Die Berechnung ist in ArcMap erfolgt, wonach das gesamte Aushubvolumen mit Hilfe des Surface Volume-Tools berechnet wurde.

Die Solltiefen der Fahrrinne betragen:

- Teilstrecke 1 -11,5 m MLWS über den gesamten Längsquerschnitt
- Teilstrecke 2: -11,5 m MLWS über den gesamten Längsquerschnitt
- Teilstrecke 3: -12,0 m MLWS entlang der Fahrinnenböschung mit einer Tiefe in der Fahrrinnenmitte von -12,5 m MLWS
- Teilstrecke 4: -12,0 m MLWS entlang der Fahrinnenböschung mit einer Tiefe in der Fahrrinnenmitte von -12,5 m MLWS
- Teilstrecke 5: -12,0 m MLWS entlang der Fahrinnenböschung mit einer Tiefe in der Fahrrinnenmitte von -12,5 m MLWS

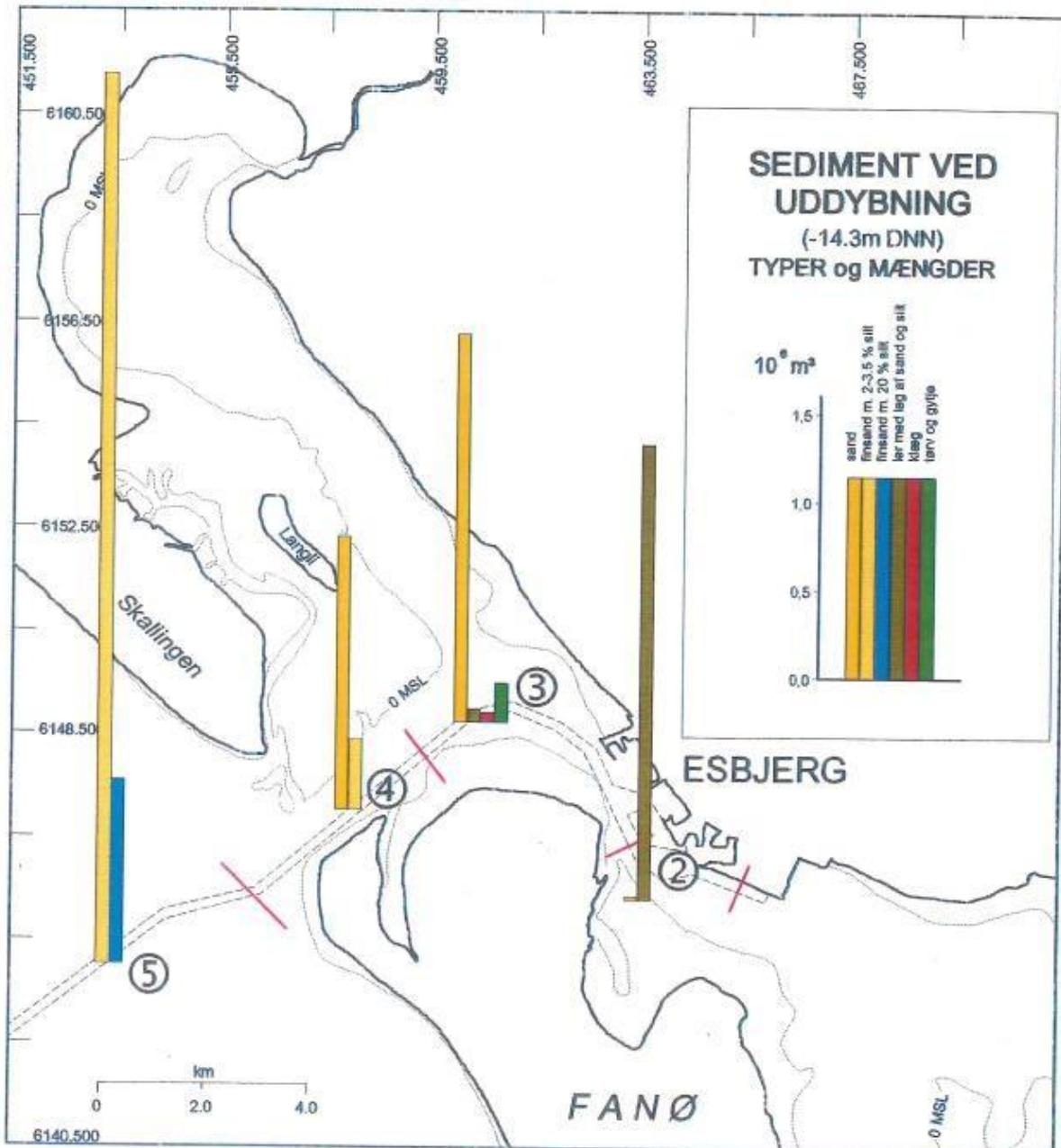
Darüber hinaus ist die Fahrinnenböschung bis zum Meeresboden mit einer Steigung von 1:5 auszuführen.

Eine Karte mit den berechneten Aushubmengen ist in Abb. 4 wiedergegeben. Karten über Tiefen und Aushubmengen liegen als Zeichnung 001 und 002 bei. Aus nachstehender Karte gehen ausschließlich die Aushubmengen zur Herstellung der künftigen Solltiefe der einzelnen Teilabschnitte hervor.



**Abb. 4 - Karte über ermittelte Aushubvolumen verteilt auf die Teilabschnitte 1-5**

Im Auszug aus der UVP ist Abb. 4.2 wiedergegeben, welche vier Abschnitte (Nr. 2-5) sowie die jeweilige Verteilung des Materials auf die verschiedenen Sedimenttypen in Säulendiagrammen zeigt. Die Sedimente bestehen aus Sand, Feinsand mit 2-3,5 Prozent Schluff, Feinsand mit 20 Prozent Schluff, Lehm mit Schichten aus Sand/Schluff, Klei sowie Gytta. Diese Abbildung ist nachstehend als Abb. 5 wiedergegeben.



**Abb. 5 - Auf die Teilstrecken jeweils verteilte Sedimentation, Auszug aus der UVP 1993**

Die jeweilige Sedimentation in den einzelnen Bereichen (2-5) basiert auf aus der bestehenden Fahrrinnensohle vor Erstellung der UVP aus dem Jahr 1993 anlässlich der Vertiefung auf -14,3 m (DNN) entnommenen Proben. Es geht hervor, dass in den Teilabschnitten 3, 4 und 5 überwiegend von Friktionsmaterial (Sand sowie Feinsand mit unterschiedlichem Schluffgehalt) die Rede ist. In Abschnitt 2 stehen überwiegend Lehmfraktionen an.

Da die Fahrrinne versandet und durch Ausbaggerung laufend unterhalten wird, wird davon ausgegangen, dass das vorstehende Diagramm sich seit 1993 nicht signifikant verändert hat, da die Verteilung der Sedimente von der Fahrrinnensohle nach unten verläuft.

Bei Ermittlung der Aushubmengen wurde für jede Teilstrecke eine prozentuale Verteilung auf die Sedimente vorgenommen, entsprechend den im Säulendiagramm wiedergegebenen Verhältnissen (so etwa beträgt das Verhältnis zwischen Sand und Feinsand mit Schluff auf der Teilstrecke 4 ca. 1:5).

Auf dieser Grundlage wurde die in Tabelle 1 dargestellte Verteilung für die gesamte Aushubmenge aller 5 Teilstrecken veranschlagt.

ENTSORGUNG	ANTEIL AM GESAMTVOLUMEN	AUSHUB- VOLUMEN	VOLUMEN
Verwertung: Auffüllung im Osthafen [Østhavn], Sand	17 %	600.000 m <sup>3</sup>	2.770.000 m <sup>3</sup>
Verwertung: Auffüllung im Osthafen, Feinsand mit Schluff	61 %	2.170.000 m <sup>3</sup>	
Verwertung: Einbau in anderen Bereichen, Sonstige Sedimente (Lehm/Schluff)	22 %	800.000 m <sup>3</sup>	800.000 m <sup>3</sup>
<b>GESAMT</b>			<b>3.570.000 m<sup>3</sup></b>

**Tabelle 1 - Veranschlagte Verteilung der Sedimente**

Sand sowie schluffhaltiger Sand (d.h. die gelben und blauen Säulen in Abb. 5) werden im Osthafen verfüllt, die sonstigen Sedimente für ein oder mehrere andere Projekte verwertet. In der Praxis wird nicht sämtliches Material in das Auffüllungsgebiet eingebracht, da bei Auffüllung mit einem teilweisen Schwund der Schlufffraktionen zu rechnen ist. Die gesamte Schluffmenge entspricht 4-5 Prozent des zu verfüllenden Materials, weshalb die Schwundmenge als unwesentlich erachtet wird.

## 3 AUSFÜHRUNGSVERFAHREN UND -ZEIT

Die Sandfraktion soll bei Erweiterung des Osthafens, Etappe 5, verfüllt werden. Die jeweiligen Standorte sind in Abb. 6 angegeben. Angaben von Esbjerg Havn zufolge werden gemäß UVP zur Ausführung der Etappe 5 etwa 3,3 Mio. m<sup>3</sup> Auffüllungsmaterial benötigt.

Es wird davon ausgegangen, dass die Lehmfraktionen für ein bzw. mehrere Projekte verwertet werden können, zum Beispiel:

### 1 Ländliches Gebiet im Stadtteil Måde

Das Material dient als Auffüllungsmaterial und wird durch Pumpen eingebracht. Da dieser Vorgang ein Erweichen des Materials zur Folge hat, muss in diesem Bereich zwecks Nutzung als Hafensfläche nachfolgend voraussichtlich eine Zementstabilisierung erfolgen. Esbjerg Havn teilt mit, dass in Måde eine Fläche von etwa 31.000 m<sup>2</sup> verfügbar ist, die bis zu einer Höhe von etwa 6 m aufgefüllt werden kann. Darüber hinaus besteht auf weiteren Flächen von insgesamt ca. 343.000 m<sup>2</sup> im Großraum Måde die Möglichkeit einer Auffüllung bis zu einer Höhe von etwa 3 m. Das ergibt eine Gesamtkapazität von etwa 1,2 Mio. m<sup>3</sup>.

Liegt das genaue Verwertungsgebiet zu weit vom Hoheitsgebiet entfernt, um ein Einpumpen zu ermöglichen, so ist für das Verladen und Befördern des Materials auf bzw. mit Lkw oder Muldenkippern und Abkippen am Auffüllungsort ein wesentlicher zusätzlicher Zeitaufwand zu berücksichtigen.

### 2 Osthafen, Etappe 5

Das Material wird als Auffüllungsmaterial verwendet und durch Pumpen eingebracht. Da dieser Vorgang ein Erweichen des Materials zur Folge hat, muss in diesem Bereich zwecks Nutzung als Hafensfläche nachfolgend voraussichtlich eine Zementstabilisierung erfolgen.

### 3 Geplante Energieinsel in der Nordsee

Das als Auffüllungsmaterial dienende Material wird durch Greifbaggerung ausgehoben. Dieser Verwertungszweck ist im Vergleich zu den anderen Verwertungszwecken mit wesentlich mehr Seetransport verbunden. Auch dürften dabei wesentlich mehr Schlechtwettertage anfallen.

Auf die Eignung der Materialien sowie Aushub- und Wiedereinbauverfahren wird in diesem Projektvorschlag nicht näher eingegangen.



Abb. 6 - Anordnung der Fahrrinne, Osthafen Etappe 5 und Stadtteil Måde.

In der Wesentlichkeitsbewertung aus dem Jahr 2022 wird angenommen, dass die Vertiefung mithilfe eines Hopperbaggers, etwa des Typs „Balder R“ (2022) der Firma Rohde Nielsen, ausgeführt werden kann. Das Schiff verfügt über eine theoretische Kapazität von bis zu 6.000 m<sup>3</sup>/Stunde bei einem gesamten Schwund von schätzungsweise 5 Prozent (Gray, J. S., 2006).

Die Laderaumkapazität (ca. 6.000 m<sup>3</sup>) wird in der Regel nicht völlig ausgeschöpft. Ausgehend von einem geschätzten Ladevolumen von 4.000 m<sup>3</sup> pro Ladung dürfte eine Hin- und Rückfahrt etwa 5-6 Stunden dauern, sodass pro Tag ca. 4 Ladungen (insgesamt ca. 16.000 m<sup>3</sup>) verbracht werden können.

Dieser Zeitaufwand berücksichtigt die Materialaufnahme, die Fahrzeit, das Einpumpen, den gelegentlichen Mannschaftswechsel/Tanken u. a. m. (ohne Berücksichtigung etwaiger Schlechtwettertage bzw. Betriebsunterbrechungen).

Lehmfraktionen werden ausgebaggert; hierbei kommen ein Baggerschiff mit großer Schaufel (Backhoe Dredger), alternativ ein Eimerkettenbagger zum Einsatz. Das Material wird ausgebaggert und auf Schleppkähne geladen. Es wird von einer Aushubmenge von etwa 5.000-7.000 m<sup>3</sup>/Tag (ohne Berücksichtigung etwaiger Schlechtwettertage bzw. Betriebsunterbrechungen) ausgegangen - vorausgesetzt, dass ein Teil der oberen weichen Lehmschicht eventuell aufgesaugt werden kann.

Gemäß Abschnitt 2 wird veranschlagt, dass ca. 2,8 Mio. m<sup>3</sup> aufgesaugt und ca. 0,8 Mio. m<sup>3</sup> ausgebaggert werden. Ausgehend von den vorstehenden Ausführungen und angenommen, dass die Aushubarbeiten montags bis sonntags rund um die Uhr erfolgen, wird folgende Ausführungszeit veranschlagt (das Beispiel basiert jeweils auf einem Schiff zum Aufsaugen/Pumpen und einem Schiff zum Ausbaggern).

Die Ausführungszeit hängt hochgradig von der Lage des Verwertungsprojekts ab. Die nachstehenden Ausführungszeiten gelten unter der Voraussetzung einer Auffüllung im Osthafen, Etappe 5.

<b>Aufsaugen/Pumpen von Material:</b>	<b>Ca. 175 Tage</b>	(ohne Berücksichtigung von Schlechtwettertagen und Betriebsstörungen)
<b>Ausbaggern von Material:</b>	<b>Ca. 135 Tage</b>	(ohne Berücksichtigung von Schlechtwettertagen und Betriebsstörungen).

Die Ausführungszeit soll auf etwa 6-9 Monate beschränkt werden. Deshalb sollte ein Ausführungsverfahren in Betracht gezogen werden, bei dem entweder größeres Gerät bzw. mehrere Schiffe gleichzeitig zum Einsatz kommen. Das nachstehende Beispiel nimmt Ausgangspunkt im Einsatz mehrerer Schiffe.

ENTSORGUNG	2 SCHIFFE	3 SCHIFFE
	KAP./TAG von je 16.000 M <sup>3</sup>	KAP./TAG von je 16.000 M <sup>3</sup>

<b>Sandfraktion:</b> <b>Aufsaugen und Auffüllen im Osthafen, Etappe 5</b>	Ca. 90 Tage*	Ca. 45 Tage*
--	--------------	--------------

\* ohne Berücksichtigung von Schlechtwettertagen und Betriebsstörungen.

ENTSORGUNG	2 SCHIFFE	3 SCHIFFE
	KAP./TAG von je 5.-7.000 M <sup>3</sup>	KAP./TAG von je 5.-7.000 M <sup>3</sup>

<b>Lehmfraktion:</b> <b>Ausbaggern und Auffüllen im Osthafen, Etappe 5</b>	Ca. 70 Tage*	Ca. 35 Tage*
---	--------------	--------------

\* ohne Berücksichtigung von Schlechtwettertagen und Betriebsstörungen sowie Verweilzeit für Entwässerung im Zusammenhang mit der Auffüllung an Land.

Hinsichtlich der Sandfraktion (die aufgesaugt wird) wäre der intensive Einsatz von 2-3 Fahrzeugen zum Aufsaugen und Auffüllen möglich, um diesen Projektabschnitt so schnell wie möglich abzuwickeln, da der Hauptteil der Sandmenge am äußeren Fahrrinnenende außerhalb des Hafens liegt. Das würde die Ausführungszeit für diesen Abschnitt auf 2-3 Monate reduzieren. Für diese Lösung müssten eventuell mehrere Pumpenrohre verlegt werden, die von den Schiffen zum Einpumpen am Auffüllungsgebiet der Etappe 5 genutzt werden können.

Parallel zum Aufsaugen von Sandmaterial können im Hafengebiet mehrere Schiffe zum Ausbaggern der Lehmmaterialien eingesetzt werden. Eine Ausführungszeit von ca. 6-9 Monaten könnte angemessen sein, sofern vorübergehend 2 Schiffe eingesetzt werden. Schreiten die Arbeiten effizient voran, so kann vorübergehend auf 1 Schiff reduziert werden.

**Tabelle 2 Beispiele für einen Ausführungszeitplan mit mehreren Schiffen, beschränkt auf das „Sommerhalbjahr“**

	Jan.	Feb.	März	Apr.	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sep.	Okt.	Nov.	Dez.
<b>Schiff 1 Aufsaugung und Auffüllung</b>			■			■						
<b>Schiff 2 Aufsaugung und Auffüllung</b>			■			■						
<b>Schiff 3 Aufsaugung und Auffüllung</b>												
<b>Schiff 1 Ausbaggerung und Auffüllung</b>				■			■					
<b>Schiff 2 Ausbaggerung und Auffüllung</b>				■	■							

Soll das Aufsaugen bzw. Ausheben der aufzufüllenden Sandmaterialien zeitlich auf ca. 2 Monate optimiert werden, so kann hierfür ein drittes Schiff eingesetzt werden. Das Ausbaggern der Lehmmaterialien wird voraussichtlich etwa 5-6 Monate dauern. Anfangs können 2 Schiffe eingesetzt werden, wobei mit zunehmender Auffüllung und je nach Bedarf für eine Entwässerung eine Beschränkung der Frequenz erforderlich sein kann, so dass nach einer Weile voraussichtlich nur ein Schiff erforderlich sein wird.

Der Unsicherheit hinsichtlich Schlechtwettertagen während der Ausführungszeit ist Rechnung zu tragen. Sofern das Material auf Kähnen abtransportiert wird, dürften die Arbeiten im äußeren Fahrrinnenbereich außerhalb des Hafens verstärkt Witterungsbedingungen ausgesetzt sein.

Die Witterungsbedingungen dürften die beiden Aktivitäten folgendermaßen beeinflussen:

**Aufsaugen/Auffüllen von Sand:** Witterungszulage 1-5 Prozent (einschl. Betriebsunterbrechung/Maschinenstopp etc.)

**Ausbaggern/Auffüllen von Lehm:** Witterungszulage 10-5 Prozent (einschl. Betriebsunterbrechung/Maschinenstopp etc.)

Hinsichtlich einer Zeitoptimierung beim Einsatz größerer Maschinen sei darauf hingewiesen, dass größere Baggerschiffe bei voller Last einen sehr hohen Tiefgang haben können. Beispielsweise weist IHC Dredging „Beagle 12“ bei einer Last von 12.000 m<sup>3</sup> einen Tiefgang von 9 m auf, was das Erreichen des Auffüllungsgebiets der Etappe 5 erschwert. Es bleibt der jeweiligen Reederei überlassen zu entscheiden, welche Schiffe für die Aufgaben jeweils geeignet sind.