

22. Juni 2018

Erläuterungen zur BAW Stellung- nahme

Inhaltsverzeichnis

1. ANLASS UND FRAGESTELLUNG.....	3
2. SEDIMENTFREISETZUNGSRATEN	4
2.1 Einleitung.....	4
2.2 Sedimentfreisetzungsraten in anderen Projekten.....	7
2.3 Sedimentfreisetzungsraten in der UVS.....	10
2.4 Fazit.....	12
2.5 Literatur	13
3. INTERPRETATION UND BEWERTUNG VON SIMULATIONSERGEBNISSEN	14
3.1 Wie ist eine weitergehende Interpretation und Bewertung der Berechnungsergebnisse in die Wirkungsprognose eingeflossen?.....	14
3.2 Es soll beispielhaft gezeigt werden, dass die Interpretation und Bewertung der Berechnungsergebnisse trotz vereinfachender Annahmen in der Modellierung und teilweise eingeschränkter Belastbarkeit der Modellergebnisse (siehe z.B. UVS, Anlage 15, Anhang A, Seite 103) vorsorgeorientiert erfolgt ist.	17
3.3 Wie sind in der Umweltprognose die Eingangsdaten (Sedimentkonzentrationen, -rate) aus dem Verdriftungsszenario weiterverarbeitet worden, und warum liegen die dort abgeleiteten Prognosen zur Betroffenheit der Makrophytenbestände auf der sicheren Seite?.....	19
4. SONSTIGE PUNKTE.....	32
4.1 Kapitel 3.1.3 – Sagasbank und Sedimentationshöhen	32
4.2 Kapitel 4.1.1 - Räumliche Auflösung Sedimenttransportmodell	34
4.3 Kapitel 4.2.1 – Validierung der Modellwasserstände	39
4.4 Kapitel 5.1.1 - Parametrisierung der Deposition und Erosion.....	40

1. Anlass und Fragestellung

Im Rahmen der Planfeststellung zum Projekt Feste Fehmarnbeltquerung berät die Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) die Anhörungs- und Planfeststellungsbehörde (APV-SH). Zum Themenkomplex Sedimentverdriftung, Hydrologie und Morphologie hat das APV-SH einen Fragenkatalog an die BAW geschickt.

Zur Beantwortung des Fragenkatalogs des APV-SH lagen der BAW folgende Unterlagen vor:

1. Planfeststellungsunterlagen vom 01. Oktober 2013
2. Geänderte Planfeststellungsunterlagen (PÄU) vom 03.06.2016
3. Ergänzende Erläuterungen zur Sedimentverdriftung vom 14. Dezember 2017, Materialband M-09-00 der 2. Planänderungsunterlagen
4. Präsentationsfolien zum Arbeitsgespräch am 24.01.2018

Die BAW hat den Fragenkatalog umfassend beantwortet und kommt zu dem Schluss, dass die diskutierten Unterlagen und Untersuchungen fachgerecht und angemessen ausgeführt sind. Lediglich bei zwei Aspekten kommt die BAW zur Einschätzung, dass diese zwar plausibel aber nicht zweifelsfrei in den Planfeststellungsunterlagen dokumentiert sind:

- Die Annahmen zu den Sedimentfreisetzungsraten.
- Die Interpretation und Bewertung von Simulationsergebnissen derart, dass „auf der sicheren Seite liegende“ Prognosen abgeleitet werden.

Im den Kapiteln 2 und 3 nehmen die Vorhabenträger zu den daraus abgeleiteten Empfehlungen der BAW an das APV-SH Stellung. Weiterhin werden in Kapitel 4 einzelne Punkte aus der Beantwortung des Fragenkatalogs diskutiert, die zwar von der BAW nicht als Empfehlung zur Nacharbeit ausgewiesen sind, deren vorsorgliche Bearbeitung im Planfeststellungsverfahren aber dennoch sinnvoll erscheint.

2. Sedimentfreisetzungsraten

2.1 Einleitung

Ein Teil der marinen Bauarbeiten im Projekt Feste Fehmarnbeltquerung wird zu Sedimentfreisetzungen am Arbeitsort führen. Die Aushubarbeiten zur Erstellung des Tunnelgrabens und der Fahrrinne zum Arbeitshafen auf Lolland werden hierbei die größten projektbedingten Sedimentquellen sein, aber auch andere Arbeiten werden zu Freisetzungen führen (z.B. die Erstellung der Landgewinnungsflächen oder der Arbeitshäfen, vgl. Tabelle 1 (aus: Materialband M-09-00 der 2. Planänderungsunterlagen, Tabelle 4, Seite 71).

Die in der UVS dargestellte Modellierung der projektbedingten Sedimentfreisetzung nutzt als eine Eingangsgröße die Quantifizierung aller im Zusammenhang mit dem Projekt freigesetzten Sedimentmengen.

Um die während der Bauarbeiten freigesetzten Sedimentmengen bestimmen zu können, wurden Informationen über Art, Beschaffenheit und Menge des bewegten Bodenmaterials (z.B. UVS, Anlage 15 der Planfeststellungsunterlagen, Anhang B Methodik, Kapitel 0.3.4.1.4.1., S. 810 ff.), typische hydrodynamische Bedingungen (z.B. UVS, Anlage 15 der Planfeststellungsunterlagen, Band II A, Kapitel 3.2.3.1., S. 140 ff.) und die für den jeweiligen Einsatz geplante Baggertechnik (Baulogistik, Anlage 27.1 der Planänderungsunterlagen, Kapitel 3.1.3, S. 17 ff.) herangezogen.

Von den insgesamt im Projekt bewegten Bodenmengen wird nur ein sehr kleiner Teil als Sediment bzw. Schwebstoff in den Fehmarnbelt freigesetzt. Dieser Prozentsatz (Verhältnis von insgesamt gebaggertem/bewegtem Material zu in das umgebende Meeresgebiet freigesetztem Material) hängt wesentlich von dem eingesetzten Baggergerät ab.

Alle Aushubarbeiten des in der UVS betrachteten Szenarios werden mit mechanischen Aushubgeräten (Schaufelbaggern (backhoe dredgers, BHD) oder Greifbaggern (grab dredger, GD)) durchgeführt. Teile des harten Bodenmaterials (z.B. Geschiebemergel) werden vorbehandelt, indem das Material mechanisch mit dem Bohrmeißel eines Saugbaggers aufgelockert wird, bevor es mit dem Greifbagger gefördert wird (Anlage 27.1 der 2. Planänderungsunterlagen, Kapitel 3.1.3.1, S. 25 ff.).

Femern

Sund ≈ Bælt

Tabelle 1: Zusammengefasste Arbeitsschritte, Sedimentfreisetzungsraten, Sedimentvolumen und –massen, Trockendichten sowie Baggertypen und Ort der Sedimentfreisetzung in der Wassersäule zur Prognose der Sedimentverdriftung beim Bau des Absenktunnels

Arbeitsschritt	Sediment-Freisetzung [%]	Bewegtes Sedimentvolumen [Mio. m ³]	Freigesetztes Sedimentvolumen [Mio. m ³]	Trockendichte [t/m ³]	Freigesetzte Sedimentmasse [Mio. t]	Baggertechnik	Ort der Freisetzung in der Wassersäule
Baggerarbeiten für Tunnelgraben und Fahrrinne	3,5	15,50	0,540	0,67-1,99	0,921	Schaufelbagger und Greifbagger	Gleichmäßig verteilt
Umschließungsdeiche	0,1–0,8	1,20	0,007	1,59-1,99	0,013	Schaufelbagger und Greifbagger	Gleichmäßig verteilt
Portal und Rampen Lolland	0,1-0,7	0,36	0,002	1,33-1,99	0,004	Schaufelbagger und Greifbagger	Gleichmäßig verteilt
Portal und Rampen Fehmarn	0,1-0,7	0,32	0,002	1,33-1,99	0,004	Schaufelbagger und Greifbagger	Gleichmäßig verteilt
Arbeitshafen Lolland	0,1–0,8	2,87	0,020	1,49-1,99	0,031	Schaufelbagger und Greifbagger	Gleichmäßig verteilt
Arbeitshafen Fehmarn	0,1–0,8	0,10	0,001	1,59-1,99	0,001	Schaufelbagger und Greifbagger	Gleichmäßig verteilt
Landgewinnung	0,5	20,80	0,104	1,49	0,156	Schaufelbagger und Greifbagger	Gleichmäßig verteilt
Rückverfüllung Graben Lolland	0,1–0,8	3,40	0,015	1,59-1,99	0,028	Greifbagger	Gleichmäßig verteilt
Rückverfüllung Graben Fehmarn	0,1–0,8	3,00	0,013	1,59-1,99	0,025	Greifbagger	Gleichmäßig verteilt
Landschaftsbau Landgewinnungsfeld	0,5-2,0	4,31	0,039	1,49-1,59	0,045	Laderaumsaugbagger und Muldenkipper	Gleichmäßig verteilt
Gesamtmenge bewegt/freigesetzt		51,86	0,743		1,228		

Vor dem Absenken der Tunnelelemente wird der Graben von zwischenzeitlich abgelagerten Sedimenten befreit. Diese Sedimente werden mit einem Laderaumsaugbagger hydraulisch abgesaugt, der das Wasser-Sedimentgemisch vom Boden des Grabens, ohne sedimenterzeugende Wasserabtrennung, in seinen Laderaum pumpt. Sobald der Laderaum gefüllt ist, fährt der Laderaumsaugbagger zur Abladestation vor der Landgewinnungsfläche auf Lolland. Das Sediment-Wassergemisch wird über die Station und durch ein Rohr-Schlauchsystem an Land in Absetzbecken gepumpt.

Sobald ein Tunnelelement auf dem Fundamentbett abgesetzt wurde, muss der Graben mit geeignetem Material wiederaufgefüllt und eine Schutzschicht aufgebracht werden (Anlage 27.1 der 2. Planänderungsunterlagen, Kapitel 3.1.5.4, S. 41 ff.). Das Material für die Haltefüllung wird über ein Fallrohr von einer Lastschute aufgebracht werden. Die restliche Verfüllung an den Seiten der Elemente wird aus dem Sandgewinnungsbereich Kriegers Flak mit einem Saugbagger gewonnen, der auch das Material entlang der Seiten der Elemente aufbringt. Das Einbringen erfolgt auch hier über Fallrohre oder andere geschlossene Rohrsysteme. Für die Schutzschicht oberhalb der Tunneldecke wird Gestein mit einer von einem Schlepper geschleppten Lastschute angeliefert und seitlich über die Bordkante der Lastschute oder mithilfe eines auf dem Schiff montierten Greifbaggers versenkt.

Die grundlegenden Mechanismen, die bei mechanischen Aushubarbeiten wie dem Schaufel- oder dem Greifbagger zur Freisetzung von Sediment führen, sind in der Literatur beschrieben (z.B. John 2000 und VBKO 2003):

- Lösen des Bodenmaterials und Füllen der Schaufel: Freisetzung entsteht durch Interaktion von Schaufel und Boden.
- Heben der Schaufel durch die Wassersäule: Freisetzung entsteht durch Überlauf von der Schaufel und Erosion der exponierten Bodenoberfläche in der Schaufel.
- Heben der Schaufel über die Wasseroberfläche: Freisetzung entsteht durch Überlauf von der Schaufel.
- Beladen der Schute: Freisetzung entsteht durch Überlauf von der Schute.
- Senken der Schaufel durch die Wassersäule für neuen Aushubvorgang: Freisetzung entsteht durch Ablösen oder Erosion von an der Schaufel haftendem Bodenmaterial.

Die Freisetzungsvorgänge beim Aushub finden also am Boden, in der gesamten Wassersäule und an der Wasseroberfläche statt. Für die Modellierung wurde daher eine Gleichverteilung der Freisetzung über die Wassersäule angenommen (Tabelle 1). Auch für die anderen sedimentfreisetzenden Arbeitsschritte wurde eine Gleichverteilung der Freisetzung über die Wassersäule angenommen. Im Fall der Wiederverfüllarbeiten im Tunnelgraben tritt die Sedimentfreisetzung nur im Graben in Bodennähe auf, sodass eine Gleichverteilung in der Wassersäule im Hinblick auf die Ausbreitung der primären Sedimentverdriftung als vorsorglich anzusehen ist, da sie zu einer großräumigeren Verdriftung führt). Der durch die bodennahe Freisetzung potenziell stärker beaufschlagte Bereich umfasst den bereits ohnehin stark beanspruchten Arbeitsbereich des Bauvorhabens (800 m Zone um die Tunneltrasse), der bereits entsprechend in die umweltfachliche Bewertung eingeflossen ist. Auch liegen in dem betroffenen

Nahbereich keine biologischen oder abiotischen Elemente, deren Betroffenheit sich durch diese potentielle Unterschätzung ändern könnte (vgl. Kapitel 3.3).

Weniger ausführlich dokumentiert sind hingegen quantitative Freisetzungen oder Freisetzungsraten.

Kapitel 2.2 dieses Memos gibt einen Überblick über verfügbare Literatur zu Freisetzungsraten in prinzipiell vergleichbaren Projekten.

In Kapitel 2.3 werden die in diesem Projekt verwendeten Freisetzungsraten u.a. anhand der Erfahrungswerte aus anderen Projekten plausibilisiert.

2.2 Sedimentfreisetzungsraten in anderen Projekten

Auch wenn die Mechanismen, die Sedimentfreisetzungen auslösen, in der Literatur gut beschrieben sind, gibt es nur in begrenztem Umfang Informationen zum Ausmaß der Freisetzung, insbesondere bei mechanischen Aushubverfahren. In den vergangenen Jahren wurde vermehrt Fokus auf die Quantifizierung von Sedimentfreisetzung durch Laderaumsaugbagger (TSHD) gelegt, da dies das weltweit am häufigsten genutzte Aushubverfahren ist.

Die wesentlichen Informationen zu Freisetzungsraten vom mechanischen Aushubarbeiten, die sich aus der Literatur und eigenen Erfahrungen aus anderen Projekten ergeben, werden im Folgenden zusammengefasst.

Das Øresund-Projekt

Das Øresund-Projekt wurde zwischen 1995 und 2000 realisiert und beinhaltete auch das Ausheben von 8 Millionen m³ Bodenmaterial (überwiegend Geschiebemergel und Kalkstein). Die damit verbundene Sedimentfreisetzung wurde über den gesamten Bauzeitraum überwacht. Seitens der zuständigen Behörden unterlagen die Aushub- und Wiederverfüllarbeiten strikten Begrenzungen hinsichtlich der Freisetzungsmenge. Die Behörden genehmigten auch das Monitoring und die Festlegung der Freisetzungsmenge.

Die Aushubarbeiten wurden mit einem großen Schaufelbagger (dipper dredger, Chicago, 22 m³ Schaufel), einem großen Schneidkopfsaugbagger (cutter suction dredger, Castor) und einer Reihe mittelgroßer Schaufelbagger (backhoe dredger, u.a. Quetzalcoatl, 5,7m³ Schaufel) durchgeführt. Die Sedimentfreisetzung bei den mechanischen Aushubarbeiten im Geschiebemergel und Kalkstein mit dem großen Schaufelbagger betrug 2,6% und bei den mittelgroßen Schaufelbaggern 3,5%. Beim hydraulischen Aushubverfahren mit dem Schneidkopfsaugbagger waren es 4,2%.

Lorenz 1999 berichtet, dass das insgesamt freigesetzte Sediment dieses Bauprojektes, inklusive Freisetzungen beim Einbau des Baggerguts in den Landgewinnungsbereichen, 3,8% des gebaggerten Materials entspricht. Es ist dabei zu beachten, dass die Menge freigesetzten Materials hier in ein Verhältnis zum insgesamt gebaggerten Material gesetzt wurde, nicht zum

insgesamt bewegten (z.B. inklusive das wieder in die Landgewinnungen eingebauten) Material.

Die Sedimentfreisetzung bei den Wiederverfüllarbeiten im Bereich der Landgewinnungsflächen betrug ca. 0,1% – 0,3%.

Beim Øresund-Projekt wurde auch die Sedimentfreisetzung bei der Herstellung der Umschließungsdämme in Form von Steinschüttungen um die Gewinnungsfläche gemessen. Im Rahmen dieser Steinschüttungen wurden 1.307 t Sediment freigesetzt. Die gesamte Menge an genutzten Steinen betrug ca. 2 Millionen t. Die Freisetzungsrate im Verhältnis zur insgesamt bewegten Menge an Gestein liegt damit bei 0,07%.

Auch Freisetzungen bei der Herstellung des Kiesbetts, dem Hinterfüllen von Tunnelelementen und der Aufbringung der Schutzschicht über den 3,5 km langen Absenktunnel wurden untersucht. Das Ergebnis war die Freisetzung von 2.768 t Sediment. Über die insgesamt gehandhabte Menge wurde nicht berichtet.

Erfahrungen von DHI

Neben umfangreicher Erfahrung mit der modellgestützten Prognose von Sedimentverdriftungen bei Nassbaggerprojekten hat DHI auch jahrzehntelange Erfahrung mit der messtechnischen Erfassung von Sedimentfreisetzungen. Die Ergebnisse der messtechnischen Erfassung von Sedimentfreisetzungen bei marinen Nassbaggerarbeiten sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

Beim Unterwasseraushub von Geschiebemergel mit Schaufelbaggern wurden Sedimentfreisetzungsraten zwischen 1,0% - 3,0% ermittelt. Die Freisetzungsrate für Greifbagger, die in marinem Sand arbeiten, liegt bei 1,0%. Die Sedimentfreisetzung in diesen Projekten wurde als verdriftetes Material in den Trübungsfahnen gemessen.

Tabelle 2 Gemessene Sedimentfreisetzungsraten von DHI (1991 - 2017)

Bagger- typ	Bagger- gut	Wasser- tiefe (m)	Typische Strömungs- geschwin- digkeit (m/s)	Freiset- zungs- rate (kg/s)	Frei- set- zungs- rate [%]	Messme- thode	Land	Jahr
Eimer- ketten- bagger	Geschie- bemergel Marine Sande und Schluffe	6 2 - 4	0.2 0.5 - 1	3 ± 0.7 3 - 5	1 ± 0.2 3	ADCP + Wasserpro- ben und Trü- bungs-mes- sung 300 m von Arbeits- ort	Dänemark	2014 2016
Schaufel- bagger	Geschie- bemergel	2 - 8	1	1- 3	1 - 3	Wasserpro- ben und Trü- bungs-mes- sung, ADCP	Dänemark, Schweden	1991 - 2018
Greifer- bagger	Marine Sande und Schluffe	10 - 20	0.5	1	1	Wasserpro- ben und ADCP	Singapur	2002 -
Schneid- kopf- saug- bagger (nur Bag- gern)	Geschie- bemergel	10	1	8 - 10	6	Wasserpro- ben und Trü- bungs-mes- sung, ADCP	Dänemark	1994

Erfahrungen aus den Niederlanden

Pennekam et al. (1996) berichten über Sedimentfreisetzungsraten von etlichen Projekten in den Niederlanden. Die Freisetzungsraten basieren auf Trübungsmessungen, die über einen Faktor (S-Faktor) mit den Freisetzungsraten verknüpft wurden. Der Faktor gibt den Verlust an Baggergut in kg je gebaggertem m³ an. S-Faktoren für Schaufelbagger und Greifbagger befinden sich zwischen 3 – 20 kg/m³, mit einem einzelnen Wert von 54 kg/m³. Es gibt in der Studie keine Information über den Zustand der Baustelle, des Bodens, der Strömung, der Schaufelgröße sowie über den Umfang und die Methode des Monitorings.

Der S-Faktor im Bereich 3 – 20 kg/m³ entspricht einer Sedimentfreisetzungsraten zwischen 0,1% – 3,0% (basierend auf dem Spektrum von Materialdichten von ca. 0,7 bis 2,0 t/m³, vgl. Tabelle 1).

Das TASS-Protokoll

Die niederländische VBKO (Vereniging van Waterbouwers in Bagger- Kust en Oeverwerken) beauftragte 1998 HR Wallingford Ltd and Dredging research Ltd in Großbritannien damit, vorläufige Modelle zur Schätzung der Sedimentfreisetzung von verschiedenen Baggertypen zu erstellen. Der Name dieses Projekts war TASS (Turbidity Assessment Software). Das Projekt

brachte 2003 (VBKO 2003) ein Konzept zur Messung der Sedimentfreisetzung durch verschiedene Baggertypen hervor, welches auch einen praktischen Leitfaden zur Messung von Sedimentfreisetzung für die Kalibrierung und Verifizierung numerischer Modelle enthält.

Burt et al (2007) berichten im Rahmen des TASS-Projektes über Freisetzungen von einem Greifbagger. Die Baggerarbeiten wurden mit einem 3 m³ großen Greifbagger durchgeführt und die Sedimentfreisetzung wurde über drei Tage gemessen. Das Baggergut hatte einen hohen Feinkornanteil und eine Dichte im Bereich von 0,8 t/ m³). Es wurde ein S-Faktor von 26 kg/m³ für die Sedimentfreisetzung bzw. eine Sedimentfreisetzungsrates von 3,35% bezogen auf die insgesamt ausgehobene Menge. Kurzzeitig konnte der Sedimentverlust vom Greifer dabei 5,0% - 6,0 % betragen.

Land et al. (2007) berichten von Freisetzungsrates in Höhe von 5,4% und 9,6% für Arbeiten mit Greifbaggern an zwei Standorten in Providence, RI, USA. Diese hohen Werte lassen sich durch den anstehenden weichen Boden mit hohem Feinkornanteil (90% Tone und Schluffe mit Trockendichten von nur 500 kg/m³) und auf die Ausführung durch den Bauunternehmer erklären, die nicht auf eine Begrenzung der Freisetzung zielte, sondern allein auf schnellen Aushubfortschritt. Weiterhin kam es insbesondere bei der höheren Freisetzungsrates wiederholt zu Greifvorgängen mit nicht vollständig geschlossener Schaufel durch im Gewässerbett liegenden Unrat.

Spätere Studien des TASS-Projektes wurden von der niederländischen Baggerindustrie finanziert und hatten ihren Fokus ausschließlich auf Laderaumsaugbaggern.

2.3 Sedimentfreisetzungsrates in der UVS

Im Folgenden werden die in der UVS zugrunde gelegten Sedimentfreisetzungsrates für einzelne Bauaktivitäten (Tabelle 1) erläutert. Der mit Abstand größte Anteil der insgesamt projektbedingt frei gesetzten Sedimentmenge entfällt mit 0,921 Mio. Tonnen (75% der Gesamtmasse) auf die Aushubarbeiten für den Tunnelgraben und die Fahrrinne. Die Freisetzung aus der Auffüllung der Landgewinnungsflächen ergibt mit 0,156 Mio. Tonnen oder 13% der Gesamtmasse den nächstgrößeren Anteil, während alle anderen sedimentfreisetzenden Arbeitsprozesse zusammen die restlichen 12% der Gesamtfreisetzung ausmachen.

Aushubarbeiten

In der Sedimentverdriftungsmodellierung, die im Rahmen der UVS für das Projekt Feste Fehmarnbeltquerung durchgeführt wurde, wird eine Sedimentfreisetzungsrates von 3,5% für das Ausheben des Tunnelgrabens und der Fahrrinne zum Arbeitshafen auf Lolland angesetzt.

Die Freisetzungsrates von 3,5% basiert im Wesentlichen auf den Erfahrungen aus dem Øresund-Projekt, bei dem mechanische Aushubarbeiten zu Freisetzungsrates zwischen 2,6% und 3,5% führten. Das Øresund-Projekt wird aufgrund vergleichbarer Baggertechnik als das beste Referenzprojekt für das Fehmarnbelt-Projekt betrachtet.

Weiterhin bestand das mit mechanischen Baggern im Øresund ausgehobene Material hauptsächlich aus Geschiebemergel. Geschiebemergel ist ebenfalls die Bodenart mit dem mit Abstand größten Aushubvolumen im Fehmarnbelt (vgl. Erläuterungsbericht, Anlage 1 der 2. Planänderungsunterlagen, Kapitel 7.3.2, Tab. 7.5, S. 214).

Im Fehmarnbelt-Projekt werden Aushubgeräte mit größerer Aushubkapazität als im Øresund-Projekt eingesetzt. Die Schaufelbagger im Fehmarnbelt-Projekt werden mit hydraulisch gesteuerten Tieflöffeln mit einer Löffelgröße von bis zu etwa 25 m³ ausgestattet sein, während die Greifbagger voraussichtlich eine Schaufelgröße von bis zu etwa 10 m³ haben werden (Anlage 27.1 der 2. Planänderungsunterlagen, Kapitel 3.1.3.1, S. 26). Eine Zunahme des Schaufelvolumens reduziert die Sedimentfreisetzungsraten, da bei größeren Schaufeln die Fläche ‚freien‘ Bodens an den Schaufelrändern im Verhältnis zum Schaufelvolumen geringer ist. Zudem kommen größere Schaufeln mit weniger Greifvorgängen aus, was die Gesamtfreisetzung ebenfalls reduziert.

Weiterhin ist die Strömungsgeschwindigkeit im Øresund im allgemeinen höher als im Fehmarnbelt, und starke Strömungsverhältnisse treten im Øresund weitaus häufiger auf. Da eine höhere Strömungsgeschwindigkeit i.d.R. die Sedimentfreisetzung erhöht, wird das Fehmarnbelt-Projekt voraussichtlich eine geringere Sedimentfreisetzung aufweisen als das Øresund-Projekt.

Die Freisetzungsraten von 3,5% werden auch im Vergleich zu den anderen oben genannten Erfahrungen als konservativ betrachtet, da der Großteil der genannten Freisetzungsraten unter 3,5% liegt und sich die wenigen Freisetzungsraten, die über diesem Wert lagen, durch Bedingungen erklären lassen, die vom Fehmarnbelt abweichen (insb. Bodenarten und Größe des Baggergeräts).

Landgewinnung

Für die Erstellung der Landgewinnungsflächen wurde in der Sedimentverdriftungsmodellierung gemäß UVS eine Freisetzungsraten von 0,5% angesetzt. Basierend auf den Erfahrungen aus dem Øresund-Projekt ist das ein konservativer Ansatz, da im Øresund-Projekt eine Freisetzungsraten von durchschnittlich 0,2% (0,1% - 0,3%) für die Erstellung der Landgewinnungsfläche dokumentiert wurde (bezogen auf die gesamte im Projekt ausgehobene Bodenmenge).

Umschließungsdämme

Die für den Bau der Schutzdämme angesetzten Freisetzungsraten basieren ebenfalls auf den Erfahrungen vom Øresund-Projekt. Die folgenden Sedimentfreisetzungsraten wurden für den Bau von Umschließungsdämmen und Wellenbrechern angesetzt:

- Herstellung der Umschließungsdämme mit Baggergut: 0,7%.
Es wird erwartet, dass das bei der Herstellung der Umschließungsdämme mit den Arbeiten eine höhere Freisetzungsraten einhergeht, als bei Arbeiten hinter geschlossenen Dämmen. Basierend auf dem Øresund-Projekt, bei dem die durchschnittliche Freisetzung 0,2% betrug, wird eine Rate von 0,7% als konservativ für die Arbeiten im Fehmarnbelt betrachtet.

- Verwendung von extern gewonnenem Sand für die Herstellung von Umschließungsdämmen: 0,8%.
Der Sand von Kriegers Flak enthält einen sehr geringen Feinkornanteil, daher wird ein Wert von 0,8% als konservativ angesehen. Die Freisetzung bei Sand liegt etwas höher, als bei Baggergut aus dem Graben, da der Sand an stärker (strömungs-)exponierten Bereichen der Dämme (z.B. Außenbereich) eingesetzt wird.
- Herstellung von Steinschüttungen: 0,1%.
Der Wert basiert auf den Erfahrungen vom Øresund-Projekt, bei dem 0,07% ermittelt wurden.

Hinterfüllen des Tunnelgrabens

Für das Hinterfüllen des Tunnelgrabens wurden Sedimentfreisetzungsraten angenommen, die denen zum Bau von Umschließungsdämme ähneln:

- Einbringen des Auffüllsandes: 0,8%.
- Aufbringen der Schutzschicht: 0,1%.

Beim Fehmarnbelt-Projekt ist eine Gesamtfreisetzung von 53.000 t für die Hinterfüllung eingeplant. Dies entspricht einer Freisetzung von 3 t/lfd.m Grabenlänge. Beim Øresund-Projekt wurde eine Freisetzung von 2.768 t im Rahmen dieser Arbeitsschritte gemessen. Dies entspricht 0,8 t/lfd.m. Basierend auf diesem Vergleich können die Zahlen, die in der UVS angesetzt wurden, als konservativ angesehen werden.

2.4 Fazit

Die für die Berechnung der projektbedingt freigesetzten Sedimentmengen verwendeten Freisetzungsraten basieren auf Erfahrungswerten der Vorhabenträger und ihren Fachgutachtern sowie international publizierten Daten. Die angesetzten Freisetzungsraten sind plausibel und im Vergleich mit Daten anderer Projekte als konservativ anzusehen.

Die verwendeten Freisetzungsraten resultieren, zusammen mit den berechneten Bodenvolumina und den erfassten Bodenkenngrößen, in den maximal erlaubten Sedimentmassen, die während der Bauarbeiten im Fehmarnbelt freigesetzt werden dürfen. Diese Sedimentmengen sind den ausführenden Bauunternehmen vertraglich vorgegeben und ihre Einhaltung muss im Rahmen der Bauüberwachung sichergestellt und dokumentiert werden.

2.5 Literatur

Aarninkhof S.G.J., Spearman J., de Heer A.F.M. and van Koningsveld M. (2010), Dredging-induced turbidity in a natural context, status and future perspective of the TASS Program. Proceedings of the 19th World Dredging Conference (WODCON XIX), Beijing (China)

Burt T.N., Land J. and Ottern J. (2007) "Measurement of Sediment Release from a Grab Dredge in the River Tees, UK, for the Calibration of Turbidity Prediction Software. Proc. 18th World Dredging Conference, Orlando, May 2007.

John S. A., Challinor S.L., Simpson M., Burt T.N. and Spearmann J., (2000) "Scoping the Assessment of Sediment Plumes from Dredging" CIRIA report C547, London 2000.

Land J.M., Clarke D., Reine K., Dickerson C., (2007) "Acoustic Determination of Sediment Loss Terms for Mechanical Dredging Operations at Providence, RI, USA." Proc. 18th World Dredging Conference, Orlando, May 2007.

Lorenz R., 1999, Spill from Dredging Activities; Proceedings of the Øresund Link Dredging & Reclamation Conference, 199, Copenhagen, Denmark, Ed. Iversen & Mogensen, pp 309.

Pennekamp J.G.S., Epskamp R.J.C., Rosenbrand W.F., Mullie A., Wessel G.L., Arts T. and Deibel I.K., (1996) "Turbidity Caused by Dredging; Viewed in Perspective". Terra et Aqua, 64, pp 10-17.

VBKO, 2003. Protocol for the Field Measurement of Sediment Release from Dredgers. VBKO report

3. Interpretation und Bewertung von Simulationsergebnissen

Der Aspekt „Interpretation und Bewertung von Simulationsergebnissen derart, dass „auf der sicheren Seite liegende“ Prognosen abgeleitet werden“ wird von der BAW in mehreren Einzelfragen aufgegriffen und es werden daraus drei konkrete Empfehlungen bzw. Fragestellungen abgeleitet (Nr. 1, 2 und 4).

3.1 Wie ist eine weitergehende Interpretation und Bewertung der Berechnungsergebnisse in die Wirkungsprognose eingeflossen?

In ihrer Stellungnahme weist die BAW darauf hin, dass es für die Berechnung des Sedimenttransports – im Gegensatz z.B. zur Hydrodynamik – noch keine geschlossene, vollständig auf Naturgesetzen basierende Theorie gibt. Daher sei es notwendig, neben den Modellergebnissen auch eine weitergehende Interpretation und Bewertung der Modellergebnisse in der Auswirkungsprognose zu berücksichtigen. Die quantitativen Aussagen in der Auswirkungsprognose seien nicht allein auf Modellergebnisse, sondern auch durch projektbegleitende Naturuntersuchungen oder Projekterfahrung (z.B. Beweissicherung bei ähnlichen Projekten) zu stützen (Kap. 3.1.2 der BAW-Stellungnahme).

Die Vorhabenträger und ihre Fachgutachter (hier insbesondere DHI) sind sich der großen Bedeutung von Projekterfahrung und projektbegleitenden Naturuntersuchungen für eine Validierung der Aussagen von Sedimenttransportmodellen bewusst. DHI hat jahrzehntelange Erfahrung in Forschung, Entwicklung und Anwendung von Simulationssoftware zur Berechnung von Sedimentausbreitung und der messtechnischen Erfassung von Sedimentverdriftung. Sowohl der Vorhabenträger Femern A/S als auch DHI verfügen über umfangreiche Erfahrung mit großen marinen Infrastrukturprojekten in der Westlichen Ostsee. Mitarbeiter, die maßgeblich am Projekt Feste Fehmarnbeltquerung beteiligt waren oder sind, waren bereits bei der Planung, Ausführung und insbesondere bei der umweltfachlichen Begleitung der Festen Querung des Großen Belts und des Öresunds beteiligt.

Wie auch in den anderen Querungsprojekten haben im Projekt Feste Fehmarnbeltquerung vielfältige projektbegleitende Naturuntersuchungen stattgefunden und werden im weiteren Projektverlauf stattfinden. Mit den Messdaten der umfangreichen Bestandserfassung (UVS, Anlage 15 der Planfeststellungsunterlagen, Anhang A Methodik) sind z.B. die hydrodynamischen und Seegangmodelle erfolgreich kalibriert und validiert worden (UVS, Anhang A Methodik, Kapitel 0.1.2.2.3.4., S. 45 ff.). Weiterhin wurde auf Basis von Feld- und Laborversuchen das Sedimenttransportmodell parametrisiert (UVS, Anhang B Methodik, Kapitel 0.3.4.1.4.1., S. 810 ff.). Informationen zu den unterschiedlichen Arten und Zielen von im weiteren Projektverlauf folgenden Naturuntersuchungen finden sich in den Schutz- und Überwachungskonzepten der Planfeststellungsunterlagen (Anlagen 22.1 bis 22.9). Für die Dokumentation der Umweltfolgen durch die projektbedingte Sedimentfreisetzung kommt hier insbesondere dem Monitoringkonzept zur marinen Umwelt (Anlage 22.9) besondere Bedeutung zu. Ein ausdrückliches Ziel dieses Monitorings ist, die Auswirkungen im Zusammenhang mit dem Pro-

jekt während der Bauphase zu erfassen und bewerten. Darunter fällt maßgeblich auch die primäre Belastung durch Sedimentfreisetzungen infolge von Aushub- und Landgewinnungsarbeiten.

Die Verdriftung und Sedimentation des während der Bauphase frei gesetzten Meeresbodenmaterials wurde mit Hilfe des Sedimenttransportmodells MIKE 3 FM MT berechnet, welches für die Bedingungen im Fehmarnbelt aufgebaut und kalibriert wurde. Eine Zusammenfassung der Modellmethodik findet sich in „Methodik und Daten für die Modellierung der Sedimentverdriftung“, 14.01.2018. Das projektbedingt freigesetzte Sediment wird im Modell von der Quelle bis zu einem finalen Ablagerungsort (z.B. Arkonabecken) verfolgt. Auf dem Weg kommt es wiederholt zu Deposition (Ablagerung) und Erosion (Wiederaufwirbelung oder Resuspension). Mit der ersten Ablagerung werden die frei gesetzten Sedimente in der Natur Teil des natürlichen Transportgeschehens in der Fehmarnbeltregion. In der Transportmodellierung werden die projektbedingt frei gesetzten Sedimente hingegen isoliert betrachtet und es werden entlang des gesamten Weges die Umweltauswirkungen der projektbürtigen Sedimente (hervorgehoben durch temporäre Trübung und Ablagerung) ermittelt und bewertet.

Diese Art der Betrachtung der Projektwirkung Sedimentfreisetzung führt zu einer vorsorglichen Prognose der Umweltauswirkungen. Zum einen führt die isolierte Betrachtung der projektbedingten Sedimente dazu, dass deren Wirkung losgelöst von der – oft dominierenden – natürlichen Sedimentfracht betrachtet wird. Die BAW betont hierzu, dass „projektbezogen eingetragene Sedimente einen umso höheren Einfluss auf die Gesamtkonzentration im Wasserkörper haben, je geringer die natürliche Hintergrundkonzentration ist“ (Hinweise zu Fragen der Planfeststellungsbehörde, Kapitel 5.2.1, S. 20; vergleiche auch „Ergänzende Erläuterungen zur Sedimentverdriftung“, Materialband M-09-00 der 2. Planänderungsunterlagen, Kapitel 3.9, S. 56 ff.).

Ebenso werden durch die isolierte Betrachtung Wechselwirkungen von natürlichem und projektbürtigem Sediment auf dem Meeresboden ignoriert. In Gebieten, in denen projektbezogenes abgelagertes Sediment erodiert wird, wird die verfügbare Energie für die Erosion von projektbürtigem Sediment genutzt. Bei der Bewertung der Auswirkungen auf die Meeresbiologie wird grundsätzlich auch die Wirkung von natürlichen Sedimenten mit einbezogen, ohne anzunehmen, dass weniger Energie für die natürliche Erosion zur Verfügung steht. Das bedeutet, dass die in den ökologischen Modellen verwendete totale suspendierte Sedimentkonzentration überschätzt wird (Methodik und Daten für die Modellierung der Sedimentverdriftung Kapitel 4.3.5.1, S. 25; UVS, Anhang C, Anlage 15 der Planänderungsunterlagen, Kapitel 4.2.4.2, S. 98).

Weiterhin sorgen die Nichtberücksichtigung von Konsolidierung und Bioturbation sowie der Einfluss von Muscheln für eine vorsorgliche Prognose der projektbedingten Auswirkungen der Sedimentverdriftung. Details hierzu finden sich in „Methodik und Daten für die Modellierung der Sedimentverdriftung“ Kapitel 4.3.5, S. 25 f. sowie UVS, Anhang C, Anlage 15 der Planänderungsunterlagen, Kapitel 4.2.4, S. 97 ff..

In Kapitel 3.3 dieses Dokuments wird am Beispiel der benthischen Flora und Fauna beschrieben, wie die Daten aus der Sedimenttransportmodellierung in der biologischen Auswirkungsprognose interpretiert und bewertet wurden.



3.2 Es soll beispielhaft gezeigt werden, dass die Interpretation und Bewertung der Berechnungsergebnisse trotz vereinfachender Annahmen in der Modellierung und teilweise eingeschränkter Belastbarkeit der Modellergebnisse (siehe z.B. UVS, Anlage 15, Anhang A, Seite 103) vorsorgeorientiert erfolgt ist.

Die BAW stellt fest, dass die in den Modellen getroffenen Annahmen und Vereinfachungen zulässig sind. Allerdings sei nicht immer nachvollziehbar, welche Wirkungen damit im Einzelnen verbunden seien und wie diese in der Auswirkungsprognose berücksichtigt wurde. Als Beispiel führt die BAW die Modellgrundlagen zur Berechnung des bodennahen Sedimenttransports an (Anlage 15, Anhang A, S. 103).

Als weiteres Beispiel wird hier die Behandlung des Tunnelgrabens in den numerischen Modellen beschrieben.

Beispiel Behandlung Tunnelgraben

Die numerischen Modelle zu Hydrodynamik und Sedimentverdriftung bilden in ihren Rechnegittern den Meeresboden im Fehmarnbelt ohne den Tunnelgraben ab.

Diese Vereinfachung ist zulässig, da die Berücksichtigung des Tunnelgrabens für die Beschreibung der projektbedingten Auswirkungen in der Fehmarnbeltregion und darüber hinaus weder für die Hydrodynamik (Strömung, Wasseraustausch Ostsee/Nordsee) noch für die projektbedingte Sedimentverdriftung von Bedeutung ist (vgl. „Ergänzende Erläuterungen zur Sedimentverdriftung“, Materialband M-09-00 der 2. Planänderungsunterlagen, Kapitel 3.1, S. 22 ff.). Dieser Beurteilung folgt die BAW in ihrem Gutachten (z.B. Kapitel 3.1.2, S. 3).

Für relevante Auswirkungen im Tunnelgraben (z.B. Auswirkungen auf die Wasserqualität) wurde ein Detailmodell des Grabens erstellt (Anlage 30.3 der Planänderungsunterlagen).

Zudem ist diese Vereinfachung im Modell vorsorglich, da ein Teil der im Modell bodennah freigesetzten Sedimente in Realität im Tunnel verbleiben wird. Zudem wird der Graben in der Realität als Sedimentfalle wirken und dem Sedimenttransportregime ‚Material entziehen‘. Im Modell findet dies nicht statt (siehe auch BAW Stellungnahme, Kapitel 3.1.2., S. 3).

Beispiel natürlicher, bodennaher Sedimenttransport

Zur Prognose der natürlichen Wiederverfüllung des Tunnelgrabens und der Wiederherstellung der ursprünglichen Bodenformen nach Bauende wurde der natürliche Stofftransport am Meeresboden berechnet. Diese Berechnung diente ebenso der Prognose der während der Bauphase im offenen Tunnelgraben anfallenden Sedimentmengen.

Die bodennahen Transportraten werden wesentlich durch die hydrodynamischen Bedingungen am Meeresboden (Schubspannungsverteilung durch Strömung und Wellenbewegung) sowie Art und Verteilung von losem Sediment am Meeresboden bestimmt.

In der UVS, Anlage 15 der Planfeststellungsunterlagen, Anhang A Methodik, S. 99 ff. werden die Grundlagen der modellgestützten Prognose dargestellt. Im Kapitel Kalibrierung / Validierung wird auf Seite 103 insbesondere auf die bodennahe Strömungsgeschwindigkeit und die Sedimentstruktur am Meeresboden eingegangen.

Bodennahe Strömungsgeschwindigkeit

Die bodennahen berechneten Strömungsgeschwindigkeiten wurden mit Hilfe von Messdaten aus dem Erfassungsjahr 2009 kalibriert und validiert. Hierbei zeigte sich eine Überschätzung von einem Strömungsspeak an Station MS01 bzw. 2 Peaks an Station MS02 im Monat Oktober um jeweils ca. 0,1 - 0,2 m/s (vgl. UVS, Anlage 15 der Planfeststellungsunterlagen, Anhang A Methodik, Abb. 0-44 bis 0-47, S. 92ff., Lage der Stationen: Abb. 0-43, S. 91), bei absoluten Strömungsgeschwindigkeiten im Modell von über 0,6 m/s. An diesen einzelnen Spitzenwerten der modellierten Strömungsgeschwindigkeit wird die Sedimenttransportrate vom Modell überschätzt. Während des übrigen Zeitraums in 2009 (über 97% der Zeit) liegt keine generelle Über- oder Unterschätzung der Messwerte vor. In diesem Zeitraum stimmen Modell und Messung gut überein, die bodennahen Strömungsgeschwindigkeiten werden naturnah wiedergegeben.

Im Zeitraum 2005 – auf dem die in der Auswirkungsprognose angegebenen Wiederverfüllzeiten beruhen - kommen keine solch hohen bodennahen Strömungsgeschwindigkeiten über 0,5 m/s im Modell vor (vgl. Abb. 0-48, S. 98). Dadurch ist die Überschätzung der im Prognosezeitraum berechneten bodennahen Strömungsgeschwindigkeiten durch einzelne überschätzte Extremereignisse auszuschließen. Die daraus berechneten Sedimenttransportraten sind als naturnah anzusehen..

Sedimentstruktur am Meeresboden

Die Art und Verteilung der Sedimente am Meeresboden zur Prognose der Sedimenttransportraten basiert auf der für die Bestandsaufnahme durchgeführten Bodenprobennahme im Rahmen der Substratkartierung (vgl. UVS, Anlage 15 der Planfeststellungsunterlagen, Band II A, Kapitel 3.3.3.3., Abb. 3-94, S. 253). Die Proben zeigen eine große Heterogenität der Korngrößenverteilung entlang der Tunneltrasse, was auf eine unregelmäßige Verteilung von groben und feinen Sedimentflächen im Fehmarnbelt schließen lässt. Um dieser Unsicherheit bzgl. der genauen und natürlich veränderlichen Verteilung der Sedimente Rechnung zu tragen, wurden die Sedimenteigenschaften im Modell zur Prognose der Transportraten variiert. Aus dieser Variation wurde eine Bandbreite möglicher Transportraten berechnet. Deren untere und obere Verteilung entlang der Tunneltrasse werden in der UVS, Band II A, Kapitel 3.3.3.5., Abb. 3-104 und 3-105, S. 269 f. dargestellt. Auf Basis dieser Transportraten wurden die Wiederverfüllzeiten des Tunnelgrabens nach Bauende sowie die Regenerationszeiten der Bodenformen vorsorgeorientiert prognostiziert. Der Eingang der Bandbreite möglicher Transportraten spiegelt sich in der angegebenen Spanne der Zeiträume in der Auswirkungsprognose wider (vgl. UVS, Band IV B, Tab. 8-113, S. 2775).

3.3 Wie sind in der Umweltprognose die Eingangsdaten (Sedimentkonzentrationen, -rate) aus dem Verdriftungsszenario weiterverarbeitet worden, und warum liegen die dort abgeleiteten Prognosen zur Betroffenheit der Makrophytenbestände auf der sicheren Seite?

Die vorhabenbedingten Schwebstoffe und Sedimentablagerungen sind die wesentlichen Wirkfaktoren, die während der Bauphase der FBQ auf die benthische Flora (Makrophyten) und die benthische Fauna einwirken.

Die Prognose und Bewertung der zu erwartenden Auswirkungen erfolgte i. d. R. nach dem in Anlage 15, Anhang B, Kap. 0.3.2. beschriebenen Prognoseverfahren. Hierbei wird die Wirkintensität des Wirkfaktors des Vorhabens mit der Empfindlichkeit des betroffenen Schutzgutes verschnitten. Im Ergebnis ergibt sich ein Beeinträchtigungsgrad von gering bis sehr hoch:

Tabelle 3: Verknüpfungsmatrix zur Bewertung der Schwere von Beeinträchtigungen bei zweistufiger Empfindlichkeit/Bedeutung (Anlage 15, Anhang B, Kap. 0.3.2., Tabelle 0-224, S. 673)

Wirkintensität	Empfindlichkeit des Schutzgutes, Teilschutzgutes, Funktionselementes (zwei Stufen)			
	besonders	allgemein		
sehr hoch	in der Regel Funktionsverlust, im Einzelfall zu begründen			
hoch	sehr hoch ****	hoch ***		
mittel	hoch ***	mittel **		
gering	mittel **	gering •		
Schwere der Beeinträchtigung	**** sehr hoch	*** hoch	** mittel	• gering

Tabelle 4: Verknüpfungsmatrix zur Bewertung der Schwere von Beeinträchtigungen bei vierstufiger Empfindlichkeit (Anlage 15, Anhang B, Kap. 0.3.2., Tabelle 0-225, S. 674)

Wirkintensität	Empfindlichkeit des Schutzgutes, Teilschutzgutes, Funktionselementes (vier Stufen)			
	sehr hoch	hoch	mittel	gering
sehr hoch	in der Regel Funktionsverlust, im Einzelfall zu begründen			
hoch	sehr hoch ****	hoch ***	hoch ***	mittel **
mittel	hoch ***	hoch ***	mittel **	gering •
gering	mittel **	mittel **	gering •	gering •
Schwere der Beeinträchtigung	**** sehr hoch	*** hoch	** mittel	• gering

Nachfolgend wird das Vorgehen der Auswirkungsprognose und Bewertung für die benthische Flora und die benthische Fauna für die beiden Wirkfaktoren beschrieben.

Benthische Flora - Schwebstoffe

Erhöhte Schwebstoffgehalte während der Bauphase können zu einer Verringerung der Lichtverfügbarkeit führen und somit das Wachstum/die Biomasseproduktion der benthischen Flora

beeinflussen. Zur Ermittlung der zu erwartenden verringerten Wachstumsrate/Biomasseproduktion während der Bauzeit wurde ein ökologisches Modell genutzt (vgl. Anlage 15, Anhang B, Kap.0.3.4. S. 795).

Zur Ermittlung der projektbedingten Auswirkungen auf die Biomasse der Makrophyten wird das ökologische Modell um Modellorganismen als Zustandsvariablen (vgl. Anlage 15, Anhang B, Kap. 0.3.4.5.1) und externe Prozesse sowie interne Prozesse ergänzt. Dabei beschreiben die externen Prozesse die Abhängigkeiten der Biomasse von der abiotischen Umwelt (vgl. Anlage 15, Anhang B, Kap. 0.3.4.5.2), während die internen Prozesse Abhängigkeiten von physiologischen Umsatzraten innerhalb der Pflanzen darstellen (vgl. Anlage 15, Anhang B, Kap. 0.3.4.5.3). Die Ergebnisse des Sedimenttransportmodells zur Ausbreitung der Schwebstoffe wurden dabei in das ökologische Modell überführt.

Wie in Anlage 15, Band III, Kap. 5.2.5.2, S. 1924 dargestellt „[...] berechnet [das Modell] die Entwicklung der Biomasse akkumulierend, also integrierend, über alle Jahre, in denen Beeinträchtigungen durch Schwebstoffe (Lichtreduktion) messbar sind. Das bedeutet, dass eine vom Modell prognostizierte verringerte Biomasseproduktion für das dritte Baujahr die Auswirkung der Lichtabschwächung für aller drei Baujahre umfasst und nicht nur die Auswirkungen des 3. Baujahres. Wiederkehrende Beeinträchtigungen auf Grund von Schwebstoffen sind somit direkt im Modell erfasst und berücksichtigt.“

Als Referenz für die anschließende Bewertung wurde zudem die Biomasseentwicklung ohne Beeinträchtigungen modelliert, ebenfalls wieder akkumulierend über den gleichen Zeitraum (vgl. Anlage 15, Anhang B, Kap. 0.3.4.5.5).

Für die Prognose der Auswirkungen wurde zunächst ein Schwellenwert definiert, bei dessen Überschreitung von einer Auswirkung auszugehen ist. Hierzu wurde anhand von Zeitreihen aus dem Fehmarnbelt und dem Øresund die natürliche Biomassevariabilität der verschiedenen Vegetationsformen bestimmt. Demnach liegt die natürliche Variabilität in den einzelnen Jahren bei 10 bis 25 %. In Anlage 15, Band III, Kap. 5.2.6.2 wird hierzu weiter ausgeführt, dass „[da] sich die einzelnen Arten und damit auch Pflanzengemeinschaften hinsichtlich ihrer natürlichen Biomassevariabilität stark unterscheiden, die Datengrundlage aber nicht ausreicht um unterschiedliche Schwellenwerte je nach Pflanzengemeinschaften festzulegen, [...] in einem konservativem Ansatz die 10 % Biomassereduktion (also die untere Grenze der mittleren natürlichen gemessenen Biomassevariabilität) als unterer Schwellenwert für die Beeinträchtigung durch Schwebstoffe definiert [wurde].“

Zusätzlich wird in „Ergänzende Erläuterungen zur Sedimentverdriftung“, Materialband M-09-00 der 2. Planänderungsunterlagen folgendes ausgeführt (Kap. 4.6, S. 77):

„Die Zeitreihen ergaben je nach Vegetationsform (Makroalgen bzw. Seegras) eine natürliche Biomassevariabilität von durchschnittlich 10 bis 25 % (Maximum 36 %) zwischen einzelnen, klimatisch unterschiedlichen Jahren. Solche Biomasseschwankungen sind also der Regelfall und das Ökosystem ist auf diese Schwankungen angepasst. Es kann seine Ökosystemfunktio-

onen unter solchen Verhältnissen uneingeschränkt erfüllen. Erst wenn die Biomasseschwankungen größer ausfallen, kann davon ausgegangen werden, dass Veränderungen von Ökosystemfunktionen eintreten können.[...]

Das bedeutet, dass für die überwiegende Zahl der Arten und Gemeinschaften projektbedingte Biomasseschwankungen bereits als Auswirkungen gewertet werden, obwohl diese noch im Bereich der natürlichen Schwankungsbreite liegen. Damit wird sichergestellt, dass es nicht zu einer Unterschätzung der Auswirkungen kommen kann.“

Hierdurch wird auch einer möglichen modellbedingten Unschärfe bei der Ermittlung der zu erwartenden projektbedingten Schwebstoffkonzentrationen, die grundsätzlich einem konservativen Ansatz entsprechen (siehe Kapitel 4.1 oben) in einem angemessenen Umfang Rechnung getragen. Die Wirkschwelle ist so niedrig angesetzt, dass bereits bei Überschreitung der unteren Grenze der natürlichen Variabilität der Biomasse eine Beeinträchtigung prognostiziert wird.

Die Darstellung der zu erwartenden verringerten Biomasseproduktion erfolgt in Anlage 15, Band IV B, S. 2892/2893 beispielhaft für das zweite Baujahr, da hier die höchsten temporären Schwebstoffkonzentrationen prognostiziert werden. In Anlage 19 erfolgt die Darstellung für die betroffenen Lebensraumtypen für alle Baujahre getrennt (bspw. Teil B III, S. 75, Teil B VIII, S. 47/48, 60, 70). Auch in Anlage 20 erfolgt eine entsprechende Darstellung für die verschiedenen Wasserkörper (bspw. Kap. 5.7.1.3.2).

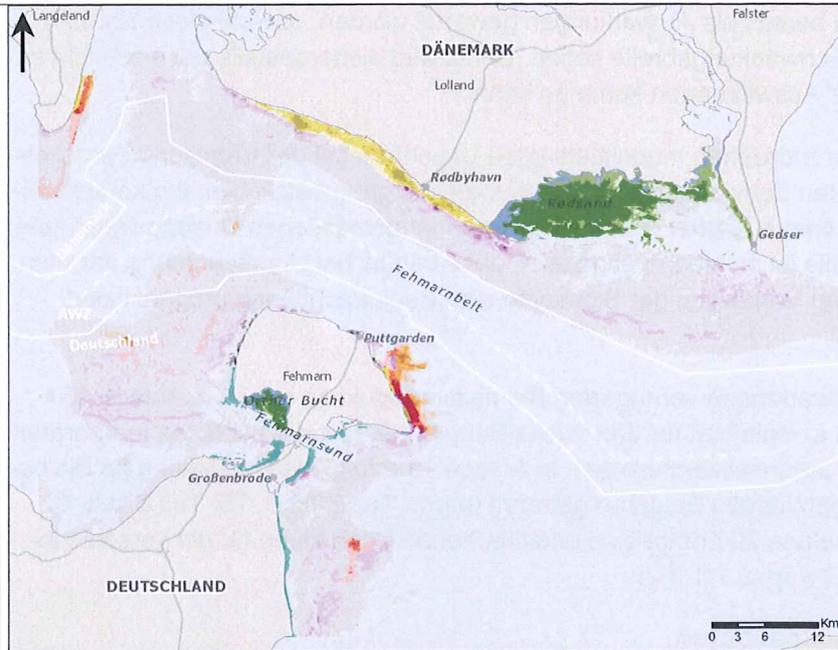
Benthische Flora – Sedimentation

Die Prognose der zu erwartenden Auswirkungen auf die benthische Flora infolge von zeitweiligen Sedimentablagerungen erfolgt nach dem eingangs beschriebenen Verfahren.

Die Wirkintensität ergibt sich aus dem mittels des Sedimenttransportmodells ermittelten Sedimentationshöhen, der Verweildauer des Sedimentes sowie des saisonalen Zeitpunktes der Ablagerung. Entscheidend ist die Höhe der Sedimentationsschicht, die sich für eine bestimmte Anzahl Tage innerhalb der Vegetationsperiode absetzt. Dabei bleibt unberücksichtigt, ob sich die Sedimentschicht über einen Zeitraum aufbaut oder durch ein Einzelereignis momentan entsteht.

Exkurs- Berücksichtigung der Vegetation bei der Festlegung der Erosionsschubspannung

Bei der Festlegung der Erosionsschubspannung wurde, wie in Anlage 15, Anhang B, S. 821 dargelegt, Flächen mit Seegrasbewuchs eine höhere Erosionsschubspannung zugeordnet als den übrigen Bereichen des Fehmarnbelts. Wie sich aus Abbildung 0-246 (Anlage 15, Anhang B, S. 822) ergibt, sind dies nicht allein die Flächen der Rødsand Lagune. Vielmehr wurde grundsätzlich für Flächen mit Weichbodengemeinschaften (vgl. Anlage 15, Band II A, Tabelle 3-33, S. 381 und nachfolgende Abbildung, Weichboden=Seegras und Seegras/Algen) und natürliche Depositionsbereiche eine erhöhte Erosionsschubspannung angenommen. Die nachfolgende Gegenüberstellung der Karte zur Erosionsschubspannung und der Bestandskarte der benthischen Flora verdeutlicht dies noch einmal. Die im Fehmarnbelt vorkommenden Hartbodengemeinschaften besiedeln mit Ausnahme der Saccharina-Gemeinschaft, die auch instabiles Hartsubstrat kleinerer Korngröße und Miesmuscheln besiedelt, stabiles Hartsubstrat.



Pflanzengemeinschaften	Fucus: 25-50%	Saccharina: 25-50%
Gemeinschaft: Bedeckung	Fucus: 50-100%	Saccharina: 50-100%
Seegras: 10-25%	Furcellaria: 10-25%	Meersalden/Zwergseegras: 50-100%
Seegras: 25-50%	Furcellaria: 25-50%	Fädige Algen: 10-25%
Seegras: 50-100%	Furcellaria: 50-100%	Fädige Algen: 25-50%
Seegras/Algen: 10-25%	Phycodrysl/Delesseria: 10-25%	Fädige Algen: 50-100%
Seegras/Algen: 25-50%	Phycodrysl/Delesseria: 25-50%	Vegetation: 0-1%
Seegras/Algen: 50-100%	Phycodrysl/Delesseria: 50-100%	Vegetation: 1-10%
Fucus: 10-25%	Saccharina: 10-25%	

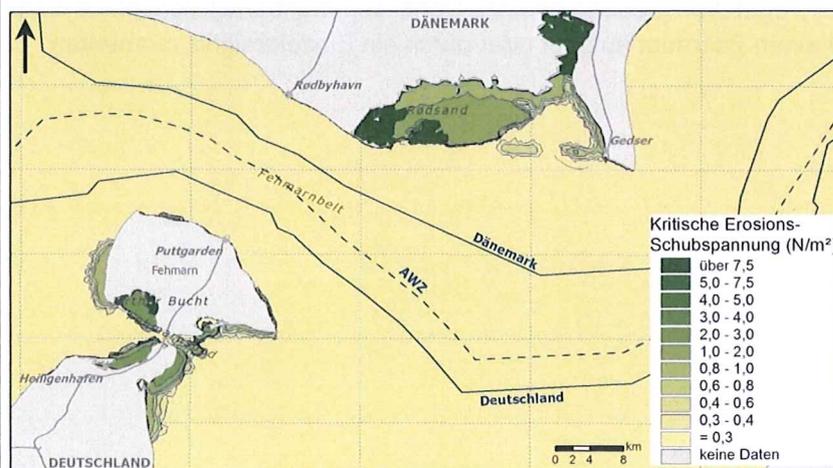


Abbildung 1: Verteilung und Häufigkeit (Bedeckung) der verschiedenen Pflanzengemeinschaften im Untersuchungsgebiet (oben, Anlage 15, Band II A, S. 385) und Karte der kritischen Erosionsschubspannungen (unten, Anlage 15, Anhang B, S. 822)

In Anlage 15, Band B III, Kap. 5.2.6.3 sowie in „Ergänzende Erläuterungen zur Sedimentverdriftung“, Materialband M-09-00 der 2. Planänderungsunterlagen, Kap. 4.6, S. 77 ff. wird die Herleitung der Schwellenwerte erläutert:

- Basierend auf den Erkenntnissen aus den DYNAS-Modellkalkulationen (Dynamik natürlicher und anthropogener Sedimentation) für den Bereich des Fehmarnbells (Harff 2005, Harff et al. 2006) wurde eine durchschnittliche natürliche Sedimentverweildauer von 10 Tagen ermittelt. Da im Sommer die Resuspensionsereignisse seltener sind als dieser Wert, ist unter natürlichen Bedingungen von einer längeren Verweildauer auszugehen, d.h. die vorkommenden Pflanzengesellschaften sind an längere Überdeckungsphasen angepasst. Der definierte Schwellenwert ist somit vorsorglich, da er bereits bei einer im Verhältnis zu den natürlichen Resuspensionsereignissen kurzen Verweildauer von Auswirkungen ausgeht.
- Die Empfindlichkeit gegenüber Sedimentation ergibt sich als Kombination aus Wiederbesiedlungszeit und Unverträglichkeit. Grundlage für die Einstufung bilden Literaturangaben zu wesentlichen Faktoren der Wiederbesiedlungszeit und der Empfindlichkeit der charakteristischen Pflanzengemeinschaften sowie Experteneinschätzung (vgl. Anlage 15, Band III, Kap. 5.3.6.2). So kann bei Hartbodengemeinschaften eine Sedimentschicht bereits ab einer Höhe von wenigen Millimetern bei juvenilen Algen zu Auswirkungen führen, wenn diese über eine längere Zeit bestehen bleiben. Aus Erfahrungswerten von Sedimentationshöhen im Flachwasser (bis zu 50 mm) und tieferen Meeresbereichen (1–2 mm), in denen Hartbodengemeinschaften vorkommen, wurde daher der Wert von 2 mm als konservativer Schwellenwert übernommen.
Die Pflanzen der Weichbodengemeinschaften zeichnen sich durch einen aufrechten Wuchs und wenig Verzweigungen aus, was dazu beiträgt, dass sie wenige Möglichkeiten zur Ablagerung von Sedimenten bieten. Auch wird die Reproduktion dieser Pflanzen nicht durch Sedimentablagerungen beeinflusst, da sie sich entweder über Ausläufer vegetativ vermehren oder über Samen, die zum Keimen und Wurzel ausbilden Sediment benötigen.

Die basierend auf Fachliteratur und Expertenwissen getroffenen Annahmen für den Schwellenwert orientieren sich an den natürlichen Bedingungen im Fehmarnbelt und den physiologischen Eigenschaften der zu betrachtenden Pflanzenarten. Dabei werden kurze Verweildauern und die kleinsten Wuchsstadien als Referenz zur Ermittlung des Schwellenwertes herangezogen.

Hiermit wird auch einer ggf. bestehenden modellbedingten Unterschätzung der Überdeckung insbesondere der Hartbodengemeinschaften im Nahbereich begegnet:

- Der Schwellenwert für eine Überdeckung ist so gewählt, dass bereits bei geringsten Ablagerungen von wenigen mm (innerhalb natürlich vorkommender Werte) eine Auswirkung prognostiziert wird.
- Gleichzeitig ist die natürliche Resuspensionshäufigkeit während der Vegetationsperiode geringer als 10 Tage d.h. das Sediment wird typischerweise erst nach mehr als 10

Tagen wieder umgelagert, Grundsätzlich sind die Makrophyten daher während der Vegetationsperiode längeren Verweildauern ausgesetzt und vertragen diese ohne Auswirkungen. Trotzdem werden in der Auswirkungsprognose bereits 10 Tage als Auswirkung angesehen.

In Anlage 19, Teil B VIII, Kap. 6.2.4.1.1. werden die möglichen Auswirkungen auf Riffflächen im Nahbereich des Tunnelgrabens beschrieben und bewertet. Demnach sind westlich des Fährhafens für die benthische Flora Sedimentablagerungen von bis zu 4 mm und östlich des Fährhafens von bis zu 5 mm zu erwarten. Sedimentablagerungen dieser Mächtigkeit können die Fortpflanzung von Makroalgen beeinflussen, verursachen aber noch keinen ernsthaften physischen Stress in bereits etablierten Algenbeständen (vgl. Anlage 19, Teil A, Kap. 6.2.1.2.1.3. und Anlage 15, Band III, Kap. 5.2.6.3). Bei einer Sedimentationsmächtigkeit von > 1 cm kann es zwar für fädige Algen zu erhöhten Stress und einer damit einhergehenden Reduktion der Biomasseproduktion kommen, ein erhöhtes Absterben ist jedoch nicht zu erwarten. Hierfür spricht auch, dass bei einer Wuchshöhe von 10 cm nur ein geringer Teil der Pflanze überdeckt wird. Eine Reduktion der Biomasseproduktion kann bei den schnellwachsenden fädigen Algen spätestens während der folgenden Wachstumsperiode wieder ausgeglichen werden. Großalgen weisen eine Wuchshöhe von über 40 cm auf und sind daher in der Lage Sedimentablagerungen von > 1 cm zu ertragen. Es kann also festgestellt werden, dass selbst bei einer Verdoppelung der Sedimentation, keine Auswirkungen zu erwarten sind, die zu einer Gefährdung geschützter Bestände führen.

Die Prognosegrundlagen sind somit vorsorglich gewählt und die darauf aufbauende Auswirkungsprognose ist auf der sicheren Seite. Benthische Fauna – Schwebstoffe

Die Auswirkungen auf die benthische Fauna wurden anhand des eingangs dargestellten Prognoseverfahrens ermittelt und bewertet. Lediglich die Auswirkungen auf die Biomasse der Miesmuscheln werden mittels eines ökologischen Modells prognostiziert.

Benthische Fauna allgemein

Die Kriterien für die Wirkintensitäten auf die Faunagemeinschaften sind abgeleitet aus der Literatur und den Daten aus dem Modell zur Sedimentfreisetzung in die Wassersäule. Für die Einstufung der Wirkintensität wurden basierend auf Erkenntnissen aus der Fachliteratur die folgenden Rahmenbedingungen für die Dauer der Wirkung definiert (vgl. Anlage 15, Band III, Kap. 5.2.7.2.):

- Eine Wirkdauer unter einer Woche hat keine Auswirkungen auf die benthische Fauna, da alle Arten eine Woche ohne Nahrung überleben können und kein sofortiges Absterben zu erwarten ist. Eine mögliche Beeinflussung der Wachstumsraten kann durch die generell sehr hohe Wachstumsrate und den schnellen Aufbau von Biomasse ausgeglichen werden, sobald die Belastung nachlässt.
- Eine Wirkdauer von einer Woche bis einem Monat kann eine Auswirkung haben, wenn die Konzentration über 100 mg/l liegt. Eine erhöhte Sterblichkeit ist auch hier nicht zu erwarten, allerdings eine reduzierte Wachstumsrate.

Darüber hinaus gilt eine Schwebstoffkonzentration von 10 mg/l unabhängig von der Dauer als unterer Schwellenwert, da diese im Bereich der natürlich vorkommenden Konzentrationen liegt und auch die empfindlichsten Arten (Tunikaten) nicht negativ beeinflusst werden. Oberhalb dieses Schwellenwerts wird angenommen, dass sich die Schwebstoffkonzentration auf die Faunagemeinschaften auswirken kann.

Es werden somit generell bereits für geringe auch unter natürlichen Bedingungen auftretende Schwebstoffkonzentrationen Auswirkungen angenommen. Dies erfolgt aus Vorsorgegründen, um sicherzustellen, dass die Auswirkungen nicht unterschätzt werden.

Die Empfindlichkeit der zu betrachtenden Arten der benthischen Fauna wird durch die Unverträglichkeit (Intoleranz) und Wiederbesiedlungsfähigkeit bzw. -zeit bestimmt. In Anlage 15, Band III, Kap. 5.3.7. werden die beiden Eigenschaften für die im Untersuchungsgebiet vorkommenden benthischen Faunagemeinschaften basierend auf einer Literaturlauswertung beschrieben und bewertet:

- Die Wiederbesiedlungszeit (vgl. Anlage 15, Band III, Kap. 5.3.7.1.) wird anhand der typischen Lebensdauer bestimmt. Die Wiederbesiedlung einer *Corbula*-Gemeinschaft ist vergleichsweise schnell, da die Lebensdauer von *Corbula gibba* 1–2 Jahre beträgt. Ausgereifte *Cerastoderma*-Populationen bestehen aus verschiedenen Altersklassen, von denen die ältesten ca. fünf Jahre alt sind. Die typischen *Gammarus*-Arten erreichen ein Alter von ca. 2–5 Jahren. Hingegen benötigt die typischerweise mit stabilen Riffhabitaten assoziiert *Dendrodoa*-Gemeinschaft allgemein 5–10 Jahre, um stabile Populationen auszubilden. Stabile *Mytilus*-Gemeinschaften bestehen aus verschiedenen Altersklassen, wobei die ältesten zwischen fünf und zehn Jahre alt sind. Die wohl längste Lebensdauer weist die *Artica*-Gemeinschaft mit 30–35 Jahren auf. Basierend auf diesen Kenntnissen wurde die Wiederbesiedlungszeit in vier Klassen von sehr kurze Wiederbesiedlungszeit (< 2 Jahre) bis sehr lange Wiederbesiedlungszeit (>10 Jahre) unterteilt.
- Der Grad der Unverträglichkeit (vgl. Anlage 15, Band III, Kap. 5.3.7.2.) wird basierend auf Erkenntnissen aus der Literatur und zum Vorkommen der Gemeinschaften im Untersuchungsgebiet und den dort natürlicherweise vorherrschenden Bedingungen hergeleitet. So weisen typische Flachwassergemeinschaften eine geringe Unverträglichkeit aufgrund der in diesen Bereichen oft stark schwankenden Schwebstoffkonzentrationen auf, während Gemeinschaften in größeren Tiefen mit weniger schwankenden und oft auch niedrigeren Schwebstoffkonzentrationen eine höhere Unverträglichkeit aufweisen. Es werden hierbei keine Schwellenwerte definiert, es erfolgt lediglich eine Einstufung in eine relative Rangfolge.

Die Kombination der beiden Eigenschaften ergibt letztlich die Gesamtempfindlichkeit der Gemeinschaft (vgl. Anlage 15, Band III, Kap. 5.3.7.2., Tabelle 5-171).

Für die Prognose der zu erwartenden Auswirkungen werden aus jeder Zelle des Sedimenttransportmodells die Schwebstoffkonzentrationen der bodennahen Wasserschicht über sieben, 30 und 100 Tage mittels gleitender Mittelwerte ermittelt. Die höchste gefundene Wirkintensität innerhalb des Jahres wird als repräsentativ für eine bestimmte Modellzelle innerhalb des Untersuchungsgebietes angesehen und für die Bewertung der Auswirkungen verwendet. Es wird das längste ununterbrochene Ereignis zur Bestimmung der Wirkintensität in jeder Modellzelle benutzt.

Die Einstufung der Wiederbesiedlungszeit erfolgt vorsorglich, da als unterste Schwelle, die kürzeste bekannte Wiederbesiedlungszeit angenommen wird. Gleichzeitig liegt die Schwelle für eine sehr hohe Wiederbesiedlungszeit bei > 10 Jahren und damit noch unter der Lebensdauer der langlebigsten Gemeinschaften. Der Grad der Unverträglichkeit wurde unter Berücksichtigung der natürlichen Bedingungen eingestuft. Zusammen mit der vorsorglichen Einstufung der Wiederbesiedlungszeit ergibt sich so eine auf der sicheren Seite liegende Bewertung der Empfindlichkeit gegenüber erhöhten Schwebstoffkonzentrationen.

Miesmuscheln

Um die projektbedingten Auswirkungen auf Miesmuscheln zu ermitteln wurde ein ökologisches Modell aufgesetzt:

„Das gesamte ökologische Modell besteht aus drei Modulen: für das Pelagial (= Wasserqualität + Plankton), die Makrophyten und für die Miesmuscheln. Das pelagische Modul als Kernmodul betrachtet dabei im Wesentlichen die Prozesse in der Wassersäule und die Wechselwirkungen mit dem Sediment und dem Nährstoffkreislauf. Es basiert auf dem pelagischen ECOLab-Modell, das von DHI vertrieben wird (DHI 2007, DHI 2008) und bereits in verschiedenen dänischen und internationalen Studien verwendet wurde, u.a. auch für die Querung des Øresund. Es ist für das vorliegende Projekt erweitert worden. Diese Erweiterungen sind die Module für die Makrophyten und für Miesmuscheln. Sie beschreiben die Prozesse in den benthischen Algen und dem Seegras (Kapitel 0.3.4.5) sowie in den benthischen Miesmuscheln (Kapitel 0.3.4.6) und ergänzen so das Kernmodul um die wesentlichen Funktionen der benthischen Gemeinschaften im Fehmarnbelt.“ (Anlage 15, Anhang B, Kap. 0.3.4., S. 795 f.).

Die Bestimmung der Modellgüte erfolgt anhand zuvor definierter Gütekriterien (vgl. Anlage 15, Anhang B, Kap. 0.3.4., S. 797 f.). Die Dokumentation der Validierung erfolgt in Anlage 15, Anhang B, Kap. 0.3.4.6.4., S. 919 ff.. Das Modell zeigt insgesamt eine hohe Güte. Zudem wurde ein Sensitivitäts-Test durchgeführt, der überprüft, „ob das Modell adäquat auf Sedimenttransport mit den einhergehenden Projektwirkungen der Schwebstoffe und der Sedimentation reagiert und ob es Schwellen gibt, wo eine vergleichsweise geringe Änderung der Auswirkungsparameter eine große Änderung des Modellergebnisses bewirkt.“ (Anlage 15, Anhang B, Kap. 0.3.4., S. 798)

Im Ergebnis wird festgestellt, „dass sich die Reduktionen der Biomasse und Produktion durch das Testmodell errechnen lassen und höhere Schwebstoffkonzentrationen auch zu stärkeren Auswirkungen führen. Die Miesmuscheln reagieren nicht so stark auf die Schwebstoffe wie die

Pflanzen, da das Licht nicht die primäre Rolle spielt, sondern die Konzentration der Nahrung (Phytoplankton).“ (Anlage 15, Anhang B, Kap. 0.3.4.6.5., S. 928).

Die hohe Güte des Modells stellt sicher, dass die Auswirkungen auf die Miesmuschelbestände im Fehmarnbelt realistisch prognostiziert werden können.

Eingangsdaten für das ökologische Modell mit dem Modul Miesmuscheln sind abiotische Faktoren wie die räumliche und zeitliche Verteilung der Sedimentfreisetzung und die damit einhergehenden Schwebstoffe. Zusammen mit den wesentlichen Prozessen innerhalb der Muscheln (Wachstum, Biomasse, Fortpflanzung und Fraß) und den wichtigen Interaktionen mit der Umwelt (z. B. Wegfraß von Plankton) wird daraus direkt eine räumliche und zeitliche Veränderung der Miesmuschelbiomasse modelliert. Die Biomasse der Miesmuscheln im Fehmarnbelt zeigt natürlicherweise eine hohe räumliche Schwankungsbreite. Die Biomassen schwankten zwischen 106 g/m² in 6 m Wassertiefe vor Fehmarn und 212 g/m² in 10 m Wassertiefe vor Lolland. Auch bei der Längenverteilung sind innerhalb einer Station große Schwankungen vorhanden. Grundsätzlich sind jedoch kleine Muscheln mit Längen bis zu 35 mm häufiger anzutreffen als große adulte Tiere (vgl. Anlage 15, Band II A, Kap. 3.7.3.3.). Die Biomasse reduziert sich in den ersten zwei Baujahren rechnerisch aufgrund der geringeren Konzentration des Phytoplanktons (als Nahrungsorganismen der Miesmuscheln) um 1–1,5 g/m², in einzelnen Flachwasserbereichen auch um mehr als 3 g/m². Die maximale rechnerische Reduktion bleibt unter 10 % und ist damit geringer als die natürliche jährliche Variation von 13 %. Die Biomasse geht zudem nicht durch eine erhöhte Sterblichkeit verloren, sondern durch eine schlechtere Nahrungssituation der einzelnen Muscheln. Da die Biomasse der betroffenen Miesmuscheln typischerweise über 100 g/m² liegt ist die Reduktion vernachlässigbar und hat keine wesentlichen Auswirkungen. Im dritten und den folgenden Baujahren normalisieren sich die Biomassen wieder auf Werte, die denen der Bestandssituation entsprechen, wobei sich die Muscheln innerhalb weniger Monate erholen (vgl. Anlage 15, Band IV B, Kap. 8.3.7.1.2.).

Benthische Fauna – Sedimentation

Wie in Kap. 5.2.7.3 der Anlage 15, Band III beschrieben, „[hängen] die Wirkungen der Sedimentation auf die benthische Fauna [...] von der Struktur der Faunagemeinschaft und ihres Habitats, der Sedimentationsrate, der Höhe der Sedimentschicht und der Dauer des Sedimentationsereignisses ab. Die möglichen Auswirkungen gehen von einer Herabsetzung der Lebensfunktionen (Nahrungsmangel, erhöhter Energieaufwand z. B. durch Entfernen des Sediments aus Wohnröhren oder das Herausfiltern mit den Organen zur Nahrungsaufnahme) bis hin zum Absterben der gesamten Gemeinschaft (Begraben der Tiere).“ (S. 1947)

Entsprechend des Prognoseverfahrens sind zur Ermittlung der Schwere der Beeinträchtigung die Wirkintensität der Sedimentablagerung sowie die Empfindlichkeit der betroffenen Gemeinschaften an Hand von Informationen aus der Fachliteratur und basierend auf Expertenwissen zu definieren.

Wirksintensität

Basierend auf Erkenntnissen aus der Fachliteratur werden bei einer Sedimentationsschicht von < 3 mm keine Auswirkungen erwartet, unabhängig von der Verweildauer der Sedimentschicht und der zugehörigen Sedimentationsrate. Die benthische Fauna kann solch niedrige Sedimentationsschichten gut bewältigen und bleibt aufgrund ihrer grabenden (Infauna) und fliehenden Fähigkeiten (Epifauna, Weidegänger) und der Möglichkeit, bei der Nahrungsaufnahme von z. B. pelagischem Phytoplankton selektiv Partikel aufzunehmen (Filterierer), unbeeinflusst (vgl. Anlage 15, Band III, Kap. 5.2.7.3., S. 1948).

Die Wirksintensität wird anhand von Literaturdaten und Experteneinschätzung in Abhängigkeit der Sedimentationshöhe und -dauer abgeleitet. Dabei werden „die biologischen Daten aus der Literatur [...] einbezogen, um eine Skalierung der vier Stufen der Wirksintensität zu gewährleisten, die zu den Empfindlichkeiten der Faunagemeinschaften passt. Eine sehr hohe und hohe Wirksintensität sollte einem Effekt auf Lebensfunktionen und Sterblichkeit entsprechen, so dass sie mit der allgemeinen Definition der Empfindlichkeit übereinstimmt und die resultierende Schwere der Beeinträchtigung gemäß den Bewertungskriterien interpretiert werden kann. Eine geringe Wirksintensität sollte nur einem Effekt auf die Lebensfunktionen entsprechen.“ (Anlage 15, Band III Kap. 5.2.7.3, S. 1948).

Es wird die geringste bekannte Wirkschwelle als unterste Schwelle für die Bewertung der Auswirkungen angenommen. Dies erfolgt aus Vorsorgegründen, um sicherzustellen, dass die Auswirkungen auch im Nahbereich nicht unterschätzt werden.

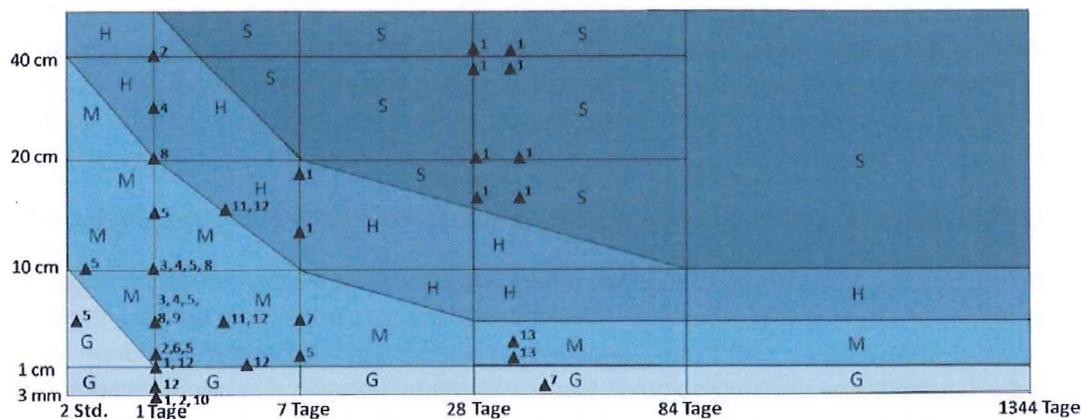


Abbildung 5-46 Wirkintensität der Sedimentation mit Dauer auf der x-Achse und Dicke der Sedimentationsschicht auf der y-Achse.

Die Bereiche der vier Wirkstufen sind in verschiedenen Farben dargestellt (gering = G, mittel = M, hoch = H und sehr hoch = S). Referenzen innerhalb der Abbildung, aus denen sich die Stufen ergeben, sind als Zahlen an Dreiecken dargestellt: 1 = Powilleit et al. (2009), 2 = Essink (1999), 3 = Maurer et al. (1986), 4 = Nichols et al. (1978), 5 = Miller et al. (2002), 6 = Anderson et al. (2004), 7 = Montserrat et al. (2010), 8 = Chang & Levings (1978), 9 = Chandrasekara & Frid (1998), 10 = Gibbs & Hewitt (2004), 11 = Bolam (2011), 12 = Hinchey et al. (2006), 13 = Turk & Risk (1981)

Abbildung 2: Darstellung der Wirkintensität Sedimentation für die benthische Fauna (Anlage 15, Band III Kap. 5.2.7.3, S. 1948).

Empfindlichkeit

Die Einstufung der Empfindlichkeit der benthischen Fauna ergibt sich aus der Unverträglichkeit der Gemeinschaften gegenüber Sedimentablagerungen und der oben bereits beschriebenen Wiederbesiedlungszeit.

Nachfolgend wird auf die Herleitung der Unverträglichkeit zusammenfassend dargestellt.

In Kap. 5.3.7.3 der Anlage 15, Band III, wird basierend auf der verfügbaren Literatur und mittels Experteneinschätzung die Unverträglichkeit der zu betrachtenden Faunagemeinschaften gegenüber Überdeckung bestimmt. Hierbei werden Mobilität und Dicke der abgelagerten Sedimentschicht, Umweltfaktoren (Salzgehalt und Temperatur) sowie der Sedimenttyp berücksichtigt. Da die Unverträglichkeit einer Gemeinschaft gegenüber Sedimentation vom Ausmaß der Belastung abhängig ist, muss sich die Einordnung der Unverträglichkeit der Gemeinschaften an der zu erwartenden Wirkintensität orientieren. Generell gilt, dass wenn eine Belastung hoch genug ist, haben alle Gemeinschaften eine hohe Unverträglichkeit und sterben.

Eine sehr hohe Unverträglichkeit wird für keine der Gemeinschaften erwartet. Selbst in den Bereichen der Rødsand Lagune mit den höchsten zu erwartenden Ablagerungen von bis zu 8 cm bei einer Sedimentationsrate von lediglich $< 0,4$ mm/d sind keine letalen Effekte zu erwarten, die mehr als die Hälfte der Populationen betreffen. Daher wurde keine der Faunagemeinschaften in die Kategorie „sehr hohe Unverträglichkeit“ eingeordnet.

Eine hohe Unverträglichkeit wird für nur eingeschränkt mobile und nicht an variierende Sedimentationsraten angepasste Arten angenommen. Eine geringe Unverträglichkeit wird für mobile, sich selbst ausgrabende Arten und Gemeinschaften angenommen sowie für Gemeinschaften, die typischerweise unter hydrografisch hoch energetischen Bedingungen vorkommen.

Die Unverträglichkeit wird somit basierend auf verfügbarem Wissen realistisch abgeschätzt.

Die Einstufung der Wiederbesiedlungszeit erfolgt wie oben beschrieben vorsorglich, da als unterste Schwelle, die kürzeste bekannte Wiederbesiedlungszeit angenommen wird. Gleichzeitig liegt die Schwelle für eine sehr hohe Wiederbesiedlungszeit bei > 10 Jahren und damit noch unter der Lebensdauer der langlebigsten Gemeinschaften. Die sich aus der realistisch eingestuften Unverträglichkeit und der vorsorglich eingestuften Wiederbesiedlung ergebene Empfindlichkeit liegt somit insgesamt auf der sicheren Seite.

Bewertung der Auswirkungen

Für die Bewertung der Auswirkungen wird nach Kap. 5.2.7.3 der Anlage 15, Band III „[...] die höchste gefundene Nettoablagerung von Sediment genommen, die für eine bestimmte Dauer am Meeresboden bleibt. Die Wirkintensität ist also abhängig von zwei Parametern: von der Dicke der Sedimentschicht und der Dauer, für die sie am Meeresboden verbleibt. Zur Vereinfachung wird nur das größte auftretende Sedimentationsereignis genommen, das innerhalb der gesamten Bauphase an einem gegebenen Ort (Zelle des Modells) stattfindet. Anders ausgedrückt wird die größte Wirkintensität, welche einem Sedimentationsereignis in einer Modellzelle der Bodenschicht des Sedimentationsfreisetzungmodells zugeordnet wird, als repräsentative Wirkintensität für diese Zelle verwendet.“

Wie auch bei der Bewertung der Auswirkungen infolge der erhöhten Schwebstoffgehalte basiert die Bewertung der Sedimentation auf der vorsorglich eingestuften Wiederbesiedlungszeit (s. o.) sowie einem unter Berücksichtigung der natürlichen Bedingungen abgeschätzten Grad der Unverträglichkeit. Zudem erfolgt die Skalierung der Wirkintensität anhand biologischer Daten aus der Literatur und berücksichtigt eine untere Wirkschwelle, die so definiert ist, dass Sedimentablagerungen bei Unterschreitung unabhängig von der Dauer der Ablagerung nicht mit nachteiligen Auswirkungen verbunden sind.

In Anlage 19, Teil B VIII, Kap. 6.2.4.1.1. werden die möglichen Auswirkungen auf geschützte Riffhabitats beschrieben und bewertet. Für die hier auftretenden benthischen Faunagemeinschaften im Nahbereich des Tunnelgrabens werden Sedimentablagerungen von bis zu 4 mm prognostiziert. Die Wirkintensität liegt also nur knapp über dem Schwellenwert von 3 mm und ist nach der Einstufung der UVS als gering zu bewerten (vgl. Anlage 15, Teil B III, Kap. 5.2.7.3, S. 1948). Die hiervon betroffenen Faunagemeinschaften (Bathyporeia, Cerastoderma und Gammarus) kommen typischerweise im Flachwasserbereich vor, sind demnach an wiederkehrende Sedimentumlagerungen angepasst. Während Bathyporeia und Cerastoderma als Infauna im Bereich von Weichböden vorkommen, ist die Gammarus-Gemeinschaft auf Algen-

bestände angewiesen. Die Empfindlichkeit in Bezug auf Sedimentation ist gering (Bathyporeia) bis mittel (Cerastoderma und Gammarus). Geht man von einer Verdopplung der Sedimentmächtigkeit aus, so liegt die Wirkintensität immer noch im Bereich gering. Eine abweichende Bewertung der Auswirkungen wäre demnach auch bei einer Verdopplung der Sedimentmächtigkeit nicht zu erwarten.

Die Bewertung der zu erwartenden Auswirkungen liegt somit auf der sicheren Seite, selbst bei einer modellbedingten Unterschätzung der Sedimentation.

4. Sonstige Punkte

4.1 Kapitel 3.1.3 – Sagasbank und Sedimentationshöhen

Riffherstellung Sagasbank

Zu Frage 3.1.3 des Fragenkatalogs werden neben den Sedimentfreisetzungsraten (siehe Kapitel 3 in diesem Dokument) auch mögliche Folgewirkungen durch Sedimentaufwirbelungen bei der Riffherstellung im Bereich der Sagasbank diskutiert. Die BAW kommt - wie die Vorhabenträger - zu dem Schluss, dass die Riffherstellung keine beträchtenswerte Sedimentfreisetzung bewirken wird. Da dieser Aspekt in den Antragsunterlagen bislang jedoch nicht behandelt wird, empfiehlt die BAW eine vorsorgliche Abarbeitung der Thematik.

Die Sagas-Bank ist eine Abrasionsplattform in der Westlichen Ostsee. Die für die Kompensationsmaßnahme vorgesehene Fläche weist einen stabilen Untergrund mit maximal 40 cm mächtiger Deckschicht aus Sanden auf einer festen Pleistozänoberfläche auf (vgl. Anlage 30.4 der Planänderungsunterlagen). Die Steine zur Riffherstellung werden von einem Schiff mit einem Bagger von der Wasseroberfläche versenkt. Beim Auftreffen eines Steins auf den festen Untergrund ist je nach Bedeckungsgrad mit Sand eine geringe Eindringtiefe in den Untergrund von wenigen Zentimetern zu erwarten. Der verdrängte Sand wird sich nach Auftreffen eines Steins wallartig um die Auftreffstelle des Steines anlagern. Nur der Feinkornanteil des Bodens kann durch das Auftreffen eines Steins zeitweise bodennah in Schwebelage gehen und sich außerhalb des direkten Umfelds des jeweiligen Steins wieder absetzen. Da der Boden im Bereich der Kompensationsmaßnahme nur einen geringen Feinkornanteil besitzt (vgl. Schwarzer 2014), wird die Menge des aufgewirbelten Feinsediments ebenfalls gering sein und nur einen Bruchteil des verdrängten Bodenvolumens ausmachen. Berücksichtigt man weiterhin die räumliche Ausdehnung der Maßnahme, die Dauer des gesamten Ausbringvorgangs der Steine, sowie die natürliche Variabilität der Schwebstoffkonzentrationen im Betrachtungsgebiet, so kann die Wirkung Sedimenteintrag bei der Riffherstellung umweltfachlich als unbedeutend beurteilt werden.

Schwarzer K, Heinrich Ch, Papenmeier S (2014): Abschlussbericht Identifizierung mariner Lebensraumtypen in der Mecklenburger Bucht (Sagas-Bank), 39 S.

Zeitreihen der Sedimentationshöhen

Im letzten Absatz von Kapitel 3.1.3 stellt die BAW klar, dass die Sedimentationshöhen ein Resultat der Sedimentverdriftungsmodellierung sind (und keinesfalls Annahmen außerhalb des Modells darstellen). Weiterhin wird ebenfalls korrekt ausgeführt, dass in der Ergebnisdarstellung der Modellierung die Sedimentationshöhen am Ende der Bauphase gezeigt sind.

Die BAW argumentiert nun, dass aus diesen Sedimentationshöhen am Ende der Bauphase durchschnittliche Sedimentationsraten während der Bauphase im Nachgang der Modellierung berechnet werden könnten. Dies ist zwar prinzipiell richtig, wurde aber so in der Auswirkungsprognose nicht durchgeführt. In der UVS sind für die Nachvollziehbarkeit der Auswirkungs-

prognose relevante Ergebnisse der Sedimentverdriftungsmodellierung und der hydrodynamischen Modellierung dargestellt, um einen repräsentativen Überblick zu geben. Die Unterlagen sollten nicht durch die Darstellung aller Ergebnisse überfrachtet werden. Für die Verwendung als Wirkfaktor (z.B. Sedimentation) in der weitergehenden Auswirkungsbetrachtung wurden sehr wohl die vollständigen Modellergebnisse in ihrer vollständigen zeitlichen und räumlichen Auflösung verwendet. So liegt z.B. eine zeitlich hoch aufgelöste Verteilung (stündliche Werte) der Sedimentation im gesamten Modellgebiet vor. Aus dieser Verteilung über die gesamte Bauphase lassen sich Zeitreihen der Sedimentation an beliebigen Orten extrahieren, die dann zur weiteren Verwendung z.B. in der biologischen Modellierung (vgl. Kapitel 3.3 in diesem Dokument) oder der Beschreibung der Projektwirkungen (siehe z.B. Wasserrechtlicher Fachbeitrag, Anlage 20 der Planänderungsunterlagen, Kapitel 5.7.1.2., Abb. 5.62 bis 5.69, S. 314 ff.) genutzt wurden. Gleiches gilt für die Verwendung der Schwebstoffkonzentrationen bzw. der Trübung in der Wassersäule (ebenfalls Kapitel 3.3 bzw. Anlage 20, Kapitel 5.7.1.2., Abb. 5.53 bis 5.61, S. 309 ff.).

4.2 Kapitel 4.1.1 - Räumliche Auflösung Sedimenttransportmodell

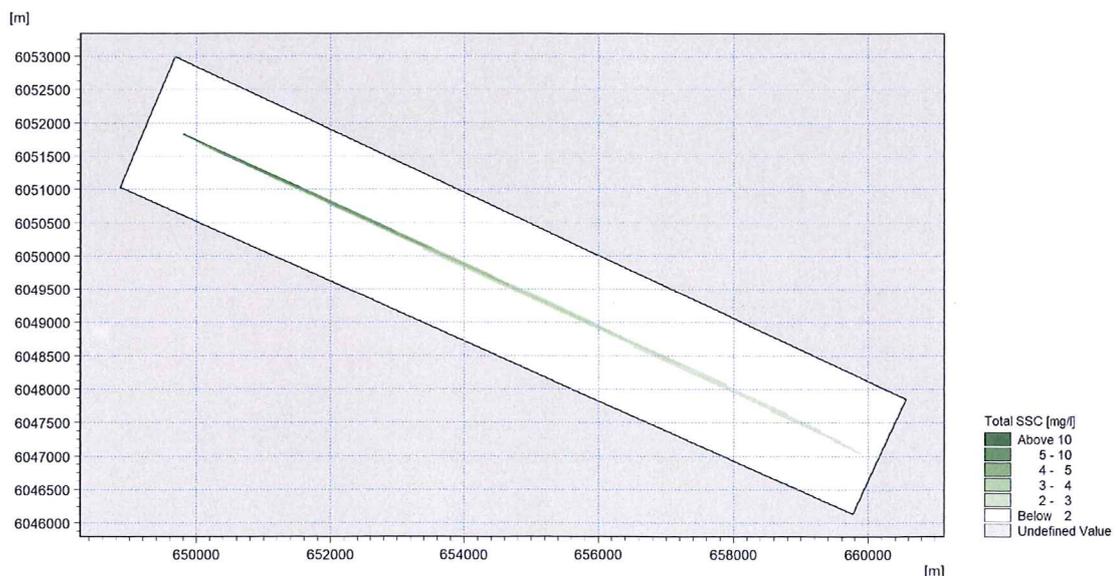
Die Ausbreitung des freigesetzten Sediments durch Strömung und Wellen im Nahbereich der Baggerarbeiten erfolgt in Form von mehr oder weniger deutlich abgegrenzten Fahnen, bis sich das Sediment mit dem Wasser der Umgebung vermischt und dadurch verdünnt wird.

In diesem Kapitel werden die Auswirkungen der räumlichen Rechennetauflösung auf die Verteilung und Ausbreitung des freigesetzten Sediments diskutiert.

Sensitivitätsanalyse

Zur Identifizierung der durch die Modellauflösung hervorgerufenen Effekte wurde ein vereinfachtes Freisetzungs- und Verdriftungsszenario untersucht. So wurde lediglich ein typischer Arbeitsvorgang mit typischem Material und typischer Strömung betrachtet. Die Schlussfolgerungen aus dieser Betrachtung lassen sich dann auf alle anderen Situationen im Gesamtmodell der projektbedingten Projektfreisetzung und Verdriftung übertragen. Die Parametrisierung des hier untersuchten Sedimenttransportmodells (z.B. Beschreibung der Sedimentfraktionen, Sink- und Absetzverhalten) stammt aus der dem Modell der Auswirkungsprognose (vgl. UVS, Anlage 15 der Planfeststellungsunterlagen, Anhang B Methodik, Kapitel 0.3.4.1.4.2., S. 818 ff.). Es werden Netzauflösung von 150 m und 50 m verglichen. In den für die UVS erstellten Simulationen zur Ausbreitung von Sediment wurde ein Rechennetz mit einer Auflösung von 100 -150 m für den zentralen Bereich des Fehmarnbells verwendet.

Abb. 1 zeigt die Sedimentkonzentrationen auf mittlerer Tiefe stromabwärts der Baggerarbeiten für die beiden unterschiedlichen Netzauflösungen. Für die vorliegende Sensitivitätsstudie wurde ein typisches Baggerszenario verwendet: gebaggertes Material: 85% Lehm/Geschiebemergel und 15% postglazialer Sand, Baggertyp: Schaufelbagger, Arbeitstiefe: 20m. Die Fließgeschwindigkeit beträgt 0,4 m/s und ist eine typische Strömungsgeschwindigkeit im Fehmarnbelt.



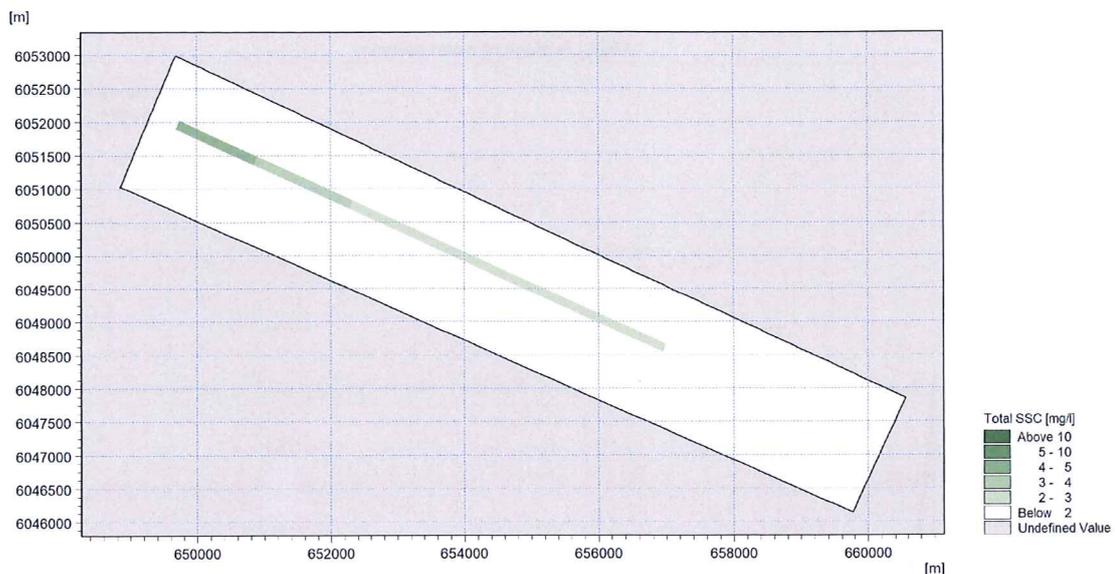


Abbildung 3: Sedimentkonzentration in mittlerer Tiefe einer Sedimentfahne nahe der Baggerarbeiten modelliert mit einer viereckigen Netzauflösung von 50 m (oben) und 150m (unten) für typische Baggerarbeiten unter üblichen Strömungsgeschwindigkeiten im Fehmarnbelt.

Auswirkungen der Auflösung des Netzes auf die Sedimentfahnen

Der Konzentrationsverlauf innerhalb der Sedimentfahnen bei zunehmender Distanz zum Freisetzungsort ist in Abb. 2 dargestellt (Oberfläche). Unmittelbar stromabwärts des Freisetzungspunktes sind höhere Konzentrationen in der Fahne mit der feineren Auflösung von 50 m berechnet als mit 150 m, da die feinere Auflösung eine engere, d.h. ‚höher konzentrierte‘ Fahne aufweist. In einem gröberen Netz ist die Verdünnung nahe des Freisetzungspunktes etwas größer, da sich das freigesetzte Sediment durch die Berechnungszelle mit einem größeren Wasservolumen vermischt als in einem engmaschigeren Netz.

Ca. 1 km stromabwärts des Freisetzungspunktes ist der Konzentrationsunterschied bereits geringer als 1 mg/l und bei einer Entfernung von mehr als 3 km zur Quelle kann kein signifikanter Konzentrationsunterschied mehr beobachtet werden.

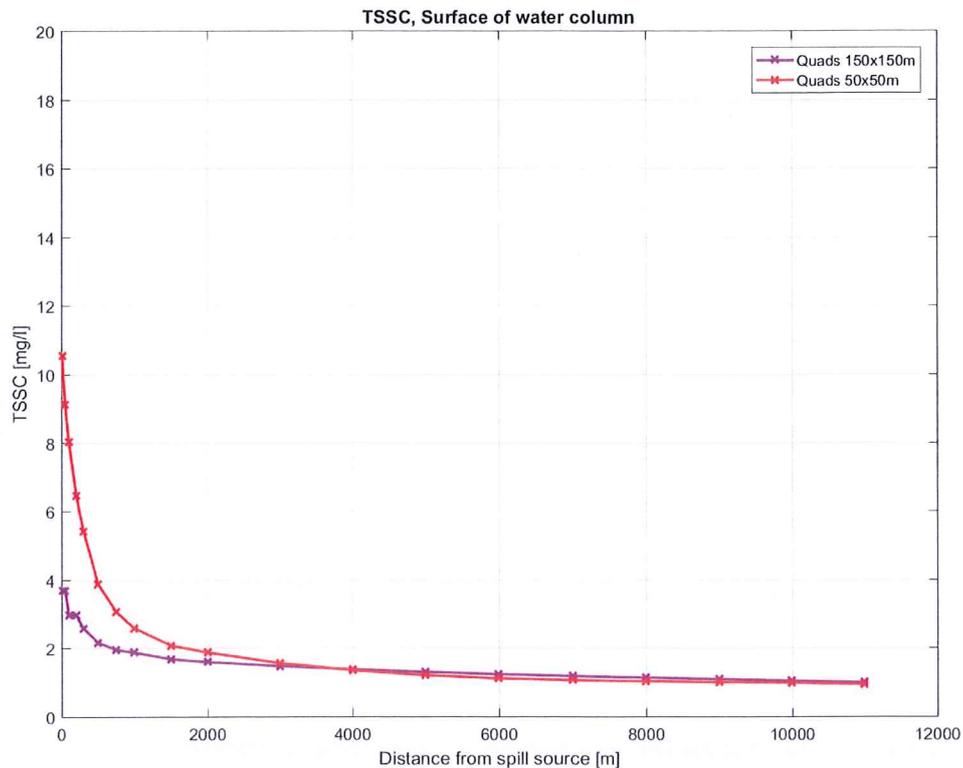


Abbildung 4: Maximale Schwebstoffkonzentrationen in der oberflächennahen Trübungsfahne im Abstrom des Freisetzungsorts für verschiedene räumliche Modellauflösungen.

Die Bereiche der Sedimentfahne (definiert durch Konzentrationen größer als 2 mg/l) stromabwärts des Freisetzungspunktes sind für beide Auflösungen in Tabelle 1 aufgeführt (Oberfläche, Mitte und Boden). Die Bereiche der beiden Sedimentfahnen, und damit auch die Wirkungsbereiche für die Meeresbiologie, sind auf allen Stufen von ähnlichem Ausmaß. Es wird allerdings deutlich, dass insbesondere in der Mitte der Wassersäule und bodennah die betroffenen Flächen bei größerer Modellauflösung größer sind, die Wirkungsprognose liegt somit hinsichtlich der flächenhaften Verbreitung der freigesetzten Sedimente auf der sicheren Seite.

Tabelle 5: Räumliche Ausdehnung der Trübungsfahne (Schwebstoffkonzentrationen größer 2 mg/l) in km² für verschiedene räumliche Modellauflösungen.

Auflösung	150m	50m
Oberfläche	0,12	0,15
Mitte	1,09	0,84
Boden	2,00	1,53

Auswirkungen auf Sedimentation

Die Auswirkungen der Ablagerung freigesetzten Sediments auf die benthische Flora und Fauna wird anhand diverser Kriterien bewertet (vgl. Kapitel 3.3 in diesem Dokument). Für die Auswirkung auf die benthische Fauna wird beispielsweise die größte Nettoakkumulation von Sediment über einen Zeitraum von 10 Tagen betrachtet.

Um die Projektwirkung Sedimentation für dieses Kriterium (Nettoakkumulation über 10 Tage) zu beschreiben ist auch die zeitliche und räumliche Änderung der Freisetzungsquelle (z.B. ein Schaufelbagger) zu beachten. Es wird davon ausgegangen, dass bei einem typischen Arbeitsablauf ein Bagger (d.h. die Sedimentquelle) sich mit einer Geschwindigkeit von 25 m pro Tag vorwärts bewegt. Das bedeutet, dass in einem zehntägigen Zeitraum ca. 250 m von einer Sedimentquelle 'überstrichen' werden und somit 250 m der Grenzwert der notwendigen Rechenetauflösung ist. Die verwendete Auflösung des Netzes von ca. 150 m liegt darunter und erfüllt daher dieses Kriterium.

Bei anderen Kriterien für die Auswirkungen auf biologische Teilschutzgüter ist die projektbedingte Belastung so niedrig, dass sie außerhalb des Arbeitsbereichs ausschließlich mit der Stufe „gering“ bewertet wurden. Die Empfindlichkeit der Kriterien gegenüber einer lokal und zeitlich begrenzt erhöhten Sedimentationsrate ist zudem auch hier generell niedrig, so dass die Bewertung nicht empfindlich gegenüber unterschiedlicher Modellauflösungen ist.

Fazit

Die projektbedingten Sedimentfahnen sind auch bei einer deutlich feineren Modellauflösung - 50 m gegenüber 150 m - von gleichem Ausmaß. Die Wirkzone der Trübungsfahne ist bei größerer Auflösung tendenziell größer, so dass eine gröbere Auflösung eine vorsorgeorientierte Betrachtung der großräumigen Trübung bedeutet. Die Konzentrationen in der Trübungsfahne sind ab einer Entfernung von ca. 2 km nahezu identisch. Im Nahbereich der Freisetzungsquelle werden durch eine gröbere Auflösung lokal und kurzzeitig Trübungs- und Sedimentationsmaxima bzw. Raten unterschätzt. Dieser Bereich umfasst zum einen den bereits ohnehin stark beanspruchten Arbeitsbereich des Bauvorhabens (800 m Zone um die Tunneltrasse),

der bereits entsprechend in die umweltfachliche Bewertung eingeflossen ist. Zum anderen liegen in dem betroffenen Nahbereich keine biologischen oder abiotischen Elemente, deren Betroffenheit sich durch diese potentielle Unterschätzung ändern könnte (vgl. Kapitel 3.3).

Die Sedimentfreisetzung wird während des Bauablaufs nicht an zeitlich und räumlich festen Punktquellen stattfinden. Vielmehr bewegen sich die Freisetzungsorte mit dem Baggergerät längs und quer zur Tunneltrasse. Zwar ist das Modell nicht in der Lage, die kleinräumigen und im direkten Nahbereich sehr variablen Trübungsfahnen zu erfassen. Dies ist für eine belastbare Prognose der Umweltauswirkungen aber auch nicht notwendig. Das Modell ist hingegen sehr gut dazu geeignet, repräsentative Konzentrationen in Nähe der Baggerarbeiten und im Fernbereich zu prognostizieren und somit eine belastbare und vorsorgeorientierte Basis für die darauf aufbauenden Auswirkungsprognosen zu liefern.

4.3 Kapitel 4.2.1 – Validierung der Modellwasserstände

Die BAW merkt an, dass ein Nachweis der Modellgenauigkeit hinsichtlich der Naturähnlichkeit der modellierten Wasserstände außer an drei Wasserstandsmessstationen im Umfeld des Fehmarnbelts (Warnemünde, Gedser und Kiel-Holtenau) nicht zweifelsfrei belegt wurde.

In der UVS, Anlage 15 der Planfeststellungsunterlagen findet sich neben der beispielhaften Darstellung der modellierten und gemessenen Wasserstände am Pegel Warnemünde (Anhang A Methodik, Kapitel 0.1.2.2.3.4., Abb. 0-26, S. 56) eine Tabelle mit den aggregierten Kalibrierungs- und Validierungsergebnissen aller sieben verwendeter Wasserstandsmessstationen im lokalen hydrodynamischen Modell (Tabelle 0-16, S. 57). Dort ist zu erkennen, dass die Modellgütekriterien für den Parameter Wasserstand erfüllt werden Vier der sieben Pegel liegen weiter entfernt vom Fehmarnbelt und sind in Abb. 0-13 (Kapitel 0.1.2.2.2., S. 29), in der die Lage der drei von der BAW zitierten Stationen gezeigt ist, nicht dargestellt. Bei diesen Stationen handelt es sich um Korsør, Slipshavn, Drogden und Hornbæk.

4.4 Kapitel 5.1.1 - Parametrisierung der Deposition und Erosion

Berücksichtigung der Sohlrauheit in der Sedimenttransportmodellierung

Die BAW geht in Kapitel 5.1.1 u.a. auf die Parametrisierung der kritischen Schubspannung zur Erosion von abgelagertem Material ein. Dieser Aspekt und zusätzlich der kritische Schubspannungsparameter für Deposition wurden ebenfalls im Arbeitsgespräch am 24.01. in Kiel diskutiert. Dort wurde von einem Gutachter des APV-SH (Bioconsult Schuchardt & Scholle) die Frage nach der Abhängigkeit der kritischen Schubspannung für Deposition von unterschiedlicher Sohlrauheit (z.B. durch Bewuchs) gestellt.

In der UVS, Anlage 15 der Planfeststellungsunterlagen werden in Anhang B Methodik, Kapitel 0.3.4.1.4.2., S. 818 ff. (ebenfalls dargestellt in „Methodik und Daten für die Modellierung der Sedimentverdriftung“, 14.01.2018, Kapitel 4.3.3, S. 22 ff.) die im Modell verwendeten Parameter und ihre räumliche Verteilung beschrieben und dargestellt. Während die kritische Schubspannung für Deposition von der Kornfraktion abhängig und gleichverteilt im Modell angesetzt wurde, wird der entsprechende Wert für die Erosion für alle Fraktionen gleich, dafür aber räumlich abhängig vom Bewuchs spezifiziert (vgl auch Kapitel 3.3 in diesem Dokument).

Das Modell der Sedimentverdriftung berechnet detaillierte, zeitlich variierende Verteilungen der Konzentration von Sediment in der Wassersäule sowie Ablagerungen auf dem Meeresgrund. Projektbedingte Ablagerungen auf dem Meeresboden sind das Ergebnis der Nettoakkumulation über einen bestimmten Zeitraum (die Ablagerung nach einem gewissen Zeitraum kann auch verschiedene Stufen von Sedimentation und Resuspension beinhalten).

In der Auswirkungsprognose der UVS wurde festgestellt, dass die Sedimentfreisetzung die marine Biologie in der Fehmarnbeltregion primär durch Auswirkungen auf die Verfügbarkeit von Licht beeinflusst (Trübung) sowie sekundär durch die Sedimentbedeckung, die wiederum von Mächtigkeit und Dauer der Sedimentation beeinflusst wird.

Schwebstoffkonzentrationen und Ablagerungen von Sediment auf dem Meeresgrund stehen unter anderem in Beziehung zu den lokalen Charakteristiken des Meeresbodens. In Bereichen mit Vegetation reduzieren die Stiele oder Wurzeln der Vegetation die Fließgeschwindigkeiten nahe des Meeresgrundes innerhalb sowie kurz über den Bereichen mit Vegetation. Vegetationstyp- und dichte sowie Höhe und Flexibilität der Stämme beeinflussen die hydrodynamischen Prozesse. Der Einfluss von durch bestimmte Vegetationstypen hervorgerufene Reduktionen der bodennahen Fließgeschwindigkeiten bringt eine signifikant sinkende Wahrscheinlichkeit von Resuspensionsereignissen mit sich. Daher können bestimmte Vegetationsbereiche unter Umständen als Sedimentfallen wirken. Dies wird für Weichbodenbewuchs in der Fehmarnbeltregion beobachtet. Für Hartbodenhabitate ist dies hingegen nicht der Fall.

Die Auswirkung von Vegetation auf Sedimentation ist komplex, eine vermehrte Ablagerung aus dem untersten Teil der Wassersäule kann potentiell durch reduzierte Fließgeschwindigkeiten zustande kommen. Dies setzt die Transportfähigkeit von Sediment herab.

Die Einzelheiten der Auswirkungen von Vegetation auf die Prozesse, die für Sedimentation und Resuspension relevant sind, sind Gegenstand der aktuellen Forschung. DHI nimmt aktiv an diversen Forschungsprojekten in diesem Themenbereich teil. Momentan untersucht DHI dieses Thema im Rahmen vom EU-Finanzierten 'Hydralab+' sowie als Teil von Untersuchungen, die vom dänischen Rat für strategische Forschung finanziert werden.

Die Hauptauswirkungen von Vegetation auf Transport und Ausbreitung von Sediment durch die oben genannten Prozesse sind eine Steigerung der Nettoakkumulation von Sediment und das Herabsetzen von Sedimentkonzentrationen, da Sediment dabei aus der Wassersäule entfernt wird. Basierend auf der beobachteten Abdeckung durch Seegras (Anlage 15 der Planfeststellungsunterlagen, Anhang B Methodik, Kap. 0.3.4.1.4.2, Abbildung 0-246), vgl. auch Kapitel 3.3 in diesem Dokument), werden im Sedimenttransportmodell für die Fehmarnbeltregion die Einwirkungen von Vegetation durch eine Karte der kritischen Schubspannungen für Erosion (Resuspension) dargestellt. Dadurch werden Resuspensionsereignisse in relevanten Vegetationsbereichen im Modell reduziert und es wird die Nettoakkumulation an diesen Stellen erhöht.

Eine potentiell erhöhte Depositionsneigung der Modellfraktionen wurde nicht angesetzt. Die Effekte von Vegetation auf die für die biologische Auswirkungsprognose relevanten Faktoren Nettoakkumulation (über einen gewissen Zeitraum) sowie Trübung werden bereits durch die Parametrisierung der kritischen Erosionsschubspannung abgebildet.

Eine in manchen Bereichen (z.B. Muschelbänke) tendenziell niedrige kritische Erosionsschubspannung erhöht in der Tendenz zeitweise die Resuspension (und damit die Trübung) und sorgt in der Tendenz für eine weiträumigere Verteilung der projektbürtigen Sedimente als in der Realität (vgl. Stellungnahme BAW, Kapitel 5.1.1, S. 17). Dies führt zu einer auf der sicheren Seite liegenden Prognose der Umweltauswirkungen durch Sedimentfreisetzung. Im Trassennahbereich kann die Sedimentation (Nettoakkumulation) durch eine niedrige kritische Erosionsschubspannung ggf. unterschätzt werden. Dies ist jedoch unkritisch, da der ggf. betroffene Bereich den bereits ohnehin stark beanspruchten Arbeitsbereich des Bauvorhabens (800 m Zone um die Tunneltrasse) umfasst, der bereits entsprechend in die umweltfachliche Bewertung eingeflossen ist. Auch liegen in dem betroffenen Nahbereich keine biologischen oder abiotischen Elemente, deren Betroffenheit sich durch diese potentielle Unterschätzung ändern könnte (vgl. Kapitel 3.3).

Bodenformen und Steine haben einen (geringfügigen) Einfluss auf die Strömung nahe des Meeresbodens, da sie die hydraulische Rauigkeit für die Strömung lokal erhöhen können (UVS, Anlage 15 der Planfeststellungsunterlagen, Anhang A Methodik, Kapitel 0.1.2.3.4., S. 103 ff.). Ihre Einwirkungen auf die Strömung insgesamt sind durch die Modellkalibrierung berücksichtigt. Im vorliegenden Strömungsmodell wird die Kalibrierung gegen die Messung von Strömungen nahe des Meeresbodens vorgenommen. Der lokale Einfluss von Bodenformen und Gesteinen auf die Sedimentation/Resuspension von freigesetztem Sediment ist damit implizit berücksichtigt.