

Feste Fehmarnbeltquerung
Planfeststellung
Hinweise zu Fragen der
Planfeststellungsbehörde

B3955.03.06.10007

Feste Fehmarnbeltquerung
Planfeststellung
Hinweise zu Fragen der
Planfeststellungsbehörde

Auftraggeber: Amt für Planfeststellung Verkehr beim
Ministerium für Wirtschaft, Verkehr, Arbeit, Technologie und
Tourismus des Landes Schleswig-Holstein

Auftrag vom: 11. Dezember 2017, Az.: 622.288-16.1-1

Auftrags-Nr.: BAW-Nr. B3955.03.06.10007

Aufgestellt von: Abteilung: Wasserbau im Küstenbereich
Referat: Ästuarsysteme II
Bearbeiter: Rahlf, Dr. Seiß

Hamburg, 13.06.2018

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

Zusammenfassung

Im Rahmen der Planfeststellung zur Festen Fehmarnbeltquerung – Deutscher Vorhabensabschnitt - hat der Schleswig-Holsteinische Landesbetrieb Straßenbau und Verkehr, Betriebssitz - Anhörungs- und Planfeststellungsbehörde- (ab 01.01.2018 Amt für Planfeststellung) zahlreiche Einwendungen zu bearbeiten. Die BAW berät das Amt für Planfeststellung zu den von den Vorhabenträgern des o.g. Planfeststellungsverfahrens eingereichten Planunterlagen hinsichtlich Teilfragen Hydrologie, Morphologie, Sedimentation. Hierzu liegt vom Amt für Planfeststellung ein Fragenkatalog an die BAW vor, der im Folgenden bearbeitet wird.

Die Antworten zum Fragenkatalog konnten ausnahmslos auf Grundlage der verfügbaren Unterlagen (s. Kap. 2) beantwortet werden. Das Erfahrungswissen der BAW in der Wasserbaulichen Systemanalyse der Ostsee und Ostseehafenzufahrten hat die Beantwortung der Fragestellungen dabei erleichtert.

Es bleiben zwei Aspekte übrig, die im Rahmen der Planfeststellungsunterlagen zwar plausibel jedoch nicht zweifelsfrei dokumentiert sind:

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

Daraus lassen sich folgende Empfehlungen für die Planfeststellungsbehörde ableiten:

- 1) **Empfehlung:** Der TdV hat darzulegen, wie eine weitergehende Interpretation und Bewertung der Berechnungsergebnisse in die Wirkungsprognosen eingeflossen ist.
- 2) **Empfehlung:** Der TdV hat beispielhaft zu zeigen, dass die Interpretation und Bewertung der Berechnungsergebnisse trotz vereinfachter Annahmen in der Modellierung und teilweise eingeschränkter Belastbarkeit der Modellergebnisse (siehe z.B. UVS, Anlage 15, Anhang A, Seite 103) vorsorgeorientiert erfolgt ist.
- 3) **Empfehlung:** Der TdV hat die angenommenen Sedimentfreisetzungen nachvollziehbar herzu-leiten. Er hat zusätzlich plausibel zu erläutern, welche „praktischen Gründe“ zu der Annahme geführt haben, dass die Sedimentfreisetzung während des Baggers als gleichmäßig über die Wassersäule verteilt betrachtet wurde und warum bzw. für welche Umweltauswirkung dies eine „auf der sicheren Seite liegende Annahme“ ist.
- 4) **Empfehlung:** der TdV hat darzustellen, wie in der Umweltprognose die Eingangsdaten (Sedi-mentkonzentration, -rate) aus dem Verdriftungsszenario weiter verarbeitet worden sind, und warum die dort abgeleiteten Prognosen zur Betroffenheit der Makrophytenbestände auf der sicheren Seite liegen.

Inhaltsverzeichnis	Seite
1 Veranlassung und Aufgabenstellung	1
2 Unterlagen und Daten	1
3 Hydrologie und Sedimentation allgemein	1
3.1 Sind die Ergebnisse der Modelle zu Hydrologie und Sedimentation in den Planfeststellungsunterlagen belastbar und nachvollziehbar?	1
3.1.1 Beurteilung der Eignung und Anwendung der Modelle hinsichtlich Angemessenheit, Plausibilität, rechtlicher Tragfähigkeit, Berücksichtigung von Unsicherheiten. Gibt es Mängel?	1
3.1.2 Ist die Modellierung fachgerecht vorgenommen worden (Stand der Technik und der Wissenschaft)? Lassen sich anhand der Modelle Aussagen zu lokalen, mittleräumigen und großräumigen Effekten auf Hydrologie/ Morphologie/ Sedimentation treffen?	3
3.1.3 Sind die angenommenen Freisetzungsraten, Sedimentationshöhen, Verdriftung der Sedimente und Schwebstoffkonzentrationen plausibel?	4
3.1.4 Ist die Darstellung der Ergebnisse nachvollziehbar, belastbar und vorsorgeorientiert?	5
3.1.5 Der Vorhabenträger führt in seinen aktuellen ergänzenden Erläuterungen zur Sedimentverdriftung (vom 16.11.2017 bzw. 14.12.2017 als M09 im Materialband) an, dass in anderen deutschen Projekten, die mit dem Thema Sedimentfreisetzung umgehen mussten, oft ein anderer Ansatz gewählt wurde. Statt mit einem vollständigen Jahreslauf für die Auswirkungsprognose zu rechnen, wurden repräsentative kurze Einzelzustände (Szenarien) ausgewählt und die Ergebnisse dann auf die gesamte Freisetzungszeit oder Bauzeit extrapoliert (z. B. Anpassung der Fahrrinne von Unter- und Außenelbe an die Containerschifffahrt). Ist die von den Vorhabenträgern gewählte Vorgehensweise ausreichend aussagekräftig und zielführend, um die Auswirkungen des Vorhabens zu ermitteln und zu beschreiben (Stichwort: worst case-Szenario)?	6
4 Hydrologie	7
4.1 Auflösung des Modells:	7
4.1.1 Ist die gewählte Auflösung der Modelle (Modellraster) grundsätzlich geeignet, um die Auswirkungen des Tunnels sowohl während der Bauzeit als auch nach Bauende auf die Hydrografie, den Sedimenttransport und die Wasserqualität zu prognostizieren?	7
4.1.2 Ist es zulässig, für die Abschätzung der Auswirkungen auf Hydrologie nur den Bauwerksendzustand im Modell zu berücksichtigen (bauzeitlicher offener Graben des Absenktunnelverfahrens nach Angabe des Vorhabenträgers nicht betrachtet)? Der Vorhabenträger geht auch weiterhin davon aus, dass es nicht erforderlich ist, die Modellierung so aufzustellen, dass der Tunnel abgebildet	

	wird (Ergänzende Erläuterungen zur Sedimentverdriftung vom 16.11.2017, S. 29).	8
4.2	Kalibrierung und Validierung der Modelle / Naturnähe:	9
4.2.1	Ist eine ausreichende Kalibrierung und Validierung der Modelle mit Naturwerten erfolgt? Basiert die Kalibrierung und Validierung auf einer ausreichenden Datengrundlage und ist dies nachzuvollziehen? Sind auch Extremereignisse (starke Salzwassereinbrüche, Extremsturmfluten o.ä.) zu betrachten und falls ja, sind diese ausreichend berücksichtigt? Der Vorhabenträger führt in diesem Zusammenhang aus, dass sämtliche Extremereignisse im dem Untersuchungszeitraum für den Kalibrierungs- und Validierungsprozess berücksichtigt wurden und es für die Naturähnlichkeit des Modells nicht erforderlich ist, darüber hinausgehende Extremereignisse abzubilden und zu berücksichtigen (Ergänzende Erläuterungen zur Sedimentverdriftung, S. 31). Ist diese Einschätzung so zutreffend?	9
4.2.2	Für alle Teilmodelle wurden die meteorologischen und hydrodynamischen Bedingungen des Jahres 2005 als Randbedingungen angesetzt. 2005 stellt nach Angaben der Vorhabenträger ein typisches Jahr für die Fehmarnbeltregion dar. Ist diese Annahme zutreffend und das gewählte Vorgehen fachgerecht?	11
4.2.3	Der Jahresverlauf von Strömung, Wellen und Wind im Fehmarnbelt wird anhand der Ergebnisse der Messstationen MS01 und MS02 dargestellt, die beide eher im tiefen Wasser liegen. Basieren die Modellergebnisse ausschließlich auf den Ergebnissen dieser beiden Messstationen und sind diese repräsentativ und geeignet für Aussagen, die sich auf den gesamten Querschnitt des Fehmarnbelts beziehen müssen (also auch auf die Flachwasserbereiche)?	11
4.3	Hochwasserneutralität:	12
4.3.1	Ist der Einwand berechtigt, dass die Hochwasserneutralität der Festen Fehmarnbeltquerung nicht nach hiesigem Standard nachgewiesen ist? Sind die enthaltenen Aussagen zu Hochwasserneutralität nachvollziehbar und wurden die richtigen Bemessungswasserstände zugrunde gelegt (s. hierzu auch Kap. 3.4 der Ergänzenden Erläuterungen zur Sedimentverdriftung)?	12
4.4	Unberücksichtigte Daten:	13
4.4.1	Hat die BAW Erkenntnisse zu weiteren in Deutschland vorliegenden Daten, Unterlagen und Dokumenten (z. B. Generalplänen) oder Regelwerken, die bei der Erstellung der Planunterlagen nicht hinzugezogen worden sind, deren Berücksichtigung sich aber bei einer Recherche aufgedrängt hätte? Bestehen Anhaltspunkte, dass bei Erstellung der Planunterlagen durch eine Ausrichtung an dänischen technischen Normen und Vorschriften, Aspekte nicht oder nicht in ausreichender Tiefe oder mit einer nicht vertretbaren Herangehensweise betrachtet worden sind, die bei ausschließlicher Beachtung deutscher Regelwerke anders dargestellt worden wären?	13
4.5	Verschiedene Betrachtungsebenen der Modelle:	15
4.5.1	Werden groß- und mittlräumige und lokale Aussagen getroffen, die belastbar sind?	15

5	Sedimentation	16
5.1	Naturnähe der simulierten Sedimentverdriftung:	16
5.1.1	Sind unterschiedliche Sohlschubspannungen im Sedimentationsmodell zu berücksichtigen und falls ja, ist dies ausreichend erfolgt (z.B. Bremswirkung von Makrophytenbeständen, Riffstrukturen, morphologischen Sohlformen)?	16
5.1.2	Ist die Sedimentzusammensetzung des anstehenden und auszubaggernden Materials (Anteile kohäsives und nicht kohäsives Material) ausreichend im Modell berücksichtigt (Betrachtung von vier der fünf Fraktionen)?	18
5.1.3	Wurden Flockungsprozesse berücksichtigt?	19
5.1.4	Sind Extremereignisse zu berücksichtigen (siehe auch Hydrologie Punkt 2 und UVS Anlage 15, Anhang B, S. 822, Abbildung 0.246)?	19
5.1.5	Ist es fachlich vertretbar, eine Gleichverteilung von Resuspensionsereignissen über das Jahr anzunehmen?	20
5.2	Projektbürtige und natürliche Schwebstoffe und Sedimentation:	20
5.2.1	Ist es plausibel, dass offensichtlich nur die projektbürtigen Schwebstoffe und Sedimente betrachtet wurden und dass die natürlichen Schwebstoffkonzentrationen und Sedimentationsraten bei der Ermittlung von Trübungsfahnen und Sedimentationsereignissen anscheinend unberücksichtigt geblieben sind (keine Kumulierung; s. zu dem Themenkomplex auch Kap. 3.9 der Ergänzenden Erläuterungen zur Sedimentverdriftung)?	20
5.3	Wiederverfüllung:	21
5.3.1	Sind die Zeiträume für die natürliche Wiederverfüllung plausibel und nachvollziehbar? Wird gewährleistet, dass sich die ursprünglichen morphologischen Verhältnisse einschließlich einer ausreichend dicken (wiederbesiedelbaren) Sedimentschicht wiederherstellen (Sedimentzusammensetzung entsprechend Ursprungszustand)? Der Vorhabenträger trifft hierzu weiterhin die Aussage, dass Ausführungen zur Regeneration des Meeresbodens, insbesondere zu den Wiederverfüllungsraten, in den Antragsunterlagen nachvollziehbar und plausibel sind (Ergänzende Erläuterungen zur Sedimentverdriftung, S. 46). Wird diese Einschätzung geteilt?	21
5.3.2	Die Aussagen aus den ergänzenden Erläuterungen zur Sedimentverdriftung vom 16.11.2017 unter Punkt 3.5 Regeneration des Meeresbodens und unter Punkt 4.2 Sauerstoffmangelsituation im Graben (hier: Ansammlung organischen Materials im Graben) erscheinen uns widersprüchlich. Ist dies so oder sind sie untereinander konsistent?	22
5.4	Berücksichtigung zusätzlicher Schwebstoffe und Sedimentation:	23
5.4.1	Sind strömungsinduzierte Erosionen an der Grabenböschung des offenen Grabens und eine daraus resultierende zusätzliche Sedimentation außerhalb des Grabens zu berücksichtigen oder können diese -wie vom Vorhabenträger vertreten- vernachlässigt werden?	23
5.4.2	Ist am offenen Tunnelgraben von einem Nachrutschen der Böschungen auszugehen, der zusätzliche Baggerungen zum „Aufreinigen“ des Tunnelgrabens vor Einbringen der Tunnelelemente erfordert (morphologischer Nachlauf)?	23

5.4.3	Die Vorhabenträger führen in den ergänzenden Erläuterungen zur Sedimentverdriftung (Kap. 4.5, S. 75, letzter Absatz) u. E. erstmalig aus, dass es durch die Reinigung des Tunnelgrabens (bis zu 1 Mio. m ³ Feinstdimente) mittels Hopperbagger nicht zu einer zusätzlichen Freisetzung von Sedimenten kommt. Ist diese Einschätzung plausibel? Warum führt die Ursprungsherstellung des Tunnelgrabens mit verschiedenen Entnahmegerten zu Sedimentfreisetzungen, die Aufreinigung des Grabens hingegen nicht?	23
5.4.4	Sind zusätliche Schwebstofffahren/Sedimentationen durch das Verfüllen des Tunnelgrabens mit Material aus den Sandentnahmegebieten berücksichtigt bzw. hätten diese berücksichtigt werden müssen?	24
5.4.5	Von Naturschutzvereinigungen wurde bemängelt, dass eine Aufwirbelung von Sediment beim Einbringen von Steinen (Kompensationsmaßnahme Sagas-Bank) oder durch Ankerwürfe nicht berücksichtigt wurde. In welcher Größenordnung würden derartige Effekte voraussichtlich liegen? Sind nennenswerte Auswirkungen möglich oder ist es vertretbar, diesen Wirkpfad zu vernachlässigen?	24
6	Schlussfolgerungen und Empfehlungen	25
7	Literatur	27

1 Veranlassung und Aufgabenstellung

Im Rahmen der Planfeststellung zur Festen Fehmarnbeltquerung – Deutscher Vorhabensabschnitt - hat der Schleswig-Holsteinische Landesbetrieb Straßenbau und Verkehr, Betriebssitz - Anhörungs- und Planfeststellungsbehörde- (ab 01.01.2018 Amt für Planfeststellung) zahlreiche Einwendungen zu bearbeiten. Die BAW berät das Amt für Planfeststellung zu den von den Vorhabenträgern des o.g. Planfeststellungsverfahrens eingereichten Planunterlagen hinsichtlich Teilfragen Hydrologie, Morphologie, Sedimentation. Hierzu liegt vom Amt für Planfeststellung ein Fragenkatalog an die BAW vor, der im Folgenden bearbeitet wird.

2 Unterlagen und Daten

Es lagen 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
- [4] Präsentationsfolien zum Arbeitsgespräch am 24.01.2018

3 Hydrologie und Sedimentation allgemein

3.1 Sind die Ergebnisse der Modelle zu Hydrologie und Sedimentation in den Planfeststellungsunterlagen belastbar und nachvollziehbar?

3.1.1 Beurteilung der Eignung und Anwendung der Modelle hinsichtlich Angemessenheit, Plausibilität, rechtlicher Tragfähigkeit, Berücksichtigung von Unsicherheiten. Gibt es Mängel?

Die vom Gutachter verwendeten Methoden der Modellierung sind geeignet, die mit dem beantragten Bauprojekt zusammenhängenden, fachlich relevanten Fragestellungen im Rahmen der Antragsunterlagen zu klären. Die Tunnelvarianten haben aus physikalischem Verständnis und wasserbaulicher Sicht aufgrund des vernachlässigbaren Querschnittsverbaus keine messbaren, bleibenden Einflüsse auf die Hydrodynamik und den Sedimenttransport in der Ostsee, da die hydraulische Leistungsfähigkeit des Fehmarnbeltes durch die Tunnelvarianten nicht beeinträchtigt wird, (UVS Anlage B, Seite 800, UVS Band IVc Seite 3652). Die temporären Bauwerke (Tunnelgraben, Bauhafen) werden zurückgebaut (UVS, Band IVb und PÄU Anlage 16.1). In dem von großskaligen, langperiodischen Bewegungen geprägten System Ostsee ist die prägende Kräftebalance die Geostrophie (Stewart 2008, Seiten 151 ff.). Die Dissipation an den Ufern des Fehmarnbeltes, welche nur in Ufernähe bedeutsam ist, wird durch die Tunnelportale nur unwe-

sentlich beeinflusst. Die „hydrodynamisch reibungswirksame“ Zone des Ufers wird in ihrer räumlichen Ausdehnung maßgeblich durch die dort typischen Längen vorhandener, senkrecht zur Küste in den Strom ragender Strukturen bestimmt. Im Fehmarnbelt sind die längsten Strukturen die Molen der beiden Fährhäfen. Durch die Landgewinnungsflächen werden diese Strukturen verkürzt, somit die Dissipation an der Küste eher vermindert. Die auf 500m beidseitig des Beltes zum Teil oberhalb des Meeresbodens liegenden Tunnelröhren sind in ihrer Länge und damit in ihrer dissipativen Wirkung vergleichbar mit der Wirkung der Hafenmolen (Rödby ~450m, Puttgarden ~650m senkrechter Uferabstand). Somit wird die ufernahe Dissipation in einer vergleichbaren Größenordnung wie bisher liegen und daher zu keiner Veränderung der großräumigen Bewegung der Ostsee führen. Daher ist es im Rahmen der UVS angemessen, zu der angesprochenen Thematik primär auf die Wirkungen des Bauvorhabens in der Bauphase zu fokussieren. Die Modellergebnisse und deren Bewertung können plausibel nachvollzogen werden.

Auch während der Bauphase und des offenen Tunnelgrabens besteht keine hydraulisch wirksame Querschnittsänderung, die sich auf die großräumige Bewegung der Ostsee auswirken wird. Die örtlichen Effekte eines offenen Tunnelgrabens hinsichtlich z.B. Strömung, Salinität, oder Schichtung sind in PÄU Anlage 30.3 (2016) ausreichend beschrieben.

Inwieweit Rechtsvorschriften regeln, welche Mindest-Anforderungen an die Qualität einer Modellierung gestellt werden müssen, ist von der Planfeststellungsbehörde zu klären. Der Gutachter hat sich über die Unsicherheiten in Eingangsdaten der Modellierung der abiotischen Parameter geäußert (siehe auch weiter unten im Text).

Die Modelle sind nicht der Maßstab sondern eines der Hilfsmittel des Gutachters zur Bewertung des Sachverhaltes (z.B. Hochwasserneutralität der Baumaßnahme). Weitere Hilfsmittel sind Naturmessungen (die wie Modelle Unsicherheiten aufweisen), anerkannte Fachliteratur und das eigene Fachwissen.

Die Unterlagen zeigen, dass der Gutachter die Modellierung im Kontext umfangreicher weiterer Studien und bereits aus früheren Projekten gewonnener Erkenntnisse als ein Werkzeug genutzt hat, um Eingangsgrößen für seine Bewertungskriterien zu erhalten. Die vorhandenen Unschärfen der Modellierung sind den Gutachtern bewusst, siehe UVS Anhang B. Daher ist es glaubhaft, dass dieser Umstand auch in der Interpretation und Bewertung der Berechnungsergebnisse für Hydrodynamik und Schwebstofftransport berücksichtigt worden ist. Dies sei an folgenden Beispielen dargestellt:

- a. Als Beispiel für eine „auf der sicheren Seite liegende Bewertung“ kann angeführt werden: Maßstab der Bewertung der Änderung des Wasserstandes ist letztendlich die Brückenvariante, d.h. die Variante mit der diesbezüglich größten Änderung.
- b. Auch die Einführung eines „Plan B“ für die Wiederverfüllung des Grabens ist ein Beispiel, dafür, dass die Gutachter hier die Genauigkeit der Modellprognosen in Bezug auf die Verfüllzeit nicht zu hoch bewerten.

- c. Ein drittes Beispiel ist die Vernachlässigung einer Hintergrundkonzentration bei der Modellierung der Verdriftung der Schwebstofffraktionen. Eine Hintergrundkonzentration würde nämlich die relative Kontamination der Wassersäule durch die Baggertätigkeiten (im Verhältnis zum ungestörten Zustand) reduzieren. Auf Seite 57 in "Ergänzende Erläuterungen zur Sedimentverdriftung" vom 14.12.2017 - wird erläutert, warum eine Berücksichtigung einer Hintergrundkonzentration die Gesamtkonzentration an Sediment im Wasserkörper nicht stärker erhöht, als wenn die Kontamination von reinem Wasser angenommen wird. Je höher die Hintergrundkonzentration ist, desto weniger wird durch das zusätzlich eingemischte Sediment-Wassergemisch die Gesamtkonzentration erhöht.

3.1.2 Ist die Modellierung fachgerecht vorgenommen worden (Stand der Technik und der Wissenschaft)? Lassen sich anhand der Modelle Aussagen zu lokalen, mittlräumigen und großräumigen Effekten auf Hydrologie/ Morphologie/ Sedimentation treffen?

Die Modellierung ist fachgerecht vorgenommen worden. Die in den Antragsunterlagen dargestellten Modellergebnisse sind interpretiert und bewertet worden, d.h. unter Einbezug von Fachwissen aus der Ozeanographie und dem Küsteningenieurwesen wurden nachvollziehbare und plausible Aussagen zu relevanten Wirkungen des Bauvorhabens auf großräumigen und mittlräumigen Skalen abgeleitet.

Hinweis: Auf die eingesetzten Modellverfahren wird u.a. auf Seite 12 in - "Ergänzende Erläuterungen zur Sedimentverdriftung" vom 14.12.2017 und UVS Anlage 15, Anhang B (Seite 800), oder UVS, Anlage 15, Anhang A (Seite 34) hingewiesen. Die Modellverfahren (numerische Methoden) des DHI und des IOW entsprechen dem Stand der heutigen Wissenschaft und Technik. Hinsichtlich der Eingangsdaten wurden aktuell verfügbare, anerkannte und geprüfte Datensätze (Bathymetrie, Randwerte, Vergleichsmessungen) genutzt. Es wurden in Abhängigkeit von der Fragestellung unterschiedliche Modellauflösungen verwendet (Vortrag Arbeitsgespräch Kiel, 24.01.2018). und die in der Ostsee in dem Untersuchungsgebiet dominierenden Prozesse modelliert. Auf die möglichen Fehlerquellen in den Eingangsdaten wie deren begrenzte räumliche/zeitliche Auflösung, ihr Alter oder die Art der Datenerhebung wurde z.B. in der Unterlage UVS, Anlage 15 Anhang A (Seiten 86 und 96) oder in dem Arbeitsgespräch (24.01.2018) hingewiesen. Eine Abbildung des Tunnelgrabens im Sedimenttransportmodell wäre nur dann erforderlich, wenn die Wirkung der Bathymetrie im Bereich des Grabens auf die Sedimentfreisetzung in einer relevanten Größenordnung in Relation zur Sedimentfreisetzung durch Baggertätigkeiten stünde, und daher zur Ermittlung der Suspensionsraten herangezogen werden muss. Dies ist jedoch erkennbar nicht der Fall, da Vertiefungen im Meeresboden von lokaler Ausdehnung (hier ein **quer** überströmter Graben) aus wasserbaulicher Erfahrung (beispielsweise an Hafenzufahrten) tendenziell als Sedimentfalle wirken. Es ist daher angemessen und in der Sedimentbilanz der baubedingten Sedimentverdriftung auf der sicheren Seite, die Wirkung des Grabens auf den lokalen projektbürtigen Sedimenteintrag zu vernachlässigen.

Bei der Modellierung von Sedimenttransportraten ist (im Gegensatz zur Hydrodynamik) immer

zu berücksichtigen, dass eine vollständige auf Naturgesetzen basierte, geschlossene Theorie (vergleichbar mit der Hydrodynamik), auf die sich mathematisch-numerische Modelle im Allgemeinen stützen können, noch nicht existiert. Somit sind die quantitativen Aussagen nicht allein über Modellergebnisse, sondern auch durch die projektbegleitenden Naturuntersuchungen oder aus früheren Beweissicherungen vergleichbarer Bauvorhaben zu stützen. Aus der UVS geht nicht zweifelsfrei hervor, ob neben den Modellergebnissen auch eine weitergehende Interpretation und Bewertung der Berechnungsergebnisse in die Wirkungsprognosen eingeflossen ist.

➔ **Empfehlung:** Der TdV hat darzulegen, wie eine weitergehende Interpretation und Bewertung der Berechnungsergebnisse in die Wirkungsprognosen eingeflossen ist. (siehe auch Empfehlung zu Kap. 4.5.1)

3.1.3 Sind die angenommenen Freisetzungsraten, Sedimentationshöhen, Verdriftung der Sedimente und Schwebstoffkonzentrationen plausibel?

Die angenommenen Freisetzungsraten wurden aus Feldversuchen und Erfahrungswerten aus der Praxis abgeleitet. Die Freisetzungsraten erscheinen nach den mündlichen und schriftlichen Vorträgen (Arbeitsgespräch 24.01.2018) plausibel. Zur Nachvollziehbarkeit wäre es in den Antragsunterlagen jedoch erforderlich gewesen, die Zahlen mit Hintergrundinformation in Form von Zitaten zu belegen bzw. im Text näher zu beschreiben wie die Zahlen ermittelt wurden und ob sie auf der sicheren Seite liegen.

➔ **Empfehlung:** Der TdV sollte die angenommenen Sedimentfreisetzungen nachvollziehbar herleiten. Er sollte zusätzlich plausibel erläutern, welche „praktischen Gründe“ zu der Annahme geführt haben, dass die Sedimentfreisetzung während des Baggers als gleichmäßig über die Wassersäule verteilt betrachtet wurde und warum bzw. für welche Umweltauswirkung dies eine „auf der sicheren Seite liegende Annahme“ ist.

Die Freisetzungsraten werden ausnahmslos auf die Bagbertätigkeiten am Tunnelgraben und die Drainage der Landgewinnungsflächen auf Lolland zurückgeführt. Die bei der Herstellung der Maßnahme „Sagas-Bank“ freigesetzten überwiegend sandigen Sedimente sind bei der großräumigen Modellierung der Sedimentverdriftung nicht berücksichtigt worden (UVS, Anlage B). Dies ist auch nicht nötig, da die dabei freigesetzten Sedimentmenge im Vergleich zu den in Tabelle 0-299 (UVS, Anlage B) angegebenen, projektbürtigen Mengen gering ist. Eine Berücksichtigung dieser Sedimente würde nicht zu einer maßgeblichen Änderung der bisher ermittelten, großräumigen Sedimentverdriftung und damit zu keiner Änderung der gutachterlichen Aussagen führen.

Das Absetzen eines Steines ist jeweils als Einzelmaßnahme zu betrachten. Durch das Absetzen wird lokal in einem Radius von einigen 10m um den Absetzort Sediment aufgewirbelt, welches

nur in einem sehr kurzen Zeitfenster sohnah zu bemerken ist (leicht erhöhte Suspensionskonzentration sohnah). Dieser Aspekt ist in den Antragsunterlagen nicht behandelt. Die BAW sieht aufgrund der geringen und singulären Wirkungen jedoch keine fachliche Notwendigkeit eines Nachweises. Es wird dennoch empfohlen, höchst vorsorglich entweder einen Nachweis der Einzelwirkung prognostisch zu führen (z.B. durch Analysen früherer Steinverklappungen) oder verbal argumentativ den möglichen Effekt zu beschreiben.

Die Verdriftung und Sedimentationshöhen der projektbürtigen Sedimente wurden nicht **angenommen** (Annahme==Voraussetzung) sondern durch die Modellverfahren simuliert, d.h. berechnet. Die Berechnungsergebnisse wie z.B. resultierende, kumulative Höhen über den gesamten Bauzeitraum der Baggertätigkeiten wurden dann dargestellt. Da die Größenordnung der aus den Modellen berechneten Werte im Verhältnis gering erschien, wurde darauf verzichtet, eine detailliertere Analyse vorzunehmen, insbesondere wie groß die Sedimentationsraten sind. Lediglich das berechnete Endergebnis (Sedimentationshöhe am Ende der Bauphase) ist dargestellt. Aus dieser Angabe lassen sich jedoch die durchschnittliche Sedimentationsraten im Nachhinein ausrechnen, indem die durch das Modell berechnete ortsbezogene Sedimentationshöhe durch den Bauzeitraum geteilt wird.

3.1.4 Ist die Darstellung der Ergebnisse nachvollziehbar, belastbar und vorsorgeorientiert?

Hinsichtlich der Fragestellung „Hochwasserneutralität“ ist die Modellierung gut genug, um diesen Punkt zweifelsfrei bewerten zu können. Die Ergebnisse der Modellierung der Fernwirkung der Sedimentverdriftung sind als „konservative“ Abschätzung anzusehen, insbesondere, weil die natürliche Hintergrundkonzentration bei der Modellierung vernachlässigt wurde. Diese liegt nach Aussage des TdV beim Neunfachen der durch das Projekt freigesetzten Sedimente ("Ergänzende Erläuterungen zur Sedimentverdriftung" vom 14.12.2017).

An einigen Stellen verbleiben im methodischen Vorgehen Unsicherheiten, insbesondere dort, wo Annahmen (z.B. über den Ablauf der Baggarbeiten, das für die Wahl der Randwerte zu Grunde gelegte hydrologische Jahr, die Freisetzungsraten) zu treffen waren.

Die Nachvollziehbarkeit ist zum Teil nur durch übergreifende Betrachtung der Gesamtunterlagen möglich. Hilfreich ist da eine konsequente, elektronische Verlinkung der Dokumente, insbesondere der Verweise auf Abbildungen, Hintergrundberichte, Literatur und zentrale Aussagen. Die Verlinkung der Planfeststellungsunterlagen und Planergänzungsunterlagen auf der zentralen Website der Planfeststellungsunterlagen (<https://femern.com/de/Tunnel/Milestones-for-the-project/Approval-process-in-Germany/The-German-plan-approval-procedure>) funktioniert einwandfrei, so dass dieser Aspekt innerhalb der Unterlagen weitgehend erfüllt wurde.

Hinweis: Es liegt bei einem derartig umfangreichen und komplexen Projekt in der Natur der Sache, dass es Lücken in der Begutachtung und ihrer Dokumentation gibt. Sind also im Rahmen

des Erörterungsverfahrens Fragen ungeklärt geblieben, so obliegt es den Gutachtern (sowohl des TdV als auch Betroffener), ihre fachliche Sicht nachvollziehbar zu ergänzen und (für alle Beteiligten nachvollziehbar) zu begründen. Bestehen am Ende noch Wissenslücken in dem einen oder anderen Punkt, so ist vom TdV darzulegen, wie er vorsorgeorientiert mit diesen Lücken umgeht. Soweit bei den prognostizierten umweltrelevanten Wirkungen aufgrund von Unschärfen in der Modellierung oder Unsicherheiten in den getroffenen Annahmen und Bewertungen bestehen, ist für die Ermittlung der später tatsächlich eintretenden Wirkungen eine Beweissicherung anzuordnen, um z.B. den Nachweis sicherzustellen, dass Grenzwerte (z.B. eine maximal zulässige Sedimentkonzentration) vorhabenbedingt eingehalten werden. Soweit es in der Praxis offensichtliche Betroffenheiten geben kann (wie z.B. Hochwasserschutz, Kontamination von Uferbereichen) hat sich der Vorhabensträger mit der jeweilige Fragestellung und den Konsequenzen der Maßnahme ausreichend auseinander gesetzt. Der TdV zeigt zum Beispiel beim Thema Sedimentverdriftung dadurch, dass er sich selbst ein Monitoring während der Baggerarbeiten auferlegt, dass hier die Wissenschaft noch keine so exakte Quantifizierung der Prozesse vornehmen kann, wie es erforderlich wäre, um jedes Risiko für die Umwelt auszuschließen. Insofern ist der Umgang mit den eigenen wissenschaftlichen Methoden und den daraus folgenden Konsequenzen für das praktische Handeln durchaus als vorsorgeorientiert zu betrachten. Die Er widerungen des Antragstellers zu den Fragen der Gutachter der Gegenseite in Bezug auf fachliche Fragestellungen sind in ihrer Aussage im Allgemeinen fachlich nicht zu beanstanden. Bei der Fülle der Unterlagen ist der Wunsch der Gegenseite, die Unterlagen besser strukturiert zu bekommen, im Grundsatz verständlich. Es ist jedoch möglich, die Aussagen der Gutachter mit dem fachlichem Hintergrundwissen eines Bauingenieurs/Ozeanographen nachzuvollziehen und zu verstehen.

Hinweis: An mancher Stelle hätte eine detailliertere naturwissenschaftliche Erklärung für die gutachterlichen Schlussfolgerungen und Bewertungen des Antragstellers die Nachvollziehbarkeit der Aussagen erleichtert. Im Falle der angenommenen Freisetzungsraten wäre eine Erklärung sogar erforderlich gewesen (siehe deswegen die Empfehlungen in Kap. 3.1.3.).

3.1.5 Der Vorhabenträger führt in seinen aktuellen ergänzenden Erläuterungen zur Sedimentverdriftung (vom 16.11.2017 bzw. 14.12.2017 als M09 im Materialband) an, dass in anderen deutschen Projekten, die mit dem Thema Sedimentfreisetzung umgehen mussten, oft ein anderer Ansatz gewählt wurde. Statt mit einem vollständigen Jahreslauf für die Auswirkungsprognose zu rechnen, wurden repräsentative kurze Einzelzustände (Szenarien) ausgewählt und die Ergebnisse dann auf die gesamte Freisetzungszeit oder Bauzeit extrapoliert (z. B. Anpassung der Fahrrinne von Unter- und Außenelbe an die Containerschifffahrt). Ist die von den Vorhabenträgern gewählte Vorgehensweise ausreichend aussagekräftig und zielführend, um die Auswirkungen des Vorhabens zu ermitteln und zu beschreiben (Stichwort: worst case-Szenario)?

Die Vorgehensweise, ein hydrologisches Jahr zugrunde zu legen, und dieses für die gesamte

Bauphase zu wiederholen, ist angemessen zur Abschätzung der Sedimentverdriftung. In dem System Fehmarnbelt ist der Jahreszyklus die dominante Zeitskala, sowohl für das Auftreten von Strömungsereignissen (diese sind gekoppelt mit der Häufigkeit von Stürmen und haben Einfluss auf den Sedimenttransport), als auch für die Wassertemperatur, die maßgeblichen Einfluss auf Schichtung und Sauerstoff hat. Bei Projekten an der Nordseeküste (z. B. Fahrrinnenanpassung Elbe) ist dagegen der Sedimenttransport maßgeblich durch das Tidegeschehen dominiert, welches bereits durch kürzere Simulationszeiträume (Spring-Nipp-Zyklus) abgebildet werden kann. Die Tideströmungen im Fehmarnbelt spielen für den Sedimenttransport eine untergeordnete Rolle, da sie einen nahezu sinusförmigen Verlauf mit einer geringen Amplitude zeigen und die reinen Tideströmungen daher Schubspannungen unterhalb der kritischen Erosionsschubspannung erzeugen. Maßgebliche Transporte werden daher überwiegend durch die Stürme und deren Häufigkeit in den Jahreszeiten bestimmt.

4 Hydrologie

4.1 Auflösung des Modells:

4.1.1 Ist die gewählte Auflösung der Modelle (Modellraster) grundsätzlich geeignet, um die Auswirkungen des Tunnels sowohl während der Bauzeit als auch nach Bauende auf die Hydrografie, den Sedimenttransport und die Wasserqualität zu prognostizieren?

Es wurden mehrere Modelle unterschiedlicher Auflösung zur Beantwortung der mit der Fragestellung verbundenen Prozesse herangezogen. Diese lösen die jeweils zu betrachtenden Prozesse auf, d.h. die gewählte Auflösung der Modelle ist grundsätzlich geeignet. Die Wirkung des Grabens auf lokale Strömungsverhältnisse während der Bauzeit kann mit den großräumigen Modellen allein nicht beurteilt werden. Ergänzend wurden jedoch Modellstudien mit einem hochauflösenden Modell zur Hydrodynamik im Nahbereich des Tunnelgrabens nachgeliefert (PÄU, Anlage 30.3).

Für die großräumige Simulation der Hydrodynamik (Skala Ostsee) wurden verschiedene Modellverfahren (MIKE, MOM, GETM) aus unterschiedlichen Fachbereichen (Wasserbau, Ozeanografie) parallel eingesetzt.

Hilfreich wäre eine schlüssige, wissenschaftlich begründete Aussage, weshalb die Modellauflösung für die Fragestellung „Sedimentverdriftung“ für ausreichend befunden wird. In den Unterlagen wurde keine nachvollziehbare Begründung hierzu gefunden. Als Indiz kann herangezogen werden, dass der Tunnelgraben (als Bauwerk) keine messbare Wirkung auf die Hydrodynamik (UVS, Anlage B) und die Sedimentfreisetzung hat, und daraus gefolgert werden, dass er auch keinen Einfluss auf die daraus abzuleitende großräumigen Sedimentverdriftung haben kann. Die Wirkung der Baggerarbeiten (Sedimentfreisetzung) wurde als Sedimentquelle in den Rechenzellen parametrisiert eingesteuert. Dieses Vorgehen ist aus wasserbaulicher Sicht plausibel und führt hinsichtlich der großräumigen Sedimentverdriftung zu auf der sicheren Seite liegen-

den Ergebnissen, da ein (zu) grobes Gitter zu einer „Verschmierung“ der Sedimentfahne führt. Im Nahbereich des Grabens (unmittelbar angrenzende Gitterzellen) wird dann jedoch die Sedimentationsrate unterschätzt. Aus den vorliegenden Dokumenten (Arbeitsgespräch Kiel am 24.0.2018 und in Anlage 30.3) geht hervor, dass die lokale Strömungsverteilung im Nahbereich des Grabens mit einem hochauflösenden Modell simuliert wurde. Es zeigt sich, dass sich bei Überströmung des Grabens nur auf der Fläche des Grabens im vertikalen Strömungsprofil eine deutliche Abweichung von einem Zustand ohne Graben zeigt, in Stromlee des Grabens jedoch das Profil wieder die ursprüngliche Charakteristik vor Passieren des Grabens aufweist. Dieses Verhalten wurde bereits von (van Rijn 1986) beschrieben. Im Bereich des Grabens ist durch die höhere Wassertiefe mit einer reduzierten Strömungsgeschwindigkeit zu rechnen, was (abhängig von der Sedimentfracht und der Gesamtwassertiefe) zu zeitweisen Eintrag von Sedimenten in den Graben führen kann (Effekt eines Sandfangs). Dies ist in den Unterlagen beschrieben. Hinweis: Mit einem in Relation zu aus Baggertätigkeiten freigesetzten, erheblichen zusätzlichen Austrag an Sedimenten aus dem Graben ist aufgrund der innerhalb des Grabens herrschenden, strömungsberuhigten Situation nicht zu rechnen – dies entspricht dem wasserbaulichen Erfahrungswissen (hier ohne Nachweis). Daher ist es zur Ermittlung der großräumigen Sedimentverdriftung aus wasserbaulicher Sicht zulässig, auf eine detaillierte Betrachtung des Grabens als wirksames Bauwerk zu verzichten. Da der Graben auch für die bei der Baggertätigkeit freigesetzten Sedimente in der überwiegenden Bauphase eine Sedimentfalle darstellt, führt das Weglassen des Grabens sogar eher zu einer Überschätzung der zur Verdriftung anstehenden freigesetzten Sedimentmenge (=sichere Seite).

Hinweis: Auf die Darstellung der Sedimentfahne im Modell wirkt sich eine grobe Auflösung dahingehend aus, dass sich das Sediment stärker (d.h. über eine größere Fläche) verteilt, als dies in der Natur tatsächlich der Fall ist. Im Nahbereich des Grabens (siehe oben) kann es daher zu einer Unterschätzung der Konzentrationen und Sedimentationsraten kommen, in der Größe der insgesamt durch weiträumige Verdriftung betroffenen Fläche dagegen zu einer Überschätzung. Bei der Frage der Relevanz für die auf der Modellierung aufbauenden ökologischen Gutachten ist neben der Frage der räumlichen Ausbreitung auch zu bewerten, in welchem Zeitraum wieviel Material ankommt und in welchem Verhältnis diese Sedimentationsraten zur Resilienz (Fähigkeit der Anpassung) der Organismen stehen.

4.1.2 Ist es zulässig, für die Abschätzung der Auswirkungen auf Hydrologie nur den Bauwerksendzustand im Modell zu berücksichtigen (bauzeitlicher offener Graben des Absenktunnelverfahrens nach Angabe des Vorhabenträgers nicht betrachtet)? Der Vorhabenträger geht auch weiterhin davon aus, dass es nicht erforderlich ist, die Modellierung so aufzustellen, dass der Tunnel abgebildet wird (Ergänzende Erläuterungen zur Sedimentverdriftung vom 16.11.2017, S. 29).

Ja, denn die hydraulische Wirkung des betrachteten Grabens auf die Strömungsgeschwindigkeit ist auf unmittelbare Umgebung des Grabens beschränkt. Energetisch betrachtet stellt die Fläche des Grabens nur einen sehr kleinen Anteil am zu modellierenden hydrodynamischen Gesamtsystem dar.

Die Wirkung der Baumaßnahmen als Sedimentquelle wird mit Hilfe anderer Methoden hinreichend abgebildet (z.B. verlässliche quantitative Beschreibung der maximalen Sedimentfreisetzung bei den Baggerarbeiten). Eine Freisetzung von Sedimenten durch die alleinige Existenz des Grabens ist nicht zu erwarten, da die Grabenböschungen so hergestellt werden sollen, dass sie stabil bleiben (PÄU Anlage 27.1). Hinsichtlich der Hydrodynamik stellt der Graben in der Energiebilanz der großräumigen Bewegungen des Wasserkörpers eine Fläche mit vermindertem Reibungseinfluss dar. Die relative Wirkung des Grabens (bezogen auf die ursprüngliche Wassertiefe) ist dabei umso größer, je größer das Verhältnis „Grabentiefe“/„ungestörte Wassertiefe“ ist. Der verminderte Effekt der Sohlreibung führt zu einer Veränderung des vertikalen Strömungsprofils und der Strömungsrichtung über dem Graben und dem dort in Fließrichtung angrenzenden Bereich, in dem sich die über dem Graben veränderten Strömungsprofile wieder auf das „normale“ (d.h. ungestörte) Strömungsprofil anpassen. Der geringere Reibungsverlust der Strömung im Bereich des Grabens ist ins Verhältnis zu setzen mit der Gesamtfläche der Reibungselemente, die die Strömungen in der Ostsee bestimmen (Flachwassergebiete, Impulsumlenkung durch Inseln etc.). Es ist physikalisch hinreichend begründbar, dass der Graben daher keinen messbaren Einfluss außerhalb des unmittelbaren Nahbereichs auf die Hydrodynamik der Ostsee haben kann. Somit war es für den Zweck der Modellierung der großräumigen Verdriftung der beim Baggern freigesetzten Sedimente zulässig, den lokalen Effekt des Grabens zu vernachlässigen.

4.2 Kalibrierung und Validierung der Modelle / Naturnähe:

4.2.1 Ist eine ausreichende Kalibrierung und Validierung der Modelle mit Naturwerten erfolgt? Basiert die Kalibrierung und Validierung auf einer ausreichenden Datengrundlage und ist dies nachzuvollziehen? Sind auch Extremereignisse (starke Salzwassereinbrüche, Extremsturmfluten o.ä.) zu betrachten und falls ja, sind diese ausreichend berücksichtigt? Der Vorhabenträger führt in diesem Zusammenhang aus, dass sämtliche Extremereignisse im dem Untersuchungszeitraum für den Kalibrierungs- und Validierungsprozess berücksichtigt wurden und es für die Naturähnlichkeit des Modells nicht erforderlich ist, darüber hinausgehende Extremereignisse abzubilden und zu berücksichtigen (Ergänzende Erläuterungen zur Sedimentverdriftung, S. 31). Ist diese Einschätzung so zutreffend?

Eine Validierung des Modellverhaltens ist in den Antragsunterlagen für das Jahr 2005 erfolgt. Das modellierte Jahr 2005 enthält auch Extremereignisse im Wasserstand (leichte und mittlere Sturmhoch- und Niedrigwasser) Für den Nachweis der Validierung wurden u.a. gemessene und berechnete Wasserstände an einzelnen Pegelstandorten miteinander verglichen (UVS, Anlage 15, Anhang A, S. 55 ff.). Bei dem Vergleich von Messwert (Natur) und Rechenwert („mathematisches Ersatzsystem“ der Natur) treten Differenzen auf, die erklärbar sind und entsprechend bewertet wurden.

Da das Ziel der Untersuchung nicht primär dem Nachweis der Hochwasserneutralität dient, spielen nicht die absoluten Hoch- und Niedrigwasserstände die entscheidende Rolle, ob die Zeitreihe als repräsentativ für das Geschehen im Fehmarnbelt angesehen werden kann. Viel-

mehr können auch leichte Extremwasserstände zu Strömungsgeschwindigkeiten führen, die man auch während eines Sturmereignisses beobachten kann, wenn deren Ablauf sich in einem kürzeren Zeitraum vollzieht. Hinsichtlich der Wasserstände ist in der Ostsee sowohl auf Dänischer wie Deutscher Seite eine ausreichende Anzahl an Pegeln verfügbar. Die Validierung des verwendeten Modells hätte daher noch ausführlicher dargestellt und belegt werden können (z.B. separater Anlagenband mit Abbildungen). Es ist jedoch glaubhaft (allerdings genaugenommen nicht nachgewiesen), dass das Modell nicht nur an den drei in Tabelle 0-11 (Methodik-Band A, Seite 28) genannten Stationen (u.a. Warnemünde) eine Ähnlichkeit in den Wasserständen in der dargestellten Qualität zeigt. Abweichungen zwischen Rechenwerten des Modells und Messwerten aus Naturmessungen wurden u.a. mit den Unschärfen in den Rand- und Steuerwerten (Meteorologie) des Modells begründet.

Hinweis: Im Einzelfall kann der Standort eines Küstenpegels für die Modellierung so ungünstig sein, dass in unmittelbarer Umgebung des Pegels eine sehr hohe Auflösung des Modellgitters erforderlich wäre, um diesen Pegel gut widerzugeben, auch wenn das Geschehen dort für die Betrachtung der Simulation im Hinblick auf die Fragestellung gar nicht von Belang ist. Insbesondere tritt diese Problematik in abgeschlossenen Flachwasserbereichen mit nur sehr schmalen Zugang zur Ostsee auf (Bodden, Haff, Fjord). Anwendbar wäre die Betrachtung beispielsweise für den Pegel Heiligenhafen.

Ein objektives, allgemein anerkanntes Kriterium, bei welcher Modellgenauigkeit ein Modell als „naturähnlich“ anzusehen ist, und ein fester Maßstab, wie das zu belegen ist (DIN-Norm, EU-Norm o.ä.) existieren bislang nicht. Es obliegt dem Gutachter, die ihm bekannten Unschärfen des Modells zu benennen, richtig zu interpretieren und daraus die richtigen Schlüsse bei der Interpretation und Bewertung der Berechnungsergebnisse zu ziehen. So enthält die Tabelle für die freigesetzten Baggermengen zum Teil Angaben „von bis%“, was bereits eine Unschärfe in den Eingangsdaten „Sedimentquelle“ signalisiert. Dass die Modellierung der Beeinträchtigung durch verdriftende Sedimente mit Unschärfen verbunden ist, lässt sich schon aus der Selbstverpflichtung des TdV zu einem Monitoring der Baggararbeiten und der dabei entstehenden Sedimentfreisetzungsraten während der Bauphase ableiten LBP, Seiten 664-665. Der TdV setzt sich mit den ermittelten Beeinträchtigungen im Landschaftspflegerischen Begleitplan selbst einen Rahmen, innerhalb dessen er sich hinsichtlich der freigesetzten Sedimente bewegen darf. Faktisch ist es damit irrelevant, ob das modellierte Verdriftungs-Szenario eine Unschärfe enthält, solange Ergebnisse desselben den Rahmen setzt, an den sich der TdV im tatsächlichen Bauablauf zu halten hat. Die auf dem Verdriftungs-Szenario aufbauenden Aussagen zu Folgewirkungen (z.B.) gelten natürlich auch nur unter der Annahme, dass die o.g. Aussage im LBP in Form einer Selbstverpflichtung verstanden wird, die im Szenario errechneten Belastungen keinesfalls zu überschreiten. Die Selbstverpflichtung im LBP ist aus Sicht der BAW die „richtige, d.h. praxisgerechte Interpretation“ der ihm bekannten Unschärfen bei der Simulation des Sedimenttransports.

4.2.2 Für alle Teilmodelle wurden die meteorologischen und hydrodynamischen Bedingungen des Jahres 2005 als Randbedingungen angesetzt. 2005 stellt nach Angaben der Vorhabenträger ein typisches Jahr für die Fehmarnbeltregion dar. Ist diese Annahme zutreffend und das gewählte Vorgehen fachgerecht?

Die Annahme, dass 2005 ein typisches hydrologisches Jahr für die Ostsee ist, kann bestätigt werden. Als „typisch“ ist im Kontext anzusehen, wenn das Jahr die sommerliche, ruhigere Periode mit geringen Schwankungen des Wasserstands gleichermaßen enthält, wie die im Winterhalbjahr auftretenden, windbedingten Hoch- und Niedrigwasserereignisse. Hinweis: Für die Validierung eines hydronumerischen Modells ist die Wahl des simulierten Zeitraums nicht von Relevanz. Mit der Validierung soll nur die Naturähnlichkeit des Modells gezeigt werden. Für die Simulation des Verdriftungsszenarios ist hinreichend, wenn typische hydrologische Ereignisse auftreten, die während der Baggerarbeiten zu erwarten sind (z.B. eine Häufung von Windereignissen im Herbst-Frühjahr). Ereignisse, während der Baggerarbeiten aus praktischen Gründen ausgeschlossen sind, z.B. extreme Hochwasser, müssen nicht im gewählten Simulationszeitraum zwingend enthalten sein.

Welches Wetterszenario tatsächlich während der Bauphase eintreten wird, ist nicht seriös prognostizierbar, da ja der Termin des **tatsächlichen Baubeginns** nicht prognostizierbar ist. Hier müssen also Annahmen getroffen werden, die sich an der Vergangenheit orientieren.

4.2.3 Der Jahresverlauf von Strömung, Wellen und Wind im Fehmarnbelt wird anhand der Ergebnisse der Messstationen MS01 und MS02 dargestellt, die beide eher im tiefen Wasser liegen. Basieren die Modellergebnisse ausschließlich auf den Ergebnissen dieser beiden Messstationen und sind diese repräsentativ und geeignet für Aussagen, die sich auf den gesamten Querschnitt des Fehmarnbelts beziehen müssen (also auch auf die Flachwasserbereiche)?

Die Modellergebnisse basieren nicht auf den genannten Messstationen. Vielmehr dienen die Messungen der beiden Messstationen der Validierung der Modellergebnisse und Modellannahmen. Die Modelle basieren allgemein formuliert auf mathematischen Gleichungen, die aus der Hydrodynamik stammen und deren Lösung in einem numerischen Algorithmus erfolgt. An den Rändern der Modelle (Wasseroberfläche, Boden, offener Rand z.B. zum Kattegat) werden die passenden Datengrundlagen verwendet, um die Modelle zu steuern. Im Modellgebiet selbst entwickelt sich die Lösung der Gleichung durch die zeitlich veränderlichen Randbedingungen, wie Meteorologie, Wasserstand, Salzgehalt, Wassertemperatur am offenen Rand. Die Aussagen der Modelle gelten im Rahmen der gewählten Auflösung auch für Flachwasserbereiche. Der Detaillierungsgrad kann jedoch in der Aussage nicht besser als die gewählte Modellauflösung werden. So gilt eine Aussage über die Schwebstoffkonzentration beispielsweise für den Bereich einer Modellzelle, nicht für einen Mess-Punkt. Daher sind Messungen nötig, um zu zeigen, wie repräsentativ das Modell in einem bestimmten Bereich des Untersuchungsraumes für die Realität ist. Bei großräumigen Verteilungen wie oft beim Wasserstand oder Konzentrationen des Salzgehaltes oder Schwebstoffen kann eine Punktmessung bereits ausreichend sein, um ein Modell zu validieren.

4.3 Hochwasserneutralität:

4.3.1 Ist der Einwand berechtigt, dass die Hochwasserneutralität der Festen Fehmarnbeltquerung nicht nach hiesigem Standard nachgewiesen ist? Sind die enthaltenen Aussagen zu Hochwasserneutralität nachvollziehbar und wurden die richtigen Bemessungswasserstände zugrunde gelegt (s. hierzu auch Kap. 3.4 der Ergänzenden Erläuterungen zur Sedimentverdriftung)?

Die Hochwasserneutralität ist gewährleistet. Von einer Steigerung der Hochwassergefahr ist aufgrund der geplanten Fehmarnbeltquerung nicht auszugehen (in Femern A/S, 2016 „Erweiterung zu häufig vorgebrachten Themen“).

Ein „Standard“ im Sinne einer rechtlichen Norm für diesen Nachweis existiert nicht. Die Vorgabe ist hier, wie bei allen Nachweisen, diesen nach dem „Stand der Technik und Wissenschaft“ zu erbringen. Es müssen also Methoden eingesetzt werden, die allgemein in der Wissenschaft anerkannt sind, und die Vorgehensweise muss dargelegt werden. Es ist dabei auch zulässig, die Wirkung nach oben abzuschätzen, indem die Wirkung nur für die am stärksten wirkende Variante rechnerisch ermittelt wird, und daraus auf die Wirkung der weniger wirksamen Varianten abzuheben. Da die Brückenvariante das Kriterium der „Hochwasserneutralität“ erfüllt, gilt dies auch für die Tunnelvarianten!

Hinweis: Nach dem Bundeswasserstraßengesetz (Abschnitt, 5 §12) müssen Bundeswasserstraßen so neu- oder ausgebaut werden, dass „mehr als nur geringfügige Auswirkungen auf den Hochwasserschutz“ vermieden werden müssen (Bundesministerium für Verkehr und Digitale Infrastruktur 02.04.1968).

Daher wird in Deutschland bereits im Rahmen einer Machbarkeitsstudie abgeklärt, ob Risiken in Bezug auf den Hochwasserschutz bestehen. Auch ohne gesetzliche Grundlage gebietet es die Vorsorgeorientierung jedoch, die Auswirkungen von Baumaßnahmen auf die kennzeichnenden Wasserstände zu betrachten, soweit ein Einfluss überhaupt möglich erscheint. Theoretisch scheint ein Einfluss durch die (geringe) Veränderung des Querschnitts des Fehmarnbelt möglich. Daher wird die Auswirkung auf den maximalen Wasserstand als Teil der zu bewertenden Kriterien für das Teilschutzgut Hydrografie auf Seite 691, UVS Anhang B, aufgeführt. Der TdV hat sich zur Wirkung der drei Bauwerksvarianten auf den Wasserstand in UVS, Band IV B, Seite 2682 ff. geäußert. Er zeigt hier eine Erhöhung des maximalen Hochwassers (bezogen auf das simulierte Jahr) von +0,003m für die Variante Brücke. Eine solche Änderung kann im Zusammenhang mit dem Thema der Hochwassersicherheit als „geringfügig“ angesehen werden. Es ist somit der Nachweis der Hochwasserneutralität über die nachstehenden Äußerungen erfolgt: Die Gutachter des Antragstellers äußern sich in einer der Erwiderungen zu einer Änderung der Hochwasserstände bei der Variante „Brücke“: Deren Größenordnung wird dort mit $< 0,01\text{m}$ beziffert. Abbildung 8-46 (rechtes Bild) auf Seite 2683 stützt die Aussage des Antragstellers für die Brücken-Variante (UVS, Band IV B). Die Abschätzung erscheint aus Sicht der BAW in der Größenordnung plausibel und konservativ. Die zu erwartenden Werte für die Tunnelvarianten

liegen aufgrund des deutlich geringeren Querschnittverbaus (gegenüber der Brückenvariante) noch darunter. Mit den Modell-Ergebnissen und dieser plausiblen Annahme wird die Hochwasserneutralität der Maßnahme daher belegt.

Hinweis: Die BAW liefert üblicherweise der Vollständigkeit halber für alle von ihr begutachteten Projekte in den Seehafenzufahrten eine gutachterliche Aussage zum Einfluss der jeweils planfestzustellenden Maßnahme auf extreme Hochwasser- oder Sturmflutscheitelwasserstände die aus den Ergebnissen der hydrologischen Modellierung abgeleitet wird. Dies ist jedoch nicht zwingend in jedem Verfahren der fachlichen Notwendigkeit, sondern oft auch der Tatsache geschuldet, dass dadurch unnötige Rückfragen im Rahmen der Verfahren zu diesem Thema vermieden werden. Die Hochwasserneutralität der Maßnahme kann auch implizit in einer allgemeineren Aussage zur Änderung des zeitlichen Wasserstandverlaufs abgeleitet werden. Eine Norm hinsichtlich der Argumentationskette zum Nachweis der Hochwasserneutralität gibt es nicht. Das Faktum muss nur aus den Planungsunterlagen hervorgehen. Das ist hier der Fall. Hinweis: Aus physikalischen Überlegungen heraus kann eine messbare Wirkung der in ihrer Ausdehnung sehr lokalen Baumaßnahme auf das Verhalten großräumiger Bewegungen der Ostsee ausgeschlossen werden. Die dominanten, langperiodischen Strömungsereignisse im Fehmarnbelt führen primär zu einer Querneigung der Oberfläche aufgrund der geostrophischen Balance (Stewart 2008, Seiten 151 ff.). Der Reibungswiderstand des Querschnittes ist für diese langperiodischen Bewegungen ein untergeordneter Einfluss. Eine horizontale Querschnittseingengung führt daher primär lokal zu einer Verstärkung der Strömung im Querschnitt, der Wassermassentransport ändert sich praktisch nicht. Typische Hochwasser von Relevanz in der Westlichen Ostsee haben Scheitelwasserstände von 1,5 bis 2,5 m. Die ermittelte Veränderung des maximalen Wasserstandes liegt in der Größenordnung von weniger als 1% dieses Wertes.

Der TdV hat sich mit dem Thema des Hochwasserschutzes in Schleswig-Holstein durch Sichtung aktueller Literatur auseinandergesetzt. So zitiert er Inhalte des „Generalplan Küstenschutz Schleswig-Holstein (Fortschreibung 2012)“ auf Seite 100 (UVS, Band IV B). Es ist daher davon auszugehen, dass sich der TdV auch mit den in Schleswig-Holstein geltenden Bemessungswasserständen auseinandergesetzt hat. Er schätzt richtigerweise die Relevanz der Maßnahme für den Hochwasserschutz als unbedeutend ein, was beispielsweise auch aus dem Dänischen „Impact Assesment“ (Femern A/S 2013) hervorgeht.

4.4 Unberücksichtigte Daten:

- 4.4.1 Hat die BAW Erkenntnisse zu weiteren in Deutschland vorliegenden Daten, Unterlagen und Dokumenten (z. B. Generalplänen) oder Regelwerken, die bei der Erstellung der Planunterlagen nicht hinzugezogen worden sind, deren Berücksichtigung sich aber bei einer Recherche aufgedrängt hätte? Bestehen Anhaltspunkte, dass bei Erstellung der Planunterlagen durch eine Ausrichtung an dänischen technischen Normen und Vorschriften, Aspekte nicht oder nicht in ausreichender Tiefe oder mit einer nicht vertretbaren Herangehensweise betrachtet**

worden sind, die bei ausschließlicher Beachtung deutscher Regelwerke anders dargestellt worden wären?

Hinsichtlich der Berücksichtigung von Gesetzen und Regelwerken liegt die Bewertung der Vollständigkeit und der Anwendbarkeit und Relevanz in Bezug auf den vorliegenden Einzelfall bei der Planfeststellungsbehörde.

Es ist nach den Unterlagen davon auszugehen, dass der Gutachter für seine Vorgehensweise geeignete Datensätze beschafft bzw. eingefordert hat. Es ist dabei nicht auszuschließen, dass der Gutachter Datensätze, deren Existenz ihm nicht bekannt waren, nicht berücksichtigt hat. Dies bedeutet jedoch nicht, dass unter Berücksichtigung zusätzlicher Datensätze ein anderes Ergebnis in Bezug auf die gutachterliche Bewertung der vorgestellten Modellergebnisse erzielt worden wäre. Die in den Unterlagen benannten externen Datensätze (u.a. Bathymetrie, Meteorologie, Hydrographie), die in der Modellerstellung genutzt wurden, entstammen qualitätsgesicherten Quellen (DHI, BSH, IOW), d.h. die Qualität (Auflösung, Entstehungsgeschichte, ggf. Bearbeiter) dieser Daten kann, wenn auch zum Teil nur mit erheblichem Aufwand, durch Dritte nachvollzogen werden. Dass sich die Gutachter in erheblichem Maße auf dänische Datenquellen beziehen, ist der Tatsache geschuldet, dass für sie der Zugang zu diesen Quellen einfacher ist. Dennoch findet zwischen den hydrographischen Diensten Dänemarks und Deutschlands sowie auf internationaler Ebene auch ein angemessener Datenaustausch statt, so dass die Gutachter zu den für die Untersuchung relevanten Daten über den dänischen hydrographischen Dienst Zugang hatten. Aus den Unterlagen geht hervor, dass für den Bereich des Fehmarnbelts aktuelle Bathymetriedaten in hoher Auflösung erhoben wurden (z.B. UVS Anhang A Methodik, Seite 86). Soweit einzelne Messreihen, obwohl sie verfügbar waren, nicht zur Modellkalibrierung/-validierung genutzt wurden, könnte der Grund darin liegen, dass das Modell im Bereich der Messstation nicht hinreichend aufgelöst wurde, um dort die Messungen abzubilden. So liegt der Pegel Heiligenhafen in einer durch die Nehrung Graswarder getrennten, flachen Lagune. Die Hydrodynamik dieser Lagune hat jedoch aufgrund der geringen Ausdehnung nur einen vernachlässigbaren Einfluss auf die Dynamik der Ostsee, so dass nicht erkennbar ist, dass eine realistischere Darstellung der Lagune im Modell einen maßgeblichen Einfluss auf die Modellergebnisse im Fehmarnbelt haben wird. Für die mit den Modellen im Wesentlichen behandelte Fragestellung der Sedimentverdriftung ist es nicht relevant, die Lagune und die Hafenzufahrt nach Heiligenhafen realistisch zu modellieren, da der Einfluss auf die Strömungsverhältnisse im Fehmarnbelt und die dort induzierten Sedimenttransporte zu vernachlässigen ist.

Die Daten und Methoden sollen für die jeweils zu untersuchende Fragestellung geeignet sein. In diesem Zusammenhang sind Vereinfachungen aus wasserbaulicher Sicht hinnehmbar, soweit sie die Wirkungsprognose nicht verfälschen. Vereinfachungen wären sogar sinnvoll, wenn dadurch nachweislich die Wirkungsprognose im Sinne einer „worst case“-Betrachtung durchgeführt wird. Im Sinne des Vorsorgeprinzips ist aus prinzipieller Überlegung sicherzustellen, dass die aus den Modellergebnissen abgeleiteten Abschätzungen der Wirkung eines Eingriffs in die Umwelt eine auf der sicheren Seite liegende Wirkung darstellen. Es ist nicht erkennbar, dass der Gutachter **thematisch relevante** Informationen unbeachtet gelassen hat.

Die Bemessungswasserstände wären im Rahmen der Herstellung eigener Schutzanlagen seitens des Antragstellers zu berücksichtigen, z.B. für den Hochwasserschutz der Tunnelportale. In den Antragsunterlagen wurde nachvollziehbar abgeleitet, dass kein messbarer Einfluss der Baumaßnahme auf die natürlich auftretenden Extremwasserstände durch die **Brückenvariante** erkennbar ist (UVS, Band IV B). Die Brückenvariante stellt den größten Eingriff in das hydrologische System Ostsee dar. Diese Ergebnisse basieren nach Aussagen der Gutachter auf Langzeitsimulationen mit den Modellen MOM und MIKE 3 FM HD für einen Zeitraum von 1960-2007 bzw. 1970 bis 2007 (UVS Anhang B). Die o.g. Langzeitsimulationen sind ausführlicher in (FEHY Consortium 2013) dokumentiert. In diesen genannten Zeiträumen fanden auch **extreme** Hochwasserereignisse statt (BSH 2009). Auf eine Simulation der Wirkung der beiden Tunnelvarianten wurde verzichtet. Das Vorgehen ist zulässig, da die Wirkung der Brückenvariante nachvollziehbar in der Wirkung auf Extremwasserstände aufgrund des größten Querschnittverbaus die größte vergleichbare Veränderung des Systems darstellt (UVS Anhang B). Der Gutachter führt sehr wohl die für den Hochwasserschutz relevanten Aspekte des Bauvorhabens an. Er muss nicht explizit noch aufschreiben, dass Änderungen der natürlich bedingten Maximalwasserstände in der Größenordnung von Millimetern KEINE Relevanz für den Hochwasserschutz haben, das geht aus dem Zusammenhang hervor!

Die Bemessungswasserstände sind nur in Bezug auf die vom TdV zu errichtenden Bauwerke (Objektschutz Tunnelportale, Sicherheit Bauhäfen) von Relevanz.

Für die Tunnelportale ist ein Objektschutz mit einer Kronenhöhe von +6,35 m Normal-Höhen-Null vorgesehen (UVS, Band I, Seite 14). An dieser Bemessung ist ersichtlich, dass der TdV hier vorsorgeorientiert geplant und vermutlich bereits zukünftig mögliche Klimazuschläge für die Bemessung beachtet hat. Für die Genehmigung ist hier nur relevant, ob die angegebene Höhe den geltenden Vorgaben Schleswig-Holsteins (Bemessung von Objektschutz) genügt. Die Planfeststellungsbehörde hat gegebenenfalls hier noch die Aufgabe, zu prüfen, ob die vom Antragsteller im Rahmen des Projektes eingereichten Hochwasserschutzmaßnahmen in ihrer Bemessungshöhe die für die Ostseeküste Schleswig-Holsteins gültigen Bemessungsgrundlagen für den Hochwasserschutz einhalten.

4.5 Verschiedene Betrachtungsebenen der Modelle:

4.5.1 Werden groß- und mittlräumige und lokale Aussagen getroffen, die belastbar sind?

Die getroffenen Aussagen sind nachvollziehbar und belastbar.

Es konnte aus den Unterlagen nachvollzogen werden, dass verschiedene Modelle und Gitterauflösungen eingesetzt wurden, um sowohl lokale wie auch großräumige Wirkungen der Baumaßnahme zu untersuchen. Dabei wurden u.a. räumlich feiner aufgelöste Modelle eingesetzt, um die hydraulische Wirkung der Bauteile (Brückenpfeiler) abzuschätzen. Es ist für die Prognose unerheblich, ob diese zum Zwecke der Validierung die Abmessungen der Pfeiler der Storebaelt-

Brücke haben, da sich die hydraulischen Wirkungen mit Hilfe von anerkannten Ähnlichkeitsgesetzen auch für vergleichbare Pfeiler anderer Abmessung berechnen lassen. Im Arbeitsgespräch vom 24.01.2018 wurde jedoch versichert, bei den gezeigten Abbildungen handle es sich um die geplanten Brücken-Pfeiler der Fehmarnbeltquerung. Die Wirkung des Tunnelquerschnittes auf die Strömung wurde in einem hochaufgelösten Modell abgeschätzt wie aus Anlage 30.3 Planergänzungsunterlagen ersichtlich (PÄU, Anlage 30.3). Diese Wirkung eines querüberströmten Grabens wurde auch bereits von (van Rijn 1986) festgestellt.

An der Belastbarkeit der Aussagen über die hydrodynamischen Wirkungen der geplanten Bauwerke zweifeln wir daher nicht. Die beiden Modelle zeigen in ihrer Wirkung ähnliche Reaktionen (sowohl in den räumlichen Mustern als auch in den Größenordnungen der ausbaubedingten Änderungen). Es ist ein legitimer Ansatz, die kleinräumigen Wirkungen eines Bauwerks (Brückenpfeiler, Tunnel) in Form einer Parametrisierung in gröber aufgelöste Modelle zu übertragen. Dies wurde hier in konservativer Weise getan.

Es wird nicht bezweifelt, dass mit den MIKE-Produkten oder vergleichbaren Verfahren auch Simulationen mit höherer Darstellungsgenauigkeit durchgeführt werden können. Dennoch stoßen alle Verfahren bei den verfügbaren Ressourcen an technische und zeitliche Limits. Daher ist eine exakte Abbildung der vollständigen Physik in einem einzigen Modell sehr oft nicht möglich. Die Abbildung lokaler Wirkungen in Form einer Modellkette (fein -> grob) ist also ein hier zulässiger Ansatz zur Ermittlung von Wirkungen einer Maßnahme. Durch die Interpretation und Bewertung der Berechnungsergebnisse wird die eigentliche Prognose ja erst abgeleitet. Dabei sind die Modellvereinfachungen, derer sich die Gutachter sehr wohl bewusst sind (s. o.), entsprechend zu berücksichtigen. Dieses Vorgehen stellt aus wasserbaulicher Sicht keinen grundsätzlichen Mangel in der Wirkungsprognose dar. Allerdings ist in den Unterlagen nicht immer nachvollziehbar, welche Wirkungen die vorgenommenen Vereinfachungen im Einzelnen haben und ob, bzw. wie dieser Umstand in der Wirkungsprognose berücksichtigt wurde.

- ➔ **Empfehlung:** TdV hat beispielhaft zu zeigen, dass die Interpretation und Bewertung der Berechnungsergebnisse trotz vereinfachter Annahmen in der Modellierung und teilweise eingeschränkter Belastbarkeit der Modellergebnisse vorsorgeorientiert erfolgt ist.

5 Sedimentation

5.1 Naturnähe der simulierten Sedimentverdriftung:

5.1.1 Sind unterschiedliche Sohlschubspannungen im Sedimentationsmodell zu berücksichtigen und falls ja, ist dies ausreichend erfolgt (z.B. Bremswirkung von Makrophytenbeständen, Riffstrukturen, morphologischen Sohlformen)?

Für die Simulation der dominanten, großräumigen Bewegungen der Ostsee, die wesentlich geostrophisch balanciert sind, ist die Bodenreibung (parametrisiert durch Sohlschubspannung) von

untergeordneter Bedeutung. Gleiches gilt für die ufernahe Dissipation an Strukturen, solange diese nur einen unwesentlichen Teil des Querschnittes betrifft (hier sind dies insgesamt etwa 1km für die Hafenmolen Puttgarden und Rödby im Verhältnis zu 18km Breite des Fehmarnbelt). Daher kann die Sedimentverdriftung mit einem vereinfachten Ansatz der Sohlrauheit gerechnet werden, ohne dass dadurch die Aussagen über Sedimentkonzentrationen als Fernwirkung beeinflusst werden. Die Simulation der Sedimentverdriftung dient lediglich zur Bereitstellung der Sedimentkonzentration als Eingangsgröße für weitere, biologisch motivierte, lokale Modelle. Die Annahme einer im Vergleich mit Muschelbänken und vergleichbaren Strukturen relativ geringen, in der Fläche konstanten Erosions-Sohlschubspannung in dem großen Teil des Untersuchungsgebietes (Ausnahme: Seegraswiesen, UVS, Anlage 15, Anhang B, Seite 821) führt in der Tendenz zu einer höheren Resuspension bereits sedimentierter Anteile des verdrifteten Materials. Das Material wird damit im Modell in der Tendenz über einen größeren Bereich verteilt als in der Realität. Die Resuspension des projektbürtigen Sediments reduziert die Resuspension natürlich vorkommenden Materials, faktisch verhält sich das Sediment nach einer ersten Sedimentation wie natürliches Sediment und wird entsprechend seiner Transporteigenschaften weiter transportiert. Für weit entfernte Strukturen werden die Wirkungen eher überschätzt, während für den Nahbereich des Grabens eventuell auch eine lokale Unterschätzung des Überdeckungsgrades möglich ist. Es ist also für jede möglicherweise betroffene Struktur im Nahbereich des Tunnels im Einzelfall zu prüfen, ob in der Tendenz eine Unterschätzung der ankommenden Sedimentkonzentration erfolgt sein kann.

Die „Bremswirkung“ von Strukturen ist von Bedeutung, wenn dadurch eine erhöhte Sedimentation (Überdeckung der Struktur) auf der bezeichneten Fläche zu befürchten ist und der Bestand dadurch gefährdet ist. Der Effekt muss zumindest in den für die Fragestellung maßgeblichen biologischen Modellen berücksichtigt werden (Rechenschritt von den berechneten Sedimentkonzentration im Wasserkörper zu einer lokalen Akkumulationsrate. Hier spielen neben den Sedimentkonzentrationen und den potentiellen Sedimentationsraten sowie der zeitlichen Korrelation von Baggertätigkeit mit signifikanten Strömungsgeschwindigkeiten auch die biologischen Zeitskalen eine Rolle (Fressraten, Wachstumsraten der Population o.ä.). Die biologisch modellierte Thematik entzieht sich - der fachlichen Beurteilung durch die BAW. Den Unterlagen ist jedoch zu entnehmen, dass die Baggertätigkeiten zumindest während Sturmereignissen, die eine der möglichen Ursachen für starke Strömungen sind, eingestellt werden. Aus der Praxis wird empfohlen, bei Baggertätigkeiten in der Nähe ökologisch sensibler Lebensräume die aktuell vorherrschenden Strömungsverhältnisse zu berücksichtigen und sofern sich der Bedarf ergibt die Tätigkeit temporär zu unterbinden, wenn sich zeigt, dass die dabei erzeugte Sedimentfahne kritische Flächen tangiert. Zumindest in der Rødsand-Lagune wird die bremsende Wirkung der Seegraswiesen auf das Strömungsgeschehen und die Sedimentation mit berücksichtigt. Es muss aber erwähnt werden, dass die Wirklänge von Seegras erheblich diejenige von Makrophyten übersteigt, d.h. in Flachwasserbereichen angesiedeltes Seegras wirkt oft bis an die Oberfläche, während Muscheln/Schnecken in der Ostsee eine Wirklänge im Bereich einiger Zentimeter nicht übersteigen (d.h. die von ihnen erzeugte Reibungsgrenzschicht (erhöhte Turbulenz) ist im Gegensatz zu der Seegraswiese im Flachwasser nur bodennah ausgebildet, darüber entwickelt sich dagegen ein nahezu reibungsfreies Strömungsregime, in dem die Sedimentationsraten im Wesentlichen vom effektiven Korndurchmesser und eventuell Flockungsprozessen bestimmt sind. Daher sind die Sohl Schubspannungen im Verdriftungsmodell ausreichend berücksichtigt wor-

den.

In den Prognosen für Muschelbänke (biologisches Modell) ist jedoch zu erwarten, dass dort bei einer höheren Sedimentkonzentration im Wasserkörper (Randbedingung) auch eine höhere Akkumulation erfolgt. Ob die Randbedingung „Sedimentkonzentration“ mit einem vereinfachten Reibungsmodell über der Muschelbank gerechnet wird, ist dabei nicht relevant, da das feine Sediment ja weit überwiegend in dem nahezu reibungsfreien Strömungsregime und nicht in der Reibungsgrenzschicht transportiert wird, d.h. nur in der relativ dünnen Reibungsgrenzschicht am Boden das Sedimentationsverhalten über Makrophytenbeständen von dem in der Wassersäule abweicht.

- ➔ **Empfehlung:** der TdV soll ggf. darstellen, wie in der Umweltprognose die Eingangsdaten (Sedimentkonzentration, -rate) aus dem Verdriftungsszenario weiter verarbeitet worden sind, und warum die dort abgeleiteten Prognosen zur Betroffenheit der Makrophytenbestände auf der sicheren Seite liegen.

5.1.2 Ist die Sedimentzusammensetzung des anstehenden und auszubaggernden Materials (Anteile kohäsives und nicht kohäsives Material) ausreichend im Modell berücksichtigt (Betrachtung von vier der fünf Fraktionen)?

Ja. Die Nichtberücksichtigung der Sandfraktion wurde damit begründet, dass diese Fraktion eine zu große Sinkgeschwindigkeit und daher noch im Bereich der Baustelle wieder sedimentiert, es daher ausgeschlossen werden kann, dass das Material über einen großen Raum durch Verdriftung verteilt wird (Arbeitsgespräch 24.01.2018). Diese Annahme wird von der BAW geteilt. In den Unterlagen werden die geologische Struktur des Fehmarnbelt sowie die dort anstehenden Sedimente qualitativ beschrieben (Kapitel 3.3.2.2. UVS Band IIA Seite 244 ff.). Die Annahmen über die Eigenschaften der freigesetzten Sedimente werden in Kapitel 0.3.4.1.4. Anlage 15 Anhang B (Methodik) beschrieben. Bei der Modellierung der Sediment-Verdriftung wird auf die Feinfraktionen abgehoben, die aufgrund ihrer geringen Sinkgeschwindigkeit bei den zeitweise herrschenden Strömungen über größere Entfernungen im Wasserkörper mitgeführt werden können. Die freigesetzten Sedimente werden als Sedimentquelle betrachtet. Die zu erwartenden Mengen (gesamte Bauzeit) werden in Tabelle 0-299 (Anlage 15, Anhang B Methodik) dargestellt. Die Werte für einzelne Arbeitsschritte werden entweder als Intervall (Min-Max) oder Maximalwert (Max) abgeschätzt. Die Abschätzungen gründen sich auf Erfahrungswerte. Aus den Ausführungen (insbesondere in UVS, Anhang B) ist abzuleiten, dass die Gutachter die Korngrößenverteilungen angemessen berücksichtigen. Aus den Ausführungen in Kapitel 3.3.2.4. kann geschlossen werden, dass nur die nicht kohäsiven Sedimente bei der Modellierung des sohn nahen Sedimenttransportes berücksichtigt wurden. Dies wurde begründet mit dem anteilig geringen Aufkommen der kohäsiven Sedimente im Fehmarnbelt, weswegen diese bei der Ausprägung von Sohlformen (dies sind z.B. Dünenstrukturen, Rippel) keine wesentliche Rolle spielen. Bei der Baggerung von Mergel freigesetztes Sediment hat den Charakter von Feinsediment und ist daher in der Modellierung als Feinfraktion berücksichtigt. Bei den angenommenen Freisetzungsraten als Eingangsdaten des Modells muss nicht explizit die Herkunft der Feinfraktionen (Mergel, Schluff/Ton) unterschieden werden. Mergel ist visuell besonders gut erkennbar auf Grund der

hellen Farbe. Das Verhalten in Bezug auf Verdriftung/Trübung unterscheidet sich jedoch nicht gegenüber dunkleren Ton/Schluff-Partikeln. Die Kontamination ist nur deutlicher sichtbar!

5.1.3 Wurden Flockungsprozesse berücksichtigt?

Ja. Nach der Aussage in der UVS (Anhang B, Seite 821) wurden Flockungsprozesse bei den Feinfraktionen berücksichtigt.

Auf Seite 822 Anhang B ist zu lesen, dass Flockungsprozesse von dem Modellsystem prinzipiell berücksichtigt werden können. Dieser Prozess scheint jedoch aus der dargestellten Situation heraus nicht von erheblicher Relevanz zu sein, da für die Betrachtungen im Nahbereich der Bautätigkeit die Flocken als aufgebrochen angenommen werden (durch das Anfassen mit dem Bagger) und für den Fernbereich eine Flockung zu einer Verringerung der Belastung führt. Im Sinne einer Verbreitungsanalyse stellt die Modellierung ohne Flockungsprozesse ein „worst case“ dar (Größe des betroffenen Gebietes). Im Sinne einer möglichst geringen Sedimentation auf ökologisch wertvollen Flächen im Nahbereich einer Maßnahme kann es jedoch auch zu einer Unterschätzung der Wirkungen dort führen. Die Berücksichtigung von Flockung führt daher zu einer besseren Approximation der natürlichen Prozesse und verringert damit den Prognosefehler. Soweit Flockungsprozesse bereits in Modellen integriert sind, sind dies parametrisierte Modellansätze, denen empirische Versuche zugrunde liegen. Eine mathematisch-physikalisch ableitbare Theorie zur Flockung (analog zu beispielsweise den Navier-Stokes-Gleichungen in der Hydrodynamik) existiert nicht. Die Schlüsse der Gutachter in Bezug auf maximale Sedimentationshöhen aufgrund der beim Baggern freigesetzten Sedimentationsraten sind dennoch im Fernbereich aufgrund der groben Modellauflösung eher als konservativ, d.h. auf der sicheren Seite liegend, anzunehmen. Bei der ökologischen Bewertung sind die Gesamtüberdeckungen noch über den Zeitraum der Bauzeit verteilt zu sehen, da betroffenen Organismen ggf. eine entsprechende Zeit benötigen, um sich an die Bodenevolution anzupassen.

5.1.4 Sind Extremereignisse zu berücksichtigen (siehe auch Hydrologie Punkt 2 und UVS Anlage 15, Anhang B, S. 822, Abbildung 0.246)?

Hoch- und Niedrigwasserereignisse werden in den Unterlagen grundsätzlich mit betrachtet, wobei dies über ein „repräsentatives Jahr 2005“ geschieht. Daraus resultieren die Maximalwerte im simulierten Wasser- und Sedimenttransport. Es ist jedoch nicht auszuschließen, dass es auch Jahre mit einer statistisch deutlich abweichenden Charakteristik im Verlauf gibt (z.B. das Jahr 1989), da das maßgebliche hydrologische Verhalten der Ostsee im Wesentlichen dem stochastischen Verhalten des Wetters folgt. Für die Bewertung der Umweltverträglichkeit und sogar der Wirkung im Hinblick auf Hochwasserrisiken ist es nicht zwingend erforderlich, extrem hohe Hochwasser zu modellieren. Für das Verhalten von hydraulisch wirksamen Strukturen ist es von Bedeutung, dass das Ereignis in seiner physikalischen Charakteristik (z.B. beschrieben über das Frequenz- und Wellenlängenspektrum) sensitiv reagiert. Das Sturmhochwasser von 11/1872 ist beispielsweise ein relativ langperiodisches Ereignis, welches in seiner Charakteristik durch

kleinräumige Strukturen im Fehmarnbelt (z.B. Hafenmolen, quer zur Strömung verlaufende Fahrrinnen) nicht messbar beeinflusst werden kann (fehlende Resonanz). Die relative hydraulische Wirkung der betrachteten Bauwerke nimmt zudem mit zunehmender Wassertiefe ab. Daher wird der - Einfluss eines Unterwasser-Bauwerks auf die Hydrodynamik mit zunehmendem Hochwasserstand des Ereignisses kleiner. Auch der Einfluss von Windwellen auf die Erosion am Boden nimmt mit zunehmendem Wasserstand ab bzw. verlagert sich auf die Überflutungsflächen.

Auch ist anzumerken, dass während Sturmereignissen die Baggertätigkeiten aus praktischen Gründen eingestellt werden, so dass bei Extremereignissen keine durch Baggeraktivitäten freigesetzten Sedimente vorliegen. Die Vorgehensweise der Gutachter hinsichtlich der Wahl des simulierten Zeitraums und der Methodik ist daher fachlich nicht zu beanstanden.

5.1.5 Ist es fachlich vertretbar, eine Gleichverteilung von Resuspensionsereignissen über das Jahr anzunehmen?

Eine Gleichverteilung von Resuspensionsereignissen wird in der Sedimentverdriftungs-Modellierung nicht angenommen, sondern nur in nachfolgenden Analysen. Vielmehr berechnet das Modellverfahren abhängig von den vorgegebenen meteorologischen und hydrologischen Randbedingungen im Modellgebiet die zeitlich und räumlich variablen Resuspensionsraten.

5.2 Projektbürtige und natürliche Schwebstoffe und Sedimentation:

5.2.1 Ist es plausibel, dass offensichtlich nur die projektbürtigen Schwebstoffe und Sedimente betrachtet wurden und dass die natürlichen Schwebstoffkonzentrationen und Sedimentationsraten bei der Ermittlung von Trübungsfahnen und Sedimentationsereignissen anscheinend unberücksichtigt geblieben sind (keine Kumulierung; s. zu dem Themenkomplex auch Kap. 3.9 der Ergänzenden Erläuterungen zur Sedimentverdriftung)?

Im Sinne einer „worst case“ –Abschätzung, ja.

Die Nichtberücksichtigung der natürlichen Sedimente stellt den „worst case“ in der Darstellung der Wirkung dar, da die projektbezogen eingetragenen Sedimente einen umso höheren Einfluss auf die Gesamtkonzentration im Wasserkörper haben, je geringer die natürliche Hintergrundkonzentration ist.

Eine natürlich vorhandene Sedimentkonzentration verringert die tatsächliche Wirkung der Baggararbeiten da die relative Veränderung der Konzentration durch die projektbürtigen Sedimente geringer wird. Die Sedimentationsrate des projektbürtigen Sedimentes wird nur dann von dem natürlichen Sediment beeinflusst (verstärkt), wenn dadurch eine Sättigung des Wasserkörpers erfolgt. Daher ist die Annahme einer nicht vorhandenen Hintergrundkonzentration bei der Ausbreitung eine zulässige Vereinfachung, die zu einer Überschätzung der Wirkung der Baggararbeiten führt. Aus gutachterlicher Sicht ist dies eine sinnvolle Vorgehensweise, da es

aufgrund eines fehlenden flächendeckenden dauerhaften Monitorings nahezu unmöglich ist, plausible Annahmen über die natürliche Hintergrundkonzentration an Sedimenten zu treffen.

5.3 Wiederverfüllung:

5.3.1 Sind die Zeiträume für die natürliche Wiederverfüllung plausibel und nachvollziehbar? Wird gewährleistet, dass sich die ursprünglichen morphologischen Verhältnisse einschließlich einer ausreichend dicken (wiederbesiedelbaren) Sedimentschicht wiederherstellen (Sedimentzusammensetzung entsprechend Ursprungszustand)? Der Vorhabenträger trifft hierzu weiterhin die Aussage, dass Ausführungen zur Regeneration des Meeresbodens, insbesondere zu den Wiederverfüllungsraten, in den Antragsunterlagen nachvollziehbar und plausibel sind (Ergänzende Erläuterungen zur Sedimentverdriftung, S. 46). Wird diese Einschätzung geteilt?

Eine Verfüllung des Grabens mit natürlichen Sedimenten ist zu erwarten, da ein quer überströmter Graben die Strömungsgeschwindigkeit über dem Graben leicht reduziert und so den Geschiebetransport sowie den Suspensionstransport dahingehend verändert, dass Material im Graben akkumuliert. Im küstennahen Teil des Grabens (geringe Wassertiefe) ist eine schnellere Verfüllung zu erwarten, da dort die längs der Küste orientierten Sedimenttransportraten generell erheblich höher sind als in den tieferen Bereichen des Fehmarnbelt (erheblicher Einfluss von Seegang). Diese Tatsache kann auch durch die Beobachtungen am Testfeld belegt werden. Von dem Testfeld kann jedoch nicht auf die natürlichen Transportraten im tieferen Teilabschnitt des Tunnels geschlossen werden, da ein Zusammenhang zwischen den küstennahen Transportraten bei 10m Tiefe an der Küste Fehmarns und den Flächen des Hauptteils des Tunnels in größeren Tiefen nicht direkt nachvollziehbar dargelegt wird. Die Sedimentationsrate im Testfeld wird genutzt, um das Sedimenttransportmodell zu validieren (Sedimentationsrate Testfeld: 0,3 m/Jahr). Eine Darstellung der von dem validierten Modell berechneten natürlichen Sedimentationsraten im Bereich des Tunnels fehlt jedoch.

Der TdV sieht jedoch einen „Plan B“ vor für Abschnitte, in denen keine ausreichende Wiederverfüllung stattfindet: Es ist im Rahmen des selbst auferlegten Monitoring-Programms auch die Beobachtung der Wiederverfüllung vorgesehen. Reicht die Wiederverfüllung nicht aus, so wird der Prozess künstlich durch Sandzugabe unterstützt.

Aus der Tatsache, dass Schiffswracks über längere Zeit oder gar nicht überdeckt werden, kann **nicht** geschlossen werden, dass die vom Gutachter getätigte Ausführung, dass der verbleibende Graben einer allmählichen, natürlichen Verfüllung mit natürlichem Sediment unterliegt, falsch ist. Hier handelt es sich um **nicht vergleichbare Szenarien**. Während bei der Verfüllung des Tunnels die Schwerkraft den Überdeckungsprozess fördert, indem die Sandpartikel in den Graben sinken, ist bei Körpern, die über den Meeresboden hinausragen, zu erwarten, dass diese solange sichtbar bleiben, bis der umliegende Meeresboden auf die Höhe des Körpers aufgewachsen ist. Im Fall des Wrackes müssen die Sedimentpartikel gegen die Schwerkraft in der Wassersäule nach oben steigen, um den Schiffskörper zu bedecken. Daher fließt der Sedimenttransport um den Körper herum, da zu einer Vertikalbewegung mehr Energie erforderlich ist, als eine

Richtungsänderung auf dem aktuellen Höhenniveau erfordert. Dieser Prozess wird vom Gutachter richtig beschrieben.

Die Geschwindigkeit der Bildung einer wieder besiedelten Sedimentschicht kann durch eine initiale Abdeckung der Schutzschicht mit natürlichen Sedimenten ggf. beschleunigt werden. Für eine Wiederbesiedelung des Bodens im Gebiet des temporären Grabens ist eine vollständige Verfüllung nicht zwingend erforderlich, d.h. es ist eher zu erwarten, dass die Wiederbesiedelung schon während des Verfüllungsprozesses einsetzt und sich dynamisch an diesen Prozess anpasst, da dieser insgesamt deutlich länger dauert als die initiale Überdeckung der künstlich hergestellten Fläche mit einer natürlichen Sedimentschicht. In jedem Fall ist es sinnvoll, die durch natürliche Transportprozesse auftretenden morphologischen Veränderungen im Bereich des verbleibenden Grabens im Hinblick auf das prognostizierte Verfüllungsszenario im Rahmen der Beweissicherung zu prüfen, da eine morphologische Prognose über die angegebenen, langen Zeiträume nur wenig belastbar ist. Aufgrund der Tatsache, dass der Prozess der Wiederverfüllung aufgrund der Variabilität der Meteorologie und des damit verbundenen natürlichen Strömungs und Sedimenttransportgeschehens nicht exakt vorhergesagt werden kann, führt der TdV vorsorglich den oben geschilderten „Plan B“ ein.

5.3.2 Die Aussagen aus den ergänzenden Erläuterungen zur Sedimentverdriftung vom 16.11.2017 unter Punkt 3.5 Regeneration des Meeresbodens und unter Punkt 4.2 Sauerstoffmangelsituation im Graben (hier: Ansammlung organischen Materials im Graben) erscheinen uns widersprüchlich. Ist dies so oder sind sie untereinander konsistent?

Ein Widerspruch ist hier nicht erkennbar. In beiden Textstellen wird darauf hingewiesen, dass der Vorgang der Sedimentation im Restgraben bzw. im offenen Graben nicht überall in der gleichen Geschwindigkeit erfolgt. Die Erfahrungen aus dem Testfeld hinsichtlich der Sedimentationsraten werden genutzt, um das Modell, mit dem die Wiederverfüllung gerechnet wurde, zu validieren.

Hinweis: Bei den beobachteten Raten von 0,3m/Jahr würde der Rest-Graben innerhalb von etwa 3,3 Jahren verfüllt. Für die Wiederverfüllung des gesamten Restgrabens wurde jedoch eine Regenerierungszeit von 28 Jahren angesetzt, so dass auch Sedimentationsraten von 0,05m/Jahr noch ausreichend sind. In den küstenferneren, tiefen Bereichen der Trasse sind solche geringeren Sedimentationsraten plausibel. Richtig ist auch, dass der Wasseraustausch im Graben maßgeblich durch die Temperatur bestimmt wird. Der Salzgehalt im Fehmarnbelt ist hoch genug, dass die Abkühlung im Herbst und Winter zeitweise zu einem vollständigen Abbau der Schichtung führt, so dass im Winter sauerstoffreiches Oberflächenwasser bis zum Boden durchgemischt wird. Mit einer dauerhaften Akkumulation von sauerstoffarmem Wasser über die gesamte Bauzeit ist daher nicht zu rechnen. Vielmehr werden im Tunnelgraben im Sommer entstehende Sauerstoffminima über den Winter durch die winterliche Konvektion wieder abgebaut. Nach Beendigung der Bauphase verbleibt nur ein Restgraben von maximal 1 m Tiefe, dessen Wasser auch horizontal durch Advektion ausgetauscht wird.

5.4 Berücksichtigung zusätzlicher Schwebstoffe und Sedimentation:

5.4.1 Sind strömungsinduzierte Erosionen an der Grabenböschung des offenen Grabens und eine daraus resultierende zusätzliche Sedimentation außerhalb des Grabens zu berücksichtigen oder können diese -wie vom Vorhabenträger vertreten- vernachlässigt werden?

(siehe auch nachfolgende Frage/Antwort)

Auf der flach geneigten Grabenböschung wird es aufgrund des vorherrschenden Strömungsregimes keine nennenswerte Erosion geben können. Insofern ist es nachvollziehbar, dass für die Wirkungsprognose des Vorhabens keine zusätzliche Sedimentation außerhalb des Grabens als relevant angesehen wurde.

5.4.2 Ist am offenen Tunnelgraben von einem Nachrutschen der Böschungen auszugehen, der zusätzliche Baggerungen zum „Aufreinigen“ des Tunnelgrabens vor Einbringen der Tunnelelemente erfordert (morphologischer Nachlauf)?

Von einem Nachrutschen als Folge einer statischen Böschungsinstabilität ist nicht auszugehen. Die Böschungen sollen in einem stabilen Winkel hergestellt werden. Es ist jedoch mit einem Eintrag von Sediment in den Graben aufgrund der natürlichen Sedimenttransporte zu rechnen. Das wird auch aus den Unterlagen nachvollziehbar deutlich, denn es sind vor dem Einbringen der Auflageschicht für den Tunnel Nacharbeiten vorgesehen, die mit einem Saugbagger erfolgen. Der Punkt wird daher vom Projektträger in der Planung (und bei den Abschätzungen für freigesetzte Sedimente) berücksichtigt. Für die Modellierung ist dieser Sedimenteintragsprozess von untergeordneter Bedeutung, da hier der Graben als Senke wirkt, d.h. die erodierten Sedimente den Graben nicht durch Verdriftung verlassen. Da dieser Effekt die Fläche betrifft, die (während der Bauphase) als totaler Verlust in der Studie berücksichtigt ist, ist er nicht umweltrelevant. Zudem können sich die Böschungsoberkanten durch Strömungsangriff geringfügig abflachen. Letzteres erfolgt allerdings in Stromlee des Grabens, so dass dieser Prozess kein Material in den Graben trägt. Die Böschung erreicht nach einer gewissen Zeit einen morphologisch stabilen Zustand. In der Gesamtbilanz der projektbezogenen Sedimentbewegungen ist der Prozess von untergeordneter Bedeutung.

Die Baggertätigkeiten zur „Aufreinigung“ wurden in der Aufstellung zu möglichen Sedimentfreisetzungen für die landseitige Verbringung berücksichtigt. Wie für alle Baggararbeiten, gilt auch hier, dass die Kontrolle über die Freisetzung von Sedimenten beim TdV liegt. Somit besteht ein Potential zur Minimierung der Verdriftung dahingehend, dass bei ungünstigen Strömungsverhältnisse hinsichtlich der Auswirkung die Baggararbeiten ruhen.

5.4.3 Die Vorhabenträger führen in den ergänzenden Erläuterungen zur Sedimentverdriftung (Kap. 4.5, S. 75, letzter Absatz) u. E. erstmalig aus, dass es durch die Reinigung des Tunnelgrabens (bis zu 1 Mio. m³ Feinstdimente) mittels Hop-

perbagger nicht zu einer zusätzlichen Freisetzung von Sedimenten kommt. Ist diese Einschätzung plausibel? Warum führt die Ursprungsherstellung des Tunnelgrabens mit verschiedenen Entnahmegereäten zu Sedimentfreisetzungen, die Aufreinigung des Grabens hingegen nicht?

Diese Einschätzung zur Wirkung der Hopperbaggerei ist plausibel. Der Hopperbagger saugt das Material als Wasser-Sedimentgemisch (max. 1 Mio. m³) vom Tunnelboden, einem Staubsauger vergleichbar, in seinen Laderaum. Tendenziell wird bei Hopperarbeiten zwar immer Sediment durch die Turbulenzen des Druckwassers am Saugrohr sohnah freigesetzt und in Suspension gebracht. Der Hopperbagger kann jedoch durch sorgfältig eingestellte Betriebsparameter so betrieben werden, dass nur unwesentlich Sediment aufgewirbelt wird, in Suspension gerät und mit der vorherrschenden Gewässerströmung als bodennahe Sedimentfahne transportiert wird. Es muss in diesem Zusammenhang auch der gesamte Baggerumlauf beachtet werden. Der Saugvorgang ist zeitlich beschränkt und wird durch Transport- und Verspülzeiten unterbrochen. Insofern ist es plausibel, dass in der Wirkungsprognose keine wesentliche Wirkung durch die zusätzliche Hopperbaggerung angesetzt wird. Eine Beweisführung wäre z.B. aufgrund der Unschärfen in den Annahmen der Betriebsparameter des Hoppers und der Sedimenteigenschaften des tatsächlich anstehenden Baggerguts nur durch ein entsprechend anzusetzendes Monitoring möglich.

Das Hopper-Baggergut wird dann auf die Landgewinnungsflächen verbracht. Dort setzt sich der Sedimentanteil ab. Die dann beim Drainieren der Spülfläche freigesetzten, geringen Sedimentmengen werden als Sedimentfreisetzung berücksichtigt. Eine Berücksichtigung beim Saugvorgang ist nicht nötig, da dieser deutlich tiefer als der umgebende Meeresboden erfolgt, wo praktisch keine Strömung herrscht.

Der Graben selbst wird mit anderen Baggergeräten hergestellt. Beim ursprünglichen Meeresboden handelt es sich jedoch, von einer relativ dünnen Deckschicht abgesehen, um während geologischer Zeiträume verfestigte Sedimente.

5.4.4 Sind zusätzliche Schwebstofffahnen/Sedimentationen durch das Verfüllen des Tunnelgrabens mit Material aus den Sandentnahmegebieten berücksichtigt bzw. hätten diese berücksichtigt werden müssen?

Das seitliche Verfüllen des Grabens erfolgt mit größerem Material, d.h. Sand und Kies (UVS Band I). Dieses Material setzt sich, sofern es freigesetzt wird, schnell ab, so dass nur der Nahbereich der Baustelle beeinflusst wird. In der Tabelle 4 (Sedimentfreisetzung) wird der Prozess der Rückverfüllung jedoch berücksichtigt (Vortrag Arbeitsgespräch, Folie 73, „Ergänzende Erläuterungen zur Sedimentverdriftung“, Seite 71).

5.4.5 Von Naturschutzvereinigungen wurde bemängelt, dass eine Aufwirbelung von Sediment beim Einbringen von Steinen (Kompensationsmaßnahme Sagas-Bank) oder durch Ankerwürfe nicht berücksichtigt wurde. In welcher Größenordnung

würden derartige Effekte voraussichtlich liegen? Sind nennenswerte Auswirkungen möglich oder ist es vertretbar, diesen Wirkpfad zu vernachlässigen?

Aufgrund der Beschreibung in PÄU, Anlage 30.4 stellt sich die Auswirkung als lokaler Eingriff auf einer ökologisch aufzuwertenden Fläche dar. Die Steine werden kontrolliert in das Gewässer eingebracht. Die maximal bei den Arbeiten mögliche freigesetzte Sedimentmenge wurde vom TdV zu 2000 m³ abgeschätzt (Arbeitsgespräch vom 24.01.2018). Die Kompensationsmaßnahme soll nach Angaben des TdV durch ein Monitoring überprüft werden. Es liegt in der Kontrolle des TdV, Gerät und den Zeitpunkt der Einbringung der Steine so zu wählen, dass eine maßgebliche Sedimentverdriftung bzw. ökologisch relevante Störung des Sedimenthaushalts minimiert wird. Da hier gezielt Steine platziert werden, werden solche Arbeiten eher bei strömungsarmen Verhältnissen durchgeführt, so dass die beim Absetzen der Steine aufgewirbelten Sedimente im Nahbereich des Eingriffs wieder sedimentieren. Eine erhebliche Beeinflussung des Sedimenthaushalts durch die Kompensationsmaßnahme „Sagas-Bank“ ist für die BAW nicht erkennbar, da die freigesetzten Sedimentmengen in Relation zu den bei der Herstellung des Grabens freigesetzten Mengen vernachlässigbar sind. Daher kann auf eine detailliertere Untersuchung des Sachverhaltes verzichtet werden. Allein die Tatsache, dass hier Sedimente temporär in die Wassersäule gelangen können, besagt noch nicht, dass von ihnen eine Umweltgefährdung ausgeht.

Die Wirkung von Ankerwürfen stellt aufgrund der erfahrungsgemäß geringen, freigesetzten Sedimentmengen (Ausbrechen und Heben des Ankers) ebenfalls keinen maßgeblichen Einfluss dar, setzt man diese in Relation zu den übrigen, durch die zwischen Fallen und Heben des Ankers vorgenommenen Baggertätigkeit freigesetzten Mengen. Die von Ankerwürfen betroffene Fläche wird in PÄU, Anlage 30.5 der Planänderungsunterlagen realistisch dargestellt. Diese Flächen werden als durch das Bauvorhaben beanspruchte Flächen ausgewiesen.

6 Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Die Antworten zum Fragenkatalog des Amts für Planfeststellung konnten ausnahmslos auf Grundlage der verfügbaren Unterlagen (s. Kap. 2) beantwortet werden. Das Erfahrungswissen der BAW in der Wasserbaulichen Systemanalyse der Ostsee und Ostseehafenzufahrten hat die Beantwortung der Fragestellungen dabei erleichtert.

Es bleiben zwei Aspekte übrig, die im Rahmen der Planfeststellungsunterlagen zwar plausibel jedoch nicht zweifelsfrei dokumentiert sind:

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

Daraus lassen sich folgende Empfehlungen für die Planfeststellungsbehörde ableiten:

- 5) **Empfehlung:** Der TdV hat darzulegen, wie eine weitergehende Interpretation und Bewertung der Berechnungsergebnisse in die Wirkungsprognosen eingeflossen ist.

- 6) **Empfehlung:** TdV hat beispielhaft zu zeigen, dass die Interpretation und Bewertung der Berechnungsergebnisse trotz vereinfachter Annahmen in der Modellierung und teilweise eingeschränkter Belastbarkeit der Modellergebnisse (siehe z.B. UVS, Anlage 15, Anhang A, Seite 103) vorsorgeorientiert erfolgt ist.
- 7) **Empfehlung:** Der TdV hat die angenommenen Sedimentfreisetzungen nachvollziehbar herzu-
leiten. Er hat zusätzlich plausibel zu erläutern, welche „praktischen Gründe“ zu der Annahme
geführt haben, dass die Sedimentfreisetzung während des Baggers als gleichmäßig über die
Wassersäule verteilt betrachtet wurde und warum bzw. für welche Umweltauswirkung dies
eine „auf der sicheren Seite liegende Annahme“ ist.
- 8) **Empfehlung:** der TdV hat darzustellen, wie in der Umweltprognose die Eingangsdaten (Sedi-
mentkonzentration, -rate) aus dem Verdriftungsszenario weiter verarbeitet worden sind, und
warum die dort abgeleiteten Prognosen zur Betroffenheit der Makrophytenbestände auf der
sicheren Seite liegen.

Bundesanstalt für Wasserbau
Hamburg, Juni 2018

Im Auftrag

[gez. Rahlf]

Rahlf

Bearbeiter

[gez. Seiß]

Dr. Seiß

7 Literatur

BSH (Hg.) (2009): Simulation und Analyse extremer Sturmfluten an der Ostseeküste. Abschlussbericht 1.3. Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrografie, zuletzt geprüft am 28.02.2018.

Bundesministerium für Verkehr und Digitale Infrastruktur (02.04.1968): Bundeswasserstrassengesetz, vom 18.07.2016.

FEHY Consortium (Hg.) (2013): Fehmarnbelt Fixed Link EIA - Baltic Sea Hydrography, Water Quality and Plankton. Marine Water - Impact Assessment (E1TR0058, 1). Online verfügbar unter <https://vmdocumentation.femern.com/2.%20E1TR0058%20Vol%20I24f6.pdf>, zuletzt geprüft am 05.03.2018.

Femern A/S (Hg.) (2013): Transboundary Environmental Impact Assessment. Documentation for the Danish Espoo Procedure.

Stewart, R. H. (2008): Introduction To Physical Oceanography. Online verfügbar unter https://www.colorado.edu/oclab/sites/default/files/attached-files/stewart_textbook.pdf, zuletzt geprüft am 15.02.2018.

van Rijn, L. C. (1986): Sedimentation of dredged channels by currents and waves. In: *Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering* Vol 112 (5), S. 541–559. Online verfügbar unter <http://www.leovanrijn-sediment.com/papers/P5-1986.pdf>, zuletzt geprüft am 15.02.2018.