



Stand: 03.06.2016

**Feste Fehmarnbeltquerung
Planfeststellung**

**Konzept zur Steuerung
und Kontrolle der
Sedimentfreisetzung**

**Diese Unterlage ist eine vollständig neue Anlage der
Planfeststellungsunterlagen, 03.06.2016**

Feste Fehmarnbeltquerung Planfeststellung

Konzept zur Steuerung und Kontrolle der Sedimentfreisetzung

Diese Unterlage ist eine vollständig neue Anlage
der Planfeststellungsunterlagen, 03.06.2016

Aufgestellt:



Landesbetrieb
Straßenbau und Verkehr
Schleswig-Holstein
Niederlassung Lübeck



Kopenhagen, 03.06.2016
Femern A/S

Lübeck, 03.06.2016
LBV-SH Niederlassung Lübeck

gez. Claus Dynesen

gez. Torsten Conradt

Die alleinige Verantwortung für diese Veröffentlichung liegt beim Autor.
Die Europäische Union haftet nicht für die Verwendung der darin enthaltenen Informationen.



Von der Europäischen Union kofinanziert
Transeuropäisches Verkehrsnetz (TEN-V)

Seite 2/24

Inhaltsverzeichnis

1. VERANLASSUNG UND EINLEITUNG	5
2. PRINZIPIELLE VORGEHENSWEISE ZUR ÜBERWACHUNG DER FESTGELEGTEN SEDIMENTMENGEN	7
3. VERDRIFTUNG VON FREIGESETZTEM SEDIMENT IM FEHMARNBELT	10
4. KONZEPT FÜR DIE ÜBERWACHUNG	13
5. WIE LÄSST SICH DIE FREISETZUNG IM FEHMARNBELT AUFGRUND DER MESSRESULTATE BESTIMMEN?	16
5.1. Messausrüstungen.....	16
6. ANALYSEWERKZEUG FÜR DIE BERECHNUNG DER SEDIMENTFREISETZUNG	19
7. BESTANDSERFASSUNG DER SEDIMENTFREISETZUNG UND BERICHTERSTATTUNG	20
I. ANHANG	21

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	Aktuelle Strömungsrosen an der Position MS02.....	10
Abb. 2:	Verdriftung von freigesetztem Sediment bei typischen einheitlichen Strömungsverhältnissen. Teile des freigesetzten Sediments lagern sich in der Nähe des Aushubortes ab, andere werden unmittelbar wegtransportiert.	12
Abb. 3:	Verdriftung von freigesetztem Sediment bei langsamen Strömungsgeschwindigkeiten. Ein größerer Teil der freigesetzten Sedimente lagert sich in der Nähe des Aushubortes ab.	12
Abb. 4:	Verdriftung von freigesetztem Sediment bei hohen Strömungsgeschwindigkeiten. Das freigesetzte Sediment wird vom Bereich des Aushubs unmittelbar wegtransportiert. Zudem wird Sediment, das zuvor während der Bautätigkeit in der Nähe des Aushubortes abgelagert worden war, resuspendiert und ebenfalls wegtransportiert.	12
Abb. 5:	Beispielhafte Verhältnisse für die Messung der Sedimentfreisetzung	13
Abb. 6:	Übersicht der Prozesse für die Compliance-Überwachung.	15
Abb. 7:	Schematische Darstellung des Überwachungsansatzes	18
Abb. 8:	Illustration der Instrumente, die zur Messung der Sedimentfreisetzung während der Aushub- und Landgewinnungsarbeiten eingesetzt werden	20

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Instrumente für die Messung der Sedimentfreisetzung im Rahmen der Aushub- und Landgewinnungsarbeiten.....	16
Tabelle 2:	Beschreibung der Instrumente für die Messung der Sedimentfreisetzung im Rahmen der Aushub- und Landgewinnungsarbeiten.....	17

1. Veranlassung und Einleitung

In ihrer Stellungnahme zu den Planfeststellungsunterlagen zur Festen Fehmarnbeltquerung fordern das BfN und das MELUR, neben anderen Schutz- und Überwachungskonzepten, auch die Erstellung eines Konzeptes zur Steuerung und Kontrolle der Sedimentfreisetzungsraten während der Bauarbeiten im marinen Bereich.

Grundlage für das Konzept zur Steuerung und Kontrolle der Sedimentfreisetzungsraten bildet der für die Beantragung der Planfeststellung erarbeitete Landschaftspflegerische Begleitplan (Anlage 12).

In den Planfeststellungsunterlagen, Anlage 22 „Schutz- und Überwachungskonzepte“, werden alle vorgesehenen Maßnahmen zur Einhaltung von Umweltauflagen in Rahmenkonzepten zusammengefasst dargestellt.

Das vorliegende Rahmenkonzept Anlage 22.6 stellt die Anforderungen an die Steuerung und Kontrolle der Sedimentfreisetzung vor.

Die Vorhabenträger erstellen auf Basis dieses Rahmenkonzepts und auf Grundlage der von den Bauunternehmen erstellten Managementpläne entsprechend der vorgesehenen Bauausführung das Detailkonzept mit einer hinreichenden Detaillierung. Dieses muss mit den zuständigen Behörden vor Baubeginn einvernehmlich abgestimmt werden.

Während der Bauaktivitäten der Festen Fehmarnbeltquerung wird es zur Freisetzung von Sedimenten kommen, wozu folgende Arbeiten zählen:

- Bau der Schutzdämme
- Bau von Portalen und Rampen
- Ausbaggern des Arbeitshafens auf Lolland
- Ausbaggern der Fahrrinne zum Arbeitshafen auf Lolland
- Nassbaggerarbeiten für den Tunnelgraben
- Herstellung der Landgewinnungsflächen mit Aushubmaterial
- Säuberung des Tunnelgrabens vor Platzierung der Tunnelelemente sowie Verfüllung des Grabens
- Landschaftsbauliche Gestaltung/Rückbau der Arbeitshäfen

Das Ausmaß der Sedimentfreisetzung hängt von den einzelnen Arbeiten ab, manche führen zu sehr geringen, andere zu größeren Freisetzungen.

Um den Bauablauf im Sinne des naturschutzrechtlichen Vermeidungs- und Minimierungsgebots zu steuern, werden mit der Minimierungsmaßnahme 8.2 (vgl. Anhang I zum LBP, Anlage 12 der Planfeststellungsunterlagen) zonenabhängige maximale

Sedimentfreisetzungsraten und baggerfreie Perioden für Jahreszeiten und Monate vorgegeben (vgl. Anhang).

Das vorliegende „Konzept zur Steuerung und Kontrolle der Sedimentfreisetzung“ legt dar, wie die Einhaltung der vorgegebenen Sedimentfreisetzungsraten sichergestellt wird. Hierzu werden auch die prinzipielle Vorgehensweise und die zum Einsatz kommenden Methoden und mögliche Ausrüstung zur Überwachung der festgelegten Sedimentmengen und –frachten beschrieben.

Die hier beschriebene prinzipielle und methodische Vorgehensweise zur Steuerung und Kontrolle der Sedimentfreisetzungen ist u.a. Gegenstand des am 28. April 2015 im dänischen Parlament verabschiedeten Baugesetzes zur Genehmigung der Festen Fehmarnbeltquerung auf dänischem Hoheitsgebiet.

Im Landschaftspflegerischen Begleitplan (Anlage 12 der Planfeststellungsunterlagen) wird das vorliegende Konzept im Anhang IB zum LBP als Konzeptblatt-Nr. 22.6 sowie im Anhang IA zum LBP in folgenden Maßnahmenblättern aufgegriffen:

- Maßnahmenblatt 8.2: Minimierung der Beeinträchtigungen der marinen Flora und Fauna sowie der Wasserqualität durch Festlegung zonenabhängiger maximaler Sedimentfreisetzungsraten mit monatlichem, jahreszeitlichem, jährlichem bzw. auf die gesamte Bauphase ausgerichtetem Bezug
- Maßnahmenblatt 8.3: Minimierung der Beeinträchtigung der Badegewässerqualität durch Begrenzung der Sedimentfreisetzung in den küstennahen Zonen

2. Prinzipielle Vorgehensweise zur Überwachung der festgelegten Sedimentmengen

Das Ziel der Überwachung der Sedimentfreisetzung besteht darin, sicherzustellen, dass die Mengen der tatsächlich freigesetzten Sedimente innerhalb der genehmigten Grenzen bleiben, die in der Planfeststellung festgelegt wurden.

Die Überwachung der Sedimentfreisetzung im Rahmen der Aushub- und Landgewinnungsarbeiten erfordert eine mengenmäßige Quantifizierung der Freisetzung. Die gesamthafte Freisetzung definiert sich wie folgt: Die Sedimentmenge, die im Rahmen der Aushub- und Landgewinnungsarbeiten in die Wassersäule freigesetzt und vom Aushub- und Landgewinnungsbereich wegtransportiert wird. Die Freisetzung wird in Tonnen Trockengewicht gemessen und ausgewiesen. Es wird zu den Aufgaben des Bauunternehmers gehören, die Ausführung der Arbeiten im Sinne einer Eigenüberwachung zur Einhaltung der vorgesehenen und genehmigten Grenzen zu kontrollieren. Die Eigenüberwachung folgt den im Bauvertrag festgelegten technischen Richtlinien, die mit den Hinweisen in den Gemeinsamen Übergangsbestimmungen zum Umgang mit Baggergut in den Küstengewässern und mit den im hiesigen Konzept dargestellten technischen Richtlinien übereinstimmen.

Die Umweltbaubegleitung (UBB) wird in Abstimmung mit der Oberbauleitung als Überwachung kontrollieren, dass der Bauunternehmer die Bauarbeiten im Rahmen der genehmigten Auflagen durchführt (vgl. Anlage 22.8 der Planfeststellungsunterlagen, Kapitel 5.4.1). Die UBB hat Zugang zu Wasserfahrzeugen und wird vor Ort punktuelle Prüfungen der Arbeiten durchführen.

Nach der Planfeststellung erstellen die Vorhabenträger ein Detailkonzept, das mit den Umweltfachbehörden abgestimmt wird. Das Detailkonzept beschreibt, wie die Vorhabenträger während der Bauausführung sicherstellen, dass der Bauunternehmer alle Forderungen und Auflagen in den Managementplänen des Bauunternehmers berücksichtigt und die Arbeiten gemäß der Beschreibung ausführt. Dieses erfolgt prinzipiell durch Prüfung der Dokumentation des Bauunternehmers in Form der Freisetzungsdokumentation, der Audit-Berichte, der Abweichungsberichte usw. Zusätzlich führen die Vorhabenträger Stichprobenkontrollen beim Bauunternehmer durch, nehmen an den Audits des Bauunternehmers teil und führen selbst Audits beim Bauunternehmer durch.

Grundsätzlich ist davon auszugehen, dass mittels der Ausführungsplanung und der daraus erstellten detaillierten Managementpläne Überschreitungen der zulässigen Freisetzungsraten verhindert werden. Die Freisetzungsraten werden laufend gemessen und stehen nahezu in Echtzeit zur Verfügung. Der Bauunternehmer vergleicht laufend die Messwerte mit Grenzwerten, die in den detaillierten Managementplänen festgelegt sind, und leitet gegebenenfalls rechtzeitige und sicherheitsleistende Maßnahmen zur Steuerung der Sedimentfreisetzung ein, gegebenenfalls auch eine sofortige Unterbrechung der Bauarbeiten. Dies wird direkt mit der UBB der Vorhabenträger abgestimmt.

Dem Bauunternehmer stehen verschiedene Möglichkeiten zur Steuerung der Sedimentfreisetzung zur Verfügung. Er hat innerhalb des in den Planfeststellungsunterlagen dargestellten Bauablaufs z.B. die Möglichkeit der Wahl von Schaufel-, Greif- und Laderaumsaugbaggern sowie die zeitliche und lokale Abstimmung der Aushubarbeiten.

Ein angepasster Bauablauf ist eine weitere Möglichkeit für den Bauunternehmer, die Sedimentfreisetzung zu steuern. Dies kann auch notwendig werden aufgrund von schwierigeren, nicht erwarteten Baugrundverhältnissen, einem Ausfall von Baugeräten, ungünstigen Witterungsverhältnissen oder ähnlichem, wodurch die Bauarbeiten nicht wie erwartet fortschreiten können. Der Bauunternehmer hat dann einen an die Umstände angepassten Bauablauf vorzulegen, welcher die genehmigten Anforderungen, z.B. die zugelassenen Sedimentfreisetzungsraten und das mit den Behörden abgestimmte Detailkonzept, nach wie vor einhält. Der aktualisierte Bauablauf muss von den Vorhabenträgern freigegeben sein, bevor der Bauunternehmer die Arbeiten ausführen kann.

Die Genehmigung der Ausführungsplanung mit den detaillierten Managementplänen des Bauunternehmers erfolgt in folgenden Schritten:

- Der Bauunternehmer erstellt gemäß dem Managementsystem des Bauunternehmers die Unterlagen in Übereinstimmung mit dem Vertrag. Der Bauunternehmer hat somit eine Kontrolle und Freigabe durchgeführt, dass alle Vertragsbestimmungen eingehalten sind. Anschließend sendet der Bauunternehmer die Unterlagen an die Vorhabenträger zur Prüfung.
- Das Contract Management der Vorhabenträger nimmt die Unterlagen entgegen und führt eine Prüfung der verschiedenen Elemente der Unterlagen durch. Die Prüfung soll gewährleisten, dass die Vertragsbestimmungen erfüllt sind und die Planung des Bauunternehmers ausreicht, um zu gewährleisten, dass die Vertragsbestimmungen bei der Ausführung der Arbeit eingehalten werden können.
- Die UBB der Vorhabenträger bildet einen wichtigen Bestandteil des gesamten Contract Management und die Unterlagen werden geprüft, um sicherzustellen, dass die Planung die vertraglichen Anforderungen bezüglich der zulässigen Sedimentfreisetzung und baggerfreien Perioden erfüllt und im Rahmen der durchgeführten Umweltverträglichkeitsstudie liegt.
- Das Contract Management der Vorhabenträger sammelt ggf. Anmerkungen zum Managementplan und sendet diese an den Bauunternehmer mit dem Hinweis, dass das Dokument vor der Genehmigung noch einmal überarbeitet werden muss.
- Der Bauunternehmer sendet ein überarbeitetes Dokument, und die beschriebenen Schritte werden wiederholt, bis eine Übereinstimmung mit den vertraglich vereinbarten Bedingungen, hierunter der Rahmen der durchgeführten Umweltverträglichkeitsstudie, erzielt ist.

Die Vorhabenträger erstellen sodann auf Basis der Managementpläne die Detailkonzepte, die mit den zuständigen Behörden abgestimmt werden.

Die Ergebnisse des Monitorings der Sedimentfreisetzung fließen in den intensiven Phasen der Sedimentfreisetzung halbjährlich in Hindcastmodellierungen ein (Monitoringkonzept zur marinen Umwelt, Anlage 22.9 der Planfeststellungsunterlagen, Kap. 2.1). Auch mittels Messstationen im Fehmarnbelt und vor den Küsten von Fehmarn und Lolland (Monitoringkonzept zur marinen Umwelt, Anlage 22.9 der Planfeststellungsunterlagen, Kap. 2.2 und 2.3) wird die Ausdehnung der Sedimentverdriftung – d. h. die Trübungs- und Sedimentationszuschläge – laufend gemessen, um die Wirkungen der Sedimentfreisetzung vollständig zu erfassen. Das Monitoringkonzept zur marinen Umwelt (Anlage 22.9 der Planfeststellungsunterlagen) soll die der UVS zu Grunde gelegte Modellierung der Sedimentverdriftung und die Unterschreitung der vorsorglichen Prognostizierung der Umweltauswirkungen in adäquater Weise dokumentieren. Sollten im Rahmen des Monitorings unvorhersehbare Umwelteinwirkungen eintreten, werden diese als Teil des Monitoringprogramms umgehend analysiert. Die Analyse dient der Ursachenermittlung der Umwelteinwirkungen, so dass – wenn erforderlich – eine gezielte Anpassung der Bauausführung vorgenommen werden kann. Gegebenenfalls wird auch eine sofortige Unterbrechung der Bauarbeiten angeordnet.

Die vor Ort der Bauarbeiten freigesetzten Mengen werden laufend in einem Bestandserfassungssystem erfasst, welches auch zur Berichterstattung verwendet wird. Diese Maßnahmen werden unter dem Begriff Compliance-Überwachung zusammengefasst.

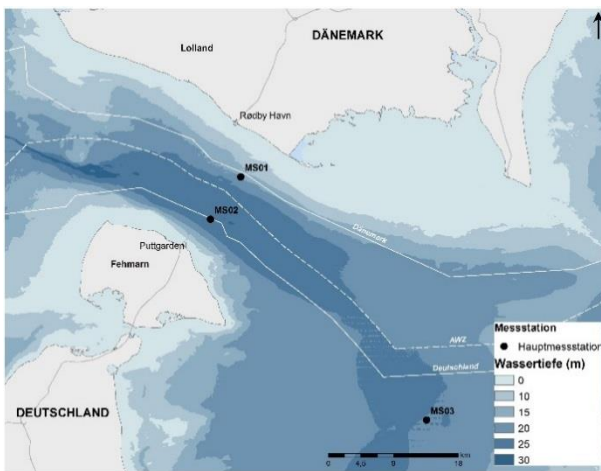
Insgesamt umfasst die Compliance-Überwachung folgende Tätigkeiten:

- Messung der Sedimentfreisetzung
- Auf den Messergebnissen basierende Datenverarbeitung zur Ermittlung der Sedimentfreisetzung am Baugeschehen
- Einrichtung und Betrieb des Analysewerkzeugs für die Berechnung der Sedimentfreisetzung auf Grundlage von Messwerten und Modellen
- Bestandserfassung der freigesetzten Sedimentmengen und Berichterstattung

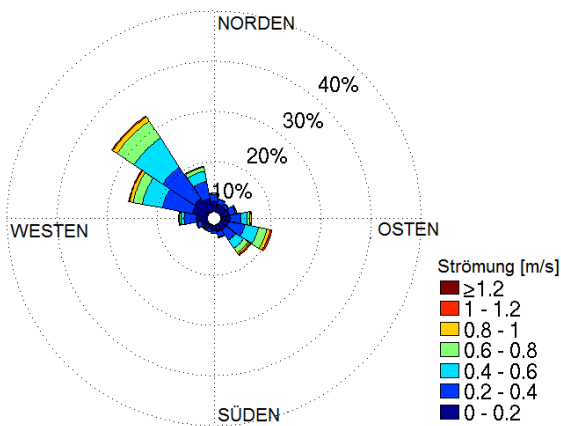
Im Folgenden werden die zum Einsatz kommenden Methoden und die dazu erforderliche Ausrüstung zur Überwachung der festgelegten Sedimentmengen und –frachten beschrieben.

3. Verdriftung von freigesetztem Sediment im Fehmarnbelt

Im Fehmarnbelt herrschen komplexe hydrografische Verhältnisse. Diese werden vor allem von den meteorologischen Bedingungen und dem Einfluss von Nordseewasser beeinflusst sowie vom Süßwasser, das über die Flüsse in die Ostsee gelangt. In den tieferen Wasserschichten herrscht in der Regel eine Strömungsgeschwindigkeit von weniger als 0,4 m/s, an der Oberfläche eine von weniger als 0,6 m/s – mit oftmals dreidimensionalen Fließmustern. Die im Rahmen der Bestandserfassung erhobenen statistischen Daten zu einer zentralen Position im Fehmarnbelt sind Abb. 1 zu entnehmen.



Strömungsrose, MS02 Fehmarnbelt, Tiefe 5 m



Strömungsrose, MS02 Fehmarnbelt, Tiefe 27 m

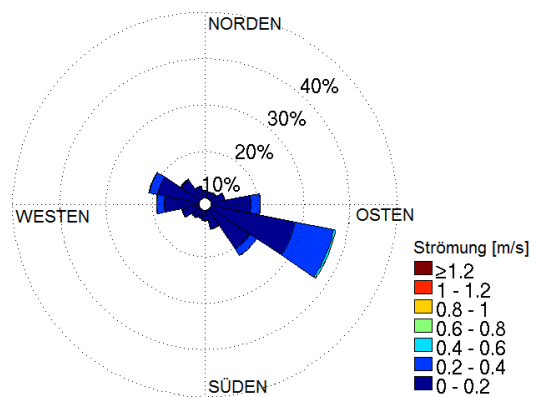
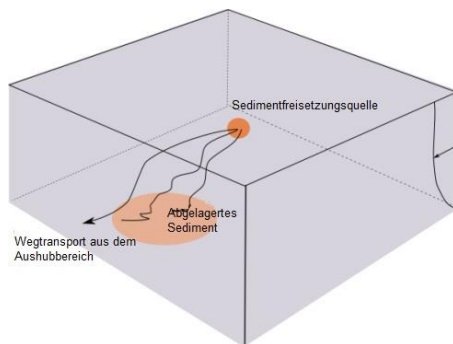


Abb. 1: Aktuelle Strömungsrosen an der Position MS02

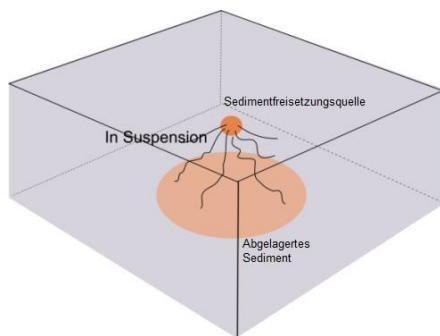
Im Verlauf der Bauarbeiten wird abhängig von den jeweils herrschenden Strömungsverhältnissen im Fehmarnbelt Sediment auf unterschiedliche Art verdriften. Anteile

des freigesetzten Sediments lagern sich in der Nähe des Aushubortes ab, andere werden wegtransportiert. Abb. 2 - Abb. 4 zeigen den Verlauf der Verdriftung bei typischen einheitlichen Strömungsverhältnissen und bei langsamen und hohen Strömungsgeschwindigkeiten.



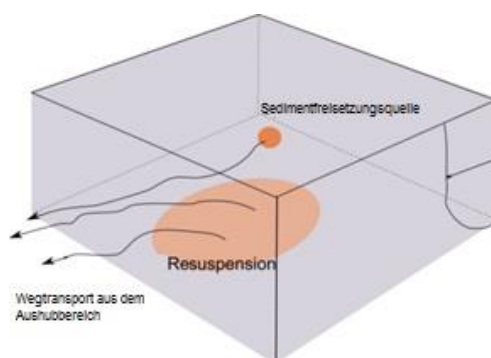
Typische
einheitliche
Strömung im
Gebiet

Abb. 2: Verdriftung von freigesetztem Sediment bei typischen einheitlichen Strömungsverhältnissen. Teile des freigesetzten Sediments lagern sich in der Nähe des Aushubortes ab, andere werden unmittelbar wegtransportiert.



Langsame
Strömungsge-
schwindigkeiten

Abb. 3: Verdriftung von freigesetztem Sediment bei langsamen Strömungsgeschwindigkeiten. Ein größerer Teil der freigesetzten Sedimente lagert sich in der Nähe des Aushubortes ab.



Schnelle
Strömungsge-
schwindigkeiten

Abb. 4: Verdriftung von freigesetztem Sediment bei hohen Strömungsgeschwindigkeiten. Das freigesetzte Sediment wird vom Bereich des Aushubs unmittelbar wegtransportiert. Zudem wird Sediment, das zuvor während der Bautätigkeit in der Nähe des Aushubortes abgelagert worden war, resuspendiert und ebenfalls wegtransportiert.

4. Konzept für die Überwachung

Die Sedimentfreisetzung wird so nahe wie möglich am Bauort bestimmt, indem das in der Wassersäule suspendierte Sediment sowie die Strömungsverhältnisse gemessen werden. Daraus ergibt sich ein Sedimentflux vom Ort des Aushubs (Transektmessung).

Im Fehmarnbelt gestaltet sich die Messung der Freisetzung aufgrund der langsamen Strömungsgeschwindigkeit und des dreidimensionalen Strömungsbildes (vgl. Abb. 3-Abb. 4) oftmals schwierig. Abb. 5 zeigt die Messung der Freisetzung bei gleichmäßigen Strömungsverhältnissen, d.h. bei einer starken, gleichförmigen in eine Richtung verlaufenden Strömung, wobei sich eine klar abgegrenzte Sedimentwolke bildet. Messungen unter diesen Strömungsverhältnissen ergeben eine sichere und vorsorgliche Quantifizierung der Sedimentfreisetzung, und dienen als wichtigste Grundlage für die Berechnung der gesamten Sedimentfreisetzung. So weit möglich werden auch Sedimentfreisetzungen bei schwächeren und mehrdimensionalen Strömungen, die durch komplexe Messungen in allen Richtungen der Freisetzung vorzunehmen sind, vorgenommen, um die unter diesen Verhältnissen reduzierten Freisetzungen vom Ort des Aushubs in die Gesamterfassung miteinbeziehen zu können.

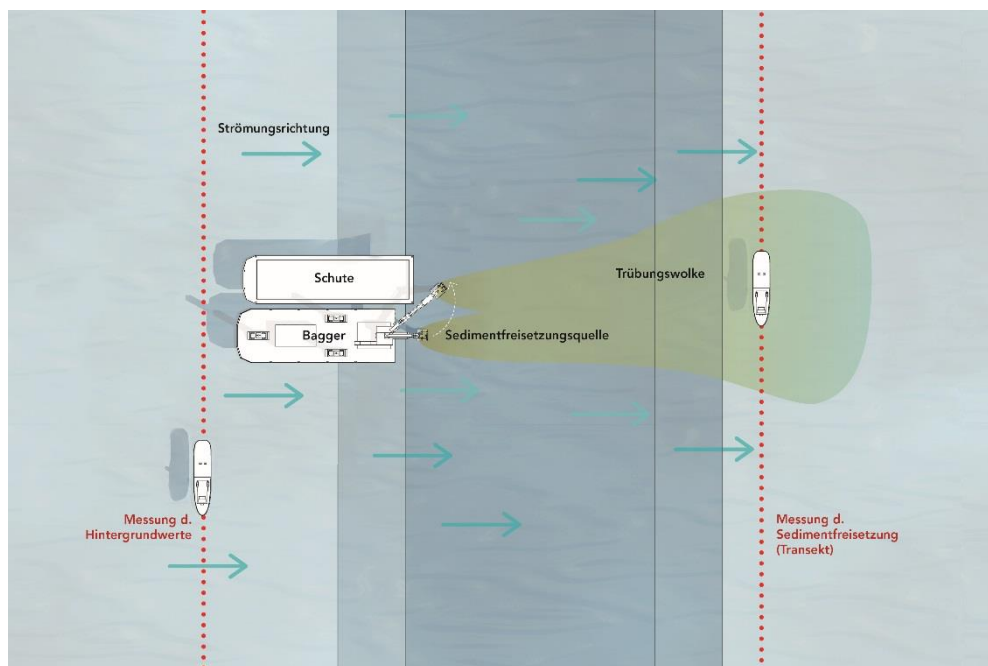


Abb. 5: Beispielhafte Verhältnisse für die Messung der Sedimentfreisetzung

Im Allgemeinen erfolgt die Compliance-Überwachung gemäß folgenden Grundprinzipien:

- Die Messung der Sedimentfreisetzung erfolgt so nahe wie möglich am Bereich der Bauarbeiten.

- Die Messungen bilden die Basis für die numerische Berechnung der Freisetzungsrates (Freisetzung im Ursprungsbereich). So wird die Freisetzungsrates für die einzelnen Baggertypen und die jeweilige Bodenbeschaffenheit bestimmt.
- Die aufgrund der Kombination von Messungen und Back-Tracing-Modellen errechneten Freisetzungsrates werden zur Kalibrierung des Analysewerkzeugs für die Berechnung der Sedimentfreisetzung verwendet, welches die prozentuale Freisetzung als Funktion der Baggertypen, Bodenbeschaffenheit und Produktionsrate berechnet.
- Die Messung der Sedimentfreisetzung zusammen mit den numerischen Berechnungen wird jeweils zu Anfang neuer Aushubarbeiten oder bei veränderten Baugrundbedingungen ausgeführt. Nach einer Reihe von Messungen und numerischen Berechnungen ist das letztlich zur Anwendung kommende Analysewerkzeug für die Berechnung der Sedimentfreisetzung genügend genau kalibriert, sodass die Freisetzungsrates auf Grundlage der Informationen über Baggerausrüstung, Bodenbeschaffenheit und Produktionsraten bestimmt werden können. Darüber hinaus werden zur Verifizierung und um sicherstellen zu können, dass ausreichende Analysewerkzeuge zur Verfügung sind, laufend Kontroll-Messungen vorgenommen. Die Kontroll-Messungen in den Messtransekten können periodisch durch Messungen an festen ADCP-Stationen in den Arbeitszonen ergänzt werden.
- Die Freisetzungsrates werden in einem Bestandserfassungssystem zur Erfassung der Freisetzung eingegeben, das laufend die zeitliche und räumliche Verteilung sämtlichen freigesetzten Sediments überwacht und dokumentiert.
- Abschließend werden alle Informationen über die Menge des freigesetzten Sediments und die Aushubarbeiten in Berichtsform ausgewiesen.

Diese Grundprinzipien sind in Abb. 6 dargestellt.

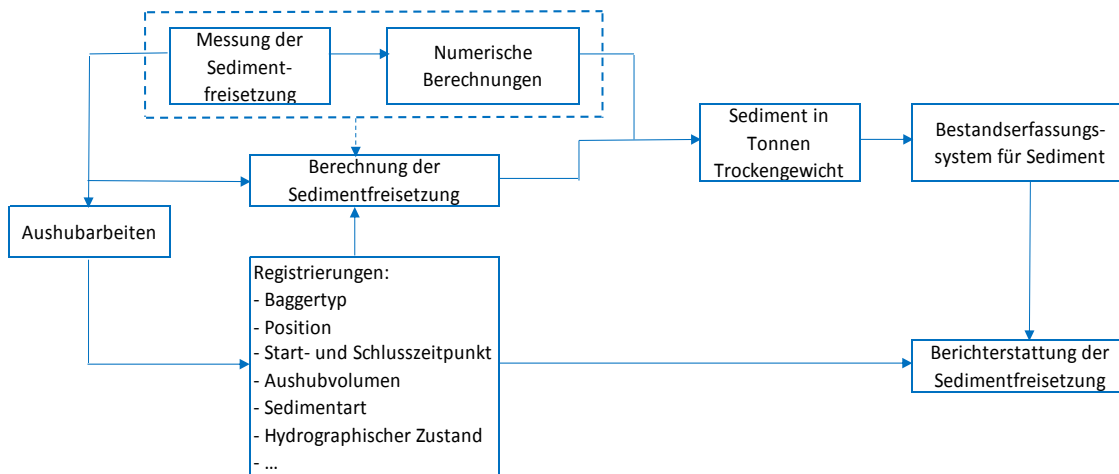


Abb. 6: Übersicht der Prozesse für die Compliance-Überwachung.

Hinweis: Die Kombination von Freisetzungsmessdaten und numerischen Berechnungen bildet den Eingabewert für das Analysewerkzeug für die Berechnung der Sedimentfreisetzung. Die Berichterstattung zur Sedimentfreisetzung umfasst Informationen über die Baggerarbeiten (Registrierungen) sowie über die räumliche und zeitliche Sedimentfreisetzung (Bestandserfassungssystem zur Erfassung der Freisetzung).

5. Wie lässt sich die Freisetzung im Fehmarnbelt aufgrund der Messresultate bestimmen?

Für die Bestimmung der tatsächlich freigesetzten Sedimentmengen werden folgende Messungen vorgenommen:

- a) Wasserabfluss in einem zuvor definierten Querschnitt (Transekt)
- b) Konzentrationen von suspendiertem Sediment innerhalb dieses Querschnitts

Mittels Integration von a) und b) in einem Stromaufwärts- und Stromabwärts-Transekt lässt sich die Gesamtmenge des suspendierten Sediments, welches durch einen bestimmten Transekt transportiert wird, quantifizieren.

5.1. Messausrüstungen

Für die Messungen werden eine Reihe verschiedener Instrumente benötigt, die im Einzelnen in Tabelle 1 aufgeführt sind. Alle Messungen werden an Bord eines leicht manövrierbaren Bootes ausgeführt. Eine Beschreibung der einzelnen Messinstrumente findet sich in Tabelle 2.

Tabelle 1: Instrumente für die Messung der Sedimentfreisetzung im Rahmen der Aushub- und Landgewinnungsarbeiten

Ziel der Messung	Benötigte Instrumente
Wasserabfluss in einem zuvor definierten Querschnitt	<ul style="list-style-type: none">• Aktivsonar (Acoustic Doppler Current Profiler, ADCP)• Strömungs-Punktmessgerät
Konzentration von suspendiertem Sediment innerhalb eines Querschnitts	<ul style="list-style-type: none">• ADCP• Optischer Rückstreuungssensor (Optical backscatter sensor, OBS)• Korngrößenmessung mittels Laserdiffraktion• Wasserprobennehmer
Am Meeresboden abgelagerte Sedimente in der Bauzone zur Validierung der Sedimentierung	<ul style="list-style-type: none">• Ferngesteuertes Unterwasserfahrzeug für Videobeobachtung
Beschaffenheit des freigesetzten Sediments	<ul style="list-style-type: none">• Wasserprobennehmer

Tabelle 2: Beschreibung der Instrumente für die Messung der Sedimentfreisetzung im Rahmen der Aushub- und Landgewinnungsarbeiten

Instrument	Parameter	Zweck
Strömungs-Profilmessgerät	Strömungsprofile	Dieses Instrument wird für zwei Messzwecke eingesetzt: Strömungsgeschwindigkeit und Richtung in Bins (vertikale Intervalle) durch die Wassersäule unter Nutzung des Doppler-Effekts. Akustisches Rückstremessgerät.
Strömungs-Punktmessgerät	Strömung in einem Punkt	Mit diesem Instrument lassen sich die Strömungen nahe am Meeresboden – wo kein Einsatz des Strömungsmessers möglich ist – messen.
OBS	Trübung	Mit diesem Instrument wird die Trübung gemessen. Mit den so gewonnenen Daten lässt sich anschließend die Schwebstoffkonzentration errechnen.
Wasserprobennehmer	Sedimentkonzentration	Für die Umrechnung der Rückstreuungs- und Trübungswerte zu Schwebstoffkonzentrationen werden Wasserproben benötigt.
Korngrößemessung mittels Laserdiffraktion	Verteilung der Korngrößen	Die durch Laserdiffraktion gemessenen Korngrößen unterstützen die Umrechnung von Rückstreuungsdaten zu Sedimentkonzentrationen. Diese Messdaten sind ebenfalls wichtig für das Back-Tracing-Modell
Videoaufnahmen durch das ferngesteuerte Unterwasserfahrzeug	Bilder vom Meeresboden	Einschätzung der gesamthaften Sedimentabsetzung

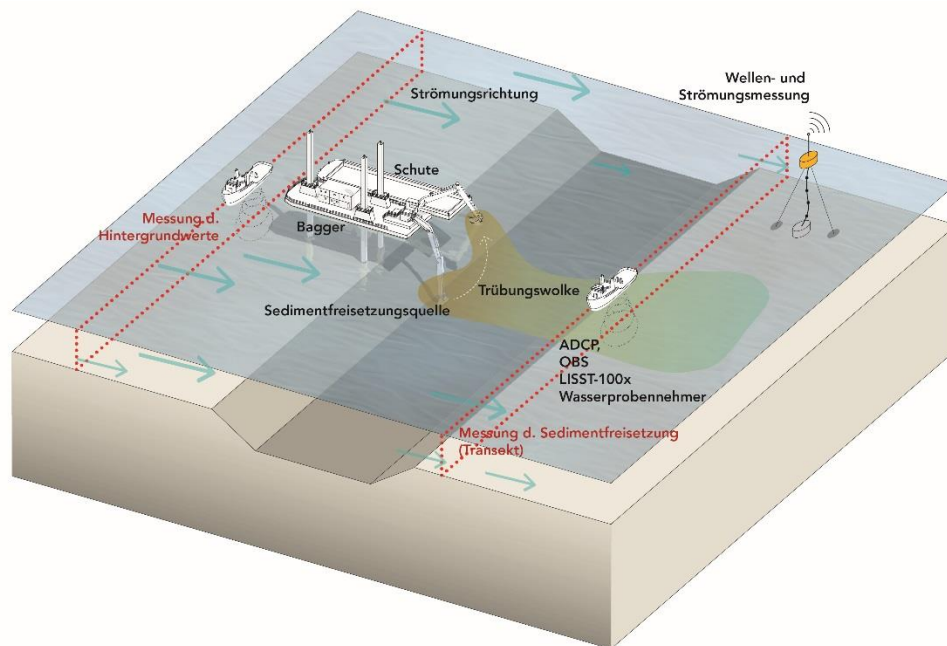


Abb. 7: Schematische Darstellung des Überwachungsansatzes

Sediment wird über die Strömung in der Wassersäule transportiert. Deshalb müssen die Werte für die Strömungsgeschwindigkeit und -richtung vor der Überwachung bestimmt werden. Dies kann entweder mit Hilfe fester Stationen oder an Bord des Überwachungsschiffes geschehen. Der Vorteil fester Stationen liegt darin, dass sie auch witterungsunabhängig Daten zum Seegang im Gebiet liefern.

Nachdem die Strömungsparameter gemessen worden sind, werden die Messungen gestartet. Das Messschiff navigiert mit stetiger langsamer Geschwindigkeit durch die Trübungswolke (Abb. 7). Während der Fahrt werden Daten zu den Strömungs- und Turbiditätsparametern aufgezeichnet, um eine Übersicht über die Trübungswolke zu erhalten. Für jede Abbildung fährt das Schiff mehrere Male durch die Sedimentwolke. Während der Durchfahrt werden gleichzeitig Daten für die Turbiditätsparameter (via optische Rückstreuungssensoren) und Korngrößenverteilungen gesammelt und Wasserproben entnommen. Außerdem werden vor und nach den Sedimentmessungen auch Proben von der Baggerschaufel entnommen.

6. Analysewerkzeug für die Berechnung der Sedimentfreisetzung

Um die während der gesamten Bauperiode freigesetzten Sedimentmengen zu quantifizieren, müssen die oben genannten Parameter vor Ort für eine große Anzahl von Fällen gemessen werden. Die Überwachung hat während allen verschiedenen Bauarbeiten zu erfolgen, bei denen es zur Sedimentfreisetzung kommt, und ist Voraussetzung für die ersten Berichte zur Sedimentfreisetzung und Einstellung des Analysewerkzeugs für die Berechnung der Sedimentfreisetzung.

Die Freisetzung am Bauort wird mittels einer Kombination von präzisen Messungen der Freisetzung und numerischen Berechnungen ermittelt. Sie bilden die Basis für die Kalibrierung des Analysewerkzeugs für die Berechnung der Sedimentfreisetzung. Die Messungen sind vorzugsweise bei starken, in einer Richtung verlaufenden Strömungsverhältnissen vorzunehmen, da unter diesen Bedingungen die Unsicherheit in Bezug auf die Konvertierung von gemessenen Daten auf die tatsächlichen Freisetzungsmengen am kleinsten ist. Das Analysewerkzeug für die Berechnung der Sedimentfreisetzung ermittelt unter Berücksichtigung von Baggertyp und Bodenbeschaffenheit die Freisetzungsrates in Prozent.

Nach einiger Zeit arbeitet das Analysewerkzeug mit genügend hoher Präzision, sodass die Freisetzungsrates unmittelbar von den bekannten Variablen (Baggertyp, Sedimentart und Produktionsrate) abgeleitet werden kann und größere Messintervalle in den laufenden Messungen möglich werden.

7. Bestandserfassung der Sedimentfreisetzung und Berichterstattung

Sämtliche Aushub- und Landgewinnungsarbeiten werden kontinuierlich in ein elektronisches System für die Bestandserfassung der Sedimentfreisetzung eingegeben. Zu den erfassten Daten gehören Informationen über die Baggerarbeiten, beispielsweise Baggertyp, Bodenbeschaffenheit, Dauer, Position, Aushubvolumen und Freisetzungsmenge.

Die Sedimentfreisetzung wird mit einem elektronischen Berichterstattungssystem dokumentiert, welches es den Nutzern erlaubt, die Freisetzung nach Baubereich, Baggertyp, Sedimentart usw. zu prüfen. Das System bietet jederzeit eine Übersicht über die gesamthaft freigesetzten Sedimentmengen.



Abb. 8: Illustration der Instrumente, die zur Messung der Sedimentfreisetzung während der Aushub- und Landgewinnungsarbeiten eingesetzt werden

I. Anhang

Die einzuhaltenden Sedimentfreisetzungsraten und baggerfreien Perioden wurden auf Grundlage des UVP-Szenarios für die Baggerarbeiten sowie der Sensitivitätsanalysen festgelegt.

Zwecks Definition der einzuhaltenden Sedimentfreisetzungsraten und baggerfreien Perioden wurde das Gebiet, in dem die Aushub- und Landgewinnungsarbeiten ausgeführt werden, in die folgenden acht Zonen unterteilt (vgl. nachfolgende Abbildung):

- Zone 1A:** Landgewinnungsfläche und Arbeitshafen auf Fehmarn
- Zone 1B:** Landgewinnungsfläche und Arbeitshafen auf Lolland
- Zone 2A:** küstennaher Tunnelgraben vor Fehmarn bis 2,7 km von der Landgewinnung entfernt
- Zone 2B:** küstennaher Tunnelgraben und Fahrrinne vor Lolland bis 2,2 km von der Landgewinnung entfernt
- Zone 2C:** Tunnelgraben zwischen 2,2 – 4,4 km von der Landgewinnung Lollands entfernt
- Zone 3A:** Tunnelgraben zwischen 2,7 – 6,7 km von der Landgewinnung Fehmarns entfernt
- Zone 3B:** Tunnelgraben zwischen 4,4 – 6,5 km von der Landgewinnung Lollands entfernt
- Zone 4:** zentraler Teil des Tunnelgrabens 6,5 km von der dänischen bzw. 6,7 km von der deutschen Landgewinnung entfernt

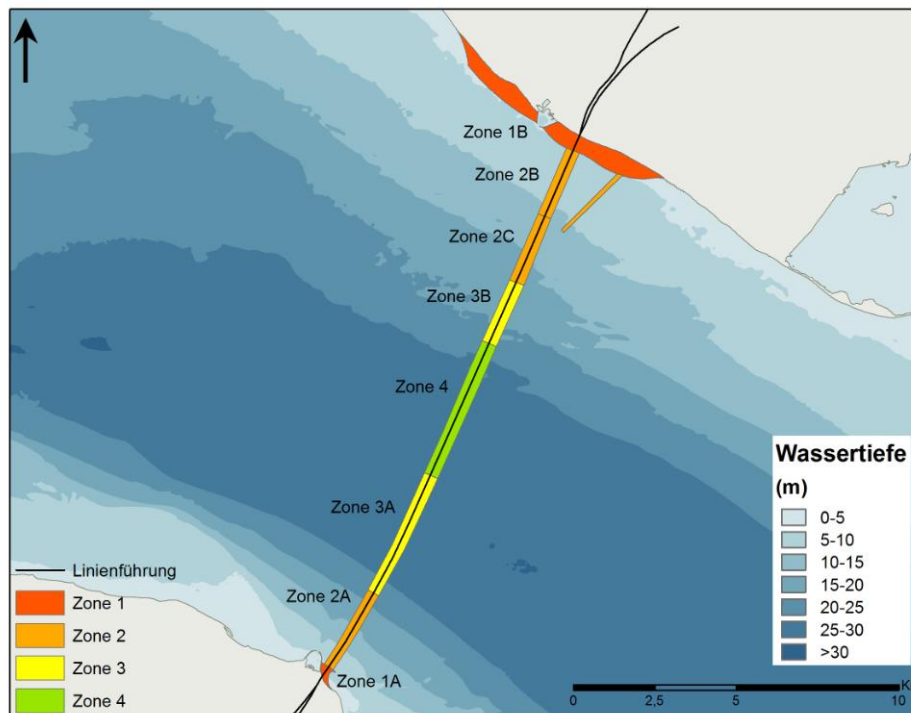


Abb.: Räumliche Abgrenzung von Zonen zur Festlegung von einzuhaltenden Sedimentfreisetzungsraten infolge von Aushub- und Wiederverfüllarbeiten im Fehmarnbelt

Die nachfolgende Tabelle zeigt die einzuhaltenden Sedimentfreisetzungsraten und baggerfreien Perioden im marinen Bereich für jede der acht Zonen. Für jede der acht Zonen sind zulässige Sedimentfreisetzungsraten aufgeführt. Diese sind jeweils für den Monat, die Jahreszeit, das Jahr und die gesamte Bauphase einzuhalten. Im Einzelnen sind dies die

1. maximale monatliche Sedimentfreisetzung,
2. maximale Sedimentfreisetzung während der Winterperiode, Oktober – Februar,
3. maximale Sedimentfreisetzung während der Sommerperiode, Juni – August,
4. maximale Sedimentfreisetzung während der Frühjahrs- und Sommerperiode, März – August,
5. maximale jährliche Sedimentfreisetzung und
6. maximale Sedimentfreisetzung während der gesamten Bauphase.

Daraus ergeben sich folgende baggerfreie Perioden, in denen keine Sedimente durch Baggerarbeiten freigesetzt werden: In der küstennahen Zone 1a bei Fehmarn ist der Zeitraum März-September als baggerfreie Periode festgelegt, dieses gilt auch für den Zeitraum Juni-August in der seewärts liegenden Zone 2a.

Die maximalen Sedimentfreisetzungsraten für die entsprechende Jahreszeit, das Jahr sowie für die gesamte Bauphase verstehen sich als Gesamtfreisetzungsraten für die jeweilige Zone

einschließlich der anschließenden Zonen in Richtung zum näherliegenden Land, d.h. entweder Fehmarn oder Lolland, bzw. für Zone 4 als Gesamtfreisetzungsrate über alle Zonen. Im Einzelnen umfasst die

- maximale Sedimentfreisetzung in Zone 2a die summierten Freisetzungen in Zone 1a und 2a,
- maximale Sedimentfreisetzung in Zone 3a die summierten Freisetzungen in Zone 1a, 2a und 3a,
- maximale Sedimentfreisetzung in Zone 4 die summierten Freisetzungen in Zone 1a, 2a, 3a, 4 sowie 3b, 2c, 2b und 1b,
- maximale Sedimentfreisetzung in Zone 3b die summierten Freisetzungen in Zonen 3b, 2c, 2b und 1b,
- maximale Sedimentfreisetzung in Zone 2c die summierten Freisetzungen in Zone 2c, 2b und 1b und
- maximale Sedimentfreisetzung in Zone 2b die summierten Freisetzungen in Zone 2b und 1b.

Tabelle: Einzuhaltende Sedimentfreisetzungsraten nach Zonen und Jahreszeiten (Angabe in t):

Zone		Jan.	Feb.	Mrz.	Apr.	Mai	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Okt.	Nov.	Dez.	
1a	max. pro Monat 1)	8.100	8.100	0	0	0	0	0	0	0	8.100	8.100	8.100	
	max. pro Winter 2)	8.100 *)											8.100 *)	
1a	max. pro Sommer 3)							0						
	max. pro Frühjahr und Sommer 4)							0						
	max. pro Jahr 5)							8.100						
	max. gesamte Bauphase 6)							8.100						
2a	max. pro Monat	85.000	85.000	10.000	10.000	10.000	0	0	0	14.000	85.000	85.000	85.000	
	max. pro Winter	85.000 *)											85.000 *)	
2a+1a	max. pro Sommer							0						
	max. pro Frühjahr und Sommer							6.206						
	max. pro Jahr							89.502						
	max. gesamte Bauphase							110.381						
3a	max. pro Monat	42.000	42.000	74.000	74.000	74.000	8.400	8.400	8.400	74.000	42.000	42.000	42.000	
	max. pro Winter	120.000 *)											120.000 *)	
3a+2a+1a	max. pro Sommer							8.412						
	max. pro Frühjahr und Sommer							85.815						
	max. pro Jahr							208.635						
	max. gesamte Bauphase							294.992						
4	max. pro Monat	76.000	76.000	53.000	53.000	53.000	53.000	53.000	53.000	53.000	76.000	76.000	76.000	
	max. pro Winter	180.000 *)											180.000 *)	
4+3+2+1	max. pro Sommer							269.041						
	max. pro Frühjahr und Sommer							512.754						
	max. pro Jahr							792.407						
	max. gesamte Bauphase							1.227.560						
3b**	max. pro Monat	42.000	42.000	42.000	42.000	42.000	42.000	42.000	42.000	50.000	42.000	42.000	42.000	
	max. pro Winter	75.000 *)											75.000 *)	
3b+2c+2b+1b	max. pro Sommer							189.280						
	max. pro Frühjahr und Sommer							355.590						
	max. pro Jahr							486.634						
	max. gesamte Bauphase							680.673						
2c**	max. pro Monat	50.000	50.000	97.000	97.000	97.000	97.000	97.000	97.000	97.000	50.000	50.000	50.000	
	max. pro Winter	50.000 *)											50.000 *)	
2c+2b+1b	max. pro Sommer							147.354						
	max. pro Frühjahr und Sommer							313.664						
	max. pro Jahr							420.227						
	max. gesamte Bauphase							550.302						
2b**	max. pro Monat	85.000	85.000	97.000	97.000	97.000	6.400	6.400	6.400	97.000	85.000	85.000	85.000	
	max. pro Winter	85.000 *)											85.000 *)	
2b+1b	max. pro Sommer							39.098						
	max. pro Frühjahr und Sommer							205.408						
	max. pro Jahr							311.971						
	max. gesamte Bauphase							427.360						
1b**	max. pro Monat	40.000	40.000	37.000	37.000	37.000	29.000	29.000	29.000	18.000	40.000	40.000	40.000	
	max. pro Winter	100.000 *)											100.000 *)	
1b	max. pro Sommer							32.730						
	max. pro Frühjahr und Sommer							81.232						
	max. pro Jahr							135.505						
	max. gesamte Bauphase							245.171						

*) Die Zahl gibt die maximale Sedimentfreisetzung in einer fortlaufenden Periode während der Monate Oktober - Februar an.
**) Betrifft nur den dänischen Teil, hier nur zur Information