

BERICHT

Modellierung der Pipeline-Fahne: Aktualisierung für geänderte Pipeline- Trasse

Umweltverträglichkeitsbericht Gasförderung N05-A
Update für geänderte Pipeline-Route

Kunde: ONE-Dyas B.V.

Referenz: BG6396IBRP2010071018

Status: S0/3.0

Datum: 22. März 2022

HASKONINGDHV NIEDERLANDE B.V.

Allee 1914 Nr.35
3818 EX Amersfoort
Industrie und
Bauwesen
Handelsregisternummer: 56515154

+31 88 348 20 00 **T**
+31 33 463 36 52 **F**
info@rhdhv.com **E**
royalhaskoningdhv.com **W**

Titel des Dokuments: Modellierung der Pipeline-Fahne: Aktualisierung für geänderte Pipeline-Trasse

Untertitel: Fahnenmodellierungspipeline - Aktualisierung

Referenz: BG6396IBRP2010071018

Status: 3.0/S0

Datum: 22. März 2022

Name des Projekts: Umweltverträglichkeitsbericht Gasförderung N05-A

Projekt Nr: BG6396

Klassifizierung

Projektbezogen

Sofern nicht anders mit dem Auftraggeber vereinbart, darf kein Teil dieses Dokuments vervielfältigt oder veröffentlicht oder für einen anderen Zweck als den, für den es erstellt wurde, verwendet werden. HaskoningDHV Nederland B.V. übernimmt keinerlei Verantwortung oder Haftung für dieses Dokument, außer gegenüber dem Auftraggeber. Achtung: Dieses Dokument enthält möglicherweise persönliche Daten von Mitarbeitern von HaskoningDHV Nederland B.V.. Vor der Veröffentlichung (oder anderweitigen Weitergabe) sollte dieses Dokument anonymisiert werden, oder es sollte die Erlaubnis eingeholt werden, dieses Dokument mit personenbezogenen Daten zu veröffentlichen. Dies ist nicht erforderlich, wenn die Gesetze oder Vorschriften eine Anonymisierung nicht zulassen.

Inhalt

1	Einführung	1
1.1	Hintergrund	1
1.2	Zweck der Studie	1
1.3	Leitfaden zum Lesen	1
1.4	Aktualisierung März 2022	2
2	Hintergrunddaten	3
2.1	Einführung	3
2.2	Route der Pipeline	3
2.3	Natürlicher Meeresboden	3
2.4	Natürliche Sedimentkonzentrationen	4
2.5	Beschreibung der Art der Bestattung	5
2.5.1	Allgemein	5
2.5.2	Variante "Trenching	5
2.5.3	Variante "Jets	6
2.6	Freisetzung von Sedimenten	6
2.6.1	Korngröße und Fallgeschwindigkeit des freigesetzten Sediments	6
2.6.2	Menge der freigesetzten Sedimente	7
3	Beschreibung des Modells	9
3.1	Einführung	9
3.2	Modell-Software	9
3.3	Schematisierung des ZUNO-Modells	9
3.4	Modell-Szenarien	9
3.5	Zugabe von freigesetztem Feinsediment	10
3.6	Modellausgabe und Visualisierung	10
4	Ergebnisse des Modells	12
4.1	Einführung	12
4.2	Strömungs- und Wellenbedingungen	12
4.3	Variante 'Trenching	14
4.3.1	Karten zur Schlammkonzentration	14
4.3.2	Karten zur Sedimentation	14
4.3.3	Zeitreihen	15
4.4	Variante 'Jetten	19
4.4.1	Karten zur Schlammkonzentration	19
4.4.2	Karten zur Sedimentation	20
4.4.3	Zeitreihen	21
4.5	Vergleich zwischen den Varianten	24

5	Diskussion	26
6	Schlussfolgerungen	28
7	Referenzen	30

1 Einführung

1.1 Hintergrund

ONE-Dyas beauftragte Royal HaskoningDHV mit der Erstellung einer Umweltverträglichkeitsprüfung für das Gasförderprojekt N05-A in der Nordsee. Diese Umweltverträglichkeitsprüfung und verschiedene Ergänzungen dazu wurden inzwischen veröffentlicht. Eine der Neuerungen bestand darin, dass ein neuer Standort für die Plattform gewählt wurde, an dem es weniger große Felsen auf dem Meeresboden gibt. Infolgedessen wurde auch der Verlauf der Pipeline von der Gasförderplattform zur bestehenden NGT-Haupttransportpipeline in der Nordsee leicht geändert. Die Gaspipeline hat eine Länge von etwa 15 km und wird aus Sicherheitsgründen im Meeresboden vergraben.

Wenn die Pipeline vergraben wird, wird feines Sediment vom Meeresboden aufgewirbelt. Ein Teil dieses Feinsediments wird dann durch die Strömungen in der Nordsee verbreitet, was zu einer verstärkten Sedimentation entlang der Pipeline und zu erhöhten Sedimentkonzentrationen in der Wassersäule führen kann. Eine quantitative Untermauerung dieser Auswirkungen mittels Fahnen- und Sedimentationsmodellierung ist wegen der Naturwerte in dem Gebiet, einschließlich der Natura 2000-Gebiete, wünschenswert.

Dieser Bericht beschreibt die Modellierung der Abgasfahne und der Sedimentation und prognostiziert den Anstieg der Sedimentation und der Sedimentkonzentrationen als Folge der Verlegung der Pipeline. Die Modellierung erfolgt unter Verwendung desselben numerischen Modells (Delft3D) und derselben Modellschematisierung, die für die Durchführung der Fahnen- und Sedimentationsstudie zur Bestimmung der Auswirkungen der Gasbohrungen verwendet wurde (Royal HaskoningDHV, 2019). In diesem Modell wurden die hydrodynamischen Prozesse in der Nordsee, wie Wellen, Gezeiten- und Windströmungen, sowie die Dynamik des Bohrschlammes für verschiedene Bedingungen berechnet. In dieser Studie wird dieses Modell zur Vorhersage der Ausbreitung des aufgewirbelten Feinsediments verwendet.

1.2 Zweck der Studie

Der Zweck dieser Studie zur Abgasfahne und Sedimentation ist die Vorhersage der Ausbreitung und Sedimentation der Feinsedimente, die beim Graben der Pipeline zwischen der Plattform N05-A und dem Anschlusspunkt an die Haupttransportleitung NGT freigesetzt werden. Die Ergebnisse dieser Studie dienen als Grundlage für die Folgenabschätzung, einschließlich der Auswirkungen auf die natürlichen Werte in dem Gebiet.

1.3 Leitfaden zum Lesen

In diesem Bericht werden die angewandte Methodik und die Ergebnisse der Fahnenmodellierung der Pipelineverschüttung beschrieben. Kapitel 2 gibt einen Überblick über die Hintergrunddaten wie die Pipelinetrasse, den natürlichen Meeresboden und die Schlickkonzentration, die Methode für den Aushub der Pipeline und die Berechnung der beim Aushub freigesetzten Feinsedimente. Kapitel 3 beschreibt das numerische Modell und Kapitel 4 die Ergebnisse der Modellierung. In Kapitel 5 werden die Ergebnisse erörtert und in Kapitel 6 werden die wichtigsten Schlussfolgerungen dargelegt.

1.4 Aktualisierung März 2022

Diese Version des Berichts betrifft die Berechnung der Abgasfahne als Ergebnis der Anpassungen der Pipelinetrasse seit der Veröffentlichung der ursprünglichen UVP im Oktober 2020. Die Trasse der Pipeline wurde in zweierlei Hinsicht geändert:

- 1 Der Standort des Bahnsteigs wurde um etwa 850 Meter nach Süd-Süd-Ost verschoben. Dadurch wird die Strecke um mehr als 500 Meter verkürzt und der nördliche Teil der Pipeline verändert;
- 2 Der Anschluss an die NGT-Pipeline wurde um einige hundert Meter nach Westen verlegt. Die Trasse des südlichen Teils der Pipeline wurde zu diesem Zweck angepasst.

Diese Aktualisierung wurde auch für die deutschen Wirkungsstudien für das Projekt ONE-Dyas vorgenommen. Für die deutschen Studien wurde ein zusätzlicher Berechnungspunkt in Deutschland, die Ems-Ästuar-Küste, etwa zwei Kilometer östlich des Plattformstandortes, in die Berechnungen einbezogen.

Abbildung 1 zeigt den ursprünglichen und den neuen Standort der Förderplattform sowie den neuen Verlauf der Gaspipeline.



Abbildung 1: Ursprünglicher und neuer Standort der Förderplattform, einschließlich der Lage der Gasfelder und der neuen Trassen der Gaspipeline und des Kabels zum Windpark Riffgat.

ist entlang der Pipelinetrasse mobil (Abbildung 3). Diese Sandkämme bewegen sich unter dem Einfluss von Strömungen und Wellen.



Abbildung 3: Natürlicher Meeresboden entlang der Pipelinetrasse (GEO XYZ Offshore, 2019)

2.4 Natürliche Sedimentkonzentrationen

Diese Karten zeigen ein starkes räumliches Gefälle der Schlickkonzentration entlang der Küste, mit Schlickkonzentrationen von 3 bis 100 mg/l innerhalb einer Entfernung von 50 Kilometern von den Watteninseln.

Die Schlickkonzentration am Standort der Plattform liegt im Jahresdurchschnitt bei etwa 10-20 mg/l in der Nähe der Wasseroberfläche. Näher an der Küste, d. h. in der Nähe des Anschlusses an die bestehende NGT-Pipeline, steigt die durchschnittliche jährliche Schlickkonzentration nahe der Wasseroberfläche auf etwa 30 mg/l. Die natürlichen Schlickkonzentrationen schwanken je nach Jahreszeit: Im Winter liegt die durchschnittliche Schlickkonzentration entlang der Pipelinetrasse bei 20-100 mg/l und im Sommer bei 10-20 mg/l.

Darüber hinaus schwankt die Schlickkonzentration auch in der Wassersäule. In der Nähe des Meeresbodens dürfte die Schlickkonzentration etwas höher sein, aber da der lokale Meeresboden hauptsächlich aus sandigem Material besteht, ist es unwahrscheinlich, dass die Schlickkonzentration in der Nähe des Meeresbodens viel höher ist als weiter oben in der Wassersäule.

Die Fahnenstudie für die Bohrung (Royal HaskoningDHV, 2019) und der RIKZ-Bericht über die gemessenen Schlammkonzentrationen (RIKZ, 2001) enthalten eine detailliertere Beschreibung der Schwankungen der Schlammkonzentrationen und besagen unter anderem, dass die Konzentrationen nach einer ruhigen Periode auf etwa 2 mg/l in der Nähe der Plattform und 5-10 mg/l in der Nähe der NGT-Pipeline fallen können. Nach einer stürmischen Periode steigt die Schlammkonzentration auf typische Werte von etwa 20 mg/l in der Nähe der Plattform und 30-100 mg/l in der Nähe des Anschlusses an die NGT-Pipeline.

Neben diesen jahreszeitlichen und witterungsbedingten Schwankungen ist es wahrscheinlich, dass die Schlickkonzentration auch mit den Gezeiten variiert: Die Ebbe bringt schlickreiches Wasser aus dem Wattenmeer und der Emsmündung ein, während die Flut aus dem Westen relativ schlickarmes Wasser einbringt.

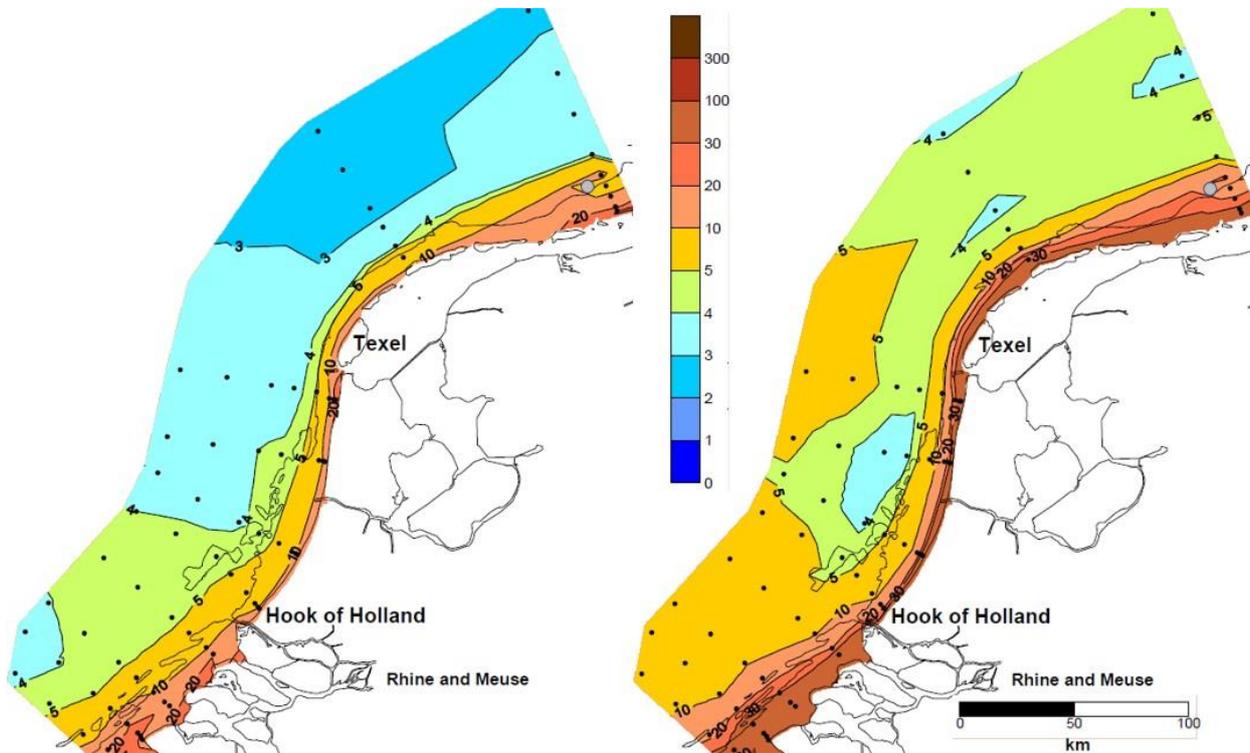


Abbildung 4: Durchschnittlich gemessene Schlickkonzentration an der Wasseroberfläche im Sommer (links) und Winter (rechts) in mg/l (RIKZ, 2001). Der Standort der Plattform ist mit einem grauen Punkt gekennzeichnet

2.5 Beschreibung der Grabungsmethode

2.5.1 Allgemein

Nachforschungen der EIA zeigen, dass es zwei mögliche Varianten für die Verlegung der Pipeline gibt. Bei der ersten Variante wird die Leitung mit einer *mechanischen Grabenfräse* und bei der zweiten Variante mit einem *Düsenschlitten* eingegraben. Bei beiden Varianten wird die Pipeline zunächst mit einem Spezialschiff auf dem Meeresboden verlegt und anschließend eingegraben. In den folgenden Abschnitten werden diese Ausgrabungsmethoden erläutert.

2.5.2 Variante "Trenching"

Bei dieser Variante wird die Pipeline mit einer *mechanischen Grabenfräse* vergraben, die auf Raupenkettensystemen auf dem Meeresboden fährt. Die *Gabenfräse* wird von einem Schiff aus gefahren. Die Grabenfräse gräbt mit Baggerarmen einen V-förmigen Graben unter der Pipeline (siehe Abbildung 5). In der Studie wird davon ausgegangen, dass der Graben nicht aktiv verfüllt wird (*Backfilling*), sondern durch die Meeresströmungen allmählich mit Sediment gefüllt wird.

Die Geschwindigkeit der Grabenfräse beträgt etwa 200 - 300 m/Stunde. Wie in Abbildung 5 dargestellt, finden die Aushubarbeiten unter der Maschine statt. Der ausgehobene Graben hat eine Tiefe von ca. 1,5 m mit Wänden in einem Winkel von 45°. Die Gesamtbreite des Grabens beträgt vier Meter. Es wird davon ausgegangen, dass drei Kubikmeter Sediment pro Meter Grabenlänge aus diesem Graben freigesetzt werden.

Mit einer Standardfräse wird ein etwa sechzehn Meter breiter Streifen des gestörten Meeresbodens ausgehoben. Dies wird durch den Graben, die Sandansammlung entlang des Grabens und die Spurbreite der Grabenfräse verursacht.

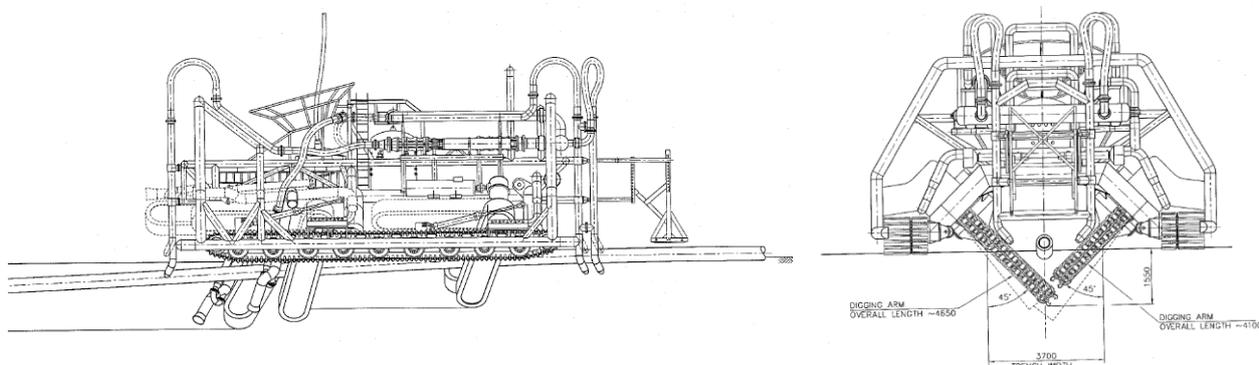


Abbildung 5: Seiten- und Vorderansicht einer mechanischen Grabenfräse

2.5.3 Variante "Jets"

Beim Eingraben mit einem *Düsenschlitten* wird das Sediment auf dem Meeresboden zunächst durch Hochdruckwasserstrahlen aufgelockert ("fluidisiert"). Das gelockerte Erdreich kann dann mit einem Saugsystem aus dem Graben gesaugt werden; dies ist jedoch nicht immer erforderlich. Während des *Jetting-Verfahrens* sinkt die Rohrleitung unter ihrem eigenen Gewicht in den Graben.

Diese Methode gewährleistet einerseits, dass ein relativ schmaler Graben ausgehoben wird, andererseits wird aber auch viel Sediment aufgewirbelt. Im Vergleich zum Grabenbau führt dies zu einer größeren und trübereren Sedimentfahne. Beim *Jetting* bilden sich jedoch keine Sandhaufen entlang des Grabens, sondern das grobe Sediment fällt zum Teil in den Graben zurück und sedimentiert im Übrigen in einer dünnen Schicht entlang des Grabens.

Die Geschwindigkeit des Düsenstrahlverfahrens beträgt je nach Bodenart und gewählter Ausführung ca. 50 - 300 m/Stunde. Der ausgehobene Graben hat eine Tiefe von etwa 1,5 Metern. Die Gesamtbreite des Grabens beträgt 3 m. Es wird davon ausgegangen, dass dieser Graben 2,3 m³ Sediment pro Meter Grabenlänge freisetzen wird. Es wird konservativ angenommen, dass die Höhe des Sedimentaustrags (Quellhöhe) 4 m über dem Meeresspiegel liegt. Dies ist ein Worst-Case-Ansatz, da es nicht unbedingt notwendig ist, das Sediment wegzusprengen.

Das *Einspritzen* führt zu einem Streifen gestörten Meeresbodens, der aus dem ausgehobenen Graben mit einer Breite von etwa 3 Metern besteht. Der *Düsenschlitten* wird über dem auszuhebenden Graben aufgehängt. Eine Störung durch Gleise ist daher kein Thema.

2.6 Freisetzung von Sedimenten

2.6.1 Korngröße und Fallgeschwindigkeit des freigesetzten Sediments

In dieser Modellierungsstudie wird nur das feine Material (Ton und Schluff) modelliert, da sich das grobe Material direkt neben der Rohrleitung absetzen wird. Bodenuntersuchungen liefern keine Informationen über die genaue Zusammensetzung des Bodens oder die Korngrößenverteilung. Es wird daher davon ausgegangen, dass 33 % des Bodens aus feinem Material, d. h. Schluff oder Ton, bestehen. Außerdem wird davon ausgegangen, dass das Bodenmaterial eine Dichte von 1000 kg/m³ hat. Das bedeutet, dass ein Kubikmeter Bodenmaterial (wie es im Boden vorkommt) ein Gewicht von 1000 kg hat. Dieser Wert wird verwendet, um die Menge an Feinsedimenten zu bestimmen, die beim Aushub freigesetzt werden, und hat nichts damit zu tun, wie sich das Material im Wasser verhält. In der Diskussion werden die Unsicherheiten bei den verwendeten Bodeneigenschaften und deren Auswirkungen auf die Sedimentkonzentrationen und die Sedimentation erörtert.

Es werden drei Fraktionen von Feinmaterial modelliert, jede mit einem Anteil von 11 % im Boden. Die Korngröße und Fallgeschwindigkeit der drei Fraktionen sind in Tabelle 1 aufgeführt.

Tabelle 1: Eigenschaften (Korngröße und Tropfrate) der drei modellierten Fraktionen

Gruppe	D50 [µm]	V [m/s]
1 (Ton)	2,5	3.90 ^E -6
2 (feiner Schluff)	23,5	3.48 ^E -4
3 (grober Schluff)	43	1.2 ^E -3

2.6.2 Menge der freigesetzten Sedimente

Nur die Feinsedimentfraktionen sind für die Vorhersage der zusätzlichen Sedimentkonzentration und Sedimentation aufgrund des Aushubs von Gräben relevant. Beim Graben werden diese feinen Fraktionen aufgewirbelt und sinken dann sehr langsam auf den Meeresboden. Bei diesem Sinkvorgang wird das Feinsediment von den Strömungen mitgerissen. Bei hohen Strömungsgeschwindigkeiten und Wellengang kann das Feinsediment überhaupt nicht absinken. Der mechanische Grabenaushub ist ein ruhigeres Verfahren als das Jetting, was bedeutet, dass beim Grabenaushub weniger Feinsediment aufgewirbelt wird als beim Jetting.

Die groben Sedimentfraktionen, wie z. B. grober Sand, werden beim Grabenaushub bewegt, aber nicht aufgewirbelt und landen direkt entlang des Grabens wieder auf dem Meeresboden. Die grobe Sedimentfraktion wird daher nicht in die Fahnen- und Sedimentationsmodellierung einbezogen.

Für die beiden Techniken werden die folgenden Auswirkungen erwartet:

- **Grabenaushub:** Es wird davon ausgegangen, dass beim *mechanischen Grabenaushub* 50 % des Feinmaterials in Schwebelage gebracht werden. Der Rest der Feinfraktion und alle gröberen Fraktionen werden in den Sandhaufen abgelagert und setzen sich direkt auf beiden Seiten der Pipeline ab. Der Auslasspunkt liegt knapp über dem Boden.
- **Jetting:** Es wird davon ausgegangen, dass das gesamte Feinmaterial durch den *Strahlvorgang* in Schwebelage gebracht wird. Dies ist ein Worst-Case-Ansatz: Es ist nicht notwendig, das Feinsediment wegzublasen. Die gröberen Fraktionen setzen sich in der Nähe der Pipeline ab. Der Auslasspunkt kann vier Meter über dem Meeresboden liegen, kann aber auch niedriger angesetzt werden. Die Modellierung betrifft also ein Worst-Case-Szenario.

Die Berechnung der Menge an Feinsediment, die beim Grabenaushub bzw. beim Jetten in die Suspension gelangt, ist in Abbildung 6 dargestellt. Die Geschwindigkeit der Bagger basiert auf der Durchschnittsgeschwindigkeit innerhalb der angegebenen Bereiche (siehe Abschnitt 2.5): 250 m/h für den Grabenaushub und 175 m/h für das Jetting. Anschließend wurde für jede der Feinsedimentfraktionen der "Quellterm" bestimmt, d. h. die Masse des Sediments, die während des Zeitraums, in dem ein Abschnitt gegraben wird, pro Sekunde freigesetzt wird.

Trace	
Lengte trace [m]	14695.61
Aantal bronnen [-]	48
Lengte per bron [m]	306.16

Doorsnede	
Volume grond per m trace [m3/m]	3.00
Volume totaal trace [m3]	44086.83
Volume per bron [m3]	918.48

Tijd	
Snelheid kar [km/uur]	0.25
Snelheid kar [m/s]	0.07
Tijd per bron [s]	4408.68

Source term	
Dichtheid [kg/m3]	1000
Gewicht per bron [kg]	918476
Percentage fractie 1 [%]	11
Percentage fractie 2 [%]	11
Percentage fractie 3 [%]	11
Percentage in suspensie [%]	50
Gewicht fractie 1 per bron [kg]	50516.2
Gewicht fractie 2 per bron [kg]	50516.2
Gewicht fractie 3 per bron [kg]	50516.2
Bronterm fractie 1 [kg/s]	11.5
Bronterm fractie 2 [kg/s]	11.5
Bronterm fractie 3 [kg/s]	11.5

Trace	
Lengte trace [m]	14695.61
Aantal bronnen [-]	48
Lengte per bron [m]	306.16

Doorsnede	
Volume grond per m trace [m3/m]	2.30
Volume totaal trace [m3]	33799.90
Volume per bron [m3]	704.16

Tijd	
Snelheid kar [km/uur]	0.175
Snelheid kar [m/s]	0.05
Tijd per bron [s]	6298.12

Source term	
Dichtheid [kg/m3]	1000
Gewicht per bron [kg]	704165
Percentage fractie 1 [%]	11
Percentage fractie 2 [%]	11
Percentage fractie 3 [%]	11
Percentage in suspensie [%]	100
Gewicht fractie 1 per bron [kg]	77458.1
Gewicht fractie 2 per bron [kg]	77458.1
Gewicht fractie 3 per bron [kg]	77458.1
Bronterm fractie 1 [kg/s]	12.3
Bronterm fractie 2 [kg/s]	12.3
Bronterm fractie 3 [kg/s]	12.3

Abbildung 6: Berechnung der Quellterme für Trenching (links) und Jetting (rechts)

3 Beschreibung des Modells

3.1 Einführung

In diesem Kapitel wird das numerische Modell beschrieben, das zur Vorhersage der Ausbreitung und Sedimentation der durch die Verlegung der Pipeline freigesetzten Feinsedimente verwendet wurde.

3.2 Modell-Software

Die Modellierungssoftware Delft3D wurde für die Fahnen- und Sedimentationsmodellierung verwendet. Diese Software wurde von Deltares entwickelt und wird weltweit für die Modellierung von Strömung, Sedimenttransport und Morphologie von Küsten und Flüssen eingesetzt. Delft3D wird auch häufig für Fahnenstudien, einschließlich Baggerfahnenstudien, verwendet. Die Modellierungssoftware Delft3D kann verschiedene Arten von Sedimenten sowie gelöste Stoffe ('Tracer') modellieren.

3.3 Schematisierung des ZUNO-Modells

In dieser Studie wird die dreidimensionale, kalibrierte und validierte Modellschematisierung der Nordsee und des Wattenmeeres verwendet: die Südliche Nordsee-Modellschematisierung (ZUNO). Die folgenden Prozesse werden im ZUNO-Modell simuliert:

- Gezeiten
- Durchflussmengen aus Flüssen
- Salzgehalt
- Atmosphärischer Druck
- Windgeschwindigkeit
- Luft- und Wassertemperatur
- Relative Luftfeuchtigkeit
- Wolkendecke

Das bestehende ZUNO-Modell, das von Deltares geliefert wurde, diente als Grundlage für die Modellschematisierung in dieser Studie und wurde, wo nötig, modifiziert, um den spezifischen Anforderungen gerecht zu werden. So wurde beispielsweise die Auflösung des Berechnungsgitters lokal verfeinert und die Modellierung der beim Aushub der Pipeline freigesetzten Feinsedimente hinzugefügt. Eine detailliertere Beschreibung der Modellschematisierung und der Randbedingungen findet sich in (Royal HaskoningDHV, 2019).

Wichtig für die Interpretation der Modellergebnisse ist, dass die Größe der Rasterzellen im Modell entlang der Trasse maximal etwa 100 Meter beträgt; innerhalb dieses Bereichs liefert das Modell keine detaillierteren Informationen. Die im Modell vorhergesagten Sedimentkonzentrationen und Sedimentationsdicken sind die räumlich gemittelten Werte innerhalb einer solchen Gitterzelle. Über der Wassersäule besteht das Berechnungsgitter aus zwölf Schichten: Schicht 1 befindet sich in der Nähe der Wasseroberfläche und Schicht 12 in der Nähe des Meeresbodens.

3.4 Modell-Szenarien

Für die Modellierung der Verschüttung der Pipeline wurde ein Szenario aus den drei Szenarien ausgewählt, die für die Studie zur Gasbohrlochfahne definiert wurden (Royal HaskoningDHV, 2019): das Szenario vom Oktober 2015. Dies ist ein Monat mit relativ ruhigen Wellen-, Wind- und Strömungsbedingungen, wodurch die Sedimentfahne nahe an der Route bleibt, was zu relativ hohen

Sedimentationsdicken. Dies entspricht der Praxis, denn Pipelines werden vorzugsweise bei ruhigem Wetter verlegt.

Das Modell wurde für den Zeitraum vom 28. September 2015 bis zum 31. Oktober 2015 durchgeführt, wobei die Daten im September verwendet wurden, um dem Modell Zeit zu geben, sich in den Strömungen und Wellen zurechtzufinden. In dem Modell beginnt das Ausheben von Gräben oder das Einbringen von Wasser am 1. Oktober.

3.5 Zugabe von freigesetztem Feinsediment

Entlang der Pipelinetrasse wurden 48 Quellterme für das freigesetzte Feinsediment modelliert, etwa alle 300 Meter. Jeder Quellterm steht für das in dem betreffenden 300-Meter-Abschnitt freigesetzte Sediment. Feines Sediment wird nach und nach entlang der Strecke freigesetzt. Die Dauer eines jeden Quellterms entspricht der Zeit, die der Bagger benötigt, um einen 300 m langen Abschnitt auszuheben: bei einer Fahrgeschwindigkeit von 250 m/Std. beim Grabenaushub beträgt die Zeit 1,2 Stunden für einen Abschnitt und bei einer Fahrgeschwindigkeit von 175 m/Std. beim Jetting über 1,7 Stunden.

Es wird davon ausgegangen, dass der Beginn des Grabens auf der Plattform liegt: Abschnitt 1 ist daher der nördlichste Einleitungspunkt und Abschnitt 48 der südlichste. Beim Grabenaushub wird das Sediment in Bodennähe freigesetzt; daher wird im Modell der Abfluss in der Bodenschicht (Schicht 12) des Modells addiert. Beim Jetting wird das Sediment in einer Höhe von 4 Metern freigesetzt. Da die Tiefe und damit die Dicke der verschiedenen Schichten im Modell entlang der Strecke variiert, wird der Abfluss in der Nähe der Plattform in Schicht 10 und in Schicht 9 oder 8 am südlichsten Punkt addiert.

3.6 Modellausgabe und Visualisierung

Zur Veranschaulichung der Modellergebnisse wurden für die beiden Varianten die folgenden Arten von Abbildungen erstellt:

- Die maximale Konzentration von Feinmaterial während der Simulation über die gesamte Wassersäule. Dabei wurde die Konzentration der drei Sedimentfraktionen (Ton, Feinschluff und Grobschluff) berücksichtigt. Die angegebene Konzentration ist die "zusätzliche" Konzentration infolge des Aushubs; die natürliche Konzentration im Boden ist nicht enthalten. Neben der absoluten Konzentration wird auch der maximale Beitrag zur Hintergrundkonzentration in diesem Teil der Nordsee angegeben, wobei eine natürliche Hintergrundkonzentration von 15 mg/l angenommen wird;
- Die maximale Sedimentationsdicke des Feinsediments während der Simulation;
- Zeitreihen der Konzentration und der Sedimentation an einer Reihe empfindlicher Naturstandorte (Abbildung 7): das Projekt zur Wiederherstellung von Austernbänken, Borkum Riffgrund, Niedersächsisches Wattenmeer und angrenzendes Küstenmeer, Küstenmeer Ems-Ästuar, Nordseeküstengebiet und Rottumerplaat.



Abbildung 7: Lage der Modellausgangspunkte entlang der empfindlichen Naturgebiete

4 Ergebnisse des Modells

4.1 Einführung

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der Fahnenmodellierung vorgestellt. Zunächst wird kurz auf die Strömungs- und Wellenbedingungen während des Simulationszeitraums eingegangen. Anschließend werden die Ergebnisse für den mechanischen Grabenaushub vorgestellt, gefolgt von den Ergebnissen für das Jetting. Im letzten Abschnitt werden die Ergebnisse der beiden Varianten verglichen.

4.2 Strömungs- und Wellenbedingungen

Abbildung 8 und Abbildung 9 zeigen die Strömungsverhältnisse während des Simulationszeitraums für die Bodenschicht in der Nähe des Meeresbodens. Die Fließgeschwindigkeit in der unteren Schicht des Modells (Schicht 12) schwankt zwischen Stagnation und etwa 0,4 m/s und ist stark zeitenabhängig: Ebbe im Westen, Flut im Osten und nahezu stagnierendes Wasser während der Gezeitenwende. Die maximale Wellenhöhe während des Simulationszeitraums beträgt etwa 3 m.

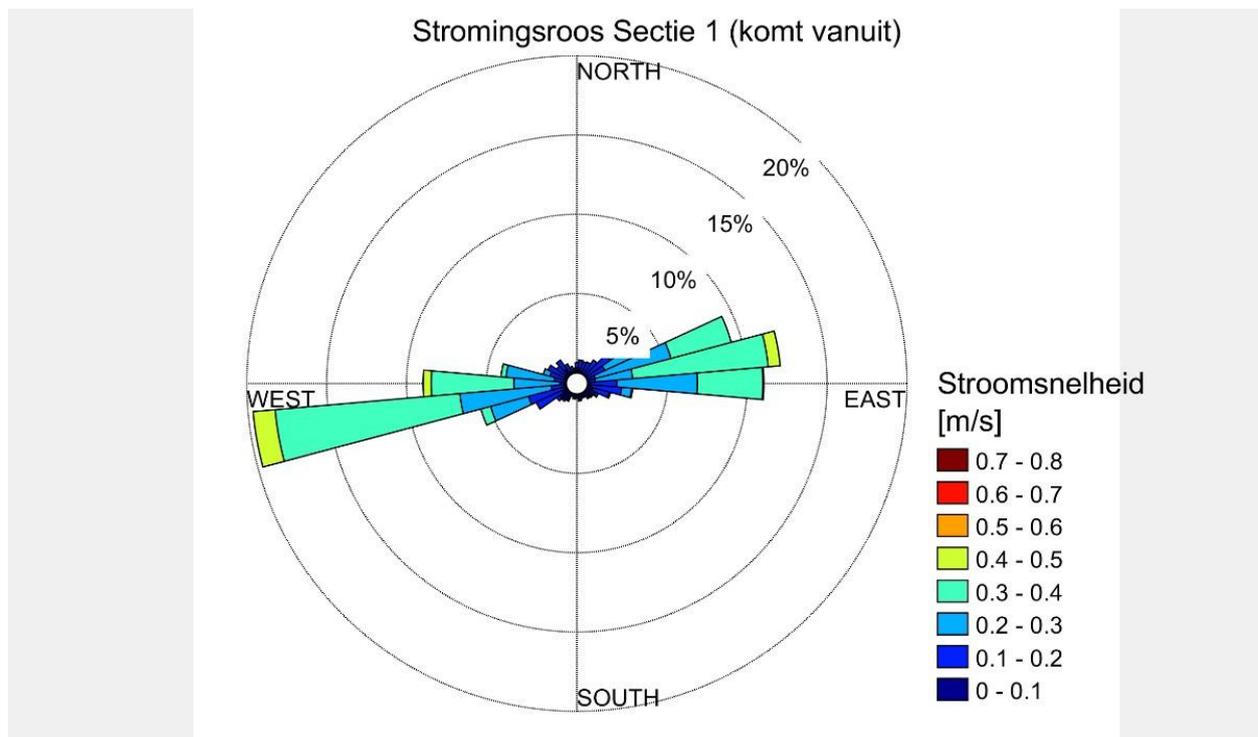


Abbildung 8: Durchflussrose an der Einleitungsstelle Abschnitt 1. Die Durchflussrichtung gibt an, woher der Durchfluss kommt

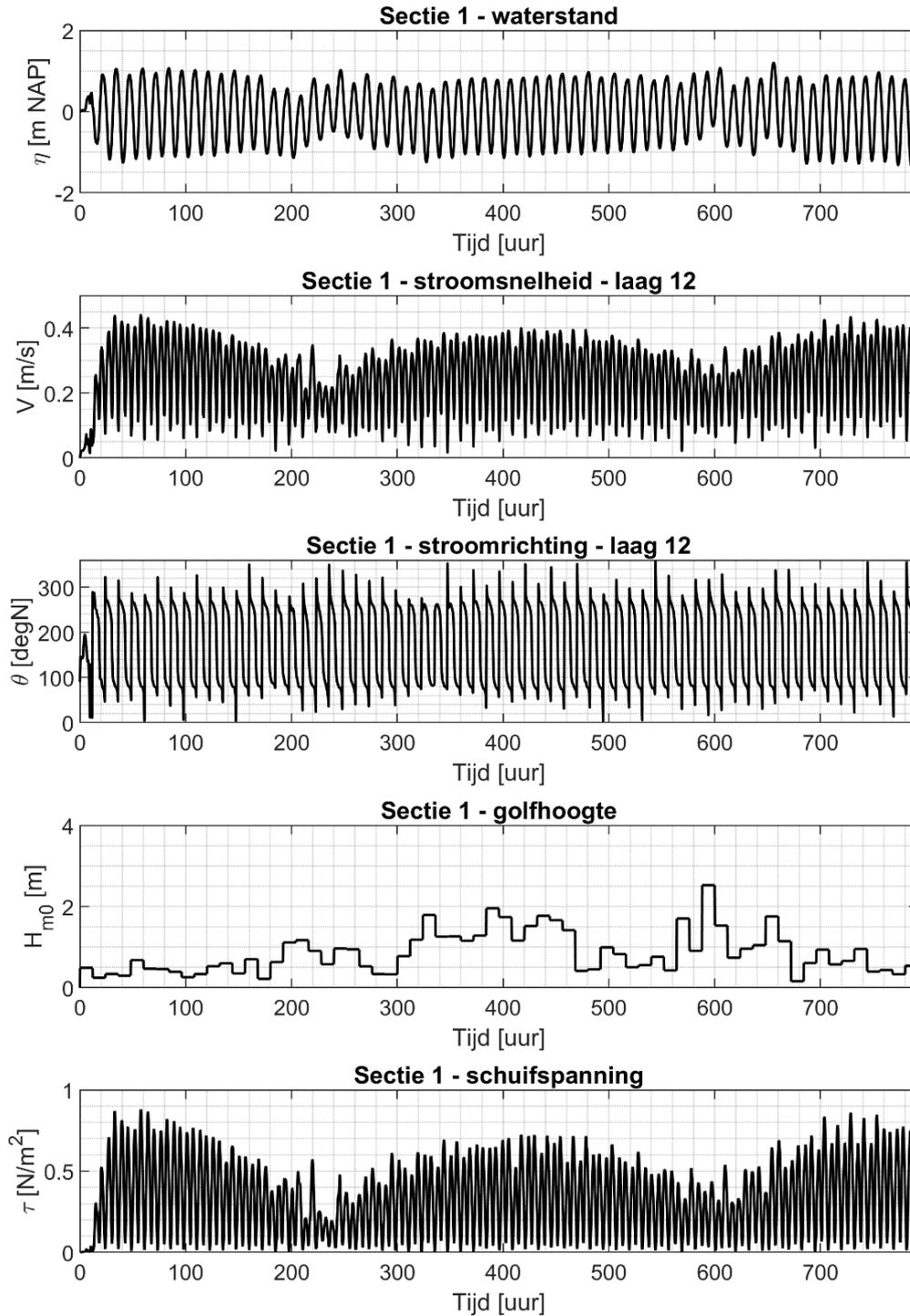


Abbildung 9: Wasserstand, Strömungsgeschwindigkeit und Strömungsrichtung in der Bodenschicht des Modells, die Wellenhöhe und die Bodenschubspannung während der Simulation in der Nähe von Abschnitt 1

4.3 Variante 'Trenching'

Dieser Abschnitt zeigt die Ergebnisse der Fahnenstudie für die Variante 'Trenching'.

4.3.1 Karten zur Schlammkonzentration

Abbildung 10 zeigt die maximale Konzentration von Feinsedimenten über die gesamte Wassersäule während der Simulation. Hierbei handelt es sich um die zusätzliche Konzentration, die durch das Eingraben entstanden ist, die Hintergrundkonzentration ist nicht enthalten. Der prozentuale Anteil der zusätzlichen Konzentration im Vergleich zu einer Hintergrundkonzentration von 15 mg/l ist ebenfalls angegeben. Die Konzentration beträgt etwa 50 mg/l in der Nähe des Weges und nimmt auf beiden Seiten des Weges schnell ab. In einigen Abschnitten erstreckt sich die Abluffahne hauptsächlich nach Osten, in anderen hauptsächlich nach Westen. Dies ist auf das unterschiedliche Zusammentreffen der verschiedenen Entladungen mit der Phase der Gezeiten zurückzuführen. Die höchsten lokalen Konzentrationen in der Nähe der Route werden erreicht, wenn die Ableitung während der Gezeiten erfolgt.

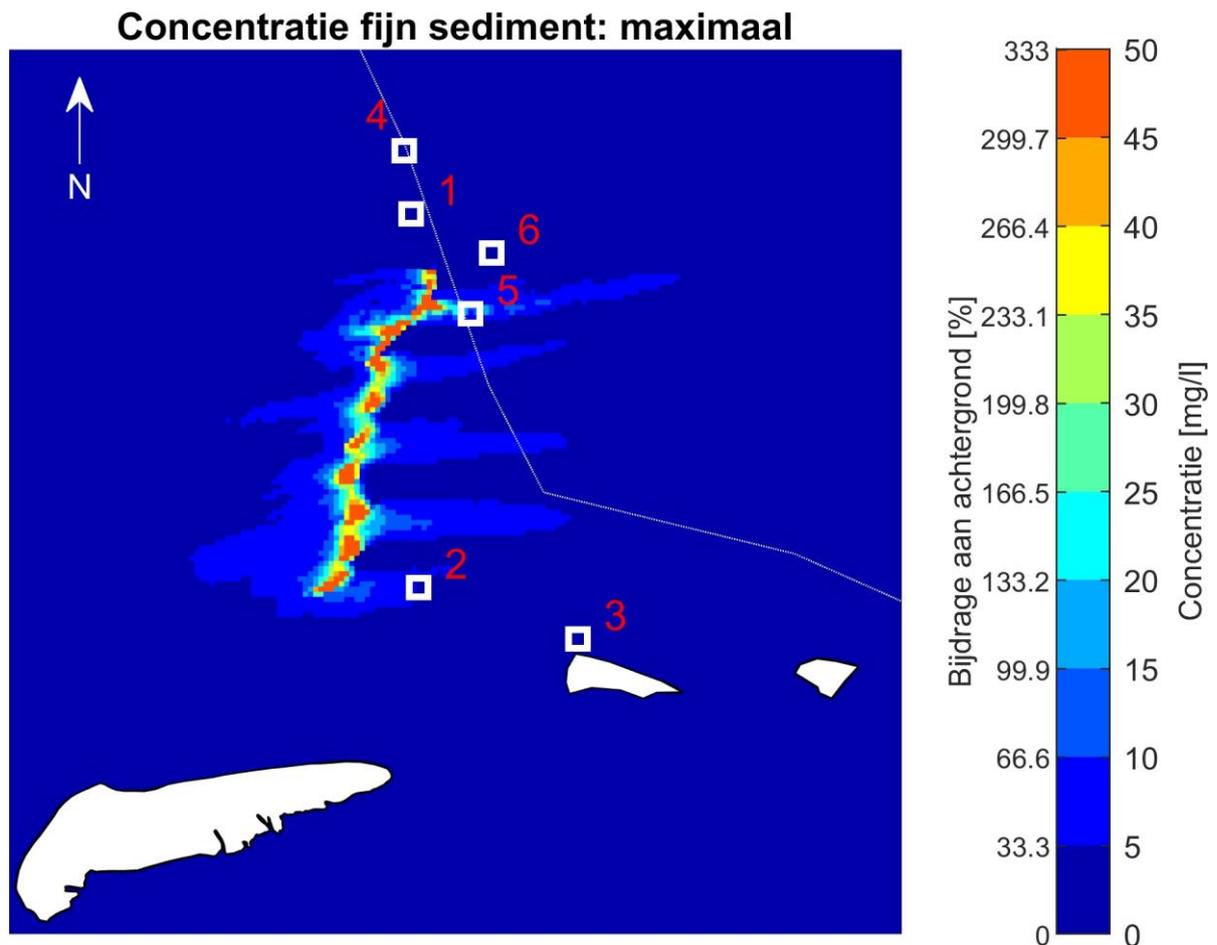


Abbildung 10: Maximale Feinstoffkonzentration und maximaler Beitrag im Verhältnis zur Hintergrundkonzentration von 15 mg/l über die gesamte Wassersäule während der Simulation. Die empfindlichen Standorte sind mit weißen Quadraten und einer Nummer gekennzeichnet (1 = Austernbank-Renaturierungsprojekt, 2= Nordseeküstengebiet, 3 = Rottumerplaat, 4 = Borkum Riffgrund, 5 = Niedersächsisches Wattermeer und angrenzendes Küstenmeer, 6 = Küstenmeer Ems-Ästuar, die deutsch-niederländische Grenze mit einer gestrichelten Linie).

4.3.2 Karten zur Sedimentation

Abbildung 11 zeigt die maximale Sedimentationsdicke des Feinsediments während der Simulation. Die

maximale Sedimentationsdicke von Feinsedimenten beträgt in der Nähe der Trasse etwa 0,5 mm. Es sollte klar sein, dass die

Die Dimensionen der Berechnungsgitterzellen im Modell um die Strecke herum betragen höchstens etwa 100 Meter; innerhalb dieses Bereichs sind keine detaillierteren Informationen verfügbar. Die 0,5 mm Sedimentationsdicke des Feinsediments ist die räumlich gemittelte Sedimentationsdicke innerhalb einer solchen 100-Meter-Rasterzelle. Das Gezeitenmuster von Ebbe, Flut und Wende ist im Sedimentationsmuster deutlich erkennbar.

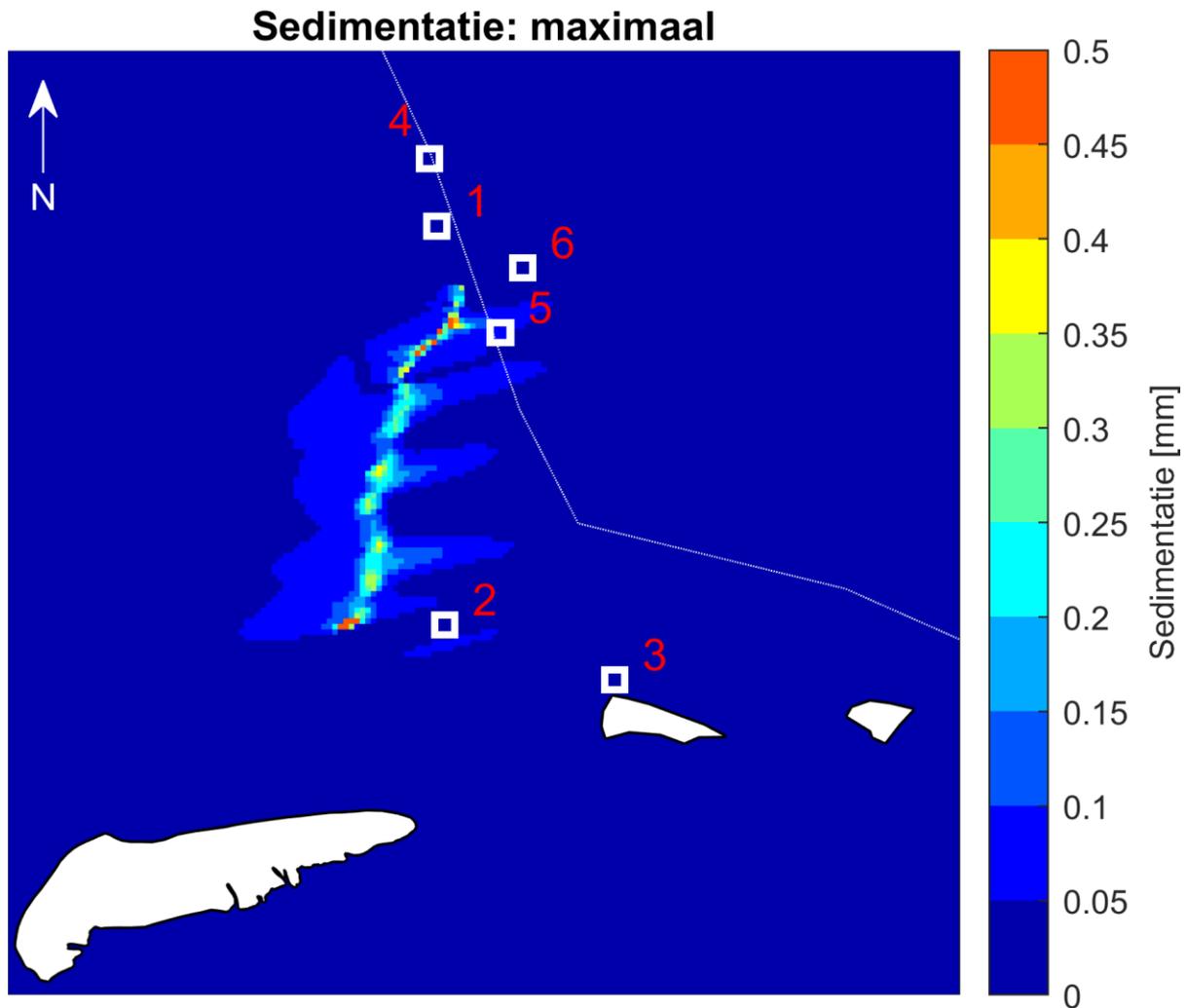


Abbildung 11: Maximale Sedimentation von Feinmaterial während der Simulation. Die sensiblen Standorte sind mit weißen Vierecken und einer Nummer gekennzeichnet (1 = Austernbänke-Restaurierungsprojekt, 2 = Nordseeküstengebiet, 3 = Rottumerplaat, 4 = Borkum Riffgrund, 5 = N- dersächsisches Wattermeer und angrenzendes Küstenmeer), 6 = Küstenmeer Ems-Ästuar, die deutsch-niederländische Grenze mit einer gestrichelten Linie.

4.3.3 Zeitreihen

Abbildung 12, Abbildung 13 und Abbildung 14 zeigen die zeitliche Veränderung der Feinmaterialkonzentration und der Sedimentationsdicke an den Modellausgangspunkten entlang der Naturgebiete (siehe Abbildung 7) und der Plattform N05-A.

Die Konzentrationen geben die maximale Konzentration in der Wassersäule an. Zur Veranschaulichung wurde die Entladung im Zeitverlauf hinzugefügt. Die Höchstkonzentration in der Küstenzone der Nordsee liegt bei 4,6 mg/l, die maximale Sedimentation beträgt 0,05 mm. Diese bleibt 200 Stunden lang ziemlich konstant und nimmt dann leicht ab. In diesem Zeitraum ist auch ein leichter Anstieg der Konzentration zu beobachten.

Im Niedersächsischen Wattenmeer und angrenzenden Küstenmeer beträgt die Höchstkonzentration zu Beginn des Grabenaushubs etwa 9,6 mg/l. Die Sedimentation steigt hier auf 0,05 mm an und bleibt dann ziemlich konstant. Die Tatsache, dass die Sedimentationsdicke an der letztgenannten Stelle konstant bleibt, während sie in der Küstenzone der Nordsee nach 250 Stunden abzunehmen beginnt, ist auf den Tiefenunterschied zwischen den beiden Stellen zurückzuführen. Der Beurteilungspunkt im Niedersächsischen Wattenmeer und angrenzenden Küstenmeer liegt in einer Tiefe von etwa 21 Metern und der Beurteilungspunkt in der Nordseeküstenzone in einer Tiefe von etwa 9 Metern.

In flacherem Wasser haben Wellen und Strömungen einen größeren Einfluss auf den Boden, und die Scherspannung am Boden ist höher: Ein Teil des sedimentierten Materials erodiert wieder. Auf der Plattform N05-A beträgt die maximale Konzentration etwa 1,9 mg/l, die Sedimentation 0,02 mm. An den anderen Standorten bleibt die Konzentration unter 1 mg/l und die Sedimentation unter 0,01 mm.

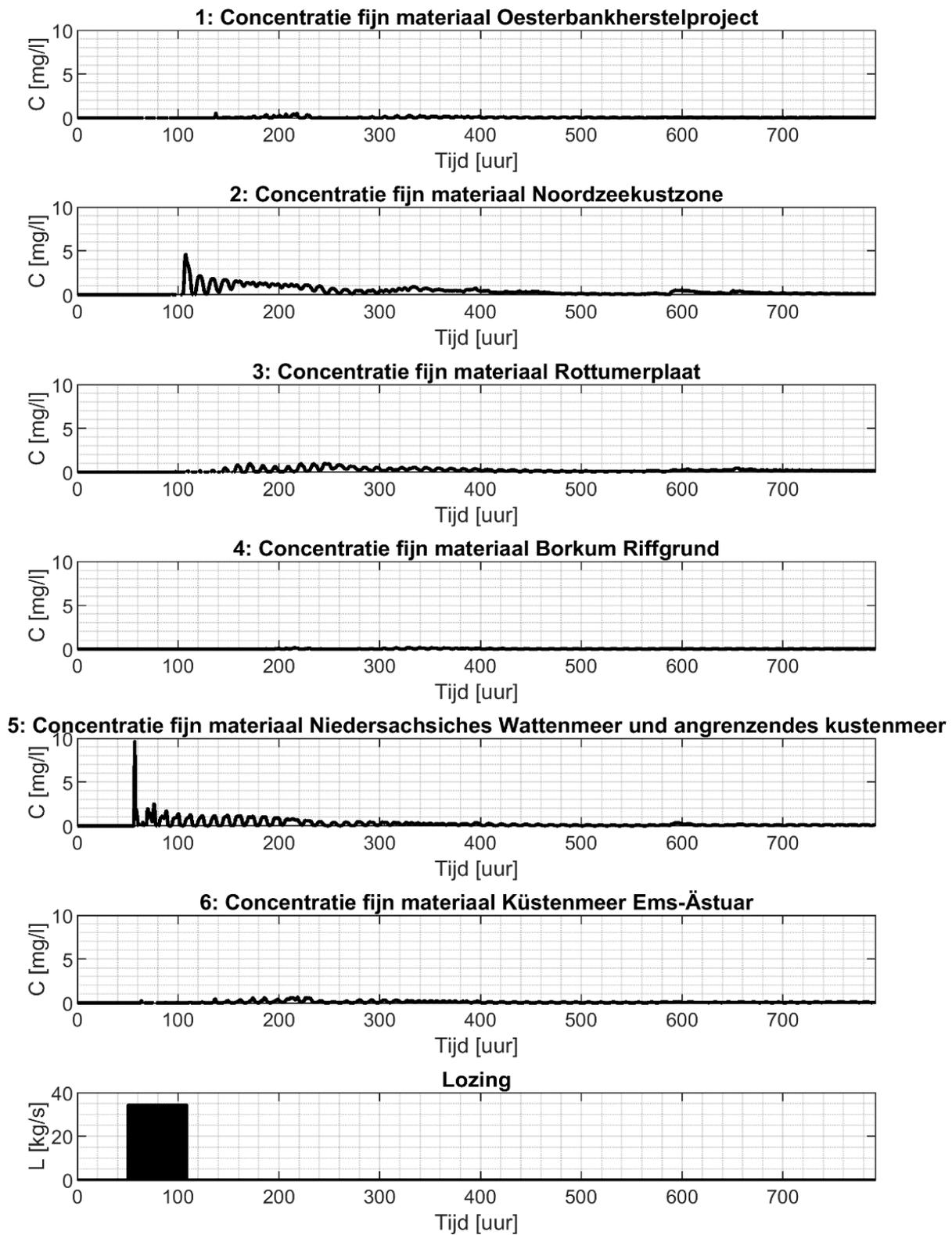


Abbildung 12: Maximale Feinsedimentkonzentration in der Wassersäule an den empfindlichen Standorten

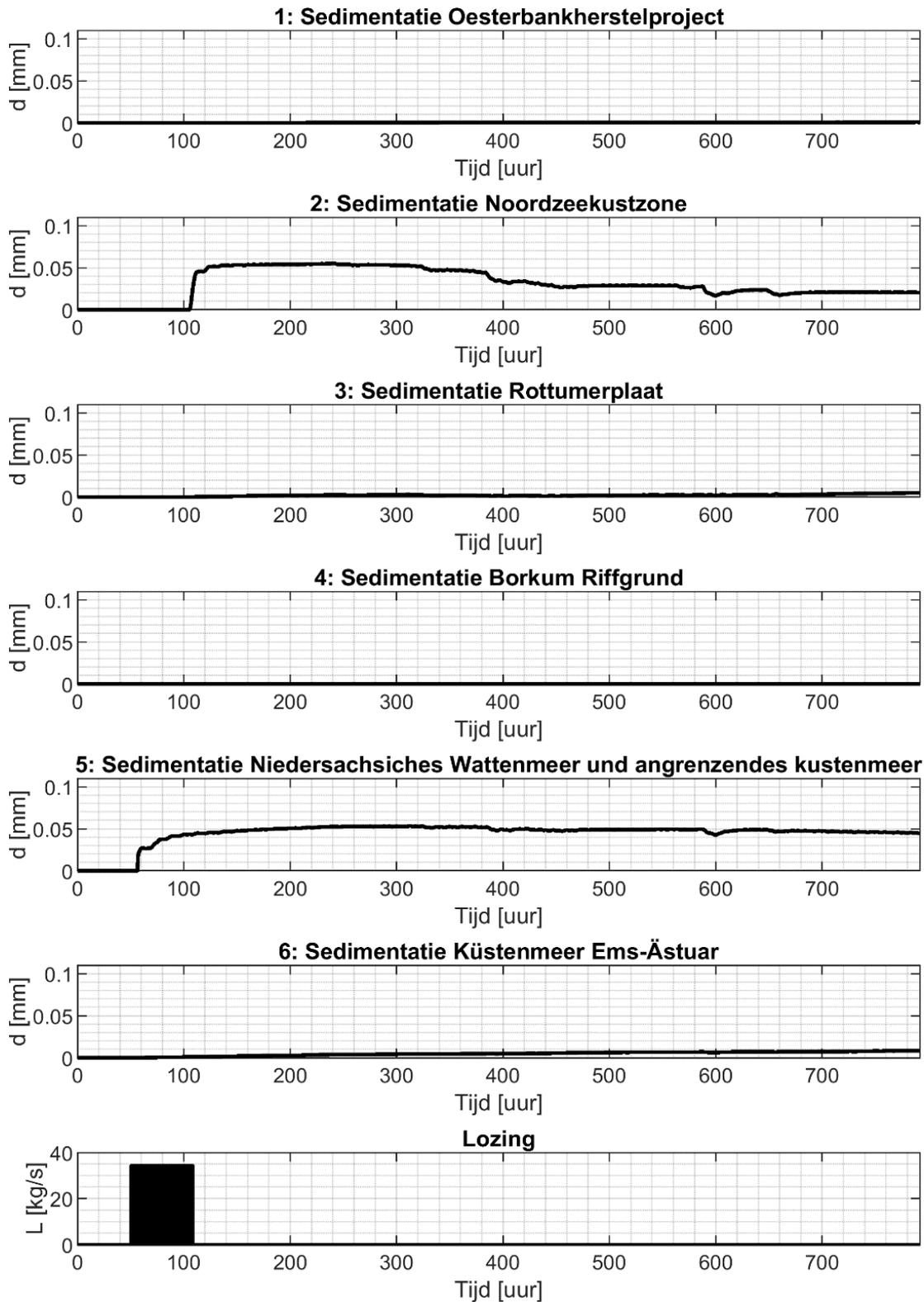


Abbildung 13: Sedimentation von Feinsedimenten über der Wassersäule an den empfindlichen Standorten

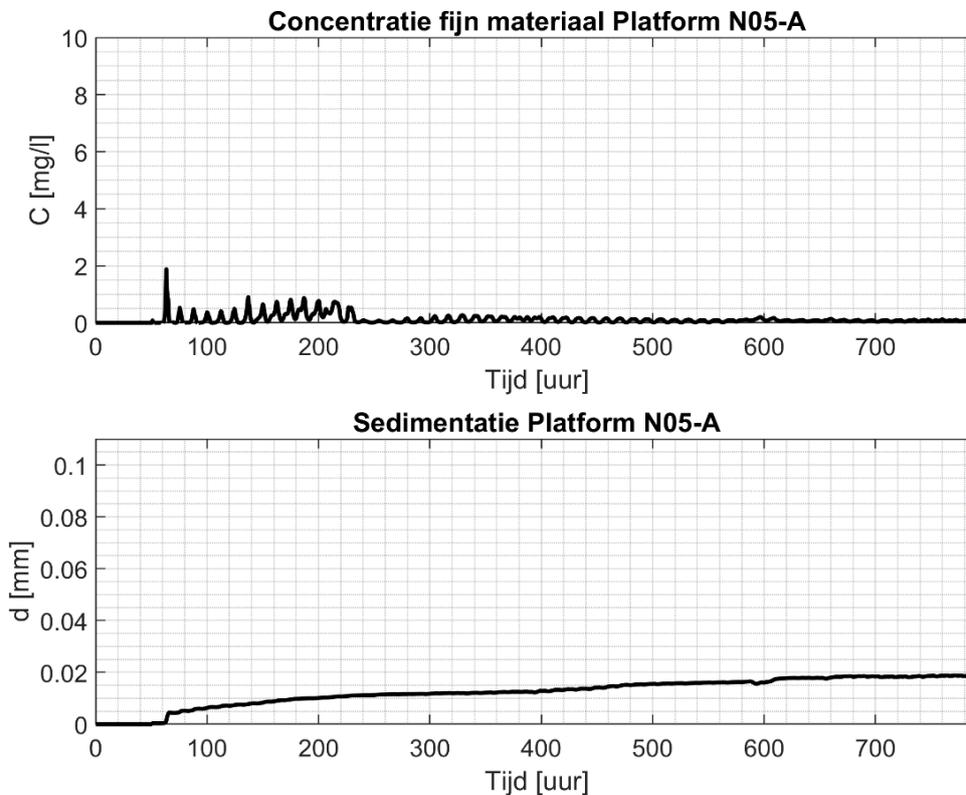


Abbildung 14: Maximale Konzentration von Feinsedimenten in der Wassersäule und Sedimentation auf der Plattform N05-A

4.4 Variante 'Jetten'

Dieser Abschnitt zeigt die Ergebnisse der Fahnenstudie für die Variante "Jetten".

4.4.1 Karten zur Schlammkonzentration

Abbildung 15 zeigt die maximale Konzentration von Feinmaterial über die gesamte Wassersäule während der Simulation. Hierbei handelt es sich um die zusätzliche Konzentration infolge des Strahlens, die Hintergrundkonzentration ist nicht enthalten. Der prozentuale Anteil der zusätzlichen Konzentration im Vergleich zu einer Hintergrundkonzentration von 15 mg/l ist ebenfalls angegeben. Die Höchstkonzentration beträgt etwa 50 mg/l in der Nähe der Strecke und nimmt auf beiden Seiten der Strecke schnell ab. Die Ablufffahne ist etwas größer als beim Graben, vor allem in den Ausläufern im Osten und Westen.

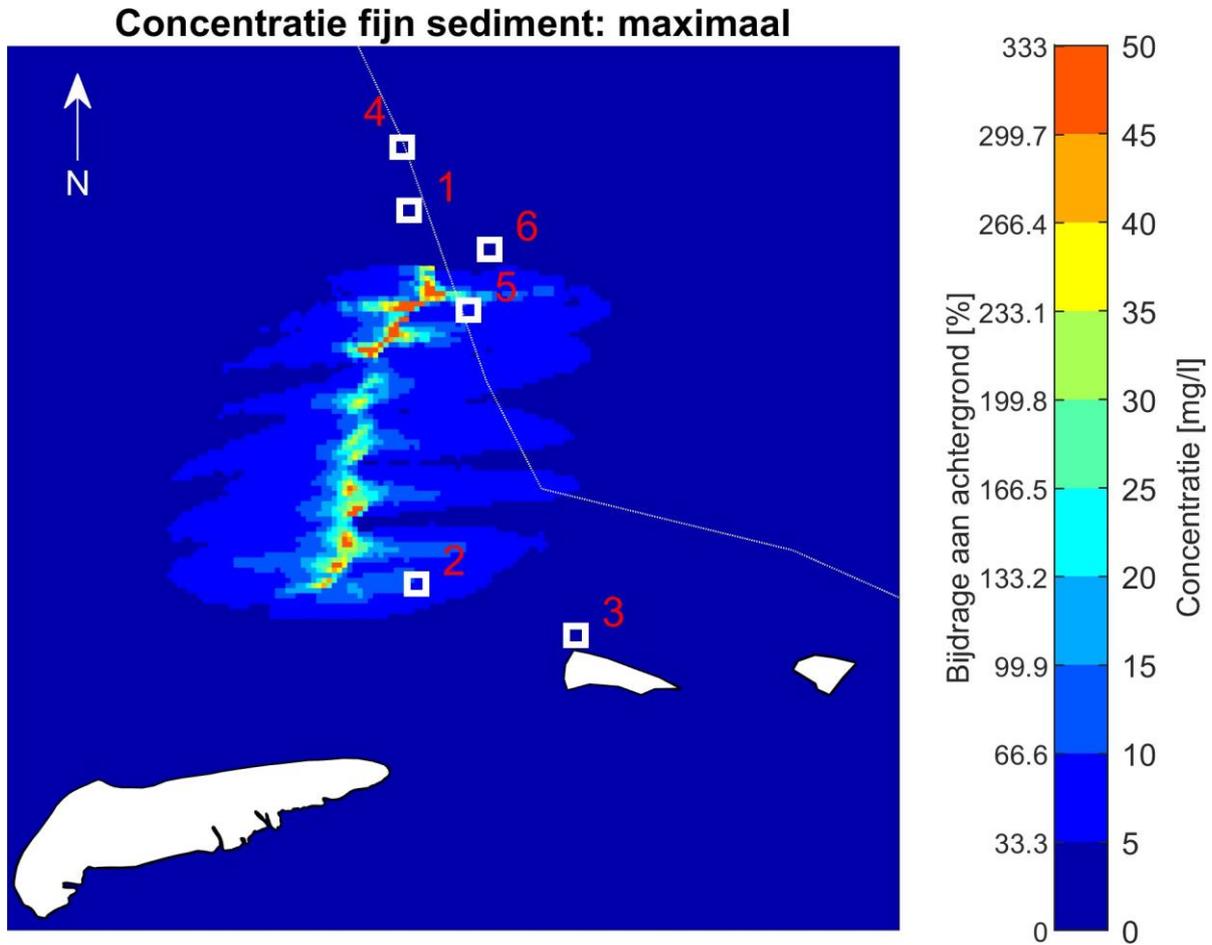


Abbildung 15: Maximale Feinstoffkonzentration und maximaler Beitrag im Verhältnis zur Hintergrundkonzentration von 15 mg/l über die gesamte Wassersäule während der Simulation. Die sensiblen Standorte sind mit weißen Quadraten und einer Nummer gekennzeichnet (1 = Austernbank-Renaturierungsprojekt, 2= Nordseeküstengebiet, 3 = Rottumerplaat, 4 = Borkum Riffgrund, 5 = Niedersächsisches Wattermeer und angrenzendes Küstenmeer), 6 = Küstenmeer Ems-Ästuar, die deutsch-niederländische Grenze mit einer gestrichelten Linie.

4.4.2 Karten zur Sedimentation

Abbildung 16 zeigt die maximale Sedimentation von Feinmaterial während der Simulation. Die maximale Sedimentation beträgt etwa 0,5 mm in der Nähe der Strecke. Das Gezeitenmuster lässt sich auch im Sedimentationsmuster erkennen. Es ist zu beachten, dass die Größe der Rasterzellen im Modell um die Spur herum höchstens etwa 100 Meter beträgt, innerhalb derer keine detaillierteren Informationen verfügbar sind. Die 0,5 mm Sedimentationsdicke des Feinsediments ist die räumlich gemittelte Sedimentationsdicke innerhalb einer solchen 100-Meter-Rasterzelle.

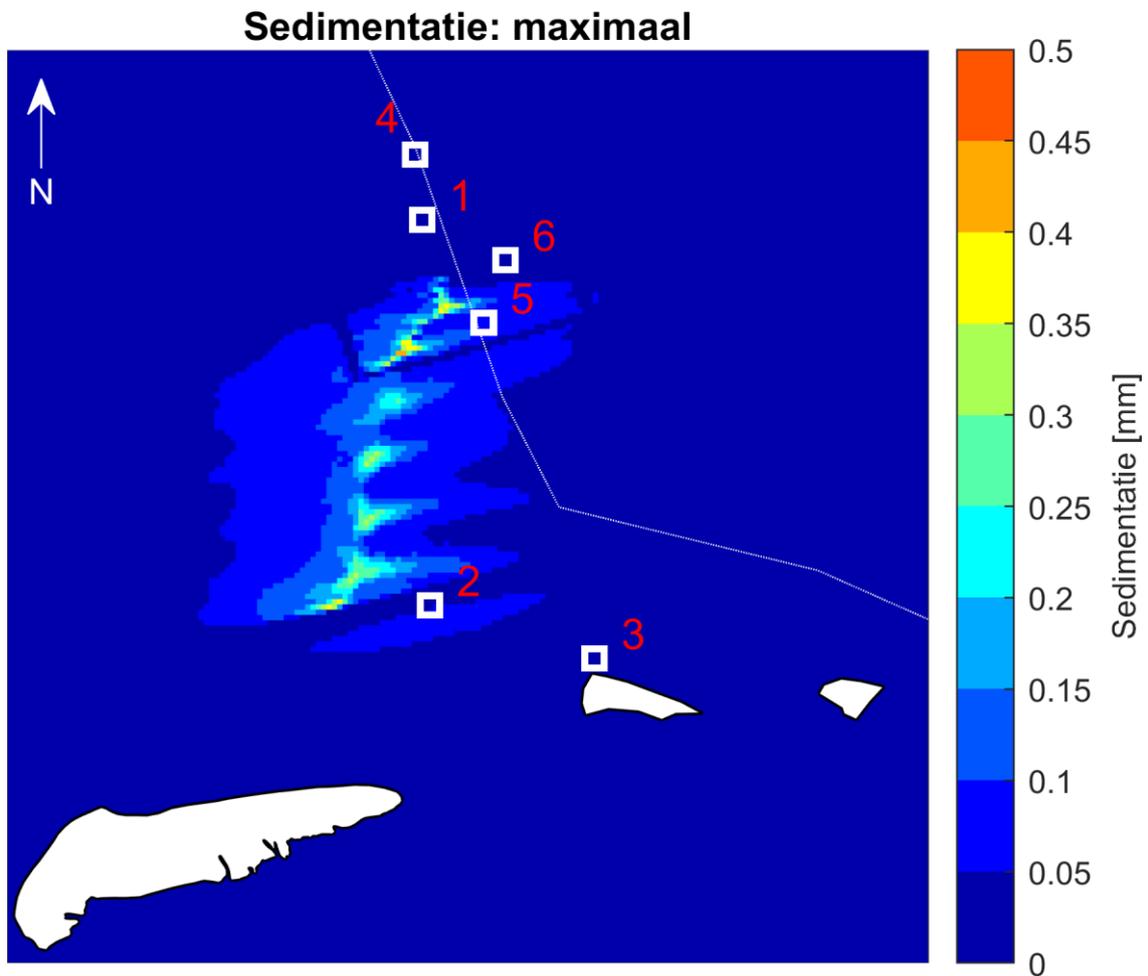


Abbildung 16: Maximale Sedimentation von Feinmaterial während der Simulation. Die empfindlichen Standorte sind mit weißen Vierecken und einer Nummer gekennzeichnet (1 = Austernbänke-Restaurierungsprojekt, 2 = Nordseeküste, 3 = Rottumerplaat, 4 = Borkum Riffgrund, 5 = Niedersächsisches Wattermeer und angrenzendes Küstenmeer), 6 = Küstenmeer Ems-Ästuar, die deutsch-niederländische Grenze mit einer Punktlinie.

4.4.3 Zeitreihen

Abbildung 17, Abbildung 18 und Abbildung 19 zeigen die zeitliche Veränderung der Feinmaterialkonzentration und der Sedimentationsdicke an den Modellausgangspunkten entlang der Naturgebiete (siehe Abbildung 7) und der Plattform N05-A.

Die Konzentrationen geben die maximale Konzentration in der Wassersäule an. Zur Veranschaulichung wurde die Entladung im Zeitverlauf hinzugefügt. Die Höchstkonzentration in der Küstenzone der Nordsee beträgt etwa 5,7 mg/l, die maximale Sedimentation liegt bei <0,1 mm. Diese bleibt 200 Stunden lang ziemlich konstant und nimmt dann leicht ab. In diesem Zeitraum ist auch ein leichter Anstieg der Konzentration zu beobachten. Im niedersächsischen Wattenmeer und dem angrenzenden Küstensee beträgt die maximale Konzentration etwa 6,7 mg/l. Die Sedimentation steigt hier auf 0,09 mm an und bleibt ziemlich konstant. Auf der N05-A-Plattform liegt die maximale Konzentration bei 2,5 mg/l, die maximale Sedimentation beträgt 0,03 mm. An den anderen Standorten bleibt die Konzentration unter 2 mg/l und die Sedimentation unter 0,01 mm.

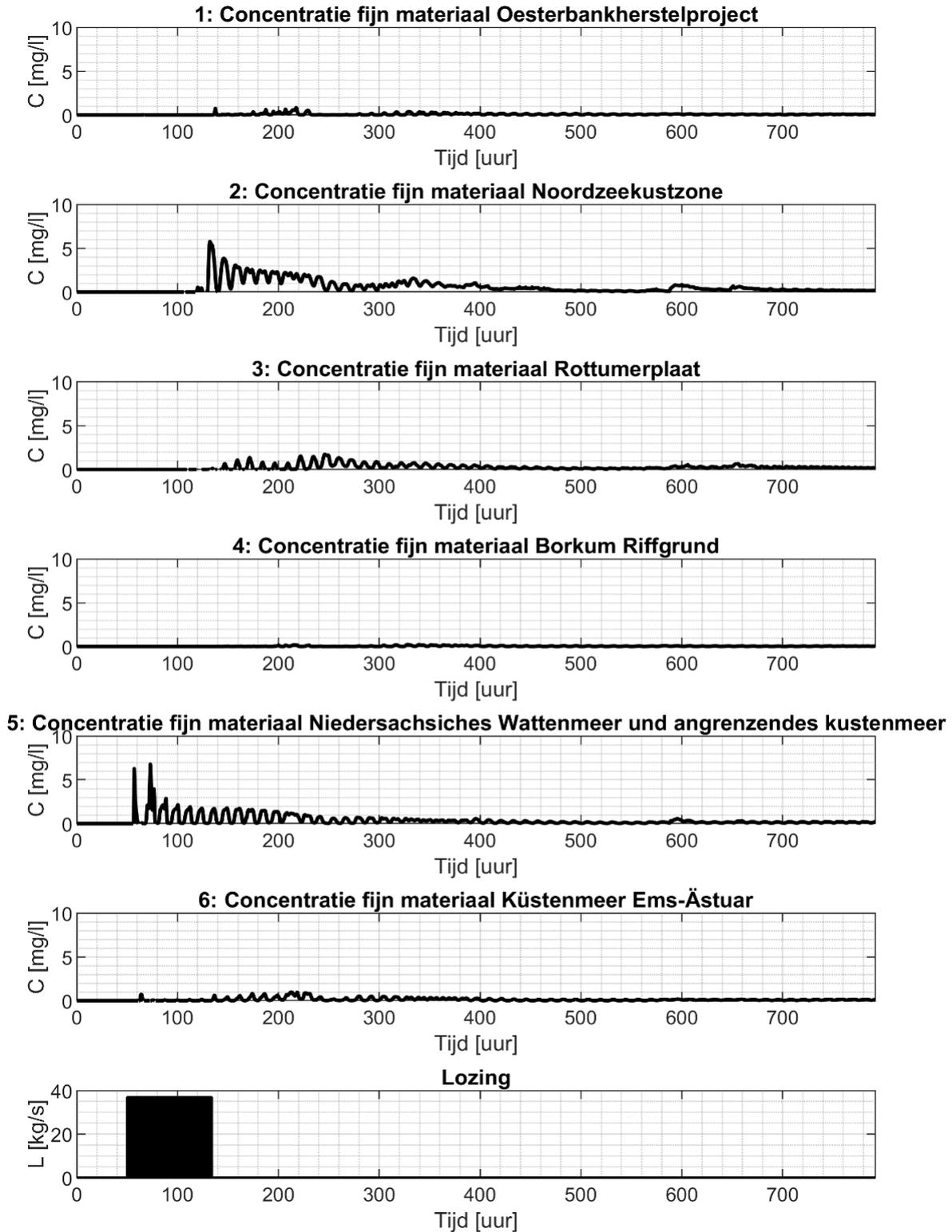


Abbildung 17: Maximale Feinsedimentkonzentration in der Wassersäule an den empfindlichen Standorten

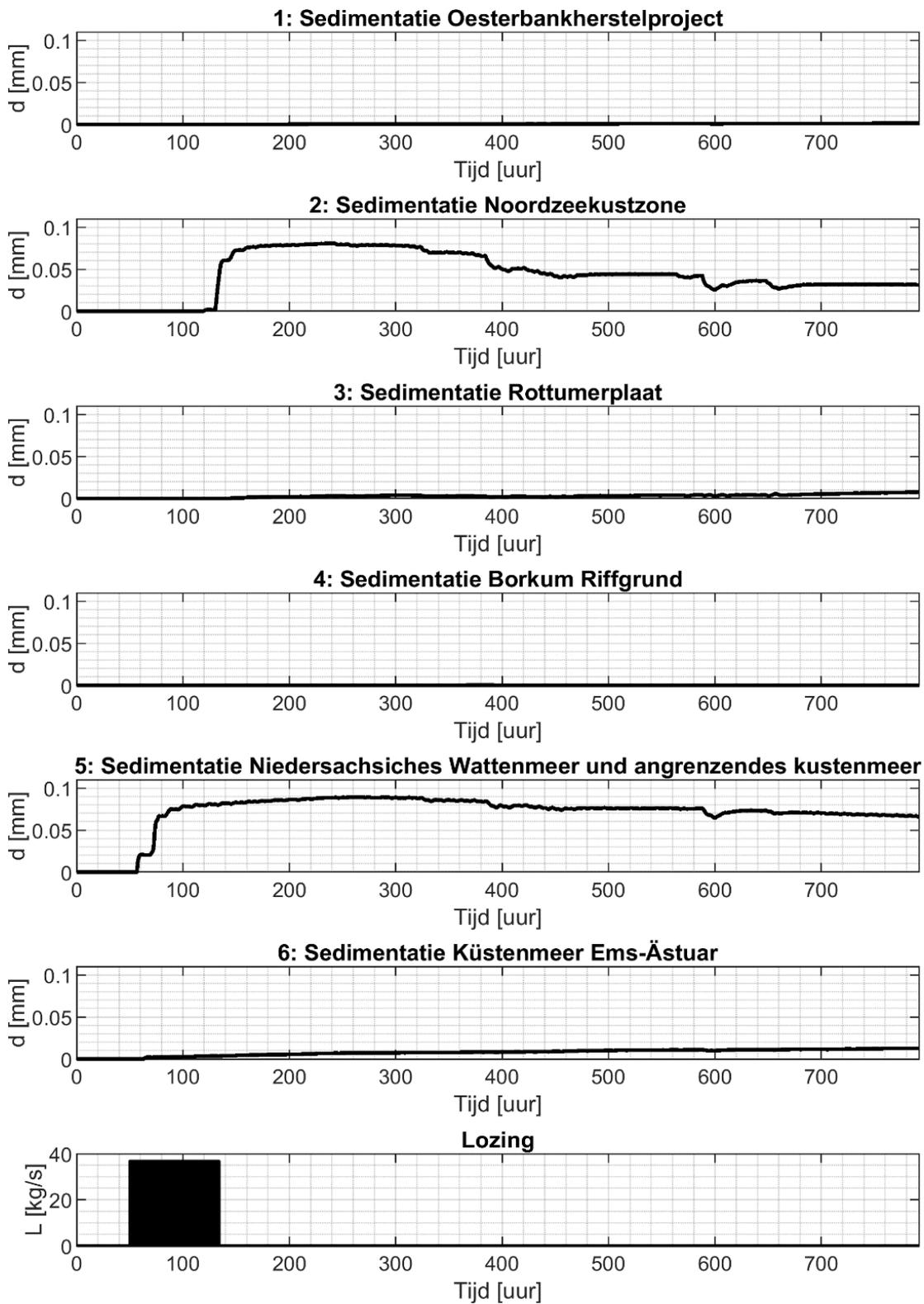


Abbildung 18: Sedimentation von Feinsedimenten an den empfindlichen Standorten

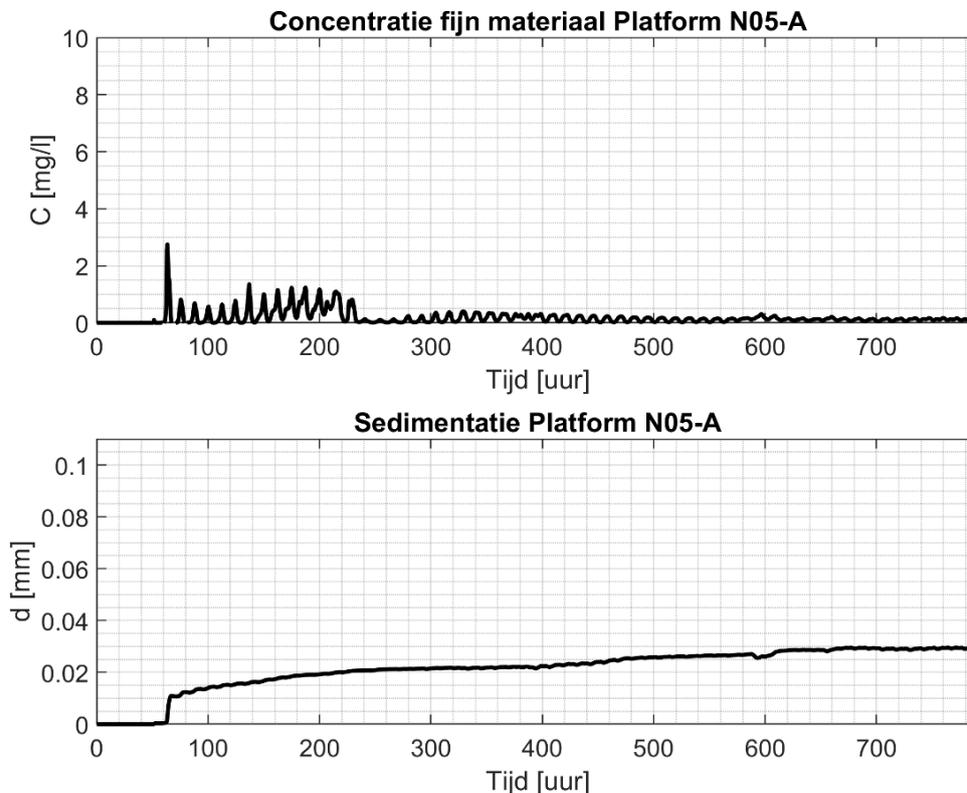


Abbildung 19: Maximale Konzentration von Feinsedimenten in der Wassersäule und Sedimentation auf der Plattform N05-A

4.5 Vergleich zwischen den Varianten

Das Volumen des ausgehobenen Bodenmaterials pro Laufmeter ist beim maschinellen Grabenaushub größer als beim Jetting. Da jedoch davon ausgegangen wird, dass beim Jetten 100 % des Feinmaterials freigesetzt werden, während beim mechanischen Grabenaushub nur 50 % freigesetzt werden, ist die Gesamtmenge des freigesetzten Feinmaterials beim Jetten höher. Dies wird dadurch kompensiert, dass in den Modellrechnungen die Grabungsgeschwindigkeit beim Jetting geringer ist als beim mechanischen Grabenaushub, so dass letztlich der Quellterm (die Menge des pro Zeiteinheit ausgetragenen Materials) für beide Varianten vergleichbar ist. In der Praxis hat die Aushubgeschwindigkeit eine Bandbreite (50 - 300 m/Std. beim Jetting und 200 - 300 m/Std. beim maschinellen Grabenaushub), so dass die Unterschiede in der Praxis größer oder kleiner sein können.

Aufgrund der in den Modellberechnungen verwendeten durchschnittlichen Aushubgeschwindigkeiten ist der Quellterm für das Jetting pro Rohrabschnitt länger als für den Grabenbau. Infolgedessen ist die Fahne der erhöhten Sedimentkonzentration beim Jetten größer als beim Grabenaushub. Ein weiterer Faktor ist, dass der Abfluss beim Jetting höher in der Wassersäule stattfindet (4 Meter über dem Meeresboden in der Modellberechnung), während der Abfluss beim Trenching nahe am Meeresboden stattfindet. In der Praxis kann die Ableitung aus dem Graben tiefer erfolgen. In einer Höhe von 4 Metern ist die Fließgeschwindigkeit größer als in der Nähe des Meeresbodens, so dass sich das Sediment weiter ausbreiten kann. Die Sedimentation verteilt sich auch über eine größere Fläche, wenn das Wasserstrahlverfahren angewendet wird, und die Sedimentation an empfindlichen Stellen ist größer. Eine Übersicht über die Konzentrationen und die Sedimentation für die beiden Varianten findet sich in Tabelle 2.

Tabelle 2: Zusammenfassung der maximalen Sedimentkonzentrationen und der Sedimentation an den empfindlichen Standorten für die beiden Varianten

Sensible Standorte	Maximale Konzentration in der Wassersäule [mg/l]		Maximale Sedimentation [mm]	
	Graben	Jetten	Graben	Jetten
Projekt zur Wiederherstellung von Austerbänken	0,3	0,8	<0,01	<0,01
Küstengebiet der Nordsee	4,6	5,7	0,05	0,08
Rottumerplaat	0,9	1,7	<0,01	<0,01
Borkum Riffgrund	0,1	0,2	<0,01	<0,01
Niedersächsisches Wattenmeer und angrenzender Küstensee	9,6	6,7	0,05	0,09
Ems-Ästuar Küstensee	0,6	0,8	<0,01	0,01
N05-A	1,9	2,5	0,02	0,03

5 Diskussion

Die in Kapitel 4 beschriebenen Ergebnisse beruhen auf einer Reihe von Annahmen bei den Modelleingaben. Die wichtigsten Annahmen betreffen die Sedimenteigenschaften des Meeresbodens vor Ort (eine Vermessung gibt nur Aufschluss über die Art des Materials, nicht aber über die genaue Zusammensetzung oder Korngrößenverteilung), den Prozentsatz der Feinsedimente, die während des Aushubs in Suspension gebracht werden, die Geschwindigkeit des Baggers (die eine Bandbreite hat), den Zeitpunkt des Aushubs im Verhältnis zu den hydrodynamischen Bedingungen (Gezeiten und Wellen) und die intrinsischen Modellunsicherheiten. Diese Studie liefert daher ein indikatives Bild der Sedimentfahnen, die entstehen können, wenn die Pipeline vergraben wird.

Die Eigenschaften des Meeresbodens entlang der Strecke, einschließlich des Anteils an Feinsediment, der Kohäsion (Klebrigkeit) und der Dichte des Sediments, sind unsichere Faktoren in dieser Studie. Zum Beispiel kann die Kohäsion des Sediments dazu führen, dass das Sediment als Brocken ausgegraben wird und nicht als kleine lose Partikel, die in Schwebelagung kommen. Auch das Verhältnis zwischen Feinsediment und Sandanteil bestimmt, wie viel Sediment in Suspension gebracht und wie weit es verteilt wird.

Neben den lokalen Bodeneigenschaften ist auch der Anteil des Feinmaterials, der tatsächlich in Schwebelagung gebracht wird (und daher nicht in den Sandhaufen landet), ungewiss. Die Wahl dieses Prozentsatzes hat eine lineare Auswirkung auf die Quellterme und damit auch auf die Sedimentfahnen, die sich beim Eingraben bilden.

Auch bei der Fahrgeschwindigkeit des Baggers gibt es eine Bandbreite. Besonders beim Jetting gibt es eine große Bandbreite von 50 - 300 m/h, die einen großen Unterschied in den Quelltermen macht: eine doppelt so hohe Fahrgeschwindigkeit ergibt einen doppelt so hohen Quellterm in diesem Abschnitt. Allerdings muss man sich darüber im Klaren sein, dass der gesamte Aushubvorgang dann auch doppelt so kurz ist, so dass der Gesamteffekt auf die Sedimentkonzentration und -ablagerung begrenzt bleibt.

Der Zeitpunkt des Ausgrabens bestimmt auch die Bildung der Fahne. Denn es ist ein Unterschied, ob die Grabung bei Ebbe, Flut oder Flaute beginnt. Da die Entladung nur etwa eine Stunde pro Abschnitt der Pipeline dauert, hängt die genaue Form der Abgasfahne (die Auslässe im Osten und Westen) von diesem Zeitpunkt ab. Außerdem gibt es längerfristige Schwankungen bei den Gezeiten: Springflut und Nipptide. Springfluten treten alle 14 Tage auf, Nippfluten alle 14 Tage. Da die Gesamtdauer des Abflusses in der Größenordnung von einigen Tagen liegt, wirkt sich dieser Zeitpunkt auch auf die Verteilung der Fahne aus. Auch der Zeitpunkt, z. B. im Zusammenhang mit einem Sturm und der Jahreszeit, kann sich auf die Ausbreitung und Sedimentation des Feinsediments auswirken.

Außerdem ist ein Modell wie Delft3D eine Vereinfachung der Realität. So wird beispielsweise ein Berechnungsraster verwendet, um die Anzahl der Berechnungspunkte, in denen die Lenkvorgänge und die Verteilung des Feinmaterials berechnet werden, auf eine überschaubare Anzahl zu reduzieren. Dies kann auf Kosten des Detaillierungsgrades gehen: Die räumliche Variation der Sedimentkonzentration und der Sedimentdicke innerhalb der Zellen des Berechnungsgitters bleibt unbekannt. Außerdem werden Prozesse, die auf einer kleineren Skala als der Größe der Berechnungsgitterzellen auftreten (z. B. Turbulenzen), nicht genau berechnet. Die Unsicherheitsspanne bei Berechnungen des Sedimenttransports liegt daher in der Regel in der Größenordnung von -50 bis +100 %, was bedeutet, dass die Konzentrationen und die Sedimentation halb so hoch bis doppelt so hoch sein können.

Die Ergebnisse dieser Studie konzentrieren sich auf die zusätzliche Sedimentkonzentration und Sedimentation als Folge der Verlegung der Pipeline. Diese kommen zu der natürlichen Hintergrundkonzentration und Sedimentation hinzu: Die Nordsee ist ein dynamisches System mit einer natürlichen Hintergrundkonzentration und Sedimentation, die im Laufe des Jahres schwanken. Für die

Folgenabschätzung der Verlegung der Pipeline wurden die zusätzlichen Sedimentkonzentrationen in Relation zur Hintergrundkonzentration gesetzt. Die Hintergrundkonzentration

ist zeitlich und räumlich sehr unterschiedlich, liegt aber in diesem Teil der Nordsee im Tiefen- und Jahresdurchschnitt bei etwa 15 mg/l. Die Modellberechnungen in dieser Studie zeigen, dass die zusätzliche Sedimentkonzentration in den empfindlichen Gebieten unter etwa 10 mg/l liegt, was nicht einem Tiefendurchschnitt entspricht, sondern irgendwo in der Wassersäule. Außerdem tritt die zusätzliche Sedimentkonzentration innerhalb eines kurzen Zeitraums auf, der von einigen Stunden bis zu einigen Tagen reicht. In der Nähe der Trasse sind höhere Sedimentkonzentrationen zu erwarten, lokal um 50 mg/l. Was die Hintergrundsedimentation anbelangt, so ist die maximale Sedimentation des Feinsediments von 0,1 mm im Vergleich zur natürlichen Dynamik des Meeresbodens sehr gering, da sich auf dem Meeresboden Sandrücken von einigen Zentimetern Höhe befinden.

Aufgrund der oben genannten Annahmen und Unwägbarkeiten sollten die Ergebnisse der Modellierung eher als Größenordnung denn als exakte Antwort betrachtet werden.

6 Schlussfolgerungen

In dieser Studie wurde die Ausbreitung von feinem Bodenmaterial modelliert, das beim Graben einer Pipeline in Schwebelag kommt. Es wurden zwei Varianten untersucht: die **"Trenching"**-Variante und die **"Jetting"**-Variante. Auf der Grundlage der Modellierung wurden die zusätzlichen Konzentrationen und die Sedimentation im Bereich der Pipelinetrasse als Ergebnis der Aushubarbeiten ermittelt. Also ohne die natürlichen Hintergrundkonzentrationen in der Nordsee. Das Hauptaugenmerk lag dabei auf den maximalen Konzentrationen während der Ausgrabung sowie auf den Schwankungen der Konzentrationen und der maximalen Sedimentationsdicke an bestimmten Stellen. Eine Bewertung der beiden Varianten wird in dieser Studie nicht vorgenommen. Bitte beachten Sie die Naturbewertung in Anhang M9 von Teil 2: Umweltauswirkungen.

Die Modellrechnungen zeigen, dass der maximale Anstieg der Schlammkonzentration direkt entlang der Trasse hoch ist und mit zunehmender Entfernung auf beiden Seiten der Pipeline stark abnimmt. Das Ausheben von Gräben oder das Abspritzen von Wasser führt zu den folgenden erwarteten Erhöhungen an den folgenden Orten in Bezug auf eine Hintergrundkonzentration von 15 mg/l, siehe Tabelle 3.

Tabelle 3: Maximaler prozentualer Anstieg gegenüber der Hintergrundkonzentration von 15 mg/l für die Varianten

Standort	Maximaler Anstieg der Konzentration (%) im Vergleich zu einer Hintergrundkonzentration von 15 mg/l	
	Variante 'Trenching'	Variante 'Jetten'
Projekt zur Wiederherstellung von Austernbänken	2	5
Küstengebiet der Nordsee	31	38
Rottumerplaat	6	10
Borkum Riffgrund	1	1
Niedersächsisches Wattenmeer und kantiger Küstensee	64	45
Ems-Ästuar Küstengewässer	4	5
N05-A	13	17

An Standorten in der Nähe der Pipeline, wie der Nordseeküste, dem Niedersächsischen Wattenmeer und dem angrenzenden Küstenmeer, sind die Erhöhungen nur von kurzer Dauer (wenn der Bagger vorbeifährt) und die Konzentration halbiert sich nach etwa einem halben oder einem ganzen Tag. An den anderen Standorten, die nicht direkt an der Trasse liegen, sondern zu denen das Schwebstoffsediment von der Strömung transportiert wird, ist der Anstieg viel geringer, kann aber länger anhalten. Auf Borkum Riffgrund beispielsweise beträgt die Konzentration maximal 0,2 mg/l, am Monatsende liegt sie bei etwa 0,05 mg/l. Bitte beachten Sie, dass alle diese Konzentrationen im Vergleich zu den natürlichen Hintergrundkonzentrationen sehr niedrig sind.

Die zusätzliche Sedimentation des aufgewirbelten Schlicks liegt in der Größenordnung von 0,5 mm direkt entlang der Trasse. Für Niedersächsisches Wattenmeer und angrenzendes Küstenmeer sind dies 0,05 mm für die Variante **"Trenching"** und 0,09 mm für die Variante **"Jetten"**. Für das Küstengebiet der Nordsee sind dies 0,05 mm (Grabenbau) bzw. 0,08 mm (Strahlenbau). Die Sedimentation bei dem Projekt zur Wiederherstellung der Austernbänke liegt in der Größenordnung von 0,01 mm. Die berechnete zusätzliche Sedimentation von aufgeworfenem Schlick ist deutlich geringer als die natürliche Sedimentation und Erosion in dem Gebiet, die anhand der Sandrücken in der Größenordnung von Zentimetern liegt.

Die Sedimentkonzentrationen sind bei der Variante **"Jetten"** höher als bei der Variante **"Trenching"**. Ein Grund dafür ist, dass bei der Variante **"Jetting"** mehr Feinsediment pro Laufmeter in Schwebelag gebracht

wird.

Ein weiterer Grund ist, dass das Feinsediment bei der Variante "**Jetten**" höher in die Wassersäule eingetragen wird,

wodurch das Sediment weiter verstreut wird. Dieser höhere Abfluss in die Wassersäule ist jedoch eine Option und keine Vorschrift, so dass er als konservativer Ansatz betrachtet werden kann. Auch die Sedimentation von Feinsedimenten ist bei der Variante "**Jetting**" etwas höher als bei der Variante "**Trenching**".

7 Referenzen

- [1] Royal HaskoningDHV, "BG1359-RHD-ZZ-XX-RP-Z-0001 Fahnenmodellierung N05A - Konzept", 2019.
- [2] GEO XYZ Offshore, "Erhebungsbericht - N5A bis NGT Hot Tap", 2019.
- [3] RIKZ, "Variability of near-surface total suspended matter concentrations in the Dutch coastal zone of the North Sea", Bericht RIKZ/OS/2001.150X, 2001.
- [4] "Einführung in die Rohrverlegung, Rev. D, 2004.
- [5] ONE-Dyas, "N05A Development Project Pipeline Trenching Options N05A-7-10-0-70038-01", 2019.
- [6] "<https://www.bissomarine.com/wp-content/uploads/2015/08/BISSO-MARINE-PIPELINE-BURIAL-EXCAVATION-OVERVIEW.pdf>," [Online]. [Zugriff am 06 01 2020].
- [7] RIKZ, "Atlas of near-surface total suspended matter concentrations in the Dutch coastal zone of the North Sea", Bericht RIKZ/2002.059, 2002.