

RAPPORT

Pluimmodellering pijpleiding: Update ten behoeve van aangepast leiding- tracé

Milieueffectrapport Gaswinning N05-A
Update ten behoeve van aangepast leidingtracé

Klant: ONE-Dyas B.V.

Referentie: BG6396IBRP2010071018

Status: S0/3.0

Datum: 22 maart 2022

HASKONINGDHV NEDERLAND B.V.

Laan 1914 no.35
3818 EX Amersfoort
Industry & Buildings
Trade register number: 56515154

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

Titel document: Pluimmodellering pijpleiding: Update ten behoeve van aangepast leidingtracé

Ondertitel: Pluimmodellering pijpleiding - update
Referentie: BG6396IBRP2010071018
Status: 3.0/S0
Datum: 22 maart 2022
Projectnaam: Milieueffectrapport Gaswinning N05-A
Projectnummer: BG6396

Classificatie

Projectgerelateerd

Behoudens andersluidende afspraken met de Opdrachtgever, mag niets uit dit document worden verveelvoudigd of openbaar gemaakt of worden gebruikt voor een ander doel dan waarvoor het document is vervaardigd. HaskoningDHV Nederland B.V. aanvaardt geen enkele verantwoordelijkheid of aansprakelijkheid voor dit document, anders dan jegens de Opdrachtgever. Let op: dit document bevat mogelijk persoonsgegevens van medewerkers van HaskoningDHV Nederland B.V.. Voordat publicatie plaatsvindt (of anderszins openbaarmaking), dient dit document te worden geanonimiseerd of dient toestemming te worden verkregen om dit document met persoonsgegevens te publiceren. Dit hoeft niet als wet- of regelgeving anonimiseren niet toestaat.

Inhoud

1	Inleiding	1
1.1	Achtergrond	1
1.2	Doel van de studie	1
1.3	Leeswijzer	1
1.4	Actualisatie maart 2022	2
2	Achtergrondgegevens	3
2.1	Introductie	3
2.2	Tracé van de pijpleiding	3
2.3	Natuurlijke zeebodem	3
2.4	Natuurlijke sedimentconcentraties	4
2.5	Beschrijving methodiek ingraven	5
2.5.1	Algemeen	5
2.5.2	Variant 'Trenching'	5
2.5.3	Variant 'Jetten'	6
2.6	Vrijkomend sediment	6
2.6.1	Korrelgrootte en valsnelheid van vrijkomend sediment	6
2.6.2	Hoeveelheid vrijkomend sediment	7
3	Modelbeschrijving	9
3.1	Introductie	9
3.2	Model software	9
3.3	ZUNO-modelschematisatie	9
3.4	Modelscenario's	9
3.5	Toevoeging van vrijkomend fijn sediment	10
3.6	Modeluitvoer en -visualisatie	10
4	Modelresultaten	12
4.1	Introductie	12
4.2	Stromings- en golfcondities	12
4.3	Variant 'Trenching'	14
4.3.1	Slibconcentratie-kaarten	14
4.3.2	Sedimentatie-kaarten	14
4.3.3	Tijdseries	15
4.4	Variant 'Jetten'	19
4.4.1	Slibconcentratie-kaarten	19
4.4.2	Sedimentatie-kaarten	20
4.4.3	Tijdseries	21
4.5	Vergelijking tussen de varianten	24

5	Discussie	26
6	Conclusies	28
7	Referenties	30

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

ONE-Dyas heeft Royal HaskoningDHV opdracht gegeven om een MER te maken voor het gaswinningsproject N05-A op de Noordzee. Dit MER en diverse aanvullingen daarop is inmiddels gepubliceerd. Eén van de aanvullingen was dat een nieuwe locatie voor het platform was gekozen op een plaats met minder grote stenen op de zeebodem. Als gevolg hiervan is ook het tracé van de pijpleiding vanaf het gaswinningsplatform naar de bestaande NGT-hoofdtransportleiding in de Noordzee beperkt is aangepast. De gaspijpleiding heeft een lengte van circa 15 km en wordt om veiligheidsredenen ingegraven in de zeebodem.

Bij het ingraven van de pijpleiding wordt fijn sediment uit de zeebodem opgewoeld. Een deel van dit fijne sediment wordt vervolgens door stroming verspreid in de Noordzee, wat kan leiden tot een toename van sedimentatie langs de pijpleiding en verhoogde sedimentconcentraties in de waterkolom. Een kwantitatieve onderbouwing van deze effecten door middel van pluim- en sedimentatiemodellering is gewenst vanwege de natuurwaarden in het gebied, waaronder Natura 2000-gebieden.

In dit rapport wordt de pluim- en sedimentatiemodellering beschreven en wordt een voorspelling gedaan van de toename van sedimentatie en sedimentconcentraties als gevolg van het ingraven van de pijpleiding. De modellering wordt uitgevoerd met hetzelfde numerieke model (Delft3D) en modelschematisatie als waarmee de pluim- en sedimentatiestudie is uitgevoerd om de effecten van het boren van de gasputten te bepalen (Royal HaskoningDHV, 2019). In dat model waren de hydrodynamische processen in de Noordzee, zoals golven en stroming door getij en wind, en de dynamiek van boorspoeling berekend voor verschillende condities. In deze studie wordt dat model toegepast om de verspreiding van het opgewoeld fijne sediment te voorspellen.

1.2 Doel van de studie

Het doel van deze pluim- en sedimentatiestudie is om de verspreiding en sedimentatie van het fijne sediment dat vrijkomt bij het ingraven van de pijpleiding tussen het N05-A platform en het aansluitpunt op de NGT-hoofdtransportleiding te voorspellen. De resultaten van deze studie dienen als input voor effectbeoordeling, waaronder de effecten op natuurwaarden in het gebied.

1.3 Leeswijzer

Dit rapport beschrijft de gehanteerde methodiek en de resultaten van de pluimmodellering van het ingraven van de pijpleiding. In hoofdstuk 2 wordt een overzicht gegeven van de achtergrondgegevens zoals het tracé van de pijpleiding, de natuurlijke zeebodem en slibconcentratie, de methode voor ingraven van de pijpleiding en de berekening van het vrijkomend fijn sediment bij het ingraven. In hoofdstuk 3 wordt een beschrijving van het numerieke model gegeven, en in hoofdstuk 4 worden de resultaten van de modellering beschreven. Hoofdstuk 5 is een discussie van de resultaten en in hoofdstuk 6 worden de belangrijkste conclusies gepresenteerd.

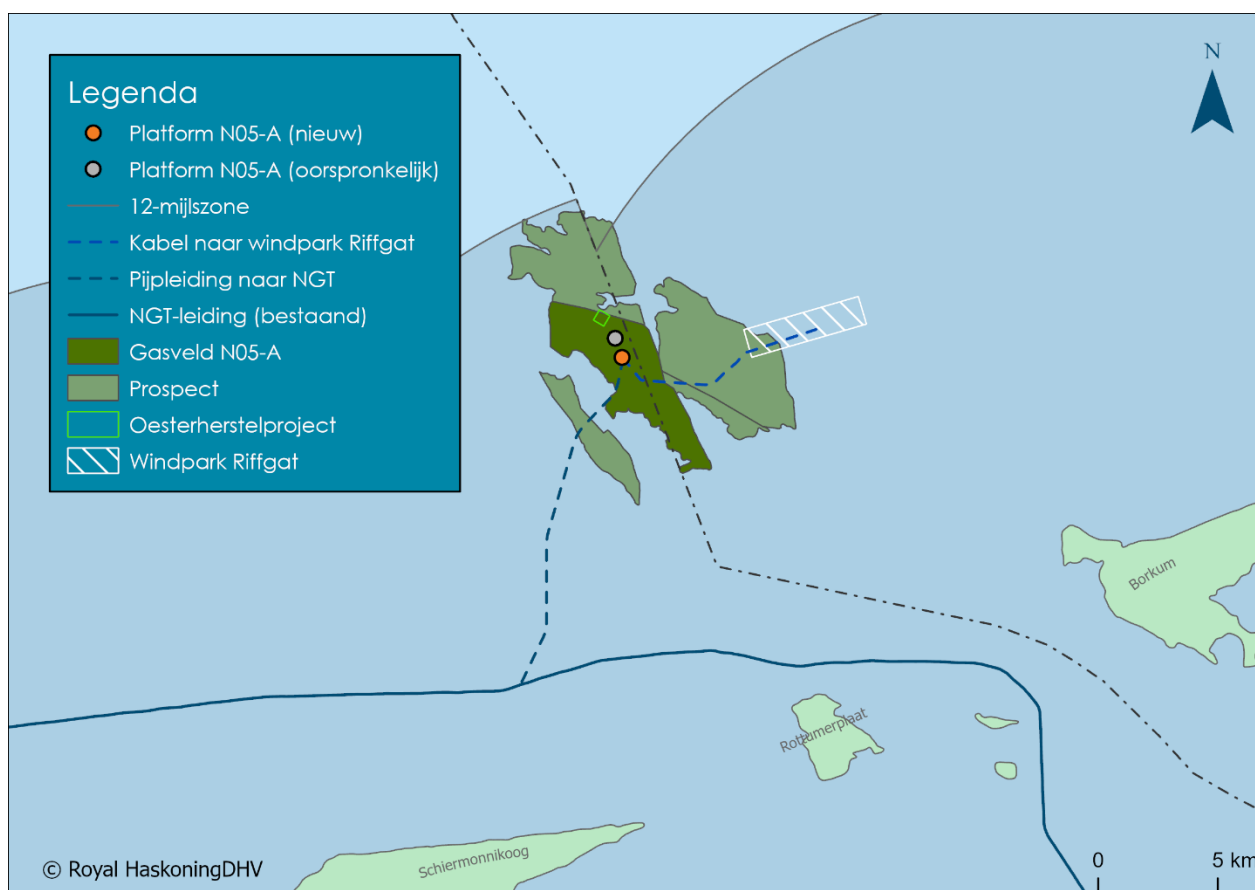
1.4 Actualisatie maart 2022

Deze versie van het rapport betreft de berekening van de pluim als gevolg van de tracéaanpassingen sinds de publicatie van het oorspronkelijke MER in oktober 2020. Het leidingtracé is op twee punten aangepast:

- 1 De platformlocatie is ongeveer 850 meter naar het zuidzuidoosten verschoven. Hierdoor wordt de leiding ruim 500 meter korter en is het noordelijke deel van de leiding aangepast;
- 2 De aansluiting op de NGT-leiding is een paar honderd meter naar het westen verschoven. Hiervoor is de route van het zuidelijke deel van de leiding aangepast.

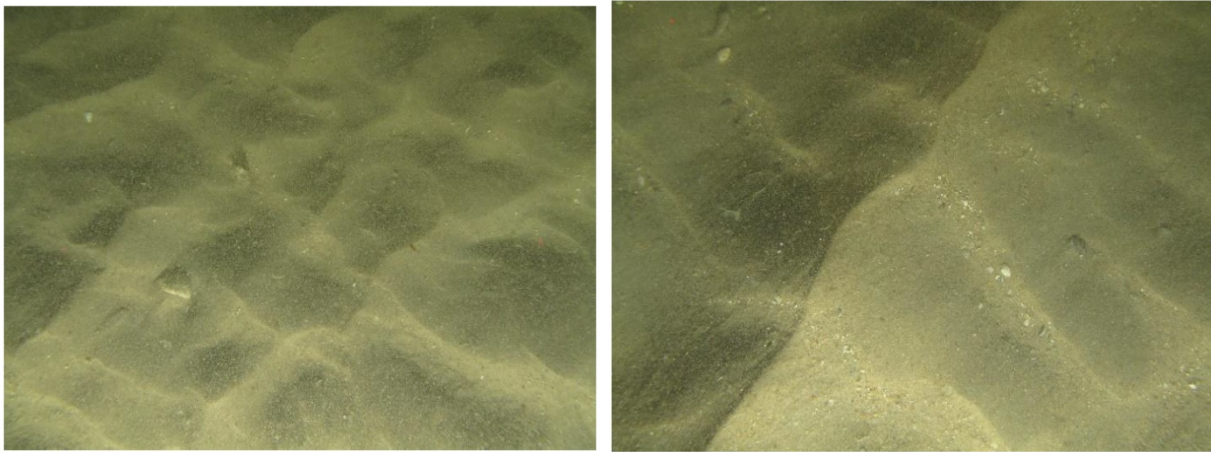
Deze update is tevens gemaakt voor de Duitse effectstudies voor het voornemen van ONE-Dyas. Ten behoeve van de Duitse studies is bij de berekeningen een extra rekenpunt in Duitsland toegevoegd, Küstenmeer Ems-Ästuar, ongeveer twee kilometer ten oosten van de platformlocatie.

Figuur 1 toont de oorspronkelijke en nieuwe locatie van het productieplatform en het nieuwe tracé van de gasleiding.



Figuur 1: Oorspronkelijke en nieuwe locatie van het productieplatform, inclusief de ligging van de gasvelden en de nieuwe tracés van de gasleiding en de kabel naar windpark Riffgat.

mobiel is langs het tracé voor de pijpleiding (Figuur 3). Deze zandribbels verplaatsen zich onder invloed van stroming en golven.



Figuur 3: Natuurlijke zeebodem langs het tracé voor de pijpleiding (GEO XYZ Offshore, 2019)

2.4 Natuurlijke sedimentconcentraties

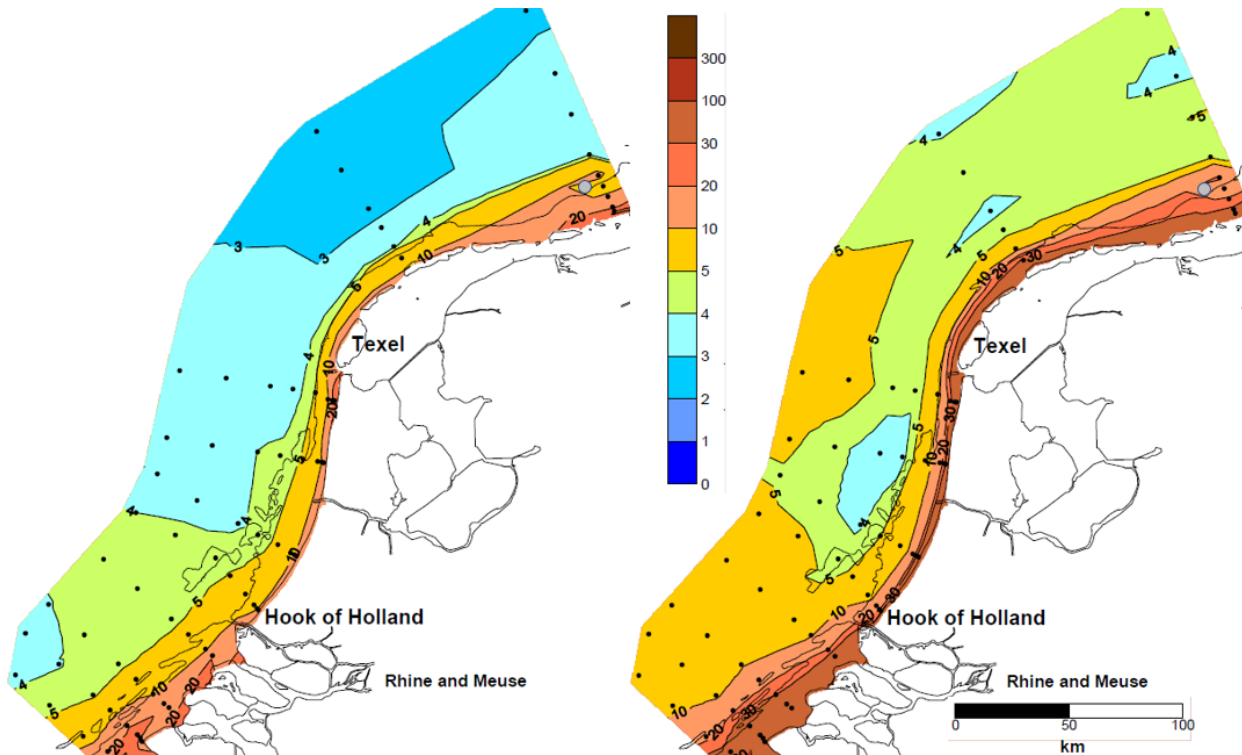
De gemiddelde natuurlijke slibconcentraties aan het wateroppervlak in de zomer en de winter in de kustzone is weergegeven in Figuur 4. Deze kaarten tonen een sterke ruimtelijke gradiënt in slibconcentratie langs de kust, met slibconcentraties van 3 tot 100 mg/l binnen een afstand van vijftig kilometer vanaf de Waddeneilanden.

De slibconcentratie op de platformlocatie is jaargemiddeld ongeveer 10 - 20 mg/l nabij het wateroppervlak. Dichter bij de kust, dus nabij de aansluiting met de bestaande NGT-pijpleiding, neemt de jaargemiddelde slibconcentratie nabij het wateroppervlak toe tot ongeveer 30 mg/l. De natuurlijke slibconcentraties variëren per seizoen: in de winter is de seizoensgemiddelde slibconcentratie circa 20 - 100 mg/l langs het tracé van de pijpleiding en in de zomer circa 10-20 mg/l.

Daarnaast varieert de slibconcentratie ook over de waterkolom. Dichter bij de zeebodem is de slibconcentratie naar verwachting wat hoger, maar omdat de lokale zeebodem vooral uit zandig materiaal bestaat is het onwaarschijnlijk dat de slibconcentraties nabij de zeebodem veel hoger zijn dan hoger in de waterkolom.

In de pluimstudie voor de boring (Royal HaskoningDHV, 2019) en RIKZ-rapportage van gemeten slibconcentraties (RIKZ, 2001) is een uitgebreidere beschrijving van de variaties in slibconcentraties gegeven, waarbij onder andere vermeld wordt dat de concentraties na een rustige periode kunnen dalen tot circa 2 mg/l nabij de platformlocatie en 5-10 mg/l bij de NGT-pijpleiding. Na een stormachtige periode stijgen de slibconcentraties tot typische waarden van circa 20 mg/l bij de platformlocatie en 30-100 mg/l bij de aansluiting op NGT-pijpleiding.

In aanvulling op deze seizoens- en weersvariatie is het aannemelijk dat de slibconcentratie ook varieert met het getij: de ebstroming voert slibrijk water aan vanuit de Waddenzee en het Eems-estuarium, terwijl de vloedstroming vanuit het westen relatief slibarm water aanvoert.



Figuur 4: Gemiddelde gemeten slibconcentratie aan het wateroppervlak in zomer (links) en winter (rechts) in mg/l (RIKZ, 2001). De platformlocatie is weergegeven met een grijze stip

2.5 Beschrijving methodiek ingraven

2.5.1 Algemeen

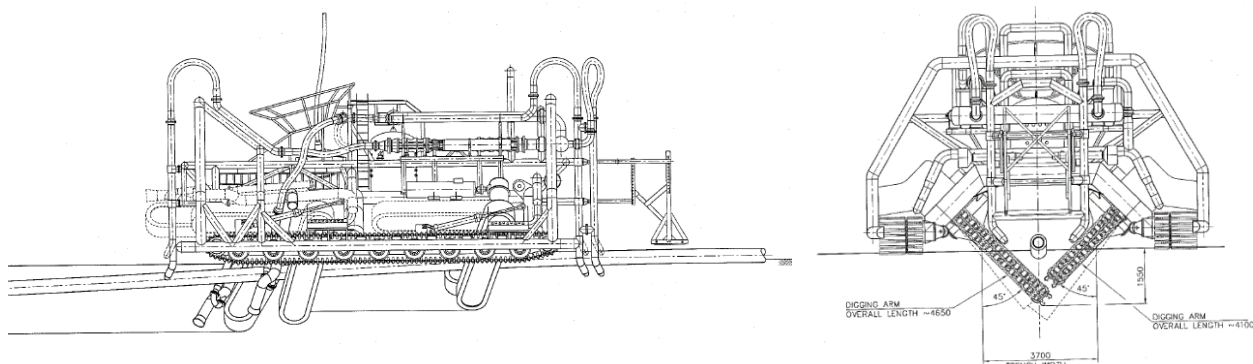
Uit MER-onderzoek blijkt dat er twee mogelijke varianten zijn om de leiding in te graven. De eerste variant is het ingraven van de pijpleiding met een *mechanical trencher* en de tweede variant is het ingraven met een *jet sled*. Bij beide varianten wordt de pijpleiding eerst op de zeebodem gelegd met een speciaal schip en vervolgens wordt de pijpleiding ingegraven. In de volgende paragrafen worden deze methoden van ingraven toegelicht.

2.5.2 Variant 'Trenching'

In deze variant wordt de leiding ingegraven met een mechanische ingraafmachine (*mechanical trencher*), die op rupsbanden over de zeebodem rijdt. De *trencher* wordt bestuurd vanaf een schip. De *trencher* graaft een V-vormige sleuf onder de pijpleiding met graafarmen, zie Figuur 5. Achter de graafmachine zakt de pijpleiding in de sleuf. Voor de studie wordt ervan uitgegaan dat de sleuf niet actief wordt dichtgegooid (*back-filling*), maar door de zeestroming geleidelijk weer met sediment wordt opgevuld.

De snelheid van de *trencher* is circa 200 - 300 m/uur. Zoals te zien in Figuur 5 vinden de graafwerkzaamheden plaats onder de machine. De sleuf die gegraven wordt, heeft een diepte van ongeveer 1,5 meter met wanden onder een hoek van 45°. De totale sleufbreedte is vier meter. Er wordt aangenomen dat uit deze sleuf drie kubieke meter sediment per meter geullengte vrijkomt.

Met een standaard *trencher* leidt het ingraven tot een strook verstoorde zeebodem van ongeveer zestien meter breed. Dit wordt veroorzaakt door de sleuf, zandophoping langs de sleuf en de spoorbreedte van de rupsbanden van de *trencher*.



Figuur 5: Zij- en voor aanzicht van een mechanische trencher

2.5.3 Variant 'Jetten'

Bij het ingraven met een *jet sled* wordt het sediment op de zeebodem eerst los gemaakt door middel van hogedrukwaterjets ('fluïdiseren'). De losgemaakte grond kan daarna via een eductorsysteem uit de sleuf wordt gezogen; dit is echter niet altijd nodig. Tijdens het *jetten* zakt de leiding door zijn eigen gewicht in de sleuf.

Deze methode zorgt er aan de ene kant voor dat een relatief smalle sleuf wordt gemaakt, maar aan de andere kant wordt wel veel sediment in beroering gebracht. Hierdoor wordt ten opzichte van trenching een grotere en troebelere sedimentpluim gemaakt. Bij *jetten* worden echter geen zandhopen langs de sleuf gevormd, maar valt het grove sediment deels terug in de sleuf en sedimenteert voor de rest in een dunne laag langs de sleuf.

De snelheid van het *jetting* proces is circa 50 - 300 m/uur, afhankelijk van de grondsoort en gekozen uitvoering. De sleuf die gegraven wordt, heeft een diepte van ongeveer 1,5 meter. De totale sleufbreedte is 3 meter. Aangenomen wordt dat uit deze sleuf 2,3 m³ sediment per meter geullengte vrijkomt. Conservatief wordt ervan uitgegaan dat de uitworphoogte van het sediment (bronhoogte) zich 4 meter boven de zeebodem bevindt. Dit is een worstcase-benadering, aangezien het niet per se nodig is om het sediment weg te blazen.

Het *jetten* leidt tot een strook verstoorde zeebodem die bestaat uit de gegraven sleuf met een breedte van ongeveer 3 meter. De *jet sled* hangt boven de te graven sleuf. Hierdoor is verstoring door middel van rupsbanden niet aan de orde.

2.6 Vrijkomend sediment

2.6.1 Korrelgrootte en valsnelheid van vrijkomend sediment

In deze modelstudie wordt alleen het fijne materiaal (klei en silt) gemodelleerd, aangezien het grove materiaal direct naast de leiding zal bezinken. Bodemonderzoek geeft geen informatie over de exacte samenstelling van de bodem of korrelgrootteverdelingen. Er wordt daarom aangenomen dat 33% van de bodem uit fijn materiaal bestaat, dus uit silt of klei. Ook wordt aangenomen dat het bodemmateriaal een dichtheid heeft van 1000 kg/m³. Dit houdt in dat een kubieke meter bodemmateriaal (zoals het zich in de bodem bevindt) een gewicht heeft van 1000 kg. Dit getal is gebruikt om de hoeveelheid fijn sediment dat vrijkomt bij het ingraven te bepalen en heeft niets te maken met hoe het materiaal zich in water gedraagt. In de discussie wordt ingegaan op de onzekerheden in de gebruikte bodemeigenschappen en de effecten hiervan op de sedimentconcentraties en sedimentatie.

Drie fracties fijn materiaal worden gemodelleerd, met elk een aandeel van 11% in de bodem. De korrelgrootte en valsnelheid van de drie fracties zijn te vinden in Tabel 1.

Tabel 1: Eigenschappen (korrelgrootte en valsnelheid) van de drie gemodelleerde fracties

Fractie	D ₅₀ [μm]	V [m/s]
1 (klei)	2,5	3,90 ^E -6
2 (fijn silt)	23,5	3,48 ^E -4
3 (grof silt)	43	1,2 ^E -3

2.6.2 Hoeveelheid vrijkomend sediment

Bij het voorspellen van de extra sedimentconcentratie en sedimentatie als gevolg van het graven van de sleuf zijn alleen de fijne sedimentfracties relevant. Bij het graven worden deze fijne fracties opgewoeld en zakken vervolgens heel langzaam weer naar de zeebodem. Gedurende dit uitzakken wordt het fijne sediment meegevoerd door stroming. Bij hoge stroomsnelheden en golfcondities kan het fijne sediment helemaal niet uitzakken. Mechanical trenching is een rustiger proces dan het jetten, waardoor bij het trenchen minder fijn sediment wordt opgewoeld dan bij het jetten.

De grove sedimentfracties, zoals het grove zand, wordt tijdens het graven van de sleuf wel verplaatst maar wordt niet opgewoeld en komt direct langs de sleuf weer op de zeebodem terecht. De grove sedimentfractie wordt daarom niet meegenomen in de pluim- en sedimentatiemodellering.

Uitgesplitst voor de twee technieken worden de volgende effecten verwacht:

- **Trenching:** Aangenomen wordt dat bij *mechanical trenching* 50% van het fijne materiaal in suspensie wordt gebracht. De rest van de fijne fracties en alle grovere fracties komen in de zandhopen terecht en bezinken direct aan weerszijden van de leiding. Het lozingspunt ligt vlak boven de bodem.
- **Jetten:** Aangenomen wordt dat bij het *jetten* al het fijne materiaal in suspensie wordt gebracht door het jetten. Dit is een worstcase-benadering: het is geen vereiste om het fijne sediment weg te blazen. De grovere fracties bezinken in de nabijheid van de leiding. Het lozingspunt kan vier meter boven de zeebodem liggen, maar kan ook lager ingesteld worden. De modellering betreft daardoor een worst-case scenario.

De berekening van de hoeveelheid fijne sediment dat bij het trenchen en jetten respectievelijk in suspensie komt, is te zien in Figuur 6. Hierbij is het tracé opgedeeld in secties van ruim driehonderd meter en is op basis van de snelheid van de graafmachine bepaald hoe lang de graafmachine erover doet om een sectie te graven. Voor de snelheid van de graafmachines wordt uitgegaan van de gemiddelde snelheid binnen de gegeven bandbreedtes (zie paragraaf 2.5): 250 m/uur voor het trenchen en 175 m/uur voor het jetten. Vervolgens is de 'bronterm' voor elk van de fijne sedimentfracties bepaald, dit is de massa van het sediment dat per seconde vrijkomt in de periode dat in een sectie gegraven wordt.

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

Figuur 6: Berekening van de brontermen voor het trenchen (links) en het jetten (rechts)

3 Modelbeschrijving

3.1 Introductie

In dit hoofdstuk wordt een beschrijving gegeven van het numeriek model dat gebruikt is om de verspreiding en sedimentatie van het fijne sediment dat vrijkomt bij ingraven van de pijpleiding te voorspellen.

3.2 Model software

Voor de pluim- en sedimentatiemodellering is de Delft3D-modelsoftware gebruikt. Deze software is ontwikkeld door Deltares en wordt wereldwijd toegepast bij modellering van stroming, sedimenttransport en morfologie van kusten en rivieren. Daarnaast wordt Delft3D veelvuldig toegepast bij pluimstudies, o.a. baggerpluimstudies. De Delft3D-modelsoftware kan verschillende typen sediment modelleren, evenals opgeloste stoffen ('tracers').

3.3 ZUNO-modelschematisatie

In deze studie is de driedimensionale, gekalibreerde en gevalideerde modelschematisatie van de Noordzee en de Waddenzee gebruikt: de Zuidelijke Noordzee-modelschematisatie (ZUNO). De volgende processen worden gesimuleerd in het ZUNO-model:

- Getij
- Debieten vanuit rivieren
- Zoutgehalte
- Atmosferische druk
- Windsnelheid
- Lucht- en watertemperatuur
- Relatieve luchtvochtigheid
- Bewolking

Het bestaande ZUNO-model, aangeleverd door Deltares, is gebruikt als basis voor de modelschematisatie in deze studie en is waar nodig aangepast om te voldoen aan de specifieke eisen. Zo is de resolutie van het rekenrooster lokaal verfijnd en is de modellering van het fijne sediment dat vrijkomt bij het ingraven van de pijpleiding toegevoegd. Voor een uitgebreidere beschrijving van de modelschematisatie en randvoorwaarden wordt verwezen naar (Royal HaskoningDHV, 2019).

Belangrijk bij de interpretatie van de modelresultaten, is dat de afmeting van de rekenroostercellen in het model langs het tracé op z'n kleinst circa 100 meter is; daarbinnen geeft het model geen gedetailleerdere informatie. De in het model voorspelde sedimentconcentraties en sedimentatiediktes zijn de ruimtelijk-gemiddelde waarden binnen zo'n rekenrooster cel. Over de waterkolom bestaat het rekenrooster uit twaalf lagen: laag 1 is nabij het wateroppervlak en laag 12 is nabij de zeebodem.

3.4 Modelscenario's

Voor het modelleren van het ingraven van de leiding is één scenario gekozen uit de drie scenario's die voor de pluimstudie van de gasputten (Royal HaskoningDHV, 2019) zijn gedefinieerd: het scenario voor oktober 2015. Dit is een maand met relatief rustige golf-, wind- en stromingscondities, waardoor de sedimentpluim dicht bij het tracé blijft, wat resulteert in relatief hoge piekconcentraties en relatief grote

sedimentatiediktes. Dit sluit aan bij de praktijk want pijpleidingen worden bij voorkeur gelegd bij rustige weersomstandigheden.

Het model is gedraaid voor de periode van 28 september 2015 tot en met 31 oktober 2015, waarbij de dagen in september gebruikt zijn om het model tijd te geven om de stroming en golven in te spelen. In het model begint het trenchen of jetten op 1 oktober.

3.5 Toevoeging van vrijkomend fijn sediment

Langs het tracé van de leiding zijn 48 brontermen voor het vrijkomende fijne sediment gemodelleerd, ongeveer om de 300 meter. Iedere bronterm vertegenwoordigt het sediment dat vrijkomt in de betreffende sectie van 300 meter. Achtereenvolgens komt fijn sediment vrij langs het tracé. De tijdsduur van elke bronterm is gelijk aan de tijd die de graafmachine erover doet om een sectie van 300 meter te graven: bij een rijsnelheid van 250 m/uur voor het trenchen is de tijdsduur 1,2 uur voor een sectie, en bij een rijsnelheid van 175 m/uur voor het jetten is de tijdsduur ruim 1,7 uur.

Aangenomen wordt dat gestart wordt met ingraven van de leiding bij het platform: sectie 1 is dus het meest noordelijke lozingspunt en sectie 48 het meest zuidelijke. Bij het trenchen komt het sediment vlakbij de bodem vrij, in het model wordt de lozing daarom toegevoegd in de onderste laag (laag 12) van het model. Bij het jetten komt het sediment vrij op een hoogte van 4 meter. Aangezien de diepte en daarmee de dikte van de verschillende lagen in het model variëren langs het tracé, is de lozing vlakbij het platform toegevoegd in laag 10 en in laag 9 of 8 bij het zuidelijkste punt.

3.6 Modeluitvoer en -visualisatie

Voor het visualiseren van de modelresultaten zijn voor de twee varianten de volgende typen figuren gemaakt:

- De maximale concentratie fijn materiaal gedurende de simulatie over de gehele waterkolom. Hierbij is de concentratie van de drie sedimentfracties (klei, fijn silt en grof silt) samengenomen. De getoonde concentratie is de 'extra' concentratie als gevolg van de graafwerkzaamheden; de natuurlijke achtergrondconcentratie is hierin niet meegenomen. Naast de absolute concentratie is ook de maximale bijdrage aan de achtergrondconcentratie in dit deel van de Noordzee getoond, waarbij uitgegaan is van een natuurlijke achtergrondconcentratie van 15 mg/l;
- De maximale sedimentatiedikte van fijn sediment gedurende de simulatie;
- Tijdseries van concentratie en sedimentatie ter hoogte van een aantal gevoelige natuurgebieden (Figuur 7): het oesterbankherstelproject, Borkum Riffgrund, Niedersächsisches Wattenmeer und angrenzendes Küstenmeer, Küstenmeer Ems-Ästuar, de Noordzeekustzone en Rottumerplaat.



Figuur 7: Locaties van de modeluitvoerpunten langs de gevoelige natuurgebieden

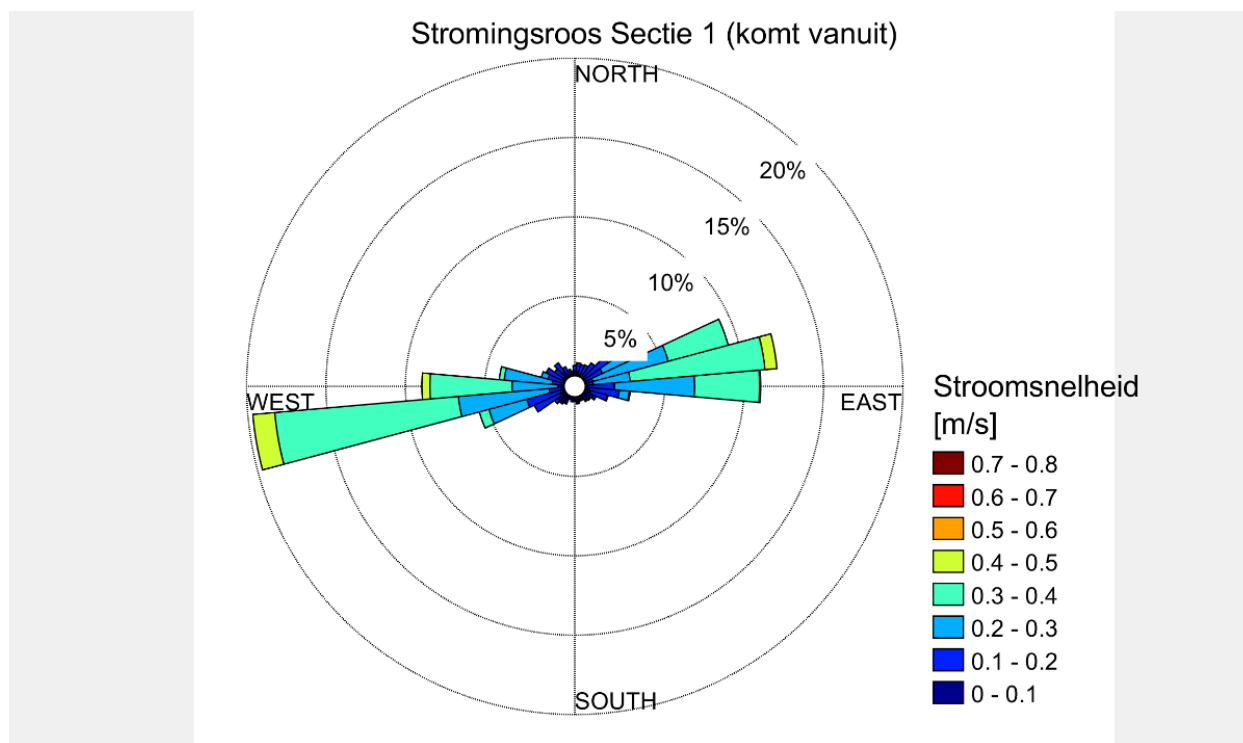
4 Modelresultaten

4.1 Introductie

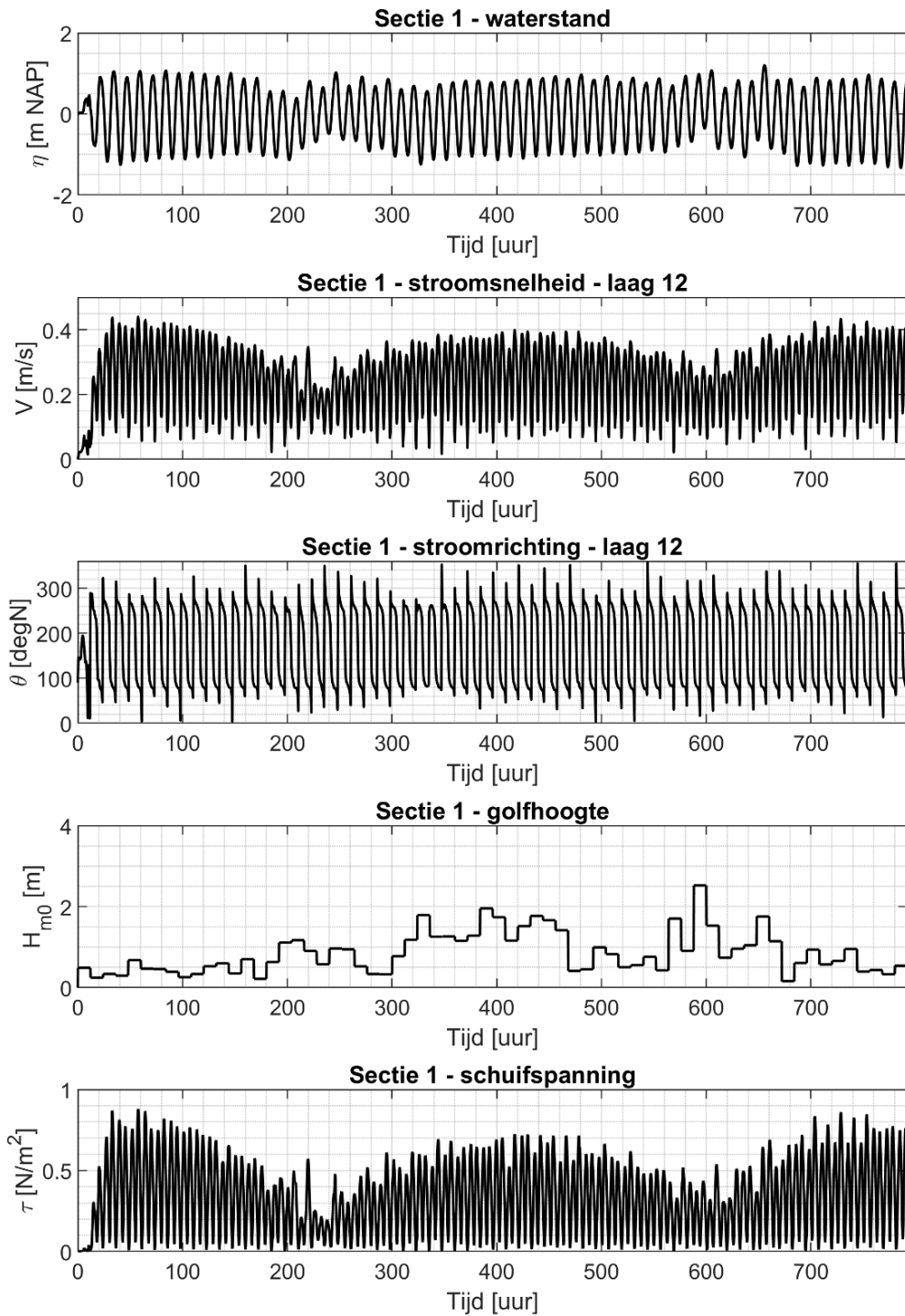
In dit hoofdstuk worden de resultaten van de pluimmodellering getoond. Hierbij worden eerst kort de stromings- en golfcondities in de simulatieperiode besproken. Daarna worden de resultaten voor het mechanisch trenchen gepresenteerd, en vervolgens de resultaten voor het jetten. In de laatste paragraaf worden de resultaten van beide varianten met elkaar vergeleken.

4.2 Stromings- en golfcondities

In Figuur 8 en Figuur 9 zijn de stromingscondities gedurende de simulatieperiode getoond voor de onderste laag nabij de zeebodem. De stroomsnelheid in de onderste laag van het model (laag 12) varieert tussen stilstand en circa 0,4 m/s en wordt sterk gestuurd door het getij: de ebstroming naar het westen, de vloedstroming naar het oosten en vrijwel stilstaand water tijdens kentering. De maximale golfhoogte in de simulatieperiode is circa 3 meter.



Figuur 8: Stromingsroos ter hoogte van lozingslocatie Sectie 1. De stroomrichting geeft aan waar de stroming vandaan komt



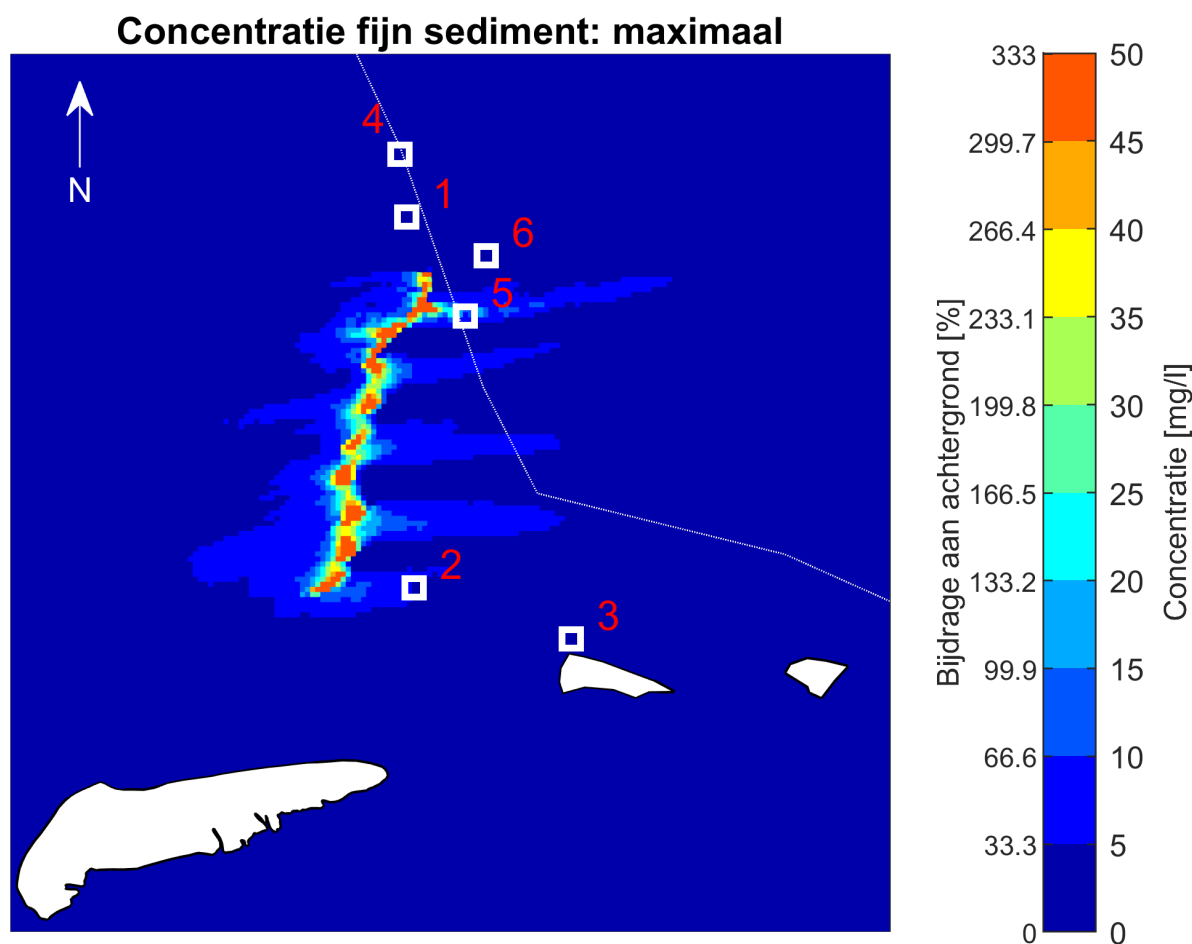
Figuur 9: Waterstand, stroomsnelheid en stroomrichting in de onderste laag van het model, de golfhoogte en de bodemschuifspanning gedurende de simulatie, ter hoogte van Sectie 1

4.3 Variant 'Trenching'

Deze paragraaf toont de resultaten van de pluimstudie voor de variant 'Trenching'.

4.3.1 Slibconcentratie-kaarten

In Figuur 10 is de maximale concentratie fijn sediment gedurende de simulatie over de gehele waterkolom te zien. Dit is de extra concentratie als gevolg van het ingraven, de achtergrondconcentratie is hierin niet meegenomen. De percentuele bijdrage van de extra concentratie ten opzichte van een achtergrondconcentratie van 15 mg/l is ook getoond. De concentratie is circa 50 mg/l vlakbij het tracé en neemt aan weerszijde van het tracé snel af. Op sommige secties strekt de pluim zich vooral naar het oosten uit, op andere vooral naar het westen. Dit wordt veroorzaakt door het op een verschillende manier samenvallen van de verschillende lozingen met de fase van het getij. De hoogste lokale concentraties nabij het tracé worden bereikt wanneer geloosd wordt tijdens stroomkentering.

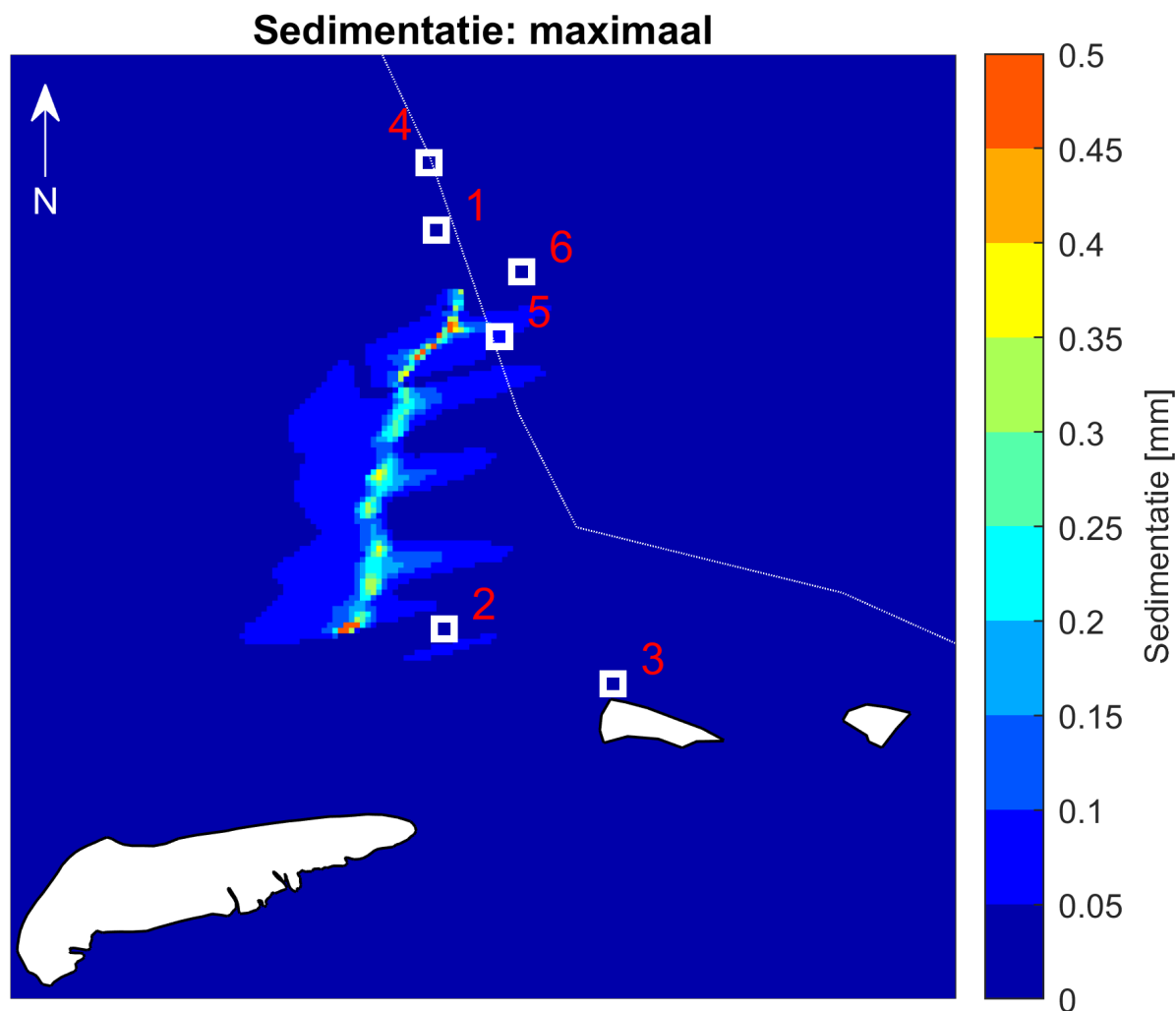


Figuur 10: Maximale concentratie fijn materiaal en de maximale bijdrage ten opzichte van de achtergrondconcentratie van 15 mg/l over de gehele waterkolom gedurende de simulatie. De gevoelige locaties zijn aangegeven met witte vierkantjes en een nummer (1 = oesterbankherstelproject, 2= Noordzeekustzone, 3 = Rottumerplaat, 4 = Borkum Riffgrund, 5 = Niedersächsisches Wattermeer und angrenzendes Küstenmeer), 6 = Küstenmeer Ems-Ästuar, de Nederlands-Duitse grens met een stippellijn.

4.3.2 Sedimentatie-kaarten

In Figuur 11 is de maximale sedimentatiedikte van fijn sediment gedurende de simulatie te zien. De maximale sedimentatiedikte van fijn sediment is circa 0,5 mm nabij het tracé. Gerealiseerd moet worden dat de

afmetingen van de rekenroostercellen in het model rondom het tracé op z'n kleinst circa 100 meter is; daarbinnen is geen gedetailleerdere informatie beschikbaar. De 0,5 mm sedimentatiedikte van fijn sediment is de ruimtelijk-gemiddelde sedimentatiedikte binnen zo'n 100-meter rekenroostercel. In het sedimentatiepatroon is het getijdepatroon van eb, vloed en kentering goed te zien.



Figuur 11: Maximale sedimentatie van fijn materiaal gedurende de simulatie. De gevoelige locaties zijn aangegeven met witte vierkantjes en een nummer (1 = oesterbankherstelproject, 2= Noordzeekustzone, 3 = Rottumerplaat, 4 = Borkum Riffgrund, 5 = Niedersächsisches Wattermeer und angrenzendes Küstenmeer), 6 = Küstenmeer Ems-Ästuar, de Nederlands-Duitse grens met een stippellijn.

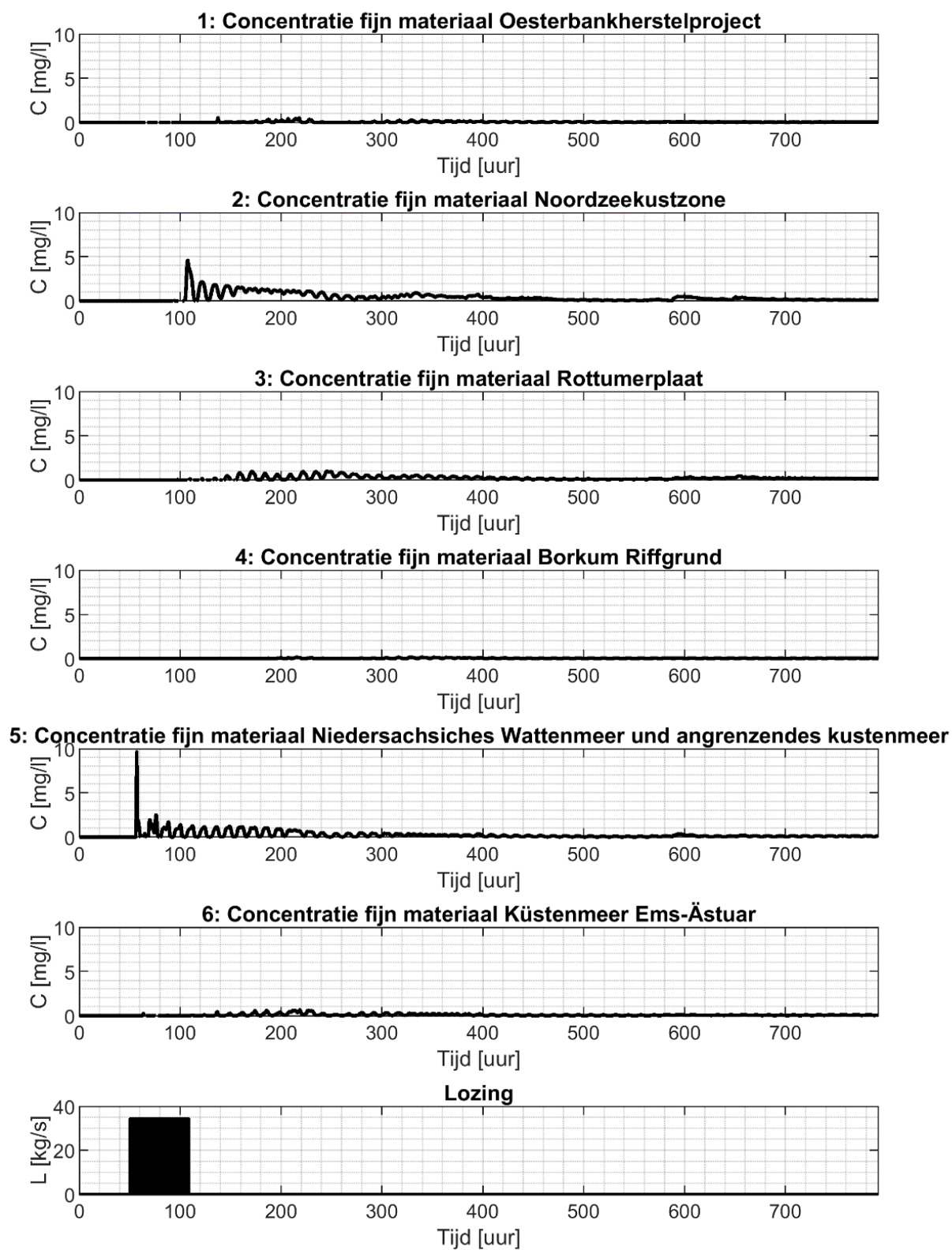
4.3.3 Tijdseries

In Figuur 12, Figuur 13 en Figuur 14 is de variatie in de concentratie fijn materiaal en de sedimentatiedikte over de tijd te zien ter hoogte van de modeluitvoerpunten langs de natuurgebieden (zie Figuur 7) en het N05-A platform.

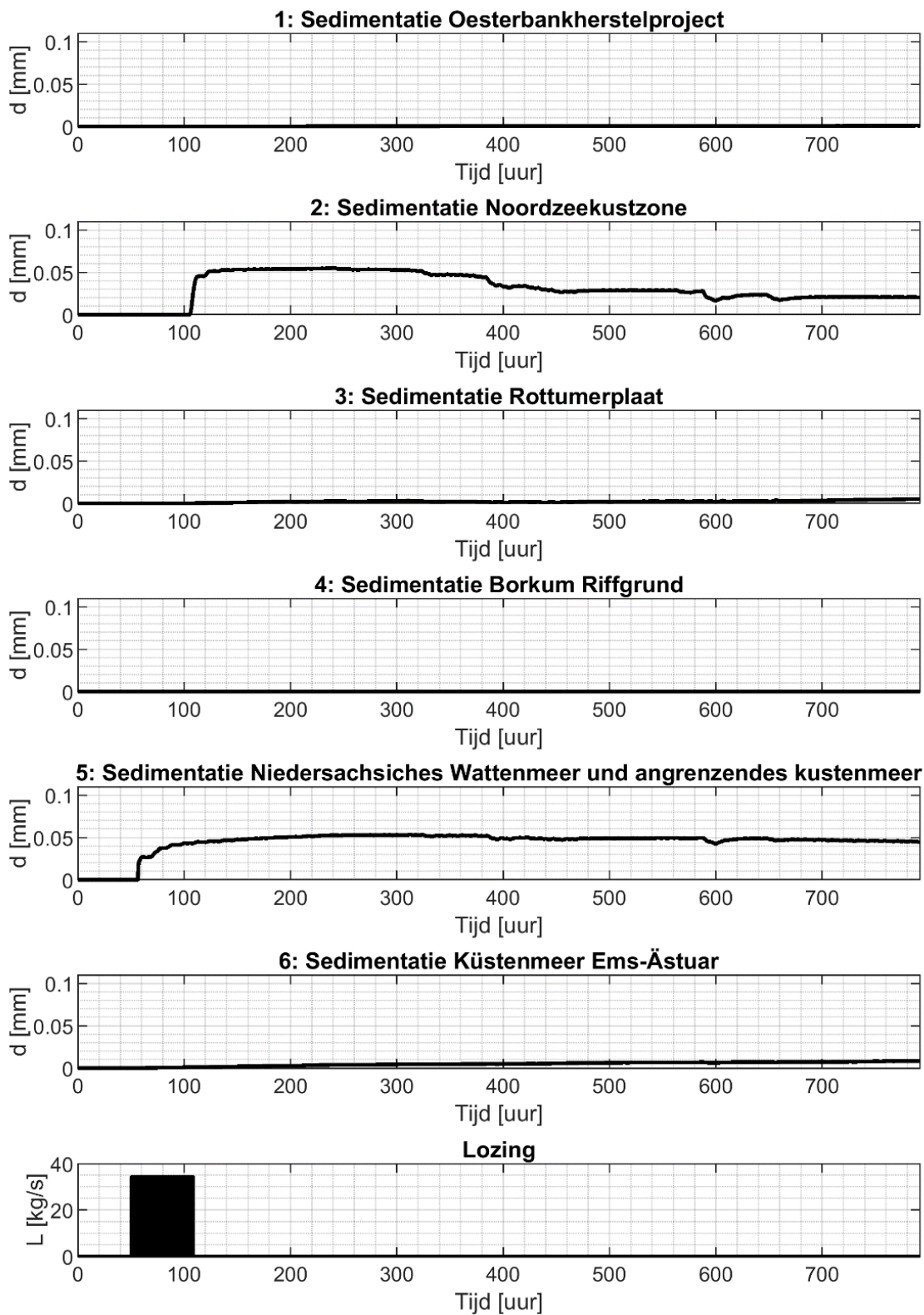
De concentraties geven de maximale concentratie over de waterkolom aan. Ter illustratie is de lozing over de tijd toegevoegd. De maximale concentratie bij de Noordzeekustzone is circa 4,6 mg/l, de maximale sedimentatie is hier 0,05 mm. Dit blijft gedurende 200 uur redelijk constant en neemt daarna licht af. Rond deze periode zien we ook een lichte toename in de concentratie.

Bij Niedersachsiches Wattenmeer und angrenzendes Kustenmeer is de maximale concentratie circa 9,6 mg/l bij het begin van het trenchen. De sedimentatie neemt hier toe tot 0,05 mm en blijft redelijk constant. Het feit dat de sedimentatiedikte op laatstgenoemde locatie constant blijft terwijl die bij de Noordzeekustzone na 250 uur begint af te nemen komt door het verschil in diepte tussen de twee locaties. Het beoordelingspunt in het Niedersachsiches Wattenmeer und angrenzendes Kustenmeer bevindt zich op een diepte van circa 21 meter en het beoordelingspunt bij de Noordzeekustzone op een diepte van circa 9 meter.

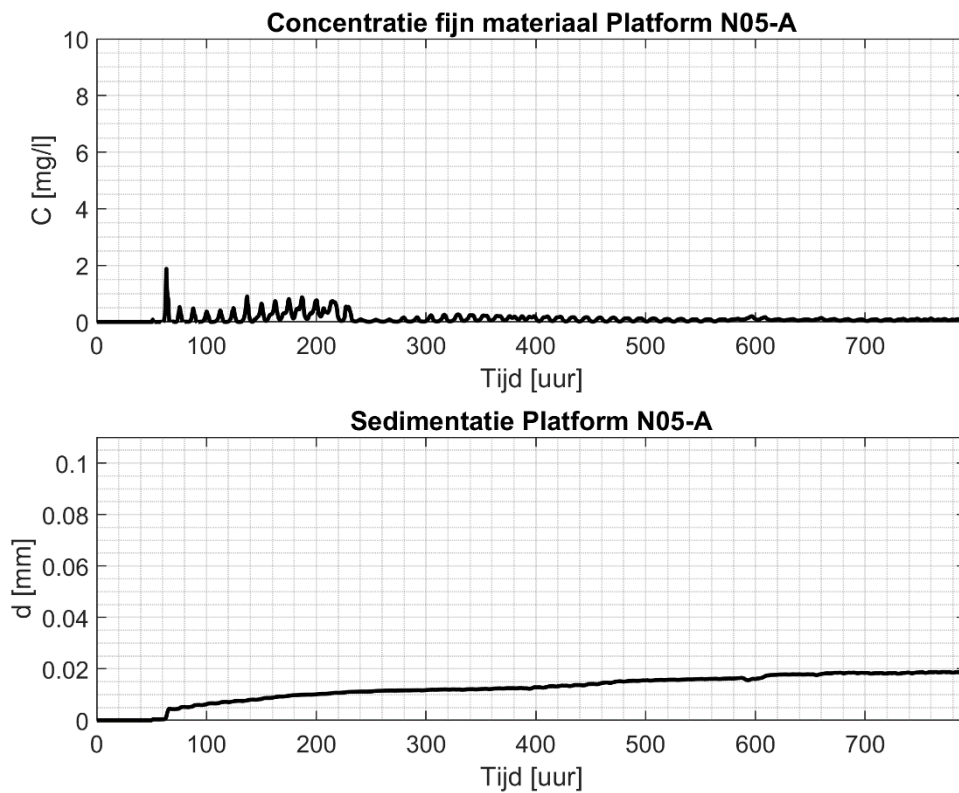
Op ondieper water hebben golven en stroming meer invloed op de bodem en is de bodemschuifspanning hoger: een deel van het gesedimenteerde materiaal erodeert weer. Bij het N05-A-platform is de maximale concentratie circa 1,9 mg/l, de sedimentatie is 0,02 mm. Bij de overige locaties blijft de concentratie onder de 1 mg/l en de sedimentatie onder de 0,01 mm.



Figuur 12: Maximale concentratie fijn sediment over de waterkolom ter plaatse van de gevoelige locaties



Figuur 13: Sedimentatie van fijn sediment over de waterkolom ter plaatse van de gevoelige locaties



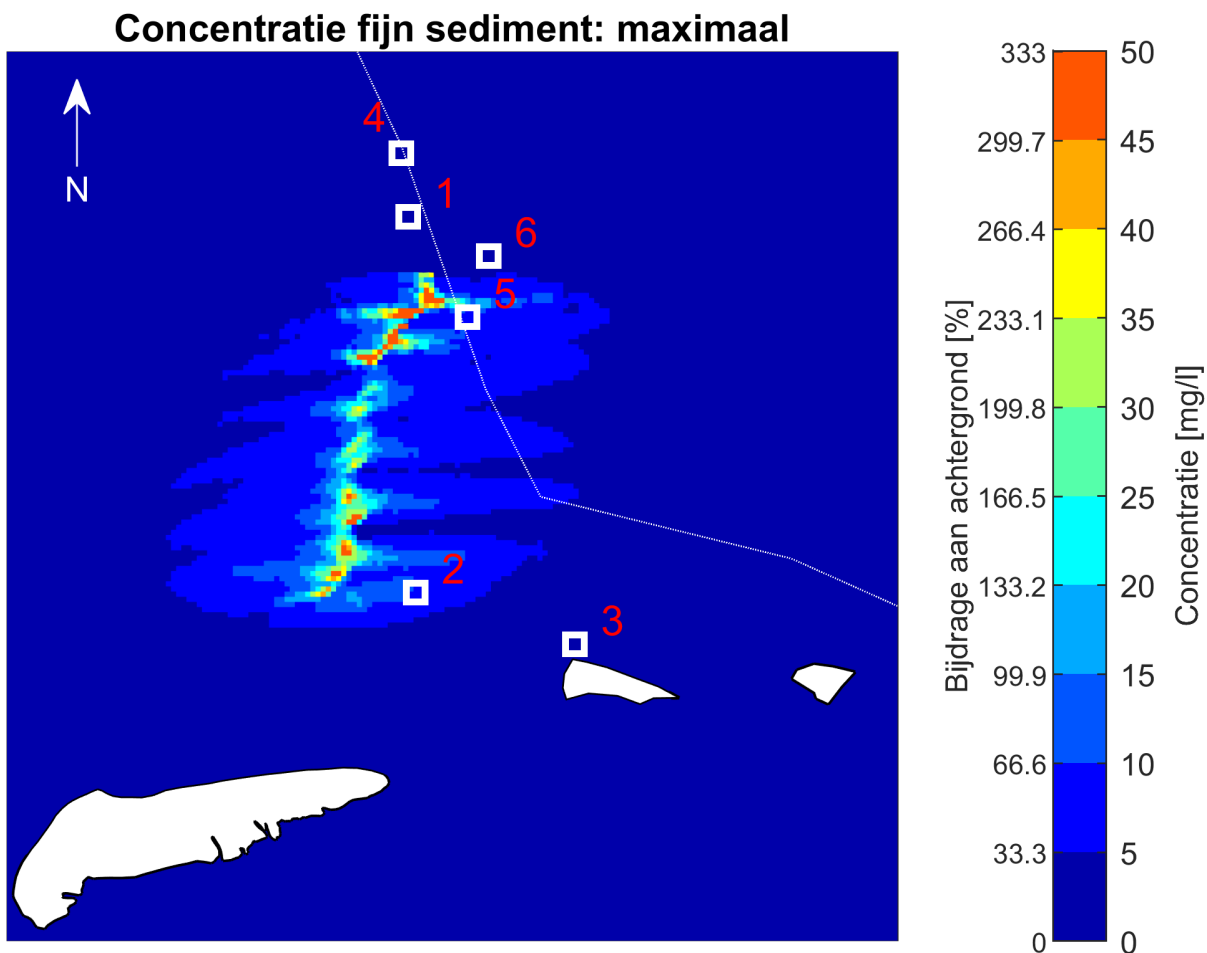
Figuur 14: Maximale concentratie fijn sediment over de waterkolom en sedimentatie ter plaatse van het N05-A platform

4.4 Variant 'Jetten'

Deze paragraaf toont de resultaten van de pluimstudie voor de variant 'Jetten'.

4.4.1 Slibconcentratie-kaarten

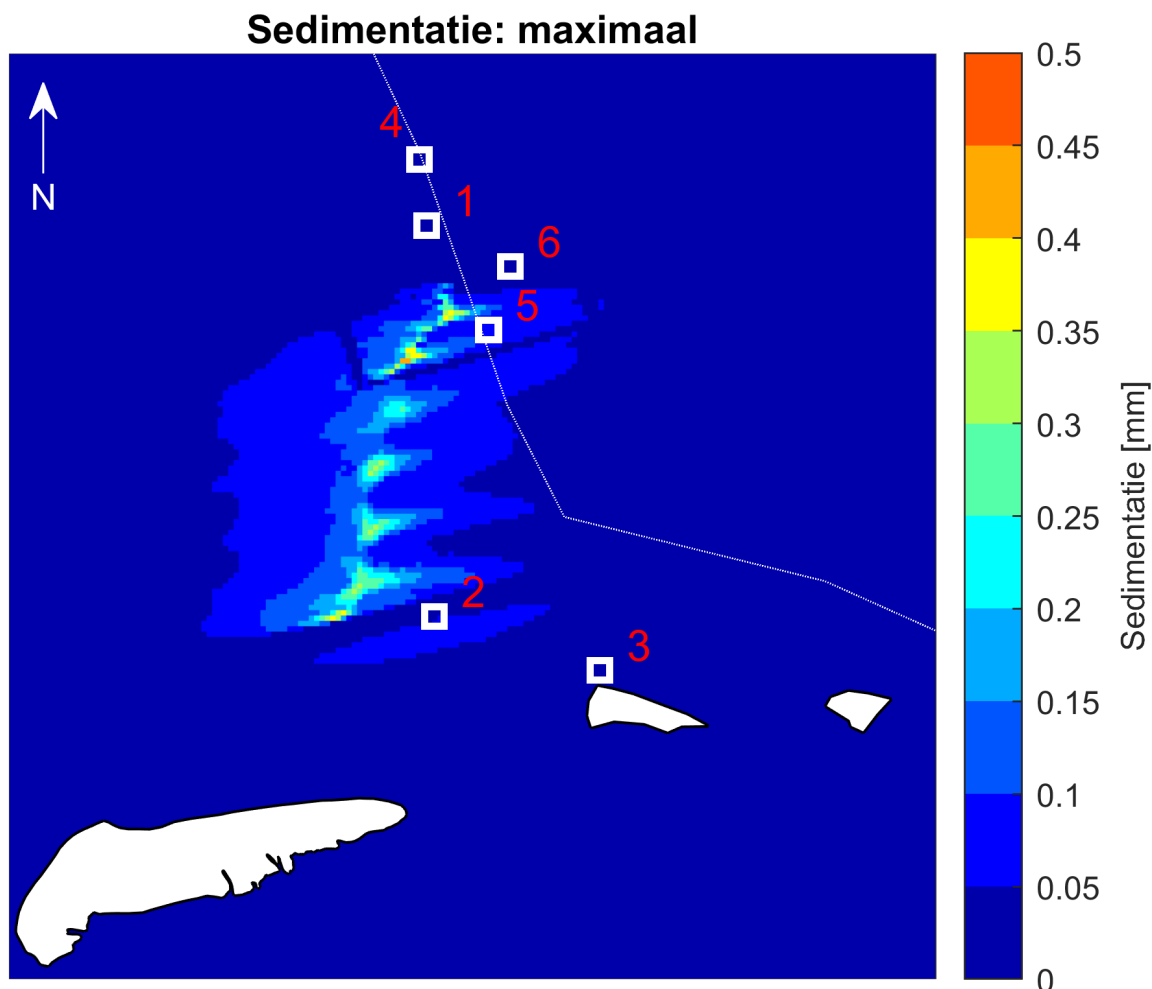
In Figuur 15 is de maximale concentratie fijn materiaal gedurende de simulatie over de gehele waterkolom te zien. Dit is de extra concentratie als gevolg van het jetten, de achtergrondconcentratie is hierin niet meegenomen. De percentuele bijdrage van de extra concentratie ten opzichte van een achtergrondconcentratie van 15 mg/l is ook getoond. De maximale concentratie is circa 50 mg/l vlakbij het tracé en neemt aan weerszijde van het tracé snel af. De pluim is wat omvangrijker dan bij het trenchen, vooral te zien in de uitlopers van de pluim richting het oosten en westen.



Figuur 15: Maximale concentratie fijn materiaal en de maximale bijdrage ten opzichte van de achtergrondconcentratie van 15 mg/l over de gehele waterkolom gedurende de simulatie. De gevoelige locaties zijn aangegeven met witte vierkantjes en een nummer (1 = oesterbankherstelproject, 2= Noordzeekustzone, 3 = Rottumerplaat, 4 = Borkum Riffgrund, 5 = Niedersächsisches Wattermeer und angrenzendes Küstenmeer), 6 = Küstenmeer Ems-Ästuar, de Nederlands-Duitse grens met een stippellijn.

4.4.2 Sedimentatie-kaarten

In Figuur 16 is de maximale sedimentatie van fijn materiaal gedurende de simulatie te zien. De maximale sedimentatie is circa 0,5 mm vlakbij het tracé. Ook hier is in het sedimentatiepatroon het getijdepatroon te onderscheiden. Gerealiseerd moet worden dat de afmetingen van de rekenroostercellen in het model rondom het tracé op z'n kleinst circa 100 meter is; daarbinnen is geen gedetailleerdere informatie beschikbaar. De 0,5 mm sedimentatiedikte van fijn sediment is de ruimtelijk-gemiddelde sedimentatiedikte binnen zo'n 100-meter rekenroostercel.

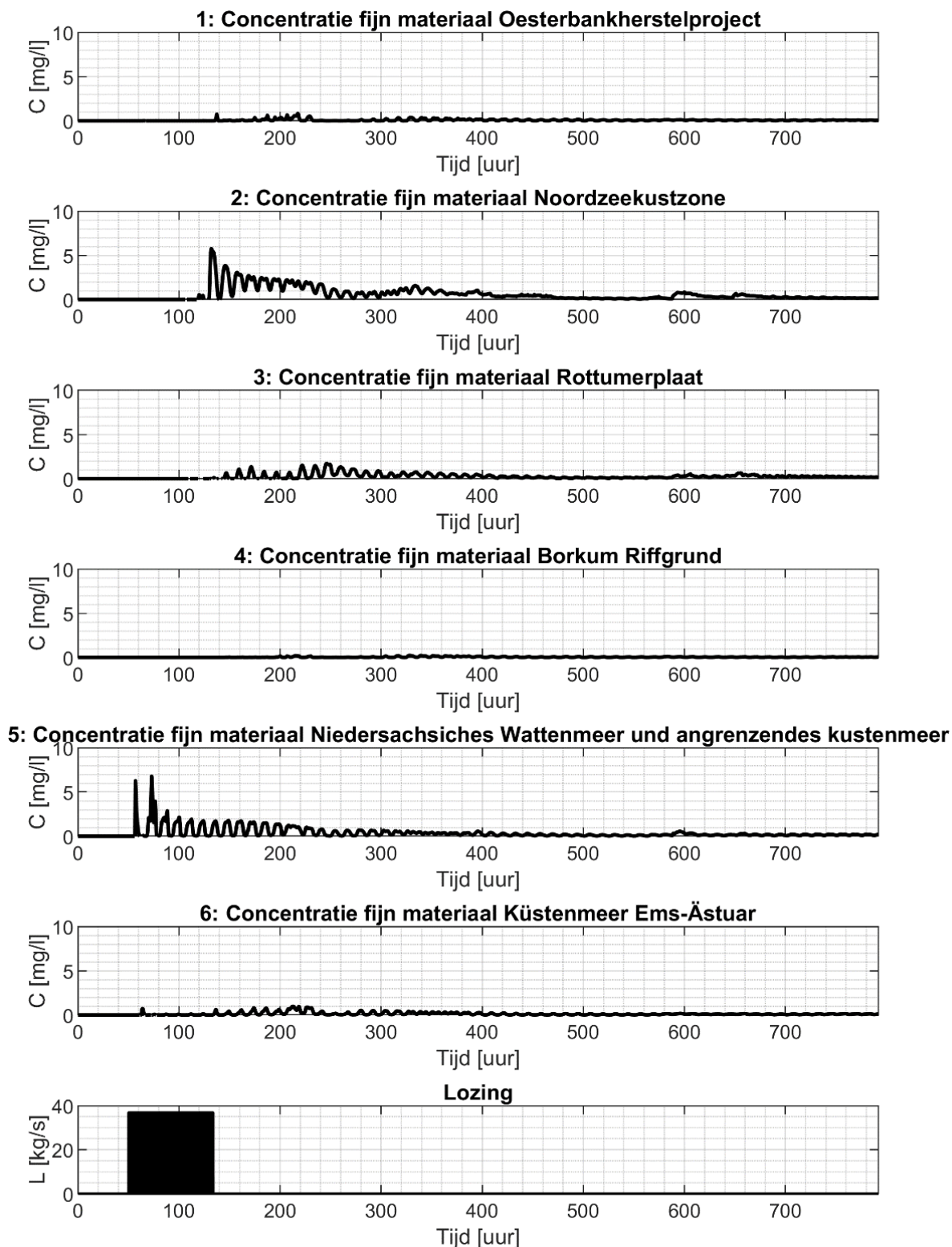


Figuur 16: Maximale sedimentatie van fijn materiaal gedurende de simulatie. De gevoelige locaties zijn aangegeven met witte vierkantjes en een nummer (1 = oesterbankherstelproject, 2= Noordzeekustzone, 3 = Rottumerplaat, 4 = Borkum Riffgrund, 5 = Niedersachsiches Wattermeer und angrenzendes Küstenmeer), 6 = Küstenmeer Ems-Ästuar, de Nederlands-Duitse grens met een stippe lijn.

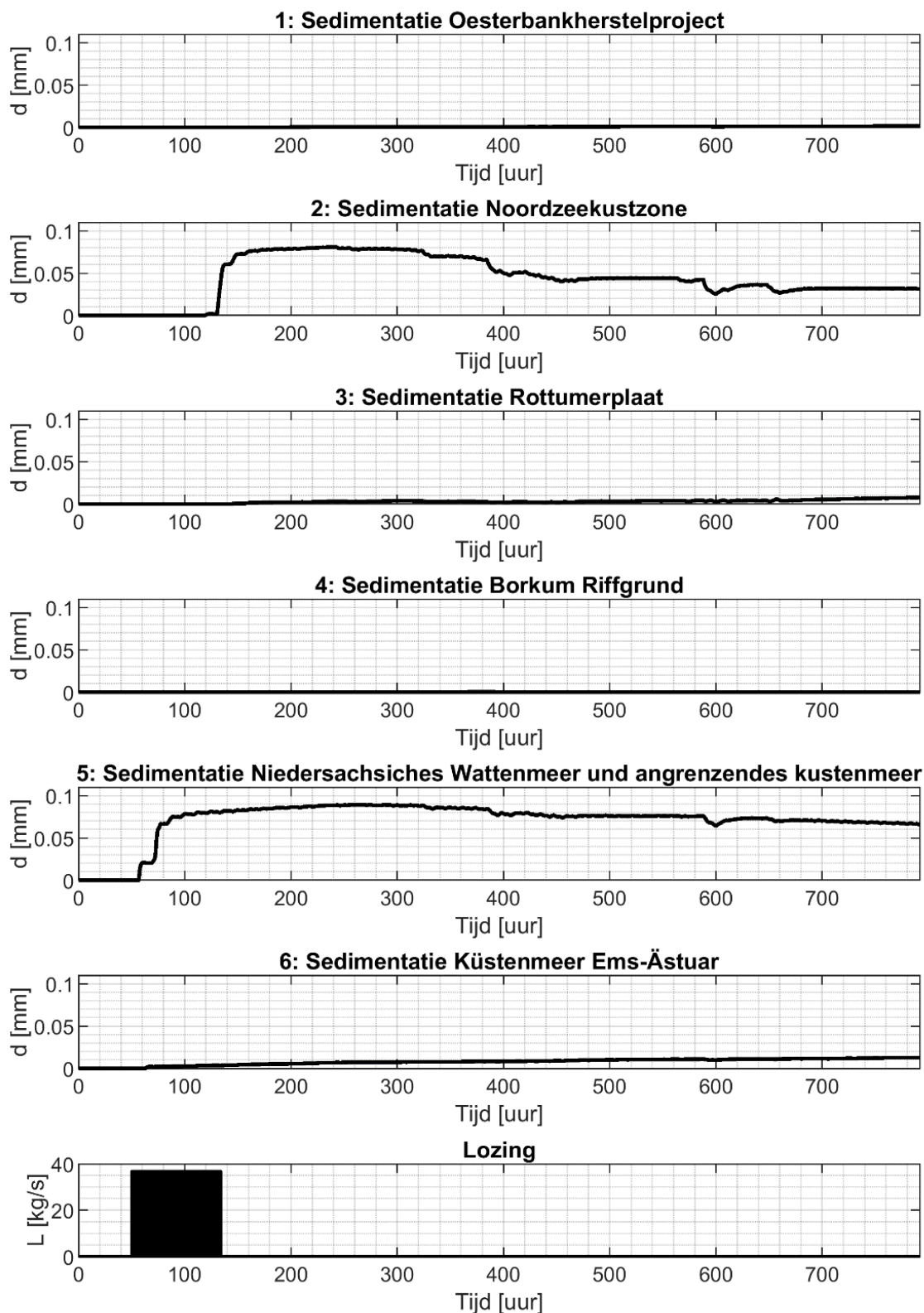
4.4.3 Tijdseries

In Figuur 17, Figuur 18 en Figuur 19 is de variatie in de concentratie fijn materiaal en de sedimentatiedikte over de tijd te zien ter hoogte van de modeluitvoerpunten langs de natuurgebieden (zie Figuur 7) en het N05-A platform.

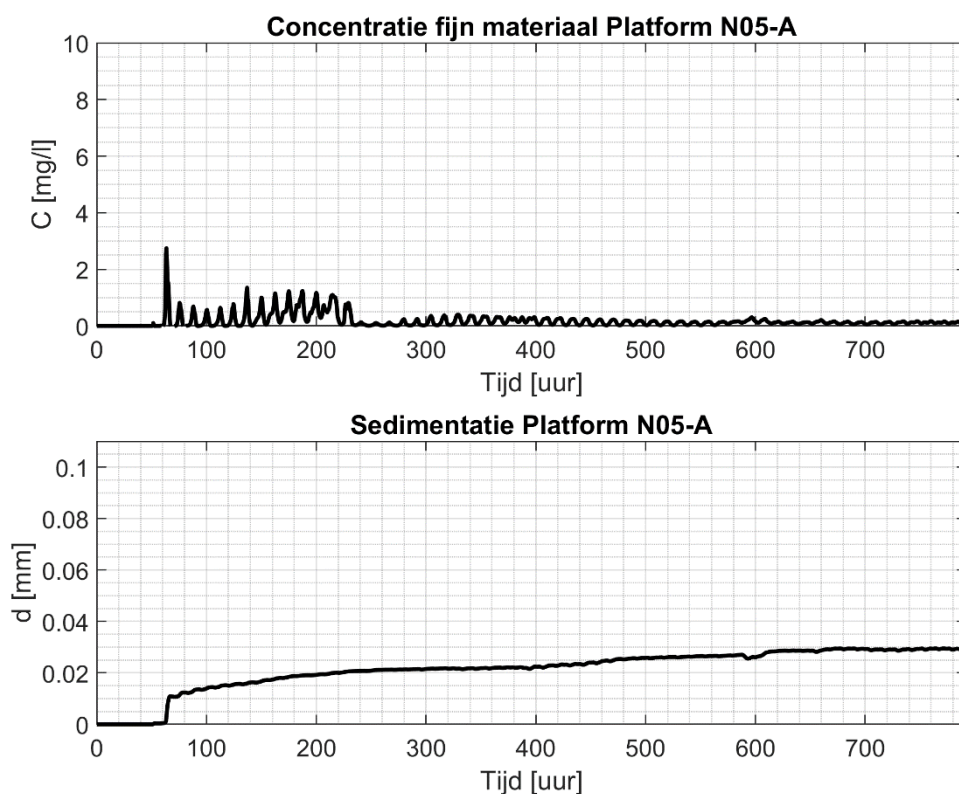
De concentraties geven de maximale concentratie over de waterkolom aan. Ter illustratie is de lozing over de tijd toegevoegd. De maximale concentratie bij de Noordzeekustzone is circa 5,7 mg/l, de maximale sedimentatie is hier <0,1 mm. Dit blijft gedurende 200 uur redelijk constant en neemt daarna licht af. Rond deze periode zien we ook een lichte toename in de concentratie. Bij Niedersachsiches Wattenmeer und angrenzendes Küstenmeer is de maximale concentratie circa 6,7 mg/l. De sedimentatie neemt hier toe tot 0,09 mm en blijft redelijk constant. Bij het N05-A-platform is de maximale concentratie circa 2,5 mg/l, de maximale sedimentatie is 0,03 mm. Bij de overige locaties blijft de concentratie onder de 2 mg/l en de sedimentatie onder de 0,01 mm.



Figuur 17: Maximale concentratie fijn sediment over de waterkolom ter plaatse van de gevoelige locaties



Figuur 18: Sedimentatie van fijn sediment ter plaatse van de gevoelige locaties



Figuur 19: Maximale concentratie fijn sediment over de waterkolom en sedimentatie ter plaatse van het N05-A platform

4.5 Vergelijking tussen de varianten

Het volume bodemmateriaal wat per strekkende meter wordt opgegraven is groter bij het mechanical trenchen dan bij het jetten. Echter, aangezien ervan uit wordt gegaan dat bij het jetten 100% van het fijne materiaal vrijkomt, terwijl dit bij het mechanical trenchen maar 50% is, is de totale hoeveelheid vrijkomend fijn materiaal hoger bij het jetten. Dit wordt gecompenseerd doordat in de modelberekeningen de graafsnelheid bij het jetten lager is dan bij het mechanical trenchen, waardoor uiteindelijk de bronterm (de hoeveelheid geloosd materiaal per tijdseenheid) vergelijkbaar is voor de twee varianten. In de praktijk heeft de graafsnelheid een bandbreedte (50 – 300 m/uur voor het jetten en 200 – 300 m/uur voor het mechanical trenchen), waardoor de verschillen in de praktijk groter of kleiner kunnen zijn.

Door de in de modelberekeningen gebruikte gemiddelde graafsnelheden houdt de bronterm bij jetten per leidingsectie langer aan dan bij trenchen. Dit zorgt ervoor dat bij het jetten de pluim van verhoogde sedimentconcentraties omvangrijker is dan bij het trenchen. Hierbij speelt ook mee dat de lozing bij het jetten hoger in de waterkolom plaatsvindt (4 meter boven de zeebodem in de modelberekening), terwijl de lozing van het trenchen dichtbij de zeebodem plaatsvindt. In de praktijk kan de lozing bij het jetten lager plaatsvinden. De stroomsnelheid op 4 meter hoogte is groter dan vlakbij de zeebodem en het sediment kan zich dus verder verspreiden. Ook de sedimentatie vindt verspreid over een groter oppervlak plaats bij het jetten en de sedimentatie op de gevoelige locaties is groter. Een overzicht van de concentraties en sedimentatie voor de twee varianten is te vinden in Tabel 2.

Tabel 2: Overzicht van de maximale sedimentconcentraties en de sedimentatie op de gevoelige locaties voor de twee varianten

Gevoelige locaties	Maximale concentratie over de gehele waterkolom [mg/l]		Maximale sedimentatie [mm]	
	Trenchen	Jetten	Trenchen	Jetten
Oesterbankherstelproject	0,3	0,8	<0,01	<0,01
Noordzeekustzone	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 angrenzendes Küstenmeer	9,6	6,7	0,05	0,09
Küstenmeer Ems-Ästuar	0,6	0,8	<0,01	0,01
N05-A	1,9	2,5	0,02	0,03

5 Discussie

De resultaten zoals beschreven in hoofdstuk 4 zijn gebaseerd op een aantal aannames in de modelinput. De belangrijkste aannames hierbij zijn gericht op de sedimenteigenschappen van de zeebodem ter plekke (uit een onderzoek blijkt alleen het type materiaal, niet de exacte samenstelling of korrelgrootteverdelingen), het percentage van het fijne sediment dat bij het ingraven in suspensie komt, de snelheid van de graafmachine (die een bandbreedte heeft), de timing van het ingraven ten opzichte van de hydrodynamische condities (getij en golven) en intrinsieke modelonzekerheden. Deze studie geeft dus een indicatief beeld van de sedimentpluimen die kunnen ontstaan bij het ingraven van de pijpleiding.

De eigenschappen van de zeebodem langs het tracé, waaronder het percentage fijn sediment, cohesiviteit (kleverigheid) en de dichtheid van het sediment, zijn onzekere factoren in deze studie. De cohesiviteit van het sediment kan er bijvoorbeeld voor zorgen dat het sediment als brokstukken wordt uitgegraven in plaats van als kleine losse deeltjes die in suspensie komen. Ook de verhouding tussen het fijne sediment en de zandfractie bepaald mede hoeveel sediment er in suspensie komt en hoever zich dit verspreidt.

Naast de bodemeigenschappen ter plekke is ook het percentage fijn materiaal dat daadwerkelijk in suspensie wordt gebracht (en dus niet in de zandhopen terecht komt) onzeker. De keuze voor dit percentage werkt lineair door in de brontermen en is dus ook medebepalend voor de sedimentpluimen die ontstaan bij het ingraven.

Ook is er een bandbreedte in de rijsnelheid van de graafmachine. Vooral bij het jetten is er een grote bandbreedte van 50 – 300 m/uur, wat een groot verschil maken in de brontermen: een twee keer zo grote rijsnelheid geeft een tweemaal zo grote bronterm in die sectie. Hierbij moet echter wel gerealiseerd worden dat het totale ingraafproces dan ook tweemaal zo kort duurt, waardoor het totale effect op de sedimentconcentratie en sedimentatie beperkt blijft.

Ook de timing van het ingraven is bepalend voor de pluimvorming. Het verschilt namelijk of gestart wordt met ingraven tijdens eb, vloed of kentering. Aangezien per sectie van de leiding maar circa een uur geloosd wordt, hangt de exacte vorm van de pluim (de uitlopers richting het oosten en westen) af van deze timing. Daarnaast is er ook een langdurigere variatie in het getij: springtij en doortij. Om de 14 dagen treedt springtij op en om de 14 dagen doortij. Aangezien de totale lozingsduur in de orde van een aantal dagen is, heeft ook deze timing effect op de pluimverspreiding. Ook kan de timing ten opzichte van bijvoorbeeld een storm en het seizoen effect hebben op de verspreiding en sedimentatie van het fijne sediment.

Verder is een model zoals Delft3D een versimpeling van de werkelijkheid. Zo wordt een rekenrooster gebruikt om het aantal rekenpunten waarin de sturende processen en verspreiding van het fijne materiaal berekend wordt terug te brengen tot een behapbaar aantal. Dit kan ten koste gaan van het detailniveau: de ruimtelijke variatie in sedimentconcentratie en sedimentdikte binnen de cellen van het rekenrooster blijven onbekend. Bovendien worden processen die op een kleinere schaal dan de afmeting van de rekenroostercellen plaatsvinden (bijv. turbulentie) niet nauwkeurig berekend. De onzekerheidsmarge bij sedimenttransportberekeningen is hierdoor typisch in de orde van -50 tot +100%, wat betekent dat de concentraties en sedimentatie de helft tot twee keer zo groot kunnen zijn.

De resultaten van deze studie zijn gericht op de aanvullende sedimentconcentratie en aanzanding als gevolg van het ingraven van de leiding. Deze komen bovenop de natuurlijke achtergrondconcentratie en -sedimentatie: de Noordzee is een dynamisch systeem met natuurlijke achtergrondconcentratie en -sedimentatie die variëren over het jaar. Voor de effectbepaling van het ingraven van de leiding zijn de additionele sedimentconcentraties in verhouding gezet met de achtergrondconcentratie. De achtergrondconcentratie

varieert nogal in de tijd en ruimte, maar is diepte- en jaargemiddeld in de orde van 15 mg/l in dit deel van de Noordzee. De modelberekeningen in deze studie laten zien dat de extra sedimentconcentratie in de gevoelige gebieden lager is dan circa 10 mg/l, wat niet dieptegemiddeld is maar ergens in de waterkolom. Bovendien vindt de extra sedimentconcentratie gedurende een korte periode van enkele uren tot een paar dagen plaats. Dicht langs het tracé zijn hogere sedimentconcentraties te verwachten, ze zijn hier lokaal zo'n 50 mg/l. Wat betreft de achtergrondsedimentatie: de maximale sedimentatie van het fijne sediment van 0,1 mm is zeer klein vergeleken met de natuurlijke dynamiek van de zeebodem, gezien de zandribbels van enkele centimeters hoog op de zeebodem.

Door bovenstaande aannames en onzekerheden moeten de resultaten van de modellering eerder als een antwoord met ordegrootte worden gezien, in plaats van een exact antwoord.

6 Conclusies

In deze studie is de verspreiding van fijn bodemmateriaal gemodelleerd, wat als gevolg van het ingraven van een pijpleiding in suspensie komt. Hierbij zijn twee varianten geanalyseerd: de variant **'Trenching'** en de variant **'Jetten'**. Op basis van de modellering zijn de toegevoegde concentraties en sedimentatie rondom het tracé bepaald als gevolg van de graafwerkzaamheden. Dus zonder de natuurlijke achtergrondconcentraties in de Noordzee. Er is vooral gekeken naar de maximale concentraties tijdens het graven en de variatie in concentraties en maximale sedimentatiedikte op specifieke locaties. Een beoordeling van de twee varianten wordt in deze studie niet gegeven. Hiervoor wordt verwezen naar de natuurtoets in bijlage M9 van deel 2: Milieueffecten.

De modelberekeningen laten zien dat de maximale toename in slibconcentratie hoog is direct langs het tracé en sterk afneemt met de afstand aan weerszijden van de leiding. Het trenchen of jetten leidt op de volgende plaatsen tot de onderstaande verwachte toenames ten opzichte van een achtergrondconcentratie van 15 mg/l, zie Tabel 3. Hierbij dient wel rekening gehouden te worden met een onzekerheidsmarge van orde -50% tot +100%.

Tabel 3: Maximale percentuele toename ten opzichte van de achtergrondconcentratie van 15 mg/l voor de varianten

Locatie	Maximale toename in concentratie (%) ten opzichte van een achtergrondconcentratie van 15 mg/l	
	Variante 'Trenching'	Variante 'Jetten'
Oesterbankherstelproject	2	5
Noordzeekustzone	31	38
Rottumerplaat	6	10
Borkum Riffgrund	1	1
Niedersächsisches Wattenmeer und angrenzendes Küstenmeer	64	45
Küstenmeer Ems-Ästuar	4	5
N05-A	13	17

Op de locaties vlakbij het tracé, zoals de Noordzeekustzone en Niedersächsisches Wattenmeer und angrenzendes Küstenmeer, zijn de toenames van korte duur (wanneer de graafmachine passeert) en is de concentratie gehalveerd na circa een halve tot een hele dag. Op de overige locaties, die niet direct bij het tracé liggen maar waar het gesuspendeerde sediment door de stroming naartoe vervoerd wordt, is de toename veel lager, maar kan deze wel langer aanhouden. Zo is de concentratie bij Borkum Riffgrund maximaal 0,2 mg/l, aan het eind van de maand nog circa 0,05 mg/l. Let wel, al deze concentraties zijn zeer laag vergeleken met de natuurlijke achtergrondconcentraties.

De extra sedimentatie van opgewoeld slib is in de orde van 0,5 mm direct langs het tracé. Bij Niedersächsisches Wattenmeer und angrenzendes Küstenmeer is dit 0,05 mm voor de variante **'Trenching'** en 0,09 mm voor de variante **'Jetten'**. Bij de Noordzeekustzone is dit respectievelijk 0,05 mm (trenchen) en 0,08 mm (jetten). De sedimentatie bij het oesterbankherstelproject is bij beide varianten in de orde van 0,01 mm. De berekende extra sedimentatie van opgewoeld slib is duidelijk kleiner dan de natuurlijke sedimentatie en erosie in het gebied, wat op basis van de zandribbels in de orde van centimeters ligt.

De sedimentconcentraties zijn hoger in de variante **'Jetten'** dan in de variante **'Trenching'**. Een reden hiervoor is dat in de variante **'Jetten'** per strekkende meter meer fijn sediment in suspensie wordt gebracht. Een andere reden is dat het fijne sediment in de variante **'Jetten'** hoger in de waterkolom wordt geloosd,

waardoor het sediment verder verspreid wordt. Dit hoger lozen in de waterkolom is echter een optie en geen vereiste, waardoor het gezien kan worden als een conservatieve benadering. Ook de sedimentatie van het fijne sediment is wat groter in de variant '**Jetten**' ten opzichte van de variant '**Trenching**'.

7 Referenties

- [1] Royal HaskoningDHV, „BG1359-RHD-ZZ-XX-RP-Z-0001 Pluimmodellering N05A - Concept,” 2019.
- [2] GEO XYZ Offshore, „Survey Report - N5A to NGT Hot tap,” 2019.
- [3] RIKZ, „Variability of near-surface total suspended matter concentrations in the Dutch coastal zone of the North Sea,” Rapport RIKZ/OS/2001.150X, 2001.
- [4] „Introduction to pipelaying, 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]. [Geopend 06 01 2020].
- [7] RIKZ, „Atlas of near-surface total suspended matter concentrations in the Dutch coastal zone of the North Sea,” Report RIKZ/2002.059, 2002.