

RAPPORT

Pluimmodellering boringen

Milieueffectrapport Gaswinning N05-A

Klant: ONE-Dyas B.V.

Referentie: BG6396IBRP2010071009

Status: Definitief/2.0

Datum: 7-10-2020

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 boringen

Ondertitel: Pluimmodellering boringen
Referentie: BG6396IBRP2010071009
Status: 2.0/Definitief
Datum: 7-10-2020
Projectnaam: Milieueffectrapport Gaswinning N05-A
Projectnummer: BG6396-105

Classificatie

Projectgerelateerd

Behoudens andersluidende afspraken met de Opdrachtgever, mag niets uit dit document worden vervaelvoudigd 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 persoonsgegevens van medewerkers van HaskoningDHV Nederland B.V. en dient voor publicatie of anderszins openbaar maken te worden geanonimiseerd.

Inhoud

1	Inleiding	1
1.1	Achtergrond	1
1.1.1	Algemeen	1
1.1.2	Omgeving	1
1.1.3	Boorproces	2
1.2	Methodiek	3
1.3	Leeswijzer	3
2	Projectbeschrijving	4
2.1	Inleiding	4
2.2	Projectlocatie	4
2.3	Uitvoering van de boring	5
2.4	Bepaling brontermen	6
2.5	Natuurgebieden in de omgeving van N05-A	8
3	Historische data	10
3.1	Inleiding	10
3.2	Stromingscondities	10
3.3	Waterstand	13
3.4	Wind	15
3.5	Golfcondities	17
3.6	Sediment op de zeebodem	18
3.7	Natuurlijke slibconcentratie	19
3.8	Scenariokeuze	22
4	Opzet en validatie van het numerieke model	25
4.1	Inleiding	25
4.2	Gebruikte software	25
4.3	Modelschematisatie	25
4.3.1	Originele ZUNO-model	25
4.3.2	Aanpassingen in het model	25
4.3.3	Modellering van boorspoeling en opgeloste stoffen	27
5	Verspreiding van boorspoeling en tracers rondom N05-A	29
5.1	Algemeen	29
5.2	Scenario Maart	29
5.2.1	Bariet en bentoniet in boorspoeling	29
5.2.2	Opgeloste stoffen in boorspoeling	36

5.3	Overzicht resultaten voor de drie scenario's	43
5.3.1	Bariet en bentoniet in boorspoeling	43
5.3.2	Opgeloste stoffen in boorspoeling	44
6	Discussie	46
6.1	Vergelijking van de scenario's	46
6.2	Relevantie resultaten ten opzichte van natuurlijke processen	46
6.3	Onzekerheden	47
6.4	Batch-drilling versus serieel boren	48
7	Conclusies en aanbevelingen	51
7.1	Conclusies	51
7.2	Aanbevelingen	52
8	Referenties	53

Bijlagen

Opzet van het numerieke model

A1	Opzet van het numerieke model
A1.1	Modeldomain en rekenrooster
A1.2	Bathymetrie
A1.3	Tijdstap
A1.4	Observatiepunten
A1.4.1	Voor validatie
A1.5	Initiële condities
A1.6	Bodemruwheid
A1.7	Eddy viscositeit en diffusiviteit
A1.7.1	Viscositeit
A1.7.2	Diffusiviteit
A1.8	Saliniteit en temperatuur
A1.9	Randvoorwaarden
A1.10	Modeluitvoer
A1.11	Overige modelinstellingen en invoerparameters
A1.12	Golfmodel
A1.12.1	Rekenrooster en bodem
A1.12.2	Randvoorwaarden
A1.12.3	SWAN settings

A1.12.4 Validatie van het golfmodel

A1.13 Lozing van boorspoeling

A1.13.1 Locatie

A1.13.2 Hoogte

A1.13.3 Brontermen

A1.14 Vergelijking van de hydrodynamica van het aangepaste en originele ZUNO-model

Modelresultaten voor N05-A

A2 Modelresultaten voor N05-A

A2.1 Scenario Maart

A2.2 Scenario Oktober

A2.2.1 Algemeen

A2.2.2 Boorspoeling

A2.2.3 Tracers

A2.3 Scenario November

A2.3.1 Boorspoeling

A2.3.2 Tracers

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

1.1.1 Algemeen

In opdracht van ONE-Dyas heeft Royal HaskoningDHV een Milieueffectrapport (MER) opgesteld voor de ontwikkeling van het gasveld N05-A en opsporing en winning van de *prospects* rond N05-A. Bij het boren van de gasputten komt boorgruis en boorspoeling vrij. Het boorgruis met boorspoeling op oliebasis wordt per schip afgevoerd naar een verwerker op land. Voor het boorgruis met boorspoeling op waterbasis worden in het MER twee varianten bekeken. In de variant 'Afvoer boorgruis en -spoeling' wordt boorgruis en boorspoeling op waterbasis ook per schip afgevoerd naar een verwerker op land. Dit heeft geen effect in het water en wordt in deze studie niet nader beschouwd. In de variant 'Lozing boorgruis en -spoeling' wordt boorgruis en boorspoeling op waterbasis vanaf het boorplatform via een pijp onder het wateroppervlak in zee geloosd. Dit zorgt voor verhoogde concentraties fijn sediment en meer sedimentatie van fijn sediment in de omgeving van het platform. Een kwantitatieve onderbouwing van deze effecten door middel van pluim- en sedimentatiemodellering is gewenst vanwege de natuurwaarden in het gebied, waaronder Natura 2000-gebieden.

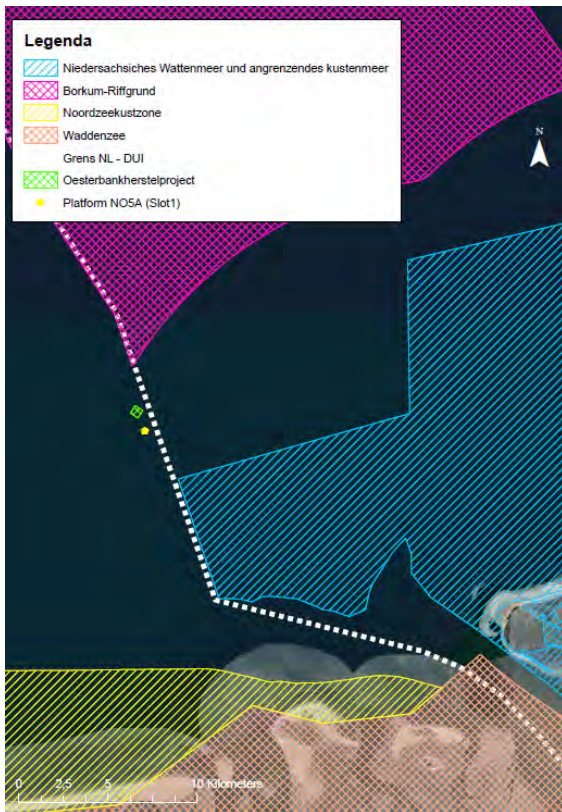
Als onderdeel van het MER is daarom deze pluim- en sedimentatiestudie uitgevoerd. Het doel van deze pluim- en sedimentatieberekening is om de dispersie van boorspoeling en sedimentatie van bariet en bentoniet, afkomstig uit de boorspoeling, tijdens het boren van de putten in de variant 'Lozing boorgruis en -spoeling' te bepalen, zodat de impact op de omgeving en de nabijgelegen natuurgebieden, zoals de Natura-2000 gebieden, kan worden bepaald. In dit rapport ligt de focus op het bepalen van de concentraties en sedimentatie als gevolg van de booractiviteiten, de beoordeling van deze effecten vindt plaats in de Natuurtoets (bijlage M9 in deel 2: Milieueffecten).

In dit rapport wordt alleen gekeken naar de boorspoeling, bestaande uit bariet, bentoniet en opgeloste stoffen. De verspreiding en sedimentatie van het boorgruis wordt behandeld in een ander rapport van Royal HaskoningDHV [1].

1.1.2 Omgeving

Het platform N05-A is gepland circa twintig km ten noorden van Schiermonnikoog op de Noordzee bij een waterdiepte van ongeveer 25 meter. De Duitse grens loopt op een afstand circa vijfhonderd meter van het platform. In de omgeving van het platform bevinden zich meerdere gebieden met natuurwaarden (onder andere Natura 2000), in zowel Nederland als Duitsland. Het gaat hierbij om de Noordzeekustzone, Borkum-Riffgrund, Niedersächsisches Wattenmeer und angrenzendes Küstenmeer, de Borkumse Stenen en het Oesterbankherstelproject (Figuur 1-1).

Dit gebied van de Noordzee kenmerkt zich van nature door een getijde-gedreven stroming in oost-westelijke richting, dominante windrichting vanuit het zuidwesten en wind-gedreven golven. De bovenlaag van de zeebodem bestaat voornamelijk uit fijn zand en is relatief vlak zonder grote beddingvormen. Een uitgebreidere beschrijving van deze natuurlijke condities en de sturende (natuurlijke) processen voor de verspreiding van boorspoeling wordt gegeven in hoofdstuk 3.



Figuur 1-1: Kaart met natuurgebieden rondom de platformlocatie

1.1.3 Boorproces

Op het N05-A productieplatform komt ruimte voor twaalf gasputten en twaalf aftakkingen (*sidetracks*). De twaalf putten worden geboord met een zelfheffend platform, welke tijdelijk op de platformlocatie geplaatst wordt. Bij de boring wordt gebruik gemaakt van boorspoeling. Met behulp van deze vloeistof wordt vermalen gesteente uit de put (het 'boorgruis') afgevoerd naar de oppervlakte. Tegelijkertijd zorgt de spoeling voor smering en koeling van de boorbeitel en voor stabilisatie van het boorgat.

ONE-Dyas maakt zoveel mogelijk gebruik van boorspoeling op waterbasis ("WBM"¹). Voor bepaalde gedeeltes van de put kan het echter noodzakelijk zijn om oliehoudende spoeling ("OBM"²) te gebruiken. WBM mag (onder voorwaarden) vanaf het platform op de Noordzee worden geloosd. In deze studie wordt een voorspelling gedaan van de verspreiding en sedimentatie van WBM na lozing op de Noordzee.

In het MER wordt voor het boren naar twee varianten gekeken, de variant 'Serieel boren' en de variant 'Batch drilling'. Deze studie is uitgevoerd voor de variant 'Serieel boren'. Bij de variant 'Serieel boren' worden alle putten na elkaar geboord en wordt per boorsectie gewisseld van boorspoeling. In hoofdstuk 7 wordt ingegaan op het verschil in pluim voor de variant 'Batch drilling' ten opzichte van de variant 'Serieel boren'.

In hoofdstuk 2 wordt het boorproces in meer detail beschreven en wordt de hoeveelheid te lozen WBM gekwantificeerd.

¹ Water Based Mud (WBM) is een mengsel van water en klei (bentoniet). Aan dit mengsel worden met toenemende diepte hulpstoffen toegevoegd, zoals zetmeel, bariet, kalk, zout en smeermiddelen.

² Oil Based Mud (OBM) kan, naast dezelfde componenten als WBM, tot 75% minerale olie bevatten.

1.2 Methodiek

In deze studie wordt de verspreiding en sedimentatie van boorspoeling, bestaande uit bariet, bentoniet en opgeloste stoffen, voorspeld met behulp van het numerieke model Delft3D. In dit model worden de hydrodynamische processen op de Noordzee, zoals golven en stroming door getij en wind berekend voor verschillende periodes.

In de Delft3D modelberekening wordt de boorspoeling op de platformlocatie losgelaten in de zee, waarna de boorspoeling verder getransporteerd wordt door de stroming. Dit zorgt voor een zogenaamde pluim: een wolk van verhoogde sedimentconcentraties in het water welke zich uitstrekt in de richting van de stroming en met het getij mee om de platformlocatie heen draait. Vanuit deze pluim zakken sedimentdeeltjes uit naar de bodem waar ze, bij geschikte omstandigheden, kunnen sedimenteren. Hoe zwaarder een deeltje, des te makkelijker deze uitzakt. Bij hoge golven of sterke stroming kunnen deeltjes ook weer eroderen en in suspensie komen.

Afhankelijk van de omstandigheden (wind, golven, stroming) verschillen de vorm van en de concentraties binnen de pluim en de hoeveelheid sedimentatie:

- Hoe harder de stroming, des te verder wordt het sediment vervoerd en des te groter is de pluim. De concentraties binnen de pluim zijn in dit geval lager. Bij deze omstandigheden treedt relatief weinig sedimentatie op. Materiaal kan zelfs weer eroderen en in suspensie komen en zich mogelijk mengen met bestaand bodemmateriaal dat in suspensie komt. Dit weer leidt tot hogere concentraties. Door de brede maar dunne pluim en afzetting wordt deze situatie ook wel geassocieerd met een pannenkoek.
- Bij rustige omstandigheden, bijv. rond kentering, blijft de pluim dichterbij de platformlocatie, resulterend in een relatief kleine pluim met relatief hoge concentraties. Het bariet en bentoniet kan nu makkelijker uitzakken en sedimenteren, waardoor een relatief dikke laag bariet en bentoniet ontstaat op de zeebodem vlakbij de platformlocatie. Door de kleine, compacte en daardoor hoge concentraties en dikke sedimentatielaag wordt deze situatie ook wel geassocieerd met een poffertje als tegenovergestelde van de pannenkoek.

De boorspoeling is fijnkorrelig, zal lang in suspensie blijven en geleidelijk naar de bodem zakken. De opgeloste stoffen uit de boorspoeling zakken niet naar de bodem, maar blijven in oplossing en worden verspreid door de stroming en diffuse processen zoals golven en turbulentie.

De pluimmodellering wordt uitgevoerd voor drie scenario's om het bereik van mogelijke concentraties en sedimentatie van de boorspoeling te tonen (de pannenkoek versus het poffertje). Hierbij zijn de scenario's zo geselecteerd dat ze verschillende stromings- en golfcondities omvatten. De scenario's zijn niet bedoeld om geschikte of minder geschikte periodes in het jaar te selecteren voor het uitvoeren van de boringen, maar om inzicht te verschaffen in de effecten van de pluim. De keuze voor de drie periodes is gebaseerd op historische data van hydrodynamica en wind op de Noordzee uit 2015 en wordt beschreven in Hoofdstuk 3. Het feit dat de activiteit pas in werkelijkheid na 2020 gaat plaatsvinden, leidt naar verwachting niet tot significant andere condities.

1.3 Leeswijzer

In Hoofdstuk 2 wordt een beschrijving gegeven van het project. In Hoofdstuk 3 wordt de historische data beschreven, op basis waarvan de scenario's geselecteerd zijn. In Hoofdstuk 4 wordt het numerieke model besproken. In Hoofdstuk 5 worden de resultaten van het numerieke model voor de verspreiding van de boorspoeling en bijbehorende opgeloste stoffen getoond. Tenslotte bevindt zich in Hoofdstuk 6 een discussie van de resultaten en worden in Hoofdstuk 7 de conclusies en aanbevelingen behandeld.

2 Projectbeschrijving

2.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt het project N05-A beschreven: de platformlocatie, de uitvoering van de boring, de bepaling van de hoeveelheden te lozen boorspoeling en opgeloste stoffen, en een beschrijving van de omgeving van het platform N05-A.

2.2 Projectlocatie

De platformlocatie is weergegeven in Figuur 2-1. Platform N05-A bevindt zich twintig kilometer ten noorden van Schiermonnikoog en is gefundeerd op een waterdiepte van circa 25 meter.



Figuur 2-1: Locatie van platform N05-A

De coördinaten van de platformlocatie zoals aangeleverd door ONE-Dyas zijn in het coördinatenstelsel ED50 gegeven [1]. Aangezien het gebruikte Delft3D model het coördinatenstelsel RD New gebruikt, zijn de coördinaten daar naartoe omgezet, zie Tabel 2-1.

Tabel 2-1: Coördinaten van het platform N05-A

Platform	Coördinatenstelsel	Latitude (=Y)	Longitude (= X)
N05-A	ED50	53° 41' 32"	006° 21' 23"
	RD New	634407 m	218947 m

2.3 Uitvoering van de boring

De aardgasputten worden geboord met behulp van een zelfheffend boorplatform. Dit platform wordt tijdelijk op de platformlocatie geplaatst. Het boren vindt continu plaats (24 uur per dag, 7 dagen per week). In totaal komt op het N05-A platform ruimte voor twaalf putten en 12 side-tracks, voor de ontwikkeling van veld N05-A en naastgelegen prospects.

Diepboringen op de Nederlandse Noordzee worden vrijwel altijd uitgevoerd met behulp van een zelfheffend boorplatform, zie Figuur 2-2. Een typisch boorplatform bestaat uit een boortoren waarmee de boorwerkzaamheden worden uitgevoerd en verschillende ondersteunende voorzieningen. Het boorplatform wordt met opgetrokken poten door sleepboten naar de platformlocatie vervoerd. Daar wordt het boorplatform geïnstalleerd door de poten op de zeebodem neer te laten. De poten van het platform drukken zichzelf vervolgens vast in de bodem. Als het boorplatform stabiel staat wordt het tot ongeveer dertig meter boven de waterspiegel opgevijzeld. Als laatste wordt de boortoren uitgeschoven tot boven de exacte locatie van de te boren put.

Voordat met het daadwerkelijke boren van de put gestart kan worden, moet eerst ter plaatse van de put een conductor worden geplaatst. Dit is een zware metalen buis met een diameter van ongeveer tachtig centimeter. Deze buis vormt de verbinding tussen de boorvloer van het platform en het boorgat. De boring wordt binnen de conductor uitgevoerd. De conductor zorgt daarnaast ook voor de stabiliteit van het ondiepe boorgat en voorkomt intrede van grond- en zeewater. Het boren vindt plaats met een boorbeitel waarmee het gesteente in de ondergrond wordt vermalen tot gruis. De beitel is aan de onderkant van een serie draaiende boorpijpen bevestigd. De aandrijving van deze pijpen bevindt zich in de boortoren op het platform. Naarmate de boring vordert, worden in de boortoren telkens nieuwe segmenten aan de serie boorpijpen toegevoegd.



Figuur 2-2: Zelfheffend boorplatform op de N07-04A platformlocatie (2018). De boortoren bevindt zich aan de rechterzijde van het platform. (© Foto & Video Honing)

Bij de boring wordt gebruik gemaakt van boerspoeling. Met behulp van deze vloeistof wordt vermalen gesteente uit de put (het 'boorgruis') afgevoerd naar de oppervlakte. Tegelijkertijd zorgt de spoeling voor smering en koeling van de boorbeitel en voor stabilisatie van het boorgat.

Boorgruis wordt op het boorplatform uit de boerspoeling gezeefd. De spoeling wordt vervolgens een aantal keer hergebruikt. WBM mag (onder voorwaarden) vanaf het platform op de Noordzee worden geloosd. Oliehoudend afgewerkte OBM mag niet op zee worden geloosd en wordt daarom als afvalstof per schip afgevoerd naar het vasteland.

Na het voltooien van de put wordt de boortoren verschoven naar de volgende putlocatie waarna een nieuwe boring wordt uitgevoerd. In deze studie wordt aangenomen dat de twaalf putten en de twaalf side-tracks serieel geboord worden en dat het boren van elke put ongeveer drie maanden in beslag neemt.

Een andere mogelijke methode is batchdrilling: de putten worden niet na elkaar geboord, maar de overeenkomstige secties van de verschillende putten worden steeds geboord. Dus eerst sectie 1 van put 1, daarna sectie 1 van put 2, sectie 1 van put 3, dan sectie 2 van put 1, daarna sectie 2 van put 2, en zo verder. Het voordeel van batchdrilling is dat steeds de spoeling van de betreffende sectie gedeeltelijk kan worden hergebruikt en niet hoeft te worden geloosd. Nadeel is dat pas later met de daadwerkelijke productie van aardgas kan worden begonnen omdat alle putten nagenoeg gelijk gereedkomen. Een inschatting van de invloed van het toepassen van batchdrilling in plaats van serieel boren op de resultaten van deze studie wordt besproken in Hoofdstuk 6.4.

2.4 Bepaling brontermen

Bij het boren van een put wordt in vijf boorsecties geboord. Gemiddeld heeft een put een diepte van circa 5,5 km. In deze studie wordt ervan uitgegaan dat de eerste vier secties worden geboord met WBM, en de laatste met OBM. De boerspoeling van de secties geboord met WBM worden op zee geloosd vanaf het platform. In deze studie is ervan uitgegaan dat de lozing op ongeveer tien meter onder het gemiddeld wateroppervlak plaatsvindt. De boerspoeling van de laatste sectie (met OBM) wordt niet geloosd, maar afgevoerd per schip en verwerkt op land.

Drie typen materiaal worden tijdens een boring geloosd op zee:

- 1 Boorgruis
- 2 Boerspoeling:
 - 2.1 Bariet en bentoniet (kleioplossing)
 - 2.2 In boerspoeling opgeloste stoffen

Op basis van aangeleverde informatie, gebaseerd op een exploratieboring (N05-01), zijn de brontermen van het bariet, bentoniet en in boerspoeling opgeloste stoffen bepaald. De bronterm geeft aan hoeveel materiaal er per tijdseenheid wordt geloosd voor het boren van één put, uitgaande van serieel boren van de put. Deze bronterm is onafhankelijk van in welke periode in het jaar geloosd wordt. De bronterm wordt toegevoegd in het numerieke model. De hoeveelheden boerspoeling zijn berekend voor een gemiddelde put met een lengte van vijfenvolfe kilometer. In werkelijkheid verschilt de hoeveelheid boerspoeling per put en kan afhankelijk van de lengte van de put hoger of lager liggen.

De mediane korrelgroottes van de boerspoeling zijn 0,015 mm en 0,030 mm voor respectievelijk bariet en bentoniet.

Een inschatting van de duur van het boren en lozen per sectie is aangeleverd door ONE-Dyas, zie Figuur 2-3. Tussen de vijf lozingsperiodes van de verschillende secties zitten tussenperiodes. De totale duur van de eerste vier lozingsperiodes met de vier tussenperiodes beslaat 30,5 dag, oftewel één maand. Voor de pluimodelberekeningen is dit de belangrijkste maand, omdat in deze maand de lozingen van WBM plaatsvinden. Vóór de boring van sectie 1, en na tussenperiode 4 is in totaal nog ongeveer twee maanden nodig, onder meer om de boring voor te bereiden, voor het boren van sectie 5, om de put te completeren, perforaties te maken en de put te testen.

Tijdsinschatting lozing	
	Dagen
36" sectie lozing WBM	1
Tussenperiode 1	2.5
24" sectie lozing WBM	1.5
Tussenperiode 2	5
16" sectie lozing WBM	4.5
Tussenperiode 3	4
12 1/4" sectie lozing WBM	8
Tussenperiode 4	4
8 1/2" sectie geen lozing OBM	6

Figuur 2-3: Voorbeeld van een mogelijk tijdsduur van de verschillende boor- en tussenperiodes, inclusief de periodes met lozing van WBM (geel gearceerd)

Op basis van de geloosde hoeveelheid materiaal in ton, aangeleverd door ONE-Dyas, en de lozingsduur per sectie is de bronterm per sectie bepaald, zie Figuur 2-4 en Figuur 2-5. Hierin zijn de brontermen voor sectie 5 niet bepaald, aangezien deze sectie geboord wordt met OBM en het geboorde materiaal naar land wordt afgevoerd.

Component	Gemodelleerde lozing per sectie				
	1	2	3	4	5
Modder/vloeistof naam	Pre-Hydrated Bentonite WBM (PHB)	PHB en KCl Polymer WBM	KCl Polymer WBM	Salt Saturated WBM	Low Toxicity OBM
Bariet (ton)	50	100	145	470	-
Bentoniet (ton)	40	70	25		-

Figuur 2-4: Bepaling brontermen van bariet en bentoniet in de boorspoeling.

In de boorspoeling zitten in totaal 14 verschillende opgeloste stoffen. De hoeveelheid van elke opgeloste stof verschilt per sectie, zoals ook te zien is in Figuur 2-5. Voor sectie 5 zijn geen brontermen berekend, omdat de boorspoeling voor sectie 5 niet geloosd en niet gemodelleerd wordt.

Toegevoegde stoffen	Gemodelleerde lozing per sectie				
	1	2	3	4	5
Vloeistofverliesverlager (ton)				2.8	-
Verzadigd monocarbonzuur, calciumzout (ton)	0.5	2	2	2.5	-
Calcium hydroxide (ton)			2	0.75	-
Magnesium oxide (ton)				2.5	-
Potassium chloride (ton)	160	110	110		-
Natriumcarbonaat (ton)	1.1	1.1	0.5	0.7	-
Sodium chloride (ton)				220	-
Natrium carboxymethylcellulose (ton)		7.5	6	7.5	-
Saccharose (ton)	0.2	0.1	0.1	0.1	-

Niet-PLONOR chemicalien	Gemodelleerde lozing per sectie				
	1	2	3	4	5
Corosieremmer (ton)				1.8	-
Antischuim (ton)		0.15	0.15		-
Stof 1: Poly(oxy-1,2-ethanediyl), α -butyl- ω -hydroxy (ton)		32	20		-
Potassium hydroxide (ton)				0.3	-
Stof 2: Poly(oxy-1,2-ethanediyl), α -butyl- ω -hydroxy (ton)				8	-

Figuur 2-5: Brontermen van de opgeloste stoffen in de boorspoeling.

2.5 Natuurgebieden in de omgeving van N05-A

De lozing van de boorspoeling kan leiden tot verhoogde concentraties sediment in de waterkolom en tot extra sedimentatie in de omgeving van het platform. Hier liggen, zowel in Nederland als in Duitsland, meerdere natuurgebieden, waaronder Natura-2000 gebieden. Het gaat om de volgende gebieden (zie Figuur 1-1):

- Noordzeekustzone
- Borkum Riffgrund
- Niedersächsisches Wattenmeer und angrenzendes Küstenmeer
- Oesterbankherstelproject

Het Natura 2000-gebied Noordzeekustzone bestaat uit de kustwateren van de Noordzee. Het gebied begint langs de Noord-Hollandse kust ten noorden van Bergen en gaat door langs de gehele waddenkust tot aan de Eems. De stranden en vooroevers van de Noordzeekustzone zijn een belangrijke zandleverancier voor de eilanden. Tussen de Noordzeekustzone, de eilanden en de Waddenzee is er veel wisselwerking van sedimentatie- en erosieprocessen met duinen, geulen, kwelders, platen en ondieptes.

Het Natura 2000-gebied Borkum-Riffgrund ligt ten noorden van de Oost-Friese Waddeneilanden Borkum en Juist. Het gebied grenst aan de Economische zone (EEZ) van Nederland en in het zuiden aan de Duitse 12-mijlszone. Het gebied valt op door de diversiteit van de zeebodem, er komen voornamelijk grof zand, grind en stenen voor en op sommige delen wordt turf aangetroffen. De stromingen in de zuidoostelijke Noordzee worden veroorzaakt door de getijden- en windinvloeden die soms erg sterk kunnen zijn en daardoor veel invloed hebben op de morfologie.

Het Niedersächsisches Wattenmeer und angrenzendes Küstenmeer bestaat uit het westelijke deel van de Duitse Waddenzee. In tegenstelling tot de Nederlandse situatie wordt er geen onderscheid gemaakt tussen het gebied ten noorden van de Waddeneilanden en ten zuiden daarvan. In het Natura 2000-gebied Niedersächsisches Wattenmeer und angrenzendes Küstenmeer, voor de monding van de Eems in de open Noordzee, ligt het natuurreservaat Borkum Riff van ongeveer tienduizend hectare. De continue vermenging van de Eems en het Noordzeewater in dit deel van de zee leidt tot een vorming van lokale temperatuur- en zoutgradiënten met als gevolg een verhoogde productie van plankton. Dit trekt talloze vissen aan en daardoor ook zeevogels.

Het Nederlandse ecologisch waardevolle gebied Borkumse Stenen ligt ten noorden van Schiermonnikoog. Aan de zuidzijde grenst de Borkumse Stenen aan het Nederlandse Natura 2000-gebied Noordzeekustzone en aan de oostzijde grenst het aan het Duitse Natura 2000-gebied Borkum-Riffgrund. Op een deel van de zeebodem liggen grind en stenen en delen bestaan uit zandkokervelden, dit zorgt voor een hoge biodiversiteit. Een deel van de Borkumse stenen, waar ook het platform wordt geplaatst, ligt binnen de aangewezen zone voor zandwinning.

In het gebied de Borkumse Stenen is in 2018 een natuurherstelproject gestart om de platte oesterriffen (*Ostrea edulis*) in de Noordzee te herstellen. Op één hectare zijn kunstmatige riffen op de bodem geplaatst, is zesduizend kilo oesters in het water uitgestrooid en zijn lege mosselschelpen gestort als vestigingsplaats voor oesterlarven. Platte oesterriffen waren in de 19^e eeuw volop aanwezig in de Noordzee, maar deze zijn door overbevissing en ziekte nagenoeg verdwenen. De riffen vormden een belangrijk habitat voor andere diersoorten, en dienen als kraamkamer voor vissen en kreeften.

Voor een uitgebreide beschrijving van de natuurgebieden wordt verwezen naar de Natuurtoets (bijlage M9 in deel 2: Milieueffecten)

3 Historische data

3.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt de historische data op het gebied van stroming, golven en wind op de Noordzee beschreven. Op basis van een analyse van deze data zijn drie scenario's geselecteerd (drie periodes van 2 á 3 maanden in het jaar 2015), welke een reikwijdte in de mogelijke verspreiding van de boorspoeling en de opgeloste stoffen geven.

3.2 Stromingscondities

Er zijn twee belangrijke mechanismes die de stroming in de Noordzee aandrijven: het getij en wind.

Het waterstandsverschil tussen eb en vloed is circa drie meter. Dit waterstandsverschil in ruimte en tijd genereert getijdestroming. De getijdestroming draait elke zes uur, van eb naar vloed en andersom. De vloedstroming gaat naar het oosten, en de ebstroming naar het westen. Als gevolg van de grootschalige stromingscirculatie in de Noordzee is de vloedstroming richting het oosten iets sterker dan de ebstroming richting het westen.

Het getij in de Noordzee komt voort uit het getij op de Atlantische oceaan, aangezien de Noordzee te klein is voor het genereren van een eigen getij. Via Het Kanaal en via de ingang tussen Schotland en Noorwegen komen getijgolven binnen op de Noordzee. Deze getijdegolven bewegen zich tegen de klok in vanwege het Corioliseffect. Figuur 3-1 illustreert de grootschalige loop van de getijdegolf langs de Nederlandse kust. De getijdegolf, en dus de grootschalige stroming, loopt vanaf het zuiden van Nederland, langs de Nederlandse kust naar het noorden richting Denemarken. Ten noorden van de Waddeneilanden is de vloedstroming vanuit het zuidwesten richting het noordoosten.

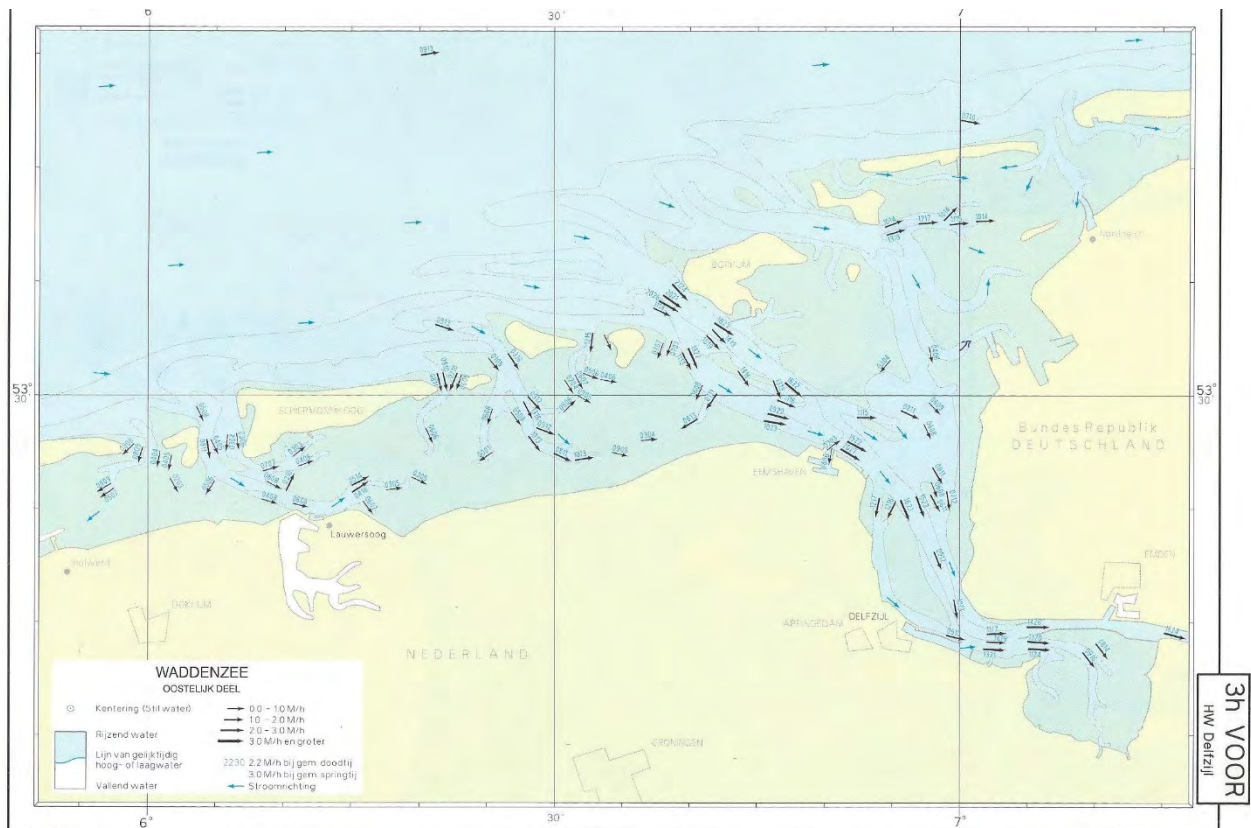
Figuur 3-2 en Figuur 3-3 geven een typisch stroombeeld op de momenten drie uur voor vloed en drie uur na vloed. Ten noorden van Schiermonnikoog is de stroming van 0-1,0 m/s bij opgaand getij vooral richting het oosten tot noordoost-oost. Rondom de Waddeneilanden en ten zuiden hiervan is een sterke stroming van 2-3 m/s richting het zuiden naar de Waddenzee en Eems-estuarium. Bij afgaand getij is de stroming in tegengestelde richting.

Naast de getijde-gedreven stroming is er wind-gedreven stroming. De wind nabij het wateroppervlak genereert stroming in de richting van de wind. Dit geldt met name voor het bovenste deel van de waterkolom. De jaarlijkse stroomsnelheden ter plekke van het boorplatform zijn weergegeven in Figuur 3-4. Hierin is de sterke oost-west getijdestroming terug te vinden. De dagelijkse pieken in getijdestroming zijn circa 0,5 m/s in het midden van de waterkolom.

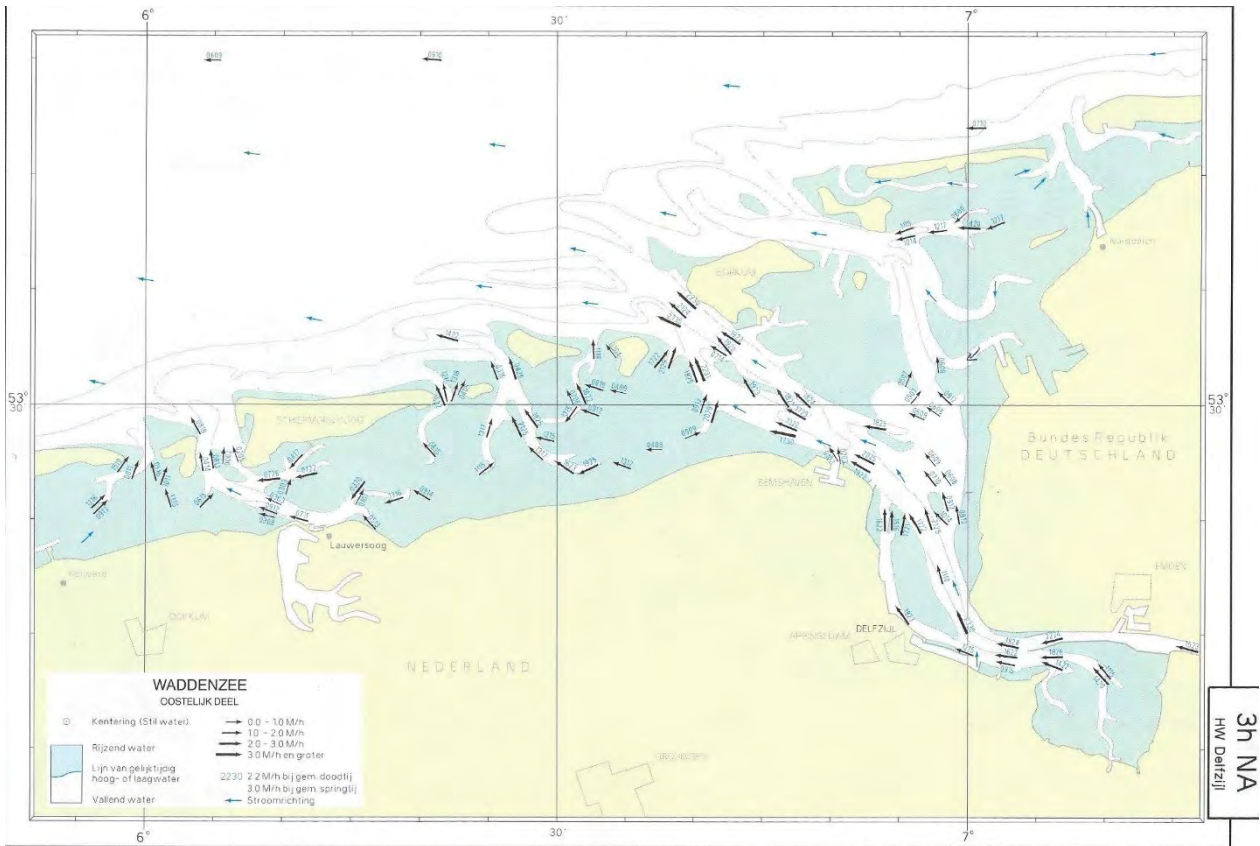
De maximale 1/jaar-stroomsnelheid, bepaald op basis van modellering [3] en veroorzaakt door een combinatie van getij en wind, is ter plekke van de platformlocatie in de orde van max. 1 m/s nabij het wateroppervlak, max. 0,9 m/s in het midden van de waterkolom, en max. 0,74 m/s nabij de zeebodem.



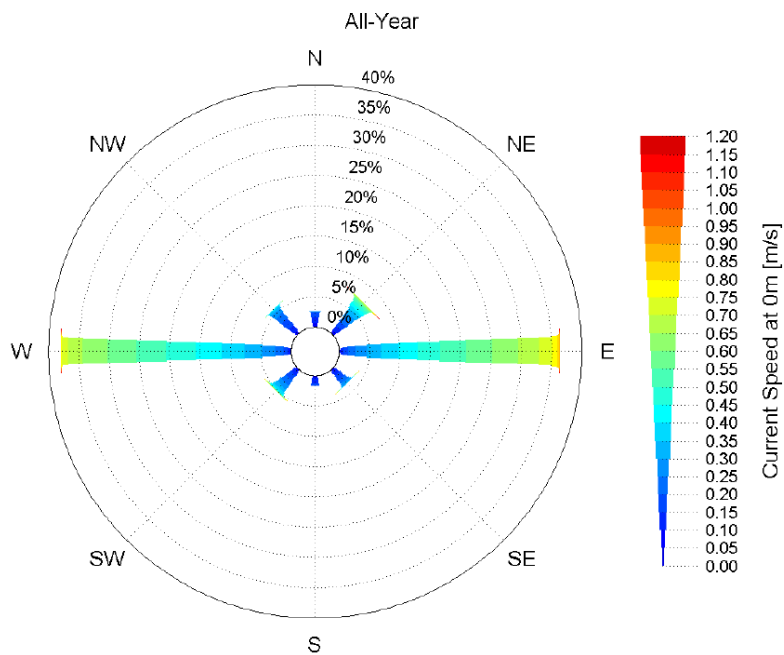
Figuur 3-1: Loop van deloedgolf door de Noordzee (Bron: Ecomare)



Figuur 3-2: Typisch stromingspatroon 3 uur voor deloedpiek (Bron: Stroomatlas)



Figuur 3-3: Typisch stromingspatroon 3 uur na de vloedpiek (Bron: Stroomatlas)



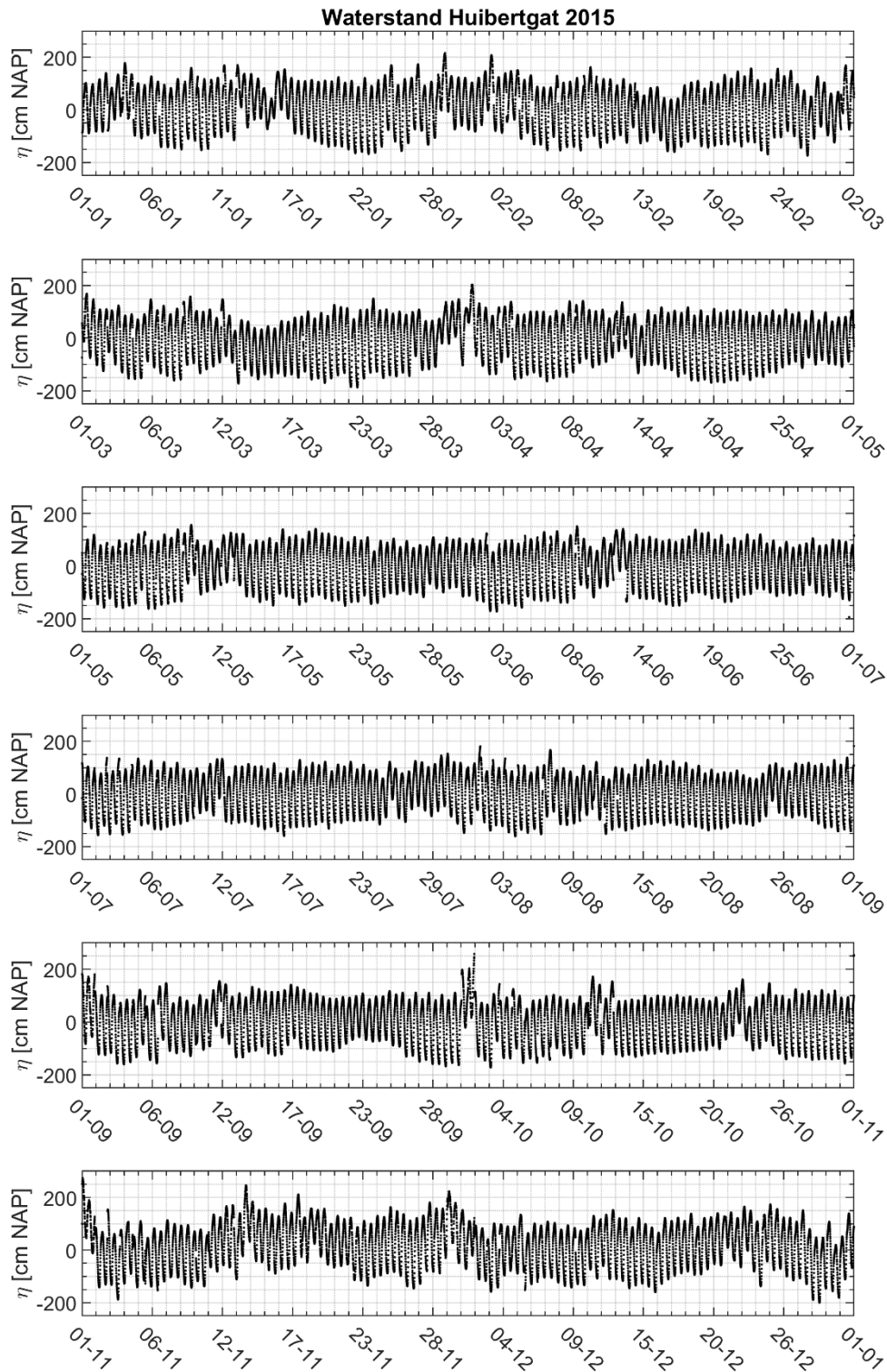
Figuur 3-4: Jaarlijkse stromingsroos nabij de platformlocatie (Bron: [4])

3.3 Waterstand

Waterstandsvariatie door het getij is de belangrijkste 'motor' voor stroming rondom de platformlocatie, met twee keer per dag een eb-vloedcyclus. Bovenop de waterstandsvariatie door getij komt een waterstandsvariatie als gevolg van wind en stormen. Bij een storm is vaak sprake van een lagedrukgebied en een tijdelijke, lokale verhoging van de waterstand. De wind kan voor verhoging of juist verlaging van de waterstand zorgen, afhankelijk van de windrichting.

De waterstandsvariatie voor het jaar 2015 nabij de platformlocatie is weergegeven in Figuur 3-5. Hierbij is gebruik gemaakt van meetdata van meetplatform Huibertgat, gelegen ten noordoosten van Schiermonnikoog. In deze figuur is te zien dat het gedurende een dag twee keer hoogwater en twee keer laagwater is. Om de veertien dagen is het springtij (zon, maan en aarde staan op een lijn en de getijkrachten van de zon en de maan versterken elkaar): de getijdeamplitude is maximaal. Tussen twee periodes van springtij is het doottij (de getijkrachten van de zon en de maan staan haaks op elkaar) en is de getijdeamplitude minimaal.

De hoogste waterstanden vinden plaats in de herfst- en winterperiode, met waterstandspieken van circa 2,50 m+NAP.



Figuur 3-5: Waterstand bij het Huibertgat voor het jaar 2015

Op basis van de meetgegevens van het meetstation Huibertgat tussen 2000 en 2019 zijn de astronomische waterstanden bepaald, zie Tabel 3-1.

Tabel 3-1: Astronomische waterstanden bij Huibertgat

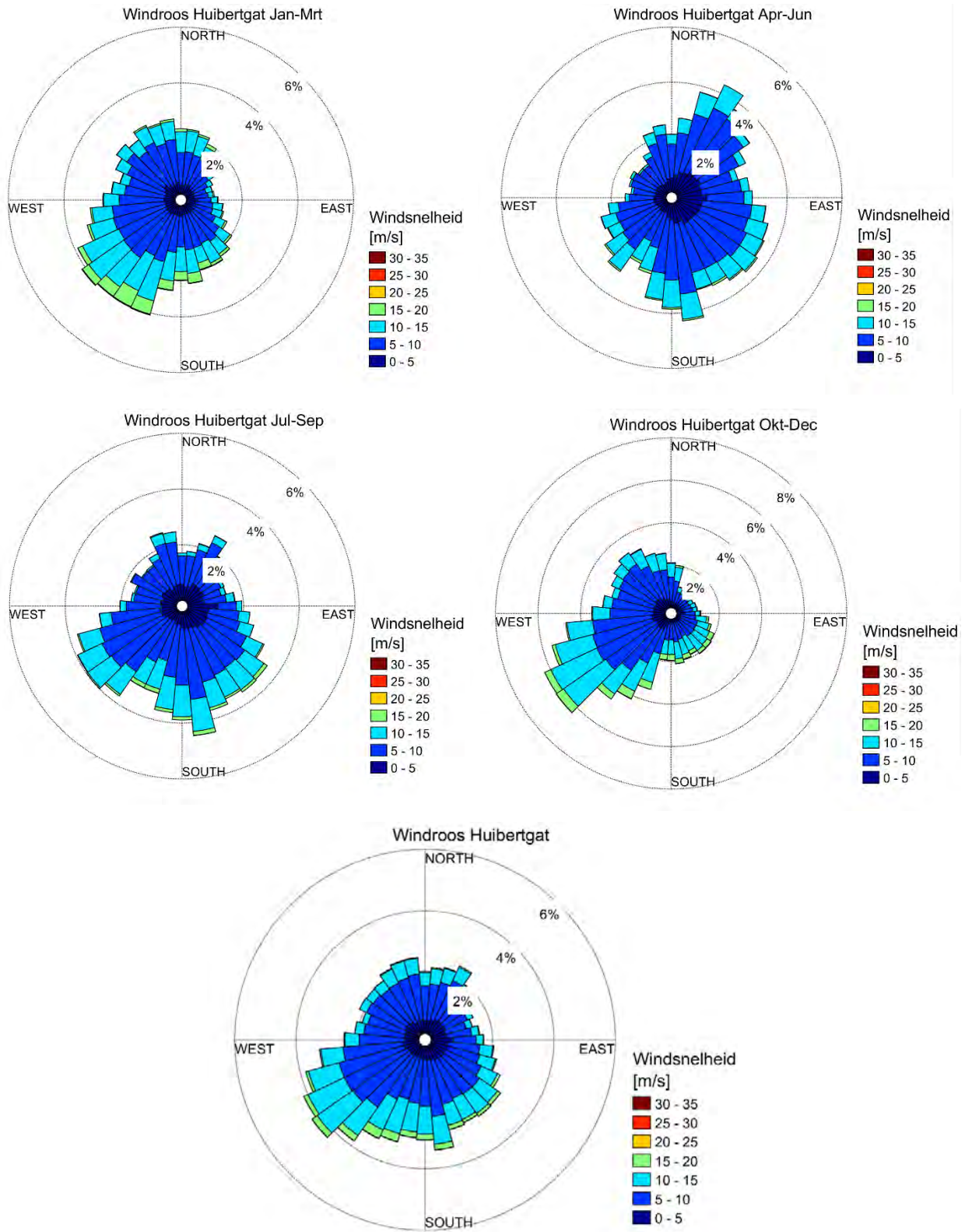
	Niveau [m MSL]
HAT (Hoogste astronomisch getij)	3,15
MHWS (Gemiddeld hoogwaterspring)	1,34
MHHW (Gemiddeld hoog hoogwater)	1,09
MHW (Gemiddeld hoogwater)	0,88
MHWN (Gemiddeld hoogwaterdoodtij)	0,82
MSL (Middenstandsvlak = NAP)	0,00
MLWN (Gemiddeld laagwaterdoodtij)	-0,74
MLW (Gemiddeld laagwater)	-0,91
MLLW (Gemiddeld laag laagwater)	-1,12
MLWS (Gemiddeld laagwaterspring)	-1,39
LAT (Laagste astronomisch getij)	-2,63

3.4 Wind

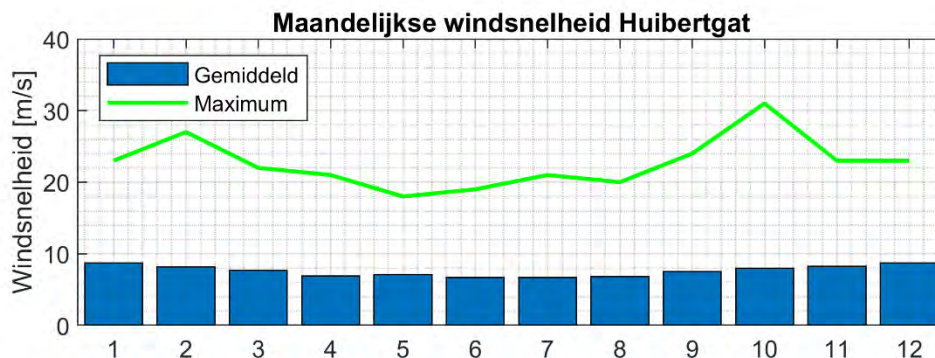
In Figuur 3-6 en Figuur 3-7 zijn de windstatistieken voor de periode 2000-2019 bij het meetstation Huibertgat [5] getoond aan de hand van windrozen (Figuur 3-6) en maandelijkse statistieken (Figuur 3-7). De dominante windrichting is jaarbreed vanuit het zuidwesten, maar over de seizoenen verschilt dit wel. De meeste windsnelheden boven 15 m/s komen vanuit het zuiden, zuidwesten of zuidoosten.

Op basis van een extreme-waardeanalyse van de winddata over 2000-2019 is de eens per jaar voorkomende hoge windsnelheid bepaald: dit is 21,26 m/s. Dit betekent dat deze windsnelheid gemiddeld eens per jaar wordt overschreden. Deze windsnelheid is vergelijkbaar met de 1/jaar windsnelheid van 22,0 m/s gerapporteerd in [6] en de 1/jaar windsnelheid gerapporteerd in [4].

Figuur 3-7 laat de gemiddelde en maximale windcondities per maand zien. Hieruit komt naar voren dat de hoogste windsnelheden plaatsvinden in de herfst- en winterperiode.



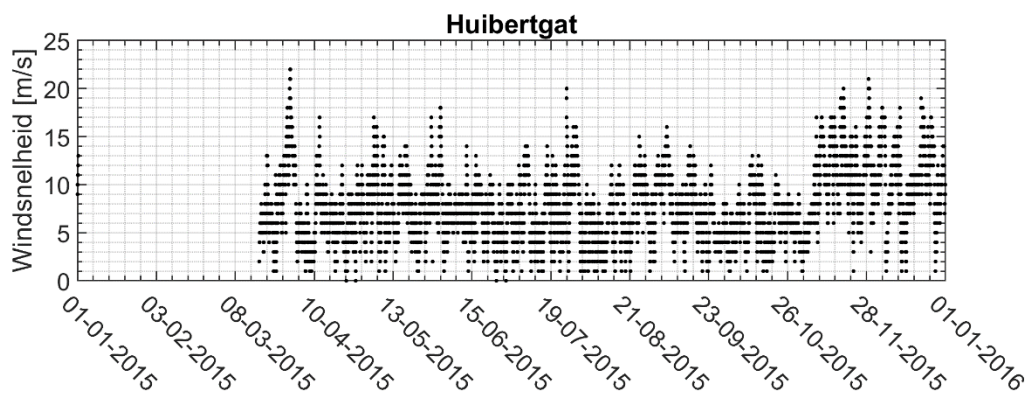
Figuur 3-6: Windrozen bij het Huibertgat voor de vier seizoenen en het volledige jaar (voor de jaren 2000 – 2019). De richting geeft aan waar de wind vandaan komt.



Figuur 3-7: Variatie in gemiddelde en maximale maandelijkse windsnelheid en bij het Huibertgat voor de jaren 2000 – 2019

De windsnelheid bij het Huibertgat [5] gedurende 2015 is weergegeven in Figuur 3-8. Over de eerste 2,5 maanden van 2015 is geen data beschikbaar bij dit weerstation. Deze maanden worden dus niet gebruikt in de modelscenario's. Dit is echter geen probleem, aangezien statistisch gezien (voor data tussen 2000 en 2019) minstens even hoge windsnelheden optreden in het najaar, zie ook Figuur 3-7. Dat zien we hier ook terug: in november en december van 2015 waren de windsnelheden ook relatief hoog.

De typische windsnelheid in de rest van 2015 ligt onder de 10 m/s, met enkele pieken tussen de 15 en 20 m/s. Dit komt ook overeen met de meerjarige data, zie Figuur 3-6 en Figuur 3-7. In maart heeft een stevige storm plaatsgevonden met een windsnelheid van circa 23 m/s. Dit is daarmee een wat heftigere storm dan de 1/jaar storm.



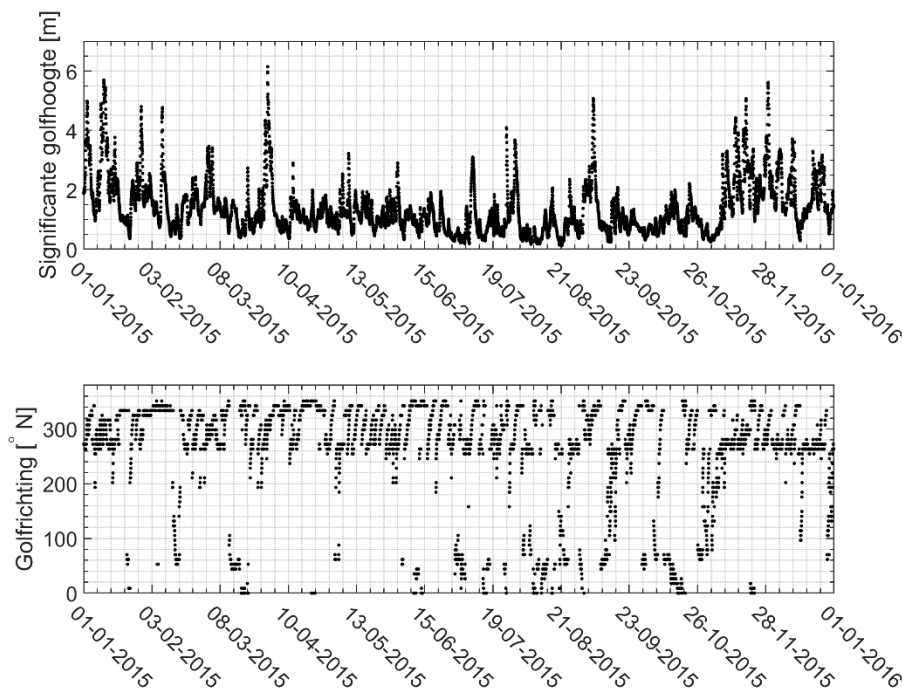
Figuur 3-8: Windsnelheid voor het jaar 2015 bij het Huibertgat

3.5 Golfcondities

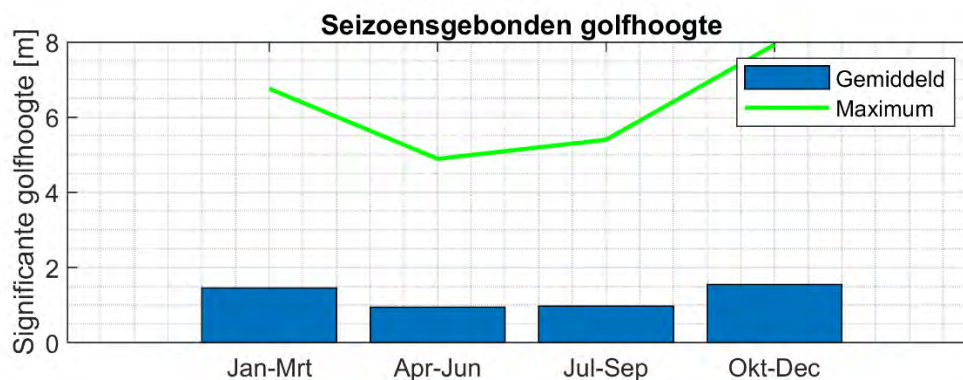
Golfdata zijn gehaald uit een database van een metocean studie voor de Hollandse kust [7] op de locatie van het boorplatform. Een tijdserie van de golfcondities is weergegeven in Figuur 3-9. De significante golfhoogte en de golfrichting zijn getoond. De significante golfhoogte is de gemiddelde hoogte van de hoogste 33% van de gemeten golven en is daarmee een statistische benadering. In de figuur is duidelijk te zien dat de hoogste golven plaatsvinden in de herfst- en winterperiode.

Op basis van een extreme-waardeanalyse voor de periode 1979 – 2019 is de 1/jaar voorkomende golfhoogte bepaald. Dit is 5,93 m. Deze golfhoogte wordt in 2015 meerdere keren overschreden. De pieken die de 1/jaar golfhoogte overschrijden vallen samen met de pieken in hoge windsnelheid, waaronder de

piek in maart en de pieken in november/december. In [4] wordt een 1/jaar significante golfhoogte nabij het platform van 6,5 m gerapporteerd, wat in dezelfde orde van grootte is als de hierboven genoemde golfhoogte.



Figuur 3-9: Significante golfhoogte en golfrichting (komend uit) voor het jaar 2015



Figuur 3-10: Variatie in minimale, gemiddelde en maximale significante golfhoogte per seizoen over de periode 2000 – 2018

3.6 Sediment op de zeebodem

Het onderzoeksbureau GEOxyz [8] beschrijft de zeebodem en eigenschappen van het sediment aan de oppervlakte ter plekke van het platform: de zeebodem ter plekke van het (boor)platform bestaat uit fijn zand met schelpresten. Dit zand heeft korreldiameters in de orde 200-500 μm (0,2-0,5 mm). Daarbij zijn er kleibrokken te vinden die tot 50 cm boven de rest van de zeebodem uitsteken. Ook de lokale aanwezigheid van grof zand en grind resulteert in bodemhoogtevariatie in de wijde omtrek rondom het platform. Voor de rest is de zeebodem bij de locatie van het platform vrijwel vlak zonder duidelijke golf- en stroingsribbels, duinen of grotere beddingvormen.

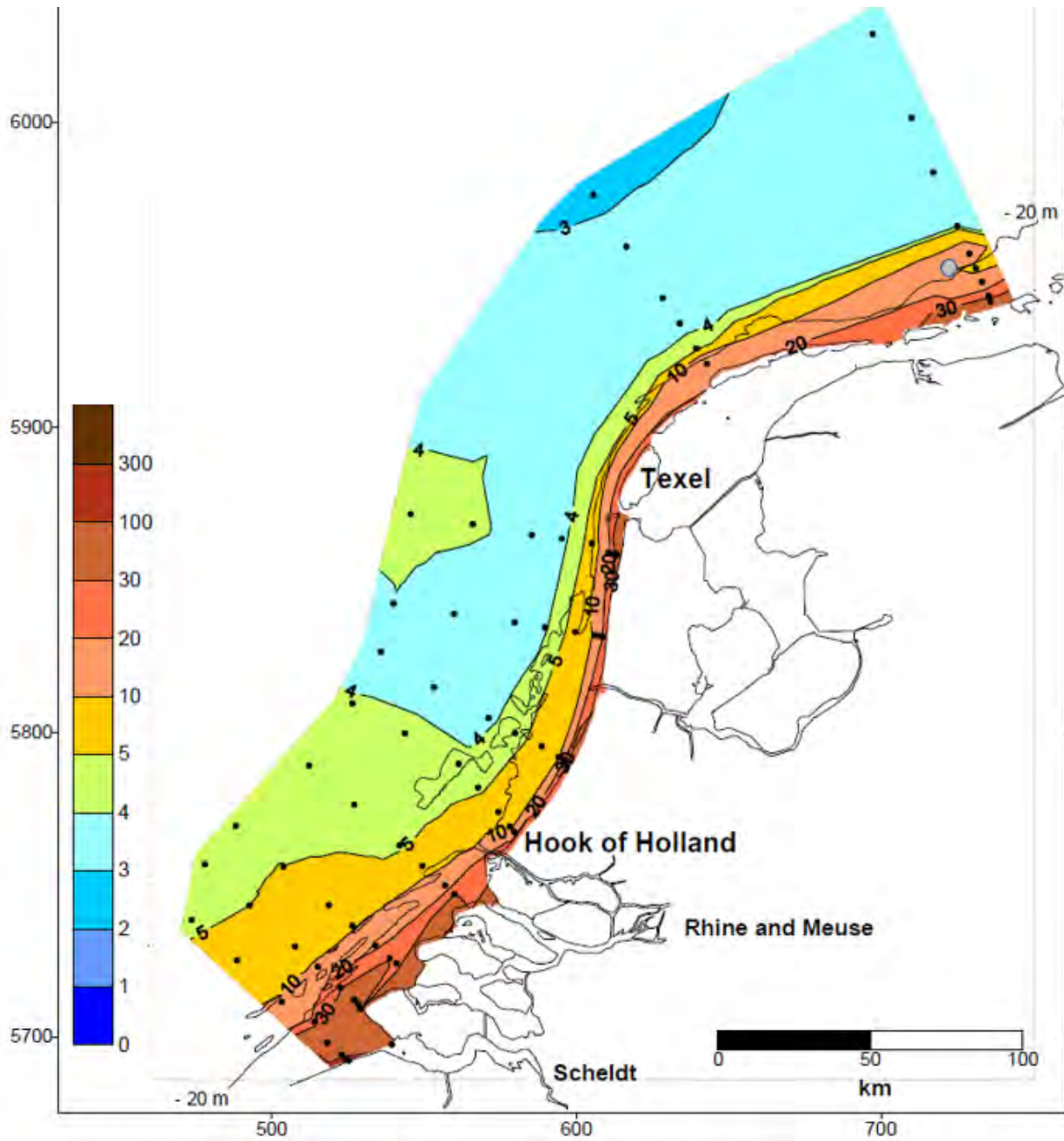
De afwezigheid van duidelijke golf- en stromingsribbels op de zandige zeebodem is een indicatie dat er relatief weinig sedimenttransport plaatsvindt en dat de lokale zeebodem dus niet heel dynamisch is. Zandkorrels van 200 μm beginnen in beweging te komen bij een stroomsnelheid van circa 0,2 m/s. Aangezien tijdens dagelijkse omstandigheden al stroomsnelheden tot circa 0,5 m/s voorkomen in het midden van de waterkolom, is het aannemelijk dat het natuurlijke sediment ter plekke van het platform wel tenminste in een deel van de eb-vloedcyclus in beweging is. Bij kentering zakt dit sediment weer op de zeebodem en blijft een aantal uur stilliggen tot de stroomsnelheid nabij de zeebodem weer boven de circa 0,2 m/s is. Het fijnere deel van het natuurlijke sediment op de zeebodem is mobieler dan het grovere deel van het sediment, en wordt dus vaker en over grotere afstanden getransporteerd.

3.7 Natuurlijke slibconcentratie

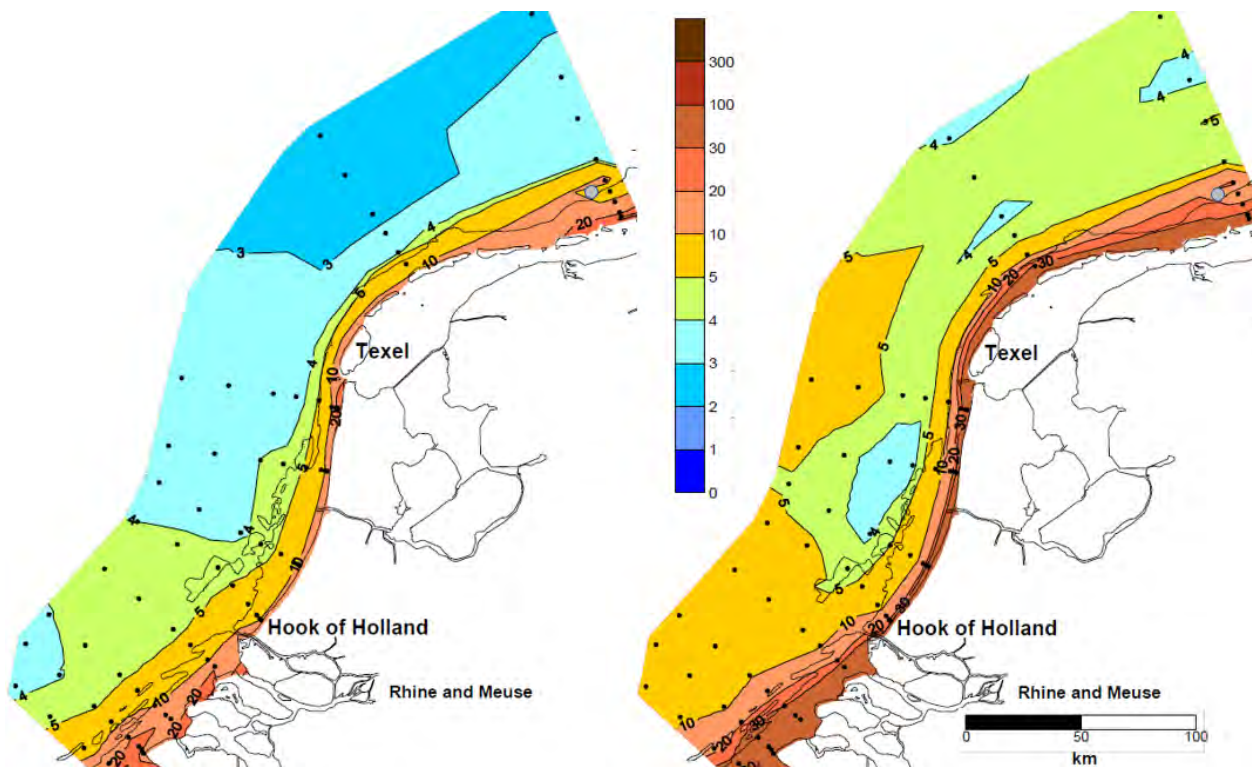
De natuurlijke slibconcentratie aan het wateroppervlak in de kustzone is weergegeven in Figuur 3-11. Hierin is een sterke gradiënt in slibconcentratie langs de kust te zien, met slibconcentraties van 5-30 mg/l binnen een afstand van vijftig kilometer vanaf de Waddeneilanden. De slibconcentratie op de platformlocatie is jaargemiddeld ongeveer 10-20 mg/l nabij het wateroppervlak. Dichter bij de zeebodem kan de slibconcentratie wat hoger zijn, maar omdat de lokale zeebodem uit zandig materiaal bestaat is het onwaarschijnlijk dat de slibconcentraties nabij de zeebodem veel hoger zijn.

Deze jaargemiddelde concentraties zeggen echter niets over de variatie in slibconcentratie gedurende het jaar. In de wintermaanden zijn de gemiddelde slibconcentraties over het algemeen hoger dan in de zomer, met gemiddelde slibconcentraties op de platformlocatie van ongeveer 10 mg/l in de zomer en ongeveer 20 mg/l in de winter (Figuur 3-12). Daarnaast varieert de slibconcentratie als gevolg van stormen (Figuur 3-13). Tijdens en vlak na een storm zijn de slibconcentraties een stuk hoger (typisch ongeveer 20 mg/l op de platformlocatie) dan na een rustige periode (typisch ongeveer 2 mg/l).

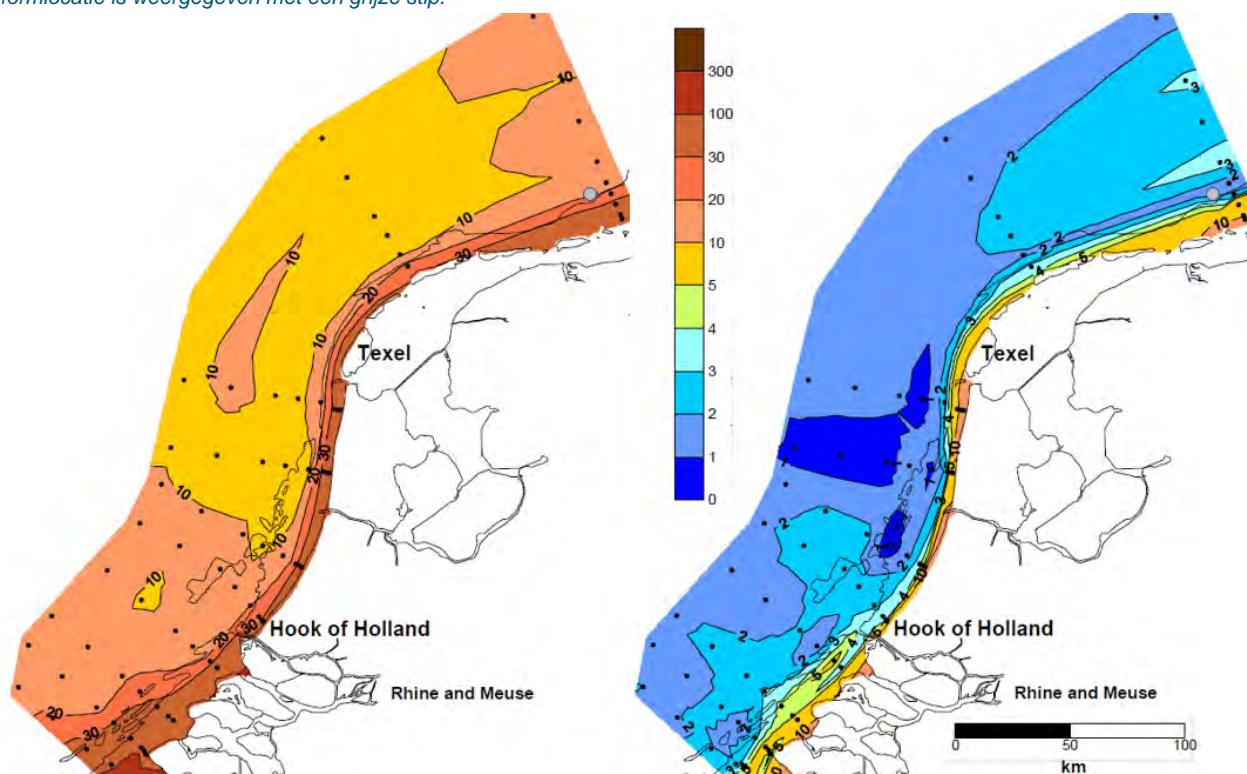
In aanvulling op deze seizoens- en weersvariatie is het aannemelijk dat de slibconcentratie ook varieert met het getij: de ebstroming voert slibrijk water aan vanuit de Waddenzee en het Eems-estuarium, terwijl de vloedstroming vanuit het westen relatief slibarm water aanvoert.



Figuur 3-11: Gemeten jaargemiddelde slibconcentratie aan het wateroppervlak in mg/l [9]. De platformlocatie is weergegeven met een grijze stip.



Figuur 3-12: Gemiddelde gemeten slibconcentratie aan het wateroppervlak in zomer (links) en winter (rechts) in mg/l [10]. De platformlocatie is weergegeven met een grijze stip.



Figuur 3-13: Typische gemeten slibconcentratie aan het wateroppervlak na stormachtig weer (links) en in een rustige periode (rechts) in mg/l [10]. De platformlocatie is weergegeven met een grijze stip.

3.8 Scenariokeuze

De pluimmodellering wordt uitgevoerd voor drie scenario's om het bereik van mogelijke concentraties en sedimentatie van de boorspoeling te bepalen. Onder verschillende omstandigheden verspreiden de boorspoeling en de opgeloste stoffen zich namelijk verschillend.

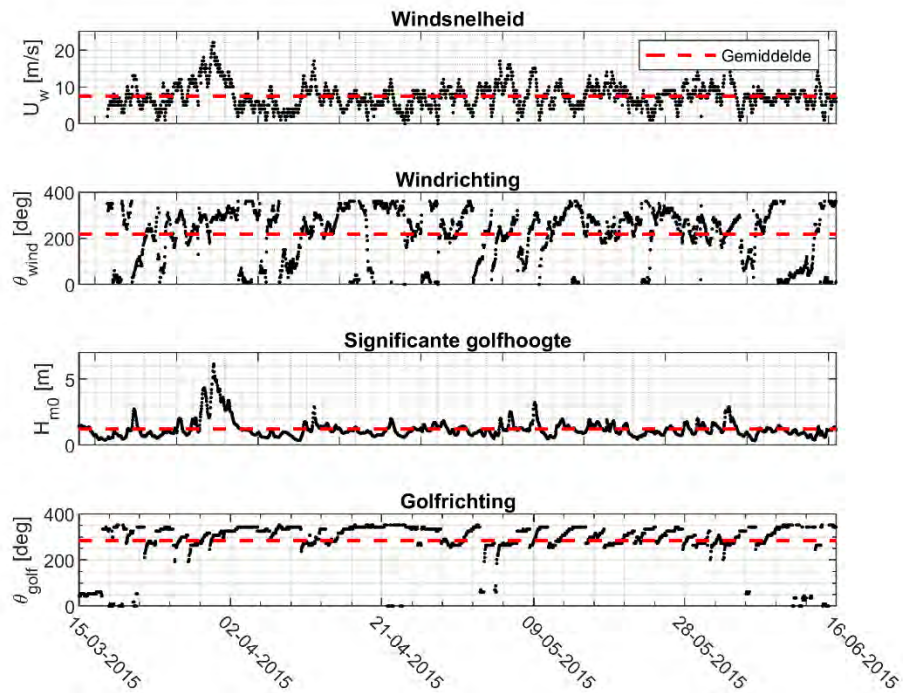
Zoals al beschreven in paragraaf 1.2 zijn de vorm en de concentraties binnen de pluim en de hoeveelheid sedimentatie afhankelijk van de omstandigheden (wind, golven, stroming):

- Hoe harder de stroming, des te verder wordt het sediment vervoerd en des te groter is de pluim. De concentraties binnen de pluim zijn in dit geval lager. Bij deze omstandigheden treedt relatief weinig sedimentatie op, materiaal kan zelfs eroderen en in suspensie komen, leidend tot hogere concentraties.
- Bij rustige omstandigheden blijft de pluim dichterbij de platformlocatie. Materiaal kan nu makkelijker uitzakken en sedimenteren, er ligt een dikkere laag sediment op de bodem vlakbij de platformlocatie.

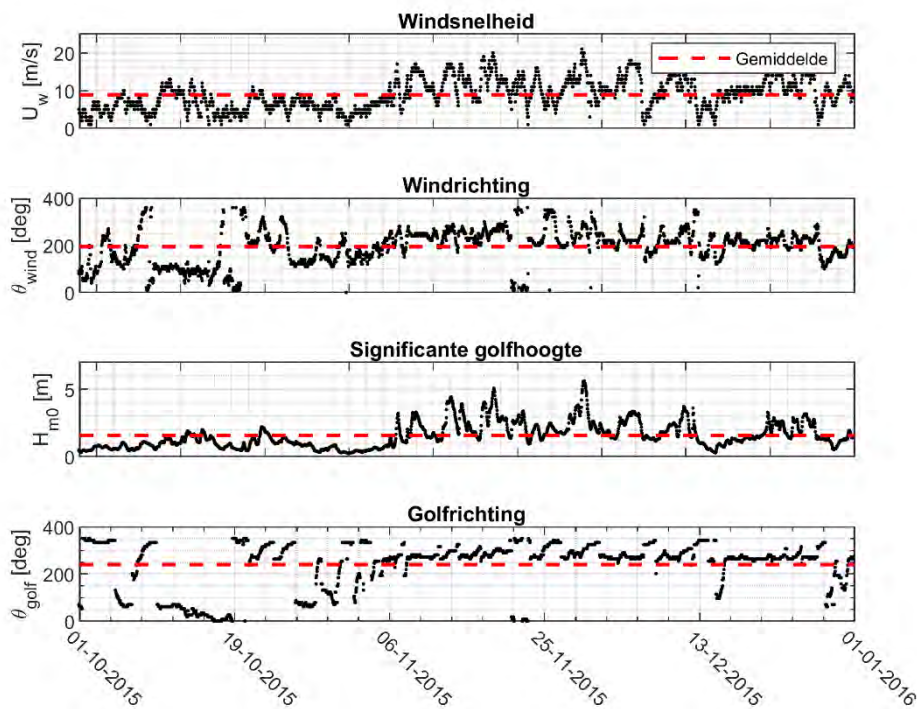
Deze twee uitersten kunnen worden voorgesteld als het verschil tussen een pannenkoek en een poffertje. Om deze uitersten te bepalen, zijn drie scenario's gedefinieerd.

De scenario's, waarin de wind-, golf- en stromingscondities onderling verschillen, zijn weergegeven in Figuur 3-14, Figuur 3-15 en Figuur 3-16 en als zijn volgt:

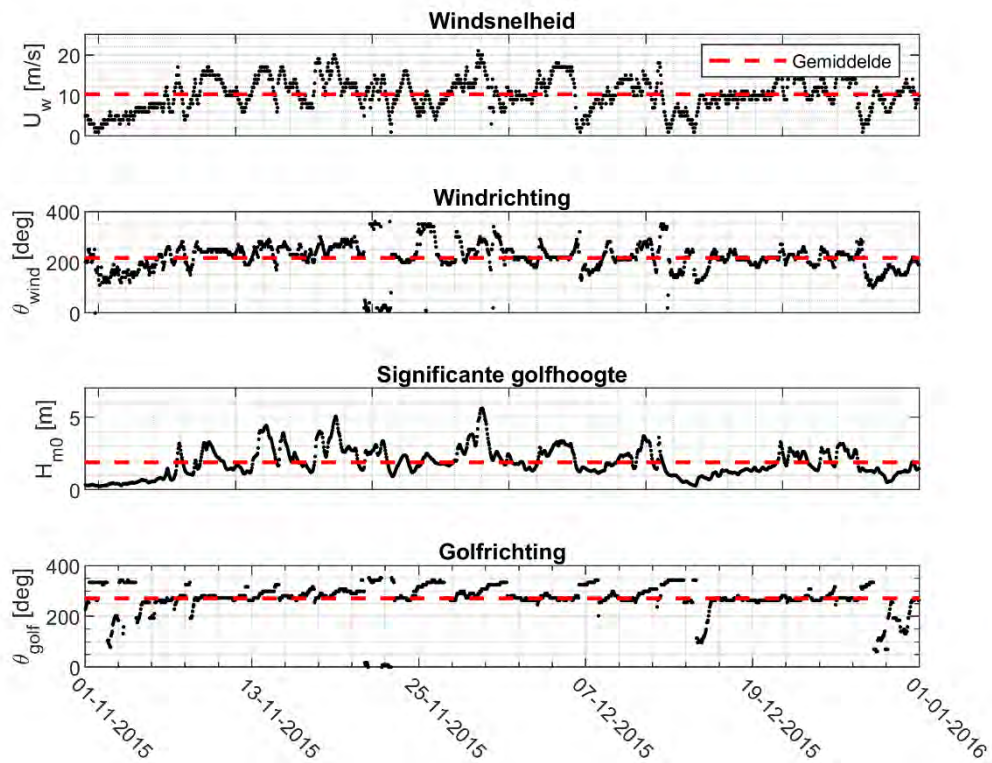
- **Scenario Maart:** een periode met een flinke storm. De lozing vindt plaats gedurende de storm.
De lozingsperiode is van half maart tot half april, en de modelberekening loopt daarna nog twee maanden door tot half juni. Het karakteristieke van dit scenario is dat op 31 maart een is storm opgetreden waarbij zowel de 1/jaar windconditie als de 1/jaar golfconditie werden behaald. Tijdens de storm komt de wind uit het westen. Voor en na de storm is het relatief rustig. Gedurende de stormperiode zullen de concentraties en sedimentatie naar verwachting een 'pannenkoek' vormen, en tijdens de rustige dagen daarvoor en daarna zullen de concentraties en sedimentatie naar verwachting een 'poffertje' vormen.
- **Scenario Oktober:** een zeer rustige periode, gevolgd door een periode met hogere golven. De lozing vindt plaats tijdens de zeer rustige periode.
De lozingsperiode is van begin oktober tot eind oktober, en de modelberekening loopt daarna nog twee maanden door tot eind december. Het karakteristieke van dit scenario is dat de windsnelheden en golfhoogtes in de maand oktober laag waren, waardoor de concentraties en sedimentatie naar verwachting een 'poffertje' vormen. De wind komt gedurende periodes uit het oosten. Gedurende de maanden november en december nemen de windsnelheden en stroomsnelheden toe, de wind komt dan voornamelijk uit het westen.
- **Scenario November:** een periode met afwisselend hoge golven. De lozing vindt plaats in een periode met lage tot redelijk hoge golven.
De lozingsperiode is van begin november tot eind november, en de modelberekening loopt daarna nog een maand door tot eind december. Het karakteristieke van dit scenario is in november meerdere pieken in golfhoogte en windsnelheid voorkomen, met wind voornamelijk uit het zuidwesten. Hierdoor vormen de concentraties en sedimentatie naar verwachting een 'pannenkoek', met name richting het noordoosten.



Figuur 3-14: Condities voor scenario Maart. De gemiddelde waarde is voor informatieve doeleinden weergegeven. De wind- en golfrichting geeft waar deze vandaan komt.



Figuur 3-15: Condities voor scenario Oktober. De gemiddelde waarden zijn voor informatieve doeleinden weergegeven. De wind- en golfrichting geeft waar deze vandaan komt.



Figuur 3-16: Condities voor scenario November. De gemiddelde waarden zijn voor informatieve doeleinden weergegeven. De wind- en golfrichting geeft waar deze vandaan komt.

4 Opzet en validatie van het numerieke model

4.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt de opzet van het numerieke model besproken. Een bestaand, volledig gekalibreerd en gevalideerd Delft3D model van de Noordzee is gebruikt en aangepast aan de specifieke eisen gesteld aan het model in deze studie. Het model en de aanpassingen worden hier kort besproken, voor een uitgebreide beschrijving wordt verwezen naar Bijlage A1.

4.2 Gebruikte 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, sediment transport 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'). Voor deze studie is de versie 4.01.00 gebruikt.

4.3 Modelschematisatie

4.3.1 Originele ZUNO-model

Voor de Noordzee is een gekalibreerde en gevalideerde modelschematisatie beschikbaar voor Delft3D: de Zuidelijke Noordzee modelschematisatie (ZUNO). Deze modelschematisatie bevat een groot deel van de Noordzee, waaronder het Waddengebied. Het ZUNO-model is een 3-dimensionaal model met twaalf lagen over de diepte. Het ZUNO-model is opgezet in het coördinatenstelsel RD New, het verticale referentieniveau is NAP.

De volgende processen worden gesimuleerd in het ZUNO-model:

- Getijdestroming
- Debieten vanuit rivieren
- Atmosferische druk
- Windsnelheid
- Luchttemperatuur
- Relatieve luchtvochtigheid
- Bewolking
- Dichtheidsstroming als gevolg van variërende saliniteit en temperatuur

Het bestaande ZUNO-model, aangeleverd door Deltares, is gebruikt als basis voor de modelschematisatie in deze studie. Dit is versie 3 van het ZUNO-model (Delft3D-FLOW_Noordzee-ZUNO-DD_j03-j15_v03) met bijbehorende randvoorwaarden voor de jaren 2012-2015.

4.3.2 Aanpassingen in het model

Vervolgens is het ZUNO-model aangepast voor deze studie. Voor een uitgebreide beschrijving van de aanpassingen en validatie van de aanpassingen wordt verwezen naar Bijlage A1. Hieronder worden de belangrijkste aanpassingen kort vermeld.

Een van de aanpassingen is een verfijning van het rekenrooster nabij de platformlocatie, waardoor de rekenroostercellen nabij de platformlocatie een lengte van circa 100 m hebben.

Daarnaast is de modellering van golven toegevoegd, waardoor het effect van golven op de stroming en het uitzakken van barriet en bentoniet meegenomen is. De golven worden gelijktijdig met de stroming gemodelleerd (Delft3D-Wave online: een koppeling van SWAN met Delft3D-Flow). De opzet van het golfmodel en de resultaten van verschillende gevoeligheidsimulaties worden besproken in bijlage A1.12.

Ook zijn extra model-uitvoerpunten toegevoegd, onder meer langs de gevoelige natuurgebieden, zoals beschreven in paragraaf 2.5. Hiervoor is het punt in het gebied gekozen met de kortste afstand tot het platform N05-A. Daarnaast is een model-uitvoerpunt toegevoegd ter hoogte van Rottumerplaat. De betreffende locaties zijn te zien in Tabel 4-1 en Figuur 4-1.

Tabel 4-1: Locaties van de observatiepunten ter hoogte van de gevoelige gebieden

Locatie	X [m]	Y [m]
Oesterbankherstelproject	218544	635612
Noordzeekustzone	218833	621022
Rottumerplaat	225000	619000
Borkum Riffgrund	218280	638061
Niedersächsisches Wattenmeer und angrenzendes Küstenmeer	220839	631705



Figuur 4-1: Locaties van de observatiepunten ter hoogte van de gevoelige gebieden. De platformlocatie is aangegeven met een gele stip.

Om te controleren of het aangepast model waarheidsgetrouwe stromingsresultaten oplevert, zijn de resultaten van het aangepaste model vergeleken met de resultaten van het originele, gekalibreerde en gevalideerde ZUNO-model. Hierbij is de stroming zoals voorspeld door het aangepaste model vergeleken met de stroming zoals voorspeld door het originele ZUNO-model, zodat de berekende stroming rondom het projectgebied in de aangepaste modelschematisatie zoveel mogelijk gelijk is aan de stroming in het originele model. Er is hierbij aangenomen dat het originele ZUNO-model goed gekalibreerd en gevalideerd is. In de vergelijking zijn de resultaten van het originele ZUNO-model voor het jaar 2015 vergeleken met die van het aangepaste ZUNO-model, waarbij alleen stroming en wind en dus geen golven zijn meegenomen. De golven zijn apart gevalideerd.

4.3.3 Modelling van boorspoeling en opgeloste stoffen

Naast bovengenoemde aanpassing in het model zijn de lozingen van bariet, bentoniet en opgeloste stoffen toegevoegd aan het model. De hoeveelheden geloosde boorspoeling en opgeloste stoffen zijn als brontermen toegevoegd in het model op de locatie van het N05-A platform. Er is van uitgegaan dat de lozing op tien meter onder het gemiddeld oppervlak plaatsvindt.

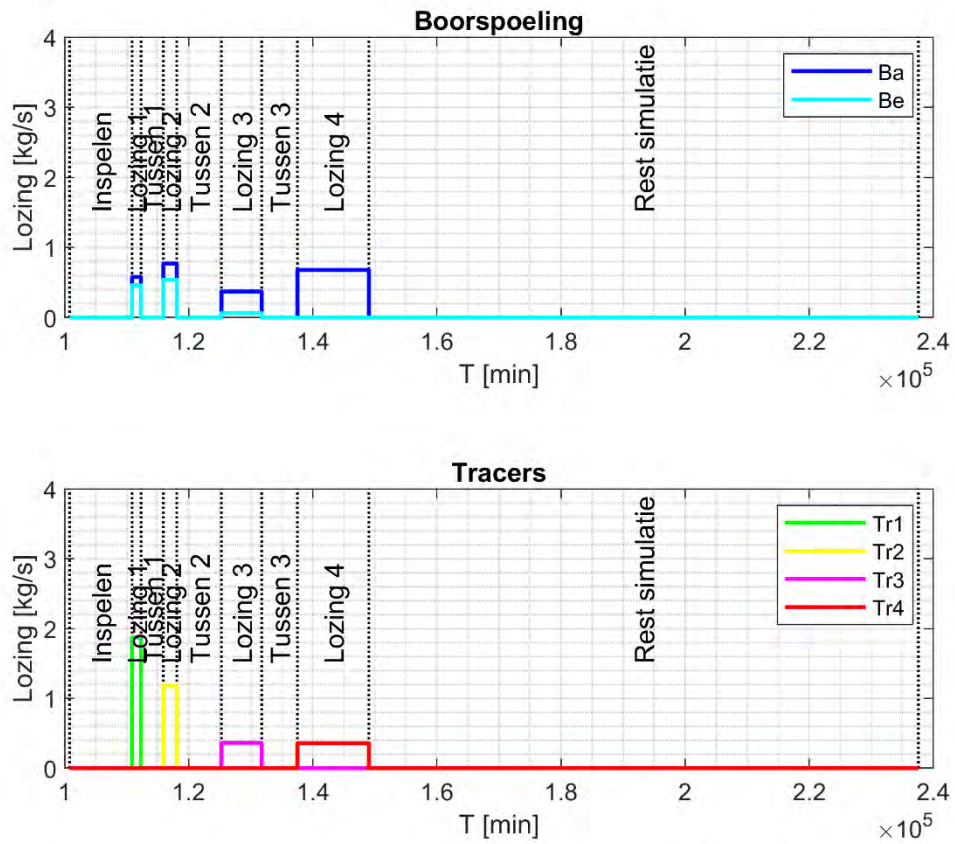
Voor het modelleren van bariet en bentoniet zijn twee aparte sedimentfracties gebruikt: één voor bariet (korrelgrootte van 0,015 mm) en één voor bentoniet (korrelgrootte van 0,030 mm). Deze sedimentdeeltjes worden verticaal verspreid over de waterkolom en horizontaal verspreid over de Noordzee onder invloed van stroming, golven en turbulentie. De deeltjes kunnen ook bezinken, sedimenteren en eroderen.

De opgeloste stoffen zijn gemodelleerd als vier tracer-fracties: één fractie voor elke boorsectie met *WBM*. Het verschil met het bariet en bentoniet is dat deze deeltjes niet bezinken, sedimenteren of eroderen. Ze worden wel verspreid over de waterkolom en horizontaal verspreid over de Noordzee. De hoeveelheid in het model geloosde tracer is de som van alle opgeloste stoffen, en varieert per boorsectie.

Op basis van de hoeveelheden opgeloste stoffen in de boorspoeling, welke varieert per boorsectie (zie paragraaf 2.4), zijn de gemodelleerde concentraties van de vier fracties in de Noordzee na uitvoering van de modelberekening omgerekend naar concentraties opgeloste stoffen in de Noordzee. Voordeel hiervan is dat slechts vier fracties gemodelleerd hoeven te worden in plaats van veertien fracties, wat een significante besparing in rekentijd betekent.

Figuur 4-2 toont de tijdserie van de lozingen van bariet, bentoniet en de vier fracties die de opgeloste stoffen representeren. Gedurende elk van de vier lozingsperiodes wordt bariet, bentoniet en één van de fracties geloosd. Tijdens de tussenperiodes en na de vier lozingsperiodes wordt niets geloosd.

In de modellering zijn alleen het bariet, het bentoniet en de opgeloste stoffen gemodelleerd. De natuurlijke achtergrondconcentraties van sediment en andere stoffen zijn dus niet gemodelleerd. De resultaten geven dus de toegevoegde waarde van de lozing van boorspoeling aan de achtergrondwaarden.



Figuur 4-2: Tijdsree van de brontermen zoals ze in het model worden opgelegd.

5 Verspreiding van boorspoeling en tracers rondom N05-A

5.1 Algemeen

In dit hoofdstuk worden de modelresultaten voor de verschillende scenario's beschreven. De keuze voor de scenario's is beschreven in paragraaf 3.8. Het doel van de scenario's is om een range in de pluimverspreiding en sedimentatie te analyseren door verschillende mogelijke omstandigheden zoals golfhoogtes en windrichting te modelleren.

De drie scenario's zijn (zie paragraaf 3.8):

- **Scenario Maart:** een periode met een flinke storm. De lozing vindt plaats gedurende de storm.
- **Scenario Oktober:** een zeer rustige periode, gevolgd door een periode met hogere golven. De lozing vindt plaats tijdens de zeer rustige periode.
- **Scenario November:** een periode met afwisselend hoge golven. De lozing vindt plaats in een periode met lage tot redelijk hoge golven.

Voor elk scenario zijn de volgende figuren met resultaten opgenomen:

- Maximale concentratie over de gehele waterkolom gedurende het scenario. Voor de boorspoeling zijn de concentraties bariet en bentoniet samengenomen. Voor de boorspoeling is behalve de maximale concentratie ook de maximale bijdrage aan de achtergrondconcentratie fijn sediment in de Noordzee getoond. Hierbij is een achtergrondconcentratie van 15 mg/l aangenomen (zie Figuur 3-11).
- Maximale sedimentatiedikte van het bariet en bentoniet gedurende het scenario. Tracers bezinken niet en daarom is er voor de tracers geen figuur van sedimentatie getoond.
- Tijdseries van concentraties en sedimentatie op de gevoelige locaties en op de platformlocatie. De concentraties geven de maximale waarde over de gehele waterkolom weer. Bariet en bentoniet zijn wederom samen genomen.

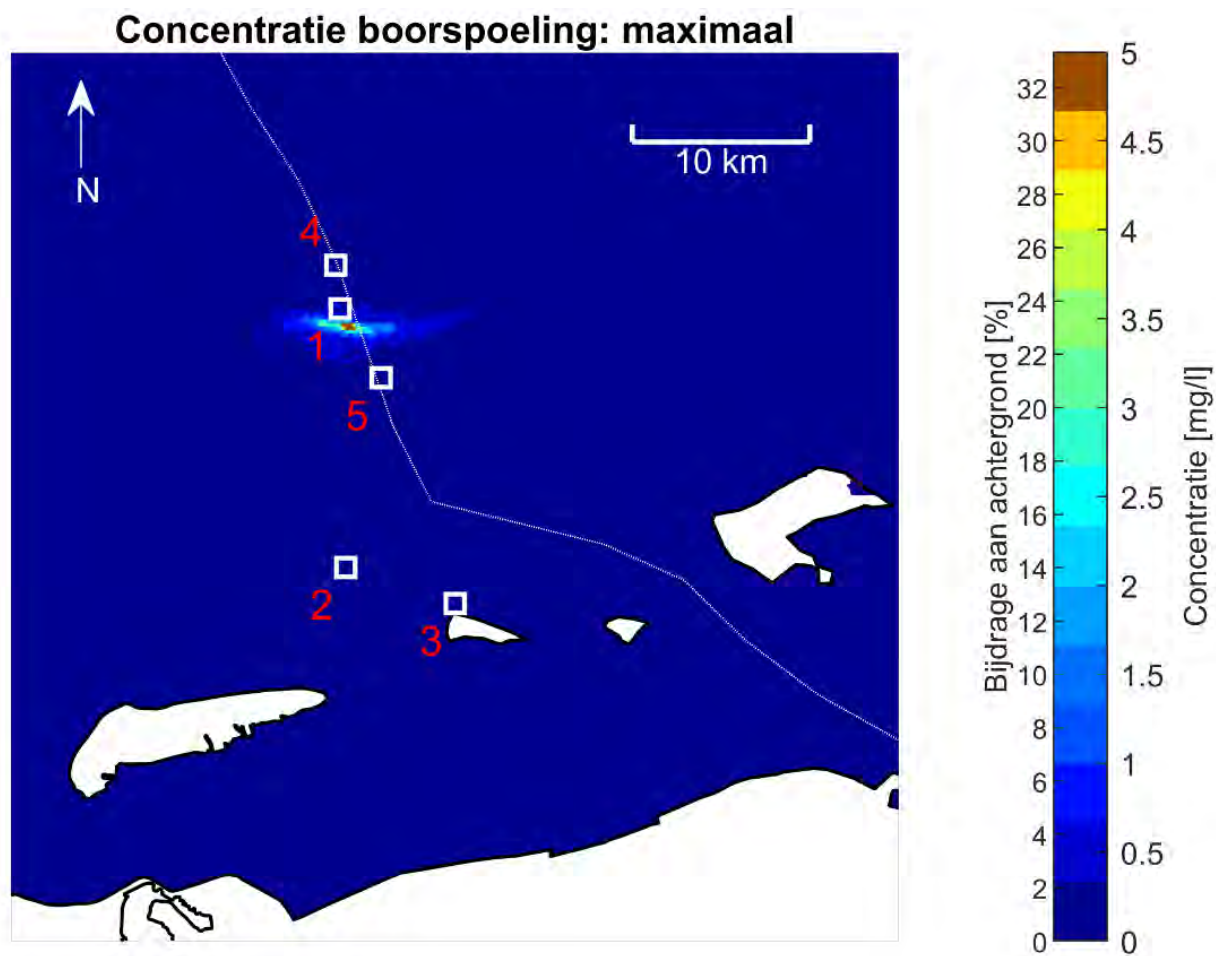
In paragraaf 5.2 zijn de resultaten voor scenario Maart uitgebreid besproken. In paragraaf 5.3 is in tabelvorm een samenvatting gegeven van de resultaten van scenario Oktober en scenario November, de uitgebreide beschrijving hiervan is te vinden in bijlage A2.

5.2 Scenario Maart

5.2.1 Bariet en bentoniet in boorspoeling

Maximale concentratie boorspoeling gedurende de simulatie

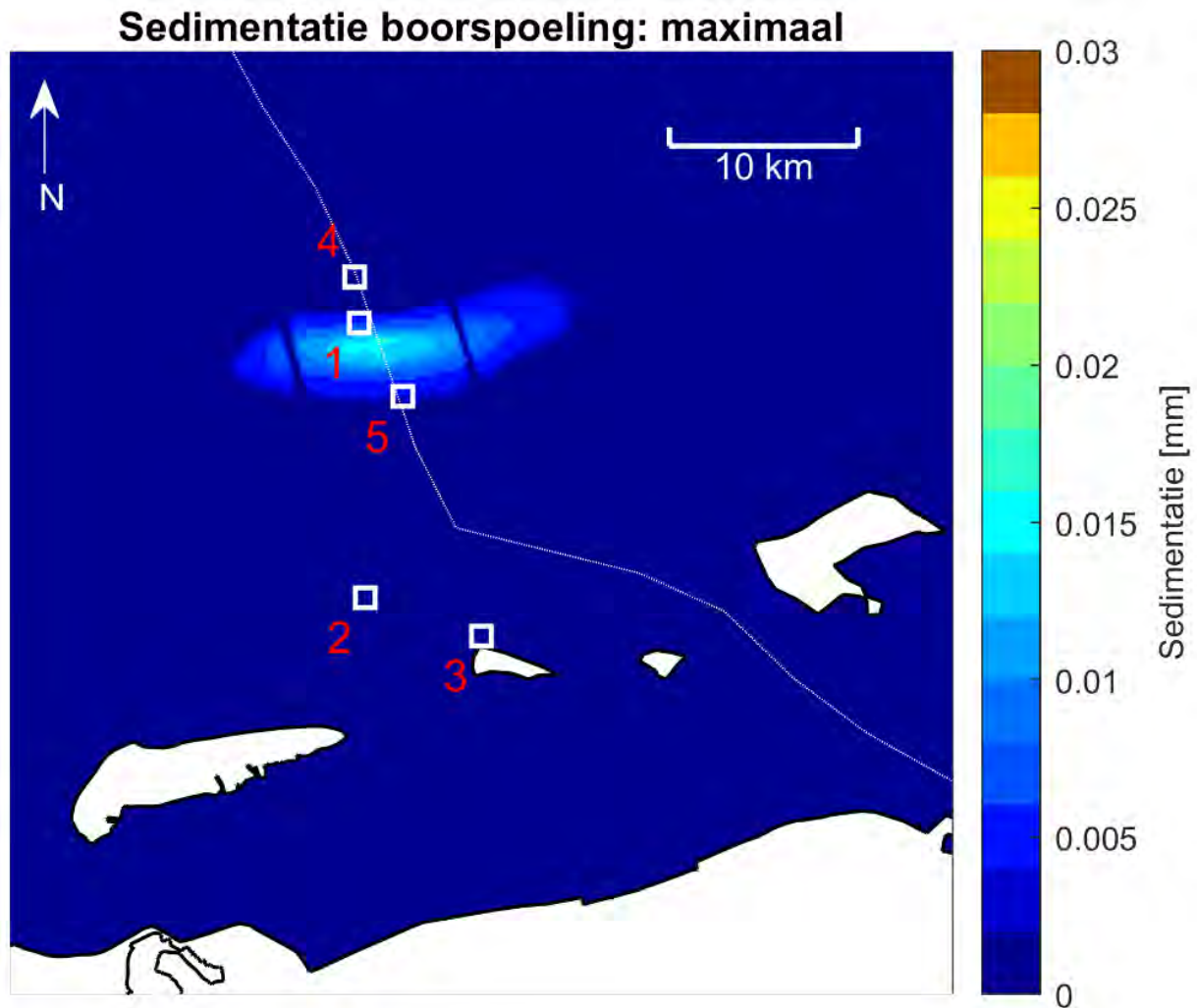
De maximale concentratie boorspoeling gedurende de gehele simulatie en over de gehele diepte is te zien in Figuur 5-1. In de figuur is de Nederlands-Duitse grens te zien en de verschillende gevoelige locaties (witte vierkanten). De hoogste maximale waarde is te zien rondom de platformlocatie, met vrij symmetrische pluimen richting het oosten en westen van de platformlocatie. De totale lengte van de pluim met maximum concentratie hoger dan 0,5 mg/l is circa 10 km en de breedte is circa 4 km.



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

Maximale sedimentatie boorspoeling gedurende de simulatie

De sedimentatie als gevolg van de lozing van boorspoeling gedurende scenario Maart is te zien in Figuur 5-2. De maximale sedimentatie als gevolg van de boorspoeling, direct rondom het platform, is circa 0,015 mm en neemt geleidelijk af in alle richtingen. Evenals de maximum concentratie heeft de afzetting een oost-westelijke oriëntatie.



Figuur 5-2: Maximale sedimentatie van boorspoeling gedurende scenario Maart. De gevoelige locaties zijn aangegeven met witte vierkantjes en een nummer (1 = oesterbankherstelproject, 2 = Noordzeekustzone, 3 = Rottumerplaat, 4 = Borkum Riffgrund, 5 = Niedersächsisches Wattenmeer und angrenzendes Küstenmeer), de Nederlands-Duitse grens met de stippellijn.

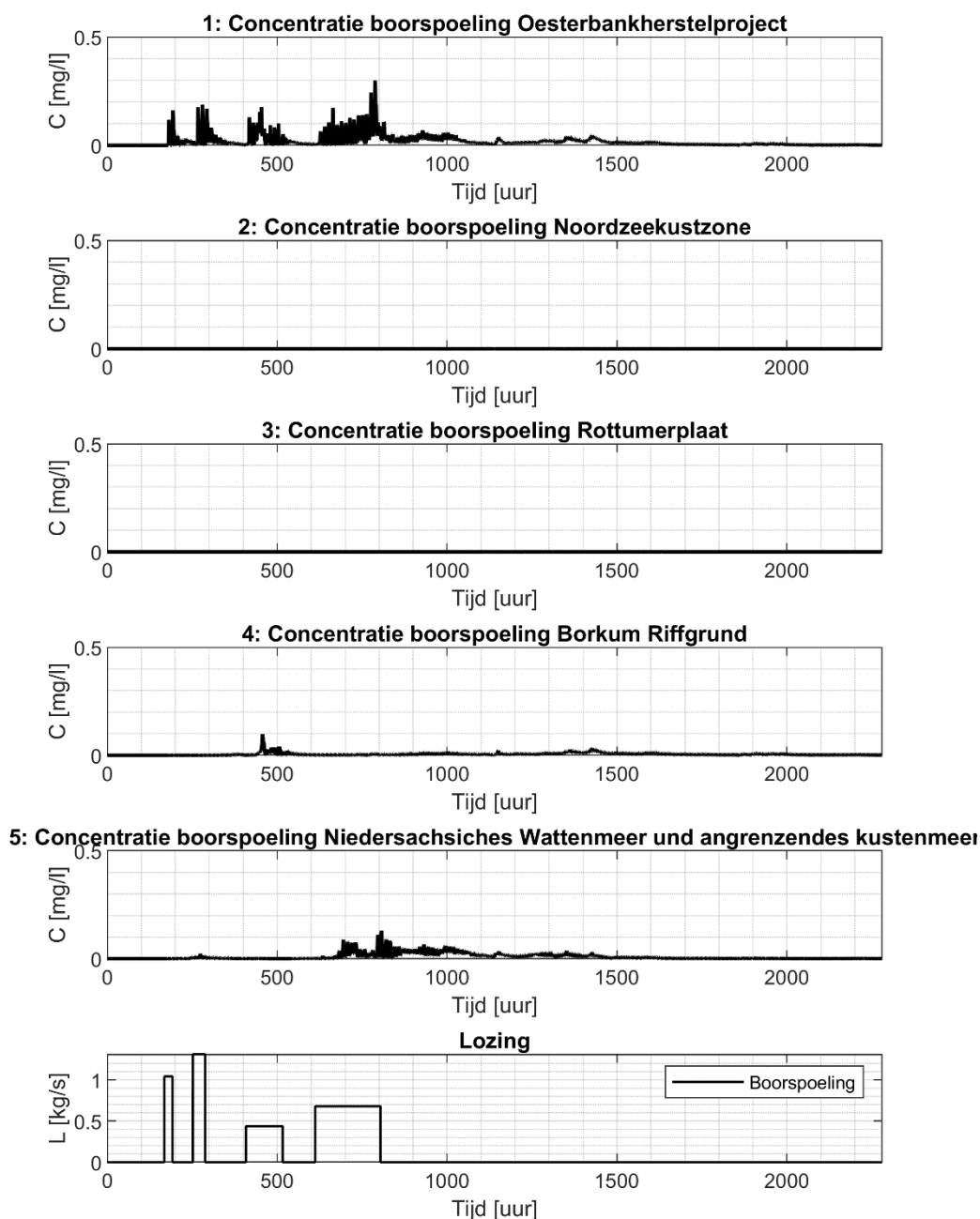
Tijdseries

In Figuur 5-3 en Figuur 5-4 is de variatie in de concentratie boorspoeling en de sedimentatiedikte als gevolg van de boorspoeling over de tijd te zien ter hoogte van de volgende locaties:

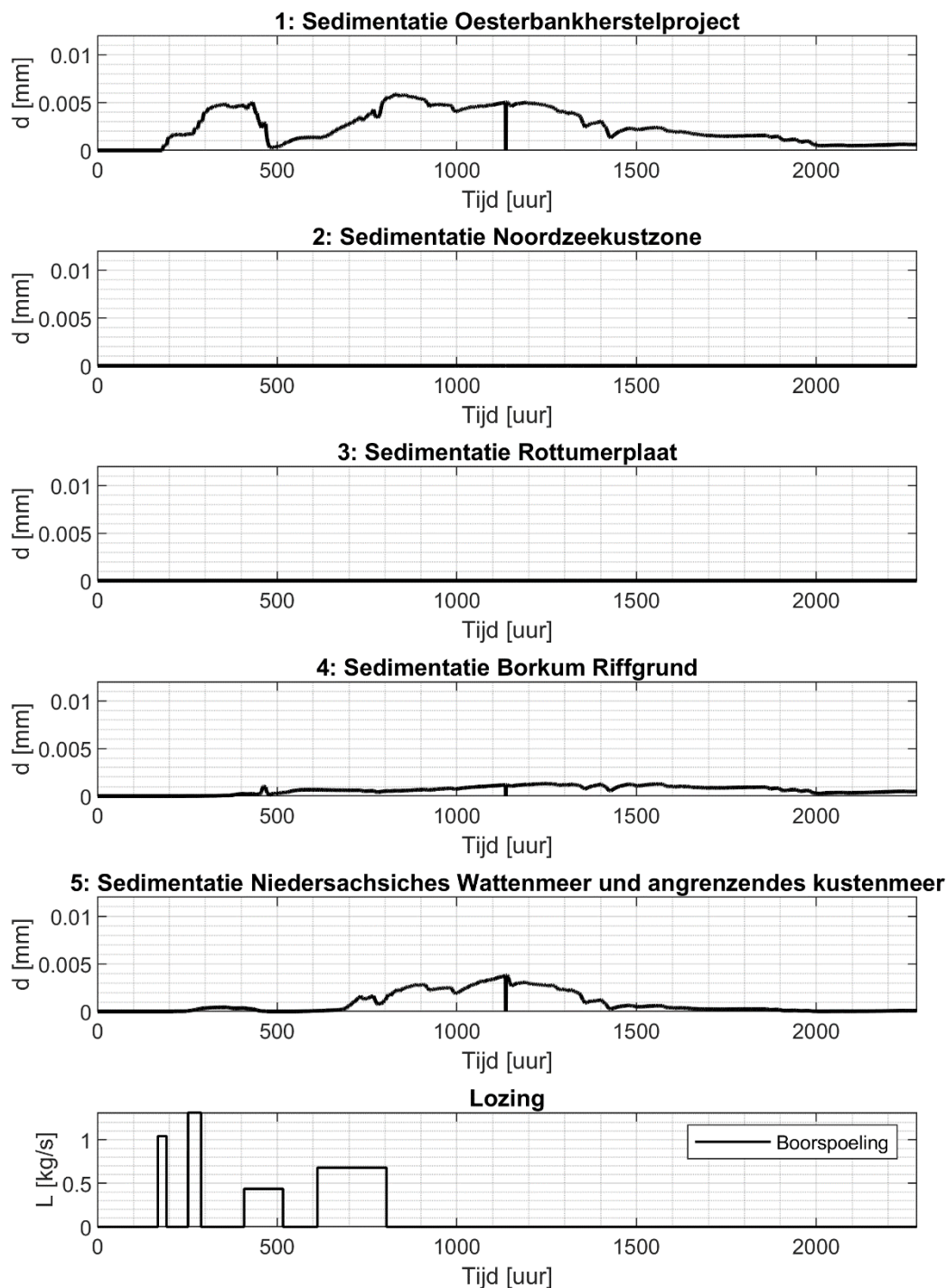
- 3 Oesterbankherstelproject
- 4 Noordzeekustzone
- 5 Rottumerplaat
- 6 Borkum Riffgrund
- 7 Niedersächsisches Wattenmeer und angrenzendes Küstenmeer

In de concentratie boorspoeling bij het oesterbankherstelproject is duidelijk het lozingspatroon te herkennen, aangezien deze locatie zich dicht bij het platform bevindt. De concentraties boorspoeling in de Noordzeekustzone en de Rottumerplaat zijn verwaarloosbaar.

In de locaties rondom het platform is in het sedimentatiepatroon van Figuur 5-4 de storm van eind maart (rond Tijd is 500 uur) te herkennen aan de afname van de sedimentatiedikte, dus erosie van bariet en bentoniet vanaf de zeebodem als gevolg van de hoge golven. Na de storm neemt de sedimentatiedikte weer toe. Let wel dat een sedimentatiedikte van 0,005 mm vrijwel gelijk is aan één kleideeltje, dus heel weinig.



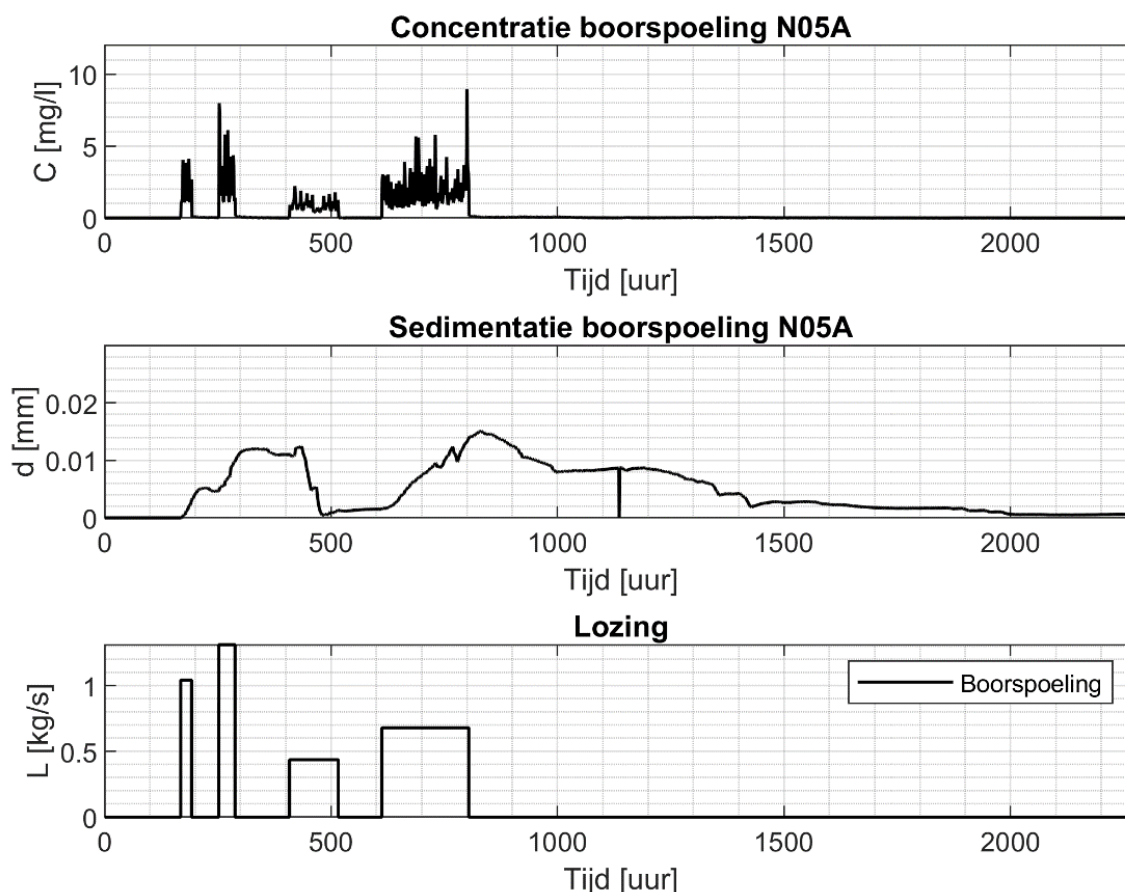
Figuur 5-3: Maximale concentratie boerspoeiing over de waterkolom gedurende scenario Maart op de gevoelige locaties. In de onderste plot zijn de lozingstermen getoond



Figuur 5-4: Sedimentatie gedurende scenario Maart op de gevoelige locaties. In de onderste plot zijn de lozingstermen getoond

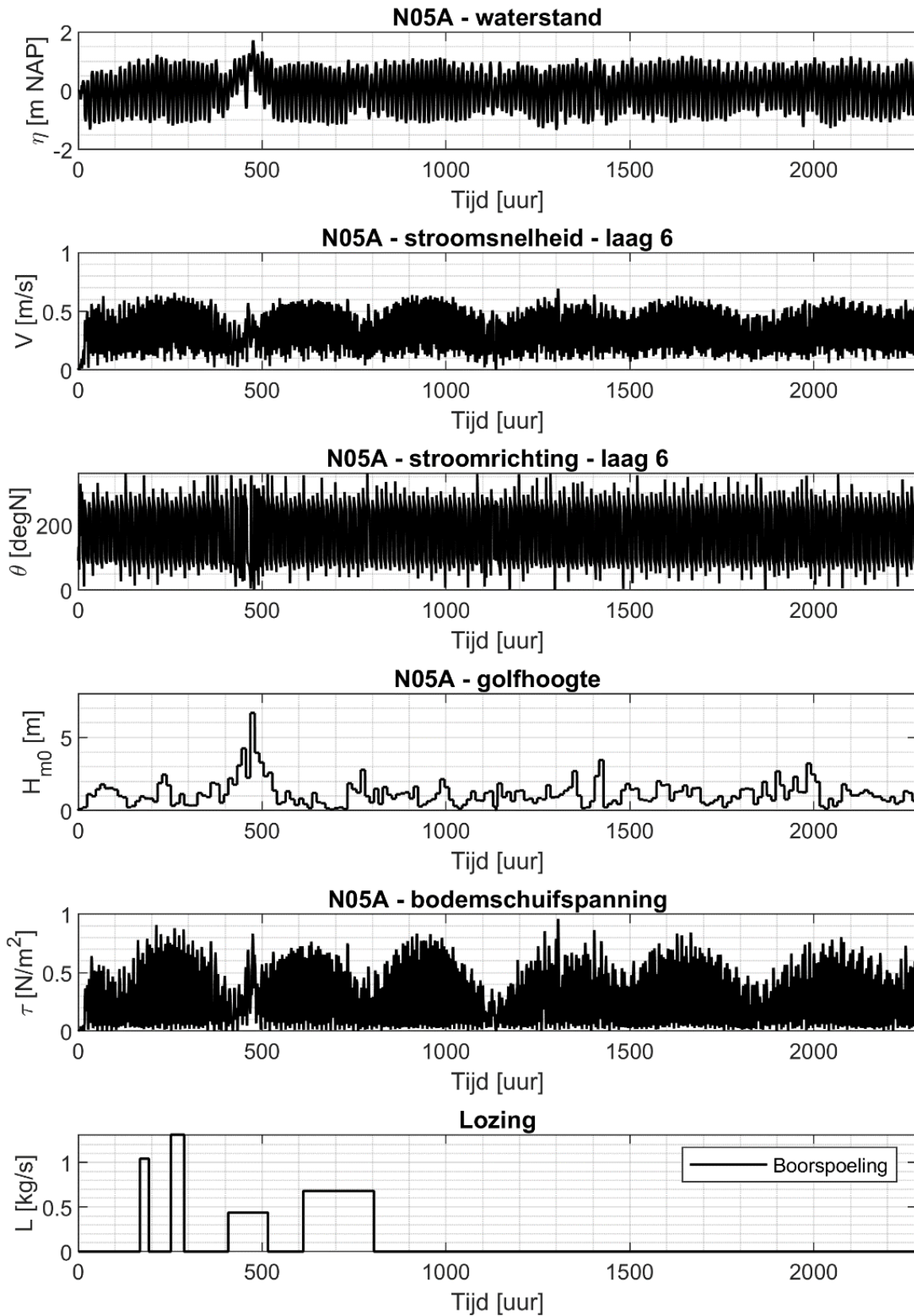
In Figuur 5-5 is het verloop van de concentratie boorspoeling en de sedimentatie ter hoogte van het platform getoond. De concentraties geven de maximale concentratie over de waterkolom aan. Ter illustratie is de lozing over de tijd toegevoegd.

Ter hoogte van het platform zijn de concentraties boorspoeling en de sedimentatie als gevolg van de boorspoeling hoger (ca 8 mg/l). In het concentratieverloop is duidelijk het lozingspatroon terug te zien. Ook hier is de storm van eind maart (rond Tijd is 500 uur) te herkennen aan de afname van de sedimentatiedikte, dus erosie van boorspoeling vanaf de zeebodem. De maximale sedimentatie in scenario Maart is ter hoogte van de platformlocatie ca 0,015 mm.

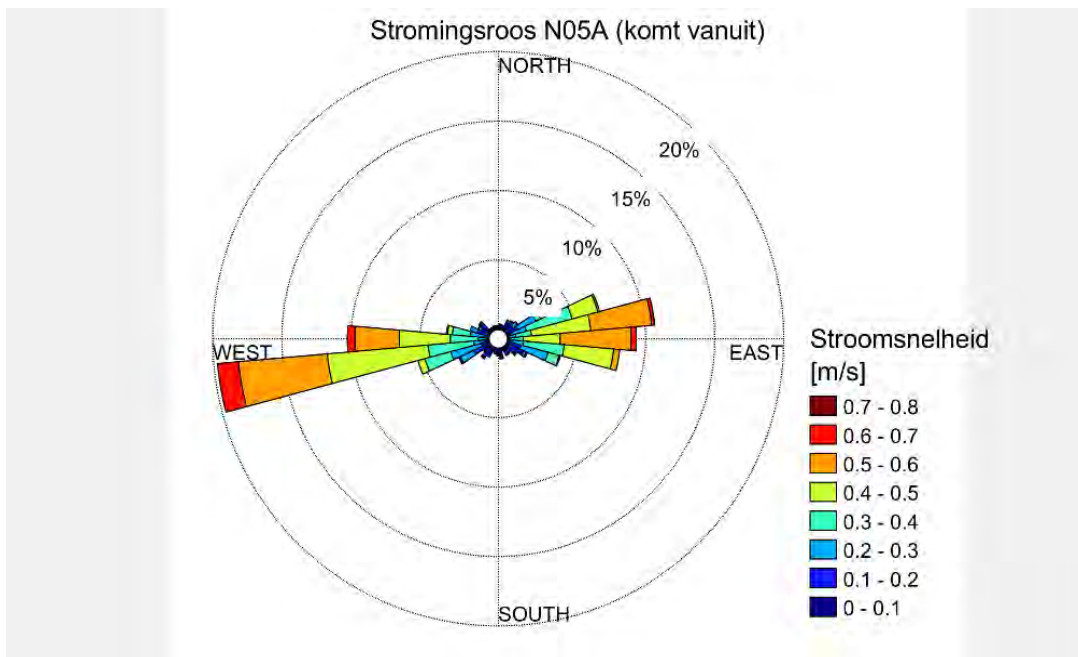


Figuur 5-5: Variatie in de tijd van de concentratie boorspoeling en de sedimentatiedikte ter plaatse van het platform N05-A. De concentratie geeft de maximale concentratie over de waterkolom aan.

In Figuur 5-6 zijn de stromingscondities en de golfhoogte ter hoogte van het platform te zien gedurende de simulatie. Ten tijde van de storm (na ca 500 uur) is het typische getijdepatroon verstoord. Dit is zowel te zien in de waterstand, de stroomsnelheid en in de richting. Ook is de bodemschuifspanning verhoogd. In Figuur 5-7 is een stromingsroos te zien ter plaatse van het platform. Deze roos laat zien wat de dominante stromingsrichtingen zijn. Duidelijk wordt dat de hoogste stroomsnelheden vanuit het zuidwesten komen. Dit komt overeen met het patroon van de grootschalige getijgolf in de Noordzee en verklaart waarom de dominante richting van de pluim richting het noordoosten is.



Figuur 5-6: Waterstand, stroomsnelheid en -richting, golfhoogte en bodemschuifspanning ter plaatse van het platform N05-A



Figuur 5-7: Stromingsroos ter plaatse van het platform N05-A gedurende scenario Maart. De richting geeft aan waar de stroming in het model vandaan komt.

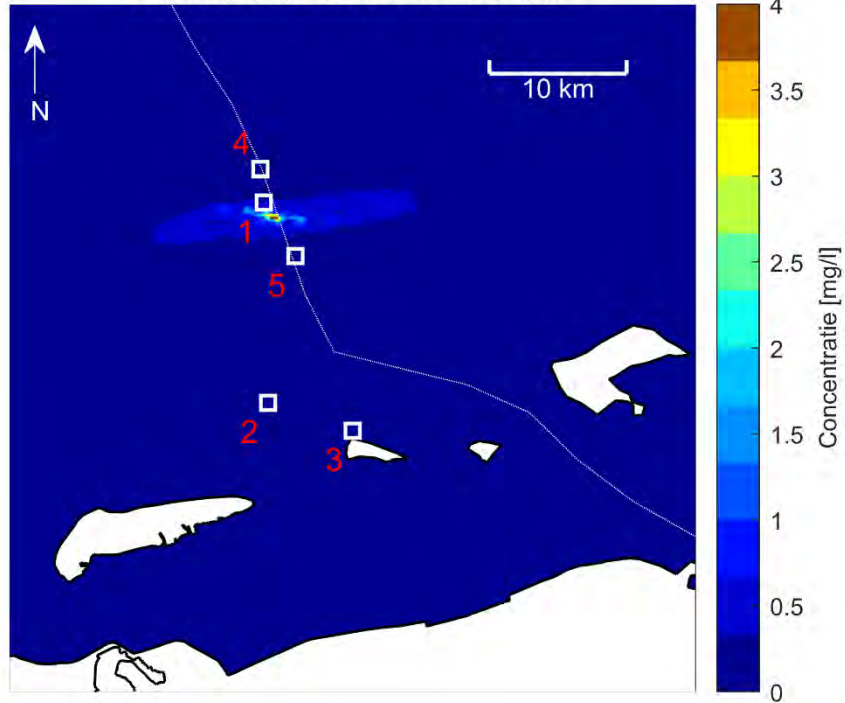
5.2.2 Opgeloste stoffen in boorspoeling

Maximale concentratie gedurende de simulatie

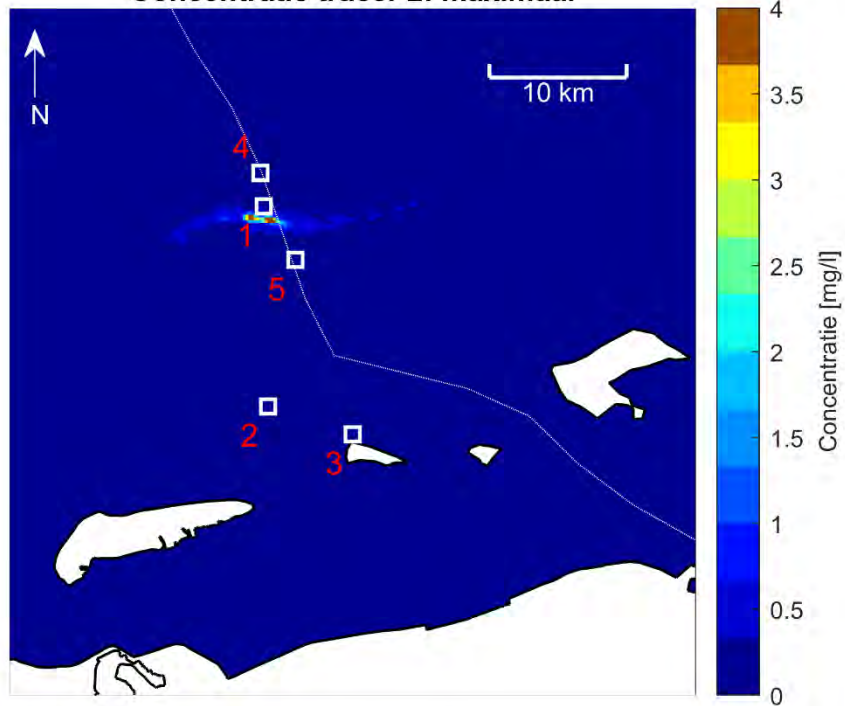
In de modelberekeningen zijn fictieve tracer-concentraties in de Noordzee bepaald, welke later in dit hoofdstuk zijn omgerekend naar de individuele veertien opgeloste stoffen (zie paragraaf 4.3.3). Voor elk van de vier boorsecties is een aparte tracer gebruikt. De hoeveelheid geloosde tracer is gelijk aan de som van de geloosde opgeloste stoffen, en varieert per sectie en tracer.

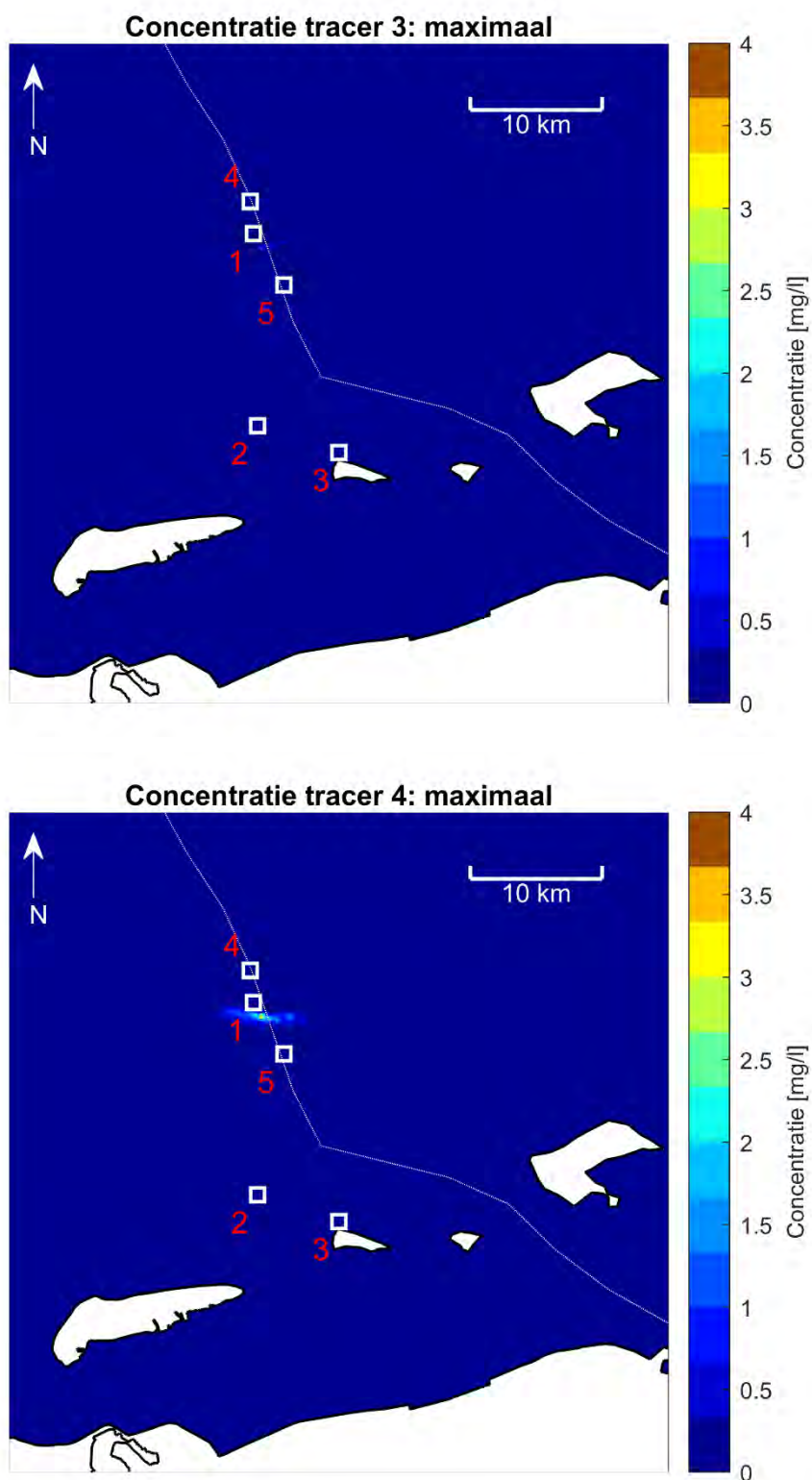
In Figuur 5-8 is de maximale concentratie van de vier tracers gedurende scenario Maart te zien over de gehele waterkolom. De concentraties van tracer 1 en tracer 2 zijn hoger dan voor tracer 3 en tracer 4, aangezien ook de lozingstermen groter zijn. De concentraties voor tracer 4 zijn hoger dan voor tracer 3, aangezien deze over een langere periode wordt geloosd. Tracer 1, 2 en 3 worden geloosd voor of tijdens de storm, Tracer 4 wordt geloosd na de storm.

Concentratie tracer 1: maximaal



Concentratie tracer 2: maximaal

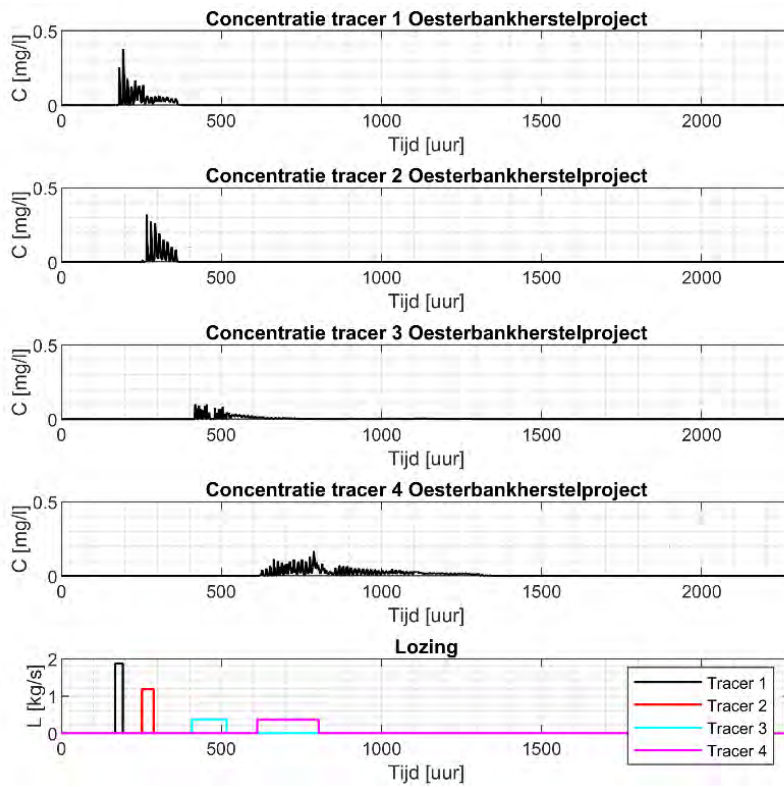




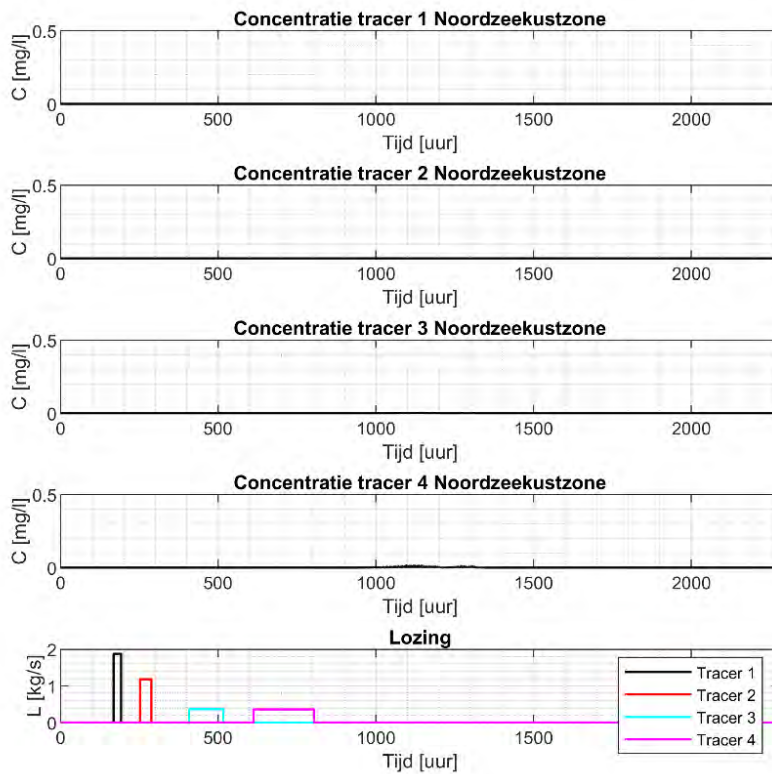
Figuur 5-8: Maximale concentratie van de tracers tijdens scenario Maart over de gehele waterkolom. De gevoelige locaties zijn aangegeven met witte vierkantjes en een nummer (1 = oesterbankherstelproject, 2 = Noordzeekustzone, 3 = Rottumerplaat, 4 = Borkum Riffgrund, 5 = Niedersächsisches Wattenmeer und angrenzendes Küstenmeerr), de Nederlands-Duitse grens met de stippellijn.

Tijdseries

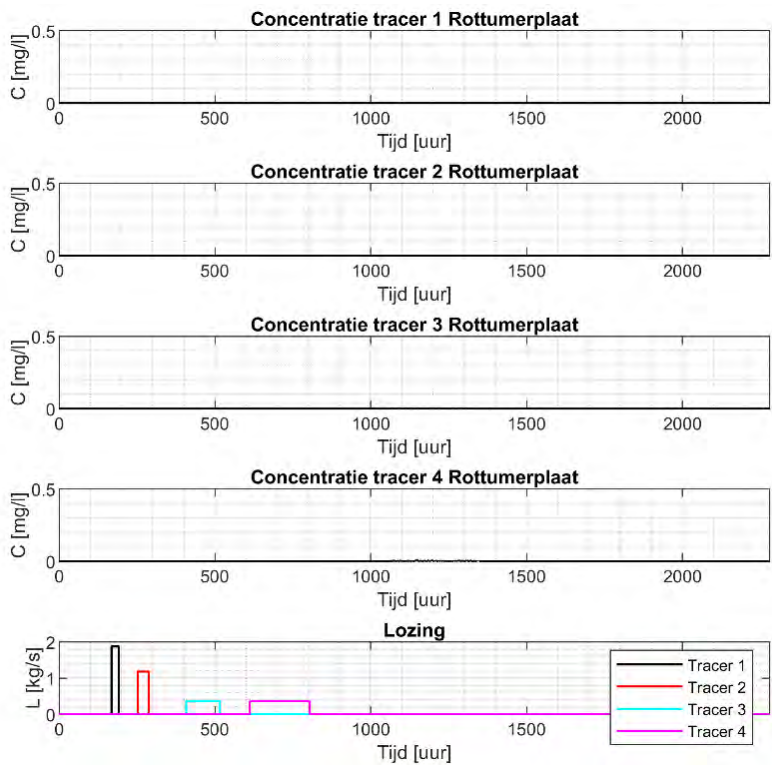
In Figuur 5-12 t/m Figuur 5-14 is de variatie over de tijd van de verschillende tracers te zien op de gevoelige locaties.



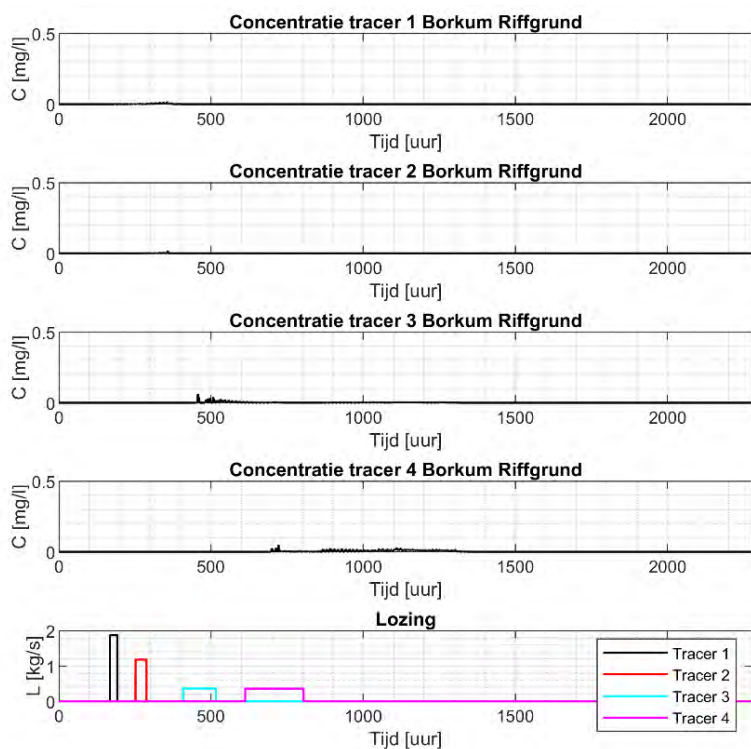
Figuur 5-9 Variatie in de tijd van de concentratie tracer ter plaatse van het Oesterbankherstelproject. De concentratie geeft de maximale waarde over de waterkolom weer.



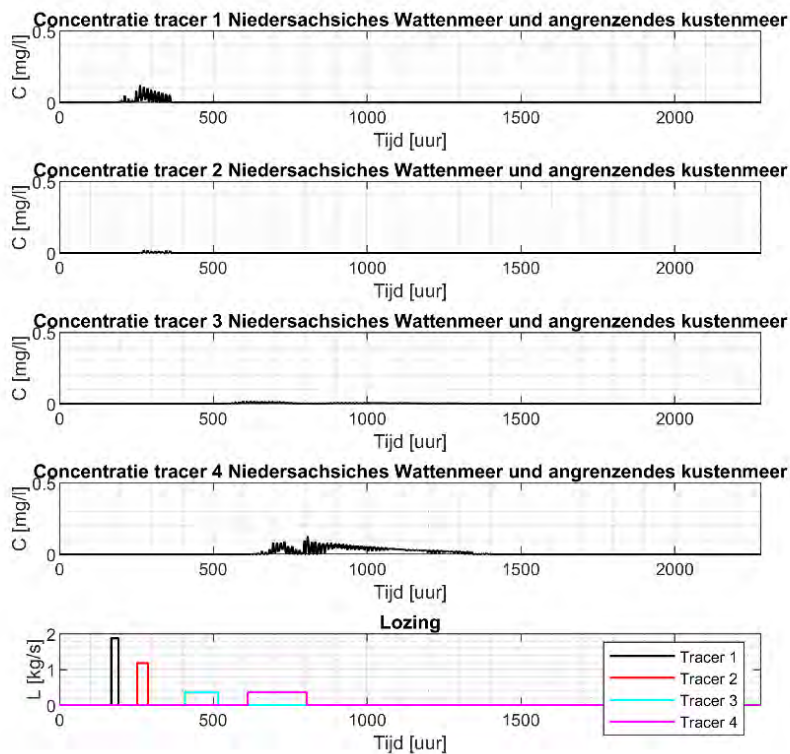
Figuur 5-10: Variatie in de tijd van de concentratie tracer ter plaatse van de Noordzeekustzone. De concentratie geeft de maximale waarde over de waterkolom weer.



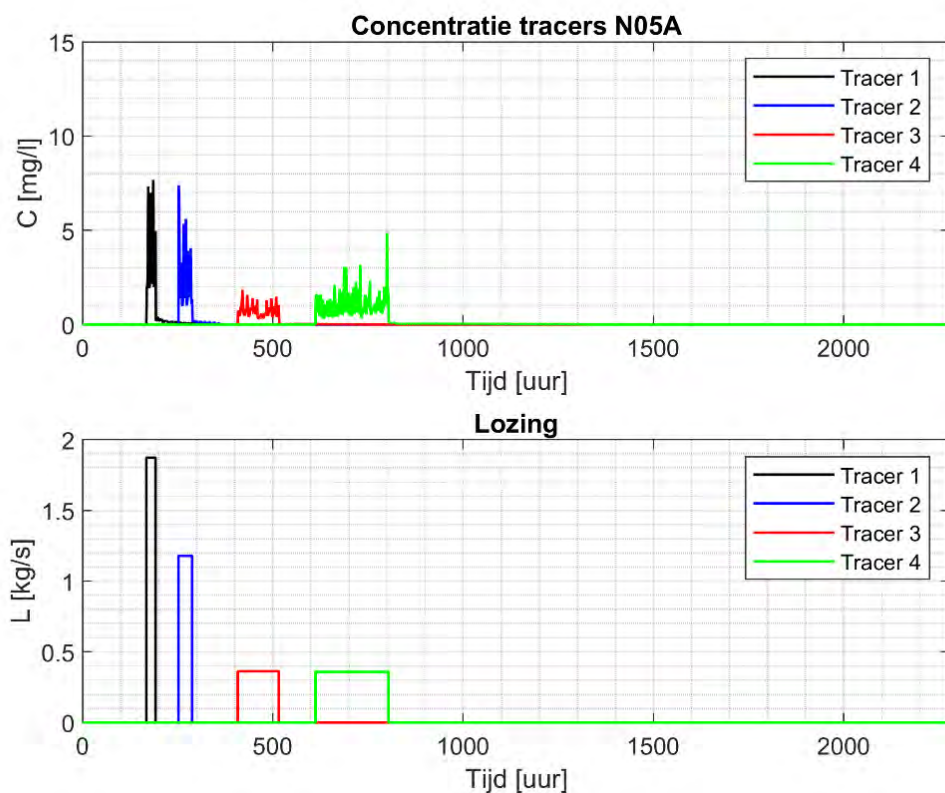
Figuur 5-11 Variatie in de tijd van de concentratie tracer ter plaatse van Rottumerplaat. De concentratie geeft de maximale waarde over de waterkolom weer.



Figuur 5-12: Variatie in de tijd van de concentratie tracer ter plaatse van Borkum Riffgrund. De concentratie geeft de maximale waarde over de waterkolom weer.



Figuur 5-13: Variatie in de tijd van de concentratie tracer ter plaatse van Niedersächsisches Wattenmeer und angrenzendes Küstenmeer. De concentratie geeft de maximale waarde over de waterkolom weer.



Figuur 5-14: Variatie in de tijd van de concentratie tracer ter plaatse van het platform. De concentratie geeft de maximale waarde over de waterkolom weer.

Omrekening van tracers naar concentraties opgeloste stoffen

De gemodelleerde tracers zijn een samenvoeging van opgeloste stoffen. Per sectie is een aparte tracer samengesteld welke bestaat uit de opgeloste stoffen in andere hoeveelheden. In elke sectie heeft een bepaalde opgeloste stof dus een ander aandeel in de tracer van die sectie. Hier splitsen we de berekende concentraties van de vier tracers weer terug uit naar de individuele opgeloste stoffen, op basis van het aandeel van die individuele opgeloste stof in de tracer. Zo is het aandeel Potassium chloride tijdens boorsectie 1 (en dus in tracer 1) bijna 99% terwijl dit tijdens de vierde boorsectie 0% is. De maximale concentratie over de gehele waterkolom voor elke opgeloste stof is per boorsectie gegeven in Tabel 5-1.

Tabel 5-1: Maximale concentratie van de opgeloste stoffen over alle boorsecties en de gehele waterkolom

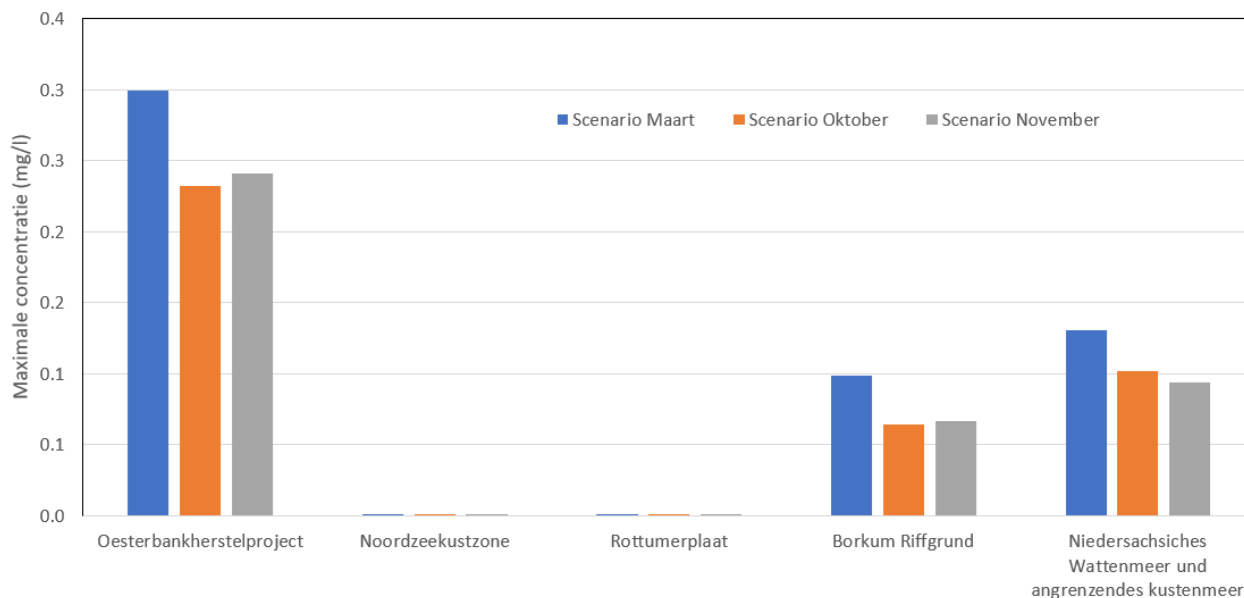
Maximale concentratie opgeloste stoffen over de gehele waterkolom [mg/l]: alle secties - scenario Maart

	Oesterbankherstel project	Noordzeekustzone	Rottumerplaat	Borkum Riffgrund	Niedersächsisches Wattenmeer und angrenzendes kustenmeer	N05A
Vloeistofverliesvertrager	1.9E-03	1.8E-04	1.1E-04	5.8E-04	1.1E-01	5.6E-02
Verzadigd monocarbonzuur, calciumzout	4.2E-03	1.6E-04	1.0E-04	8.9E-04	3.9E-03	9.7E-02
Calcium hydroxide	1.4E-03	4.9E-05	3.0E-05	8.9E-04	9.3E-04	2.6E-02
Magnesium oxide	1.7E-03	1.6E-04	1.0E-04	5.2E-04	9.3E-04	5.0E-02
Potassium chloride	3.7E-01	1.8E-03	1.1E-03	4.9E-02	4.6E-03	7.6E+00
Natriumcarbonaat	2.6E-03	4.6E-05	2.8E-05	2.2E-04	4.6E-03	5.3E-02
Sodium chloride	1.5E-01	1.4E-02	8.9E-03	4.6E-02	4.1E-03	4.4E+00
Natrium carboxymethylcellulose	1.6E-02	4.9E-04	3.0E-04	2.7E-03	1.3E-01	3.6E-01
Saccharose	4.7E-04	6.5E-06	4.0E-06	4.5E-05	0.0E+00	9.5E-03
Corosieremmer	1.2E-03	1.2E-04	7.3E-05	3.7E-04	2.5E-01	3.6E-02
Antischuim	3.1E-04	2.4E-06	1.5E-06	6.7E-05	2.9E-01	7.2E-03
Stof 1: Poly(oxy-1,2-ethanediyl), α -butyl- ω -hydroxy	6.7E-02	3.2E-04	2.0E-04	8.9E-03	1.4E-03	1.5E+00
Potassium hydroxide	2.0E-04	2.0E-05	1.2E-05	6.2E-05	1.3E-03	6.0E-03
Stof 2: Poly(oxy-1,2-ethanediyl), α -butyl- ω -hydroxy	5.4E-03	5.2E-04	3.2E-04	1.7E-03	1.3E-03	1.6E-01

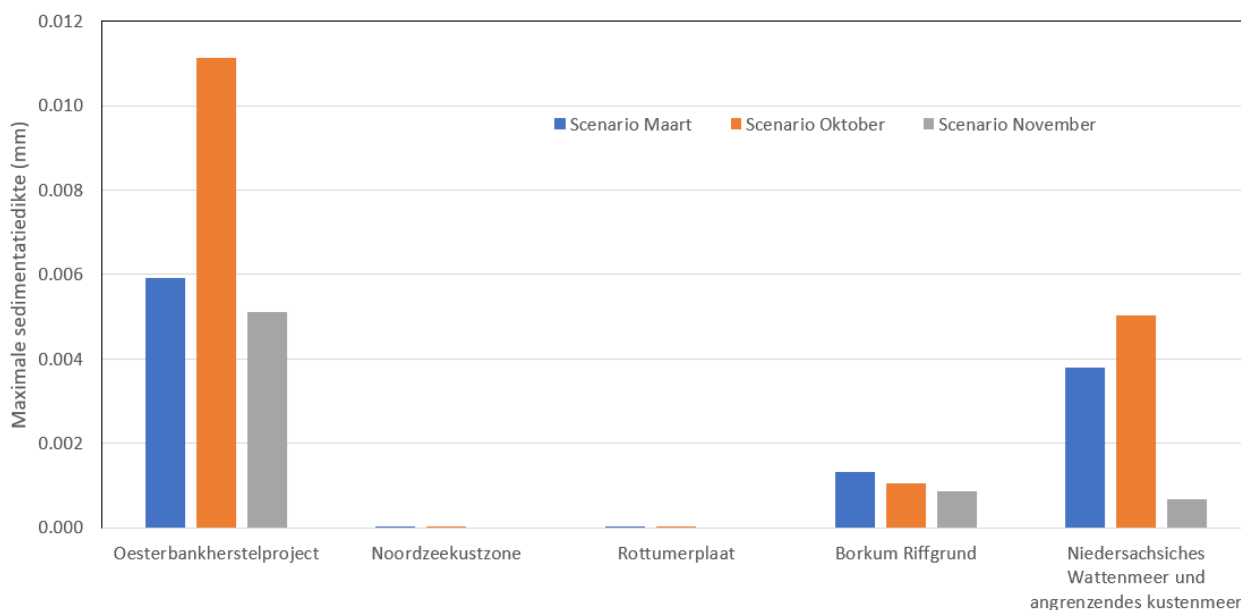
5.3 Overzicht resultaten voor de drie scenario's

5.3.1 Bariet en bentoniet in boorspoeling

In Figuur 5-15, Figuur 5-16 en Tabel 5-2 zijn de resultaten voor de drie scenario's gegeven wat betreft het bariet en bentoniet: de maximale concentratie bariet + bentoniet over de gehele waterkolom en de maximale sedimentatie op de relevante locaties. Een uitgebreide beschrijving van de resultaten van scenario Oktober en scenario November is gegeven in bijlage A2.



Figuur 5-15: Maximale concentratie van de boorspoeling (bariet + bentoniet) in de drie scenario's



Figuur 5-16: Maximale sedimentatiedikte van de boorspoeling (bariet + bentoniet) in de drie scenario's.

Tabel 5-2: Maximale concentratie boorspoeling over de gehele waterkolom en maximale sedimentatie over de drie scenario's.

	Maximale over de drie scenario's	
	Max concentratie spoeling [mg/l]	Max sedimentatie spoeling [mm]
Oesterbankherstelproject	3.0E-01	1.1E-02
Noordzeekustzone	4.0E-04	1.8E-05
Rottumerplaat	6.4E-04	3.6E-06
Borkum Riffgrund	9.8E-02	1.3E-03
Niedersachsiches Wattenmeer und angrenzendes kustenmeer	1.3E-01	5.0E-03
N05-A	1.2E+01	2.8E-02

5.3.2 Opgeloste stoffen in boorspoeling

In Tabel 5-3 zijn de maximale concentraties aan opgeloste stoffen, zoals berekend in de drie scenario's weergegeven. Dit zijn de maximale concentratie van opgeloste stoffen over de gehele waterkolom en alle vier boorsecties. Een uitgebreide beschrijving van de resultaten van scenario Oktober en November is gegeven in bijlage A2.

Tabel 5-3: Maximale concentratie over de gehele waterkolom voor alle opgeloste stoffen over de drie scenario's.

Maximale concentratie opgeloste stoffen over de gehele waterkolom [mg/l]: alle secties - alle scenario's

	<i>Oesterbankherstel project</i>	<i>Noordzeekustzone</i>	<i>Rottumerplaat</i>	<i>Borkum Riffgrund</i>	<i>Niedersächsisches Wattenmeer und angrenzendes kustenmeer</i>	<i>NOSA</i>
Vloeistofverliesvertrager	2.1E-03	1.8E-04	1.1E-04	7.2E-04	1.4E-03	5.6E-02
Verzadigd monocarbonzuur, calciumzout	5.0E-03	2.4E-04	2.1E-04	8.9E-04	1.5E-03	9.7E-02
Calcium hydroxide	2.5E-03	2.4E-04	2.1E-04	8.9E-04	1.3E-03	2.7E-02
Magnesium oxide	1.8E-03	1.6E-04	1.0E-04	6.4E-04	1.3E-03	5.0E-02
Potassium chloride	4.6E-01	1.3E-02	1.2E-02	1.1E-01	1.2E-01	1.5E+01
Natriumcarbonaat	3.1E-03	7.1E-05	6.7E-05	7.7E-04	8.3E-04	1.0E-01
Sodium chloride	1.6E-01	1.4E-02	8.9E-03	5.6E-02	1.1E-01	4.4E+00
Natrium carboxymethylcellulose	1.9E-02	7.2E-04	6.4E-04	2.7E-03	5.5E-03	3.6E-01
Saccharose	5.7E-04	1.3E-05	1.2E-05	1.4E-04	1.5E-04	1.9E-02
Corosieremmer	1.3E-03	1.2E-04	7.3E-05	4.6E-04	9.3E-04	3.6E-02
Antischuim	3.8E-04	1.8E-05	1.6E-05	6.7E-05	1.1E-04	7.2E-03
Stof 1: Poly(oxy-1,2-ethanediyl), α-butyl-ω-hydroxy	8.0E-02	2.4E-03	2.1E-03	8.9E-03	2.3E-02	1.5E+00
Potassium hydroxide	2.2E-04	2.0E-05	1.2E-05	7.7E-05	1.5E-04	6.0E-03
Stof 2: Poly(oxy-1,2-ethanediyl), α-butyl-ω-hydroxy	5.9E-03	5.2E-04	3.2E-04	2.1E-03	4.1E-03	1.6E-01

6 Discussie

6.1 Vergelijking van de scenario's

In totaal zijn drie scenario's gesimuleerd, waarin de stromings- en golfcondities verschillen. Hierdoor wordt duidelijk wat de bandbreedte in pluimverspreiding en sedimentatie als gevolg van het lozen van boorspoeling kan zijn. Scenario Maart omvat een rustige periode met aan het einde een flinke storm. Scenario Oktober omvat een zeer rustige maand met daarna een periode met gemiddelde golven. In scenario November treden de gehele periode gemiddelde golven op.

Concentraties boorspoeling

Elk scenario omvat de boring van één gasput wanneer deze serieel geboord wordt. Wanneer de maximale concentraties van de boorspoeling binnen de periodes van de drie scenario's wordt vergeleken valt het volgende op:

- De maximale concentratie in de gevoelige gebieden is over het algemeen het hoogst tijdens scenario Maart. Alleen bij Rottumerplaat is de maximale concentratie het hoogst tijdens scenario Oktober;
- De omvang van de pluim voor boorspoeling is zeer vergelijkbaar voor de drie scenario's.

Dit is als volgt te verklaren. De vierde lozingsperiode heeft een relatief hoge lozingsterm over een lange duur en valt tijdens scenario Maart na de storm van eind maart samen met doortij, dus gedurende een rustige getijdperiode. Het geloosde materiaal blijft dan dicht bij de platformlocatie en zorgt daar voor hogere concentraties. Ook bij de opgeloste stoffen zijn de concentraties in de gevoelige gebieden over het algemeen het hoogst in scenario Maart.

De modelresultaten laten zien dat de maximale concentraties over de waterkolom van het bariet en bentoniet uit de boorspoeling relatief laag zijn. De concentratie van boorspoeling ligt onder de 0,5 mg/l op de verschillende gevoelige locaties en rond de 10 mg/l op de platformlocatie. Bovendien daalt de concentratie snel, zowel in tijd na afronding van de boring als met afstand vanaf de platformlocatie. Dit geldt voor het boren van één gasput tegelijkertijd. Omdat de concentraties snel afnemen, zullen de concentraties dus ook bij serieel boren relatief laag blijven, omdat de concentraties na elke tussenperiode (en dus begin van de volgende boring) al flink is gedaald. In paragraaf 6.4 wordt besproken wat de effecten zijn bij batch-drilling.

Sedimentatie

De sedimentatie als gevolg van de boorspoeling is op alle locaties, behalve bij het Borkum Riffgrund, het grootst tijdens scenario Oktober. Bij Borkum Riffgrund is de sedimentatie het grootst tijdens scenario Maart, maar het verschil met scenario Oktober is klein. Scenario Oktober heeft een lange rustige periode waarin materiaal goed kan uitzakken en dus een grotere sedimentatie optreedt.

In de sedimentatiepatronen komt duidelijk de invloed van meer-dagelijkse en extreme stromings- en golfcondities naar voren, meer dan voor de concentraties. De concentraties zijn afhankelijk van het getij: de concentratie varieert sterk tussen doortij en de pieken in eb- en vloedstroming. De sedimentatie daarentegen is een trager proces, terwijl de erosie juist plaatsvindt bij stormcondities.

6.2 Relevantie resultaten ten opzichte van natuurlijke processen

De natuurlijke achtergrondconcentratie van slib is in de orde van circa 5 - 20 mg/l rondom de platformlocatie (zie paragraaf 3.7). Dichter bij de zeebodem en richting de Waddeneilanden is de slibconcentratie over het algemeen hoger, en verder van de kust is de slibconcentratie wat lager.

Bij het oesterbankherstelproject is de maximale toename van de slibconcentratie als gevolg van de lozing van het bentoniet en bariet circa 0,3 mg/l (zie paragraaf 5.3). Gezien de achtergrondconcentratie van 5-20 mg/l, betekent dit een tijdelijke maximale toename van 1,5 - 6% voor het oesterbankherstelproject. De andere gevoelige locaties liggen verder weg en hebben een maximale toename van de slibconcentratie van orde grootte 1% of minder.

Op de platformlocatie is de absolute en relatieve toename van de slibconcentratie uiteraard groter: een tijdelijke maximale toename van circa 12 mg/l. Dit komt overeen met een tijdelijke toename van 60 - 240% voor de platformlocatie.

De voorspelde sedimentatiedikte van bentoniet en bariet is maximaal 30 µm, wat plaatsvindt nabij de platformlocatie. Dit is een zeer dunne laag van minder dan één fijn-zandkorrel dik. Op de gevoelige locaties is de maximale sedimentatiedikte nog kleiner. Ook al zijn er geen metingen van de dynamiek van het natuurlijke sediment op de zeebodem, en lijkt het sediment op de platformlocatie relatief stabiel (zie paragraaf 3.6), is het aannemelijk dat de natuurlijke dynamiek van het natuurlijke sediment op de zeebodem vele malen groter is dan 30 µm.

Natuurlijke golf- en stromingsribbels op zandige zeebodem hebben typisch een hoogte van enkele centimeters, wat betekent dat de bovenste paar centimeters van de zeebodem in beweging zijn gedurende de pieken in getijdestroming en in stormperiodes. De maximale 30 µm aanzanding is minder dan 1% van deze natuurlijke (tijdelijke) bodemdynamiek.

6.3 Onzekerheden

Modelberekeningen zoals toegepast in deze studie zijn onderhevig aan onzekerheden en natuurlijke variatie. Eén van de onzekerheden is de natuurlijke variatie in sturende processen zoals stroming, golven en wind. Deze kunnen tot op zekere hoogte voorspeld worden. Historische meetgegevens en statistieken geven een idee van de intensiteit van de processen die verwacht kan worden. Tegelijkertijd is elke dag en elke storm weer anders. Deze variatie in de sturende processen vertaalt zich in een onzekerheid in de voorspelde concentraties van boorspoeling en opgeloste stoffen en in de voorspelde sedimentatie.

Een voorspelling van de relatieve toename van de slibconcentratie is daarnaast ook onderhevig aan de natuurlijke variatie in de achtergrondconcentraties en sedimentatie, zie ook paragraaf 6.2. De variatie in de relatieve toename van de concentraties en sedimentatie als gevolg van boorwerkzaamheden is dus ook een onzekerheid waar rekening mee dient te worden gehouden bij de effectbepaling van de boorwerkzaamheden.

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.

Daarnaast zijn zoveel mogelijk relevante processen meegenomen in de modellering, zoals saliniteit, temperatuur, een warmtemodel en golven. Chemische processen, zoals reacties tussen de opgeloste stoffen, zijn echter niet meegenomen. De concentraties van opgeloste stoffen die wel reageren met de andere

opgeloste stoffen of na de lozing reageren met het zeewater kunnen dus in werkelijkheid afwijken en ook in de tijd veranderen als gevolg van de chemische reacties.

Gezien de onzekerheden wat betreft de natuurlijke variatie in stromings-, golf- en windcondities, de onzekerheden in de modellering en de vereenvoudigingen in de modellering wordt over het algemeen een onzekerheidsmarge van factor 2 aangehouden voor sedimenttransportberekeningen. Dit betekent dat de daadwerkelijke concentraties en sedimentatiediktes tussen orde de helft tot twee keer de berekende concentraties en sedimentatiedikte liggen. Gezien de zeer kleine voorspelde sedimentatiediktes zou ook een verdubbeling van deze voorspelde sedimentatiedikte nog een zeer kleine sedimentatiedikte betekenen. Voor het oesterbankherstelproject zou de maximale toename in slibconcentratie dan tussen 0,15 en 0,6 mg/l liggen.

6.4 Batch-drilling versus serieel boren

Zoals al eerder genoemd kan het boren van de putten op twee manieren worden uitgevoerd:

- Bij de variant '**Serieel boren**' worden alle putten na elkaar geboord en wordt per sectie gewisseld van boorspoeling. De overbodige spoeling van de vorige sectie wordt in het algemeen geloosd als dit boorspoeling op waterbasis is. Boorspoeling op oliebasis wordt afgevoerd. Deze methode is gehanteerd om de brontermen voor de lozingen te bepalen in deze studie;
- Bij de variant '**Batch drilling**' worden de putten niet na elkaar geboord, maar worden steeds de overeenkomstige secties van een aantal putten geboord. Dus eerst sectie 1 van put 1, daarna sectie 1 van put 2, sectie 1 van put 3, dan sectie 2 van put 1, daarna sectie 2 van put 2, en zo verder. Door batch drilling kan steeds een deel van de boorspoeling op waterbasis van de betreffende sectie worden hergebruikt voor dezelfde sectie van de volgende put. Hierdoor wordt gemiddeld over alle secties 20% minder boorspoeling geloosd dan bij de variant 'Serieel boren'. Opgemerkt wordt dat in het geval van batch drilling eerder met boorspoeling op oliebasis wordt gewerkt dan bij serieel boren. Dit leidt tot een reductie van de te lozen hoeveelheid boorspoeling op waterbasis. Voor deze studie is de aanname gedaan dat vanaf de 4^e sectie met boorspoeling op oliebasis wordt gewerkt. Het kan ook zijn dat bij de 3^e sectie met boorspoeling op oliebasis wordt gewerkt en bij de 4^e sectie weer met boorspoeling op waterbasis. Dit zal leiden tot een andere reductie van het te lozen boorgruis, maar niet tot een andere conclusie dan hieronder beschreven.

Bij het N05-A project wordt ervan uitgegaan dat bij batchdrilling niet alle twaalf putten gelijk worden geboord, maar dat dit steeds in groepen van vier putten plaatsvindt. Batchdrilling heeft vooral voordelen voor de secties met een grote diameter die met boorspoeling op waterbasis worden geboord, dat wil zeggen de eerste drie secties. Voor sectie 1 leidt batchdrilling niet tot een beperking van de lozing omdat hierbij geen spoeling wordt hergebruikt. Voor sectie 2 en 3 is aangenomen dat voor iedere volgende put in een batch de helft van de spoeling kan worden hergebruikt. In plaats van vier hoeveelheden boorspoeling is voor een batch dan slechts 2,5 hoeveelheid boorspoeling nodig. Voor sectie 1 is in het geval van serieel boren vier keer 90 ton bariet en bentoniet nodig, voor sectie 2 en 3 vier keer 170 ton. Batch drilling levert een vermindering van de lozingen in sectie 2 en 3 op van 255 ton, zie

Tabel 6-1. Opgemerkt wordt dat is aangenomen dat in het geval van batch drilling vanaf sectie 4 met OBM wordt gewerkt.

Tabel 6-1: Reductie in het gebruik van bariet en bentoniet door het toepassen van batch drilling bij vier putten.

Sectie	Boorspoeling (bariet + bentoniet) vier putten [ton]		Reductie lozing [ton]
	Serieel	Batch drilling	
1	$4 * 90 = 360$	$4 * 90 = 360$	0
2	$4 * 170 = 680$	$2,5 * 170 = 425$	255
3	$4 * 170 = 680$	$2,5 * 170 = 425$	255
4	$4 * 470 = 1880$	-	1880

In de pluimmodellering is uitgegaan van een enkele volledige boring, zonder hergebruik van boorspoeling in een andere put. Hierdoor kunnen de resultaten van de pluimmodellering voor de enkele boring gezien worden als conservatief en geven ze een overschatting wanneer in werkelijkheid batch drilling met meerdere putten wordt toegepast.

Daar staat tegenover dat de sedimentatiedikte beperkt toeneemt bij meerdere boringen, zowel bij serieel als bij batch boringen. Er wordt namelijk over een langere periode van meerdere maanden tot enkele jaren boorspoeling geloosd. Dit betekent niet automatisch dat de maximale sedimentatiediktes met een factor gelijk aan het aantal boringen toeneemt, dus bij bijv. vier boringen worden de maximale sedimentatiediktes niet vier keer zo groot, omdat er ook tussendoor erosie optreedt tijdens stormen. De concentraties van boorspoeling zullen nauwelijks stijgen bij meerdere boringen, aangezien de modelberekeningen laten zien dat de concentraties na de lozing snel afnemen, en vaak al tot bijna 0 mg/l dalen tijdens de tussenperiodes waarin boorapparatuur wordt omgezet naar de volgende boorput.

De modelberekeningen laten ook zien dat de sedimentatie en re-suspensie van afgezet bariet en bentoniet een langzamer proces is, en dat het ongeveer een maand duurt voordat nabij de platformlocatie afgezet bariet en bentoniet weer in suspensie is gebracht en verder verspreid. Deze maand is minder dan de duur van een boring van één put. Dit betekent dat bij meerdere boringen, ongeacht het aantal, uitgegaan kan worden van een maximale sedimentatiedikte van ongeveer éénmaal de berekende maximale sedimentatiedikte voor één boring.

7 Conclusies en aanbevelingen

7.1 Conclusies

In deze studie is de verspreiding van de kleideeltjes en opgeloste stoffen uit de boorspoeling gemodelleerd. Op basis van de modellering zijn de concentraties en de sedimentatie als gevolg van het lozen van boorspoeling op waterbasis op en rondom de platformlocatie bepaald. Hierbij is vooral gekeken naar de maximale concentraties en sedimentatie gedurende de boorperiode, en de variatie in concentraties en sedimentatie op specifieke locaties.

Tabel 7-1 geeft een overzicht van de maximale toename van de concentraties slib vanuit de boorspoeling en de maximale sedimentatiedikte van het slib. Volgens de modelberekeningen neemt de slibconcentratie bij het oesterbankherstelproject met maximaal circa 0,3 mg/l toe. De maximale stijging van de concentraties in de andere gevoelige locaties is minder groot. Ten opzichte van een achtergrondconcentratie van 5 - 20 mg/l stijgt de concentratie bij het oesterbankherstelproject met circa 1,5 – 6%. De relatieve stijgingen van de andere gevoelige locaties zijn weergegeven in Tabel 7-1. Doordat de concentratie van de boorspoeling na de lozingsperiode snel daalt, is de toename van de maximale concentratie bij meerdere boringen slechts zeer beperkt.

Tabel 7-1: Maximale extra slibconcentratie, toename ten opzichte van de achtergrondconcentratie en maximale sedimentatie

Locatie	Max. concentratie boorspoeling [mg/l]	Max. toename t.o.v. achtergrondconcentratie van 5-20 mg/l [%]	Max. sedimentatie [mm]
Oesterbankherstelproject	0,30	1,5 – 6,0	1,1 ^{E-2}
Noordzeekustzone	< 0,01	< 0,1	1,8 ^{E-5}
Rottumerplaat	< 0,01	< 0,1	3,6 ^{E-6}
Borkum Riffgrund	0,10	0,5 – 2,0	1,3 ^{E-3}
Niedersächsisches Wattenmeer und angrenzendes Küstenmeer	0,13	0,7 – 2,6	5,0 ^{E-3}
N05-A	12,0	60 - 240	2,8 ^{E-2}

De extra sedimentatie van slib uit de boorspoeling is ook te zien in bovenstaande tabel. Bij het oesterbankherstelproject is dit maximaal 0,01 mm in één van de drie modelscenario's; in de andere twee scenario's is de sedimentatie ongeveer de helft. Op de andere gevoelige locaties zijn de sedimentatiediktes nog kleiner en zelfs op de platformlocatie is de sedimentatiedikte zeer klein. De sedimentatie van slib uit de boorspoeling is zeer klein ten opzichte van de natuurlijke dynamiek van de zeebodem ter plekke van het platform. Bij meerdere boringen zal de maximale sedimentatiedikte van slib uit de boorspoeling nauwelijks toenemen, ongeacht het aantal boringen.

De maximale concentraties van de opgeloste stoffen op de platformlocatie zijn weergegeven in Tabel 7-2. Deze maximale concentraties komen veelal slechts een korte periode voor. De concentraties van opgeloste stoffen nemen snel af na de lozingsperiode en sterk af met afstand van de platformlocatie, omdat de opgeloste stoffen verspreid worden over de waterkolom en over een groter gebied. Bij meerdere boringen nemen de maximale concentraties dus slechts een fractie toe.

Tabel 7-2: Maximale concentratie van de opgeloste stoffen op de platformlocatie

Stof	Maximale concentratie [mg/l]
Vloeistofverliesvertrager	5,6 ^E -2
Verzadigd monocarbonzuur, calciumzout	9,7 ^E -2
Calcium hydroxide	2,7 ^E -2
Magnesium oxide	5,0 ^E -2
Potassium chloride	1,5 ^E 1
Natriumcarbonaat	1,0 ^E -1
Sodium chloride	4,4 ^E 0
Natrium carboxymethylcellulose	3,6 ^E -1
Saccharose	1,9 ^E -2
Corosieremmer	3,6 ^E -2
Antischuim	7,2 ^E -3
Stof 1: Poly(oxy-1,2-ethanediyl), α -butyl- ω -hydroxy	1,5 ^E 0
Potassium hydroxide	6,0 ^E -3
Stof 2: Poly(oxy-1,2-ethanediyl), α -butyl- ω -hydroxy	1,6 ^E -1

De modelberekeningen laten zien dat de verspreiding vooral in noordoostelijke-zuidwestelijke richting plaatsvindt. De verspreiding in noordelijke en zuidelijke richting is relatief klein. Dit komt vooral door het getij, de dominante wind vanuit het zuidwesten hier medeverantwoordelijk voor is.

7.2 Aanbevelingen

Deze modelstudie heeft een beeld geschetst van de verspreiding en sedimentatie van boorspoeling na lozing vanuit het boorplatform.

Een belangrijke vervolgstap is het bepalen van het effect van de boorspoeling en de opgeloste stoffen op de verschillende functies van de Noordzee, waaronder de natuur. Wat zijn bijvoorbeeld de kritische concentraties en hoelang mogen deze kritische concentraties overschreden worden voordat er een significante negatieve impact is op de flora en fauna? De modelresultaten van deze studie kunnen input leveren aan zo'n analyse.

In de modelsimulaties is een zo gedetailleerd mogelijke aanpak toegepast, met zoveel mogelijk relevante processen en een zo gedetailleerd mogelijke nabootsing van de lozingen. Alleen wanneer de voorspelde toename van de concentraties en/of sedimentatie tot mogelijke overschrijding van kritische waarden leidt of de relatieve toename van de concentraties en/of sedimentatie als te groot wordt beschouwd, is verdere detaillering van de modelsimulaties en een gevoeligheidsanalyse aan te bevelen.

Gezien de variatie in de golf-, wind- en stromingscondities in de drie modelscenario's heeft het modelleren van aanvullende scenario's nauwelijks toegevoegde waarde.

In de modellering is geen rekening gehouden met eventuele chemische reacties van het bentoniet, het bariet of de opgeloste stoffen. Indien de kans is dat bepaalde chemische reacties tot hogere concentraties of sedimentatie-diktes zouden kunnen leiden, dan kunnen de chemische reacties in een nabewerking meegenomen worden in de voorspelling van de concentraties en sedimentatiediktes.

8 Referenties

- [1] HaskoningDHV, „Morfodynamiek nabij platform N05-A,” 2020.
- [2] Oranje-Nassau Energie, „Proposed anchor plan Jack-up Rig at NL C.S. 'NO5A' Platform,” 2018.
- [3] Fugro, „Metocean criteria for the N05A platform,” Fugro, Amsterdam, 2019.
- [4] Fugro, „Metocean Criteria for the N05A Platform - Final Report,” 2019.
- [5] Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut , „Winddata Huibertgat,” 2019.
- [6] „KNMI-HYDRA project - Phase report 7: Estimation of extreme return levels of windspeed,” 2003.
- [7] RVO, „Metocean Study - Hollandse Kust (noord) Wind Farm Zone,” DHI, RVO, 2019. [Online]. Available: <https://www.metocean-on-demand.com/#/main>. [Geopend 2019].
- [8] GEO XYZ Offshore, „Survey Report - N5A Platform Area,” 2019.
- [9] RIKZ, „Variability of near-surface total suspended matter concentrations in the Dutch coastal zone of the North Sea,” Rapport RIKZ/OS/2001.150X., 2001.
- [10] RIKZ, „Atlas of near-surface total suspended matter concentrations in the Dutch coastal zone of the North Sea,” Report RIKZ/2002.059, 2002.
- [11] Arcadis, „Milieueffectrapportage RCR Project Proefboring ten behoeve van gaswinning ten noorden van Schiermonnikoog,” 2014.
- [12] Xodus Group, „Cuttings Dispersion Modelling - ParTrack: Diamant Z1 Exploration Well,” 2017.

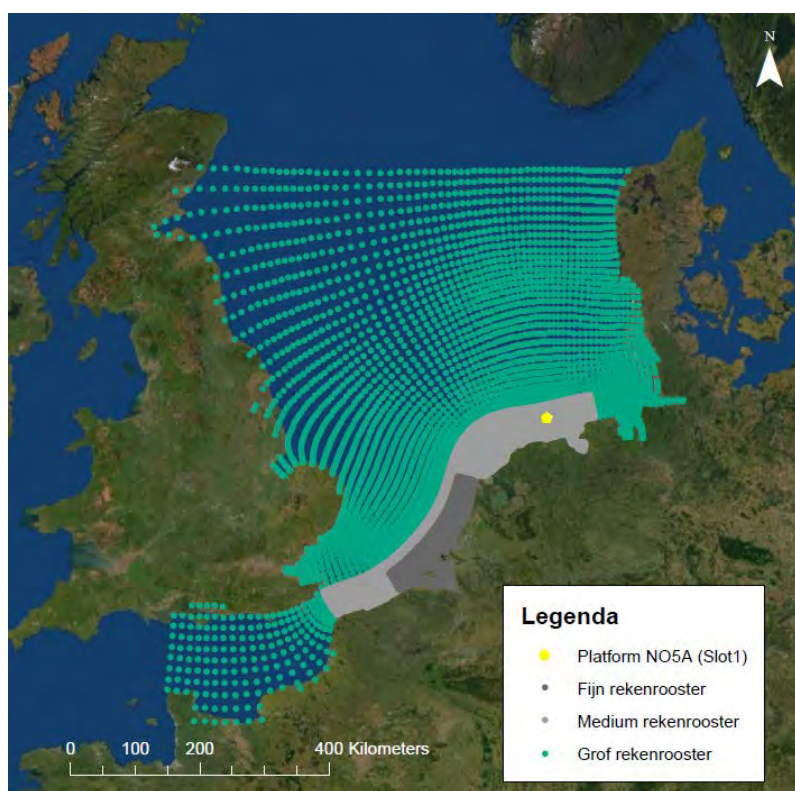
Bijlage A1

Opzet van het numerieke model

A1 Opzet van het numerieke model

A1.1 Modeldomain en rekenrooster

Het ZUNO-model is opgezet in het coördinatenstelsel RD New. Het rekenrooster van de originele ZUNO-modelschematisatie is te zien in Figuur 8-1. De 'Domein Decompositie' methode is gebruikt en het rekenrooster bestaat uit drie delen: een grof rekenrooster (coarse), een medium rekenrooster (inter) en een fijn rekenrooster (fine). Het N05-A platform ligt binnen het medium rooster, de rekenroostercellen zijn hier circa 1 km groot. Dit is te groot voor de gedetailleerde modellering van de stroming en verspreiding van boorspoeling nabij de boorputten.



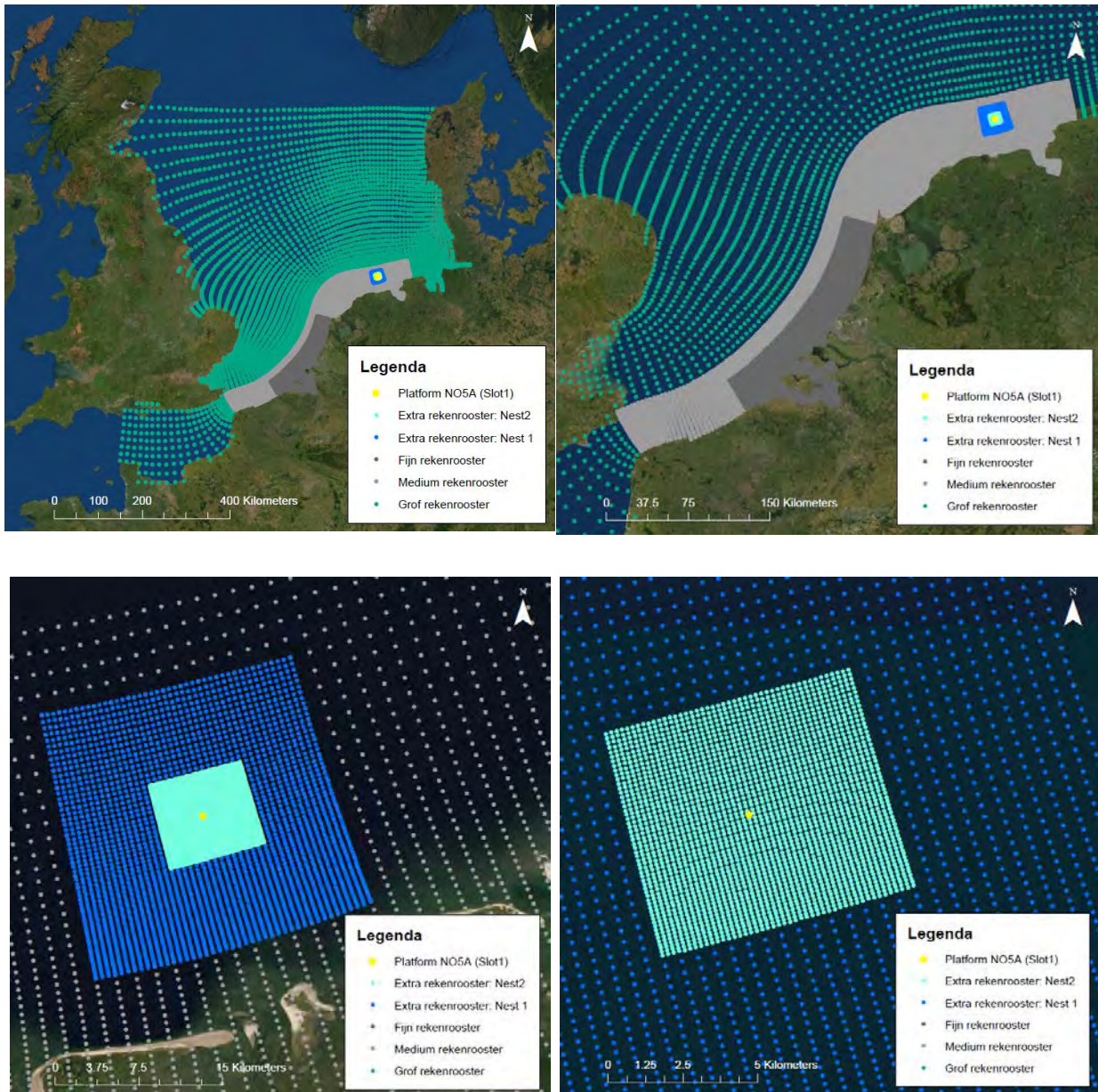
Figuur 8-1: Originele rekenrooster van het ZUNO-model

Daarom is het rekenrooster lokaal verfijnd, door middel van twee extra rekenroosters. De rekenroostercellen van elk extra rekenrooster zijn een factor 3 kleiner dan die van het grotere rooster. Hierdoor hebben de fijnste roostercellen een afmeting van orde 100 m. Het resulterende rekenrooster is te zien in Figuur 8-2, dit rooster bestaat uit vijf domeinen (coarse, fine, interex, nest1 en nest2).

De volgende stappen zijn gevolgd bij het creëren van de domeinen:

- Uit het medium rekenrooster is een stuk weggeknipt (naar dit aangepaste inter rekenrooster wordt in het vervolg gerefereerd als interex)
- Hierbinnen is een fijner rekenrooster gelegd met drie keer zoveel cellen, waar ook een stuk uit is geknipt (nest1)
- Hierbinnen ligt het fijnste rekenrooster, met weer drie keer zoveel cellen (nest2)

De rand van nest2 ligt op minimaal 3,5 km van de platformlocatie. De precieze afstand aan verschillende zijden verschilt, aangezien de platformlocatie niet in het midden van een originele rekenroostercel ligt. De rand van nest1 ligt op minimaal 11,5 km van de platformlocatie.



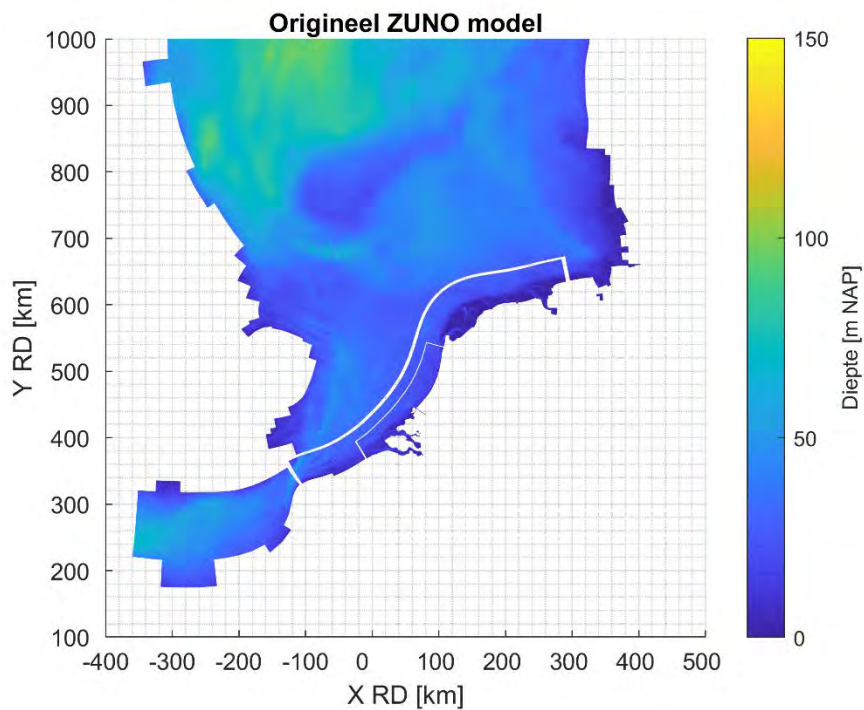
Figuur 8-2: Aangepast rekenrooster.

De modelschematisatie is een 3D-model met twaalf lagen over de waterkolom. De verdeling van de waterdiepte over de verschillende lagen is als volgt: 4%, 5,6%, 7,8%, 10,8%, 10,9%, 10,9%, 10,9%, 10,9%, 10,8%, 7,8%, 5,6% en 4%. De laagdikte varieert dus met de waterdiepte.

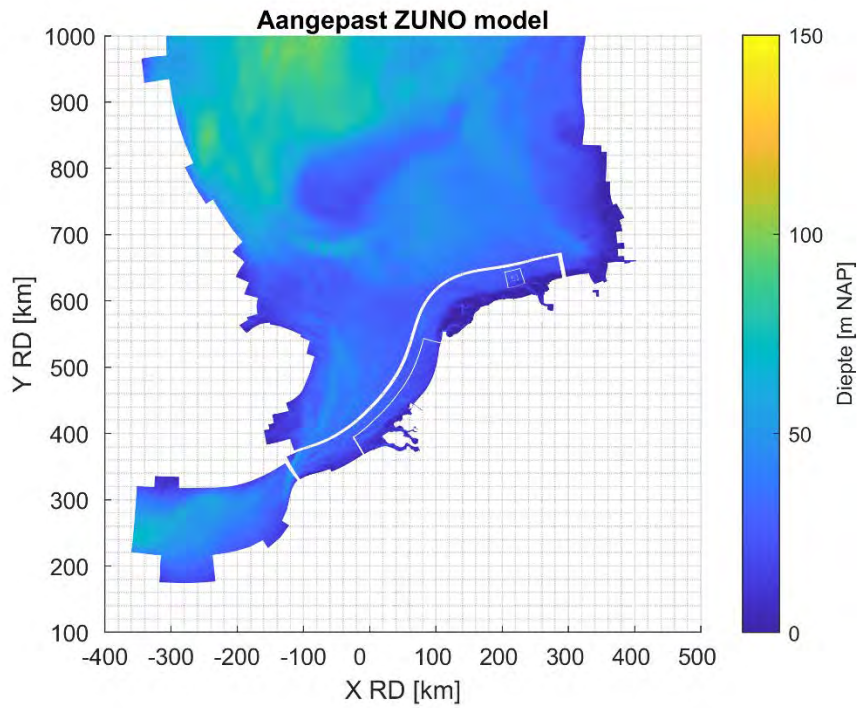
A1.2 Bathymetrie

Het verticale referentieniveau is NAP. De bathymetrie van het originele ZUNO-model is te zien in Figuur 8-3. Deze bathymetrie is ook gebruikt in deze studie en is voor dat doel geïnterpoleerd op de verfijnde rekenroosters (zie Figuur 8-4 en Figuur 8-5):

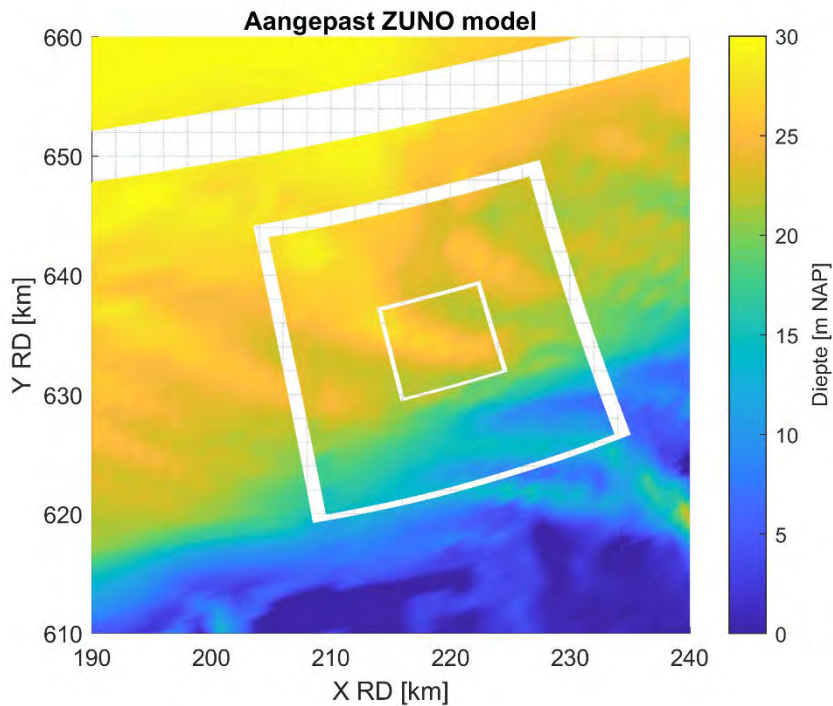
- Interex: de waarden in het dep bestand van het originele inter rekenrooster zijn binnen het extent van nest1 op -999.999 (NoData) gezet.
- Nest1: de waarden in het dep bestand van het originele inter rekenrooster zijn op het rekenrooster van nest1 geïnterpoleerd.
- Nest2: de waarden in het dep bestand van het originele inter rekenrooster zijn op het rekenrooster van nest2 geïnterpoleerd.



Figuur 8-3: Bathymetrie van het originele ZUNO-model



Figuur 8-4: Bathymetrie van het aangepaste ZUNO-model



Figuur 8-5: Bathymetrie van het aangepaste ZUNO-model rondom nest2 en nest1

A1.3 Tijdstap

In het aangepaste model bleek een tijdstap van 1 minuut, in plaats van de 4 minuten zoals in het originele ZUNO-model, het meest geschikt. Een reden voor deze verkleining van de tijdstap ten opzichte van het originele model is de lokale verfijning van het rekenrooster.

A1.4 Observatiepunten

A1.4.1 Voor validatie

In het originele ZUNO-model zitten meerdere observatiepunten. Op deze punten worden tijdseries van de output parameters weggeschreven. Om het aangepaste model goed te kunnen vergelijken met het originele ZUNO-model zijn extra observatiepunten toegevoegd. Deze observatiepunten zijn genoemd naar de rekenrooster cel indices van het originele inter rekenrooster. Rondom de rand met het nest1 rekenrooster zijn 8 observatiepunten toegevoegd, in het nest1 rekenrooster vier en in nest2 rekenrooster 5. De m- en n-coördinaten van de observatiepunten zijn te zien in Tabel 8-1 en de ruimtelijke verdeling van de observatiepunten in Figuur 8-6.

Tabel 8-1: Locaties van de observatiepunten

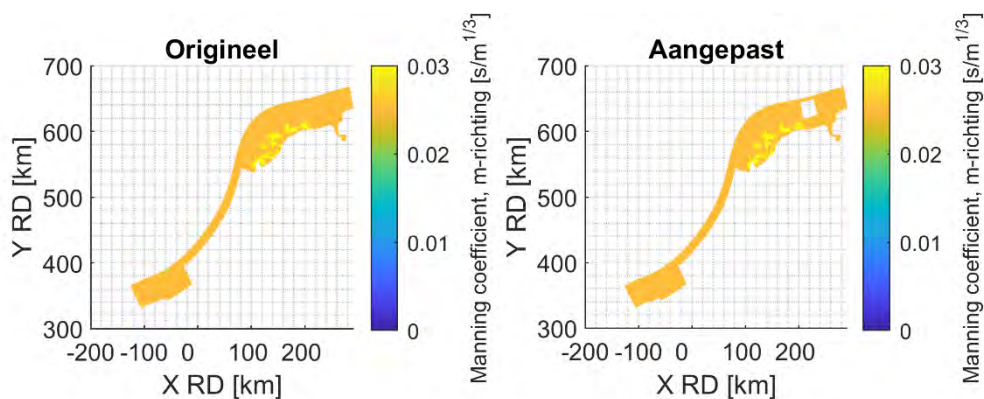
Origineel ZUNO-model		Aangepast ZUNO-model					
Inter		Interex		Nest1		Nest2	
Naam	Indices (m,n)	Naam	Indices	Naam	Indices	Naam	Indices
Obs(5,243)	5, 243	Obs(5,243)	5, 243				
Obs(5,251)	5, 251	Obs(5,251)	5, 251				
Obs(5,258)	5, 258	Obs(5,258)	5, 258				
Obs(13,243)	13, 243	Obs(13,243)	13, 243				
Obs(13,258)	13, 258	Obs(13,258)	13, 258				
Obs(26,243)	26, 243	Obs(26,243)	26, 243				
Obs(26,251)	26, 251	Obs(26,251)	26, 251				
Obs(26,258)	26, 258	Obs(26,258)	26, 258				
Obs(8,251)	8, 251			Obs(8,251)	9, 24		
Obs(13,246)	13, 246			Obs(13,246)	24,9		
Rottmpt20	13, 255			Obs(13,255)	24, 36		
Obs(21,251)	21, 251			Obs(21,251)	48,24		
Obs(13,249)	13, 249					Obs(13,249)	6, 24
Obs(13,251)	13, 251					Obs(13,251)	24, 6
Obs(13,253)	13, 253					Obs(13,253)	24, 24
Obs(16,251)	16, 251					Obs(16,251)	24, 42
Obs(11,251)	11, 251					Obs(11,251)	51, 24

Daarom zijn de originele restart files aangepast: de extra stoffen (bariet, bentoniet en opgeloste stoffen) zijn toegevoegd en nieuwe restart files zijn door middel van interpolatie gemaakt voor het aangepaste rekenrooster.

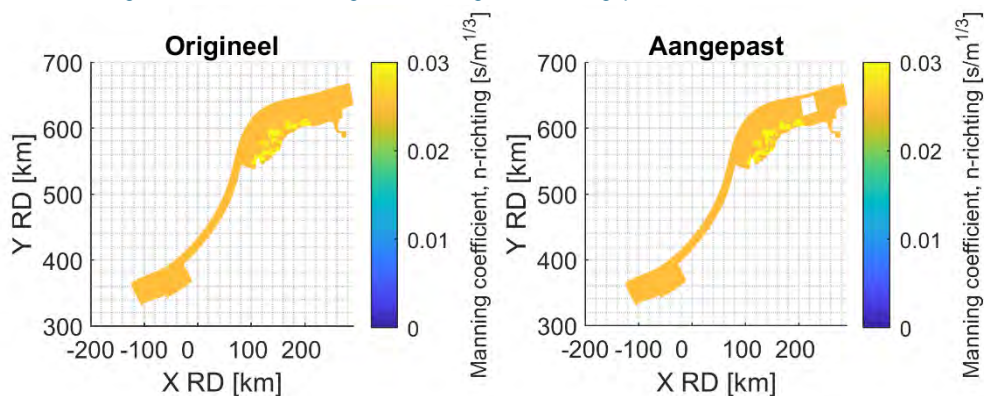
Met de aangepaste restart files is een simulatie voor het gehele jaar 2015 gestart. Uit de resultaten van deze één-jaar simulatie zijn restart files voor elk van de drie scenario's afgeleid, omdat deze op verschillende momenten in het jaar 2015 starten.

A1.6 Bodemruwheid

De bodemruwheid bepaalt hoeveel weerstand de stroming dichtbij de bodem ervaart. De bodemruwheid wordt berekend volgens de formule van Manning, waarbij de Manning coëfficiënt n moet worden opgegeven. Rondom het interessegebied heeft n (in het bestaande ZUNO-model) een constante waarde van $0.025 \text{ s/m}^{1/3}$ in beide richtingen. Voor het aangepaste rekenrooster, zowel het interex, nest1 als nest2 rekenrooster, is dezelfde waarde voor n aangehouden, zie Figuur 8-7 en Figuur 8-8.



Figuur 8-7: Manning coëfficiënt in m-richting voor het originele en aangepaste rekenrooster



Figuur 8-8: Manning coëfficiënt in n-richting voor het originele en aangepaste rekenrooster

A1.7 Eddy viscositeit en diffusiviteit

A1.7.1 Viscositeit

Beschrijving testcases

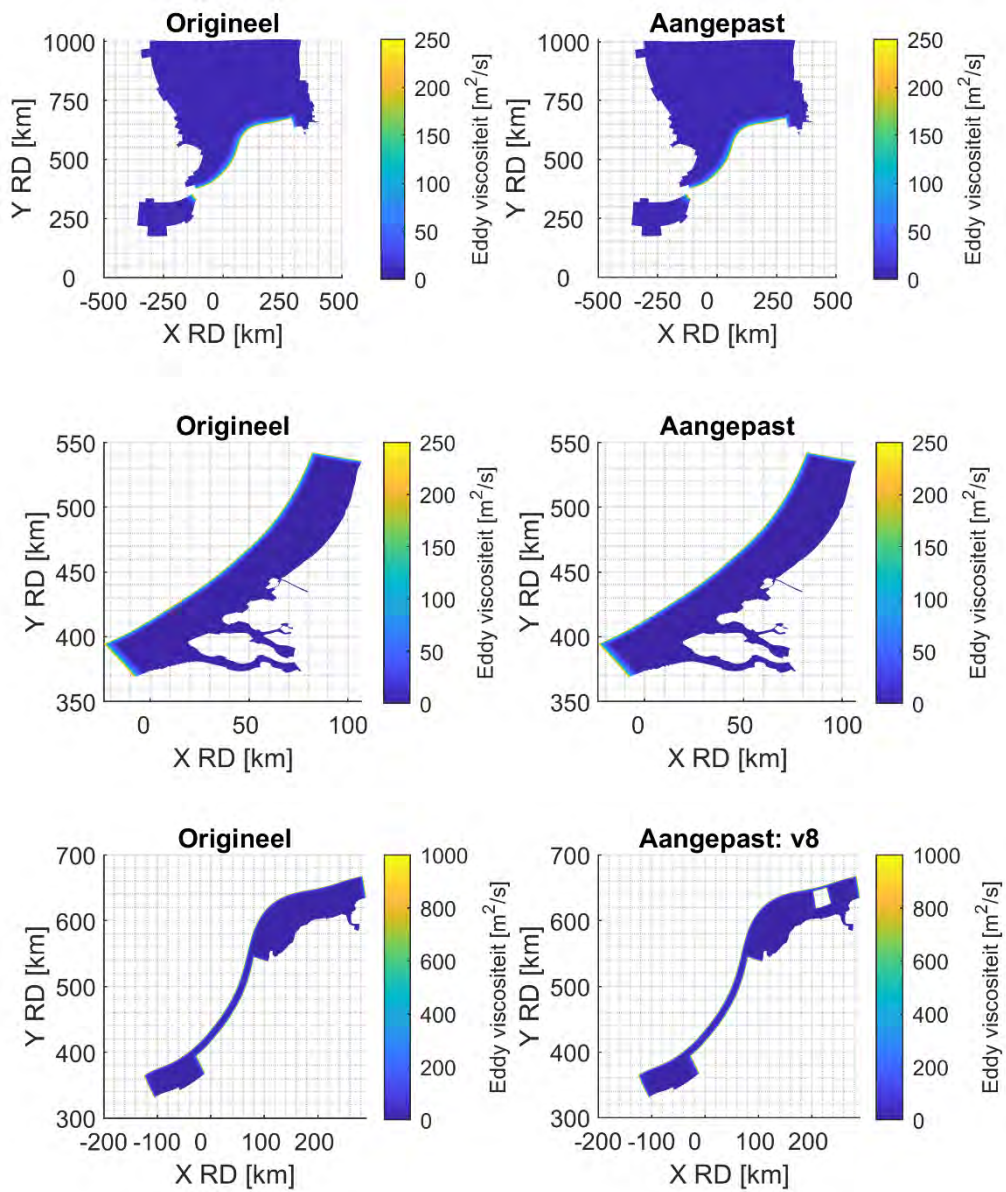
Turbulentie en andere kleinschalige stromingscirculaties die kleiner zijn dan de afmeting van een rekenrooster, en dus niet met de stromingsvergelijkingen numeriek worden opgelost, worden in Delft3D

meegenomen door middel van de parameter 'eddy viscositeit'. In het originele ZUNO-model zijn voor het grove, medium en fijne rekenrooster respectievelijk viscositeiten van 5, 2,5 en 1,25 m²/s gehanteerd. Deze viscositeiten zijn dus geschaald met de afmeting van de rekenroostercellen. Echter, op de overgangen tussen de verschillende rekenroosters is een hogere viscositeit van 1000 m²/s gebruikt om numerieke instabiliteit te voorkomen. Dit zorgt ervoor dat de overgang van de stroming van het ene rekenrooster naar het andere een glad verloop kent.

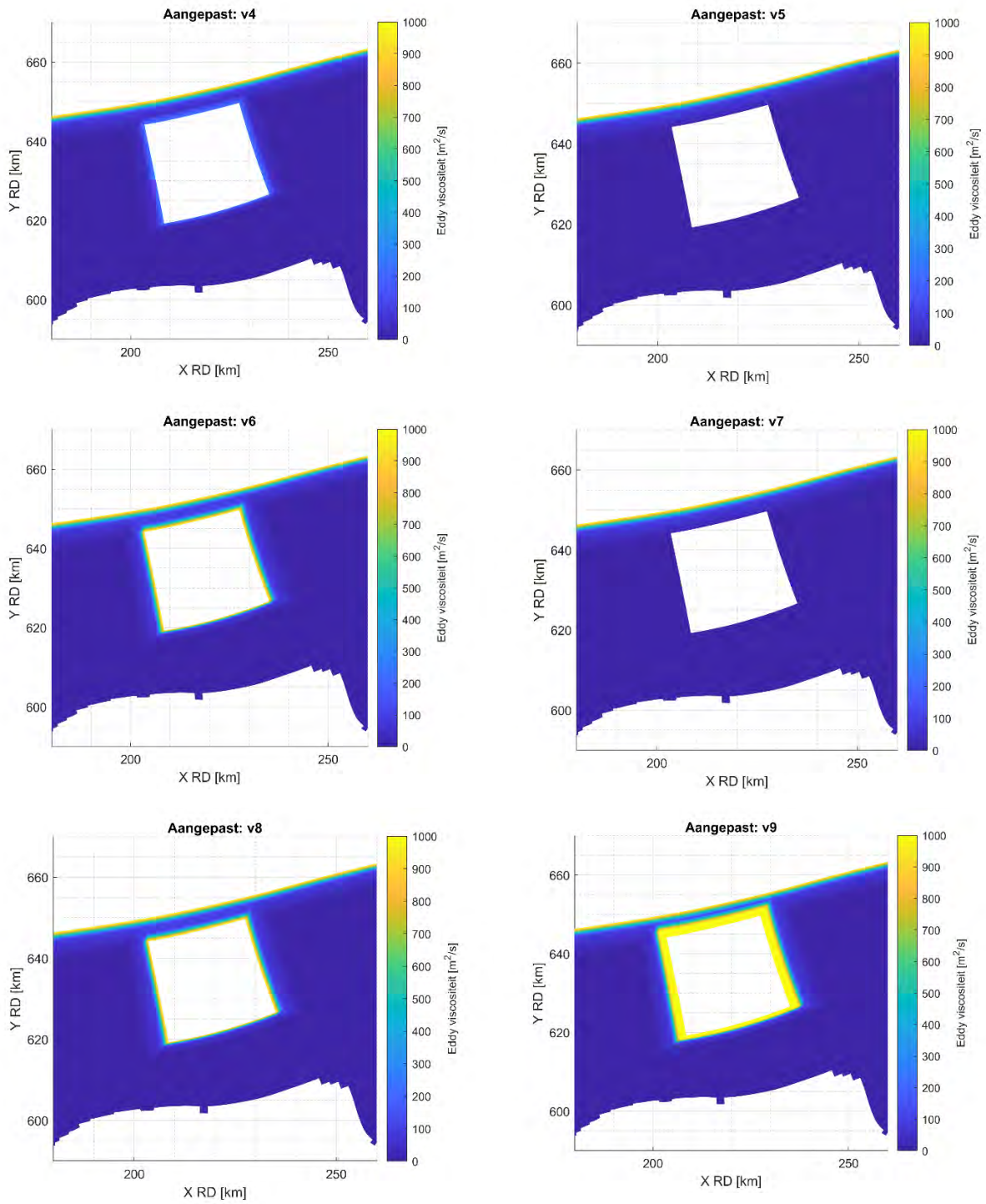
Om ook een soepele overgang tussen de verfijnde extra rekenroosters en het originele rekenrooster te krijgen, moeten op deze randen hogere waarden van de viscositeit gebruikt worden. Daarnaast moet een keuze gemaakt worden voor een viscositeit in de rest van deze extra rekenrooster. Het doel bij deze keuze is om de stroming in het aangepaste ZUNO-model zo gelijk mogelijk te krijgen aan het originele ZUNO-model. Voor het aangepaste model zijn daartoe verschillende ruimtelijke configuraties van de viscositeit getest. Deze zijn opgesomd in Tabel 8-2 en te zien in Figuur 8-9, Figuur 8-10, Figuur 8-11 en Figuur 8-12. De resultaten van deze verschillende configuraties en de keuze voor een van de configuraties worden vervolgens besproken.

Tabel 8-2: Waardes van de eddy viscositeit voor verschillende test simulaties

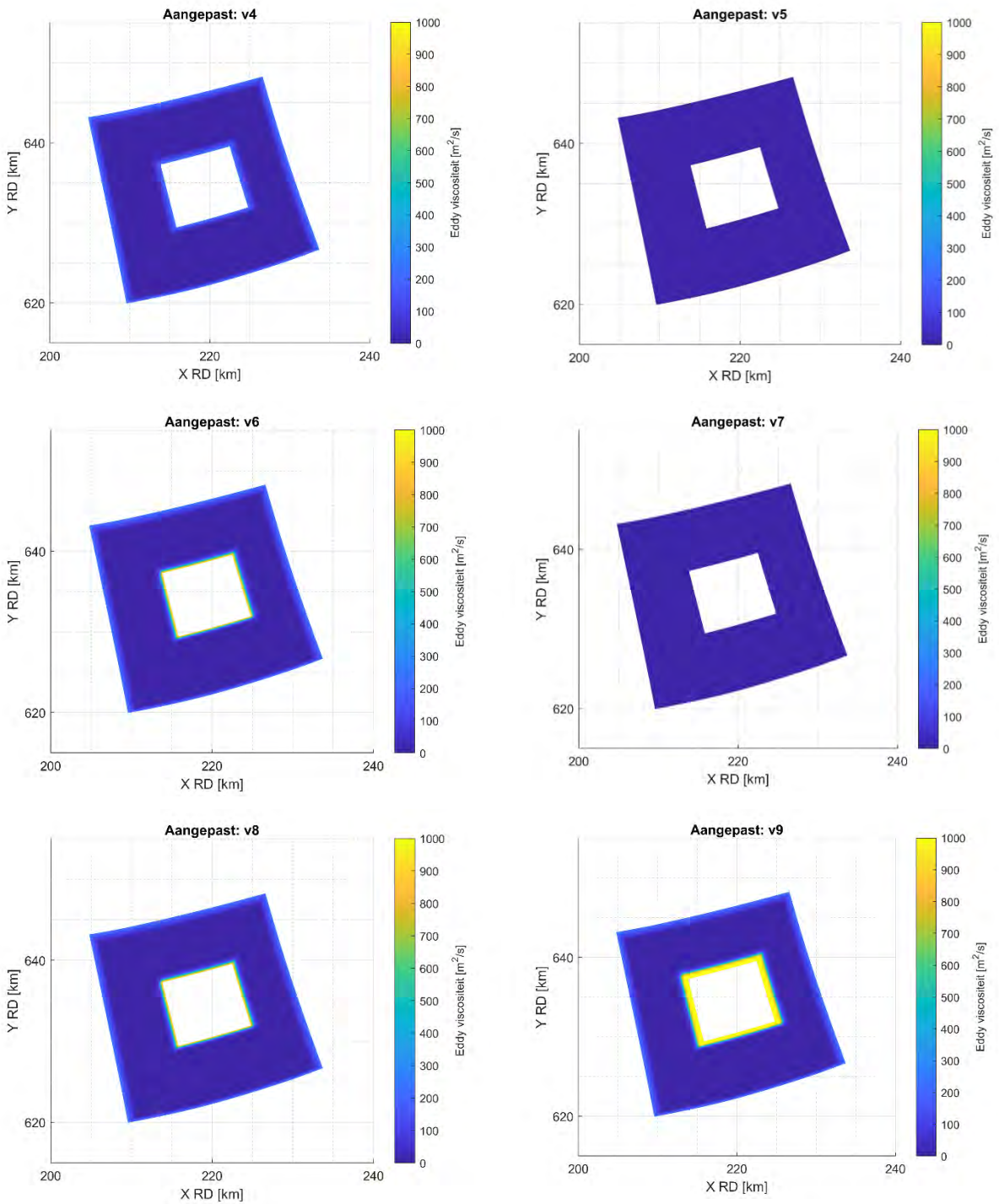
Versie		Eddy viscositeit [m ² /s]				
		Grof	Fijn	Medium	Nest1	Nest2
Edy v4	Buitenrand	-	1000	1000	250	250
	Midden	5	1.25	2.5	10	10
	Binnenrand	250	-	250	250	-
Edy v5	Buitenrand	-	1000	1000	10	10
	Midden	5	1.25	2.5	10	10
	Binnenrand	250	-	2.5	10	-
Edy v6	Buitenrand	-	1000	1000	250	250
	Midden	5	1.25	2.5	10	10
	Binnenrand	250	-	1000	1000	-
Edy v7	Buitenrand	-	1000	1000	2.5	2.5
	Midden	5	1.25	2.5	2.5	2.5
	Binnenrand	250	-	2.5	2.5	-
Edy v8	Buitenrand	-	1000	1000	250	250
	Midden	5	1.25	2.5	1.25	0.625
	Binnenrand	250	-	1000	1000	-
Edy v9	Buitenrand	-	1000	1000	250	250
	Midden	5	1.25	2.5	1.25	0.625
	Binnenrand	250	-	1000 (dubbel)	1000 (dubbel)	-



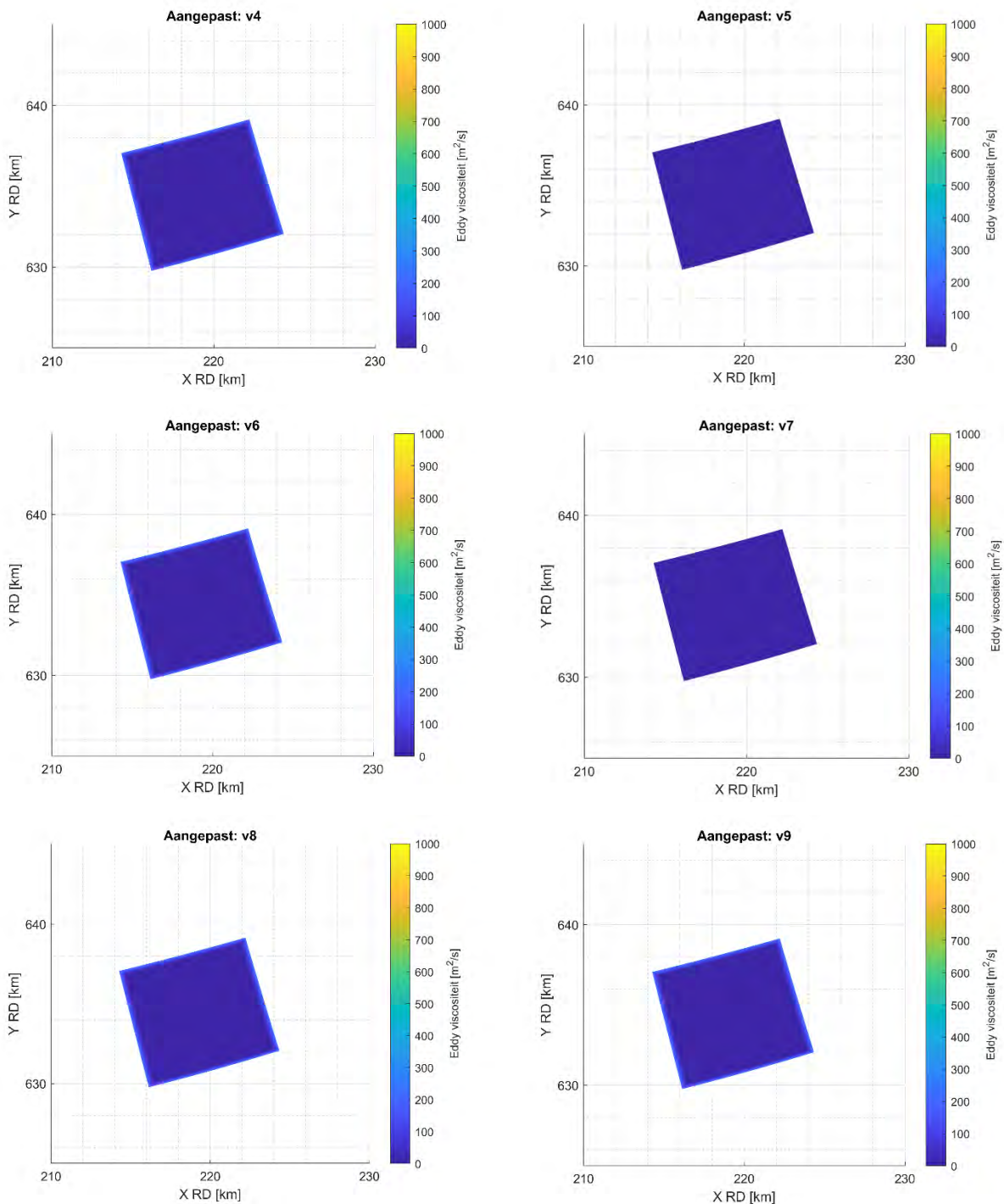
Figuur 8-9: Eddy viscositeit van het grove, medium en fijne rekenrooster (zowel van het originele als het aangepaste ZUNO-model)



Figuur 8-10: Eddy viscositeit van het medium rekenrooster rondom de geneste rekenroosters



Figuur 8-11: Eddy viscositeit van nest1



Figuur 8-12: Eddy viscositeit van nest2

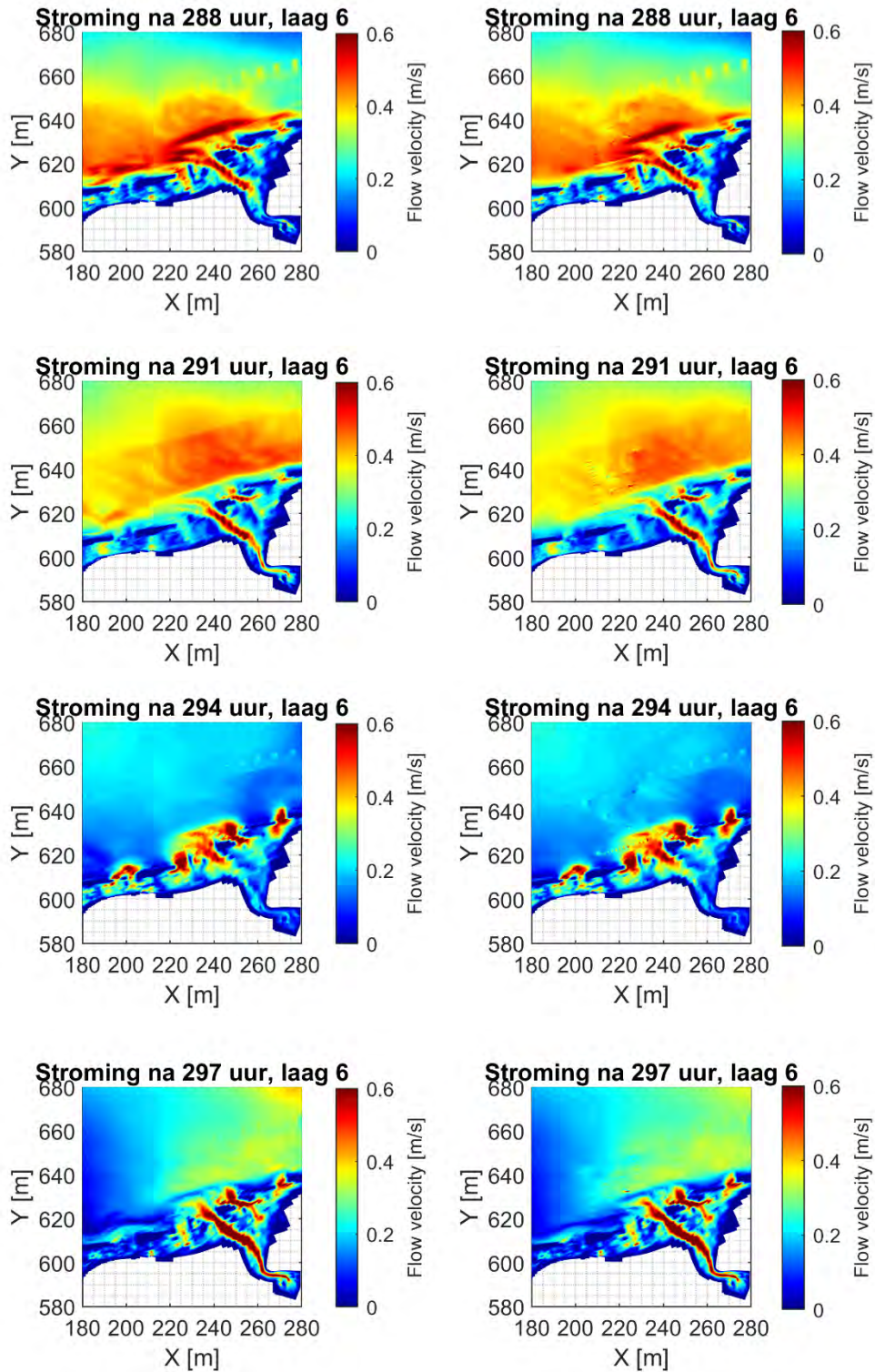
Resultaten en keuze voor de viscositeitswaarde

Voor de verschillende opties van de eddy viscositeit configuratie zijn ruimtelijke figuren van de stroming gemaakt. Deze zijn in Figuur 8-13, Figuur 8-14, Figuur 8-15, Figuur 8-16, Figuur 8-17 en Figuur 8-18 te zien op vier tijdstippen voor de laag halverwege de waterkolom (laag 6):

- Na 288 uur: stijgend water
- Na 291 uur: hoog water

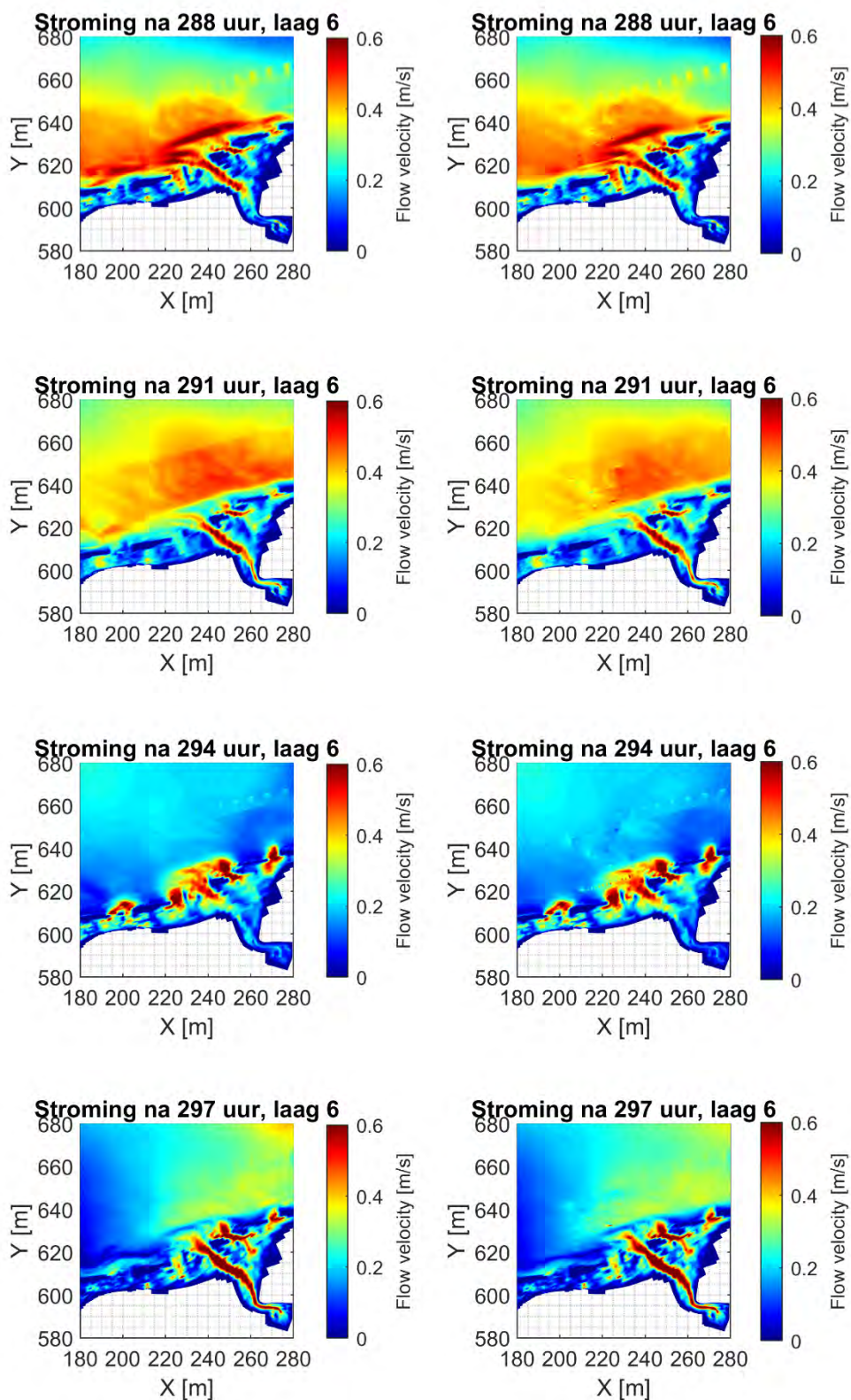
- Na 294 uur: dalend water
- Na 297 uur: laag water

Edy v7



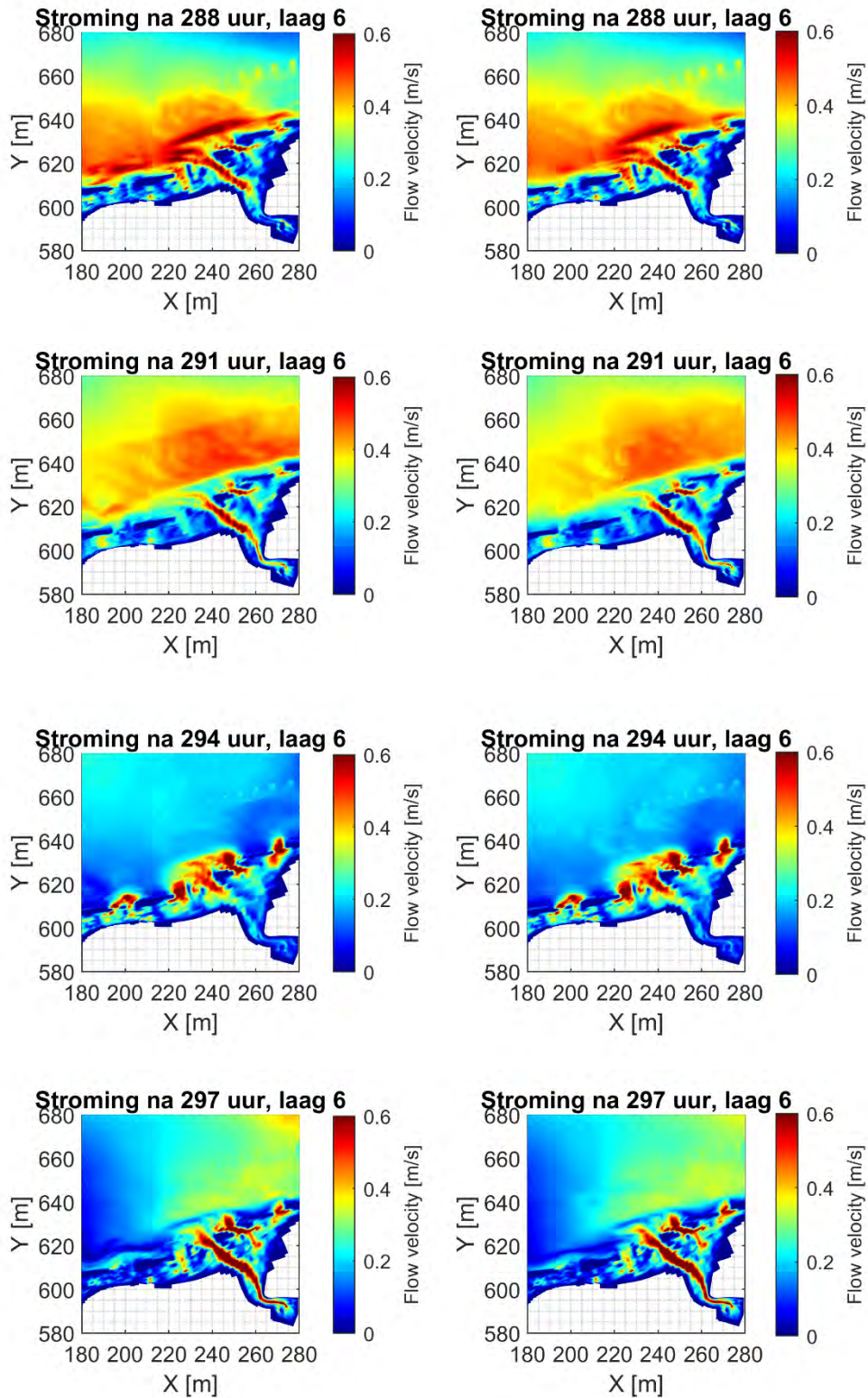
Figuur 8-13: Stroming voor configuratie configuratie Edy v7. Links is het originele model, rechts het verfijnde model.

Edy v5



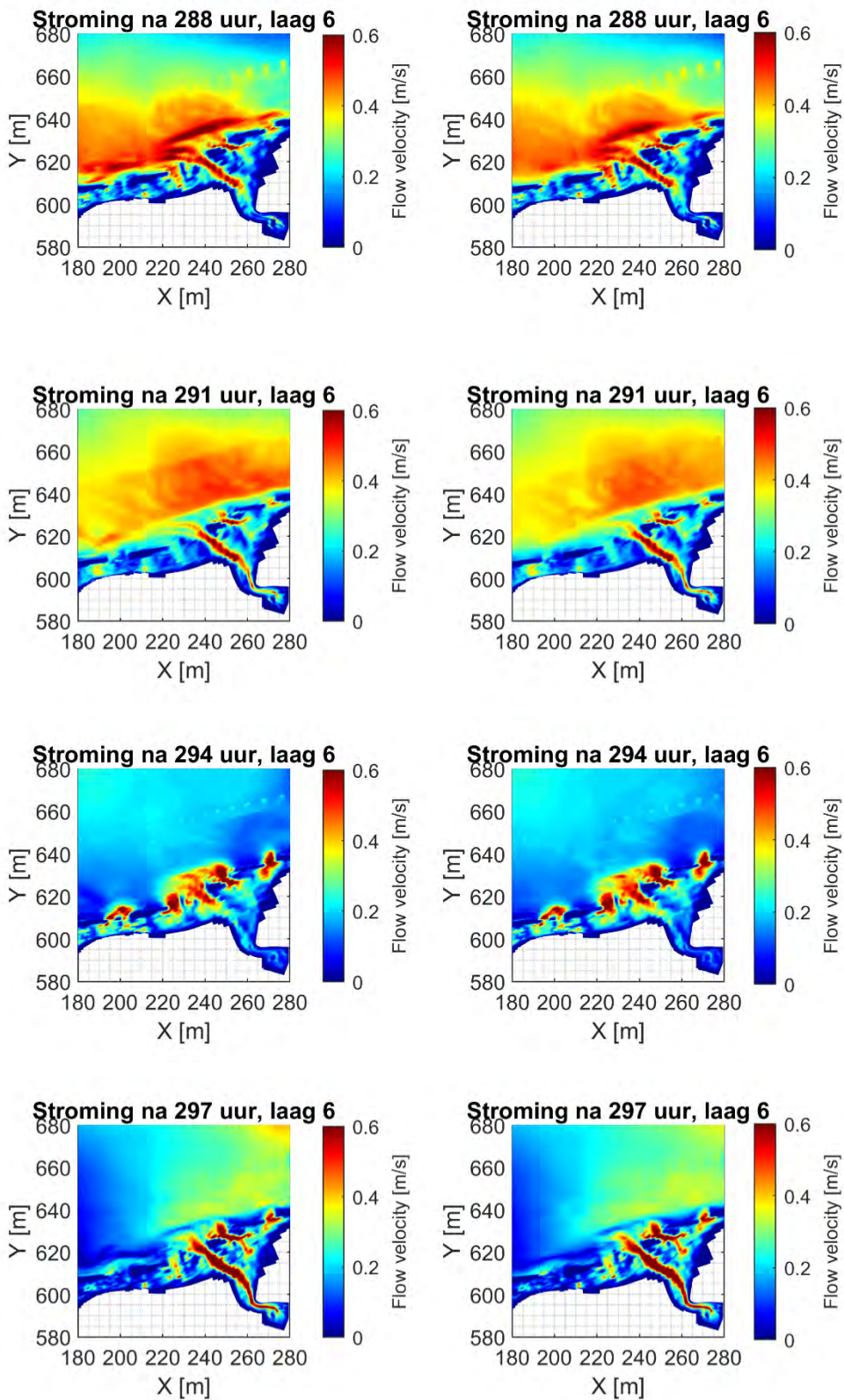
Figuur 8-14: Stroming voor configuratie Edy v5. Links is het originele model, rechts het verfijnde model.

Edy v4



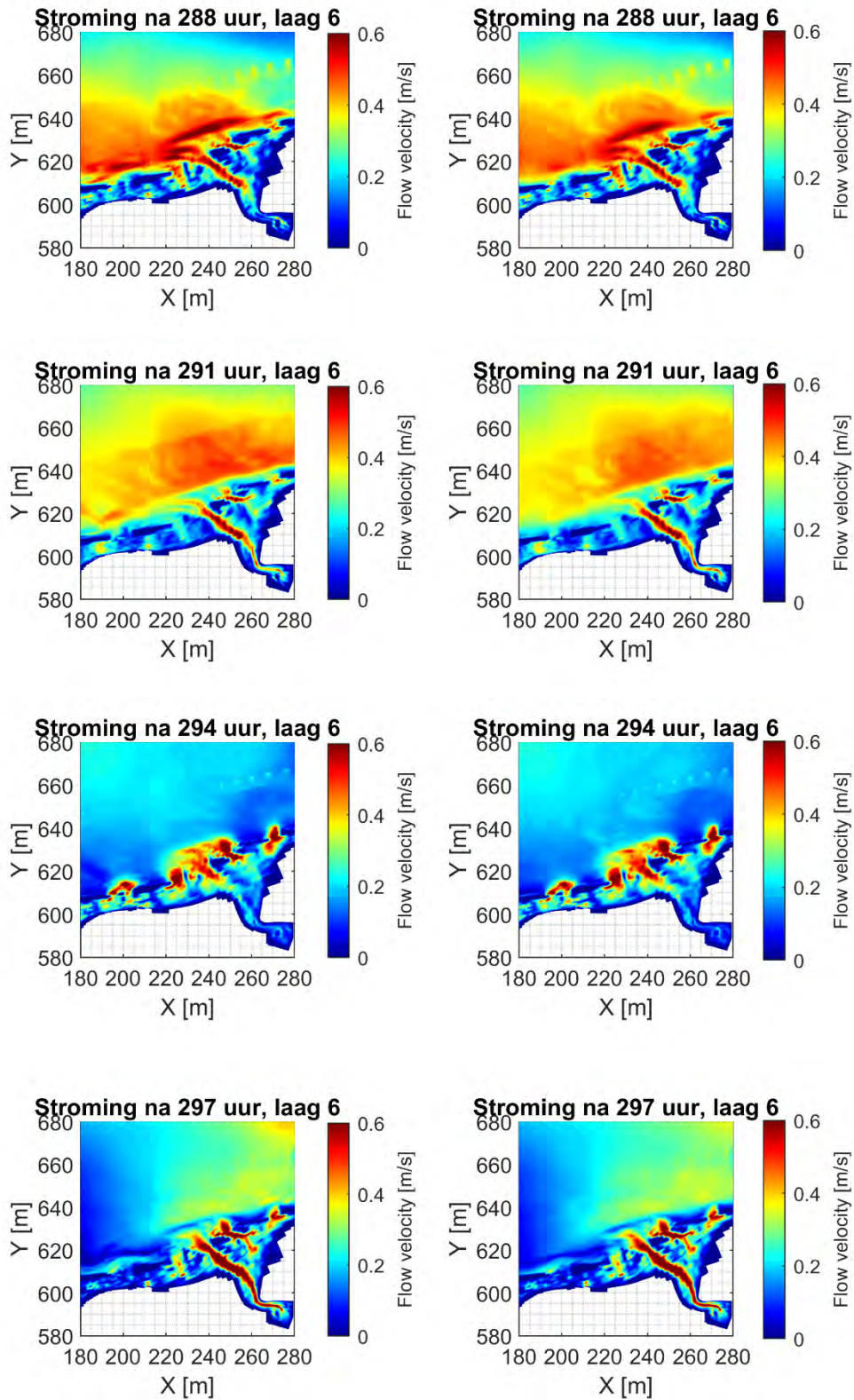
Figuur 8-15: Stroming voor configuratie Edy v4. Links is het originele model, rechts het verfijnde model.

Edy v6



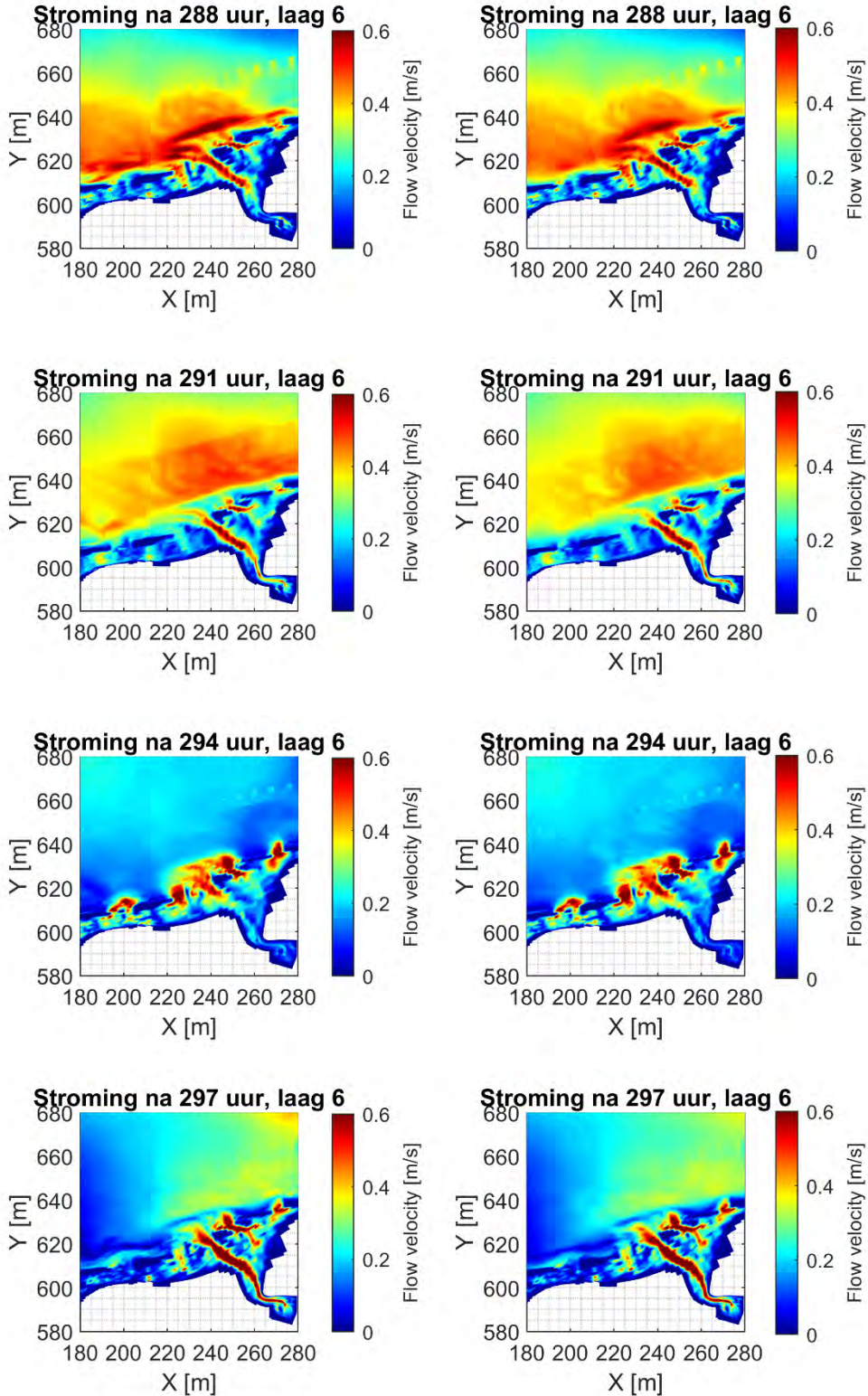
Figuur 8-16: Stroming voor configuratie Edy v6. Links is het originele model, rechts het verfijnde model.

Edy v8



Figuur 8-17: Stroming voor configuratie Edy v8. Links is het originele model, rechts het verfijnde model.

Edy v9



Figuur 8-18: Stroming voor configuratie Edy v9. Links is het originele model, rechts het verfijnde model.

Het volgende is af te leiden uit de ruimtelijke stromingsbeelden:

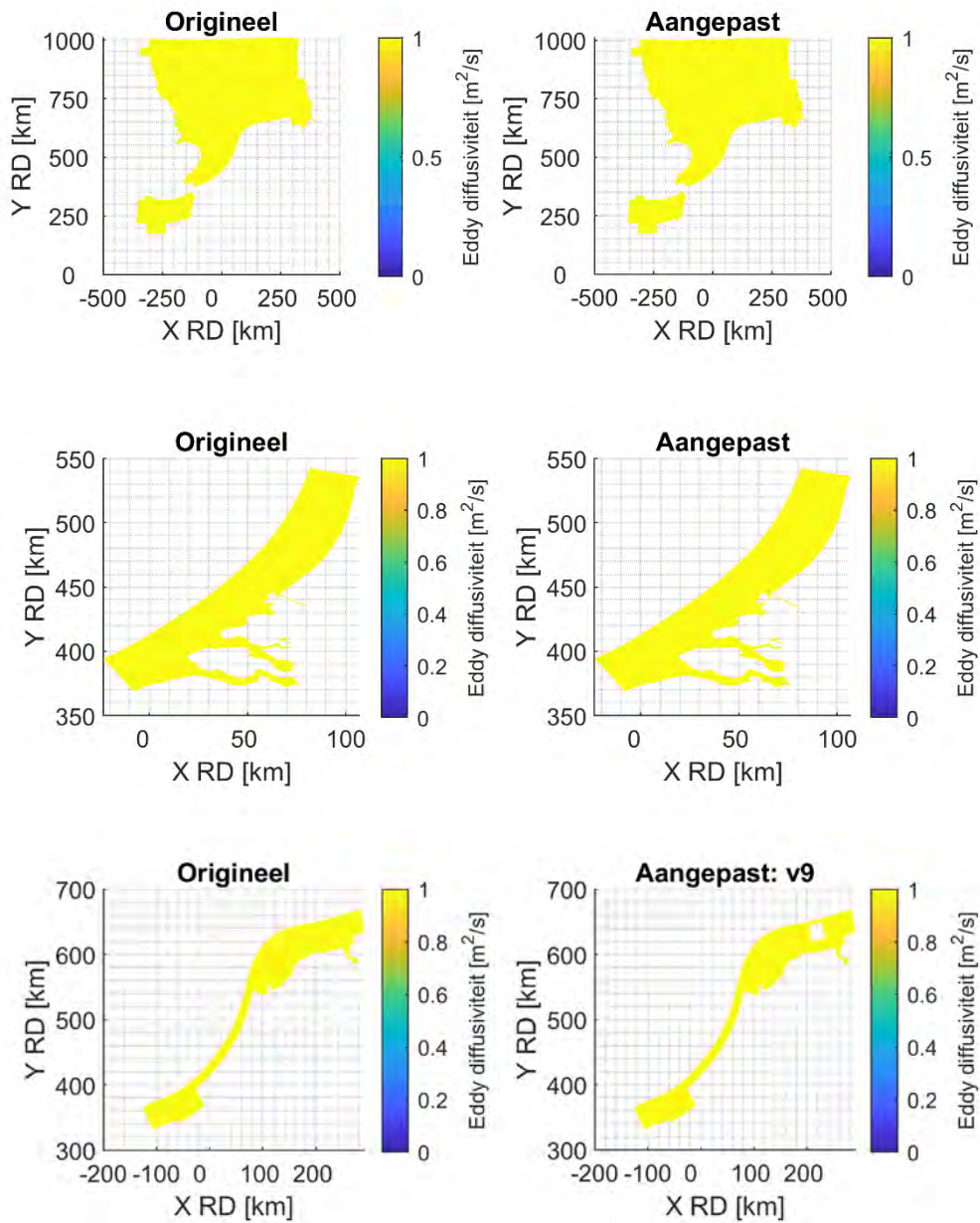
- Bij de simulaties met Edy versie 5 en 7 zijn de randen en hoekpunten van de geneste rekenroosters duidelijk terug te zien in het stroombeeld en hier treden onwaarschijnlijke lokale stromingspatronen op.
- Dit verbetert bij de simulatie met Edy versie 4 waar de rand licht terug te zien is in het stromingsbeeld is.
- De simulaties met Edy versie 6, 8 en 9 geven zeer vergelijkbare stromingsbeelden, waarin de randen van de geneste rekenroosters niet of nauwelijks terug te zien zijn.

Uiteindelijk is simulatie met Edy versie 8 als beste geselecteerd, om de volgende redenen:

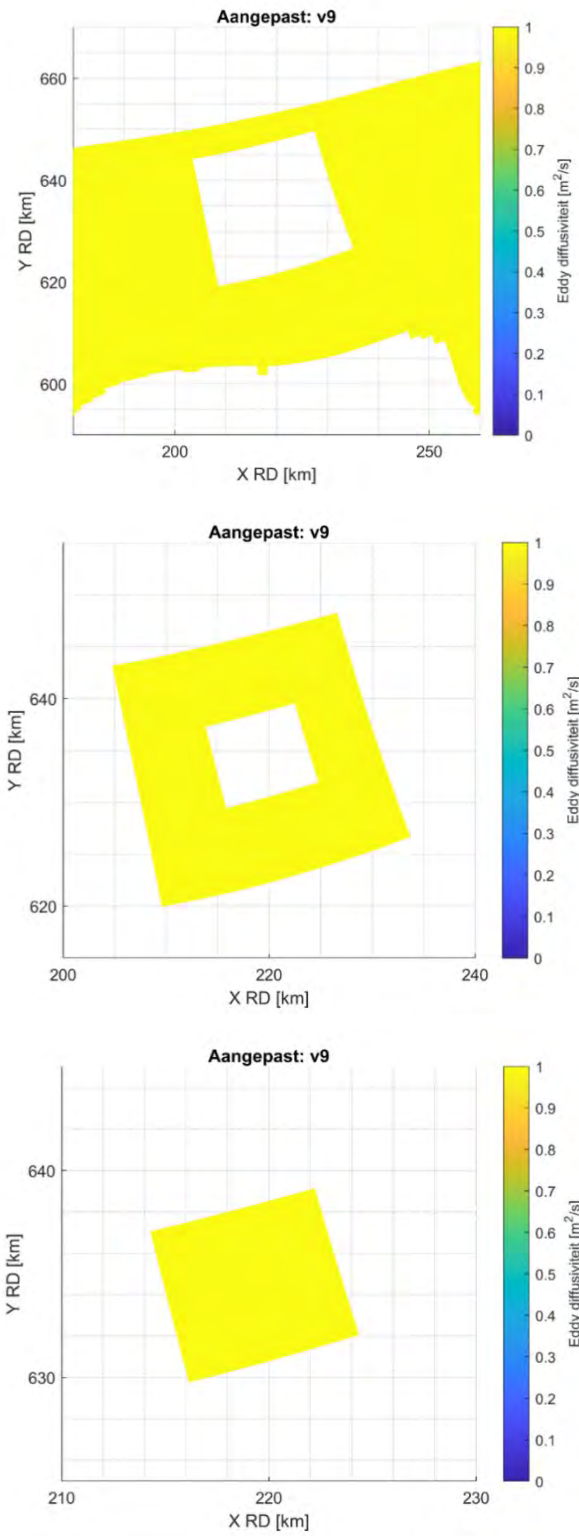
- In de simulatie Edy versie 6 is een eddy viscositeit van $10 \text{ m}^2/\text{s}$ gehanteerd binnen de geneste rekenroosters. Dit is aan de hoge kant voor zulke kleine rekenroosterzellen, vooral aangezien de eddy viscositeit in het originele ZUNO-model geschaald is met de rekenroostercelgrootte ($2,5 \text{ m}^2/\text{s}$ in het medium rekenrooster, $1,25 \text{ m}^2/\text{s}$ in het fijne rekenrooster).
- In de simulatie met Edy versie 8 is ook een geschaalde viscositeit binnen de geneste rekenroosters gehanteerd: respectievelijk $1,25$ en $0,625 \text{ m}^2/\text{s}$ voor nest1 en nest2. Dit is consistent met de aanpak van het originele ZUNO-model.
- In de simulatie met Edy versie 9 is een dubbele viscositeitsrand van $1000 \text{ m}^2/\text{s}$ op de overgangen tussen de geneste rekenroosters gehanteerd. Dit verbetert de resultaten niet significant en is daardoor overbodig.

A1.7.2 Diffusiviteit

De eddy diffusiviteit is een maat voor de menging. In het originele ZUNO-model is een constante eddy diffusiviteit van $1 \text{ m}^2/\text{s}$ gebruikt voor alle rekenroosters. Dit is overgenomen voor het aangepaste rekenrooster (zie Figuur 8-19 en Figuur 8-20).



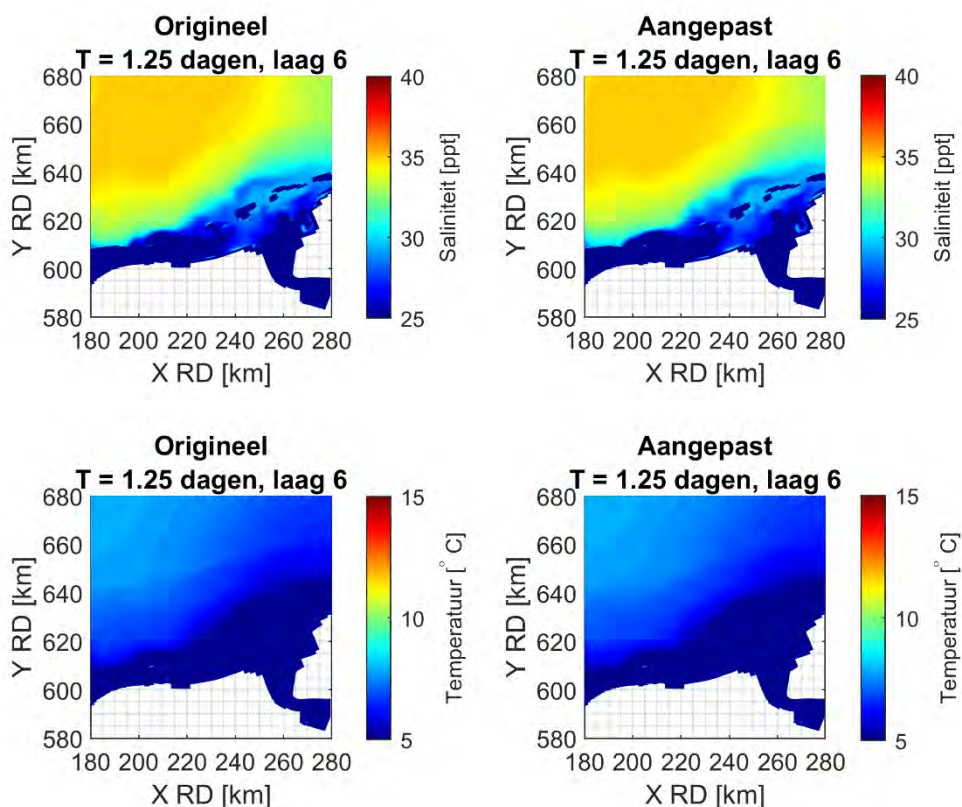
Figuur 8-19: Eddy diffusiviteit van het grove, medium en fijne rekenrooster



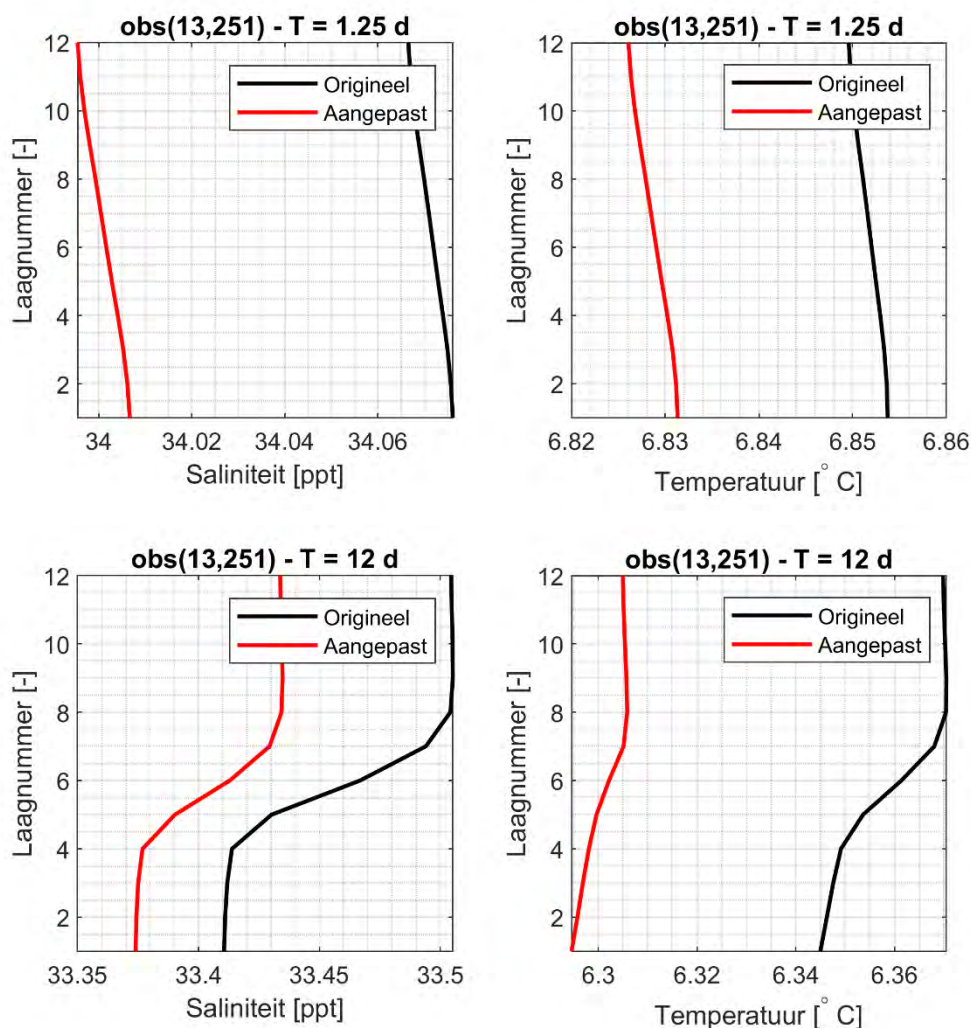
Figuur 8-20: Eddy diffusiviteit rondom de geneste rekenroosters

A1.8 Saliniteit en temperatuur

Om de ruimtelijke verdeling van het zoutgehalte en de watertemperatuur van het water goed te simuleren zijn de restart files voor saliniteit en temperatuur van het originele ZUNO-model geïnterpoleerd op het aangepaste rekenrooster, zie paragraaf A1.5. Dit zorgt ervoor dat de gesimuleerde zoutgehalten en temperaturen goed overeenkomen met het originele ZUNO-model, zie Figuur 8-21 en Figuur 8-22. Het is duidelijk dat na één dag de zoutgehalten en temperaturen op de getoonde locaties minder dan 1 % verschillen, dus dat het aangepaste ZUNO-model bij gebruik van de geïnterpoleerde restart files nauwelijks inspeeltijd nodig heeft voor zoutgehalte en temperatuur.



Figuur 8-21: Vergelijking van de saliniteit en de watertemperatuur tussen het originele en aangepaste ZUNO-model na circa 1 dag simuleren (begin januari 2015)



Figuur 8-22: Vergelijking van de saliniteit en de watertemperatuur tussen het originele en aangepaste ZUNO-model ter plaatse van het platform over de diepte, begin januari 2015. Laag 1 bevindt zich bij het wateroppervlak, laag 12 bij de bodem.

A1.9 Randvoorwaarden

De hydraulische randvoorwaarden van het model voor het jaar 2015 zijn aangeleverd bij het ZUNO-model. Deze zijn ook gehanteerd bij het aangepaste ZUNO-model. Voor de volgende parameters zijn randvoorwaarden aanwezig:

- Getij
- Debieten vanuit rivieren (met zoutgehalte en temperatuur)
- Atmosferische druk
- Windsnelheid
- Luchttemperatuur
- Relatieve luchtvochtigheid
- Bewolking

Naast de hydrodynamische processen simuleert het model de saliniteit en temperatuur van het water (en daarmee de dichtheid) en wordt een warmtemodel gebruikt om de uitwisseling tussen de atmosfeer en het water te simuleren.

A1.10 Modeluitvoer

De resultaten van het stromingsmodel zijn weggeschreven met een interval van een uur.

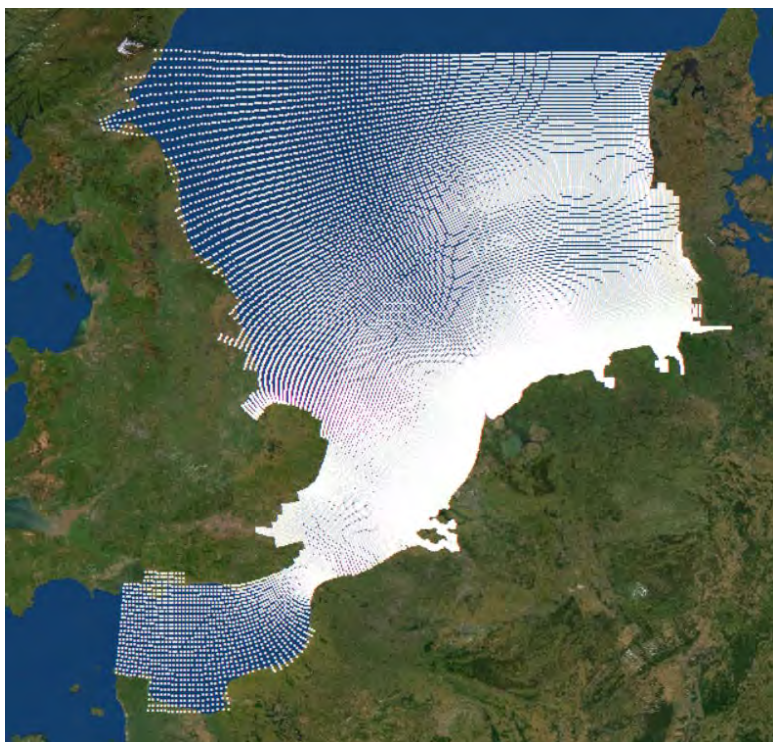
A1.11 Overige modelinstellingen en invoerparameters

De overige modelinstellingen en invoerparameters van het originele ZUNO-model worden gehandhaafd.

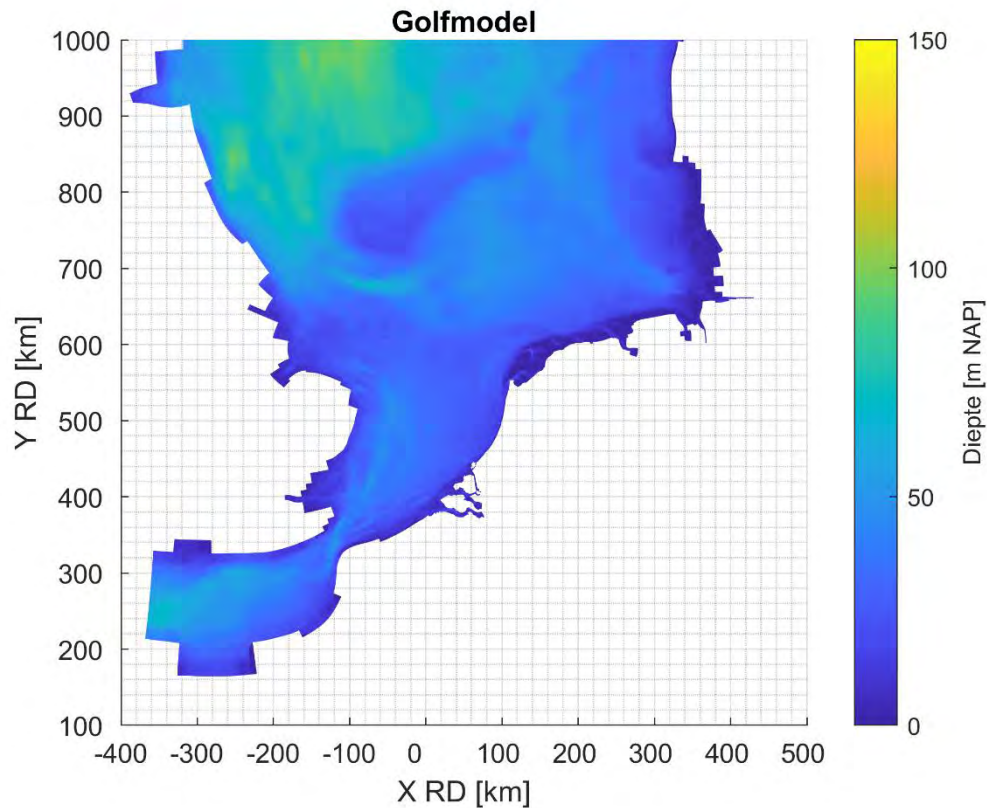
A1.12 Golfmodel

A1.12.1 Rekenrooster en bodem

Waar in Delft3D-Flow de verschillende roosters tegen elkaar aan moeten liggen, heeft SWAN een overlappend rekenrooster nodig. Daarom zijn de drie roosters van het originele ZUNO-model samengevoegd op de resolutie van het medium rekenrooster, zie Figuur 8-23. Rondom de eilanden zijn een aantal rekenroostercellen aangepast, aangezien SWAN geen rekenroostercellen accepteert waarin niet vier duidelijke hoeken zijn te onderscheiden. De bodem van het originele ZUNO-model is geïnterpoleerd op het samengevoegde SWAN-rooster, zie Figuur 8-24.



Figuur 8-23: Rekenrooster van het SWAN-model

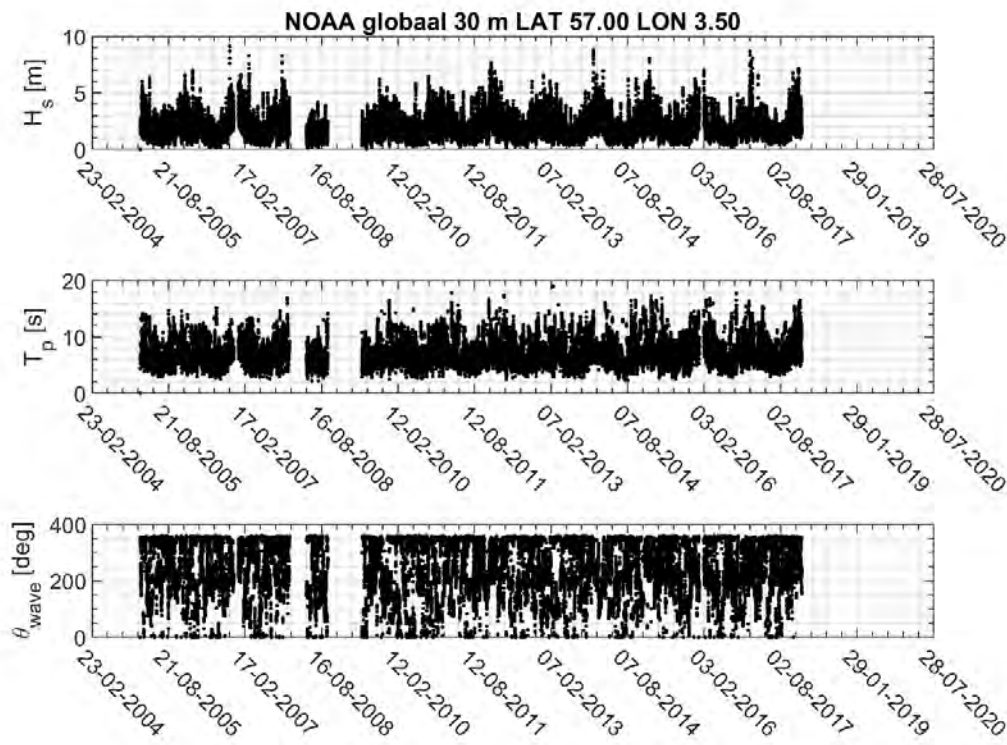


Figuur 8-24: Bathymetrie van het SWAN-model

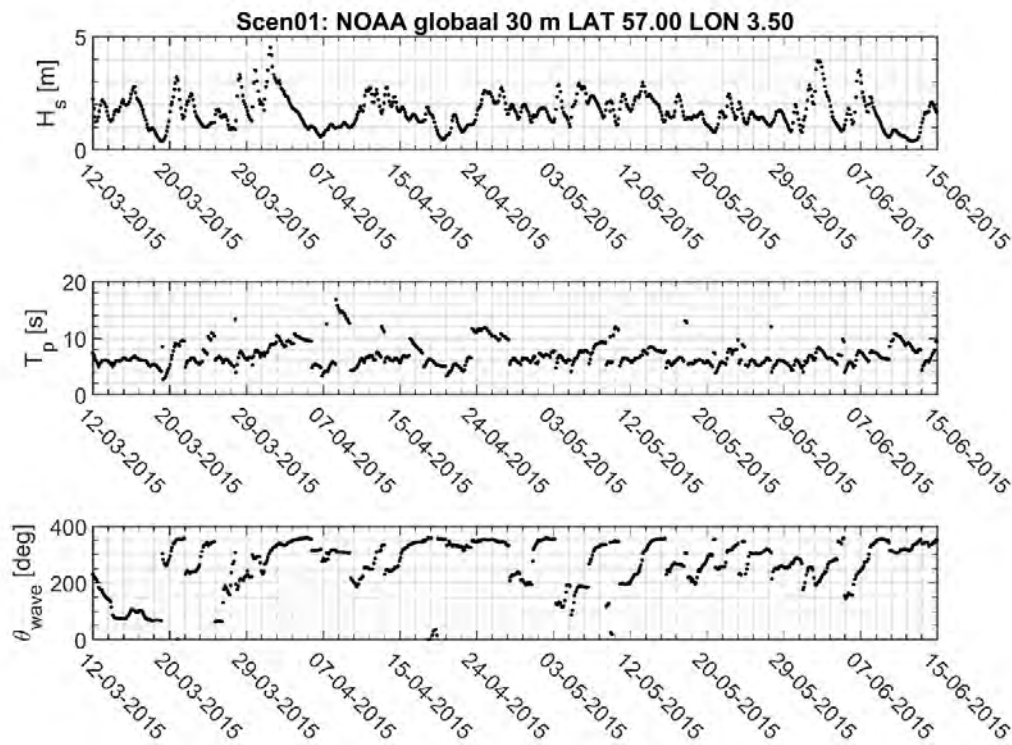
A1.12.2 Randvoorwaarden

Golfrandvoorwaarde

De randvoorwaarden voor het golfmodel zijn afgeleid uit NOAA-data. Hiervoor is een punt uit het globale NOAA-model met resolutie van 30 m gehaald met de coördinaten (LAT/LON) 57.00, 3.50 (WGS84). Op dit punt zijn tijdseries van golfhoogte, periode en richting beschikbaar tot eind 2017, zie Figuur 8-25.



Figuur 8-25: Significante golfhoogte, piekperiode en richting voor de periode 2005 - 2017



Figuur 8-26: Significante golfhoogte, piekperiode en richting gedurende scenario Maart

Voor elk scenario is de gemiddelde significante golfhoogte, piekperiode en golfrichting bepaald, zie Figuur 8-26 en Tabel 8-3. Deze waarden zijn als constante randvoorwaarde gedurende de simulatie opgelegd. Deze zijn vervolgens opgelegd op de noordelijke rand van het golfmodel. Op de westelijke rand zijn geen randvoorwaarden opgelegd, er wordt ervan uit gegaan dat golven vanuit deze richting nauwelijks doordringen tot aan de interesselocatie.

Tabel 8-3: Significante golfhoogte, piekperiode en richting die gebruikt zijn als constante randvoorwaarde voor de drie scenario's.

Scenario	H_s [m]	T_p [s]	Richting [graden Noord, komend uit]
1	1.69	7.04	266
2	2.29	7.90	224
3	2.70	8.38	240

Wind

Bij het originele ZUNO-model zitten ruimtelijke en in de tijd variërende windvelden voor het gehele model domein. Deze zijn opgelegd in het SWAN-model en zorgen ervoor dat de opgelegde golfrandvoorwaarden naar de kust toe veranderen.

A1.12.3 SWAN settings

De volgende settings zijn gehanteerd in het gekoppelde SWAN/Delft3D-Flow model (versie 40.72ABCDE):

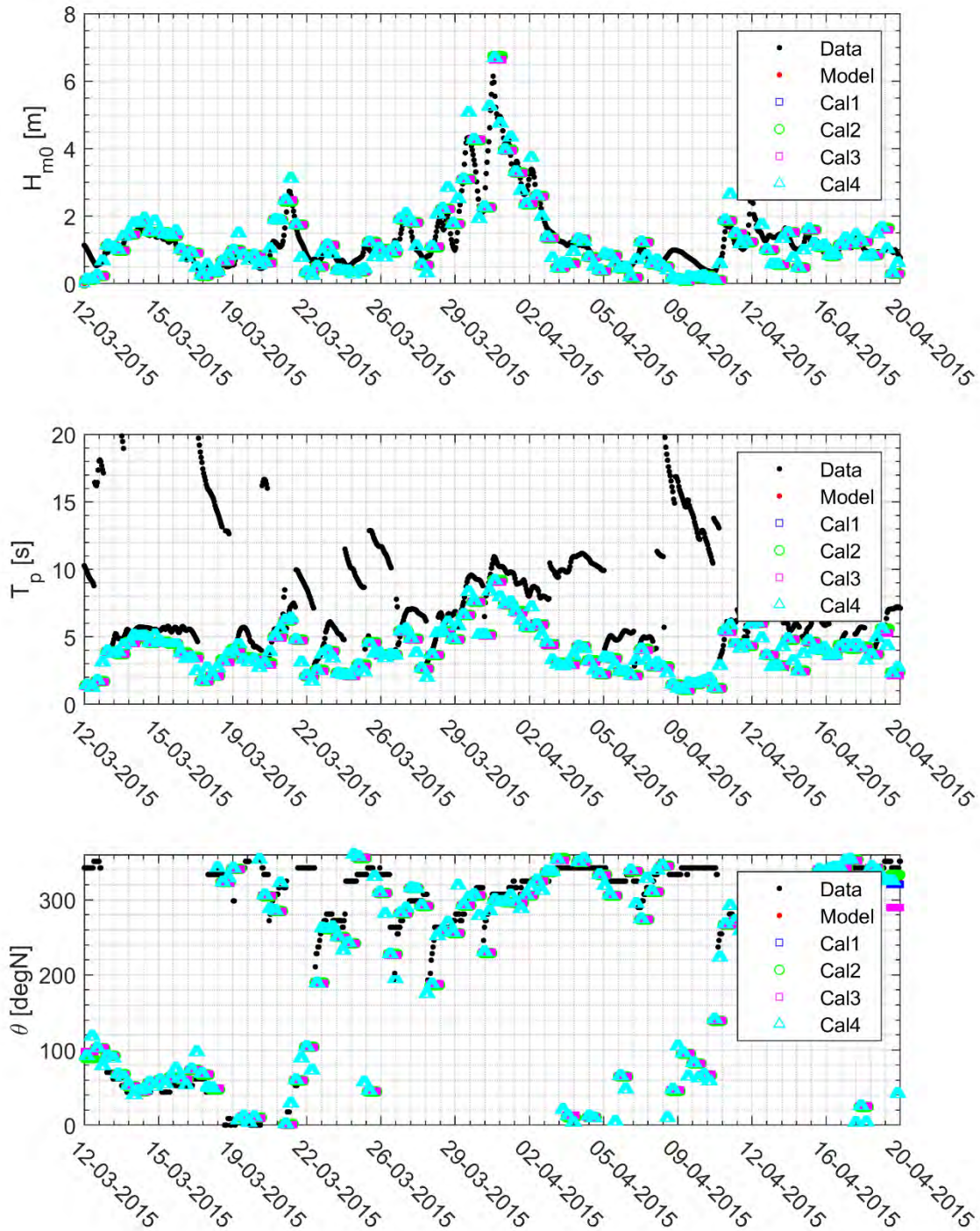
- De golven worden elke 12 uur opnieuw berekend. Dit betekent dat om de 12 uur de koppeling tussen SWAN en Delft3D-Flow gemaakt wordt;
- 144 richtingen in de richtingsruimte (elke richtingsbin beslaat dus 2,5 graden);
- 48 frequentie bins, met een minimum en maximum frequentie van 0.05 en 2 Hz;
- De resultaten van het FLOW-model worden niet gebruikt voor het berekenen van de golven;
- Constante randvoorwaarden langs de noordelijke rand;
- Minimumdiepte voor het berekenen van de golven van 0.05 m;
- Processen: depth-induced breaking, niet-lineaire triad interacties, bodemwrijving, golfgroei door wind en white-capping.

Bovenstaande settings zijn allen de default settings bij gebruik van SWAN in combinatie met Delft3D. Van een aantal settings, zoals het aantal richtingen, is de invloed getest:

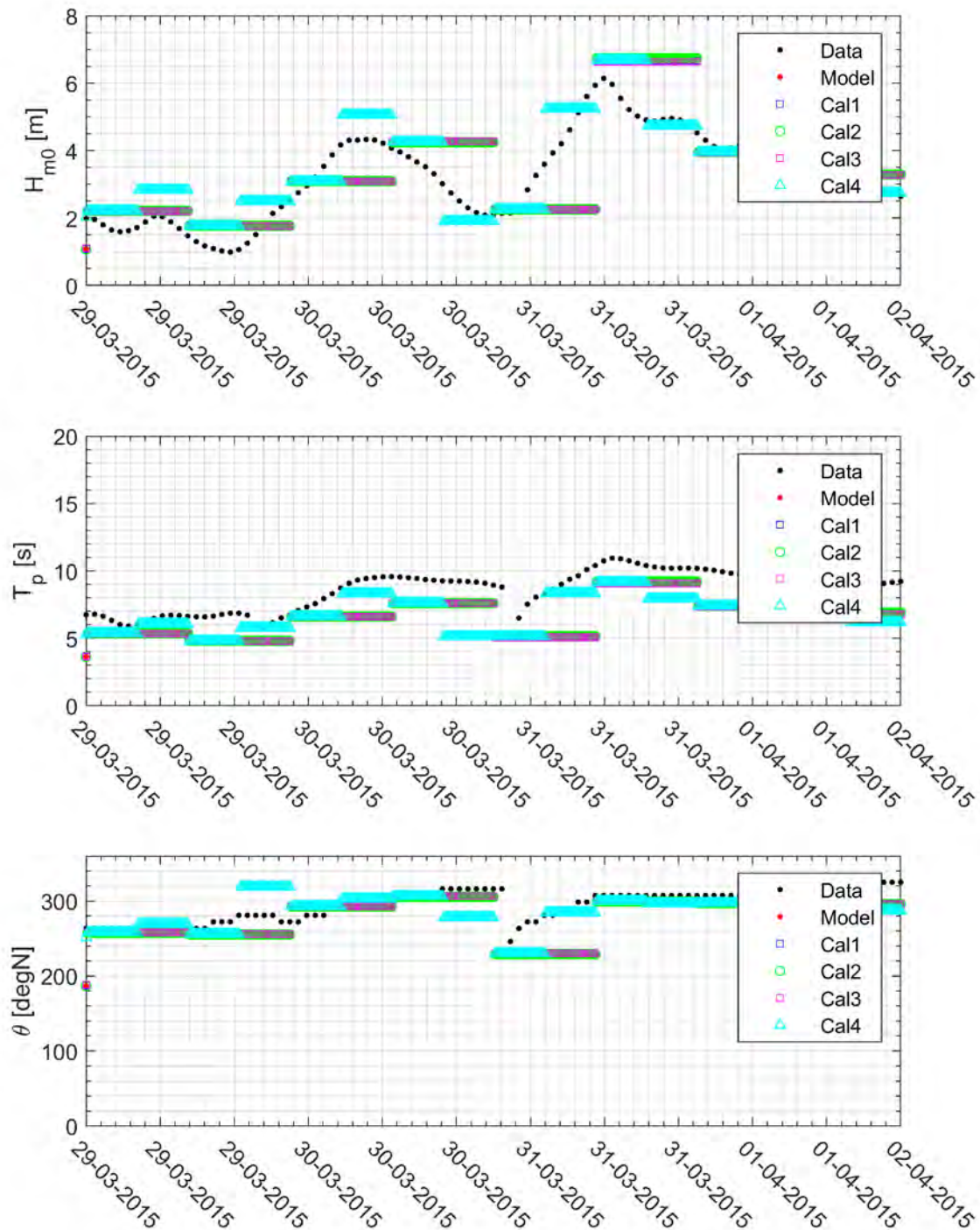
- Het aantal richtingsbins: een test is uitgevoerd met 200 in plaats van 144 richtingsbins (cal1);
- De minimale frequentie: een test is uitgevoerd met een minimale frequentie van 0.01 in plaats van 0.05 Hz (cal2).
- Het aantal frequentie bins: een test is uitgevoerd met 55 in plaats van 48 frequenties (cal3);
- De koppelfrequentie: een test is gedraaid met een koppeling tussen Delft3D en SWAN om de 6 uur (cal4);

In Figuur 8-27 en Figuur 8-28 is de vergelijking gemaakt tussen de golfdata en deze calibratiesimulaties. 'Model' verwijst naar de uiteindelijke set van settings zoals hierboven genoemd, cal1 tot en met cal4 verwijst naar de verschillende calibratiesimulaties. Er is nauwelijks verschil te zien in de resultaten tussen de

verschillende simulaties. Met het koppelinterval van 6 in plaats van 12 uur volgt het model de data wat beter, maar dit levert geen significante verbetering op. Daarnaast is dit koppelinterval niet haalbaar qua rekkentijden in combinatie met sedimentberekeningen.



Figuur 8-27: Vergelijking van de significante golfhoogte, piekperiode en golfrichting tussen de golfdata en het golfmodel. Model: golfmodel met uiteindelijk gebruikte settings.



Figuur 8-28: Vergelijking van de significante golfhogte, piekperiode en golfrichting tussen de golfdata en het golfmodel (ingezoomd). Model: golfmodel met uiteindelijk gebruikte settings.

A1.12.4 Validatie van het golfmodel

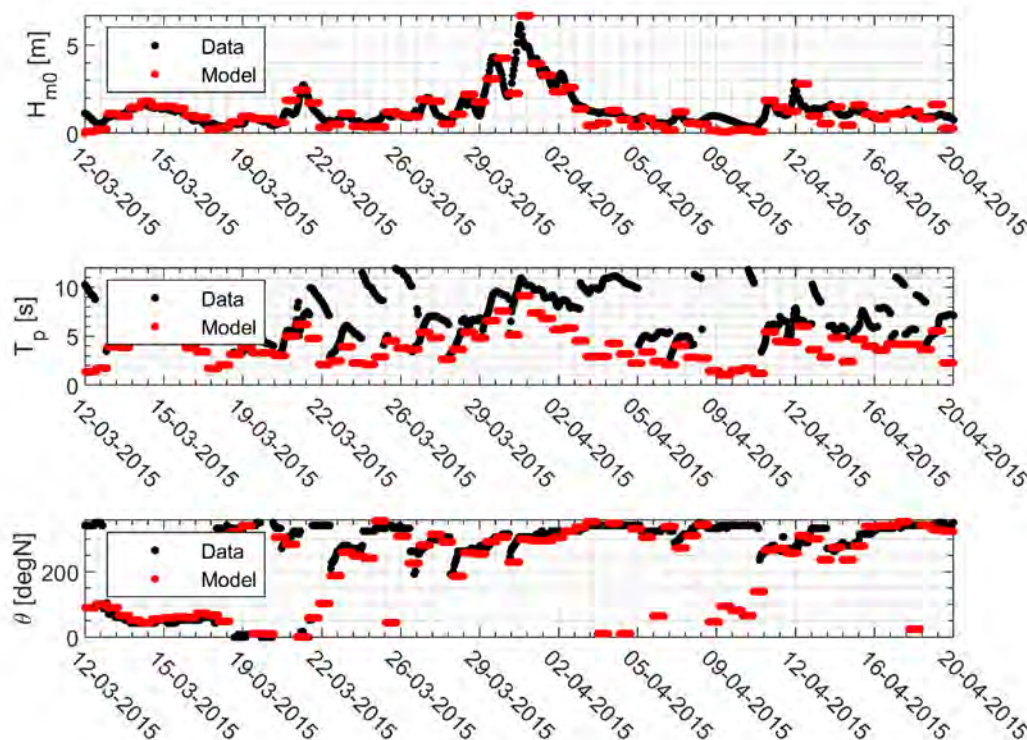
Op de locatie van het platform zijn de gemeten en gemodelleerde golfhogte, -periode en -richting vergeleken, zie Figuur 8-29. Op de noordelijke rand van het model zijn constante randvoorwaarden opgelegd, vervolgens worden door de ruimtelijke en temporele variërende windsnelheden de golven in het domein gegenereerd.

De gesimuleerde significante golfhoogte komt goed overeen met de data: het algemene verloop maar ook de individuele pieken in golfhoogte worden goed gesimuleerd. Omdat de koppeling tussen het golfmodel en het stromingsmodel eens per 12 uur wordt gemaakt, zijn de gemodelleerde golfhoogtes constant over deze 12 uur, terwijl de gemeten golfhoogtes meer variëren. De fluctuatie in de golfhoogte wordt echter met dit simulatie-interval goed meegenomen, de koppeling tussen de twee modellen hoeft niet vaker gemaakt te worden. Dit is ook niet wenselijk vanuit simulatietijd overwegingen.

De piekperiode wordt voldoende gereproduceerd, ook al worden de golfperiodes soms wat onderschat. In de data zien we echter grote sprongen in piekperiode bij lage golven: dit kan worden veroorzaakt door het feit dat de golfenergie laag is en het moeilijk is om een duidelijke piek in het golfspectrum te identificeren. In de periodes waarin geen sprongen in de data te zien zijn, komt de gesimuleerde piekperiode goed overeen met de data.

De richting komt goed overeen met de gemeten richting, hierbij moet gerealiseerd worden dat een richting van 0 graden gelijk is aan een richting van 360 graden.

De resultaten zoals getoond in Figuur 8-29 variëren nauwelijks bij verschillende modelinstellingen, zoals getoond in bijlage A1.14.

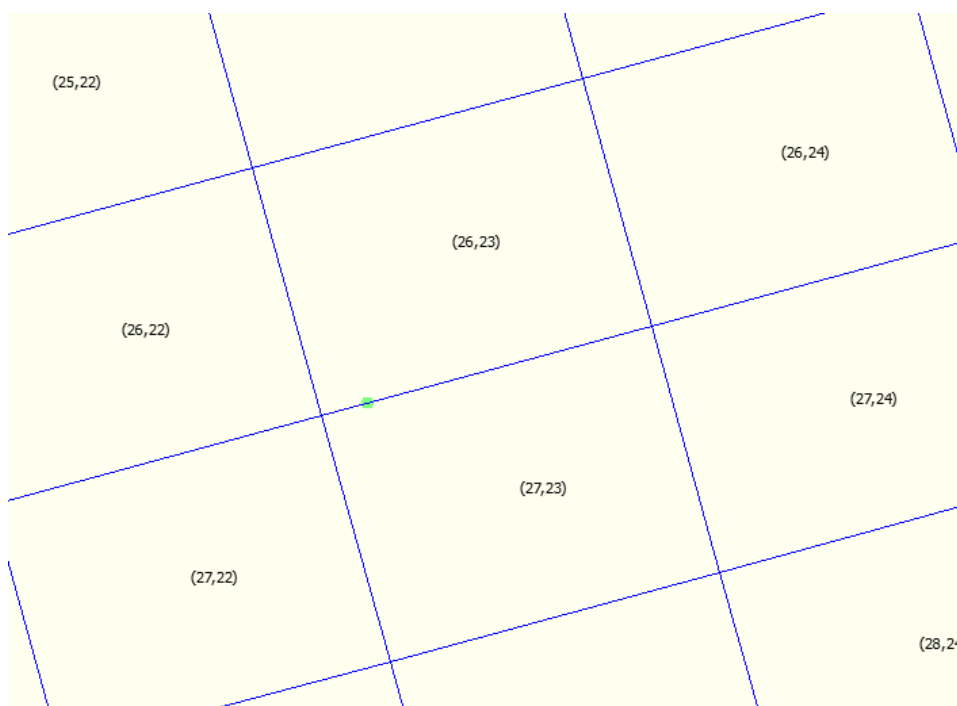


Figuur 8-29: Vergelijking van de gemeten (zwart) en gemodelleerde (rood) significante golfhoogte, piekperiode en richting gedurende de periode half maart – half april 2015.

A1.13 Lozing van boorspoeling

A1.13.1 Locatie

De hoeveelheden geloosde boorspoeling en opgeloste stoffen worden als brontermen in het model gezet op de locatie van het N05-A platform. Voor een bronterm kan alleen een rekenroostercel opgegeven worden, de locatie in het model verschilt dus wat van de daadwerkelijke locatie (circa een halve rekenroostercel). De bronterm is toegevoegd in het rekenrooster nest2 op celnummer 26, 23 voor platform N05-A, zie Figuur 8-30. De lozing voor platform N05-A Zuid is toegevoegd op rekenroostercel 38, 24.



Figuur 8-30: Locatie van het N05-A platform binnen nest2

A1.13.2 Hoogte

Er wordt uitgegaan van een lozing 10 m onder het gemiddeld zeeoppervlak. De diepte ter plekke van de lozing is 26,2 m. Dit houdt in dat de lozing plaatsvindt in laag 5, zie Tabel 8-4. Voor locatie N05-A Zuid is dezelfde lozingslaag aangehouden.

Tabel 8-4: Laagnummer van de lozing. De waterdiepte ter plaatse van het platform is 26,2 m.

Laagnummer	Aandeel diepte [%]	Hoogte laag [m]	Hoogte bovenkant laag tov oppervlak [m]	Hoogte onderkant laag tov oppervlak [m]	Lozing
1 (oppervlak)	4	1,05	0	1,05	
2	5,6	1,47	1,05	2,52	
3	7,8	2,04	2,52	4,56	
4	10,8	2,83	4,56	7,39	
5	10,9	2,86	7,39	10,24	X
6	10,9	2,86	10,24	13,10	
7	10,9	2,86	13,10	15,96	
8	10,9	2,86	15,96	18,81	
9	10,8	2,83	18,81	21,64	
10	7,8	2,04	21,64	23,68	
11	5,6	1,47	23,68	25,15	
12 (bodem)	4	1,05	25,15	26,20	

A1.13.3 Brontermen

De verschillende fracties in de boorspoeling worden apart gemodelleerd (zie Tabel 8-5):

- Het bariet en bentoniet van de boorspoeling wordt als fijn, cohesief sediment gemodelleerd, met respectievelijke korrelgroottes van 0.015 en 0.030 mm en daarbij horende valsnelheden van $1,4 \cdot 10^{-4}$ en $5,7 \cdot 10^{-4}$ m/s.
- De opgeloste stoffen in de boorspoeling worden als tracer in het model gezet. Per boorsectie is een aparte tracer gebruikt. Een tracer heeft geen effect op de stroming, maar kan gevolgd worden gedurende een simulatie.

Tabel 8-5: Eigenschappen van de brontermen

Component		Korrelgrootte [mm]	Valsnelheid [m/s]
Boorspoeling (cohesief)	Bariet	0.015	$1,4 \cdot 10^{-4}$
	Bentoniet	0.030	$5,7 \cdot 10^{-4}$
Opgeloste stoffen	Tracer 1	-	-
	Tracer 2	-	-
	Tracer 3	-	-
	Tracer 4	-	-

Overige settings gebruikt voor de cohesieve sedimentmodellering zijn opgesomd in Tabel 8-6. In de modellering wordt alleen de boorspoeling gemodelleerd, dus zonder achtergrondconcentraties van sediment en andere stoffen.

Tabel 8-6: Settings gebruikt voor de cohesieve sedimentmodellering

Parameter	Waarde
Kritische schuifspanning voor sedimentatie	1000 N/m ²
Kritische schuifspanning voor erosie	0,3 N/m ²
Erosie parameter	1*10 ⁻⁴ kg/m ² /s
Initiele sedimentdikte	0 m

De brontermen voor de verschillende componenten zijn opgesomd in Tabel 8-7. Belangrijk om hierbij op te merken is dat de brontermen en het verloop van de brontermen over de tijd voor de verschillende scenario's hetzelfde zijn, maar dat de omstandigheden (wind, golven, etc.) verschillen per scenario.

Tabel 8-7: Brontermen voor de verschillende componenten en scenario's

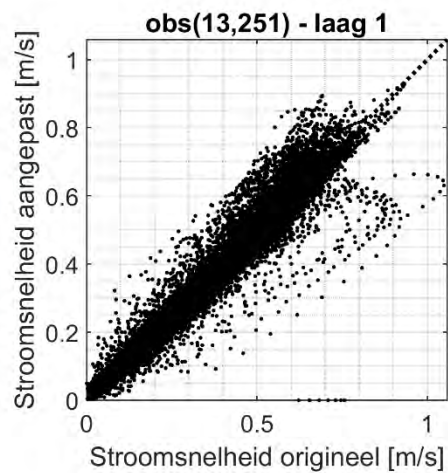
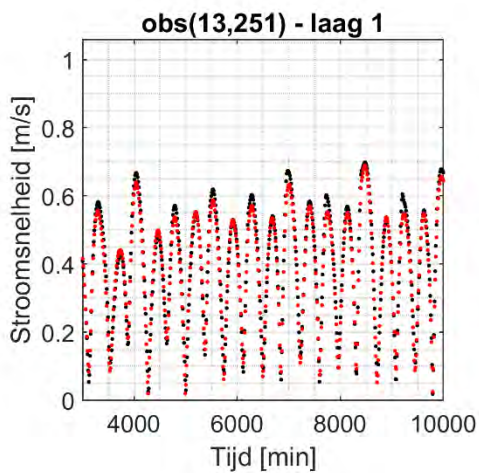
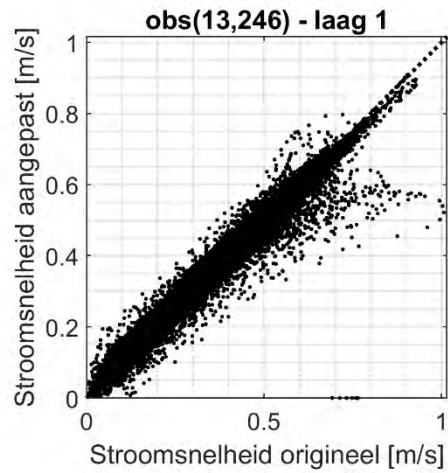
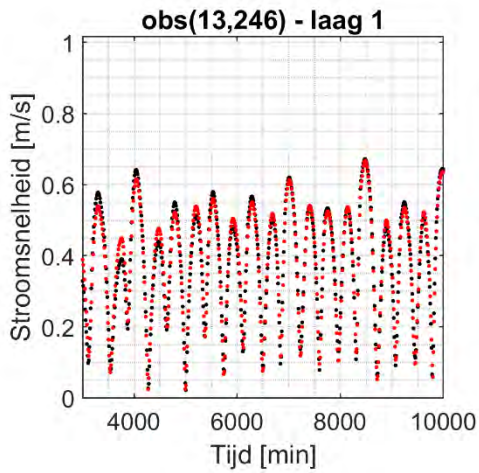
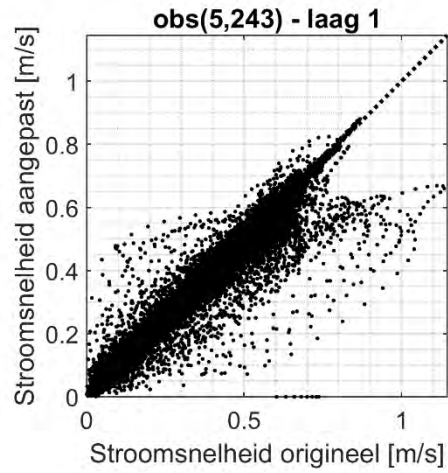
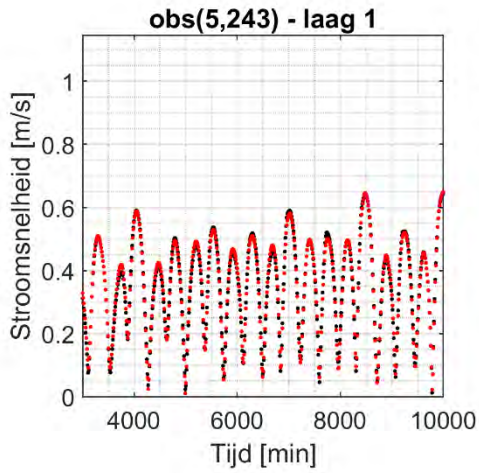
Component		Brontermen [kg/s]			
		1	2	3	4
Boorspoeling	Bariet	0.58	0.77	0.37	0.68
	Bentoniet	0.46	0.54	0.06	0
Tracers	Tracer 1	1.87	0	0	0
	Tracer 2	0	1.18	0	0
	Tracer 3	0	0	0.36	0
	Tracer 4	0	0	0	0.36

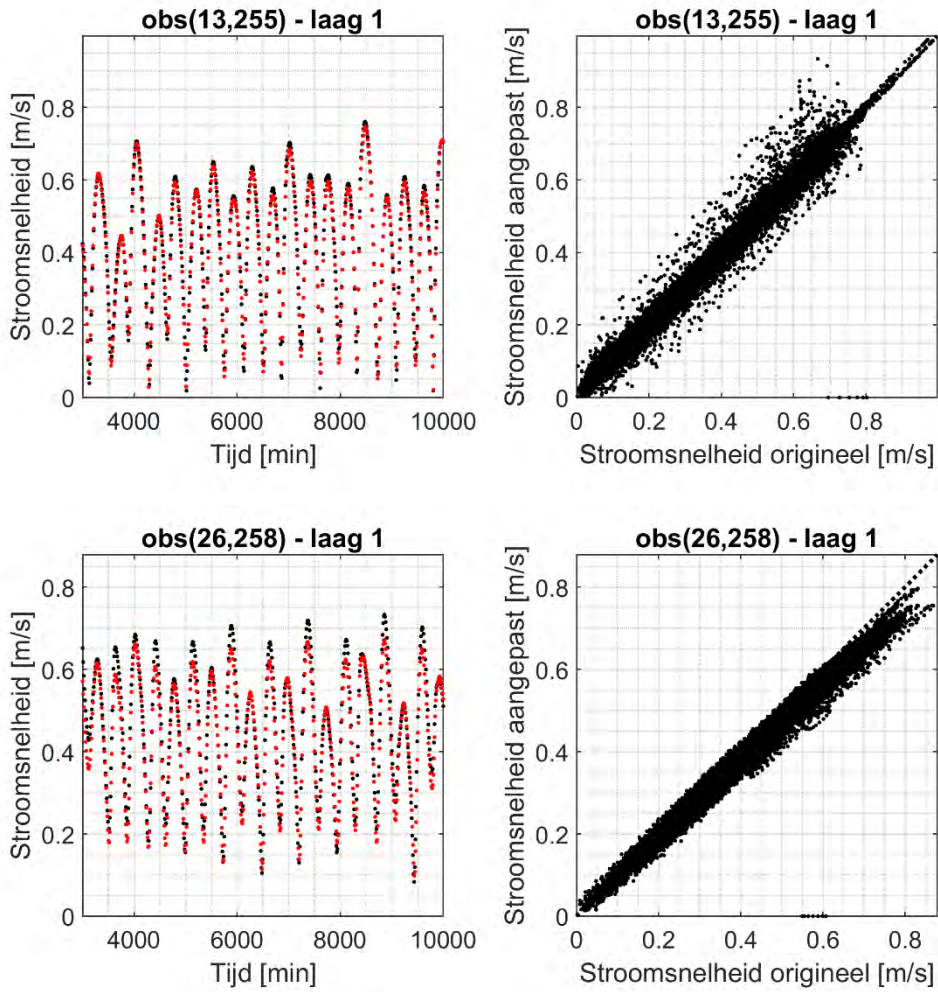
A1.14 Vergelijking van de hydrodynamica van het aangepaste en originele ZUNO-model

Voor de observatiepunten obs(13, 251), obs(5, 243), obs(26, 258), obs(13,246) en obs(13, 255) is in Figuur 8-31 tot Figuur 8-38 een vergelijking van de stroomsnelheid en stroomrichting gegeven tussen het aangepaste ZUNO-model en het originele ZUNO-model. Deze locaties zijn terug te vinden in Figuur 4-1. Dit is gedaan voor laag 1 (bij het oppervlak), laag 6 (halverwege de waterkolom) en laag 12 (bij de bodem). De stroomrichting is aangegeven in graden ten opzichte van het noorden, waarbij een draaiing tegen de klok in positief is. De eerste 50 uur (3000 minuten) zijn in deze analyse niet meegenomen, aangezien het aangepaste ZUNO-model hierbinnen aan het inspelen is.

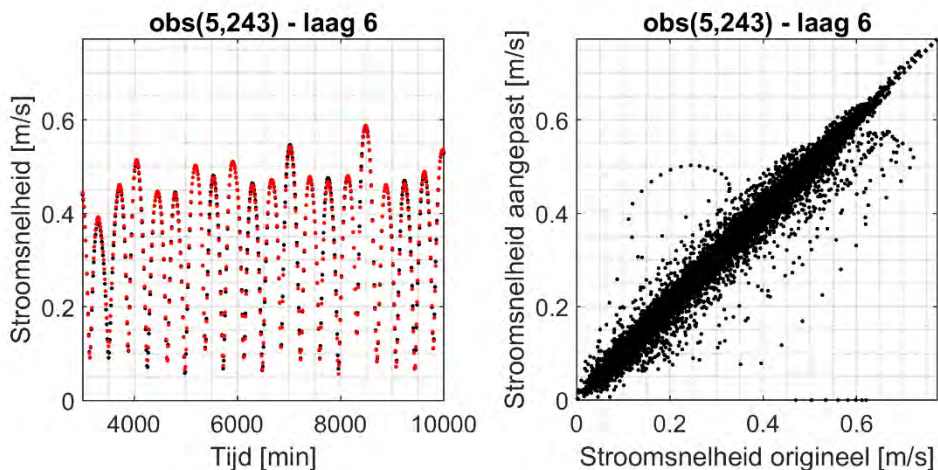
Voor de spreidingsdiagrammen specifiek moet gerealiseerd worden dat een hoek van 360° gelijk is aan een hoek van 0°. Data die zich in de linkerbovenhoek van het diagram bevindt sluit dus aan bij de data in de linkeronderhoek. Hetzelfde geldt voor de rechter boven- en onderhoek.

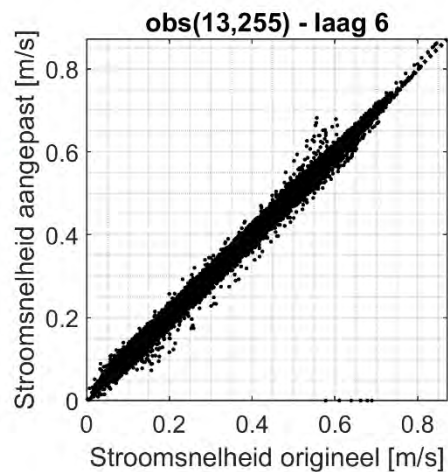
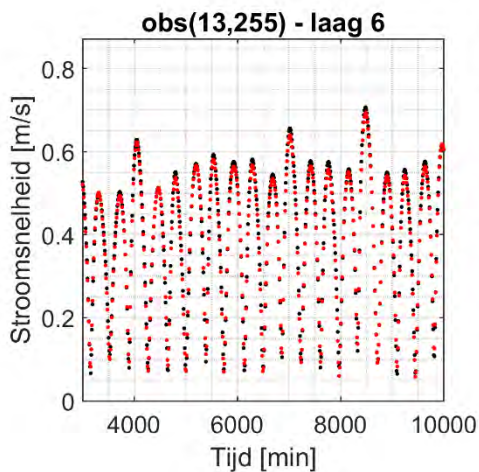
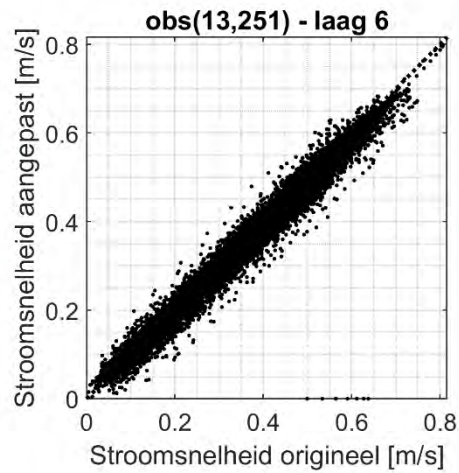
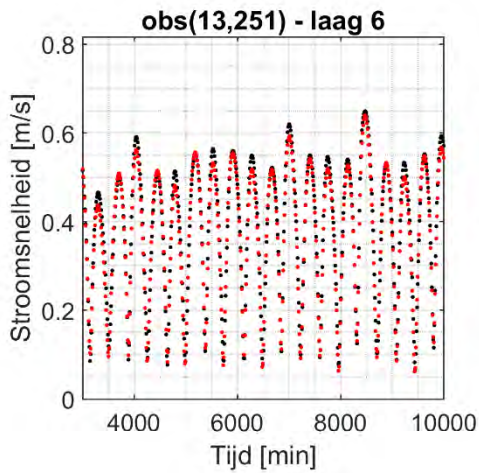
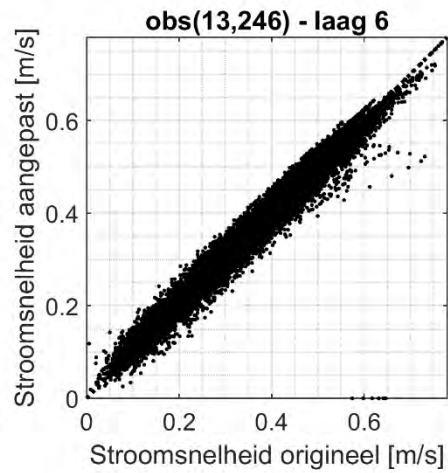
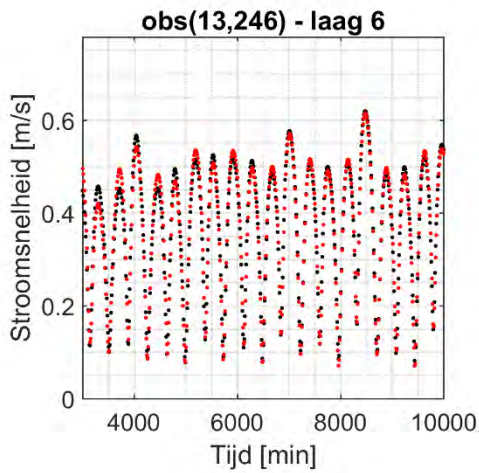
Over het algemeen komen de resultaten van het geneste model goed overeen met het originele model. Zowel stroomsnelheden en richtingen worden door het aangepaste ZUNO-model goed gesimuleerd. Stroomsnelheden als gevolg van getij en wind liggen over het algemeen tussen 0 en 0,8 m/s halverwege de waterkolom en tussen 0 en 1,0 m/s bij het oppervlak. Bij de bodem liggen de snelheden tussen 0 en 0,6 m/s. Dit komt overeen met de stroomsnelheden zoals getoond in Figuur 3-2 en Figuur 3-3 en ook zoals gerapporteerd in [4].

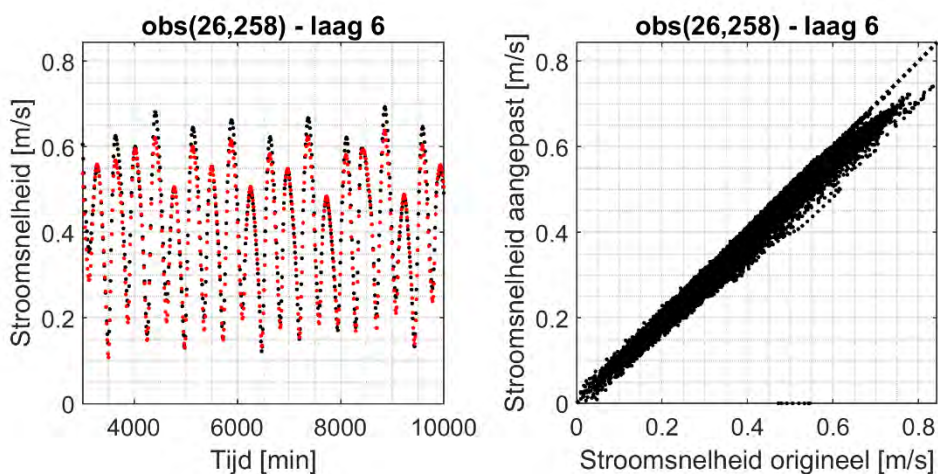




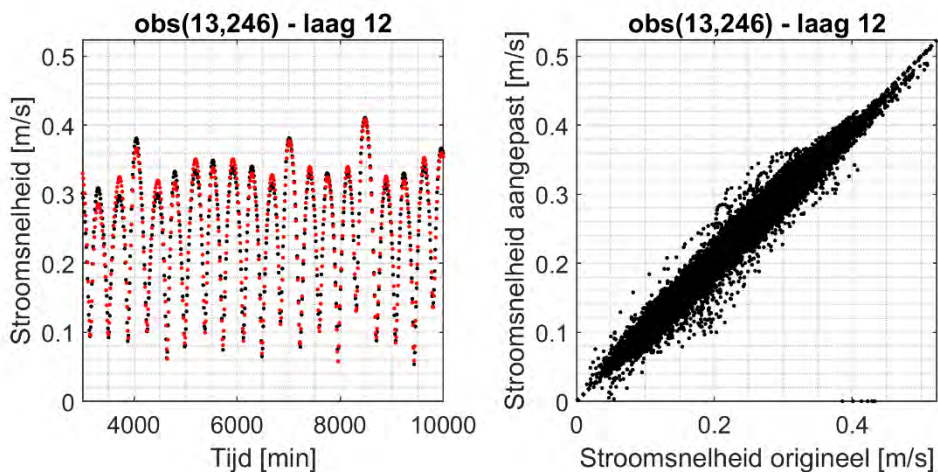
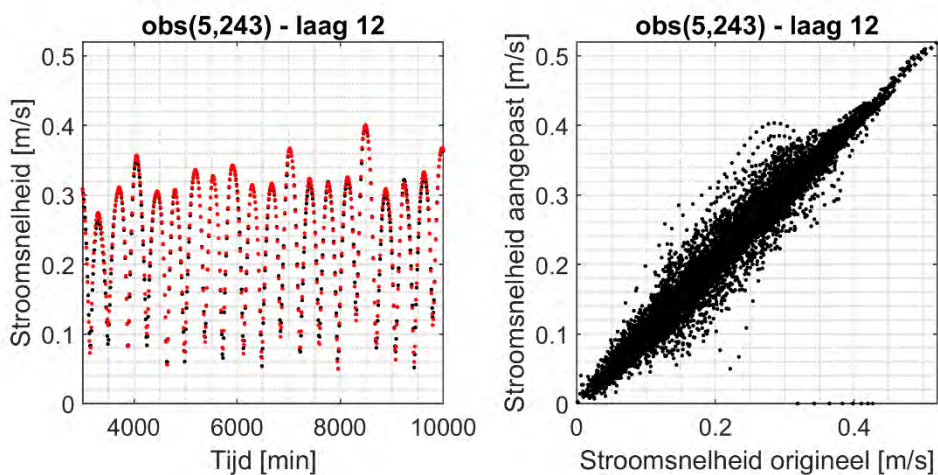
Figuur 8-31: Vergelijking van de stroomsnelheid tussen het aangepaste en originele ZUNO-model op verschillende punten rondom de geneste rekenroosters, bij het oppervlak. Links is een vergelijking te zien in de tijd gedurende de eerste ca 7 dagen (zwart: origineel model, rood: aangepast model), rechts een spreidingsdiagram.

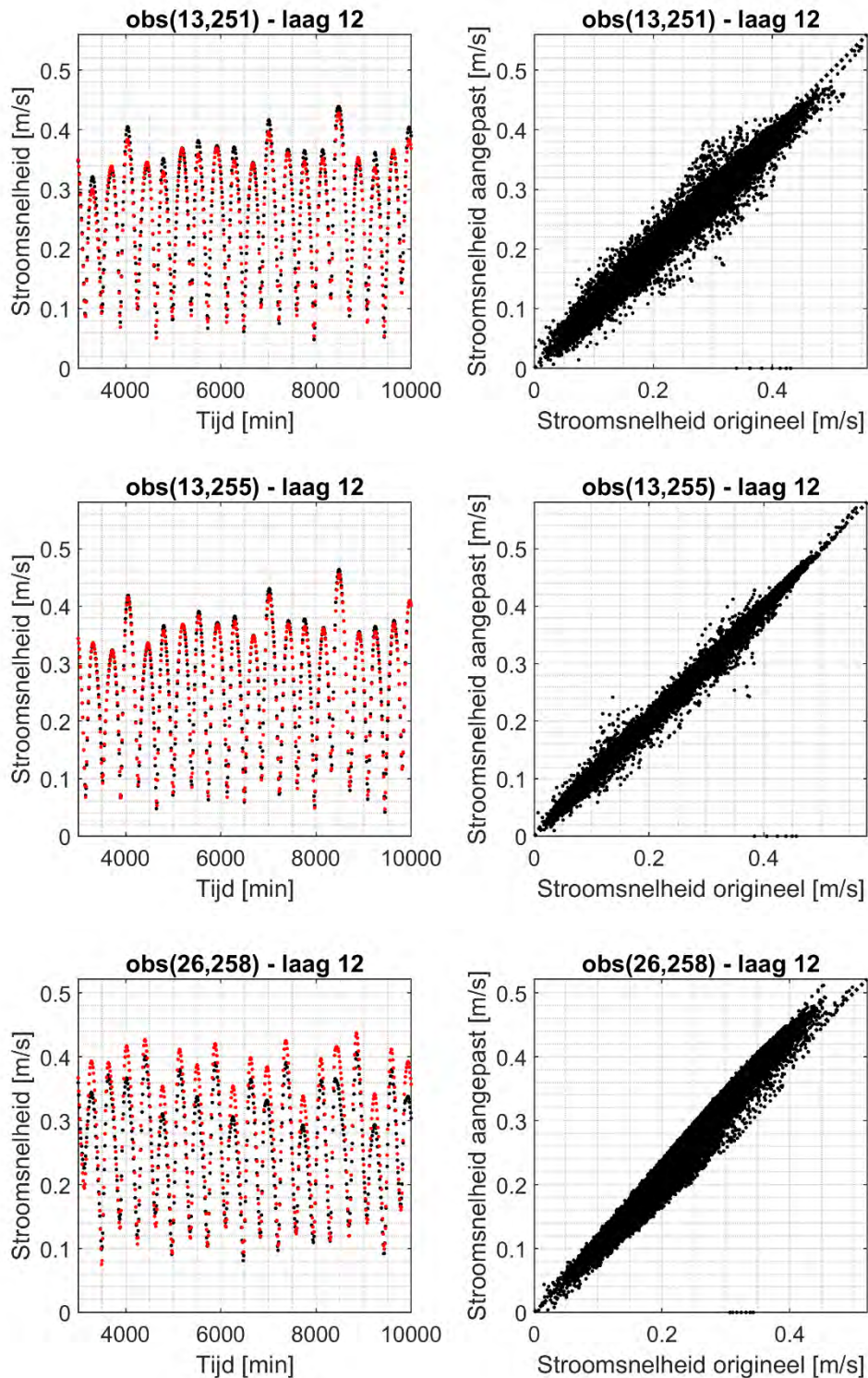




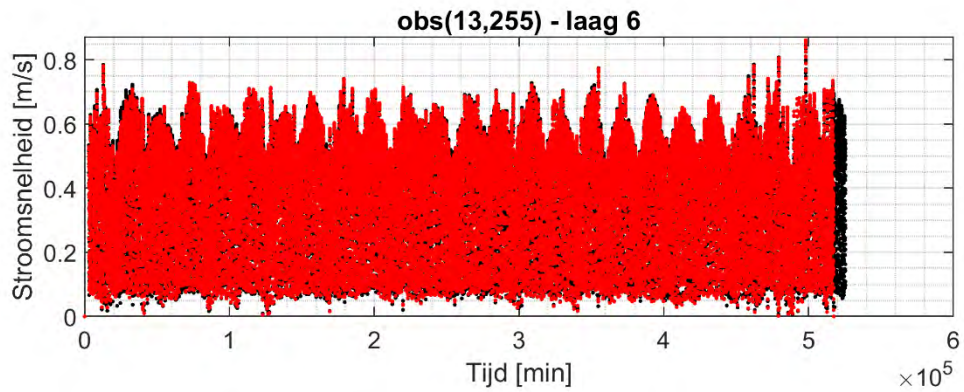
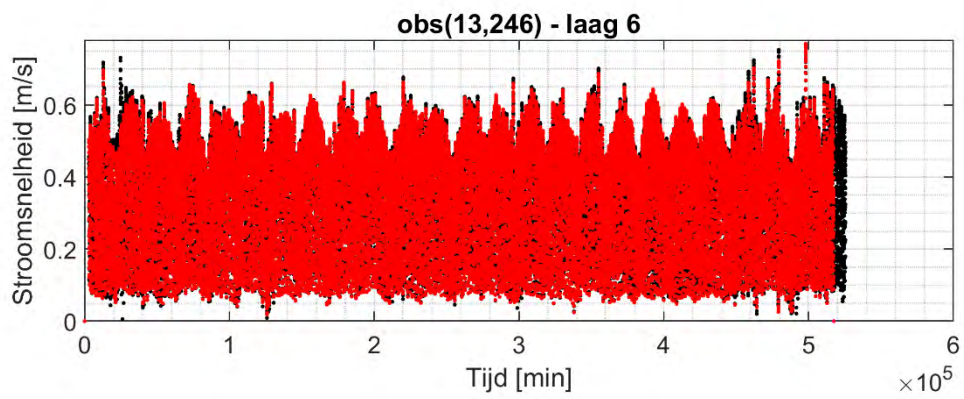
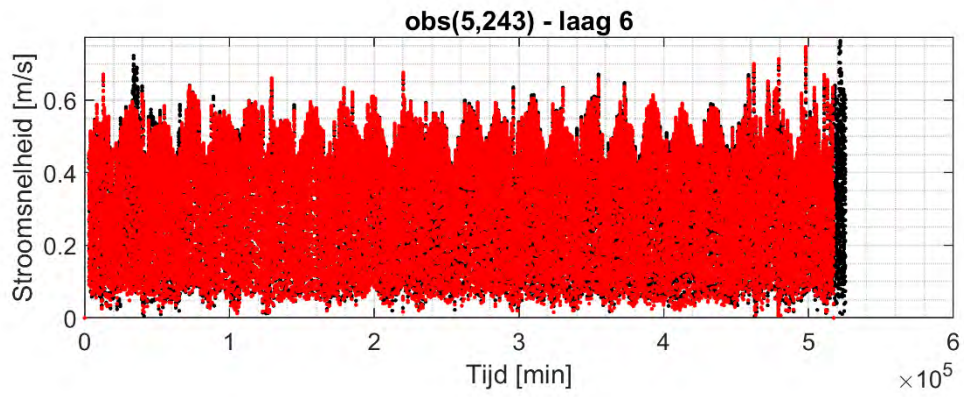


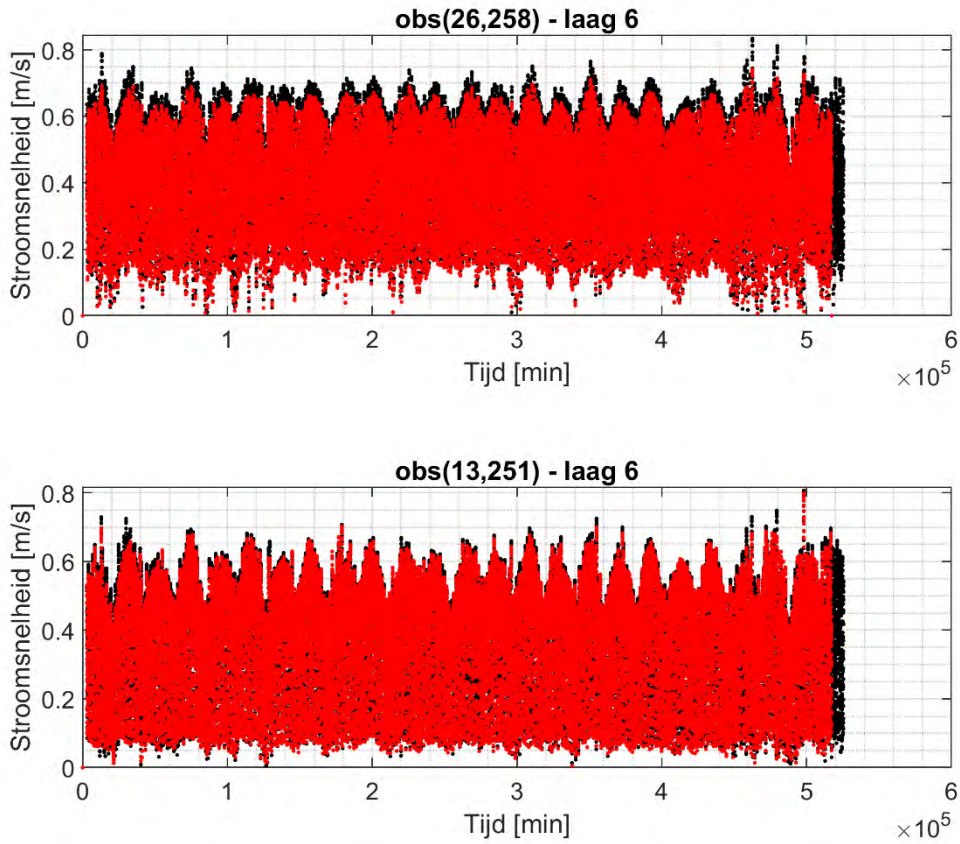
Figuur 8-32: Vergelijking van de stroomsnelheid tussen het aangepaste en originele ZUNO-model op verschillende punten rondom de geneste rekenroosters, halverwege de waterkolom. Links is een vergelijking te zien in de tijd gedurende de eerste ca 7 dagen (zwart: origineel model, rood: aangepast model), rechts een spreidingsdiagram.



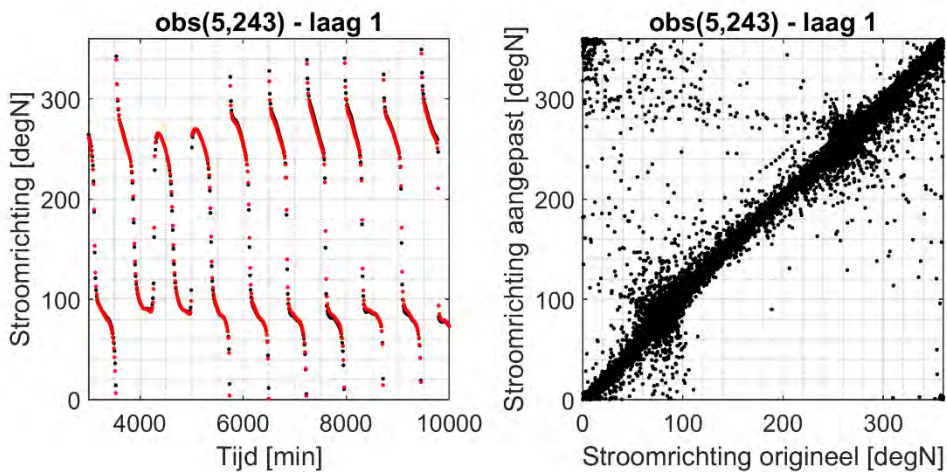


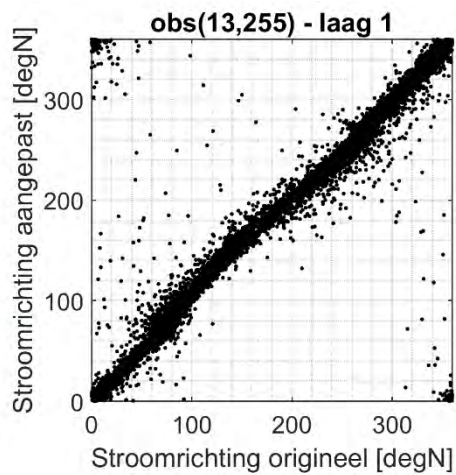
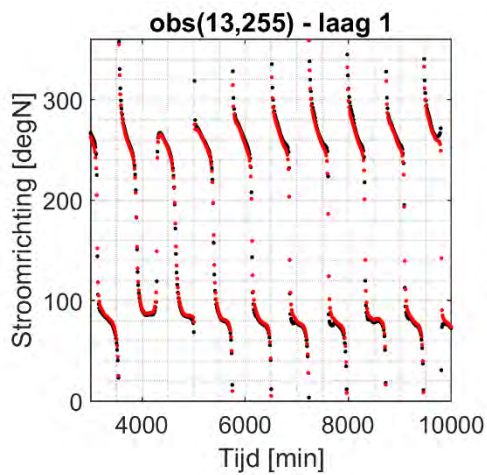
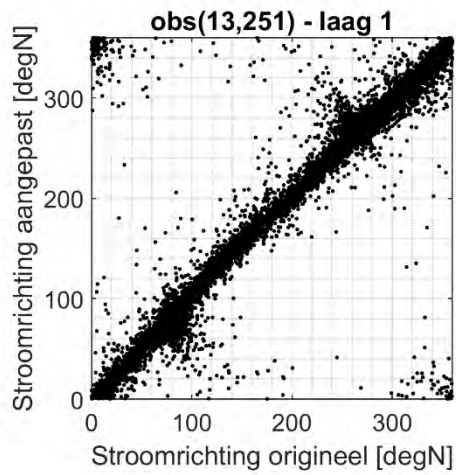
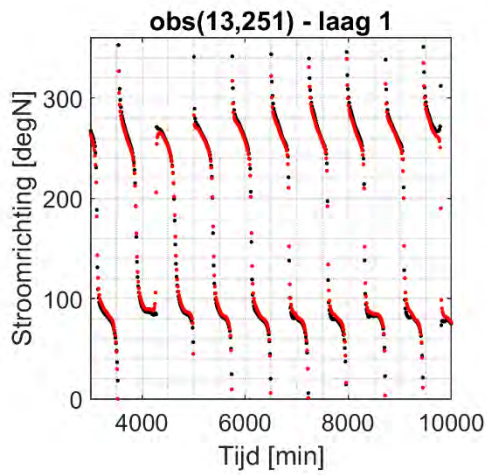
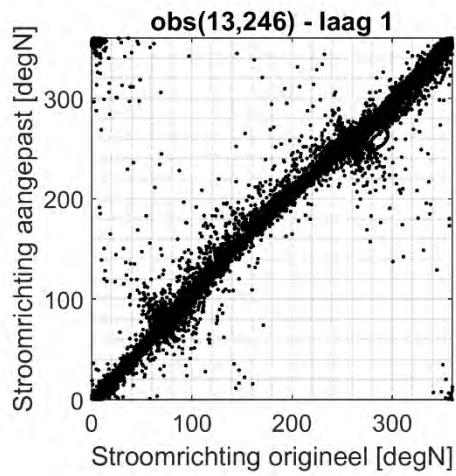
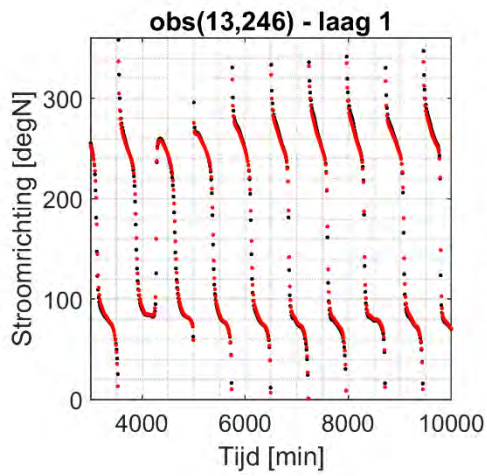
Figuur 8-33: Vergelijking van de stroomsnelheid tussen het aangepaste en originele ZUNO-model op verschillende punten rondom de geneste rekenroosters, bij de bodem. Links is een vergelijking te zien in de tijd gedurende de eerste ca 7 dagen (zwart: origineel model, rood: aangepast model), rechts een spreidingsdiagram.

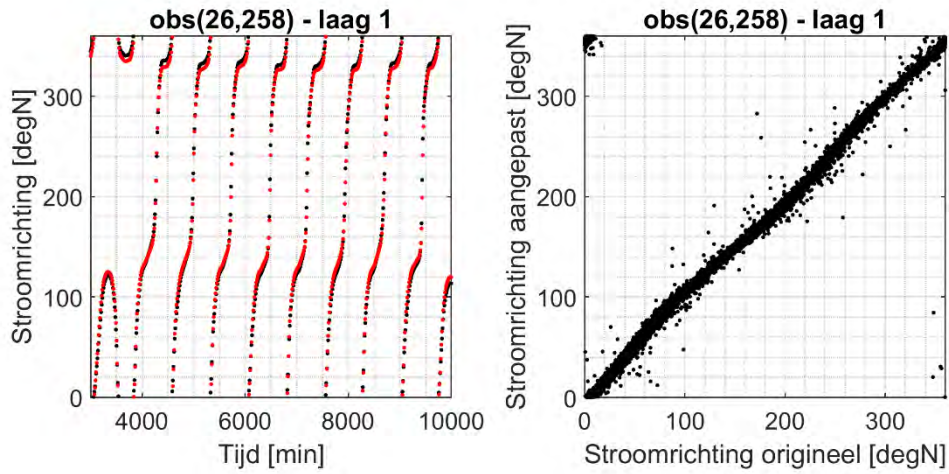




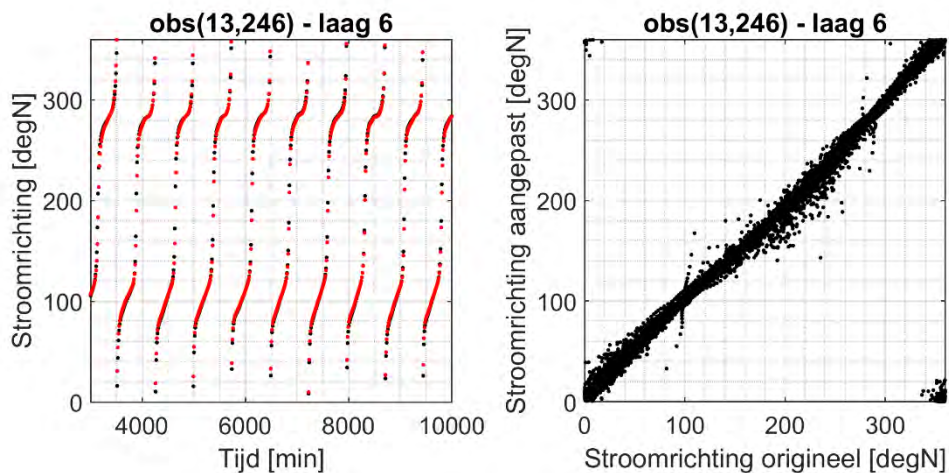
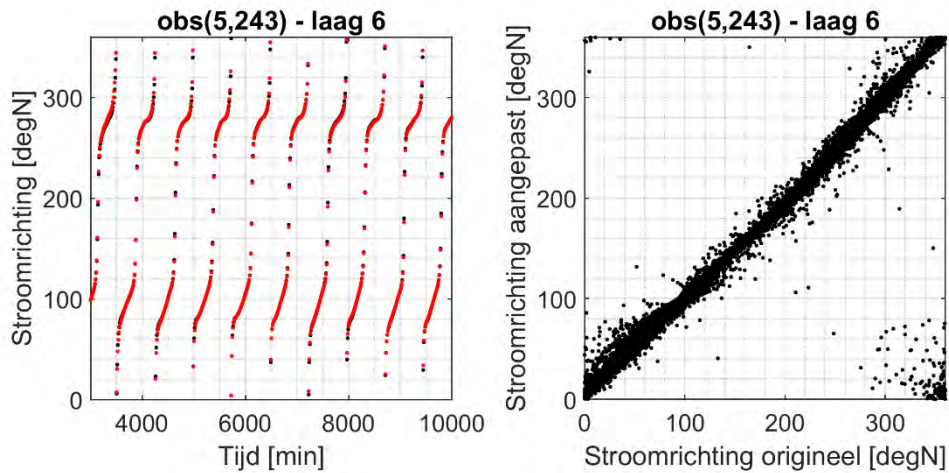
Figuur 8-34: Vergelijking van de stroomsnelheid tussen het aangepaste en originele ZUNO-model op verschillende punten rondom de geneste rekenroosters gedurende het jaar 2015 (zwart: origineel model, rood: aangepast model).

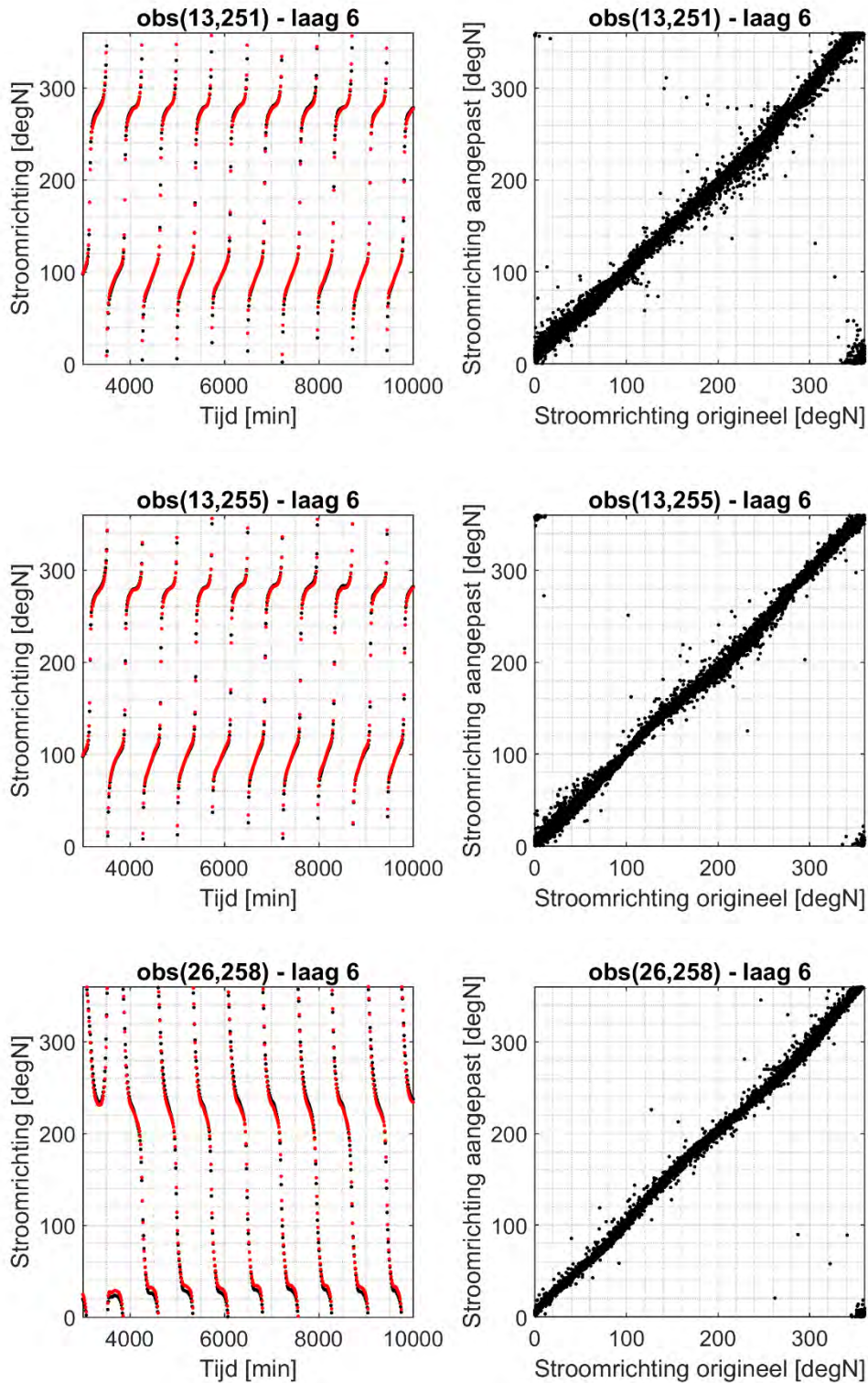




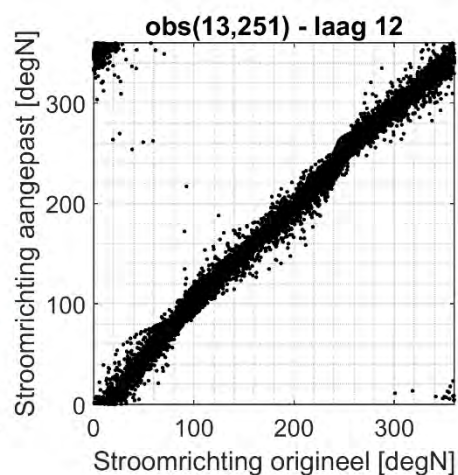
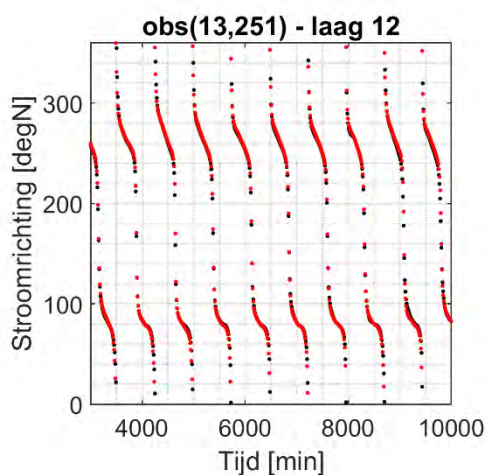
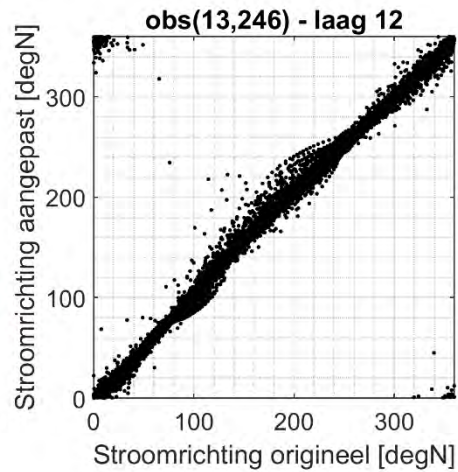
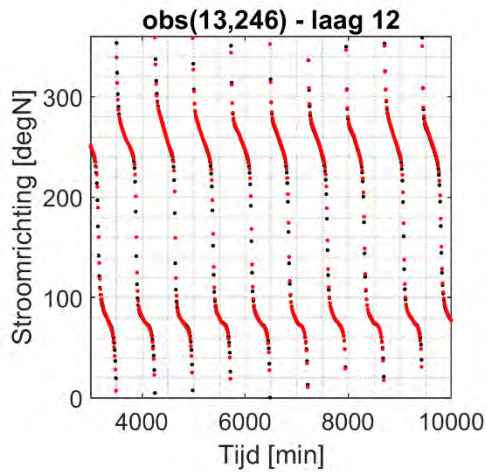
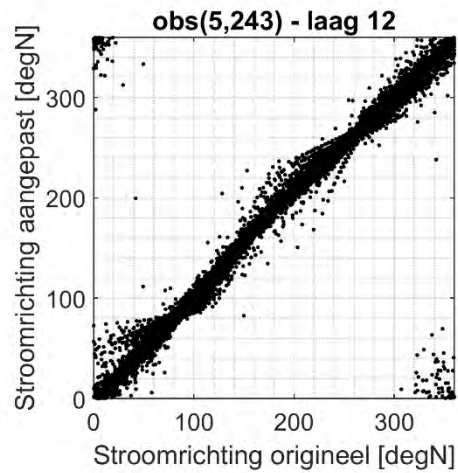
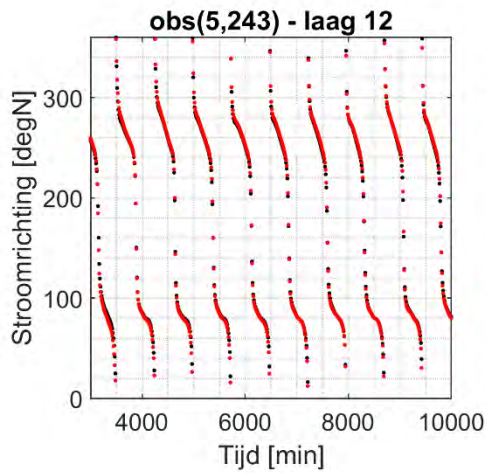


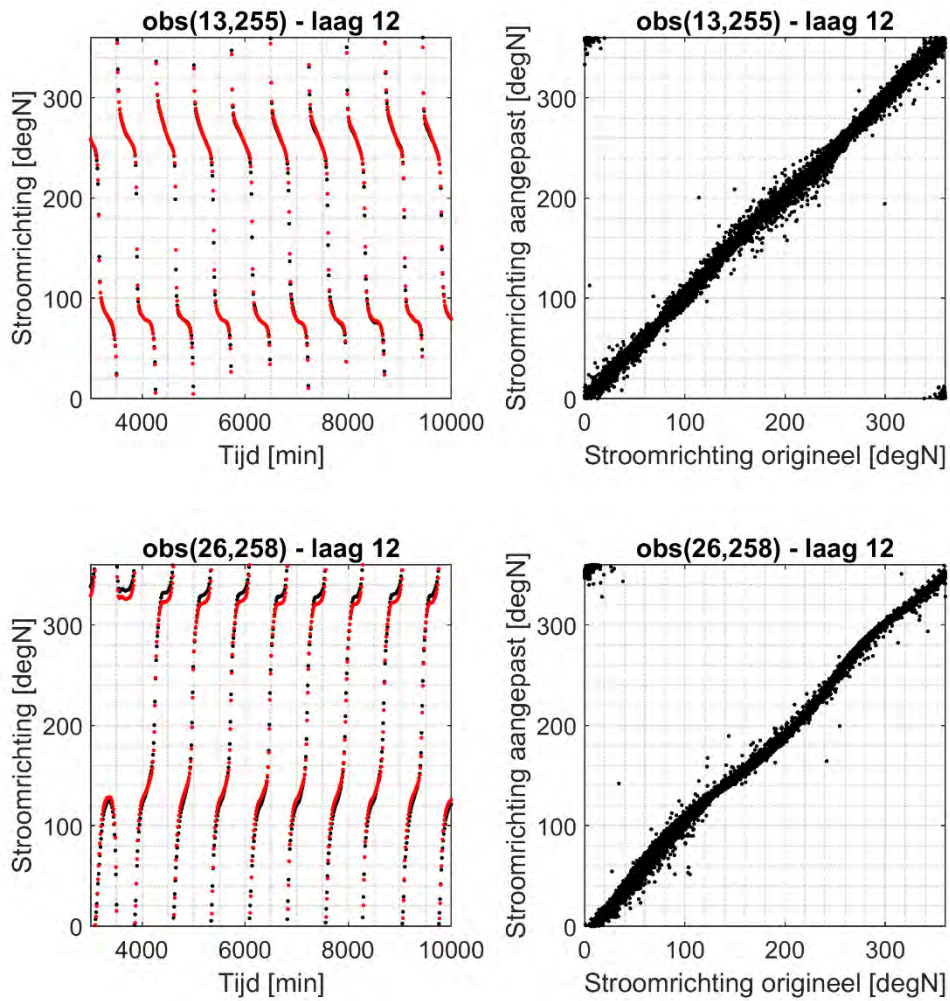
Figuur 8-35: Vergelijking van de stroomrichting tussen het aangepaste en originele ZUNO-model op verschillende punten rondom de geneste rekenroosters, bij het oppervlak. Links is een vergelijking te zien in de tijd gedurende de eerste ca 7 dagen (zwart: origineel model, rood: aangepast model), rechts een spreidingsdiagram.



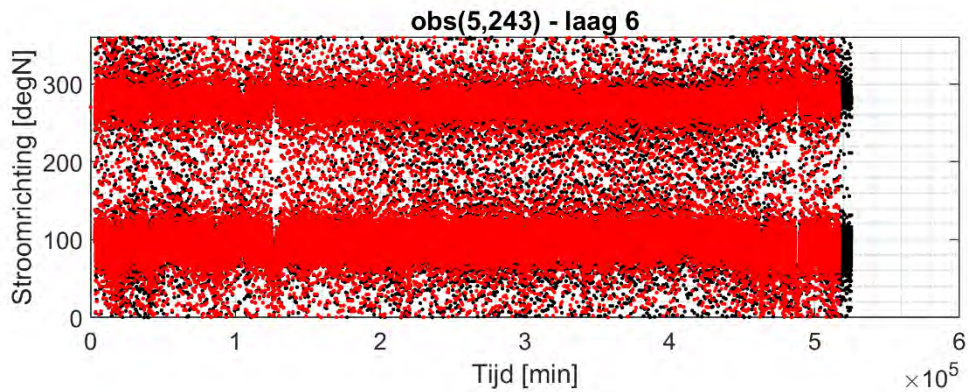


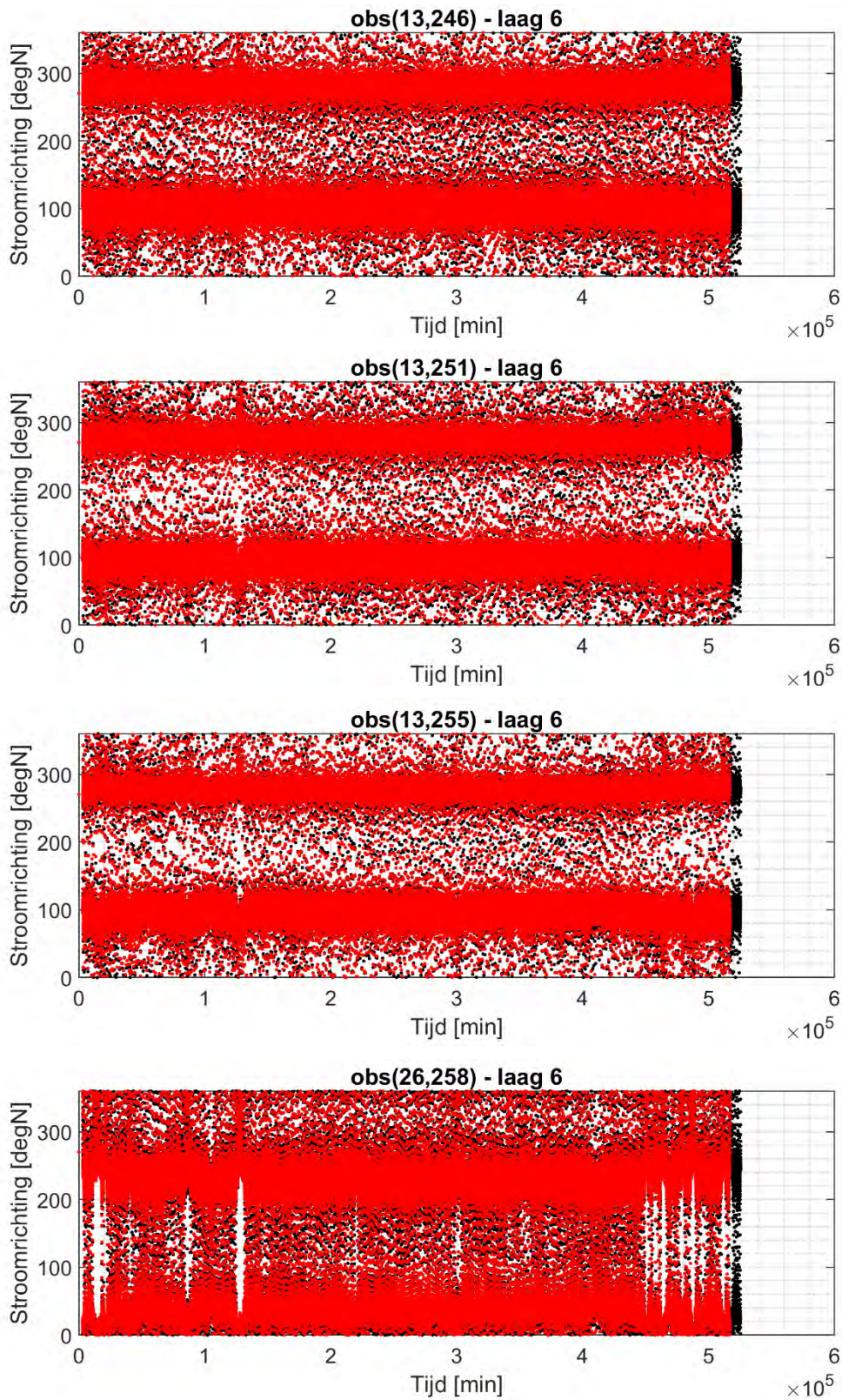
Figuur 8-36: Vergelijking van de stroomrichting tussen het aangepaste en originele ZUNO-model op verschillende punten rondom de geneste rekenroosters, halverwege de waterkolom. Links is een vergelijking te zien in de tijd gedurende de eerste ca 7 dagen (zwart: origineel model, rood: aangepast model), rechts een spreidingsdiagram.





Figuur 8-37: Vergelijking van de stroomrichting tussen het aangepaste en originele ZUNO-model op verschillende punten rondom de geneste rekenroosters, bij de bodem. Links is een vergelijking te zien in de tijd gedurende de eerste ca 7 dagen (zwart: origineel model, rood: aangepast model), rechts een spreidingsdiagram.





Figuur 8-38: Vergelijking van de stroomrichting tussen het aangepaste en originele ZUNO-model op verschillende punten rondom de geneste rekenroosters gedurende het jaar 2015 (zwart: origineel model, rood: aangepast model).

De vergelijking is getoond op verschillende manieren:

- Zowel voor de stroomsnelheid als -richting is een tijdserie van de eerste 10000 min (ongeveer 7 dagen) getoond. Hiermee kan het gedetailleerde verloop van snelheid en richting worden vergeleken. Daarnaast is een tijdserie van het hele jaar getoond om grootschalige verschillen te zien.
- Daarnaast is een spreidingsdiagram getoond: deze zet de resultaten voor het originele model af tegen die van het aangepaste model. De 1-op-1 lijn is gestippeld weergegeven. Als de resultaten precies op deze lijn liggen, betekent dat dat het aangepaste en originele model exact dezelfde uitkomst geven. De spreidingsdiagrammen bevatten data van het gehele jaar 2015.

Voor de spreidingsdiagrammen specifiek moet gerealiseerd worden dat een hoek van 360° gelijk is aan een hoek van 0°. Data die zich in de linkerbovenhoek van het diagram bevindt sluit dus aan bij de data in de linker onderhoek. Hetzelfde geldt voor de rechter boven- en onderhoek.

Over het algemeen komen de resultaten van het geneste model goed overeen met het originele model. Zowel stroomsnelheden en richtingen worden door het aangepaste ZUNO-model goed gesimuleerd. Voor de verschillende observatiepunten geldt het volgende:

- Obs(5,243): de stroomsnelheid wordt goed voorspeld, er is echter wel wat spreiding te zien in het spreidingsdiagram. De piek in stroomsnelheid rond 40.000 min wordt bijvoorbeeld gemist. De richting wordt goed voorspeld en de stroming is hier voornamelijk evenwijdig aan de kust, het zwaartepunt in de stroomrichting ligt rond 280 en 100°.
- Obs(13,246), obs(13,251) en obs(13,255): de snelheid wordt hier goed voorspeld en ook de hoge piek in stroomsnelheid wordt door het aangepaste ZUNO-model voorspeld. De stroomrichting lijkt zeer op die van het originele ZUNO-model, de stroming is hier wederom evenwijdig aan de kust.
- Obs(26,258): de stroomsnelheid wordt op dit punt licht onderschat door het aangepaste ZUNO-model. De onderschatting is in de orde van 5%. De stroomrichting is zeer vergelijkbaar met die van het originele ZUNO-model. Het zwaartepunt in de stroomrichting ligt hier rond 240 en 50°, wat inhoudt dat het water hier van het noordwesten naar het zuidoosten en omgekeerd stroomt. Dit heeft te maken met de ligging van dit punt: dit punt ligt het dichtst bij de uitstroom van de Eems. Dit is waarschijnlijk ook de reden dat de resultaten hier meer afwijken van het originele ZUNO-model: het fijnere grid in combinatie met een complex stromingspatroon (getij, wind + de uitstroom van de Eems) kan voor andere resultaten zorgen omdat gedetailleerdere resultaten mogelijk zijn.

Stroomsnelheden als gevolg van getij en wind liggen over het algemeen tussen 0 en 0.8 m/s halverwege de waterkolom en tussen 0 en 1.0 m/s bij het oppervlak. Bij de bodem liggen de snelheden tussen 0 en 0.6 m/s. Dit komt overeen met de stroomsnelheden zoals getoond in Figuur 3-2 en Figuur 3-3 en ook zoals gerapporteerd in [4].

Bijlage A2

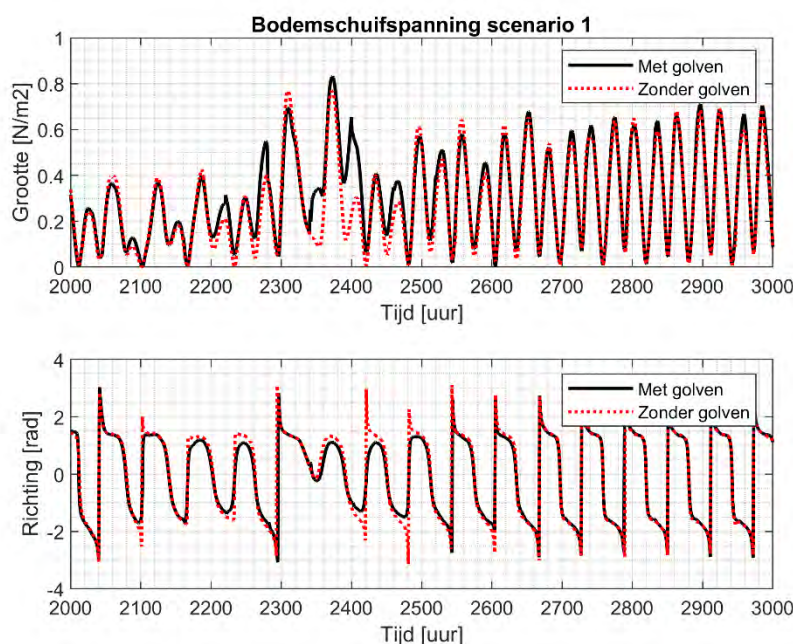
Modelresultaten voor N05-A

A2 Modelresultaten voor N05-A

A2.1 Scenario Maart

Invloed van de golven

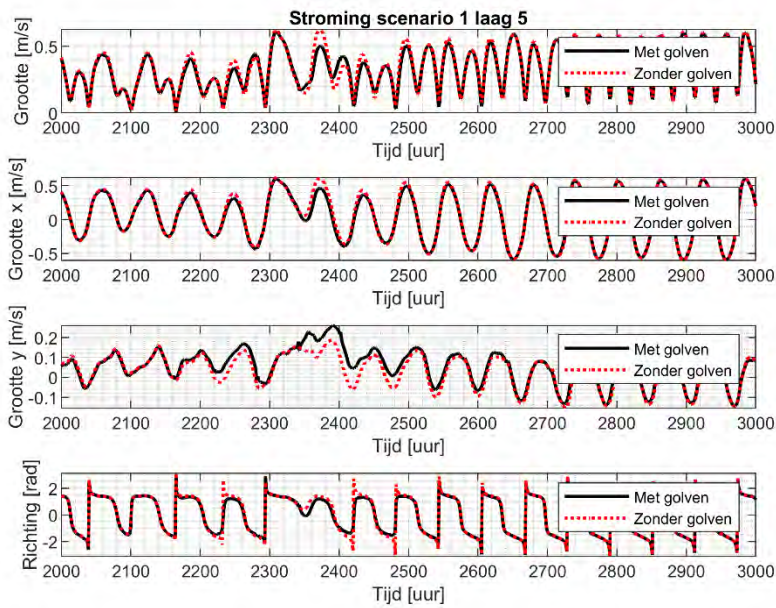
Een simulatie met golven is vergeleken met een simulatie zonder golven. In Figuur 8-39 en Figuur 8-40 zijn de bodemschuifspanning en de stroomsnelheid te zien van beide simulaties in de periode rondom de storm van eind maart 2015 ter hoogte van het platform. Te zien is dat door de hoge golven ten tijde van de storm de bodemschuifspanning verhoogd is.



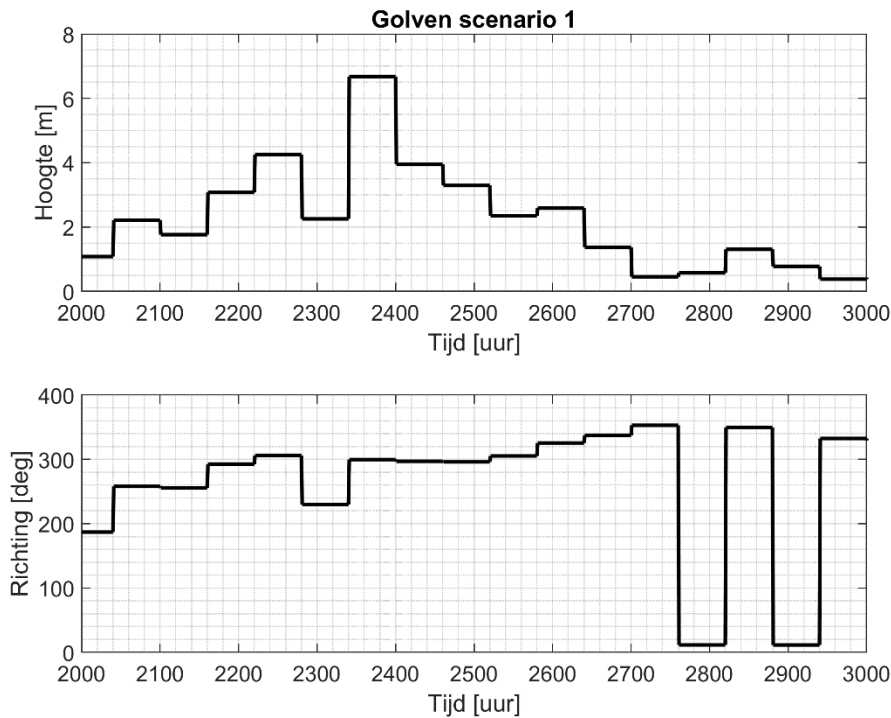
Figuur 8-39: Grootte en richting van de schuifspanning in een simulatie met en zonder golven.

Ten tijde van de storm is de totale stroomsnelheid juist verlaagd: de component in de x-richting is wat verhoogd maar de component in de y-richting is verlaagd. Dit komt door de richting van de wind en daardoor ook de richting van de golven. Deze komen uit het noordwesten (hoek van 300 graden, zie Figuur 8-41 en Figuur 8-42), terwijl het getij richting het noordoosten gaat (hoek van 1 rad). De wind en golven hebben dus een tegengestelde werking in de y-richting, maar werken mee in de x-richting.

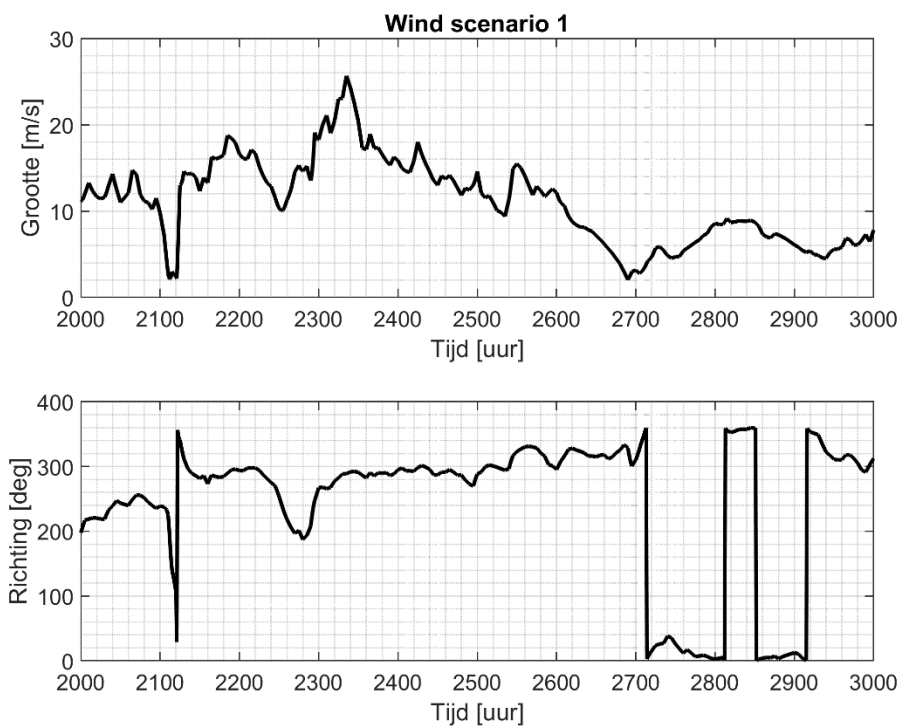
In Figuur 8-43 is de resulterende pluim getoond voor een simulatie zonder golven. Wanneer deze figuur vergeleken wordt met Figuur 5-1 is duidelijk dat de golven weinig effect hebben op de omvang van de pluim.



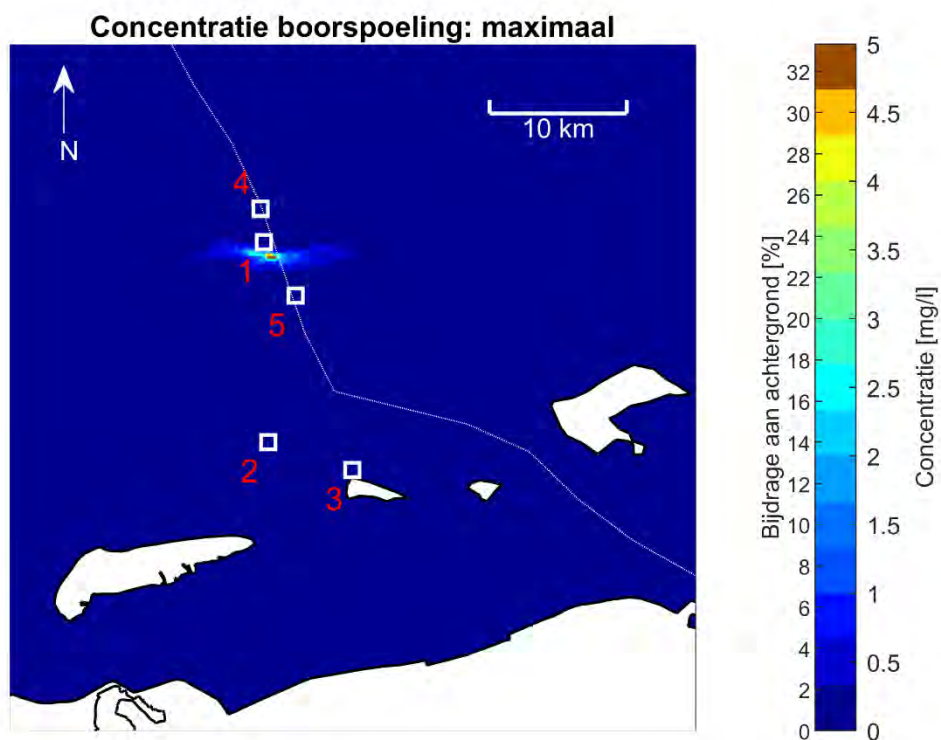
Figuur 8-40: Grootte en richting van de stroming in een simulatie met en zonder golven



Figuur 8-41: Golfhoogte en -richting tijdens scenario Maart



Figuur 8-42: Windsnelheid en -richting tijdens scenario Maart



Figuur 8-43: Maximale concentratie boorspoeling over de waterkolom gedurende scenario Maart voor een simulatie zonder golven

A2.2 Scenario Oktober

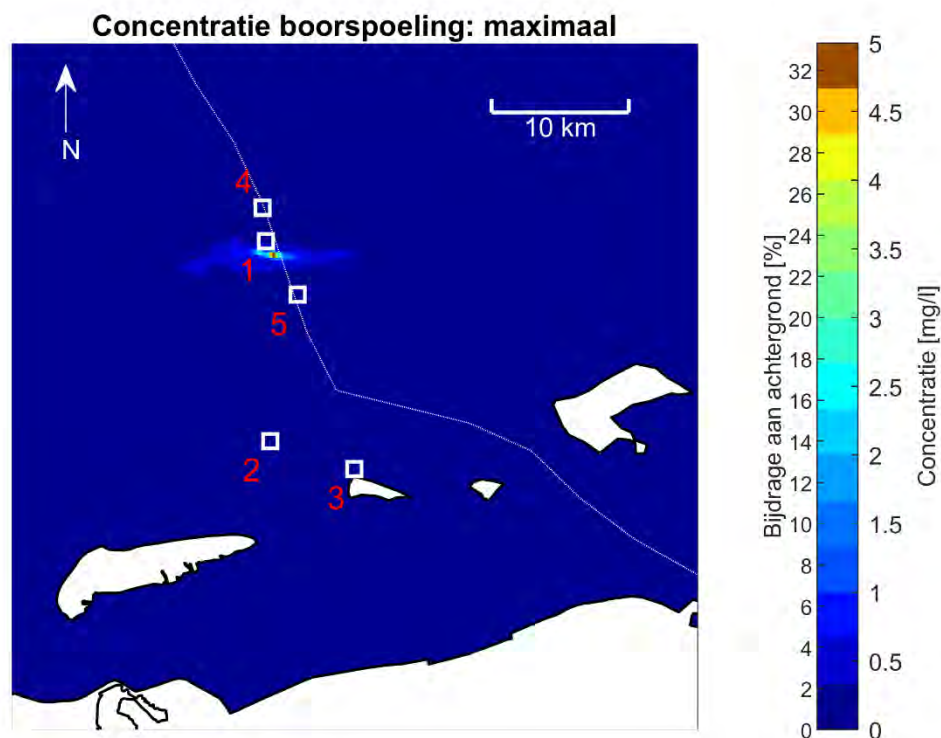
A2.2.1 Algemeen

Scenario Oktober beslaat de periode tussen 28 september en 31 december 2015. De maand oktober is een hele rustige maand met lage golven en windsnelheden. In november en december komen hogere golven en windsnelheden voor. De lozing vindt plaats gedurende oktober. De initiële condities voor deze simulatie zijn afgeleid uit een simulatie van het gehele jaar 2015.

A2.2.2 Boorspoeling

Maximale concentratie boorspoeling gedurende de simulatie

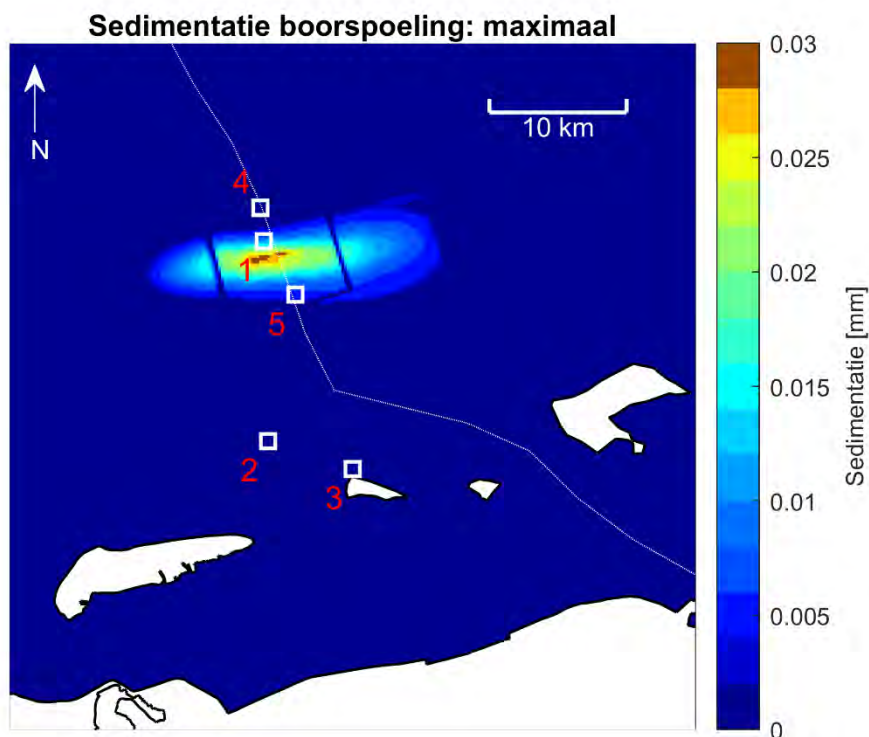
De maximale concentratie boorspoeling gedurende de gehele simulatie en over de gehele diepte is te zien in Figuur 8-44. In de figuur is de Nederlands-Duitse grens te zien en de verschillende gevoelige locaties (witte vierkanten). De hoogste maximale waarde is te zien rondom de platformlocatie. Daaromheen ligt een band van lagere concentraties.



Figuur 8-44: Maximale concentratie boorspoeling en de maximale bijdrage ten opzichte van de achtergrondconcentratie van 15 mg/l over de gehele waterkolom gedurende scenario Oktober. De gevoelige locaties zijn aangegeven met witte vierkantjes en een nummer (1 = oesterbankherstelproject, 2 = Noordzeekustzone, 3 = Rottumerplaat, 4 = Borkum Riffgrund, 5 = Niedersächsisches Wattenmeer und angrenzendes Küstenmeer), de Nederlands-Duitse grens met de stippellijn.

Maximale sedimentatie gedurende de simulatie

De sedimentatie als gevolg van de lozing van boorspoeling gedurende scenario Oktober is te zien in Figuur 8-45. De maximale sedimentatie vindt plaats onder het platform en is circa 0,03 mm.



Figuur 8-45: Maximale sedimentatie van boorspoeling en gedurende scenario Oktober. De gevoelige locaties zijn aangegeven met witte vierkantjes en een nummer (1 = oesterbankherstelproject, 2 = Noordzeekustzone, 3 = Rottumerplaat, 4 = Borkum Riffgrund, 5 = Niedersächsisches Wattenmeer und angrenzendes Küstenmeer), de Nederlands-Duitse grens met de stippellijn.

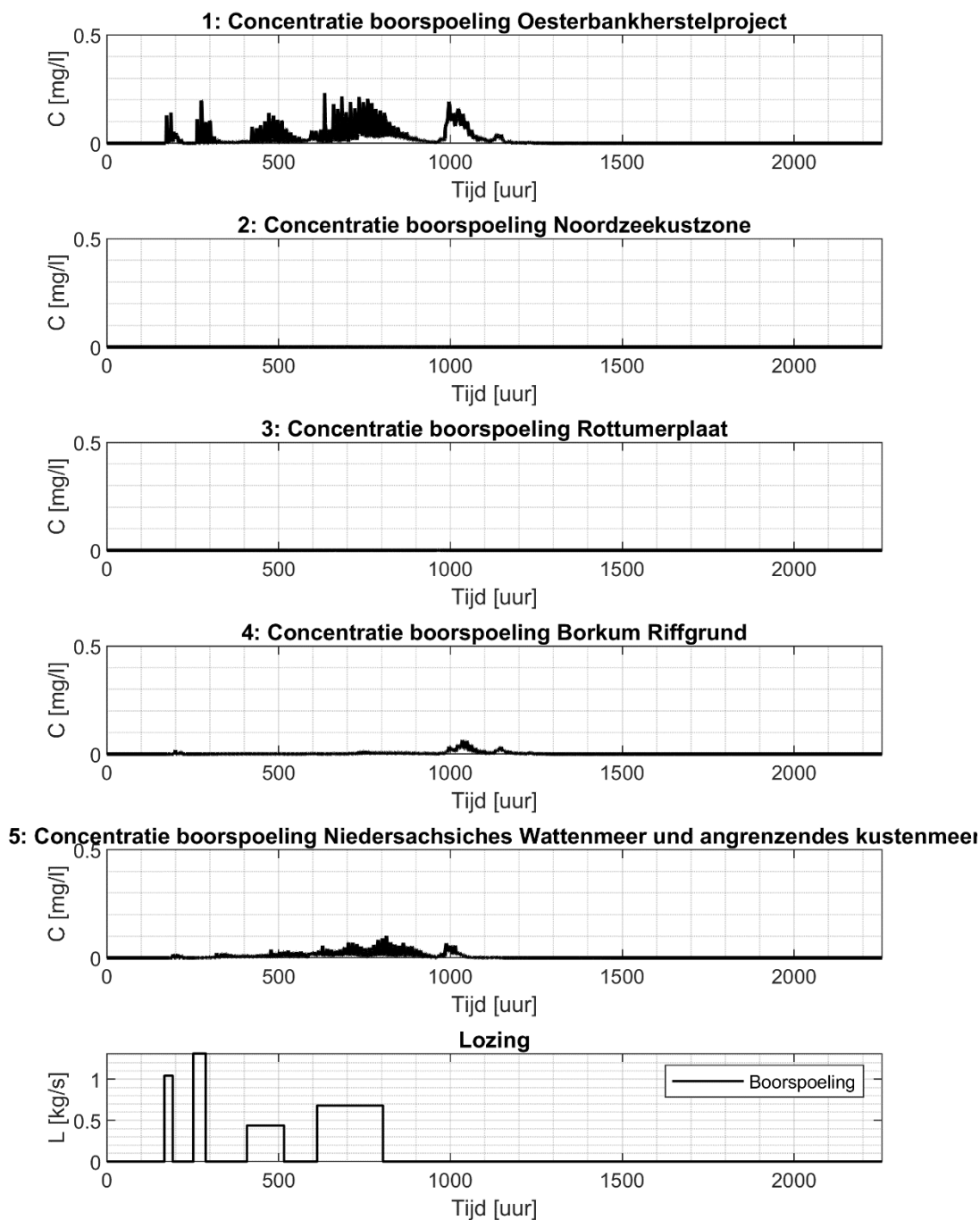
Tijdseries

In Figuur 8-46 en Figuur 8-47 is de variatie in de concentratie boorspoeling en de sedimentatiedikte over de tijd te zien ter hoogte van de volgende locaties:

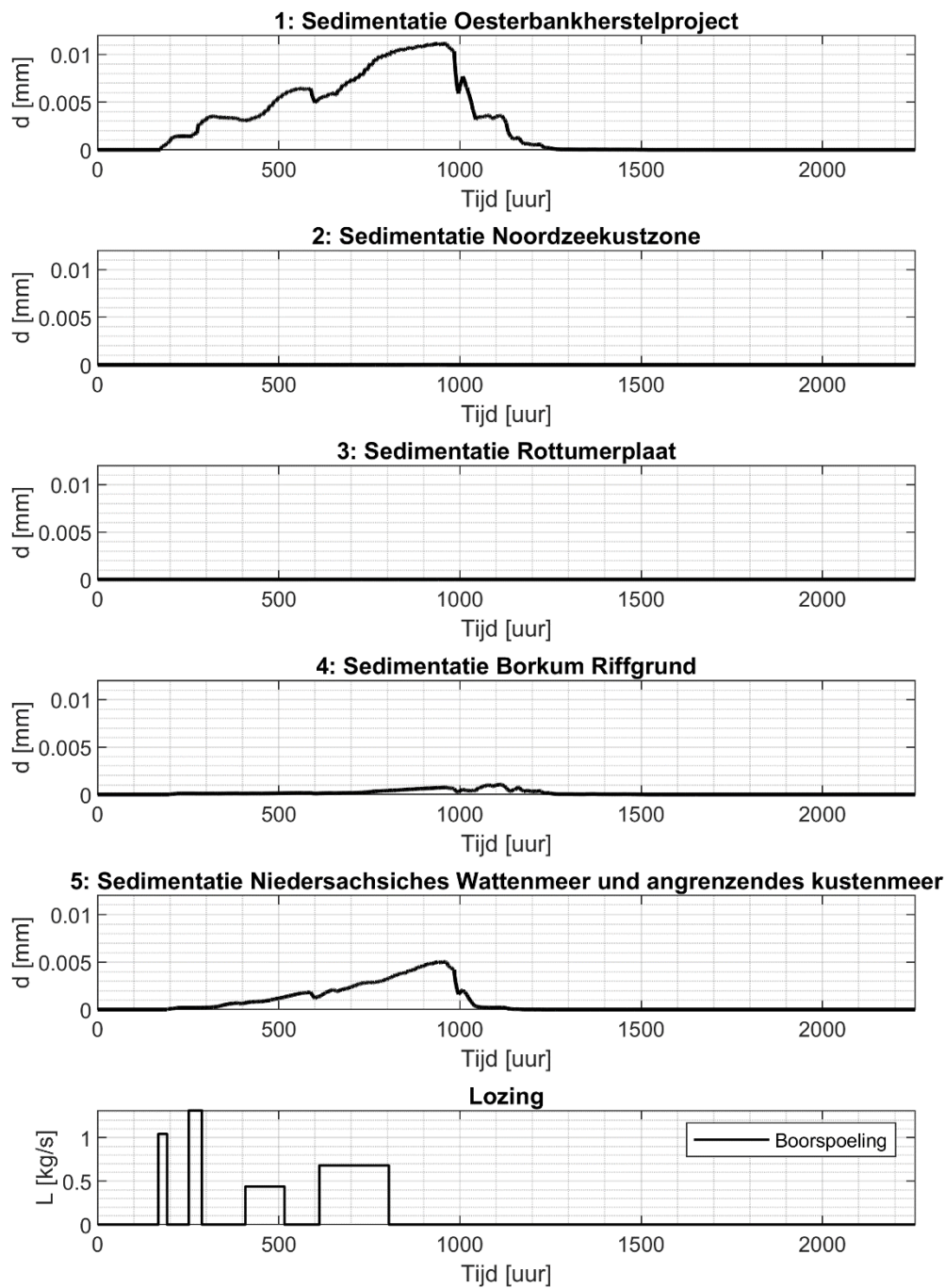
- Borkum Riffgrund
- Niedersächsisches Wattenmeer und angrenzendes Küstenmeer
- Noordzeekustzone
- Het oesterbankherstelproject
- Rottumerplaat

In Figuur 8-48 is het verloop van de concentratie boorspoeling en de sedimentatie ter hoogte van het platform getoond. De concentraties geven de maximale concentratie over de waterkolom aan. Ter illustratie is de lozing over de tijd toegevoegd.

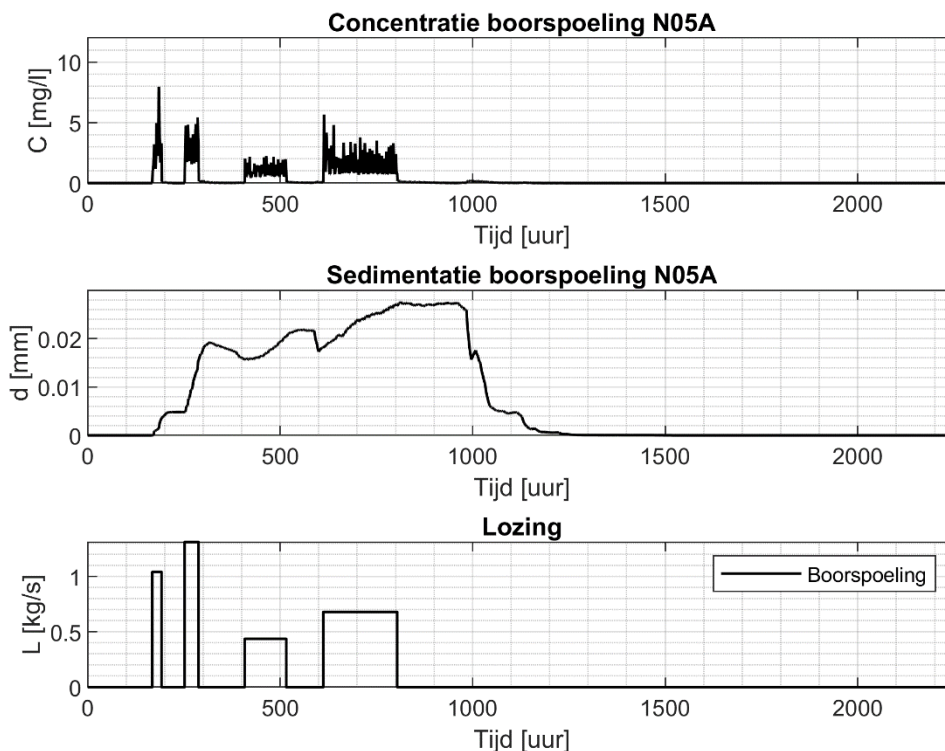
In de concentraties bij het oesterbankherstelproject is duidelijk het lozingspatroon te herkennen, aangezien deze locatie zich dicht bij het platform bevindt. De concentraties in de Noordzeekustzone en de Rottumerplaat zijn erg laag. In het sedimentatiepatroon is terug te zien dat na 1000 uur de golfhoogtes hoger worden: hierdoor neemt de schuifspanning toe en erodeert een deel van het materiaal op de bodem, de concentratie neemt daartoe toe.



Figuur 8-46: Maximale concentratie boerspoeiing over de waterkolom gedurende scenario Oktober op de gevoelige locaties. In de onderste plot zijn de lozingstermen getoond.

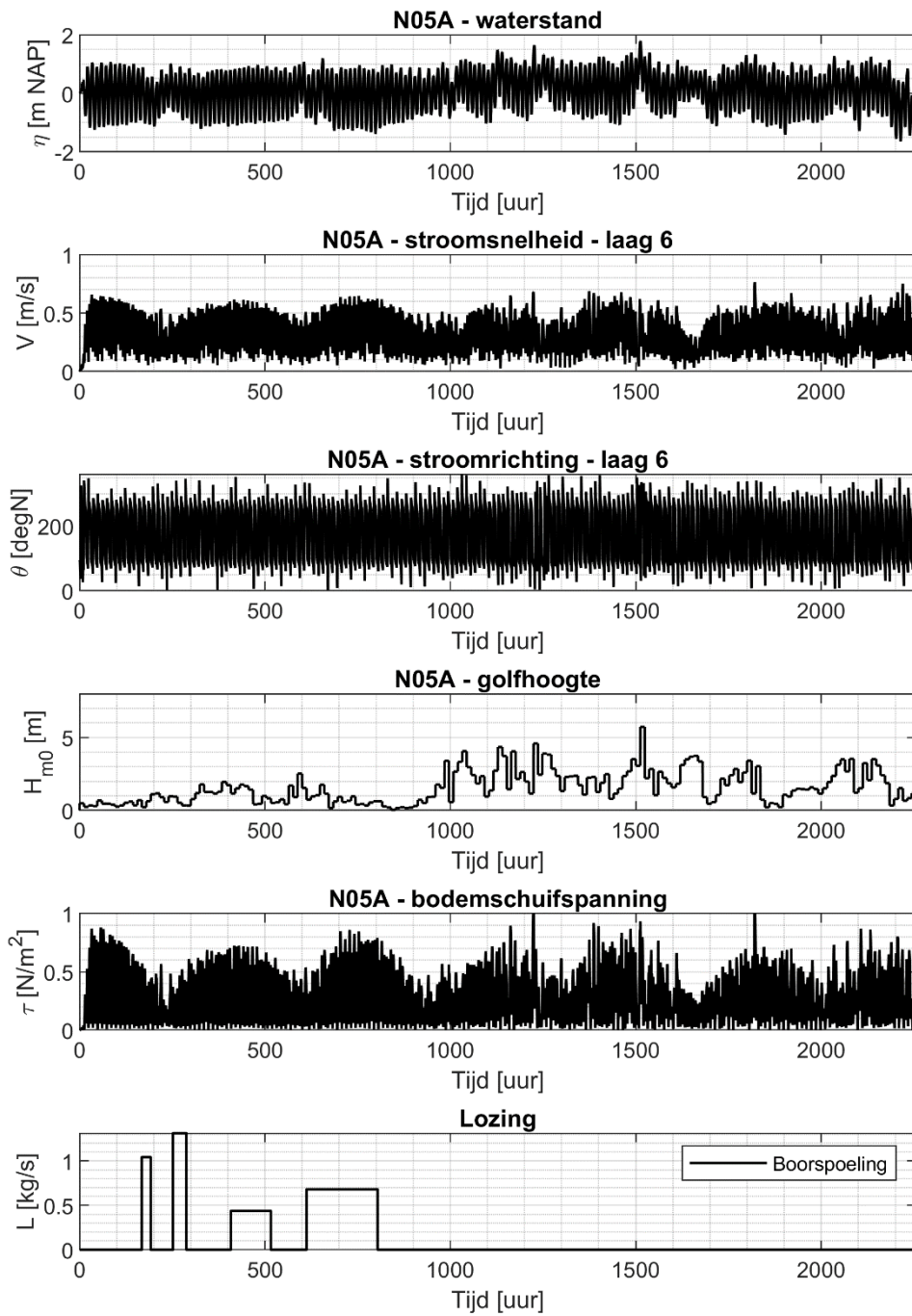


Figuur 8-47: Sedimentatie gedurende scenario Oktober op de gevoelige locaties. In de onderste plot zijn de lozingstermen getoond

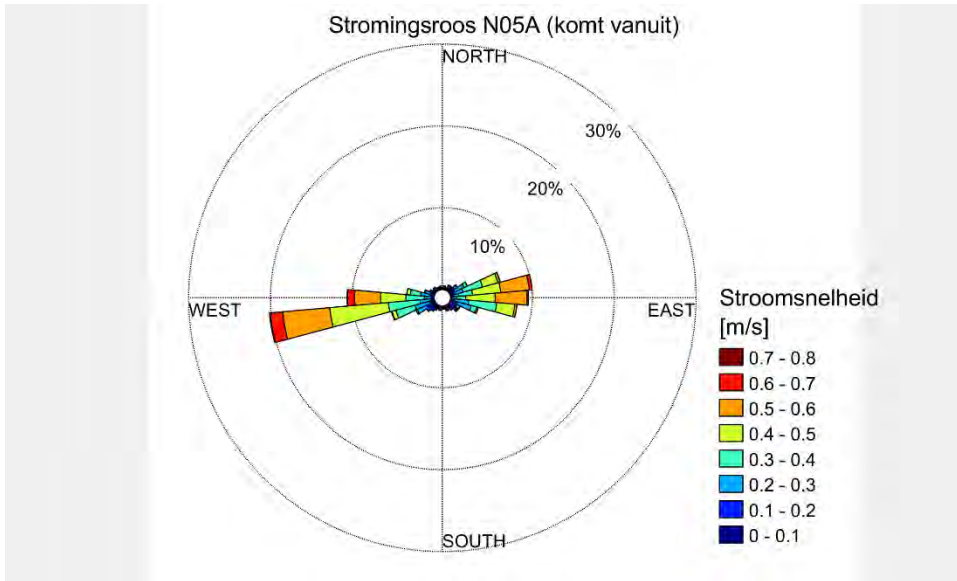


Figuur 8-48: Variatie in de tijd van de concentratie boerspoeeling en de sedimentatiedikte van boerspoeeling ter plaatse van het platform N05-A. De concentratie geeft de maximale concentratie over de waterkolom aan.

In Figuur 8-49 zijn de stromingscondities en de golfhoogte ter hoogte van het platform te zien gedurende de simulatie. Tijdens de eerste helft van de simulatie zijn de golven zeer laag, in de tweede helft van de simulatie (na circa 900 uur) zijn deze hoger. In Figuur 8-50 is een stromingsroos te zien ter plaatse van het platform. Deze roos laat zien wat de dominante stromingsrichtingen zijn. Duidelijk wordt dat de hoogste stroomsnelheden vanuit het zuidwesten komen. Dit komt overeen met het patroon van de grootschalige getijgolf in de Noordzee en verklaart waarom de dominante richting van de pluim richting het noordoosten is.



Figuur 8-49: Stroomsnelheid en -richting en golfhoogte ter plaatse van het platform N05-A

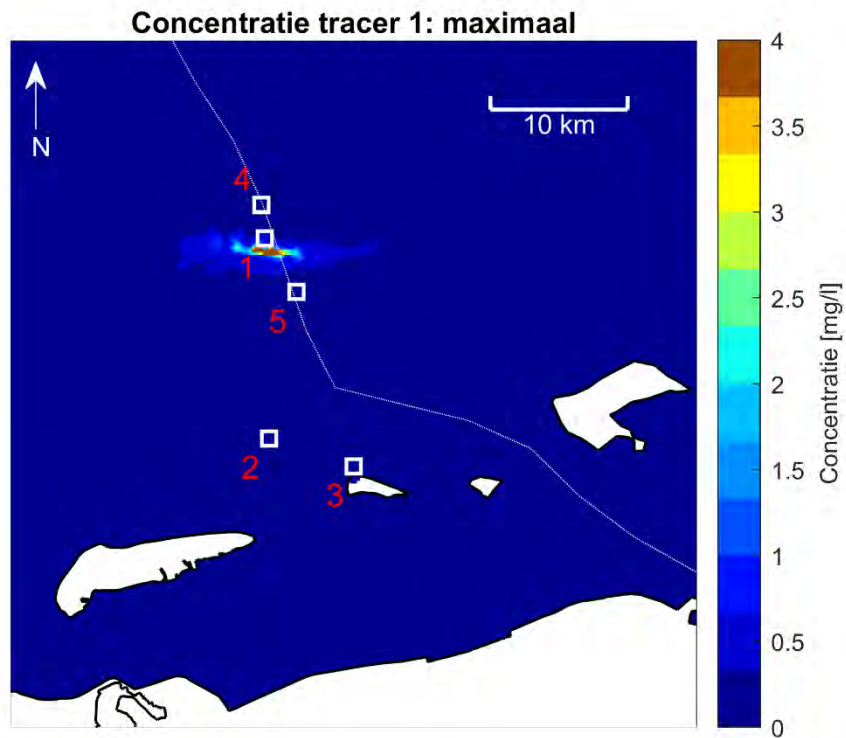


Figuur 8-50: Stromingsroos ter plaatse van het platform N05-A. De richting geeft aan waar de stroming vandaan komt.

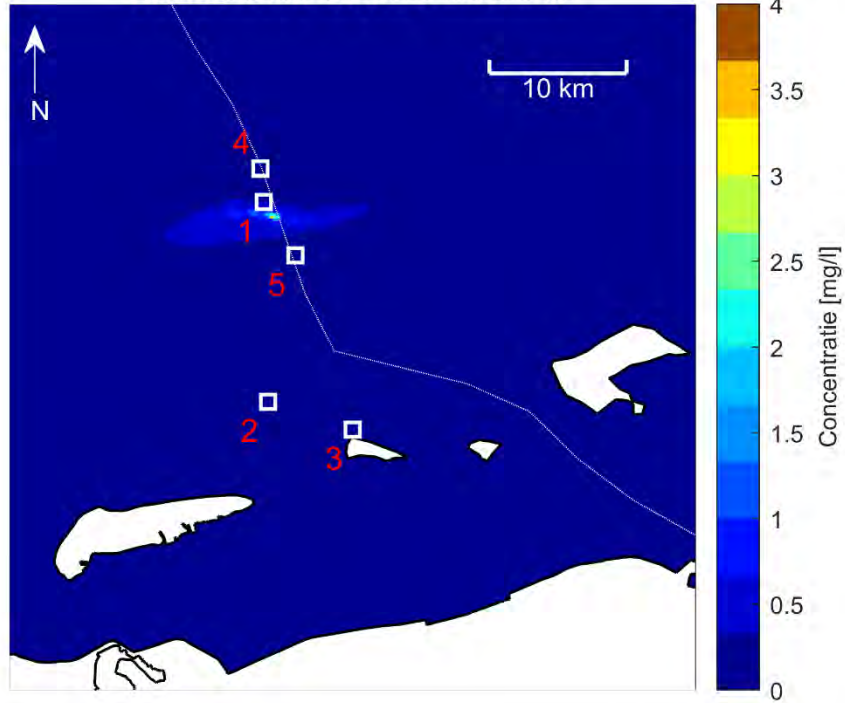
A2.2.3 Tracers

Maximale concentratie gedurende de simulatie

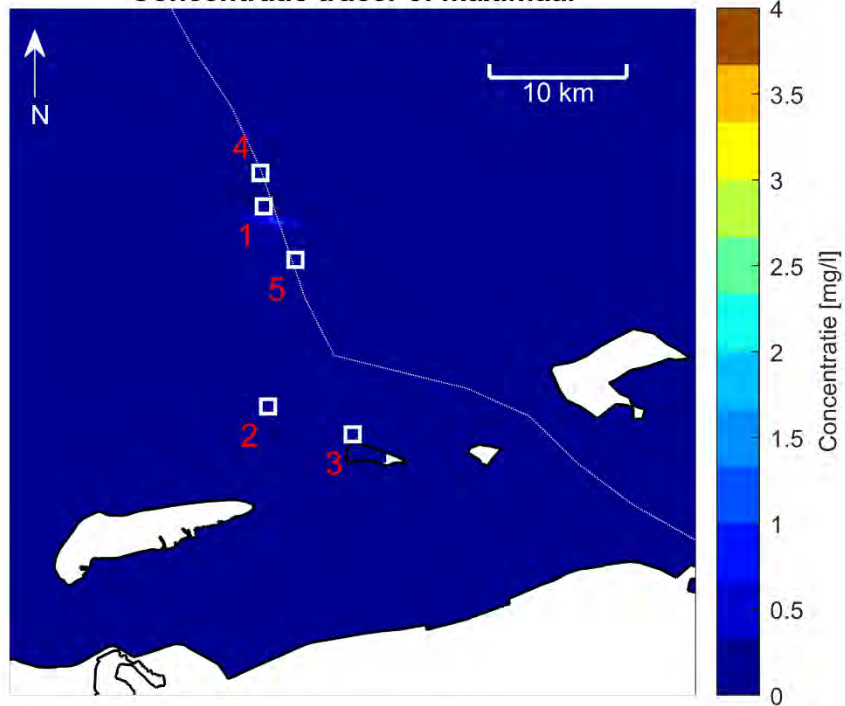
In Figuur 8-51 is de maximale concentratie van de vier tracers gedurende scenario Oktober te zien over de gehele waterkolom. De hoogste concentraties zijn te zien voor tracer 1, aangezien de lozingsterm hiervan het hoogste is.

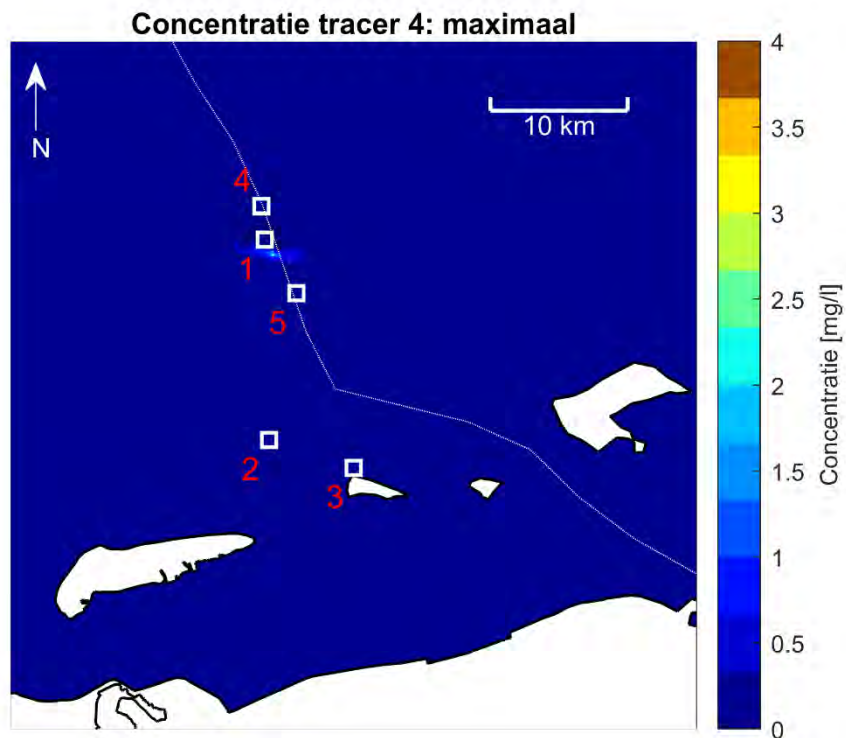


Concentratie tracer 2: maximaal



Concentratie tracer 3: maximaal

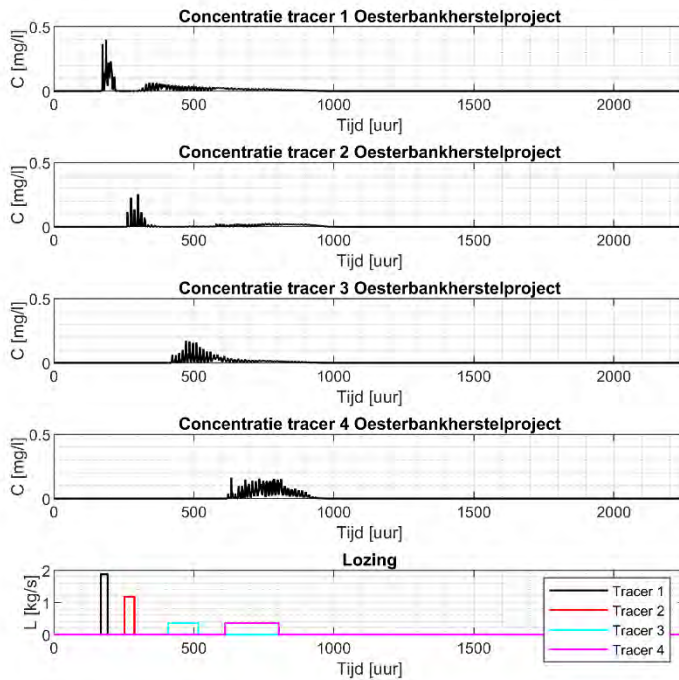




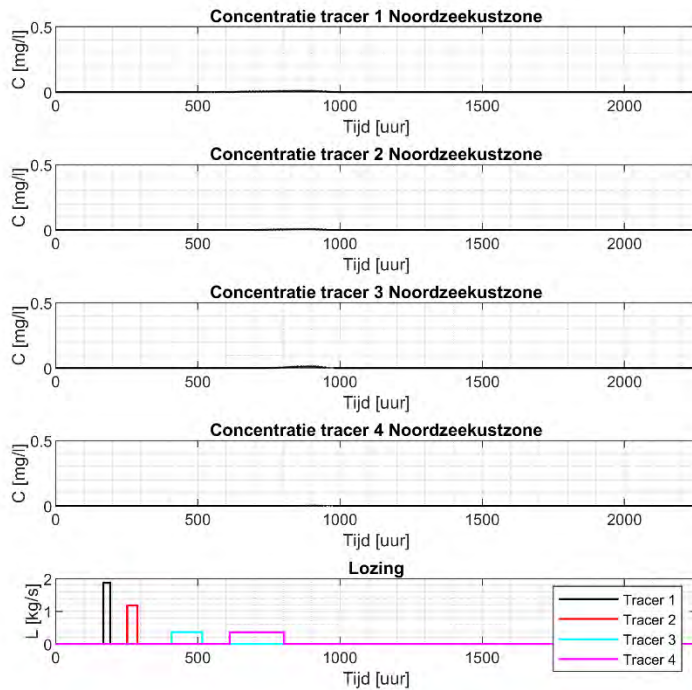
Figuur 8-51: Maximale concentratie van de tracers over de gehele waterkolom tijdens scenario Oktober. De gevoelige locaties zijn aangegeven met witte vierkantjes en een nummer (1 = oesterbankherstelproject, 2 = Noordzeekustzone, 3 = Rottumerplaat, 4 = Borkum Riffgrund, 5 = Niedersächsisches Wattenmeer und angrenzendes Küstenmeer), de Nederlands-Duitse grens met de stippellijn.

Tijdseries

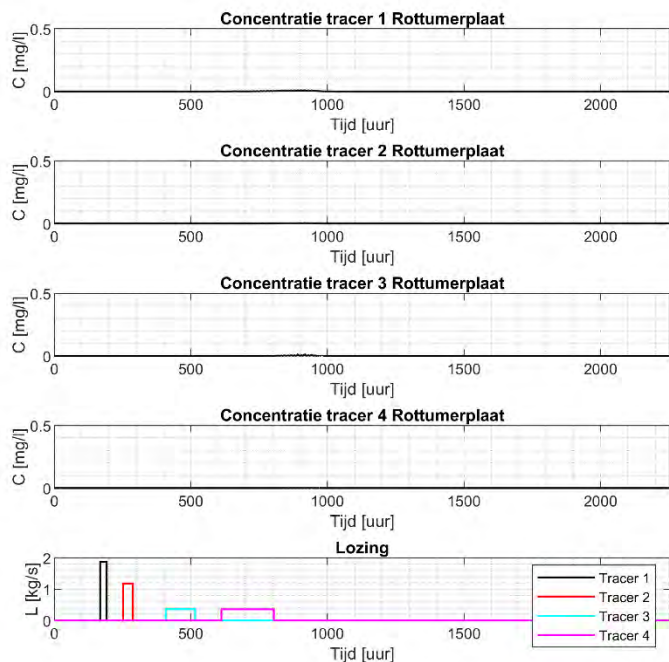
In **Error! Reference source not found.** tm Figuur 8-57 is de variatie over de tijd van de verschillende tracers te zien op meerdere locaties.



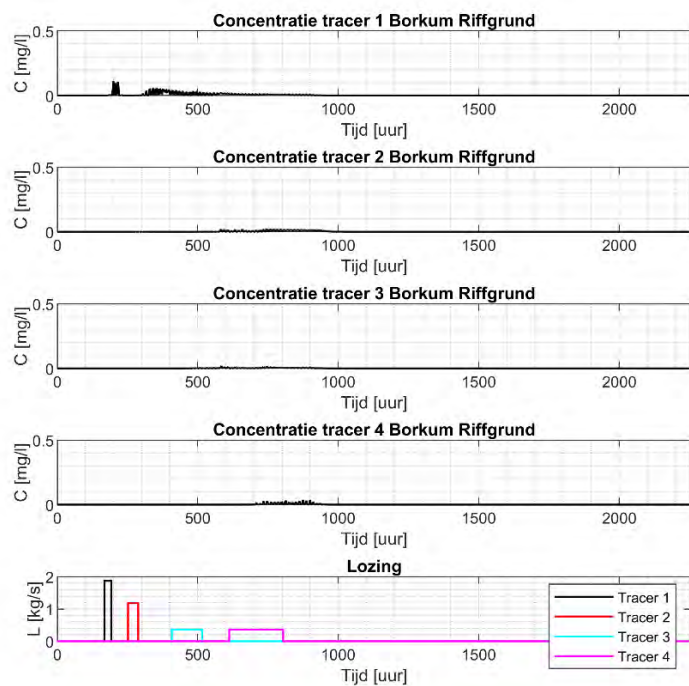
Figuur 8-52: Variatie in e tijd van de concentratie tracer ter plaatse van het oesterbankherstelproject. De concentratie geeft de maximale waarde over de waterkolom weer.



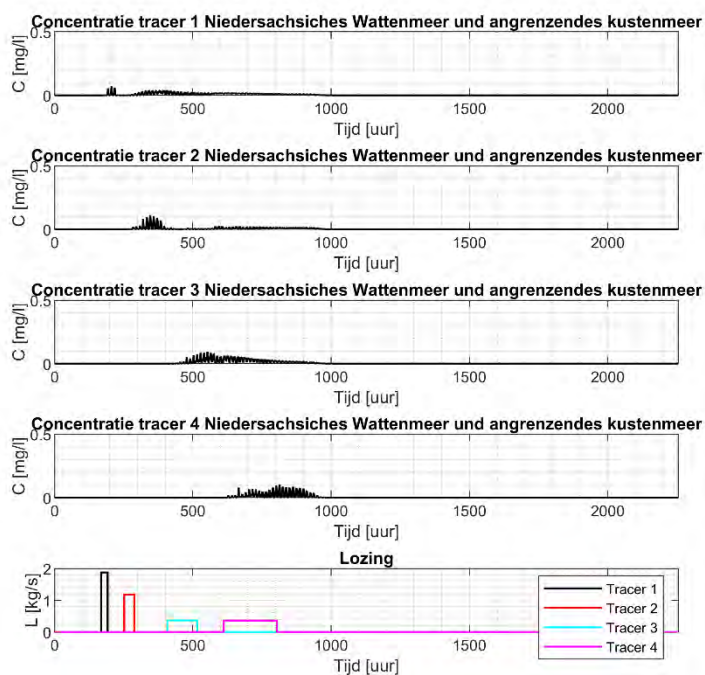
Figuur 8-53: Variatie in de tijd van de concentratie tracer ter plaatse van de Noordzeekustzone. De concentratie geeft de maximale waarde over de waterkolom weer.



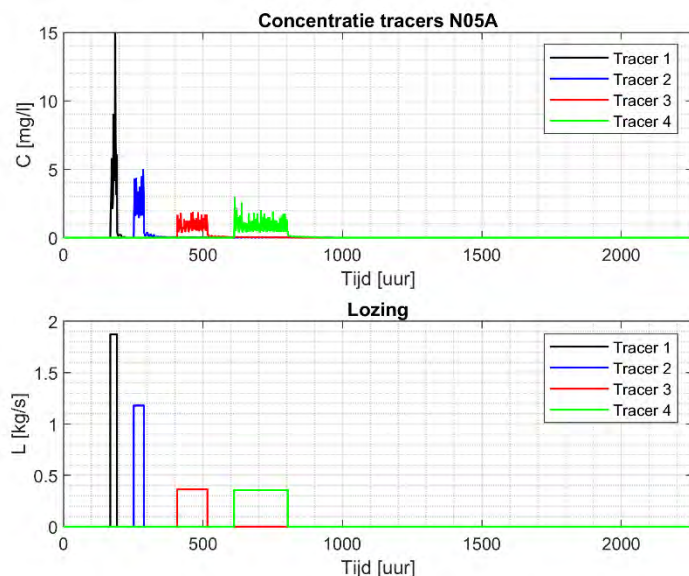
Figuur 8-54: Variatie in de tijd van de concentratie tracer ter plaatse van de Rottumerplaat. De concentratie geeft de maximale waarde over de waterkolom weer.



Figuur 8-55: Variatie in de tijd van de concentratie tracer ter plaatse van Borkum Riffgrund. De concentratie geeft de maximale waarde over de waterkolom weer.



Figuur 8-56: Variatie in de tijd van de concentratie tracer ter plaatse van Niedersächsiches Wattenmeer. De concentratie geeft de maximale waarde over de waterkolom weer.



Figuur 8-57: Variatie in de tijd van de concentratie tracer ter plaatse van het platform. De concentratie geeft de maximale waarde over de waterkolom weer.

Uitsplitsing naar opgeloste stoffen

Tracer 1 t/m 4 zijn een samenvoeging van de verschillende opgeloste stoffen per boorsectie. Op basis van het aandeel van elke afzonderlijke stof in de totale tracer is een uitsplitsing gemaakt van de tracers. Dit leidt tot een maximale concentratie per boorsectie van alle opgeloste stoffen, zie Tabel 8-8. Het aandeel

van elke stof wisselt per boorsectie. Zo is het aandeel Potassium Chloride tijdens boorsectie 1 bijna 99% terwijl dit tijdens boorsectie 4 0% is.

Tabel 8-8: Maximale concentratie over de gehele waterkolom van de opgeloste stoffen per boorsectie

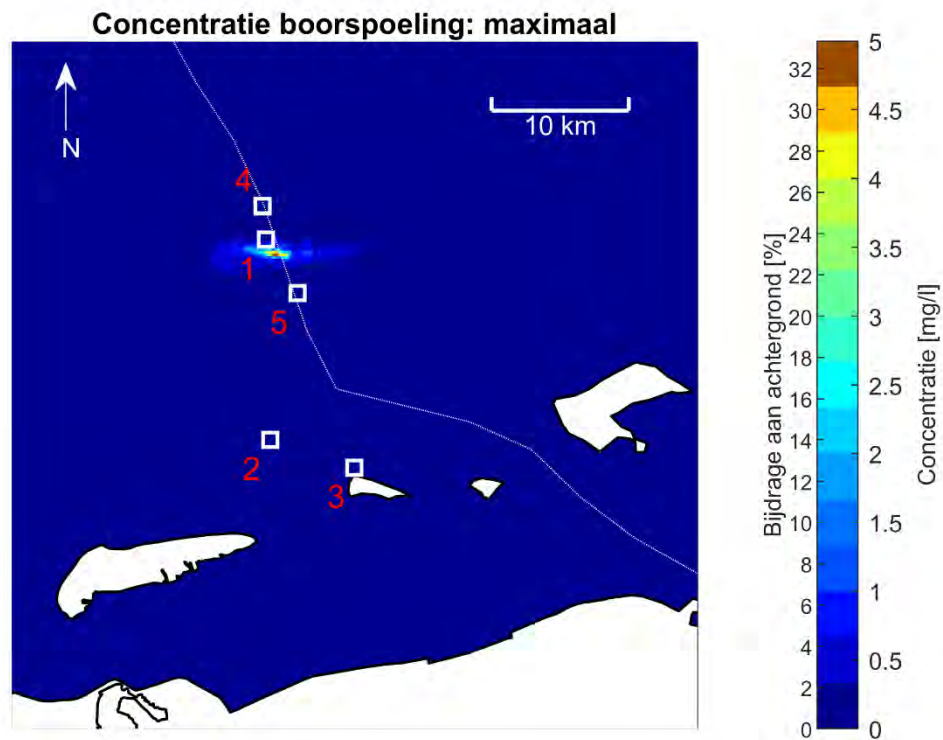
	Maximale concentratie opgeloste stoffen over de gehele waterkolom [mg/l]: alle secties - scenario Oktober					
	Oesterbankherstel project	Noordzeekustzone	Rottumerplaat	Borkum Riffgrund	Niedersachsiches Wattenmeer und angrenzendes kustenmeer	NOSA
Vloeistofverliesvertrager	1.9E-03	2.5E-05	1.9E-05	4.1E-04	1.2E-03	3.4E-02
Verzadigd monocarbonzuur, calciumzout	3.3E-03	2.4E-04	2.1E-04	3.7E-04	1.5E-03	6.6E-02
Calcium hydroxide	2.5E-03	2.4E-04	2.1E-04	2.5E-04	1.3E-03	2.7E-02
Magnesium oxide	1.7E-03	2.3E-05	1.7E-05	3.7E-04	1.0E-03	3.0E-02
Potassium chloride	4.0E-01	1.3E-02	1.2E-02	1.1E-01	8.0E-02	1.5E+01
Natriumcarbonaat	2.7E-03	7.1E-05	6.7E-05	7.7E-04	8.0E-04	1.0E-01
Sodium chloride	1.5E-01	2.0E-03	1.5E-03	3.2E-02	9.1E-02	2.7E+00
Natrium carboxymethylcellulose	1.2E-02	7.2E-04	6.4E-04	1.1E-03	5.5E-03	2.5E-01
Saccharose	4.9E-04	1.3E-05	1.2E-05	1.4E-04	8.7E-05	1.9E-02
Corosieremmer	1.2E-03	1.6E-05	1.3E-05	2.7E-04	7.4E-04	2.2E-02
Antischuim	2.5E-04	1.8E-05	1.6E-05	2.2E-05	1.1E-04	4.9E-03
Stof 1: Poly(oxy-1,2-ethanediyl), α -butyl- ω -hydroxy	5.3E-02	2.4E-03	2.1E-03	4.7E-03	2.3E-02	1.1E+00
Potassium hydroxide	2.0E-04	2.7E-06	2.1E-06	4.4E-05	1.2E-04	3.7E-03
Stof 2: Poly(oxy-1,2-ethanediyl), α -butyl- ω -hydroxy	5.3E-03	7.3E-05	5.6E-05	1.2E-03	3.3E-03	9.7E-02

A2.3 Scenario November

A2.3.1 Boorspoeling

Maximale concentratie boorspoeling gedurende de simulatie

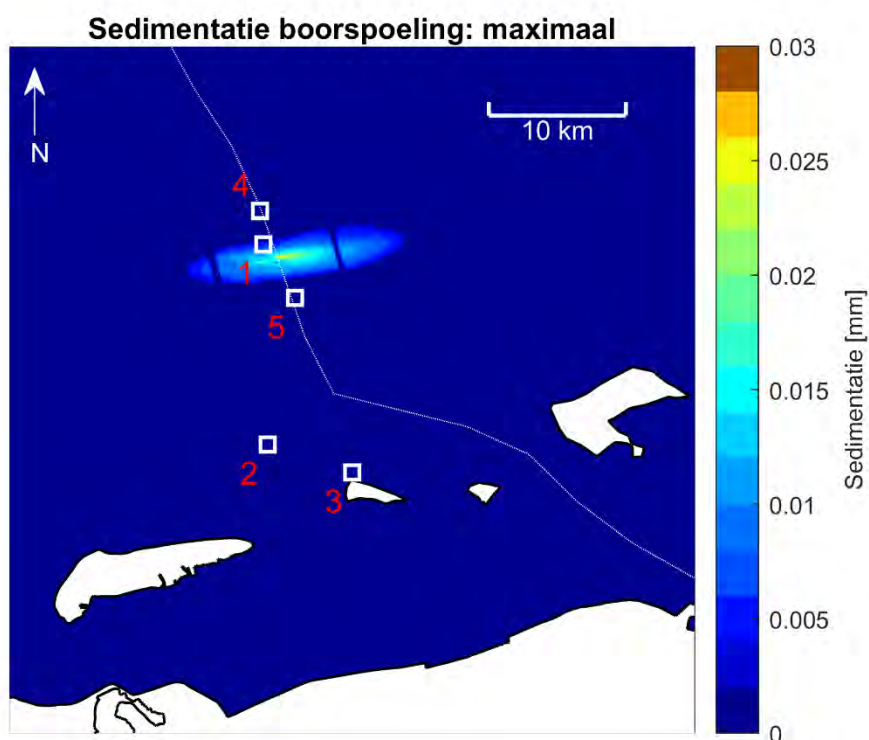
De maximale concentratie boorspoeling gedurende de gehele simulatie en over de gehele diepte is te zien in Figuur 8-58. In de figuur is de Nederlands-Duitse grens te zien en de verschillende gevoelige locaties (witte vierkanten). De hoogste maximale waarde van ca 5 mg/l is te zien rondom de platformlocatie. Een pluim van lagere concentraties spreidt zich verder uit rondom de platformlocatie. De maximale bijdrage ten opzichte van de achtergrondconcentratie slib van 15 mg/l op de Noordzee is 33%.



Figuur 8-58: Maximale concentratie boerspoeling en de maximale bijdrage ten opzichte van de achtergrondconcentratie van 15 mg/l over de gehele waterkolom gedurende scenario November. De gevoelige locaties zijn aangegeven met witte vierkantjes en een nummer (1 = oesterbankherstelproject, 2 = Noordzeekustzone, 3 = Rottumerplaat, 4 = Borkum Riffgrund, 5 = Niedersächsisches Wattenmeer und angrenzendes Küstenmeer), de Nederlands-Duitse grens met de stippellijn.

Maximale sedimentatie gedurende de simulatie

De sedimentatie als gevolg van de lozing van boerspoeling gedurende scenario November is te zien in Figuur 8-59. De maximale sedimentatie van circa 0,015 mm vindt plaats onder het platform.



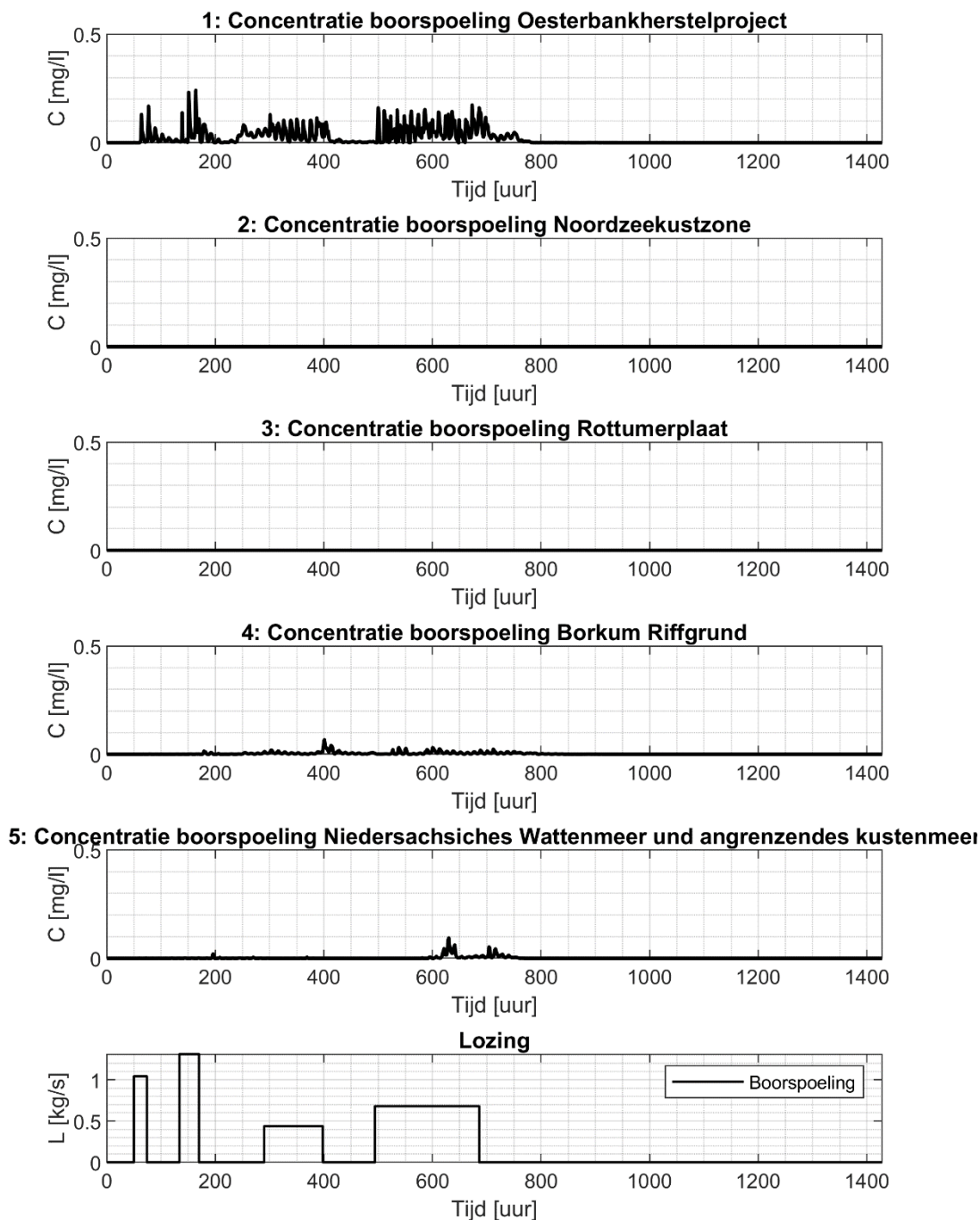
Figuur 8-59: Maximale sedimentatie van boorspoeling gedurende scenario November. De gevoelige locaties zijn aangegeven met witte vierkantjes en een nummer (1 = oesterbankherstelproject, 2 = Noordzeekustzone, 3 = Rottumerplaat, 4 = Borkum Riffgrund, 5 = Niedersächsisches Wattenmeer und angrenzendes Küstenmeer), de Nederlands-Duitse grens met de stippellijn.

Tijdseries

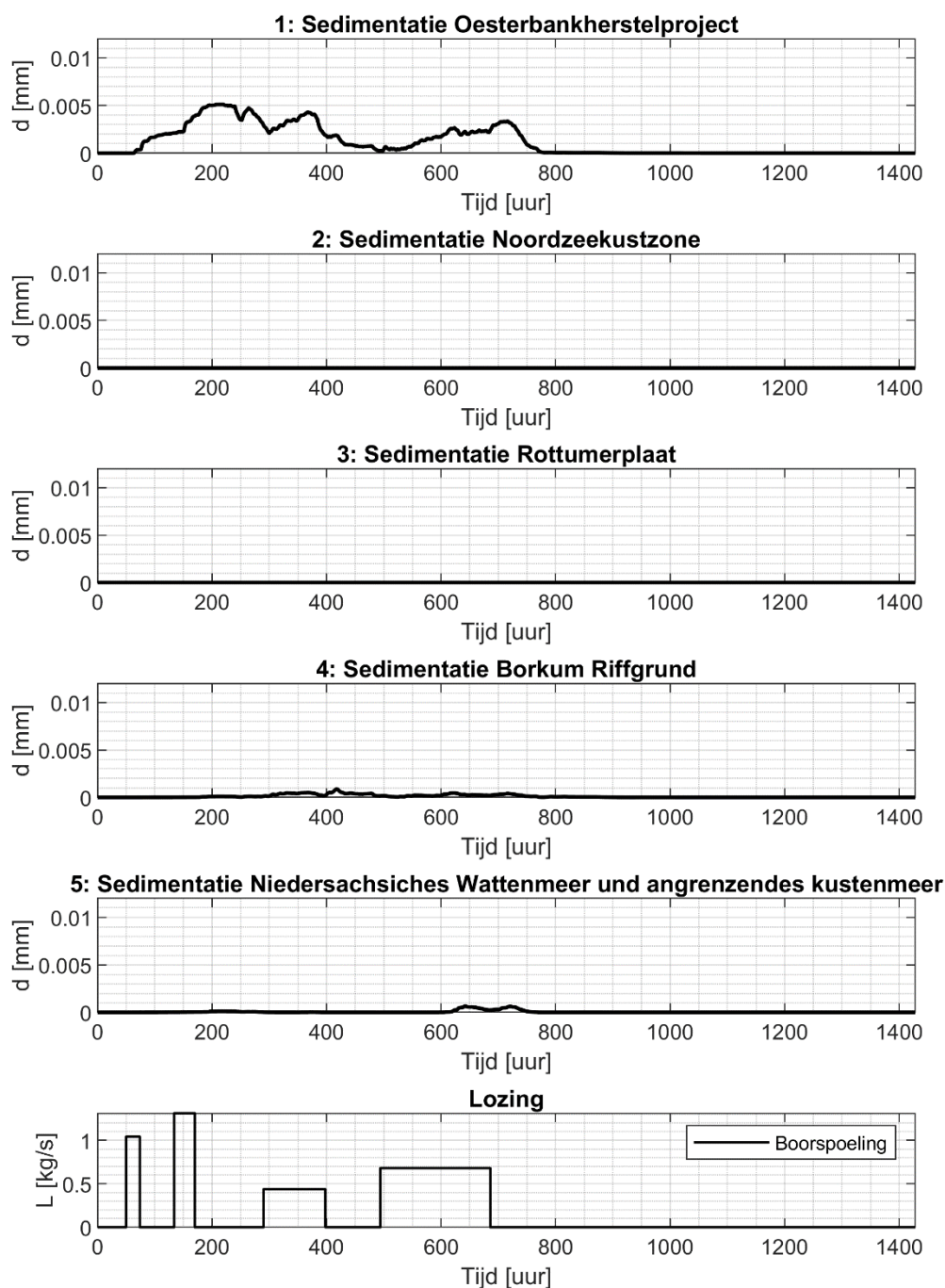
In Figuur 8-60 en Figuur 8-61 is de variatie in de concentratie boorspoeling en de sedimentatiedikte over de tijd te zien ter hoogte van de volgende locaties:

- Borkum Riffgrund
- Niedersächsisches Wattenmeer und angrenzendes Küstenmeer
- Noordzeekustzone
- Het oesterbankherstelproject
- Rottumerplaat

In Figuur 8-62 is het verloop van de concentratie boorspoeling en de sedimentatie ter hoogte van het platform getoond. De concentraties geven de maximale concentratie over de waterkolom aan. Ter illustratie is de lozing over de tijd toegevoegd.

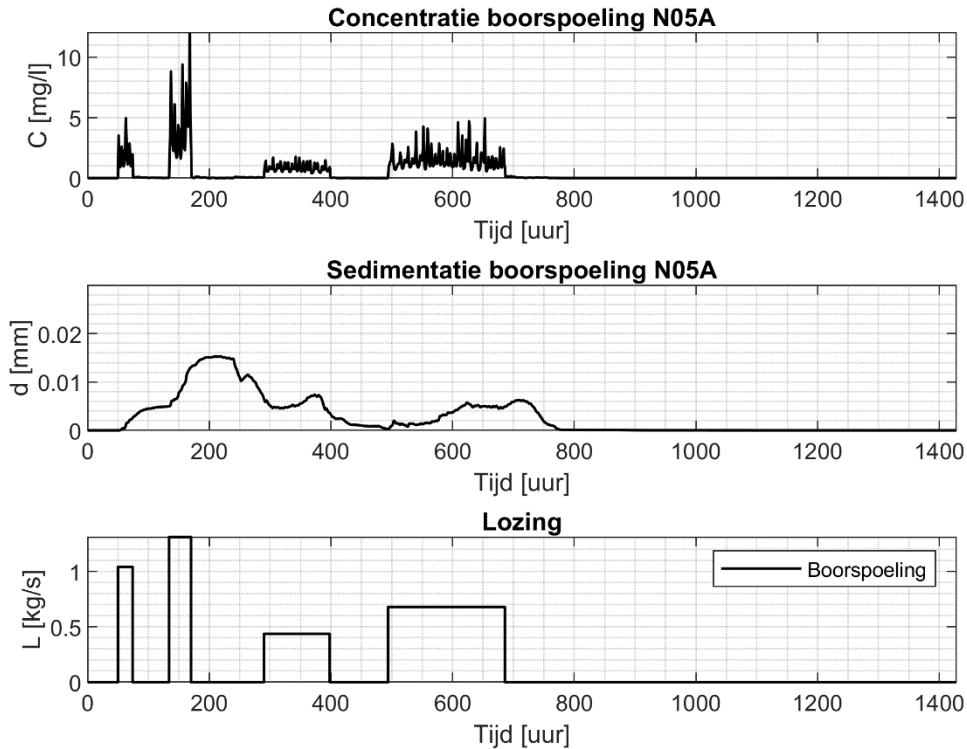


Figuur 8-60: Maximale concentratie boerspoeiing over de waterkolom gedurende scenario November op de gevoelige locaties. In de onderste plot zijn de lozingstermen getoond.



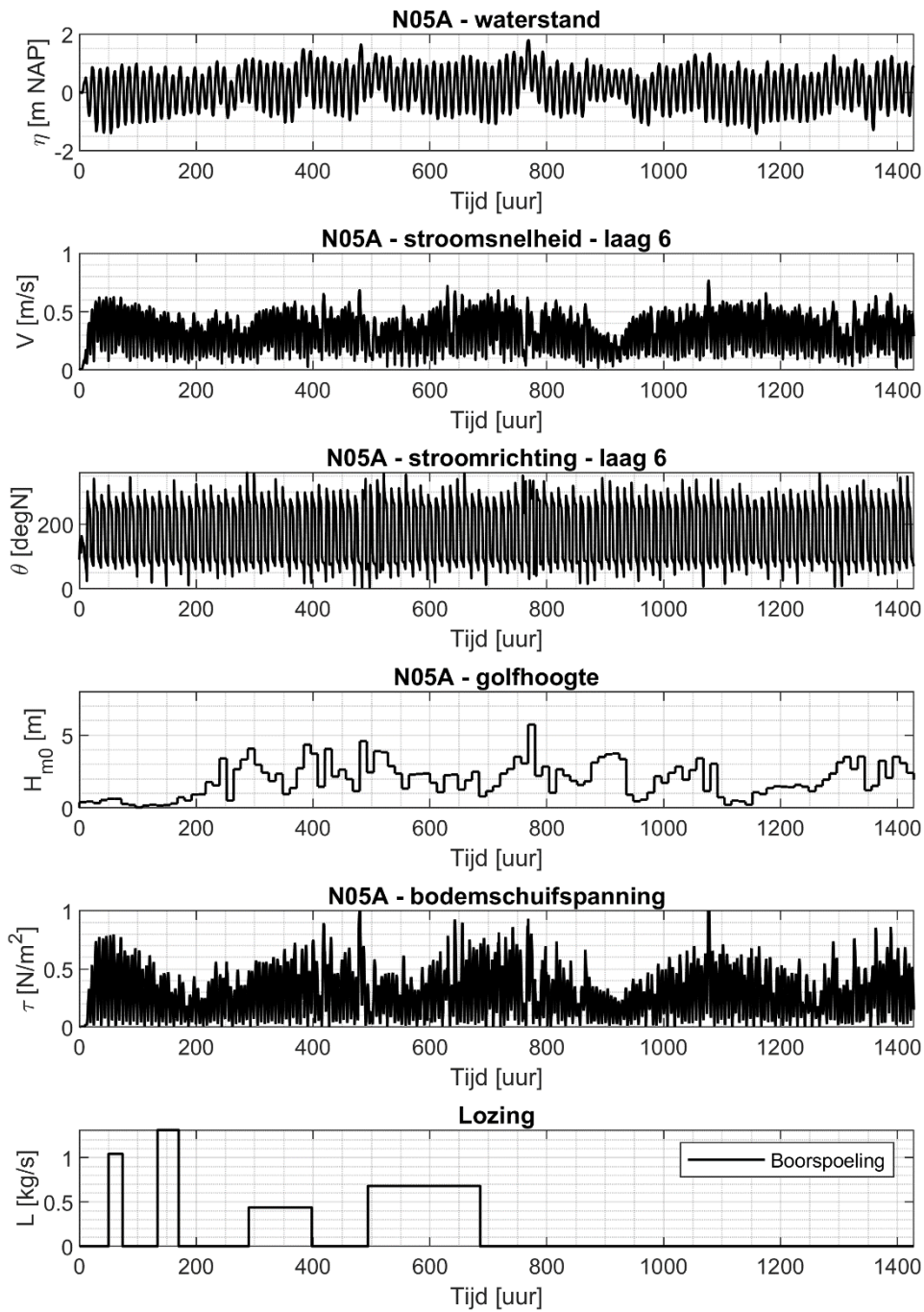
Figuur 8-61: Sedimentatie gedurende scenario November op de gevoelige locaties. In de onderste plot zijn de lozingstermen getoond.

In de concentraties bij het oesterbankherstelproject is duidelijk het lozingspatroon te herkennen, aangezien deze locatie zich dicht bij het platform bevindt. De concentraties in de Noordzeekustzone en de Rottumerplaat zijn erg laag. In het sedimentatieverloop is het verloop in golfhoogte terug te zien: na 300 uur begint een periode met hogere golven, de sedimentatie neemt af door een toename in de schuifspanning. Na 500 uur begint de golfhoogte weer af te nemen en door de lagere schuifspanningen kan materiaal sedimenteren. Rond 800 uur is een piek in de golfhoogte, de sedimentatie neemt af.

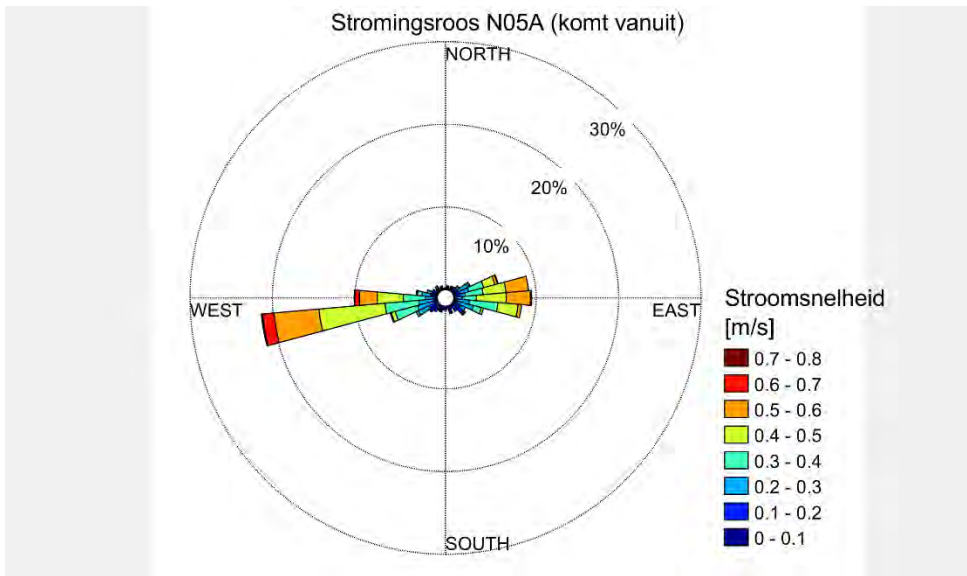


Figuur 8-62: Variatie in de tijd van de concentratie boorspoeling en de sedimentatiedikte van boorspoeling ter plaatse van het platform N05-A. De concentratie geeft de maximale concentratie over de waterkolom aan.

In Figuur 8-63 zijn de stromingscondities en de golfhoogte ter hoogte van het platform te zien gedurende de simulatie. Tijdens het eerste deel van de simulatie (0 – 200 uur) zijn de golven zeer laag, in het tweede deel van de simulatie zijn deze afwisselend hoger en lager. In Figuur 8-64 is een stromingsroos te zien ter plaatse van het platform. Deze roos laat zien wat de dominante stromingsrichtingen zijn. Duidelijk wordt dat de hoogste stroomsnelheden vanuit het zuidwesten komen. Dit komt overeen met het patroon van de grootschalige getijgolf in de Noordzee en verklaart waarom de dominante richting van de pluim richting het noordoosten is.



Figuur 8-63: Stroomsnelheid en -richting en golfhoogte ter plaatse van het platform N05-A

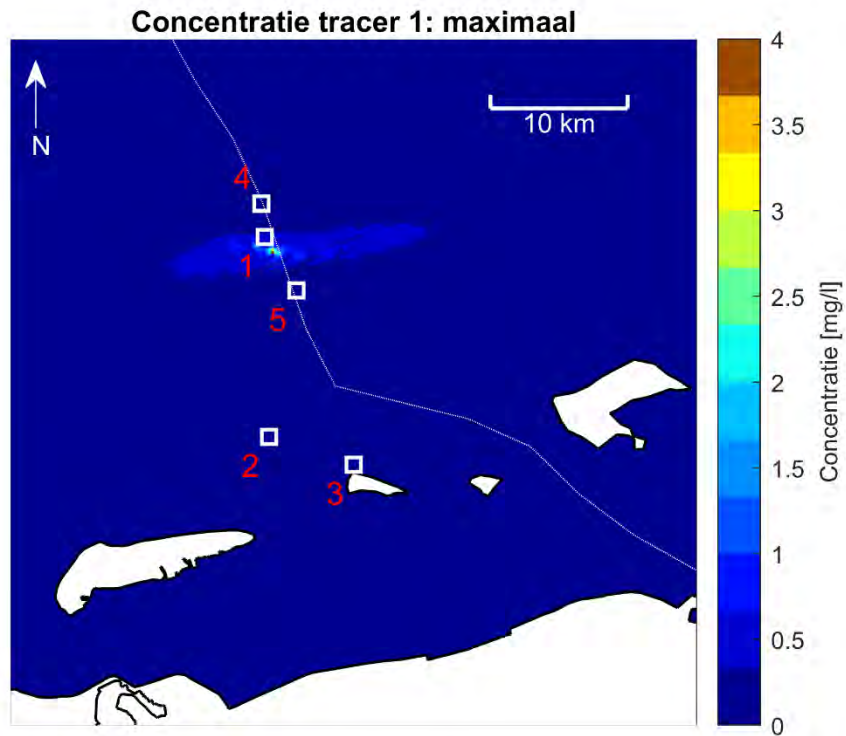


Figuur 8-64: Stromingsroos ter plaatse van het platform N05-A. De richting geeft aan waar de stroming vandaan komt.

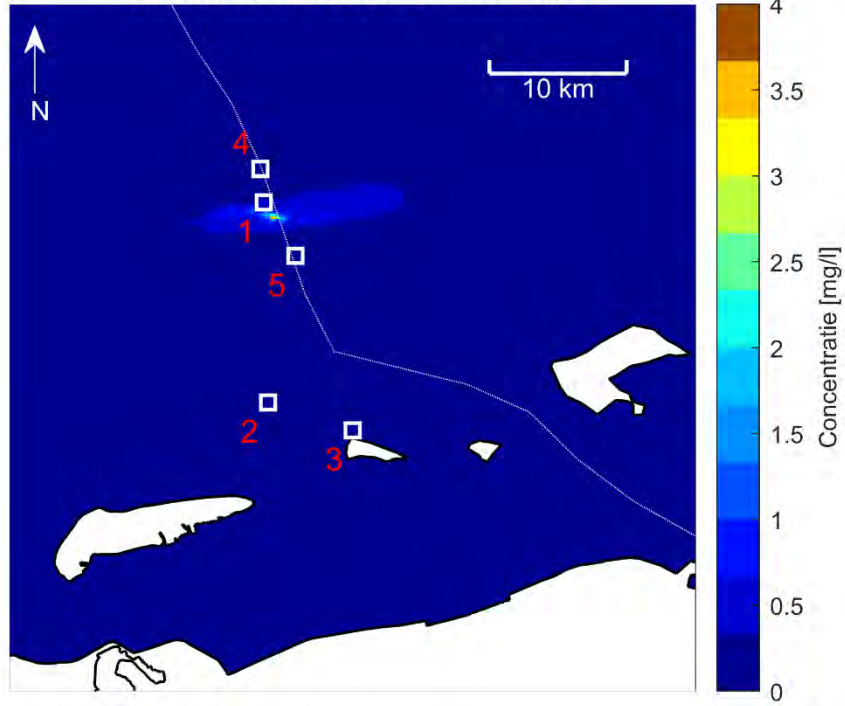
A2.3.2 Tracers

Maximale concentratie gedurende de simulatie

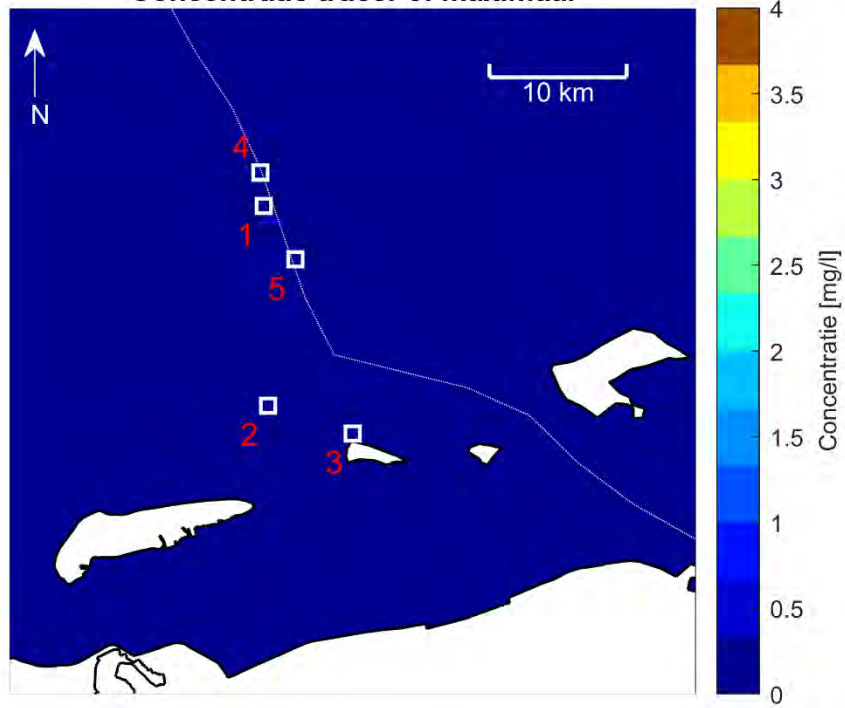
In Figuur 8-65 is de maximale concentratie van de vier tracers gedurende scenario November te zien over de gehele waterkolom. Elke tracer hoort bij een sectie, ze worden dus na elkaar (met tussenperiodes ertussen) geloosd.

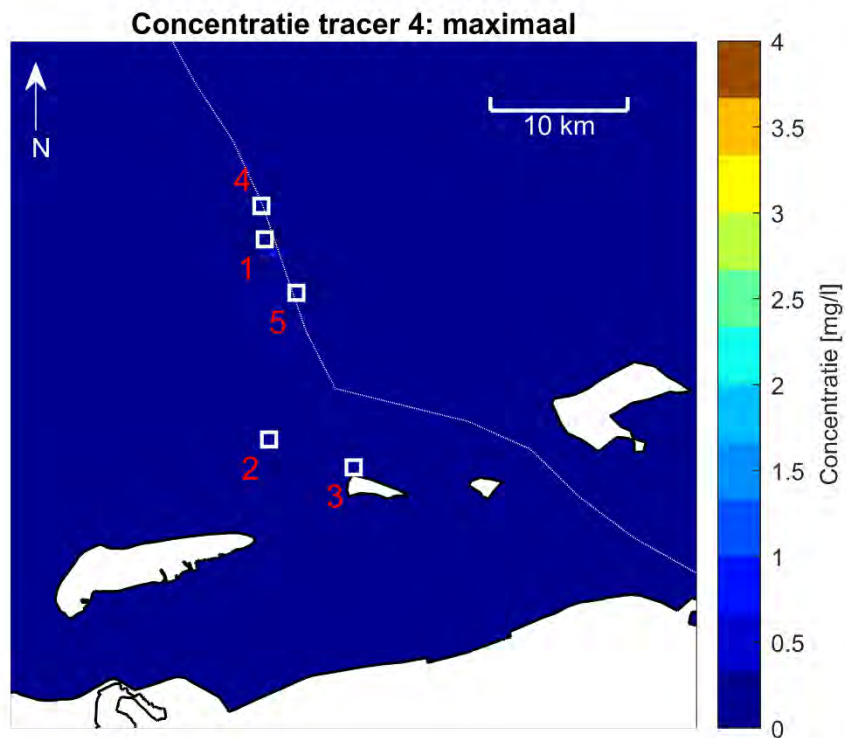


Concentratie tracer 2: maximaal



Concentratie tracer 3: maximaal

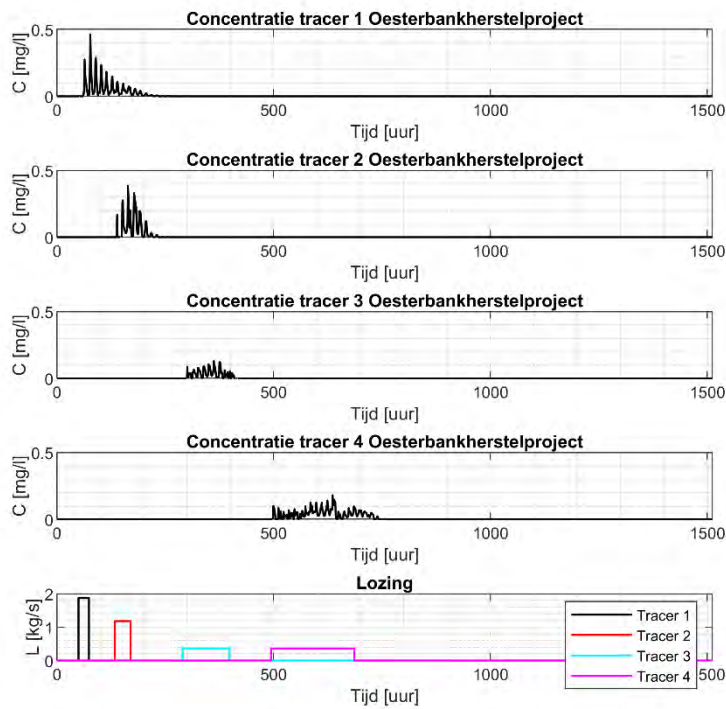




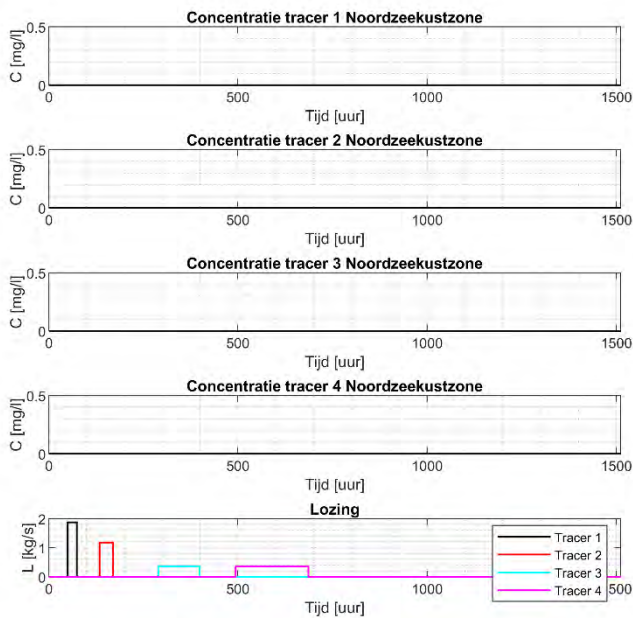
Figuur 8-65: Maximale concentratie van de tracers over de gehele waterkolom tijdens scenario November. De gevoelige locaties zijn aangegeven met witte vierkantjes en een nummer (1 = oesterbankherstelproject, 2 = Noordzeekustzone, 3 = Rottumerplaat, 4 = Borkum Riffgrund, 5 = Niedersächsisches Wattenmeer), de Nederlands-Duitse grens met de stippellijn.

Tijdseries

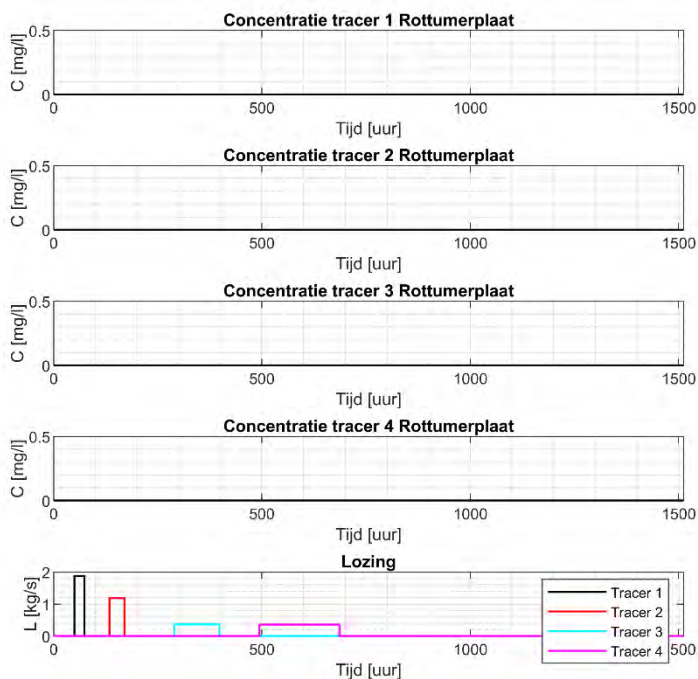
In Figuur 8-66 tot en met Figuur 8-71 is de variatie over de tijd van de verschillende tracers te zien op meerdere locaties.



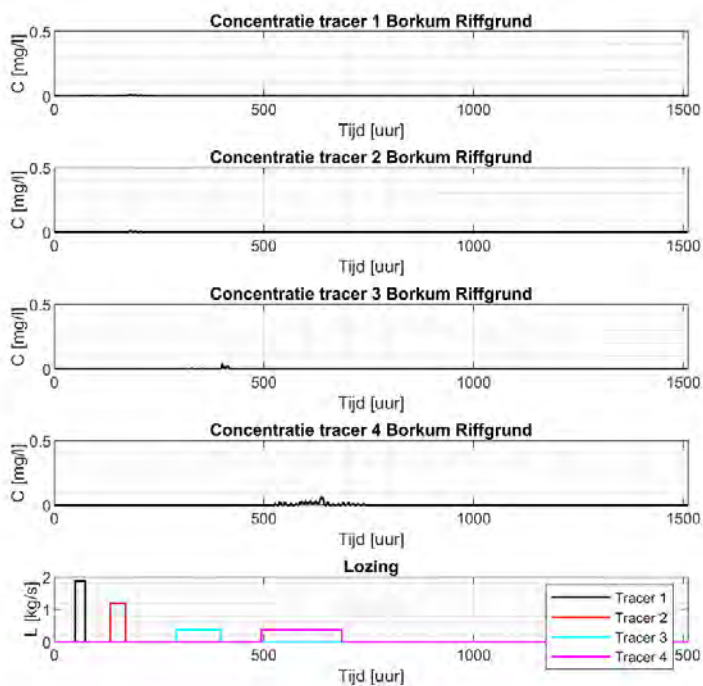
Figuur 8-66: Variatie in de tijd van de concentratie tracer ter plaatse van het oesterbankherstelproject. De concentratie geeft de maximale waarde over de waterkolom weer.



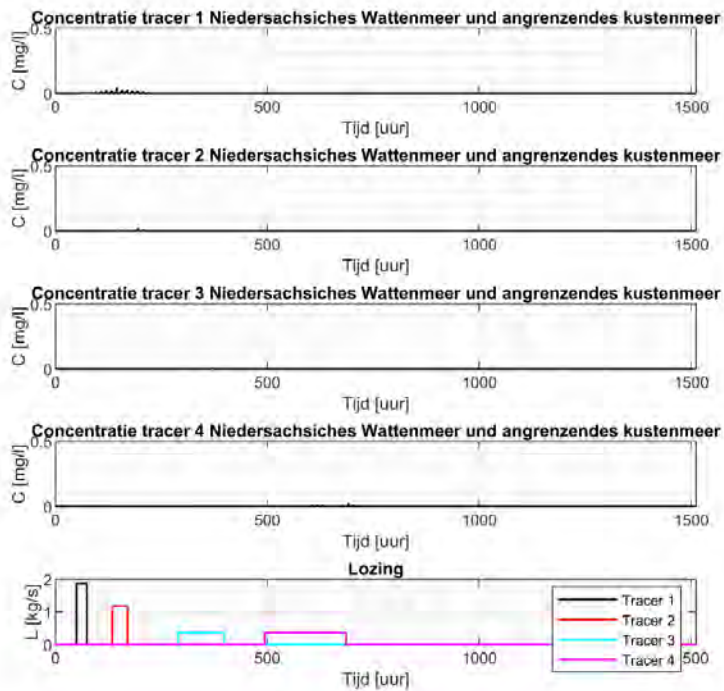
Figuur 8-67: Variatie in de tijd van de concentratie tracer ter plaatse van de Noordzeekustzone. De concentratie geeft de maximale waarde over de waterkolom weer.



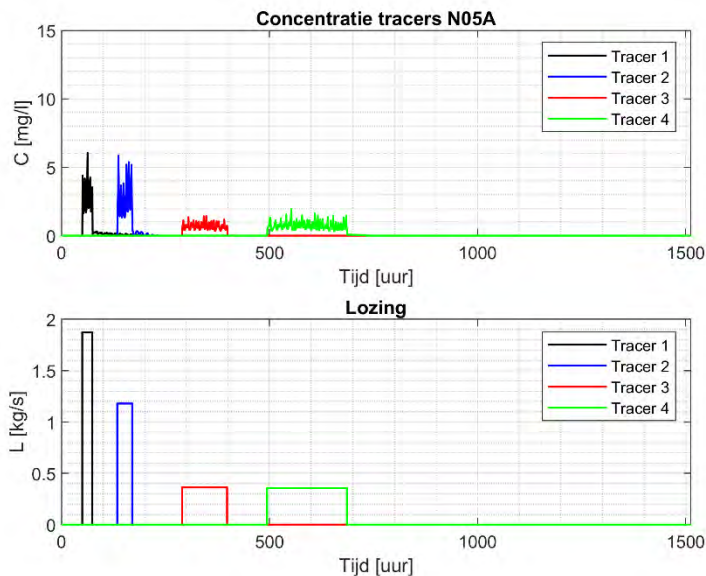
Figuur 8-68: Variatie in de tijd van de concentratie tracer ter plaatse van de Rottumerplaat. De concentratie geeft de maximale waarde over de waterkolom weer.



Figuur 8-69: Variatie in de tijd van de concentratie tracer ter plaatse van Borkum Riffgrund. De concentratie geeft de maximale waarde over de waterkolom weer.



Figuur 8-70: Variatie in de tijd van de concentratie tracer ter plaatse van Niedersächsisches Wattenmeer und angrenzendes Küstenmeer. De concentratie geeft de maximale waarde over de waterkolom weer.



Figuur 8-71: Variatie in de tijd van de concentratie tracer ter plaatse van het platform. De concentratie geeft de maximale waarde over de waterkolom weer.

Uitsplitsing naar opgeloste stoffen

Tracer 1 t/m 4 zijn een samenvoeging van de verschillende opgeloste stoffen per boorsectie. Op basis van het aandeel van elke afzonderlijke stof in de totale tracer is een uitsplitsing gemaakt van de tracers. Dit

leidt tot een maximale concentratie per boorsectie van alle opgeloste stoffen, zie Tabel 8-9. Het aandeel van elke stof wisselt per boorsectie. Zo is het aandeel Potassium Chloride tijdens boorsectie 1 bijna 99% terwijl dit tijdens boorsectie 4 0% is.

Tabel 8-9: Maximale concentratie van de opgeloste stoffen per boorsectie over de gehele waterkolom op de platformlocatie.

Maximale concentratie opgeloste stoffen over de gehele waterkolom [mg/l]: alle secties - scenario November

	<i>Oesterbankherstel project</i>	<i>Noordzeekustzone</i>	<i>Rottumerplaat</i>	<i>Borkum Riffgrund</i>	<i>Niedersachsiches Wattenmeer und angrenzendes kustenmeer</i>	<i>N05A</i>
Vloeistofverliesvertrager	2.1E-03	1.5E-09	6.2E-09	7.2E-04	2.7E-04	2.2E-02
Verzadigd monocarbonzuur, calciumzout	5.0E-03	1.3E-09	5.5E-09	6.4E-04	2.5E-04	7.7E-02
Calcium hydroxide	1.9E-03	4.0E-10	1.7E-09	5.5E-04	7.2E-05	2.1E-02
Magnesium oxide	1.8E-03	1.3E-09	5.5E-09	6.4E-04	2.4E-04	2.0E-02
Potassium chloride	4.6E-01	3.2E-08	2.5E-08	3.0E-02	3.8E-02	6.0E+00
Natriumcarbonaat	3.1E-03	3.7E-10	1.5E-09	1.8E-04	2.6E-04	4.2E-02
Sodium chloride	1.6E-01	1.2E-07	4.9E-07	5.6E-02	2.1E-02	1.7E+00
Natrium carboxymethylcellulose	1.9E-02	4.0E-09	1.7E-08	1.9E-03	9.5E-04	2.9E-01
Saccharose	5.7E-04	5.3E-11	2.2E-10	2.8E-05	4.7E-05	7.5E-03
Corosieremmer	1.3E-03	9.6E-10	4.0E-09	4.6E-04	1.7E-04	1.4E-02
Antischuim	3.8E-04	1.2E-12	1.3E-12	4.2E-05	1.9E-05	5.8E-03
Stof 1: Poly(oxy-1,2-ethanediyl), α- butyl-ω-hydroxy	8.0E-02	2.5E-10	2.7E-10	5.5E-03	4.1E-03	1.2E+00
Potassium hydroxide	2.2E-04	1.6E-10	6.6E-10	7.7E-05	2.9E-05	2.3E-03
Stof 2: Poly(oxy-1,2-ethanediyl), α- butyl-ω-hydroxy	5.9E-03	4.3E-09	1.8E-08	2.1E-03	7.7E-04	6.3E-02

RAPPORT

Pluimmodellering elektriciteitskabel

Milieueffectrapport Gaswinning N05-A

Klant: ONE-Dyas B.V.

Referentie: BG6396IBRP2010071006

Status: Definitief/2.0

Datum: 7-10-2020

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 elektriciteitskabel

Ondertitel: Pluimmodellering elektriciteitskabel
Referentie: BG6396IBRP2010071006
Status: 2.0/Definitief
Datum: 7-10-2020
Projectnaam: Milieueffectrapport Gaswinning N05-A
Projectnummer: BG6396-105

Classificatie

Projectgerelateerd

Behoudens andersluidende afspraken met de Opdrachtgever, mag niets uit dit document worden veelevoudigd 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 persoonsgegevens van medewerkers van HaskoningDHV Nederland B.V. en dient voor publicatie of anderszins openbaar maken te worden geanonimiseerd.

Inhoud

1	Inleiding	1
2	Uitgangspunten	2
2.1	Tracékabel	2
2.2	Beschrijving methodiek ingraven	2
2.3	Sedimenteigenschappen	4
2.4	Methode voor voorspelling sedimentconcentraties	4
2.4.1	Sedimentconcentratie nabij graafmachine	5
2.4.2	Verplaatsing van het fijne sediment door getijdestroming	6
2.4.3	Sedimentatie van het fijne sediment	6
2.4.4	Verspreiding door diffusie van het fijne sediment	6
2.4.5	Berekening van sedimentconcentraties per segment	8
3	Resultaat	9
3.1	Concentratie fijn sediment	9
3.2	Sedimentatie	9
4	Discussie	12
5	Conclusie en aanbevelingen	14
6	Referenties	15

1 Inleiding

ONE-Dyas heeft Royal HaskoningDHV opdracht gegeven om een MER te maken voor het gaswinningsproject N05-A op de Noordzee. In het MER worden verschillende varianten beschouwd. Enkele varianten hebben betrekking op de wijze waarop de energievoorziening voor het boorplatform en het productieplatform plaatsvindt. De energievoorziening voor zowel het boorplatform als het productieplatform kan plaats vinden via eigen opwekking met generatoren op de platforms of door middel van elektriciteit. Bij de energievoorziening door middel van elektriciteit wordt een elektriciteitskabel aangelegd van het nabij gelegen windmolenpark Riffgat naar het productieplatform.

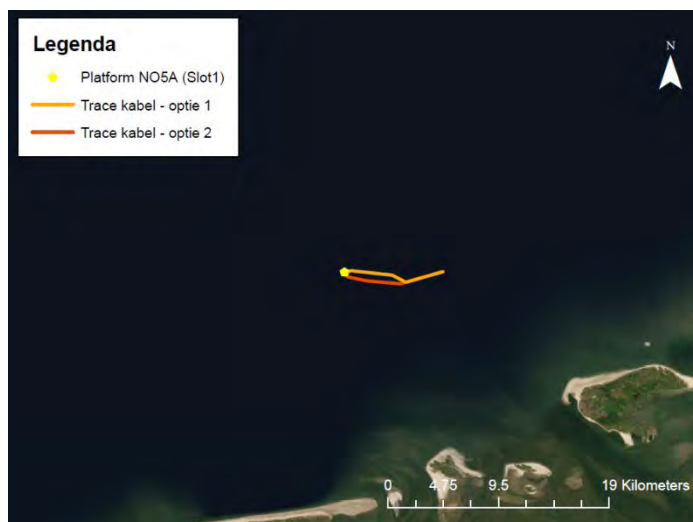
Deze kabel heeft een lengte van circa 8 km. Bij het ingraven van de kabel wordt fijn sediment opgewoeld en kan door de stroming verspreid worden. Dit kan leiden tot verhoogde sedimentconcentraties in de waterkolom en extra sedimentatie van het fijne sediment. Een kwantitatieve onderbouwing van deze effecten door middel van pluim- en sedimentatiemodellering is gewenst vanwege de natuurwaarden in het gebied, waaronder Natura 2000-gebieden.

In deze notitie wordt een inschatting gemaakt van deze extra sedimentconcentratie en de verspreiding van het sediment. In hoofdstuk 2 wordt de beschikbare data en de aannames gepresenteerd. In hoofdstuk 3 worden de berekening en de resultaten getoond. Hoofdstuk 4 bevat een discussie van de resultaten, waarna in hoofdstuk 5 de conclusies besproken worden.

2 Uitgangspunten

2.1 Tracékabel

De kabel loopt vanaf het platform N05-A richting het oosten. Het tracé van de kabel is te zien in Figuur 1. De lengte van de kabel is circa 8 km.



Figuur 1: Tracé van de kabel

2.2 Beschrijving methodiek ingraven

De kabel wordt ingegraven met een graver, die zowel mechanisch kan graven als het sediment op de zeebodem los kan maken met waterjets ('fluïdiseren') [1]. De jets zitten direct onder de graafmachine, zoals te zien in Figuur 2. De mechanische graver zit aan de achterkant van de machine.

De procedure voor het ingraven van de kabel is als volgt: eerst wordt de kabel op de bodem gelegd. Vervolgens rijdt de machine over de kabel heen, fluïdiseert de bodem onder de kabel en snijdt deze vervolgens open zodat de kabel onder zijn eigen gewicht naar beneden zinkt.

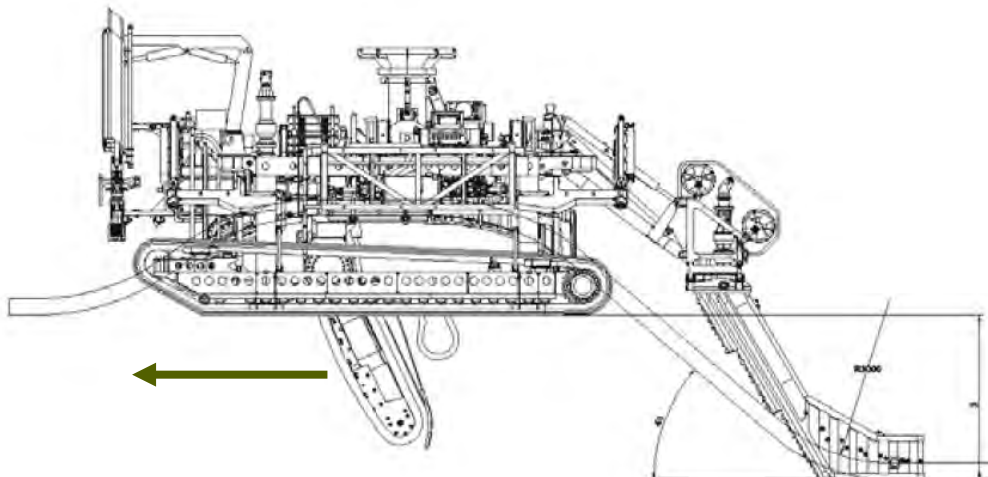
Een deel van de verplaatste grond zakt automatisch weer in de geul en bedekt de kabel. Een ander deel van de verplaatste grond komt direct naast de geul terecht of wordt meegevoerd met de stroming en op een grotere afstand van de geul afgezet. De geul wordt dus niet volledig opgevuld. Dit is te zien in een schematisatie van de resulterende geul, zie Figuur 3. Op basis van afmetingen van de afmetingen van de geul wordt in deze studie ervan uitgegaan dat per strekkende meter kabel 1 m³ grond buiten de geul terecht komt. Daarvan is een deel fijn sediment.

Door het graven komen vooral de fijne sedimentdeeltjes in de verplaatste grond in suspensie en worden door de stroming meegenomen. Deze sedimentdeeltjes worden als een sedimentpluim verspreid door de stroming en veroorzaken een tijdelijke verhoging van de sedimentconcentratie in de waterkolom.

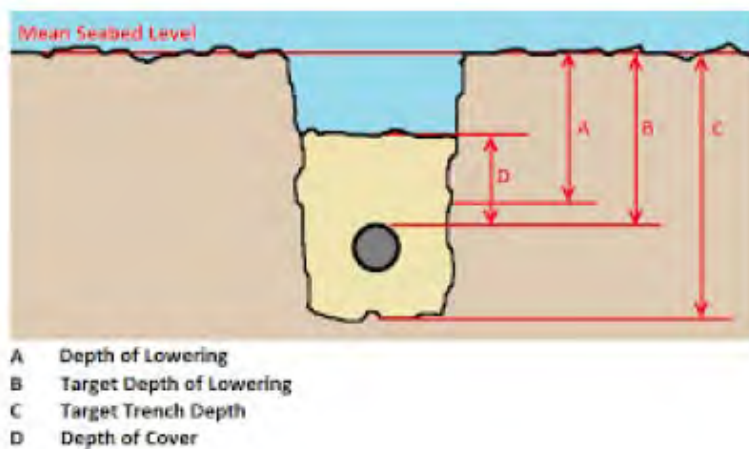
De natuurlijke slibconcentraties langs het tracé van de elektriciteitskabel zijn dezelfde orde van grootte als bij de N05A-platformlocatie. In dit deel van de Noordzee is de natuurlijke jaargemiddelde slibconcentratie nabij het wateroppervlak circa 10-20 mg/l [2]. Dichter bij de zeebodem kan de slibconcentratie wat hoger zijn, maar omdat de lokale zeebodem uit zandig materiaal bestaat is het onwaarschijnlijk dat de slibconcentraties nabij de zeebodem veel hoger zijn.

Deze jaargemiddelde concentraties zeggen echter niets over de variatie in slibconcentratie gedurende het jaar. In de wintermaanden zijn de gemiddelde slibconcentraties over het algemeen hoger dan in de zomer, met gemiddelde slibconcentraties langs het tracé van ongeveer 10 mg/l in de zomer en ongeveer 20 mg/l in de winter [2]. Daarnaast varieert de slibconcentratie als gevolg van stormen. Tijdens en vlak na een storm zijn de slibconcentraties een stuk hoger (typisch ongeveer 20 mg/l langs het tracé) dan na een rustige periode (typisch ongeveer 2 mg/l).

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 2: Graafmachine voor het ingraven van de kabel



Figuur 3: Resulterende geul [1]

2.3 Sedimenteigenschappen

Langs het tracé van de kabel is een onderzoek uitgevoerd naar de bodemeigenschappen [3]. De bodem bestaat uit fijn tot middelgrof zand, met af en toe een stuk met zand en klei met grind en schelpfragmenten. Op foto's van de zeebodem zijn duidelijke zandribbels van ongeveer enkele centimeters hoog op de zeebodem te zien, wat een indicatie is dat het zand relatief mobiel is langs het tracé voor de pijpleiding.

In de voorspelling van de sedimentpluim als gevolg van de aanleg van de kabel wordt, op basis van onderzoek, uitgegaan dat ongeveer 33% van het bodemmateriaal bestaat uit fijn sediment dat in suspensie met de stroming wordt meegevoerd, dus van de kleinste kleideeltjes tot en met fijn zand.

Een belangrijke parameter in de voorspelling is de valsnelheid van de sedimentkorrels, die afhankelijk is van de korrelgrootte. Omdat het fijne sediment uit een range van korrelgroottes bestaat, variërend van minimaal 1 µm voor klei en maximaal 125 µm voor fijn zand, wordt een representatieve korrelgrootte en valsnelheid aangenomen. Het onderzoek laat zien dat de representatieve korrelgrootte een diameter van 31,25 µm heeft, waar een valsnelheid van 0,27 mm/s bij hoort. Grotere sedimentkorrels zakken sneller uit en fijnere sedimentkorrels zakken over het algemeen langzamer uit.

2.4 Methode voor voorspelling sedimentconcentraties

Dankzij de oost-west oriëntatie van de elektriciteitskabel, wat in de richting van de dominante stroming is, en de geringe hoeveelheid fijn sediment dat opgewoeld wordt en vervolgens hoog in de waterkolom terecht komt om daar door de stroming meegenomen te worden, is een versimpelde methodiek toegepast. Een uitgebreide pluimstudie, zoals uitgevoerd voor het bepalen van de verspreiding van boorspoeling [2] en de ingraving van de pijpleiding [4], is niet nodig.

Door middel van een Excel-berekening zijn de concentratie, verspreiding en afzetting van het fijne sediment voorspeld. Hierbij zijn de volgende stappen genomen:

- 1 Voorspellen van de sedimentconcentratie in de directe nabijheid van de graafmachine.
- 2 Voorspellen van de verplaatsing van het fijne sediment door getijdestroming.
- 3 Voorspellen van de sedimentatie van het fijne sediment.
- 4 Voorspellen van de verspreiding (diffusie) van het fijne sediment door stroming en turbulentie.

- 5 Stappen 1 t/m 4 combineren door middel van een massabalans, waarbij een deel van het fijne sediment dat in stap 1 in suspensie komt lateraal wordt verspreid door diffusie of wordt afgezet op de zeebodem. Het overige deel wordt meegenomen door de getijdestroming.

2.4.1 Sedimentconcentratie nabij graafmachine

Voor het inschatten van de sedimentconcentratie in de directe nabijheid van de graafmachine zijn de volgende uitgangspunten gebruikt:

- In de berekening beweegt de graafmachine zich voort met een snelheid van circa 1 km/uur (0,28 m/s). Deze snelheid ligt hoger dan de in de praktijk verwachte snelheid van de graafmachine van circa 250 m/uur (0,07 m/s), maar is noodzakelijk voor toepassing van de methodiek. In de discussie in hoofdstuk 4 wordt in gegaan op het verwachte verschil in effect als gevolg van deze aanname.
- Het fijne sediment dat in suspensie komt bereikt een hoogte van 2 m vanaf de bodem.
- De breedte van de waterkolom waarover het sediment in suspensie zich verspreid is 10 m, dit is iets groter dan de breedte van de graafmachine.
- Er wordt ervan uitgegaan dat de stroomsnelheid nabij de zeebodem even groot is als de snelheid van de graafmachine, dus 0,28 m/s. Dit komt ook overeen met metingen en modelresultaten [2]: de gemiddelde stroomsnelheid nabij de zeebodem is gemiddeld 0,25 m/s, met maximale stroomsnelheden van circa 0,4 m/s.
- Het graven begint bij doodtij, vervolgens stroomt het water als gevolg van het getij gedurende het graven steeds dezelfde richting op.
- Het tracé is ingedeeld in tien gelijke segmenten.

De berekening van de sedimentconcentratie nabij de graafmachine is weergegeven in Figuur 4. De berekening bestaat uit de volgende stappen:

- 1 Per segment wordt het volume en de massa van de vrijgekomen grond bepaald. Hiervan is een bepaald percentage fijn sediment;
- 2 De tijd die de graafmachine erover doet om een segment te graven wordt bepaald;
- 3 De initiële concentratie van het fijne sediment in de waterkolom wordt bepaald, ervan uitgaande dat de totale hoeveelheid vrijgekomen fijn sediment zich in een keer uniform verspreidt over de aangenomen waterkolom. Dit is 16.500 mg/l.

Trace	
Lengte trace [m]	8786.54
Aantal bronnen [-]	10
Lengte per bron [m]	878.65
Doorsnede	
Volume grond per m trace [m3/m]	1.00
Volume totaal trace [m3]	8786.54
Volume per bron [m3]	878.65
Tijd	
Snelheid kar [km/uur]	1
Snelheid kar [m/s]	0.28
Tijd per bron [s]	3163.15
Tijd per bron [uur]	0.88
Source term	
Dichtheid [kg/m3]	1000
Gewicht per bron [kg]	878654
Percentage fijn materiaal [%]	33
Gewicht fijn materiaal per bron [kg]	289955.8
Bronterm fijn materiaal [kg/s]	91.7
Hoogte in waterkolom [m]	2
Breedte waterkolom [m]	10
Volume waterkolom [m3]	17573.08
Concentratie fijn materiaal [kg/m3]	16.5
Concentratie fijn materiaal [mg/l]	16500
Pluim	
Valsnelheid [m/s]	2.70E-04

Figuur 4: Berekening van de initiële sedimentconcentratie nabij de graafmachine

2.4.2 Verplaatsing van het fijne sediment door getijdestroming

De dominante stroomrichting langs het tracé is richting het noordoosten en uitgangspunt is een constante stroomsnelheid van 0,28 m/s, gelijk aan de snelheid van de graafmachine en stroming in dezelfde richting als de rijrichting van de graafmachine. Dit zorgt voor een conservatieve benadering: er is een cumulatief effect van het graven van de kabel ter plaatse en het meevoeren door de stroming van gesuspendeerd sediment uit eerdere graafsegmenten. Het maakt hierbij niet uit in welke richting de kabel wordt gelegd: vanaf het platform naar het windpark of andersom. De ene richting valt samen met vloedstroming, de andere richting met ebstroming. Al het sediment dat niet bezinkt en niet door diffusie wordt verspreid, wordt meegevoerd met de stroming in de richting van de getijdestroming.

2.4.3 Sedimentatie van het fijne sediment

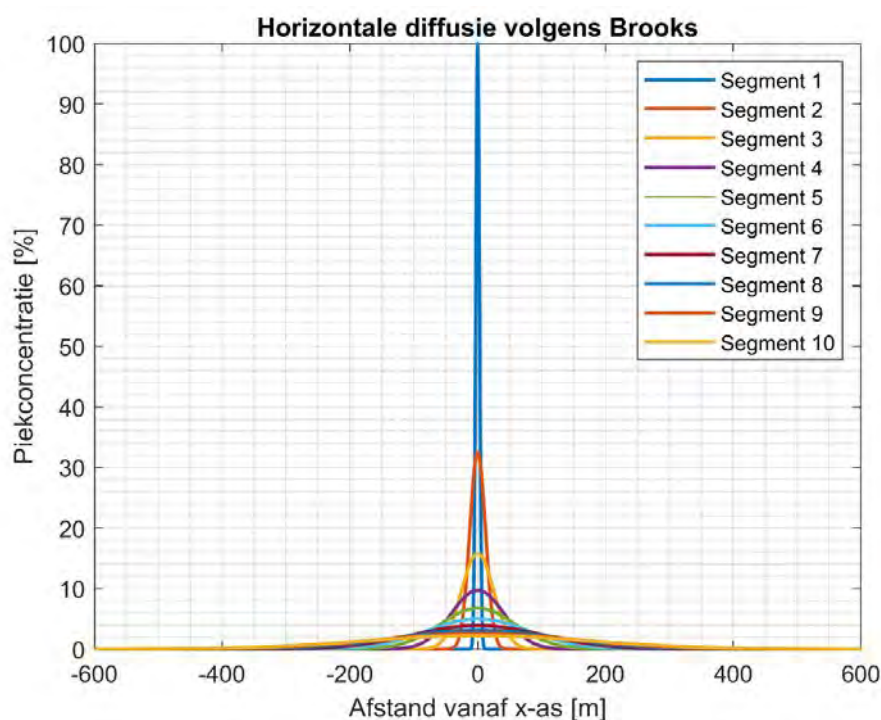
De hoeveelheid sedimentatie van het fijne sediment is berekend op basis van de sedimentconcentratie en de valsnelheid: sedimentatie = sedimentconcentratie x valsnelheid. De hoeveelheid sediment dat wordt afgezet op de zeebodem 'verdwijnt' uit de waterkolom en wordt dus niet meegenomen door de stroming of verspreid door diffusie.

2.4.4 Verspreiding door diffusie van het fijne sediment

Behalve uitzakking van het fijne sediment en verplaatsing als gevolg van de stroming treedt ook diffusie op (verspreiding van het fijne sediment als gevolg van turbulentie en andere kleinschalige processen), waardoor de concentraties lager worden. Het effect van de diffusie wordt bepaald met de methode van Brooks [5]. Met deze methode kan de concentratie van een bepaalde stof, bijvoorbeeld fijn sediment, worden bepaald op een bepaalde afstand van de lozingslocatie, onder de aanname dat de stroming en de lozing constant zijn.

Bij deze methode speelt de constante alpha een rol. Alpha, de horizontale dispersie coëfficiënt, ligt volgens literatuur tussen 0,0001 en 0,0005 m^{2/3}/s [5], respectievelijk voor kalme en heftige condities. Een gemiddelde waarde van 0,0003 m^{2/3}/s is hier gekozen.

In Figuur 5 is het effect van diffusie te zien. In segment 1 wordt geloosd. In het vlak loodrecht op de stromingsrichting heeft de concentratie een normaalverdeling met een maximale concentratie van 100% (de initiële maximale concentratie nabij de graafmachine). Ter hoogte van traject 2 is deze maximale concentratie gedaald en is het concentratieprofiel wijder geworden. Na een segment is nog circa 35% van de piekconcentratie over.



Figuur 5: Concentratieprofielen op verschillende afstanden van de bron

Op basis van deze concentratieprofielen is een factor bepaald die de afname in piekconcentratie per segment geeft. Deze factor is te zien in Tabel 1.

Tabel 1: Factor waarmee de piekconcentratie afneemt over de afstand tussen segmenten

Segment	Factor [-]
1 – 2	0,33
2 – 3	0,49
3 – 4	0,62
4 – 5	0,69
5 – 6	0,75
6 – 7	0,78
7 – 8	0,81
8 – 9	0,83
9 – 10	0,85

Deze factor is gebruikt om de overgebleven concentratie te bepalen die in het volgende segment aankomt vanuit een vorig segment.

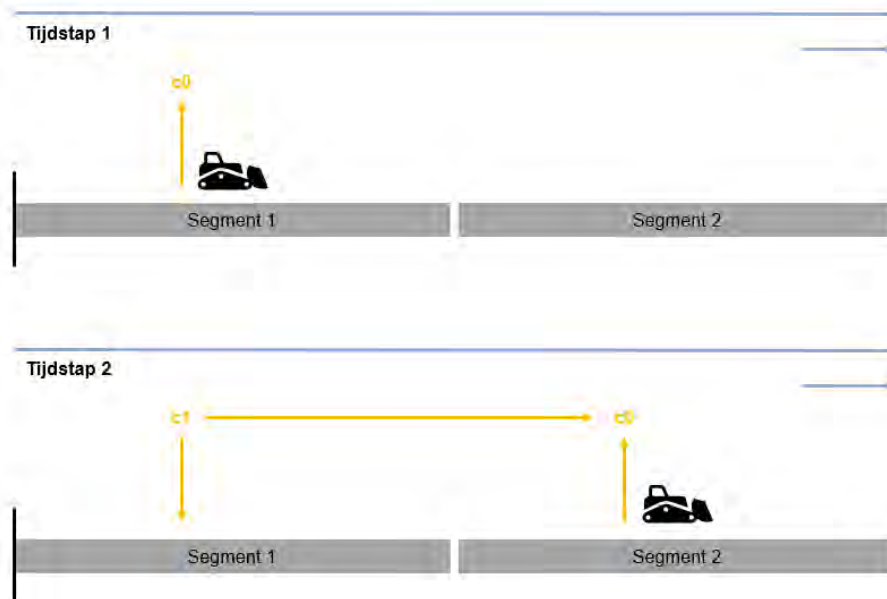
2.4.5 Berekening van sedimentconcentraties per segment

Op basis van de initiële sedimentconcentratie nabij de graafmachine, het 'verlies' van fijn sediment door afzetting, de verplaatsing van fijn sediment door getijdestroming, en de diffusie van het fijn sediment, worden de sedimentconcentraties over de tijd en over de afstand berekend.

Omdat de oriëntatie van het tracé en de dominante stroomrichting samenvallen, kan een segment niet op zichzelf worden beschouwd, maar moet de interactie tussen verschillende segmenten worden meegenomen. Dit kan als volgt worden voorgesteld (zie Figuur 6):

- Op tijdstap 1 wordt gegraven in segment 1, waardoor de initiële concentratie c_0 in de waterkolom komt.
- Op tijdstap 2 wordt gegraven in segment 2, waardoor daar ook de initiële concentratie in de waterkolom komt. Ondertussen is in segment 1 echter een deel van het gesuspendeerde sediment uitgezakt, de rest van het sediment is meegevoerd door de stroming naar segment 2. Dit zorgt voor een hogere concentratie in segment 2 dan in segment 1.

Dit werkt hetzelfde voor alle volgende segmenten, waardoor steeds een deel van de concentratie uit de vorige segmenten mee wordt gevoerd naar de volgende segmenten.



Figuur 6: Schematisatie van de concentratieverspreiding voor twee segmenten

3 Resultaat

3.1 Concentratie fijn sediment

In Figuur 7 is het resultaat van de beschreven berekening te zien. Deze tabel is als volgt te lezen:

- Op tijdstip 0 komt als gevolg van het graven in segment 1 fijn sediment in suspensie, waardoor hier de initiële concentratie van 16.500 mg/l rondom de graafmachine behaald wordt.
- Na 0,88 uur (de tijd die de graafmachine erover doet om van segment 1 naar segment 2 te komen) is een deel van dit sediment door de stroming naar segment 2 gebracht. De sedimentconcentratie is ondertussen gedaald door diffusie (zie de factor in de bovenste rij) en door uitzakking (zie de sedimentatieflux F). In segment 4, na circa 3 uur, is hierdoor nog slechts 5 mg/l over. Ter referentie, de jaargemiddelde achtergrondconcentratie van slib in het interessegebied op de Noordzee is circa 15 mg/l. Deze waarde fluctueert wel significant gedurende het jaar en ruimtelijk.
- Na 0,88 uur bereikt ook de graafmachine segment 2, waardoor nu in segment 2 ook 16.500 mg/l fijn sediment in suspensie komt. Hierbij wordt het sediment dat vanuit segment 1 komt opgeteld, wat resulteert in een maximale concentratie van 17.280 mg/l in segment 2. Vervolgens gaat de graafmachine naar segment 3 en neemt de concentratie in segment 2 af in de tijd.

Deze methodiek kan worden gevolgd voor elk van de tien segmenten. Een aantal extra segmenten is toegevoegd waar niet meer gegraven wordt, maar waar het sediment uit segment 1 t/m 10 nog wel naartoe kan stromen.

Figuur 7 laat zien dat de maximale sedimentconcentratie ter plekke van de graafmachine maximaal circa 17.280 mg/l is. De sedimentconcentratie snel na passeren van de graafmachine: circa 3 uur na passage van de graafmachine is de sedimentconcentratie al gedaald tot g mg/l, na circa 4 uur tot 1 mg/l en na circa 5 uur tot circa 0 mg/l. De verhoging van de sedimentconcentratie is dus een zeer kort, maar intens: de concentraties nemen snel toe tot een relatief hoge concentratie, maar nemen daarna ook snel weer af.

De berekende concentratie is de 'extra' concentratie als gevolg van het graven, deze komt bovenop de natuurlijke achtergrondconcentratie. In [2] is deze aangenomen op orde 15 mg/l, gerealiseerd moet echter worden dat er veel variatie in de ruimte en de tijd is in de natuurlijke achtergrondconcentratie op de Noordzee.

De concentraties op grotere afstand van het tracé, bijvoorbeeld in de natuurgebieden, is verwaarloosbaar klein. In Figuur 5 is te zien dat op circa 200 m van de bron nog maar 2% van de initiële concentratie over is. Het dichtstbijzijnde natuurgebied, het oesterbankherstelproject, ligt op meer dan een kilometer afstand van het tracé.

3.2 Sedimentatie

De sedimentatie in elk vak is ook af te leiden uit de berekening zoals getoond in Figuur 7. Per vak is namelijk een sedimentatieflux bepaald: dit is de hoeveelheid sediment dat uitzakt. Hiermee is de afname in concentratie berekend, en hiermee kan dus ook de sedimentatie worden berekend.

Recentelijk afgezet fijn sediment heeft een lagere dichtheid dan sediment dat langer dan enkele dagen op de bodem ligt en de mogelijkheid heeft gehad om in te klinken: een initiële dichtheid van 500 kg/m^3 (voor droog sediment zonder water in de poriën) is daarom gebruikt voor recent afgezet sediment. Deze dichtheid is de dichtheid van het droge stof, dus zonder het water.

Uit de berekening van de sedimentatieflux blijkt dat de maximale sedimentatiedikte van het fijne sediment circa 3 cm bedraagt. Deze sedimentatie vindt vlak langs de kabelsleuf plaats en deels binnen de spoorbreedte van de graafmachine.

Door de sedimentatie en verspreiding (dus verdunning) van het fijne sediment neemt de sedimentatieflux snel af met toenemende afstand van de kabelsleuf. Binnen een afstand van 10 meter vanaf de kabel daalt de sedimentconcentratie tot minder dan 50% van de piekconcentratie (zie Figuur 5). Ook zijn de sedimentatieflux en dus sedimentatiedikte afgenomen tot minder dan 50% van de piek. Dit betekent dat de sedimentatiedikte van fijn sediment op een afstand van 50 meter vanaf de kabel circa 1,5 mm bedraagt.

De sedimentatie op grotere afstand van het tracé, bijvoorbeeld in de natuurgebieden, is verwaarloosbaar klein.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Fac [-]	-	0.33	0.49	0.62	0.69	0.75	0.78	0.81	0.83	0.85	8.79	9.67	10.54	11.42	12.30	13.18	14.06	14.94	15.82
Tijd [uur]	0	0.88	1.76	2.64	3.51	4.39	5.27	6.15	7.03	7.91	8.79	9.67	10.54	11.42	12.30	13.18	14.06	14.94	15.82
Vak	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Concentratie afkomstig uit vak 1 [kg/m3]	16.50	0.78	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
F [kg/m2/s]	0.004455	0.000211	0.000015	0.000001	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
Concentratie afkomstig uit vak 2 [kg/m3]		16.500	0.783	0.056	0.005	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
F [kg/m2/s]		0.004455	0.000211	0.000015	0.000001	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
Concentratie afkomstig uit vak 3 [kg/m3]			16.500	0.783	0.056	0.005	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
F [kg/m2/s]			0.004455	0.000211	0.000015	0.000001	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
Concentratie afkomstig uit vak 4 [kg/m3]				16.50	0.78	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
F [kg/m2/s]				0.004455	0.000211	0.000015	0.000001	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
Concentratie afkomstig uit vak 5 [kg/m3]					16.50	0.78	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
F [kg/m2/s]					0.004455	0.000211	0.000015	0.000001	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
Concentratie afkomstig uit vak 6 [kg/m3]						16.50	0.78	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
F [kg/m2/s]						0.004455	0.000211	0.000015	0.000001	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
Concentratie afkomstig uit vak 7 [kg/m3]							16.50	0.78	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
F [kg/m2/s]							0.004455	0.000211	0.000015	0.000001	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
Concentratie afkomstig uit vak 8 [kg/m3]								16.50	0.78	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
F [kg/m2/s]								0.004455	0.000211	0.000015	0.000001	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
Concentratie afkomstig uit vak 9 [kg/m3]									16.50	0.78	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
F [kg/m2/s]									0.004455	0.000211	0.000015	0.000001	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
Concentratie afkomstig uit vak 10 [kg/m3]										16.50	0.78	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
F [kg/m2/s]										0.004455	0.000211	0.000015	0.000001	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
Maximale concentratie [kg/m3]	16.50	17.28	17.34	17.34	17.34	17.34	17.34	17.34	17.34	17.34	17.34	17.34	17.34	17.34	17.34	17.34	17.34	17.34	17.34

Uitzakvolume vak 1 [kg/m2]	14.09	0.67	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Uitzakvolume vak 2 [kg/m2]		14.09	0.67	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Uitzakvolume vak 3 [kg/m2]			14.09	0.67	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Uitzakvolume vak 4 [kg/m2]				14.09	0.67	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Uitzakvolume vak 5 [kg/m2]					14.09	0.67	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Uitzakvolume vak 6 [kg/m2]						14.09	0.67	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Uitzakvolume vak 7 [kg/m2]							14.09	0.67	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Uitzakvolume vak 8 [kg/m2]								14.09	0.67	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Uitzakvolume vak 9 [kg/m2]									14.09	0.67	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Uitzakvolume vak 10 [kg/m2]										14.09	0.67	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Sedimentatie [kg/m2]	14.09	14.76	14.81	14.81	14.81	14.81	14.81	14.81	14.81	14.81	14.81	14.81	14.81	14.81	14.81	14.81	14.81	14.81	14.81
Initiele dichtheid [kg/m3]	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500
Oppervlakte vak [m2]	8787	8787	8787	8787	8787	8787	8787	8787	8787	8787	8787	8787	8787	8787	8787	8787	8787	8787	8787
Volume sedimentatie [m3]	247.64	259.39	260.23	260.30	260.31	260.31	260.31	260.31	260.31	260.31	260.31	260.31	260.31	260.31	260.31	260.31	260.31	260.31	260.31
Sedimentatiedikte [m]	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
Sedimentatiedikte [mm]	28.18	29.52	29.62	29.62	29.63	29.63	29.63	29.63	29.63	29.63	29.63	29.63	29.63	29.63	29.63	29.63	29.63	29.63	29.63

Figuur 7: Berekening van de verspreiding van de concentratie en de sedimentatie

4 Discussie

De berekening zoals beschreven in deze studie is een versimpelde weergave van de werkelijkheid, met als doel om inzicht te krijgen in mogelijke concentraties en sedimentatie van het fijne sediment. In de berekeningen is een aantal aannames gedaan die invloed hebben op de resultaten. Hieronder worden deze aannames besproken.

Stroomsnelheid versus snelheid graafmachine

Aangenomen is dat de stroomsnelheid- en richting gelijk zijn aan de snelheid en richting van de graafmachine. In werkelijkheid varieert de stroomsnelheid in de tijd. De gemiddelde stroomsnelheid vlakbij de bodem is circa 0,25 m/s, de maximale stroomsnelheid circa 0,4 m/s. Een deel van de tijd gaat de stroming dus sneller dan de graafmachine met een rijsnelheid van 0,28 m/s. In die periodes bereikt het overgebleven sediment uit segment 1 al segment 3 wanneer er in segment 2 nog gegraven wordt. Hierdoor zal het segment met de maximale concentratie wat verschuiven, maar de maximale concentraties zullen niet wezenlijk veranderen aangezien die vooral gedreven worden door de initiële concentratie in een vak.

Wanneer de snelheid van de graafmachine echter langzamer is dan hier aangenomen (in werkelijkheid is de verwachte rijsnelheid van de graafmachine circa 250 m/uur of 0,07 m/s, dus drie keer zo laag), verandert de hoeveelheid fijn sediment dat per tijdseenheid in suspensie komt. Deze hoeveelheid wordt kleiner aangezien de hoeveelheid vrijgekomen fijn sediment uit een vak wordt uitgesmeerd over een langere tijdsperiode en neemt daardoor af van 91,7 kg/s naar 27,5 kg/s. De initiële piekconcentraties nabij de kabelsleuf zullen hierdoor ook afnemen met een factor van circa drie. De maximale concentraties zullen bovendien afnemen omdat er meer tijd is voor uitzakken en laterale verspreiding van het fijne sediment. De sedimentatie dicht langs de kabelsleuf zal afnemen, en de sedimentatie zal over een breder gebied verspreid worden.

Stroomrichting

De stroomrichting hangt samen met het moment van graven in de getijdencyclus: in de berekening is aangenomen dat gestart wordt met graven op het moment van doodtij. Vervolgens stroomt het getij gedurende de gehele graafperiode met de graafmachine mee, van het platform af met de vloedstroming mee. Het hele tracé heeft een lengte van circa 8 km. Bij een rijsnelheid van minder dan 1 km/uur duren de graafwerkzaamheden dus meer dan acht uur. Vloed duurt zes uur, en dus is het een conservatieve aanname dat de getijdestroming gedurende de gehele graafperiode in dezelfde richting is als de graafmachine. Als bijvoorbeeld halverwege deze periode wordt gestart met graven, zal gedurende een deel van de graafwerkzaamheden het sediment met de ebstroming weer terugstromen. Het verspreidingspatroon van het sediment zal hierdoor complexer worden dan in deze berekeningen voorspeld. Bij een rijsnelheid van 250 m/uur duren de graafwerkzaamheden echter 32 uur. Gedurende deze periode verandert de stroming dus meerdere keren van richting en stroomt sediment in suspensie op en neer. Hierdoor ontstaat een complexer verspreidingspatroon van het sediment en is de vereenvoudigde methodiek niet meer te gebruiken.

Hoogte en breedte van de waterkolom

Aangenomen is dat de waterkolom waarover het sediment zich verspreidt een breedte en hoogte heeft van respectievelijk 10 en 2 meter. Wanneer hier bijvoorbeeld een groter volume wordt gekozen, wordt de initiële concentratie lager.

Korrelgrootte van het fijne sediment

De korrelgrootte van het fijne sediment bepaalt hoe snel het sediment naar de bodem zakt. Wanneer het sediment bijvoorbeeld grover is, dan zakt het sediment sneller uit en worden de maximale concentraties lager.

Dichtheid en hoeveelheid fijn sediment

Deze parameters hebben direct invloed op de massa van het sediment wat vrijkomt. De dichtheid van het sediment ligt over het algemeen tussen de circa 500 en 1600 kg/m³, afhankelijk van de hoeveelheid fijn sediment, inklinking van de bovenste sedimentlaag van de zeebodem en de natuurlijke dynamiek van het sediment op de zeebodem.

De berekening zoals nu uitgevoerd is relatief conservatief op de punten van het moment van graven gedurende de getijcyclus en het feit dat de stroming gedurende de gehele graafperiode met de graafmachine mee stroomt. Ook het feit dat het volledige volumemateriaal per vak in één keer vrijkomt is een conservatieve aanname.

5 Conclusie en aanbevelingen

Als gevolg van het ingraven van een elektriciteitskabel komt fijn sediment vrij in de waterkolom. In deze studie is een inschatting gemaakt tot wat voor gesuspendeerde sediment concentraties en sedimentatie dit kan leiden en over wat voor afstand deze zich kunnen verspreiden.

De volgende conclusies kunnen hieruit worden getrokken:

- De initiële concentratie fijn sediment die bij de graafmachine in de waterkolom komt is intens (16.500 mg/l), maar van korte duur (minder dan enkele uren).
- Aangezien de dominante stroomrichting in de richting is van het tracé van de kabel, kan sediment in suspensie mee stromen met de graafmachine. De maximale concentratie is daardoor 17.280 mg/l.
- Door uitzakking en diffusie neemt de concentratie relatief snel af. Na circa drie uur is de concentratie gedaald tot 5 mg/l, de achtergrondconcentratie in dit deel van de Noordzee is circa 5-20 mg/l nabij het wateroppervlak.
- De maximale sedimentatiedikte dicht langs de kabelsleuf is circa 3 cm. De sedimentatiedikte op een afstand van 50 meter is circa 1,5 mm.

Het type handberekening dat in deze studie is beschreven is alleen mogelijk onder een aantal aannames. De belangrijkste aanname is dat de graafmachine zich met dezelfde snelheid en in dezelfde richting voortbeweegt als de stroming. In werkelijkheid rijdt de graafmachine echter drie keer langzamer dan de gemiddelde stroomsnelheid en vinden de graafwerkzaamheden niet alleen tijdens vloed plaats (stroming in één richting), maar tijdens afwisselend eb en vloed.

6 Referenties

- [1] DEMA Offshore, „Submarine Cable General Installation Method Statement,” 2019.
- [2] Royal HaskoningDHV, „BG1359-RHD-ZZ-XX-RP-Z-0001 Pluimmodellering N05A - Concept,” 2019.
- [3] GEO XYZ Offshore, „Survey Report - N5A Platform to Riffgat Cable Route,” 2019.
- [4] Royal HaskoningDHV, „BG6396-RHD-ZZ-XX-NT-Z-0001 Pluimmodellering N05A - pijpleiding,” 2020.
- [5] N. Brooks, „Diffusion of sewage effluent in an ocean current,” in *Water disposal in the marine environmen*, 1960, pp. 247-267.
- [6] „Introduction to pipelaying, Rev.D,” 2004.
- [7] GEO XYZ Offshore, „Survey Report - N5A to NGT Hot tap,” 2019.

RAPPORT

Pluimmodellering pijpleiding

Milieueffectrapport Gaswinning N05-A

Klant: ONE-Dyas B.V.

Referentie: BG6396IBRP2010071018

Status: Definitief/2.0

Datum: 7-10-2020

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

Ondertitel: Pluimmodellering pijpleiding
Referentie: BG6396IBRP2010071018
Status: 2.0/Definitief
Datum: 7-10-2020
Projectnaam: Milieueffectrapport Gaswinning N05-A
Projectnummer: BG6396-105

Classificatie

Projectgerelateerd

Behoudens andersluidende afspraken met de Opdrachtgever, mag niets uit dit document worden vervoelvoudigd 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 persoonsgegevens van medewerkers van HaskoningDHV Nederland B.V. en dient voor publicatie of anderszins openbaar maken te worden geanonimiseerd.

Inhoud

1	Inleiding	1
1.1	Achtergrond	1
1.2	Doel van de studie	1
1.3	Leeswijzer	1
2	Achtergrondgegevens	2
2.1	Introductie	2
2.2	Tracé van de pijpleiding	2
2.3	Natuurlijke zeebodem	3
2.4	Natuurlijke sedimentconcentraties	3
2.5	Beschrijving methodiek ingraven	5
2.5.1	Algemeen	5
2.5.2	Variant 'Trenching'	5
2.5.3	Variant 'Jetten'	5
2.6	Vrijkomend sediment	6
2.6.1	Korrelgrootte en valsnelheid van vrijkomend sediment	6
2.6.2	Hoeveelheid vrijkomend sediment	6
3	Modelbeschrijving	8
3.1	Introductie	8
3.2	Model software	8
3.3	ZUNO-modelschematisatie	8
3.4	Modelscenario's	8
3.5	Toevoeging van vrijkomend fijn sediment	9
3.6	Modeluitvoer en -visualisatie	9
4	Modelresultaten	11
4.1	Introductie	11
4.2	Stromings- en golfcondities	11
4.3	Variant 'Trenching'	13
4.3.1	Slibconcentratie-kaarten	13
4.3.2	Sedimentatie-kaarten	13
4.3.3	Tijdseries	14
4.4	Variant 'Jetten'	18
4.4.1	Slibconcentratie-kaarten	18
4.4.2	Sedimentatie-kaarten	19
4.4.3	Tijdseries	20
4.5	Vergelijking tussen de varianten	23



5	Discussie	25
6	Conclusies	27
7	Referenties	28

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. Eén van de onderdelen van de voorgenomen activiteit is de aanleg van een pijpleiding vanaf het gaswinningsplatform naar de bestaande NGT-hoofdtransportleiding in de Noordzee. Deze leiding heeft een lengte van circa 15 km. De pijpleiding 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 [1]. 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 opgewoelde 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.

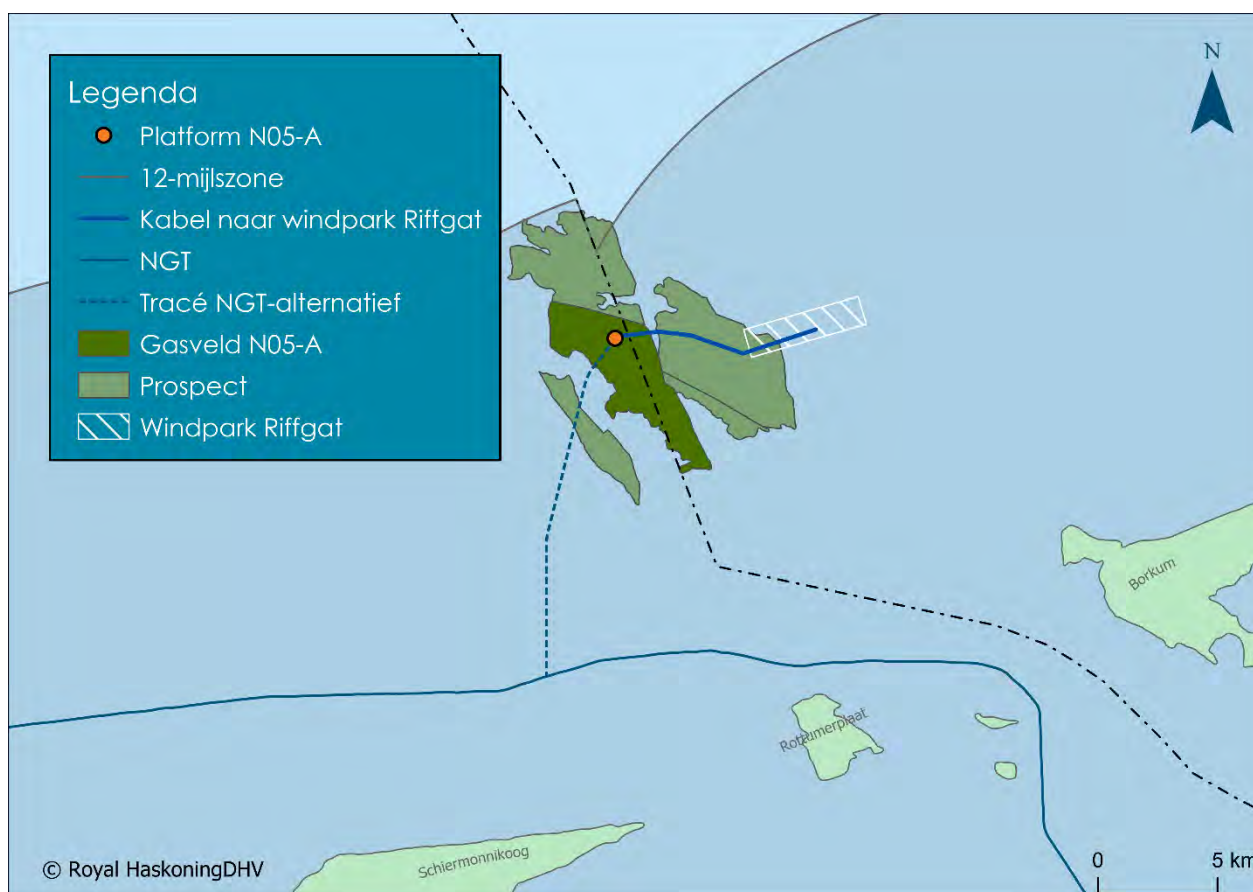
2 Achtergrondgegevens

2.1 Introductie

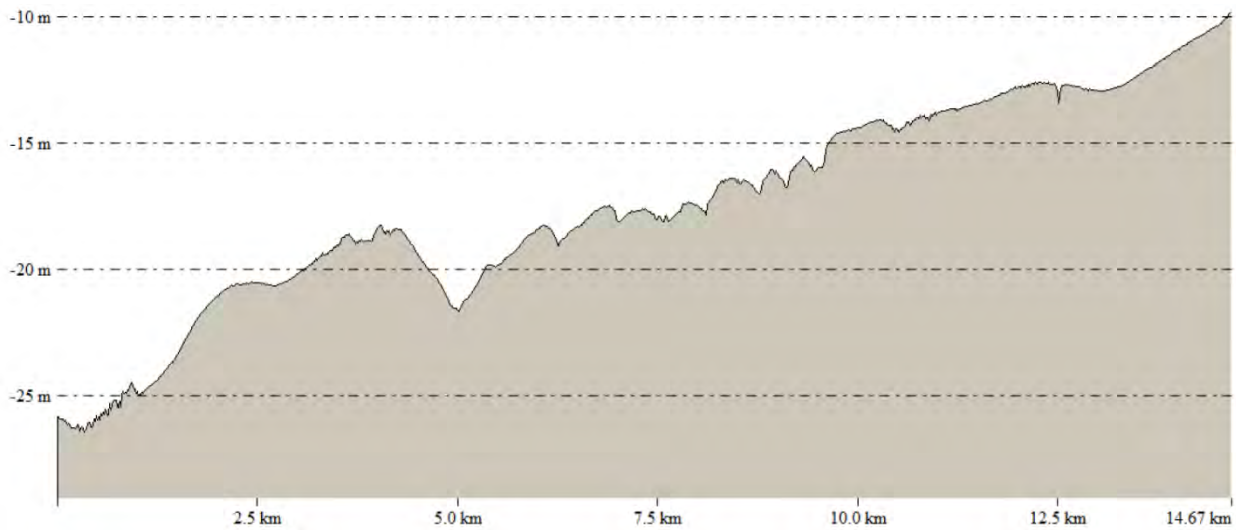
In dit hoofdstuk wordt als eerste een beschrijving gegeven van het tracé van de pijpleiding. Als tweede worden de huidige, natuurlijke situatie van de zeebodem en sedimentconcentraties langs het tracé van de pijpleiding beschreven. Als derde wordt beschreven hoe de pijpleiding in de zeebodem wordt ingegraven. Als laatste wordt beschreven hoeveel fijn sediment tijdens het ingraven van de pijpleiding in suspensie komt, wat belangrijke input is voor de pluimmodellering.

2.2 Tracé van de pijpleiding

Het tracé van de pijpleiding is getoond in Figuur 1. De pijpleiding loopt vanaf het platform N05-A richting het zuidzuidwesten en sluit daar aan op de bestaande NGT-hoofdgasleiding. De lengte van de nieuwe pijpleiding is 14,6 km. De waterdiepte in het tracé varieert van 9,8 meter in het zuiden bij de aansluiting op de NGT-leiding, tot 26,4 meter in het noorden bij de platformlocatie (Figuur 2).



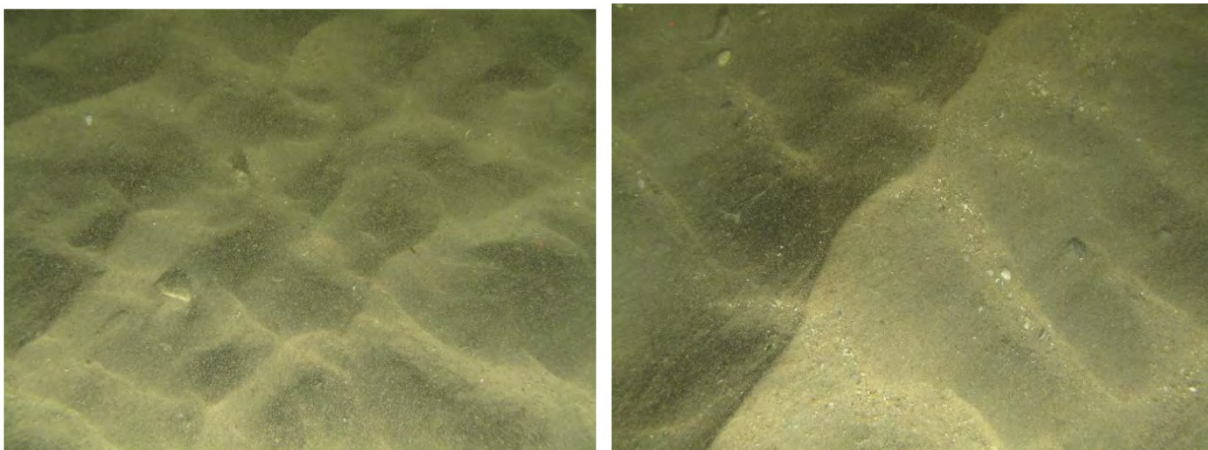
Figuur 1: Tracé van de pijpleiding en de NGT-hooftransportleiding



Figuur 2: Bathymetrie van de zeebodem langs het tracé van de pijpleiding, met links het N05-A platform en rechts de aansluiting op de NGT-hoofdtransportleiding [2]

2.3 Natuurlijke zeebodem

Langs het tracé van de pijpleiding is een onderzoek uitgevoerd naar de eigenschappen van de zeebodem [2]. Het sediment op de zeebodem varieert van fijn tot middel grof zand, met stukken zand en klei met grind en schelpfragmenten. Op foto's van de zeebodem zijn duidelijke zandribbels van ongeveer enkele centimeters hoog op de zeebodem te zien, wat een indicatie is dat het zand relatief 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 [2]

2.4 Natuurlijke sedimentconcentraties

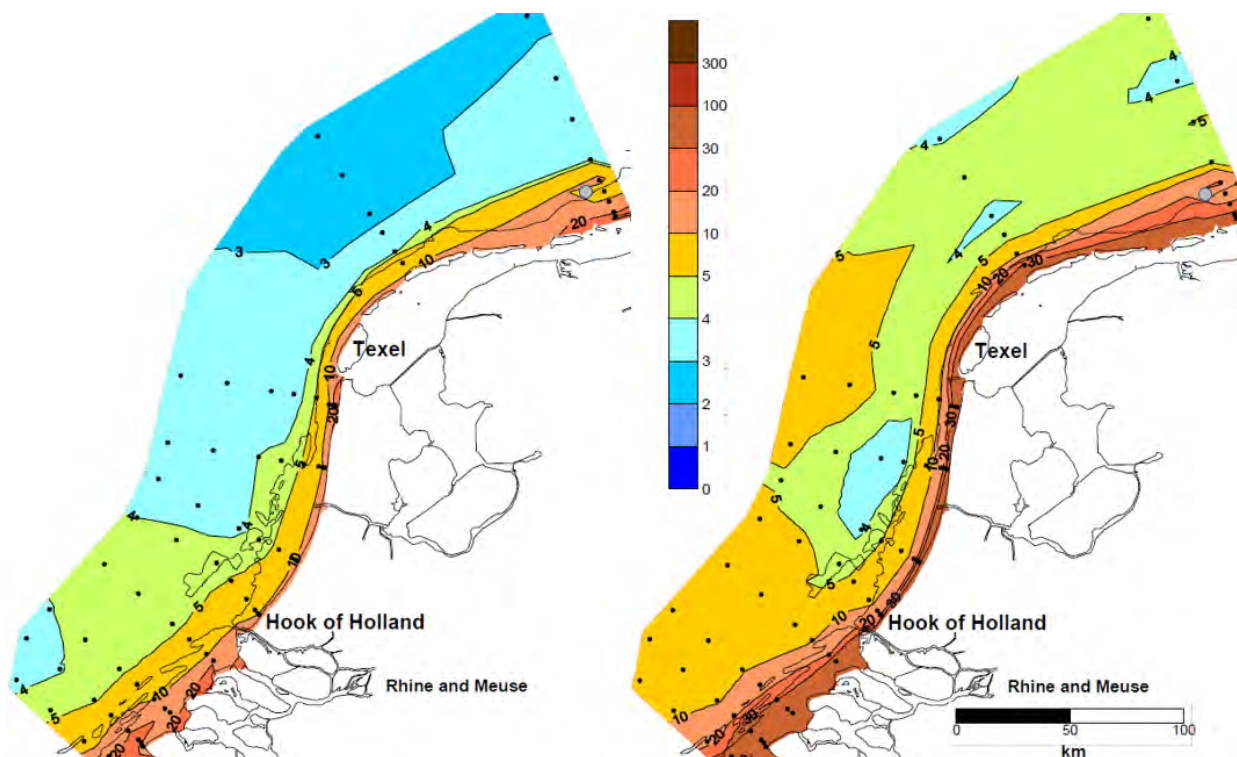
De gemiddelde natuurlijke slibconcentraties aan het wateroppervlak in de zomer en de winter in de kustzone is weergegeven in Figuur 4. Deze kaarten tonen een sterke ruimtelijke gradiënt in slibconcentratie langs de kust, met slibconcentraties van 3 tot 100 mg/l binnen een afstand van vijftig kilometer 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 [1] en RIKZ-rapportage van gemeten slibconcentraties [3] is een uitgebreidere beschrijving van de variaties in slibconcentraties gegeven, waarbij o.a. 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 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 [3]. De platformlocatie is weergegeven met een grijze stip

2.5 Beschrijving methodiek ingraven

2.5.1 Algemeen

Uit 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*. In de volgende paragrafen wordt een uitleg gegeven van deze methoden van ingraven.

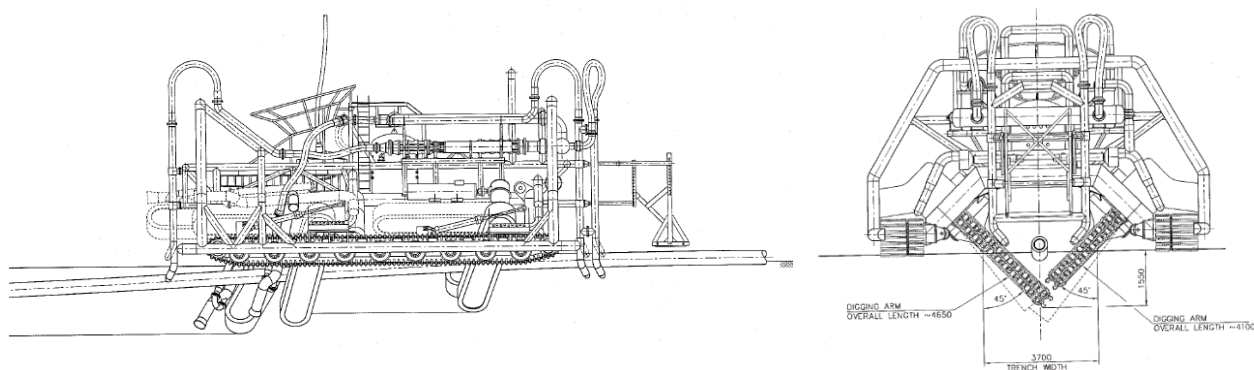
Bij beide varianten wordt de pijpleiding eerst op de zeebodem gelegd met een speciaal schip en vervolgens wordt de pijpleiding ingegraven.

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 kuub 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 ('fluidiseren'). 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 versterking 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 dat het jetten, waardoor bij het trenchen minder fijn sediment wordt opgewoeld dan bij het jetten.

De grove sedimentfracties, bijvoorbeeld het grove zand, wordt tijdens het graven van de sleuf wel verplaatst maar wordt niet opgewoeld. Het 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 middel van wegblazen. 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 anders ingesteld worden. De modellering betreft daarvoor 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, dus de massa van het sediment dat per seconde vrijkomt in de periode dat in een sectie gegraven wordt.

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

Doorsnede		Doorsnede	
Volume grond per m trace [m3/m]	3.00	Volume grond per m trace [m3/m]	2.30
Volume totaal trace [m3]	44086.83	Volume totaal trace [m3]	33799.90
Volume per bron [m3]	918.48	Volume per bron [m3]	704.16

Tijd		Tijd	
Snelheid kar [km/uur]	0.25	Snelheid kar [km/uur]	0.175
Snelheid kar [m/s]	0.07	Snelheid kar [m/s]	0.05
Tijd per bron [s]	4408.68	Tijd per bron [s]	6298.12

Source term		Source term	
Dichtheid [kg/m3]	1000	Dichtheid [kg/m3]	1000
Gewicht per bron [kg]	918476	Gewicht per bron [kg]	704165
Percentage fractie 1 [%]	11	Percentage fractie 1 [%]	11
Percentage fractie 2 [%]	11	Percentage fractie 2 [%]	11
Percentage fractie 3 [%]	11	Percentage fractie 3 [%]	11
Percentage in suspensie [%]	50	Percentage in suspensie [%]	100
Gewicht fractie 1 per bron [kg]	50516.2	Gewicht fractie 1 per bron [kg]	77458.1
Gewicht fractie 2 per bron [kg]	50516.2	Gewicht fractie 2 per bron [kg]	77458.1
Gewicht fractie 3 per bron [kg]	50516.2	Gewicht fractie 3 per bron [kg]	77458.1
Bronterm fractie 1 [kg/s]	11.5	Bronterm fractie 1 [kg/s]	12.3
Bronterm fractie 2 [kg/s]	11.5	Bronterm fractie 2 [kg/s]	12.3
Bronterm fractie 3 [kg/s]	11.5	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 [1].

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 rekenroostercel. 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 [1] 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. Ook in de praktijk worden pijpleidingen meestal gelegd in 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

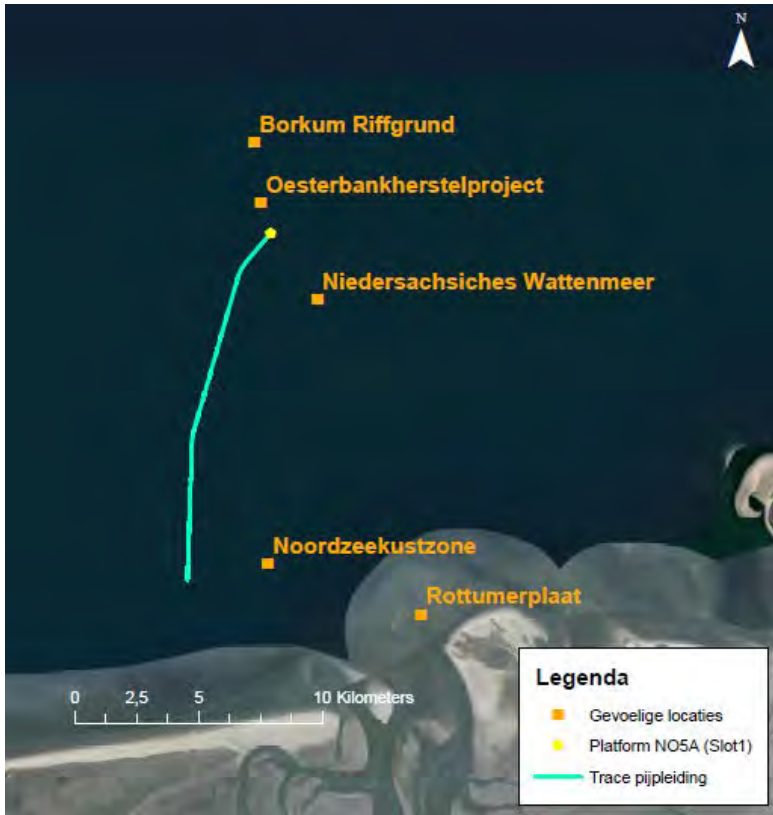
Langs het tracé van de leiding zijn 48 brontermen voor het vrijkomende fijne sediment gemodelleerd, ongeveer om de 300 meter. Iedere bronterm vertegenwoordigt het sediment dat vrijkomt in de betreffende sectie van 300 meter. Achtereenvolgens komt fijn sediment vrij langs het tracé. De tijdsduur van elke 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 bij het platform: Sectie 1 is dus het meest noordelijke lozingspunt, en Sectie 48 het meest zuidelijke. Bij het trenchen komt het sediment vrij vlakbij de bodem, 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 toegevoegd in laag 10 (vlakbij het platform), laag 9 of laag 8 (meest zuidelijke 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, de Noordzeekustzone en Rottumerplaat.



Figuur 7: Locaties van de modeluitvoerpunten langs de gevoelige natuurgebieden

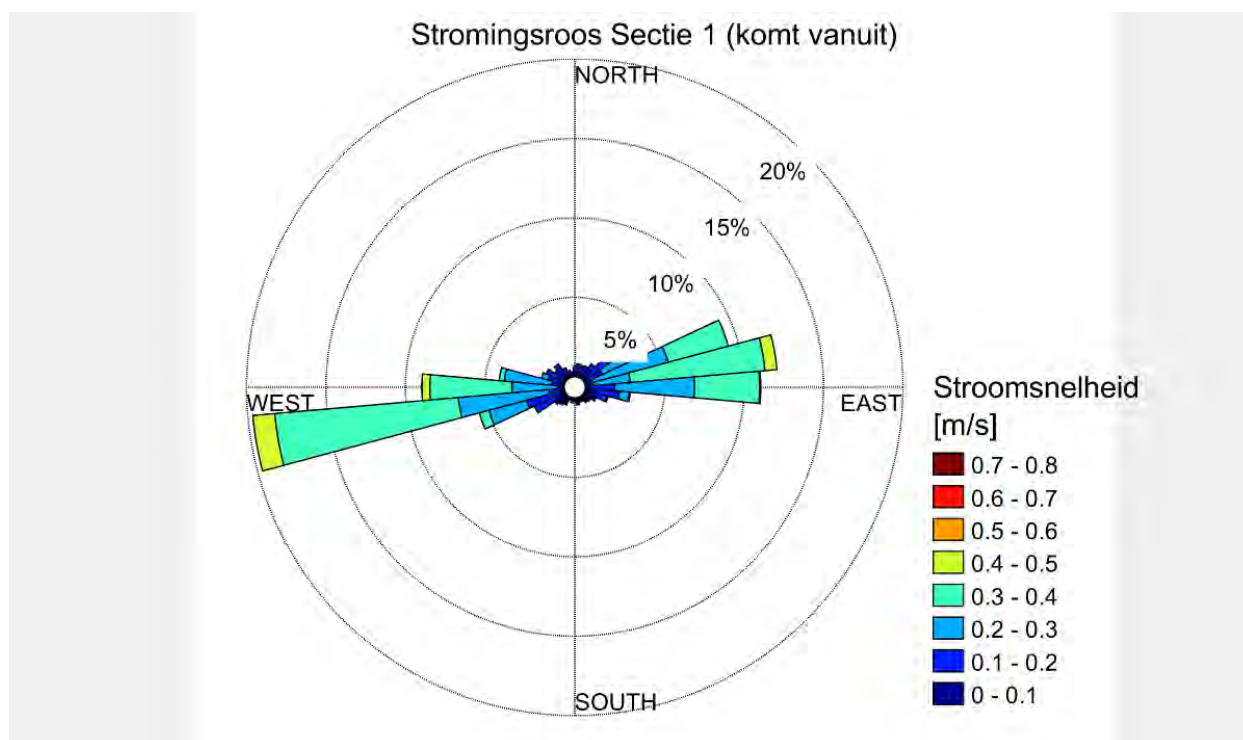
4 Modelresultaten

4.1 Introductie

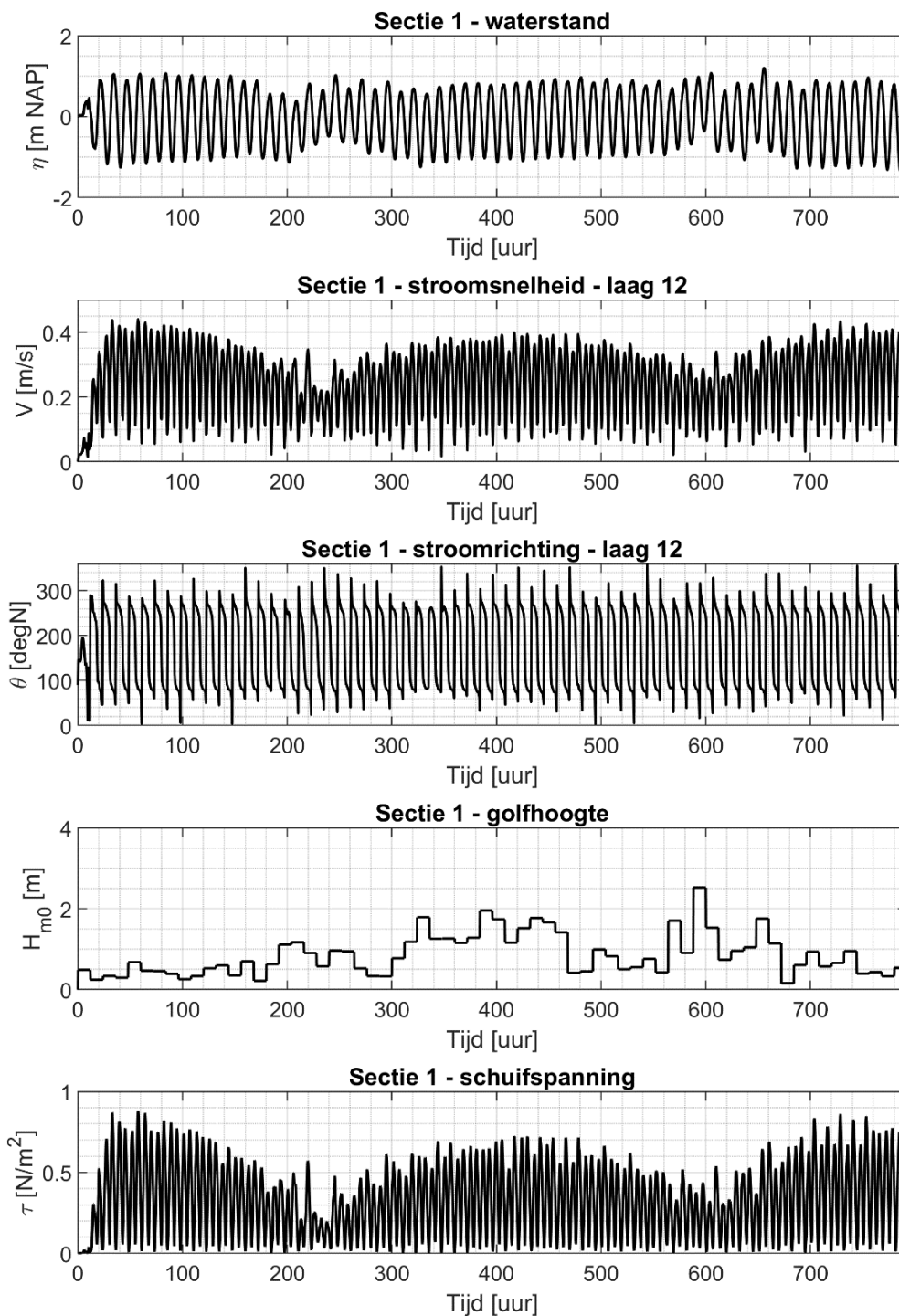
In dit hoofdstuk worden de resultaten van de pluimmodellering getoond. Hierbij worden eerst kort de stromings- en golfcondities in de simulatieperiode besproken. Daarna worden de resultaten voor het mechanisch trenchen gepresenteerd, en vervolgens de resultaten voor het jetten. In de laatste paragraaf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



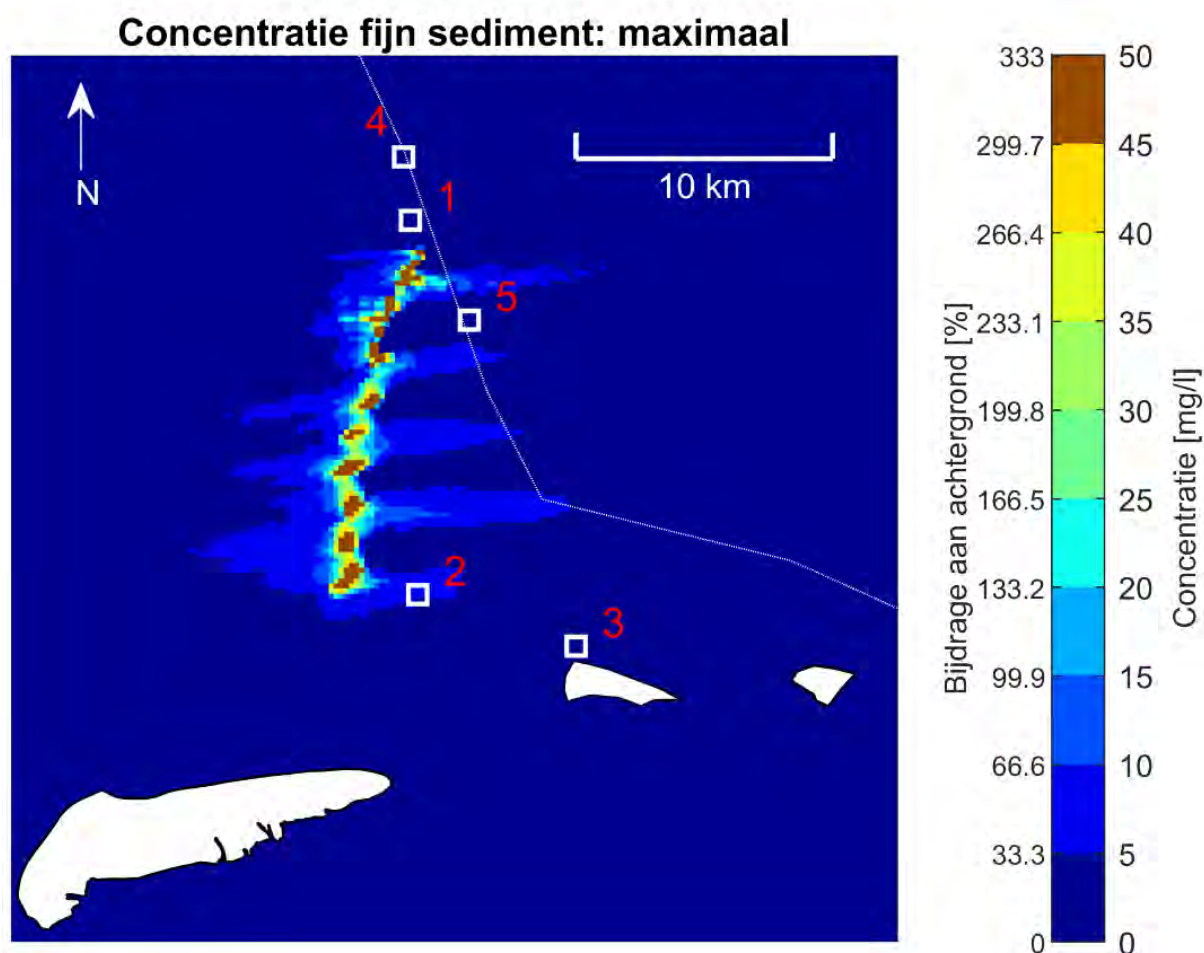
Figuur 9: Waterstand, stroomsnelheid en stroomrichting in de onderste laag van het model, de golfhoogte en de bodemschuifspanning gedurende de simulatie, ter hoogte van Sectie 1

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.

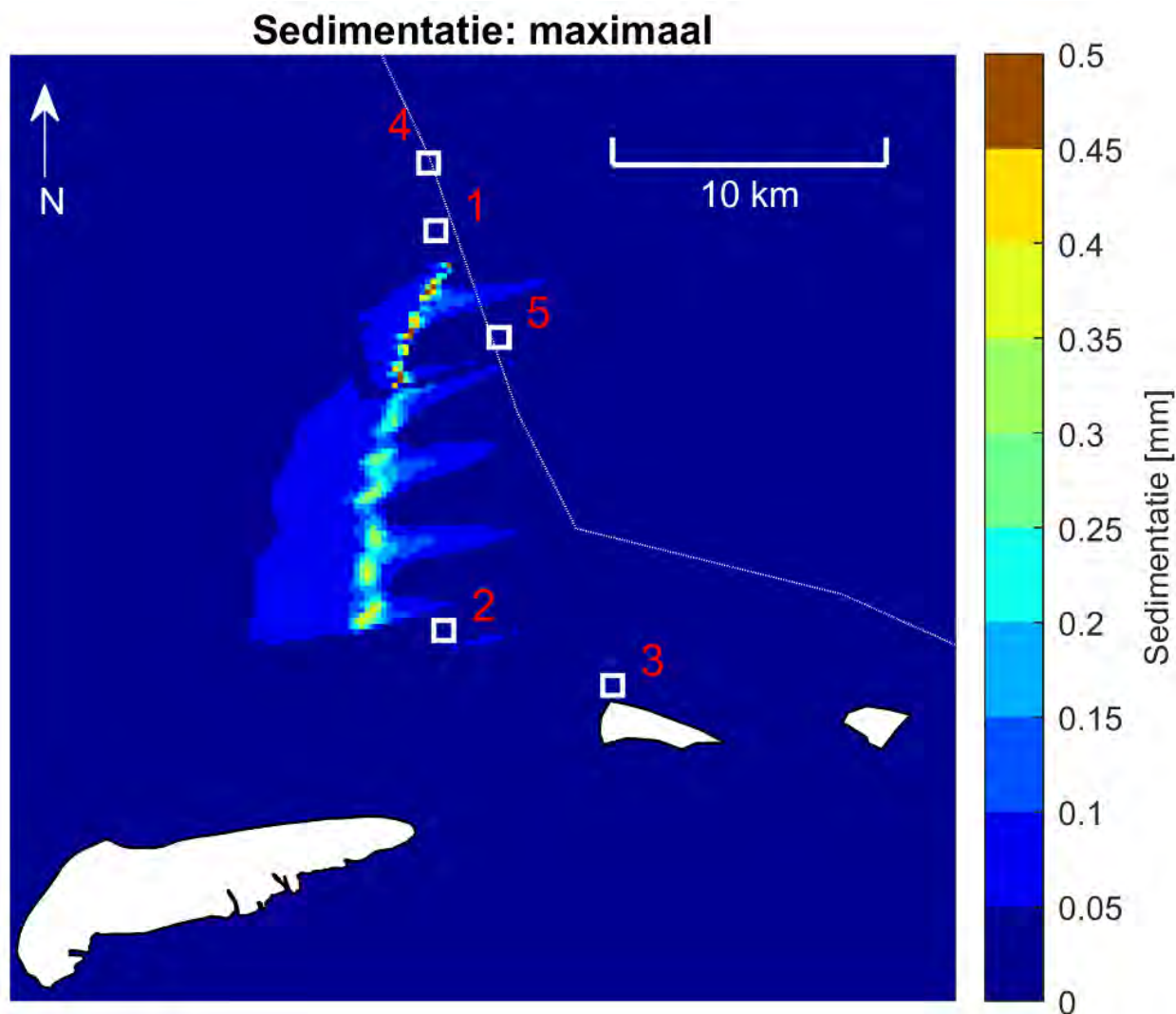


Figuur 10: Maximale concentratie fijn materiaal en de maximale bijdrage ten opzichte van de achtergrondconcentratie van 15 mg/l over de gehele waterkolom gedurende de simulatie. De gevoelige locaties zijn aangegeven met witte vierkantjes en een nummer (1 = oesterbankherstelproject, 2= Noordzeekustzone,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

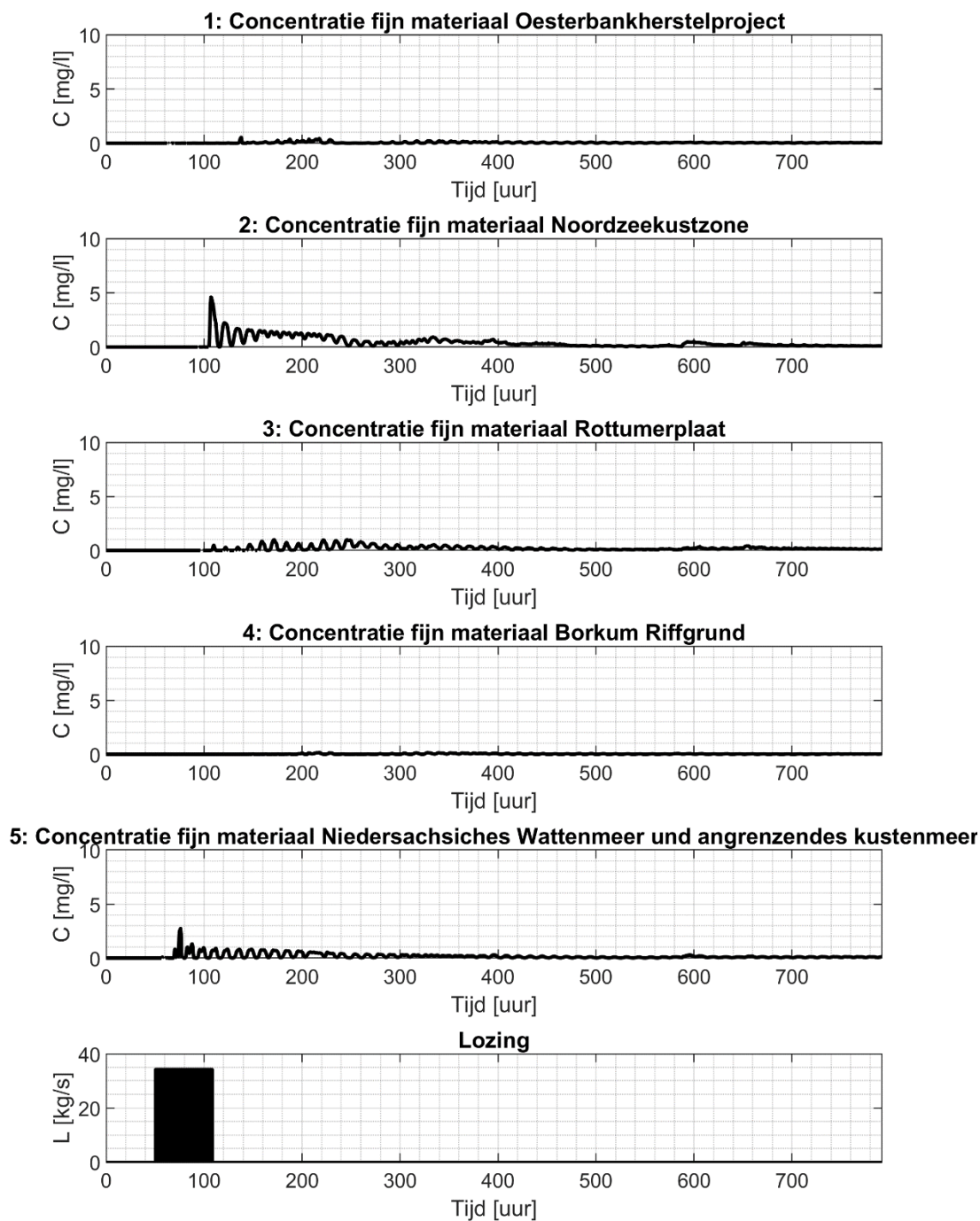
4.3.3 Tijdseries

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 / Borkumse Stenen.

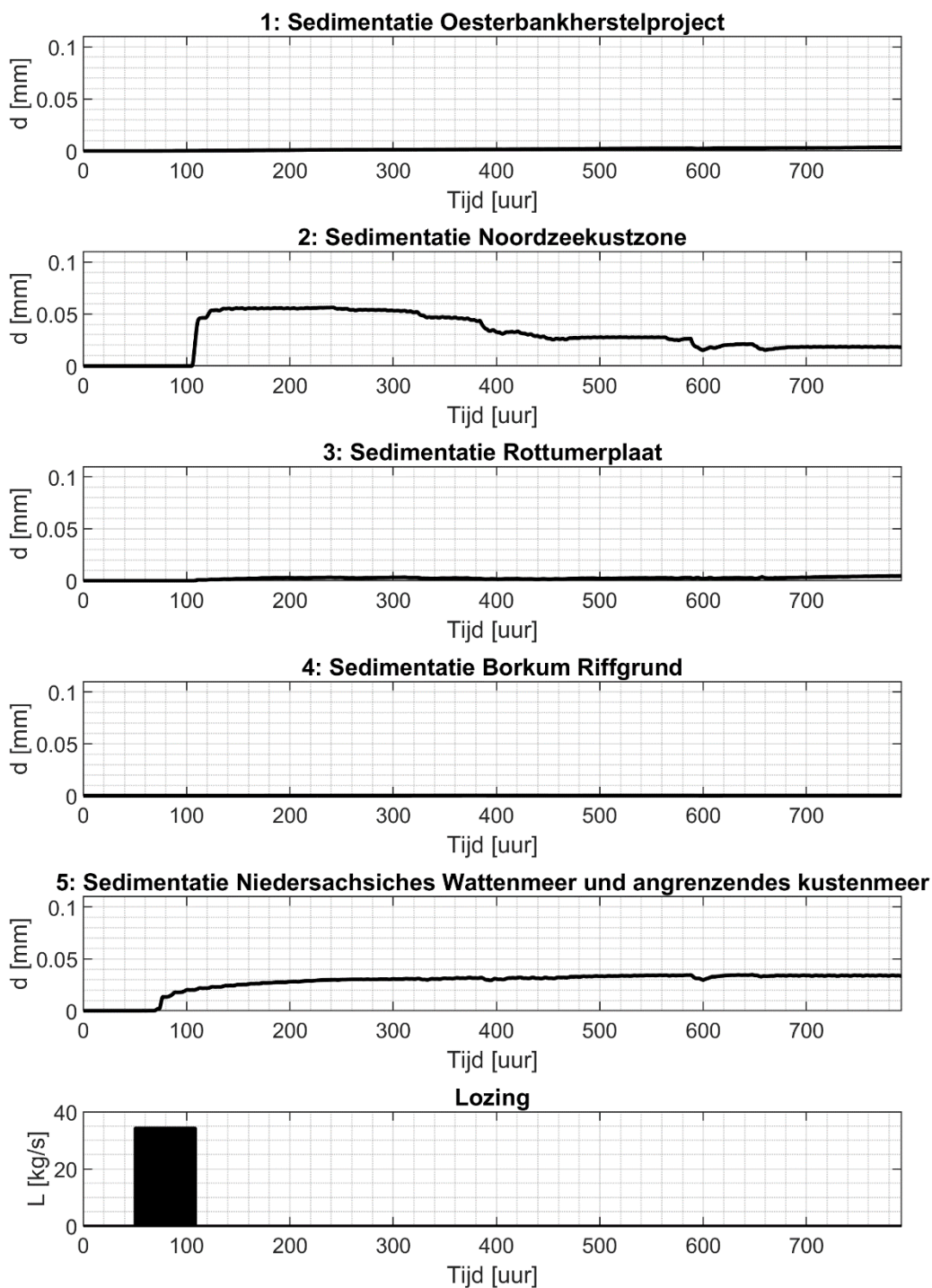
De concentraties geven de maximale concentratie over de waterkolom aan. Ter illustratie is de lozing over de tijd toegevoegd. De maximale concentratie bij de Noordzeekustzone is circa 5 mg/l, de maximale sedimentatie is hier 0,06 mm. Dit blijft gedurende 200 uur redelijk constant en neemt daarna licht af. Rond deze periode zien we ook een lichte toename in de concentratie.

Bij Niedersächsisches Wattenmeer und angrenzendes Küstenmeer is de maximale concentratie circa 3 mg/l. De sedimentatie neemt hier toe tot 0,04 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 beoordeelde punt in het Niedersächsisches Wattenmeer und angrenzendes Küstenmeer bevindt zich op een diepte van circa 21 m, het beoordeelde punt bij de Noordzeekustzone op een diepte van circa 9 m.

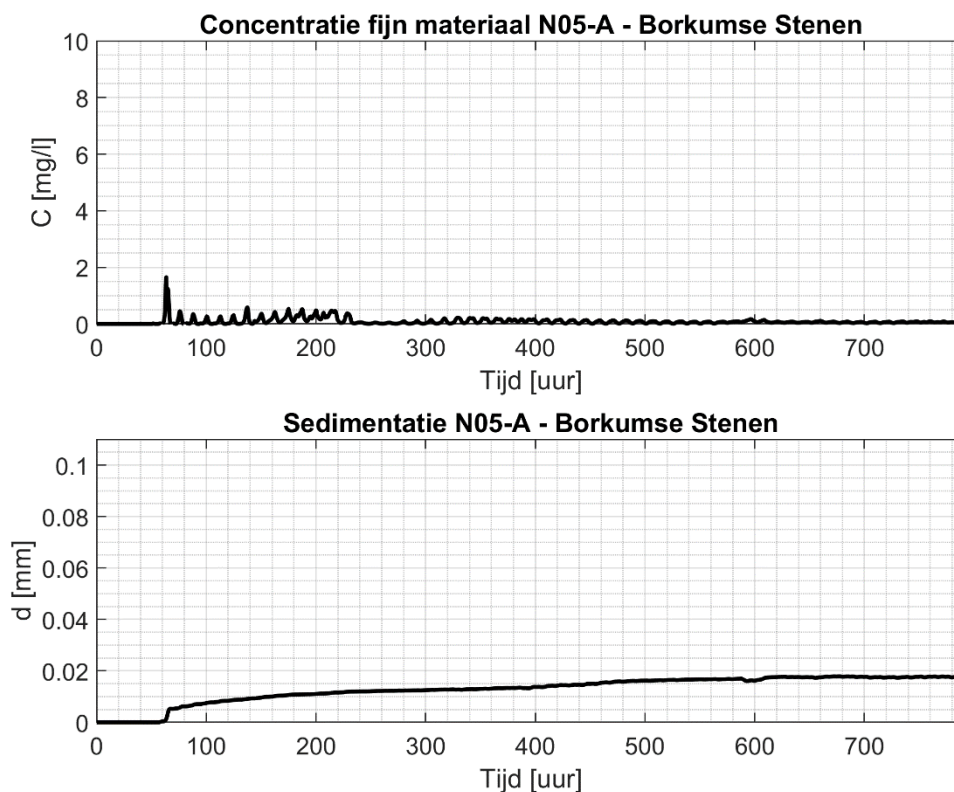
Op ondieper water hebben golven en stroming meer invloed op de bodem en is de bodemschuifspanning hoger: een deel van het gesedimenteerde materiaal erodeert weer. Bij het N05-A-platform en de Borkumse Stenen is de maximale concentratie circa 2 mg/l, de sedimentatie is 0,02 mm. Bij de overige locaties 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



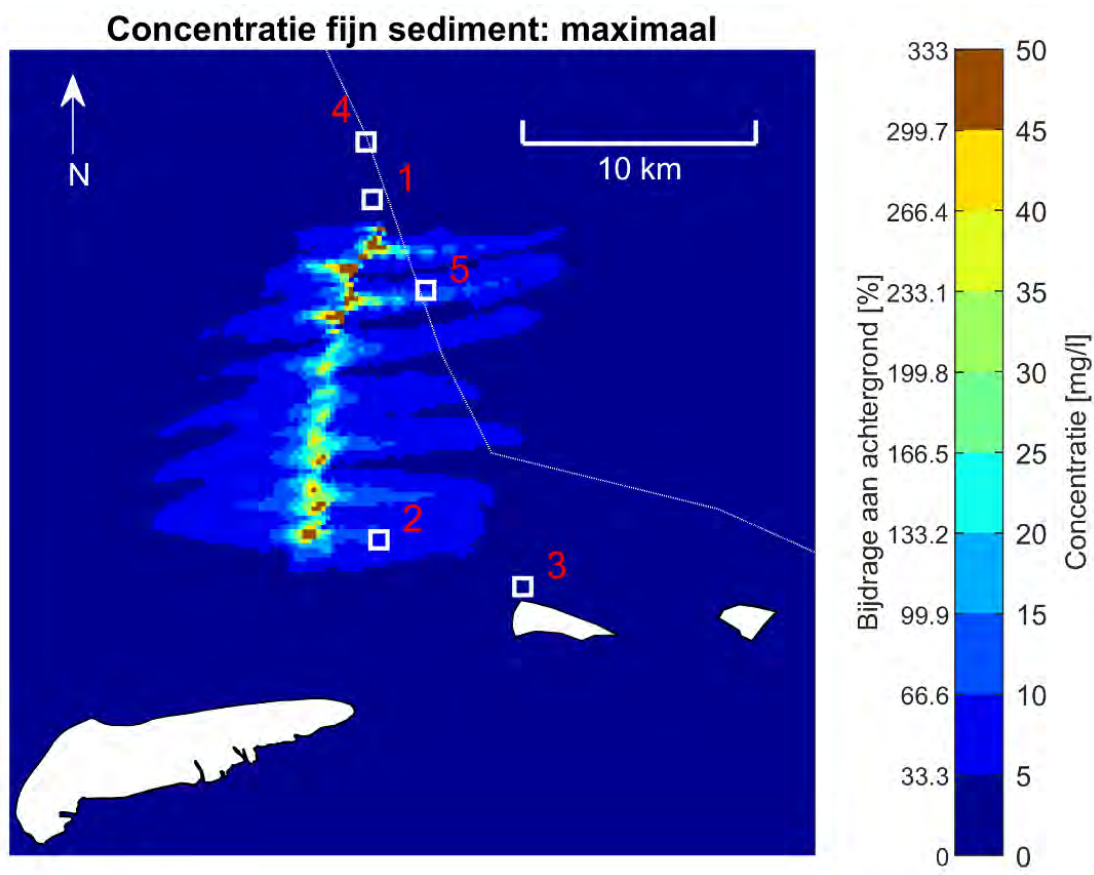
Figuur 14: Maximale concentratie fijn sediment over de waterkolom en sedimentatie ter plaatse van het N05-A platform en de Borkumse Stenen

4.4 Variant 'Jetten'

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

4.4.1 Slibconcentratie-kaarten

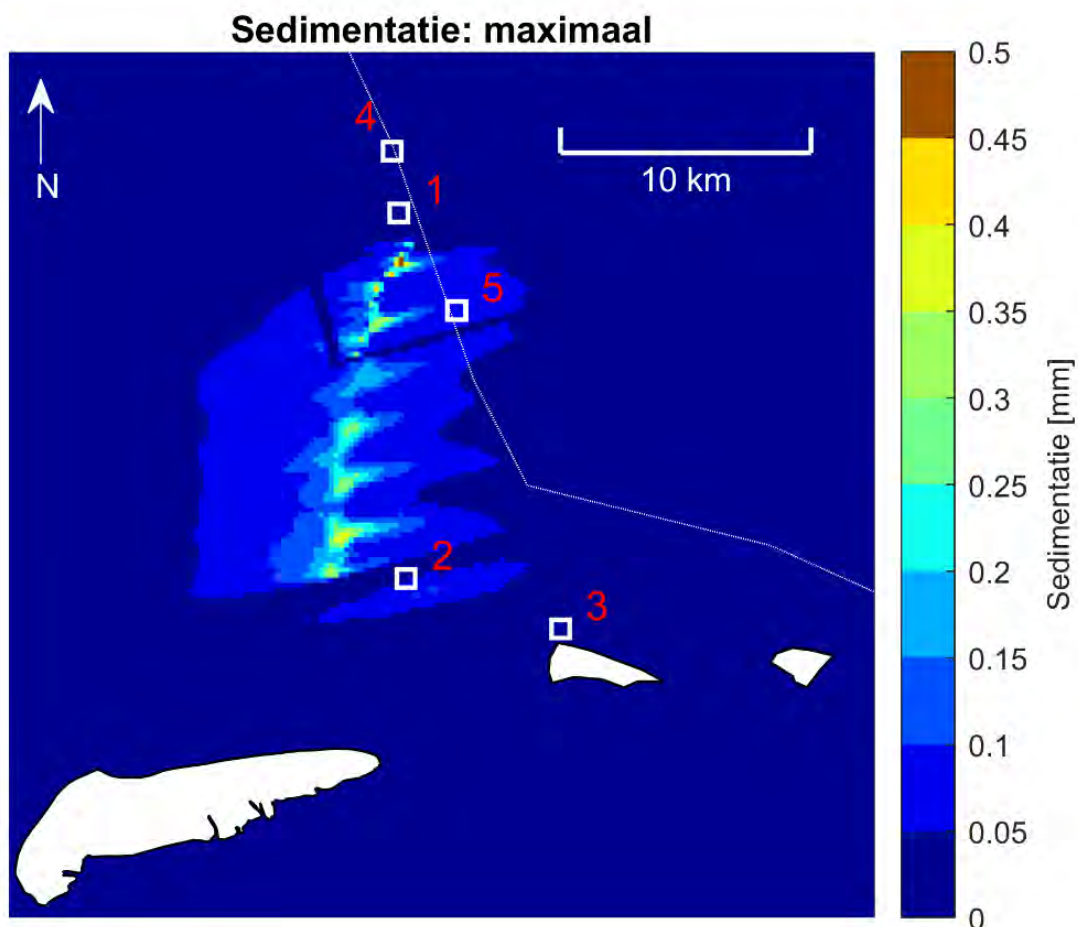
In Figuur 15 is de maximale concentratie fijn materiaal gedurende de simulatie over de gehele waterkolom te zien. Dit is de extra concentratie als gevolg van het jetten, de achtergrondconcentratie is hierin niet meegenomen. De percentuele bijdrage van de extra concentratie ten opzichte van een achtergrondconcentratie 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), 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.

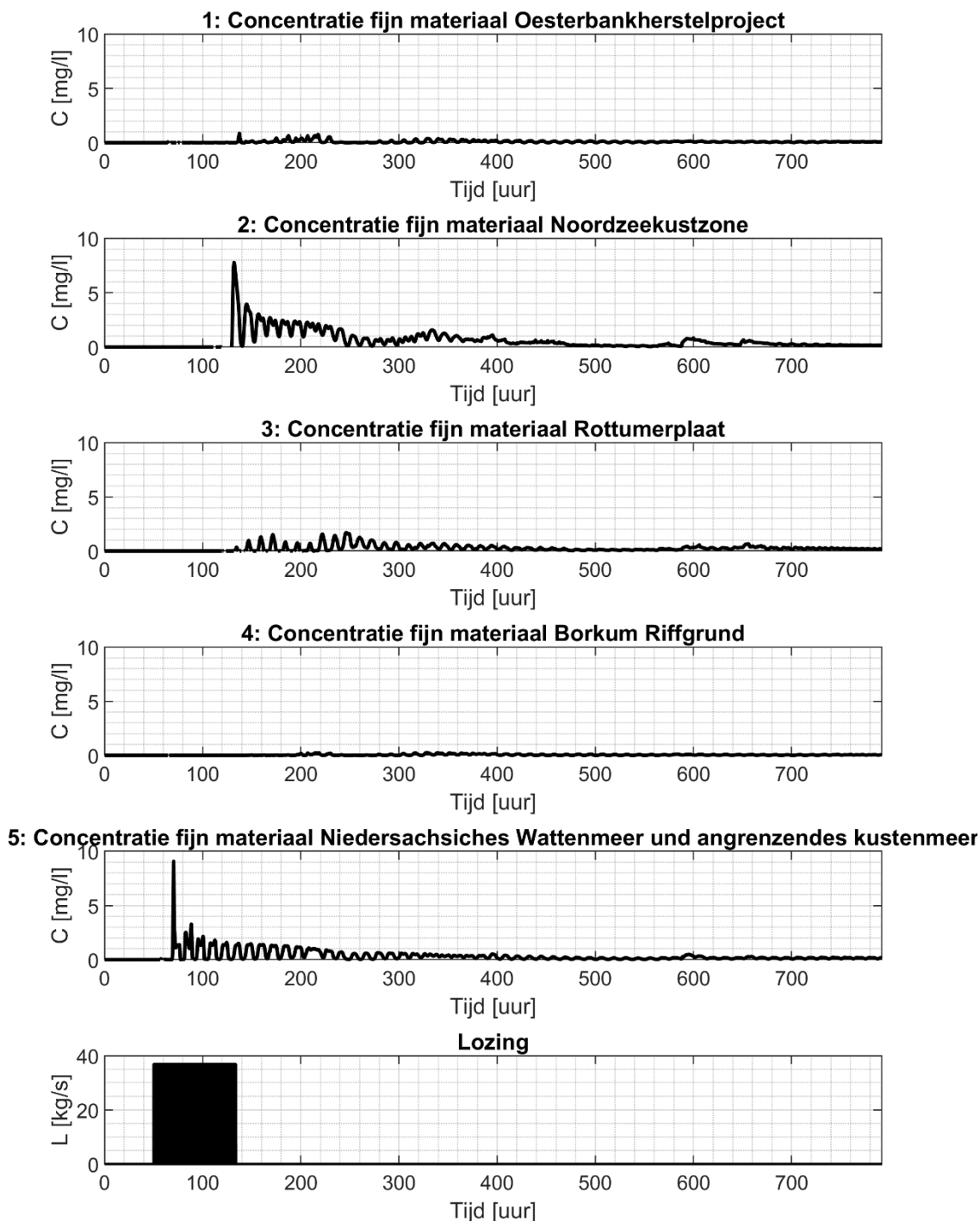


Figuur 16: Maximale sedimentatie van fijn materiaal gedurende de simulatie. De gevoelige locaties zijn aangegeven met witte vierkantjes en een nummer (1 = oesterbankherstelproject, 2= Noordzeekustzone, 3 = Rottumerplaat, 4 = Borkum Riffgrund, 5 = Niedersächsisches Wattenmeer und angrenzendes Küstenmeer),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

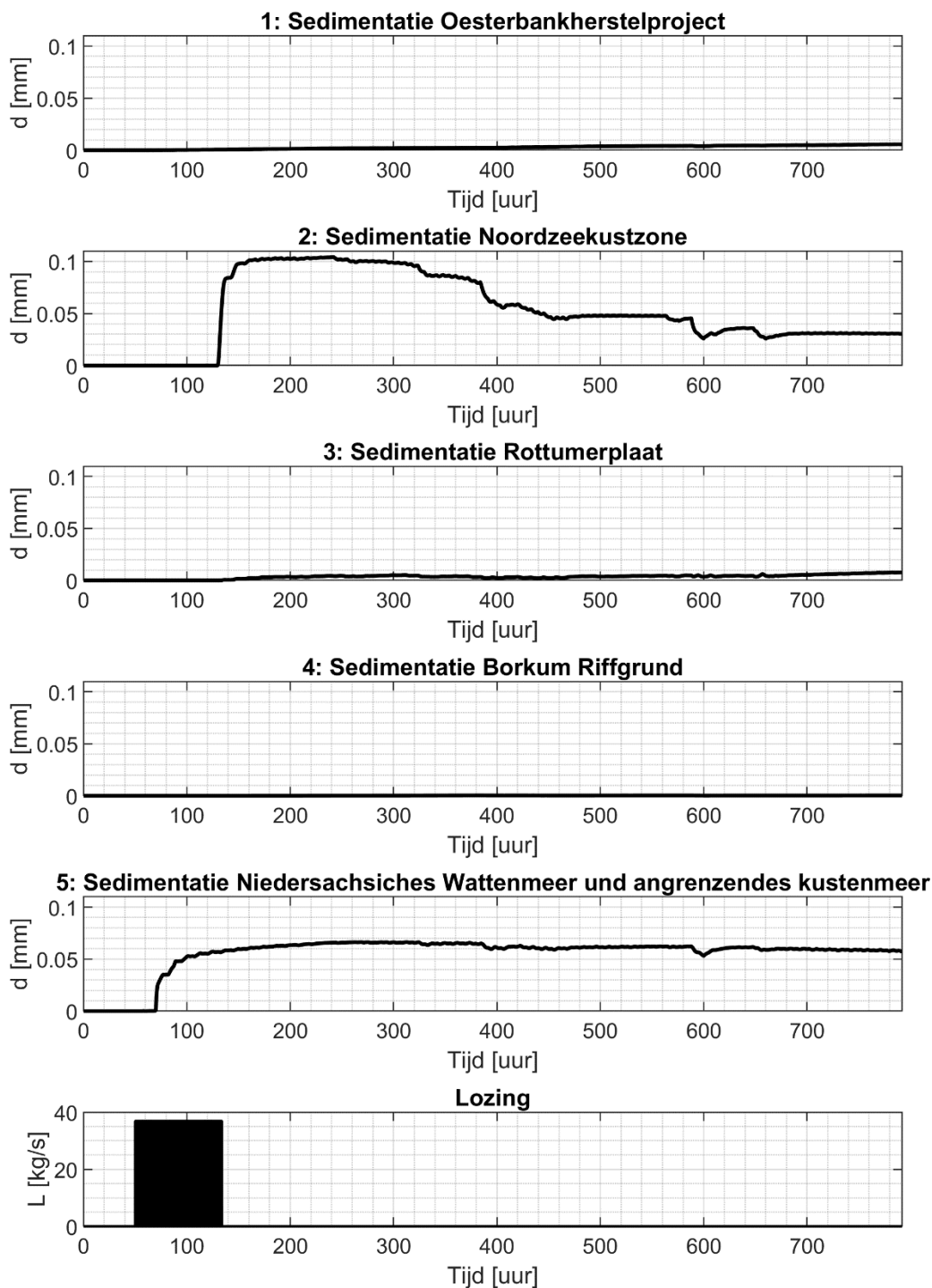
4.4.3 Tijdseries

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 / Borkumse Stenen.

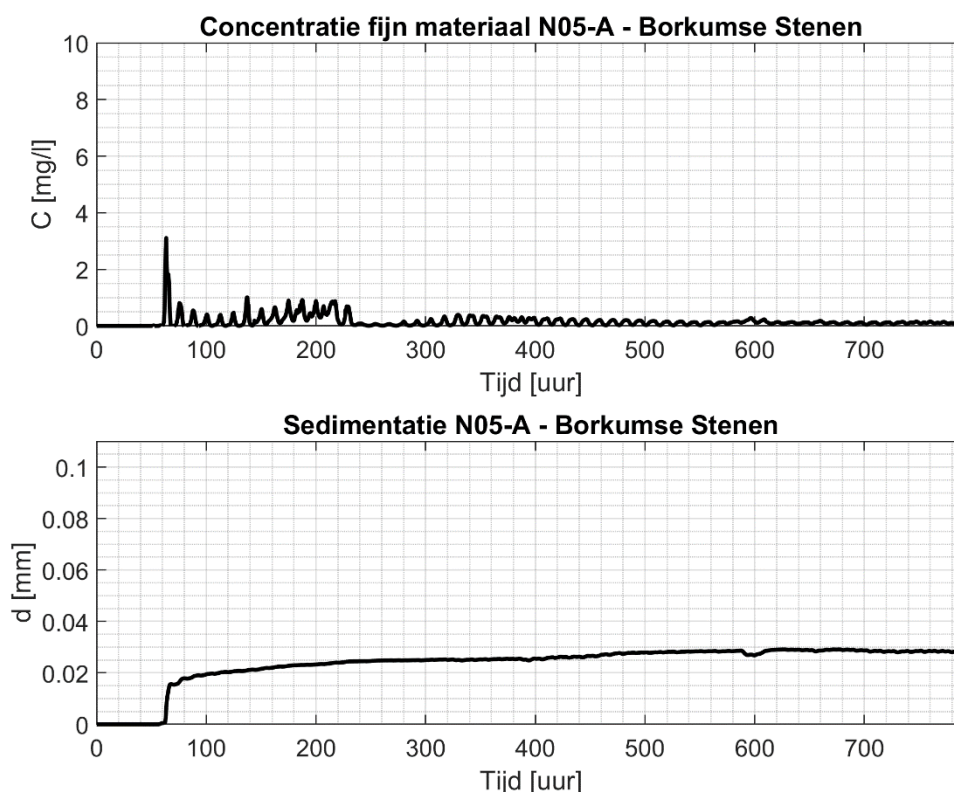
De concentraties geven de maximale concentratie over de waterkolom aan. Ter illustratie is de lozing over de tijd toegevoegd. De maximale concentratie bij de Noordzeekustzone is circa 8 mg/l, de maximale sedimentatie is hier 0,1 mm. Dit blijft gedurende 200 uur redelijk constant en neemt daarna licht af. Rond deze periode zien we ook een lichte toename in de concentratie. Bij Niedersächsisches Wattenmeer und angrenzendes Küstenmeer is de maximale concentratie circa 9 mg/l. De sedimentatie neemt hier toe tot 0,07 mm en blijft redelijk constant. Bij het N05-A-platform en de Borkumse Stenen is de maximale concentratie circa 3 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 en de Borkumse Stenen

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 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	0,5	0,9	<0,01	0,01
Noordzeekustzone	4,6	7,8	0,06	0,10
Rottumerplaat	1,0	1,7	<0,01	0,01
Borkum Riffgrund	0,2	0,2	<0,01	<0,01
Niedersächsisches Wattenmeer und angrenzendes Küstenmeer	2,7	9,1	0,03	0,07
N05-A / Borkumse Stenen	1,7	3,1	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 (welke 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 in 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 ingravingsproces 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 maakt namelijk een verschil of gestart wordt met ingraven tijdens eb, vloed of kentering. Aangezien per sectie van de leiding maar circa een uur geloozd 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 doottij. Om de 14 dagen treedt springtij op, om de 14 dagen doottij. 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 welke 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 ordegrrootte 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. 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	
	Variant 'Trenching'	Variant 'Jetten'
Oesterbankherstelproject	3	6
Noordzeekustzone	31	52
Rottumerplaat	7	11
Borkum Riffgrund	1	1
Niedersächsisches Wattenmeer und angrenzendes Küstenmeer	18	61
N05-A / Borkumse Stenen	11	21

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 nog 0,03 mm voor de variant '**Trenching**' en 0,07 mm voor de variant '**Jetten**'. Bij de Noordzeekustzone is dit respectievelijk 0,06 mm (trenchen) en 0,10 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 variant '**Jetten**' dan in de variant '**Trenching**'. Een reden hiervoor is dat in de variant '**Jetten**' per strekkende meter meer fijn sediment in suspensie wordt gebracht. Een andere reden is dat het fijne sediment in de variant '**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.

RAPPORT

Morfologische effecten van platform, steenbestorting en boorgruis

Milieueffectrapport Gaswinning N05-A

Klant: ONE-Dyas B.V.

Referentie: BG6396IBRP2010071021

Status: Definitief/2.0

Datum: 7-10-2020

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: Morfologische effecten van platform, steenbestorting en boorgruis

Ondertitel: Morfodynamiek nabij platform
Referentie: BG6396IBRP2010071021
Status: 2.0/Definitief
Datum: 7-10-2020
Projectnaam: Milieueffectrapport Gaswinning N05-A
Projectnummer: BG6396-105

Classificatie

Projectgerelateerd

Behoudens andersluidende afspraken met de Opdrachtgever, mag niets uit dit document worden veelevoudigd 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 persoonsgegevens van medewerkers van HaskoningDHV Nederland B.V. en dient voor publicatie of anderszins openbaar maken te worden geanonimiseerd.

Inhoud

1	Inleiding	1
1.1	Achtergrond	1
1.2	Methodiek	2
1.3	Leeswijzer	2
2	Beschrijving huidige condities	3
2.1	Inleiding	3
2.2	Stromings- en golfcondities	3
2.2.1	Stroming	3
2.2.2	Golven	4
2.2.3	Sedimenteigenschappen	6
3	Lokale morfologische effecten	8
3.1	Inleiding	8
3.2	Beschrijving	8
3.2.1	Platform	8
3.2.2	Steenbestorting	9
3.2.3	Lozing van boorgruis	11
3.3	Verwachte morfologische effecten	13
3.3.1	Boorplatform, productieplatform en steenbestorting	13
3.3.2	Boorgruis	13
3.3.2.1	Uitzakken van het boorgruis	13
3.3.2.2	Transport van boorgruis over de zeebodem	17
4	Conclusies en aanbevelingen	21
5	Referenties	22

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

ONE-Dyas is een Nederlands bedrijf dat zich richt op het zoeken naar en het produceren van aardgas uit velden in het Nederlandse, Duitse, Britse en Noorse deel van de Noordzee. In 2017 heeft een consortium van de gasproducenten ONE-Dyas en Hansa Hydrocarbons Limited samen met EBN B.V. een gasveld (N05-A) gevonden binnen het zogenaamde GEMS¹-gebied. Het GEMS-gebied omvat een cluster van (mogelijke) gasvelden dat zich uitstrekt over het deel van de Nederlandse en Duitse Noordzee ten noorden van de monding van de Eems (zie Figuur 1).



Figuur 1: Ligging van veld N05-A, inclusief de beoogde platformlocatie en de vanaf deze locatie aan te boren prospects.

Dit gaswinningsproject omvat onder andere de plaatsing een tijdelijk boorplatform en een productieplatform op de zeebodem en steenbestorting rondom de verankeringspoten van het boor- en productieplatform.

Het doel van deze studie is om de lokale morfologische effecten van het gaswinningsproject te voorspellen. Hierbij spelen de lokale effecten van het boorplatform, het productieplatform, de steenbestorting en het geloosde boorgruis op de stroming en het sedimenttransport een belangrijke rol.

¹ GEMS is een afkorting van "Gateway to the Ems".

In dit document wordt een beschrijving en voorspelling gegeven van de morfologische effecten van de aanwezigheid van het platform, de steenbestorting en het boorgruis. Daarnaast wordt een voorspelling gegeven van hoe het boorgruis naar de zeebodem zakt, waar het vervolgens terecht komt en hoe het onder invloed van stroming en golven wordt verplaatst en verspreid over de zeebodem.

In het MER worden verschillende varianten beschouwd. In één van de varianten wordt gedurende de boorfase boorgruis en -spoeling op waterbasis in zee geloosd. Dit is de variant '**Lozing boorgruis en -spoeling**'. In een andere variant wordt boorgruis en -spoeling op waterbasis per schip afgevoerd naar een verwerkingslocatie op land. Dit is de variant '**Afvoer boorgruis en -spoeling**'. Deze studie heeft betrekking op de sedimentatie als gevolg van het lozen van het boorgruis en de boorspoeling op waterbasis in deze variant.

In de variant '**Afvoer boorgruis en -spoeling**' is deze sedimentatie niet aan de orde. Deze variant wordt dan ook niet verder beschouwd. De overige varianten hebben geen invloed op de morfologische effecten en worden in deze studie niet beschouwd.

Voor variant '**Lozing boorgruis en -spoeling**' zijn de verspreiding van de te lozen boorspoeling en sedimentatie van het fijnkorrelige bariet en bentoniet uit de boorspoeling bepaald in een aparte pluimstudie (bijlage M3 van Deel 2: Milieueffecten).

1.2 Methodiek

De voorspellingen van de morfologische effecten in dit document zijn gebaseerd op diverse eerdere studies, conceptuele modellen en vereenvoudigde berekeningen.

1.3 Leeswijzer

In Hoofdstuk 2 wordt een kort overzicht gegeven van de belangrijkste natuurlijke processen en eigenschappen van het natuurlijke sediment op de zeebodem. In Hoofdstuk 3 wordt vervolgens een beschrijving gegeven van de niet-natuurlijke elementen, namelijk het platform, de steenbestorting en de lozing van boorgruis. Daarna wordt in Hoofdstuk 3 een inschatting gemaakt van de lokale morfologische effecten van het platform en steenbestorting, en van het uitzakken en sedimenteren van het boorgruis. In hoofdstuk 4 worden de belangrijkste conclusies en aanbevelingen gedaan.

2 Beschrijving huidige condities

2.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt een samenvatting gegeven van de belangrijkste eigenschappen van de zeebodem ter plekke van het boor- en productieplatform. Daarnaast wordt een kort overzicht gegeven van de golf- en stromingscondities, aangezien deze processen het sedimenttransport sturen en het uitzakken van boorgruis beïnvloeden.

2.2 Stromings- en golfcondities

2.2.1 Stroming

De stromings- en golfcondities zijn beschreven in de rapportage van de pluimstudie (bijlage M3 in Deel 2: Milieueffecten) en rapportage van de ontwerpcondities (Fugro, 2019)².

Getijde is een belangrijk aandrijvingsmechanisme voor de stroming. Het hoogteverschil tussen eb en vloed is circa drie meter. De getijdestroming draait elke zes uur, van eb naar vloed en andersom. Als gevolg van de grootschalige stromingscirculatie in de Noordzee is de vloedstroming richting het oosten iets sterker dan de ebstroming richting het westen.

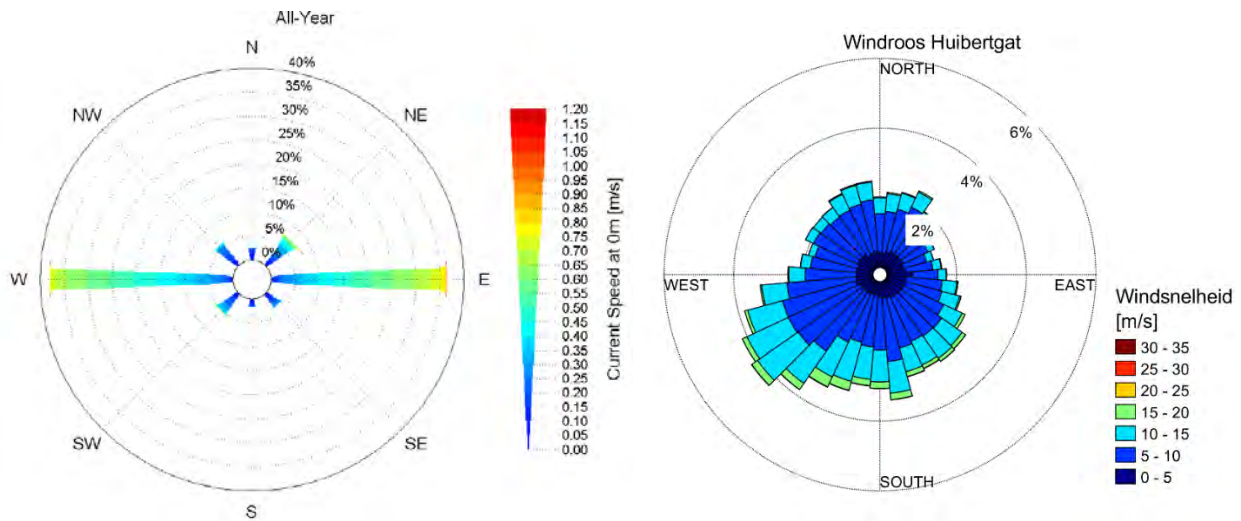
Dicht bij de kust is daarnaast ook sprake van in- en uitstroming tussen de Waddeneilanden als gevolg van het getijde, wat een rol zou kunnen spelen in het zuidelijke deel van het tracé van de pijpleiding. De maximale stroomsnelheden als gevolg van het getijde is hier in de orde van twee à drie meter per seconde. De netto uitstroming vanuit het Eems-estuarium als gevolg van de rivierafvoer van de Eems is nihil.

Daarnaast is sprake van stroming als gevolg van wind. De windroos bij het Huibertgat, een meetlocatie in de Noordzee ter hoogte van Rottumerplaat (Figuur 2) laat zien dat de dominante wind vanuit het zuidwesten komt, wat overeenkomt met de windcondities nabij het boorplatform. Wind vanuit het zuidwesten versterkt de vloed-gedreven stroming en remt de eb-gedreven stroming.

De combinatie van getijde en wind zorgt ter plekke van de platformlocatie voor dagelijkse piekstroomsnelheden van circa 0,6 m/s nabij het wateroppervlak, circa 0,5 m/s in het midden van de waterkolom, en circa 0,35 m/s nabij de zeebodem (bijlage M3 in Deel 2: Milieueffecten). De dagelijkse stroomsnelheden op basis van modellering (Fugro, 2019) zijn in dezelfde orde van grootte.

De maximale stroomsnelheid die ongeveer één keer per jaar optreedt, de 1/jaar-stroomsnelheid, is op basis van de modellering² ter plekke van de platformlocatie in de orde van maximaal 1 m/s nabij het wateroppervlak, maximaal 0,9 m/s in het midden van de waterkolom, en maximaal 0,74 m/s nabij de zeebodem.

² Fugro, 2019, *Metoccean Criteria for the N05A Platform*, Ref. No.: 181892_1_R2.



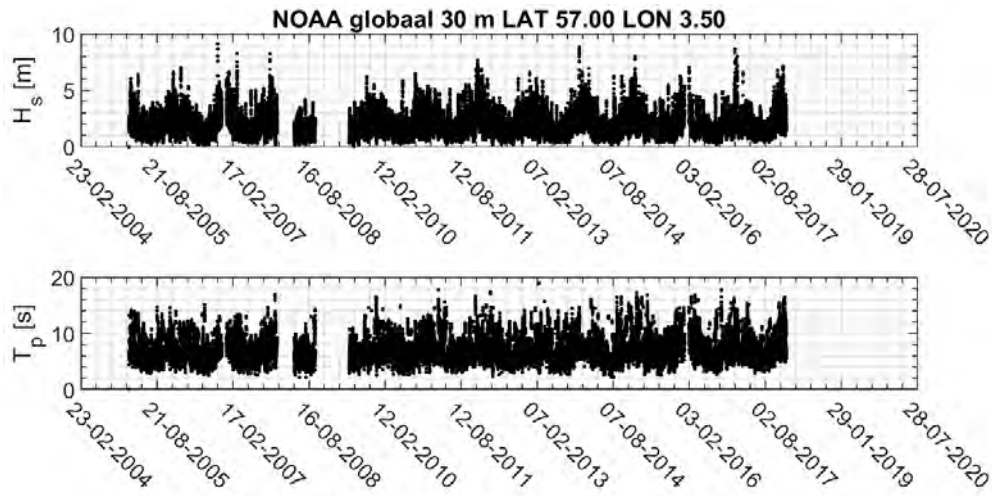
Figuur 2: Jaarlijkse stromingsroos nabij de platformlocatie (links) en jaarlijkse windroos bij Huibergat (rechts)

2.2.2 Golven

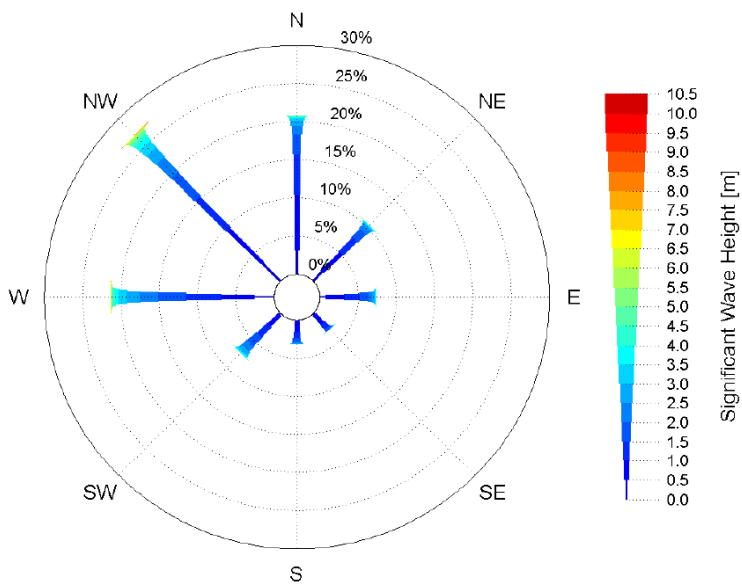
De golfhoogte varieerde in de periode 2005-2017 van circa één meter tot ruim acht meter (Figuur 3), met golfperiodes tot ruim vijftien seconden. Gedurende het grootste deel van de tijd komen de golven op de platformlocatie vanuit het westen tot noorden (Figuur 4), hebben de golven een golfhoogte van 0,5 tot twee meter, en hebben de golven een piekperiode van twee tot tien seconden (Figuur 5).

Het effect van de golven op het sedimenttransport en morfologie is mede afhankelijk van de waterdiepte: hoe groter de waterdiepte des te minder stroming veroorzaken de golven nabij de zeebodem (Figuur 6). Daarnaast speelt ook de golflengte een rol: hoe langer de golven, des te dieper hebben de golven effect. Bij een waterdiepte groter dan de halve golflengte wordt een golf niet meer gevoeld op de zeebodem. In de waterdiepte van 26 m bij de platformlocatie is dat dus een golflengte van 52 meter, wat hoort bij een golf met een golfperiode van: $[\text{golflengte} / 1,56]^{0,5} = \text{zes seconden}$. Golven met een golfperiode langer dan zes seconden hebben dus een effect op het transport van sediment en boorgruis op de zeebodem in de platformlocatie. Gedurende bijna de helft van de tijd is de golf-piekperiode op de platformlocatie groter dan zes seconden (Figuur 5), en heeft een deel van de golven dus effect op het transport van sediment en boorgruis op de zeebodem.

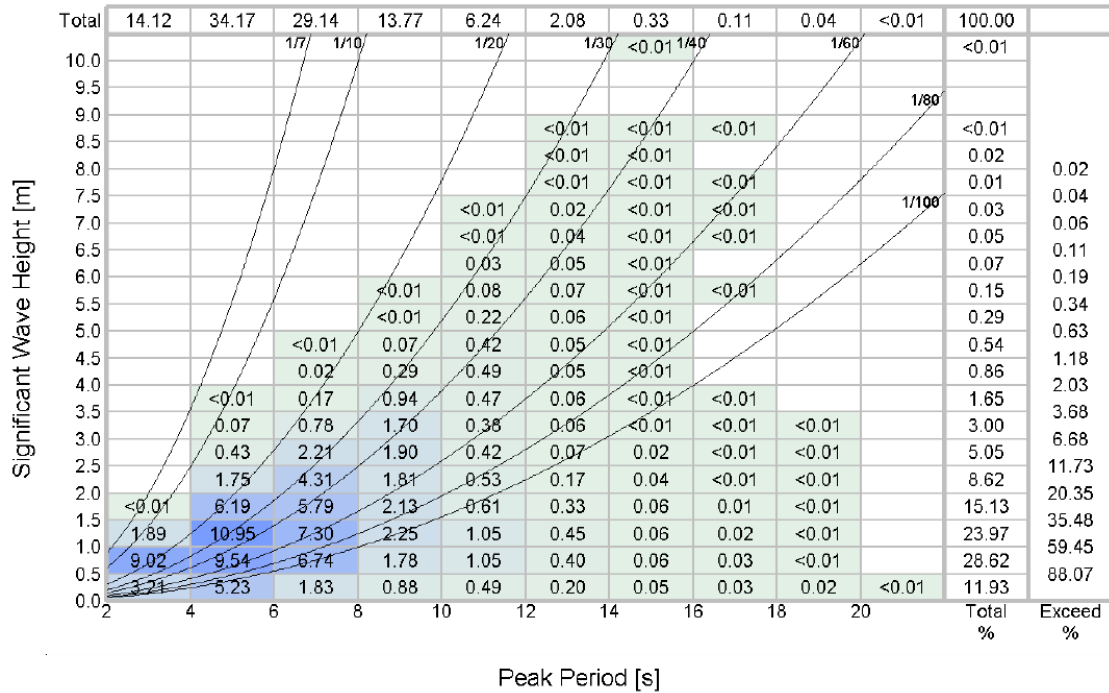
De golven spelen naar verwachting een dominantere rol in het ondiepere zuidelijke deel van het tracé van de pijpleiding.



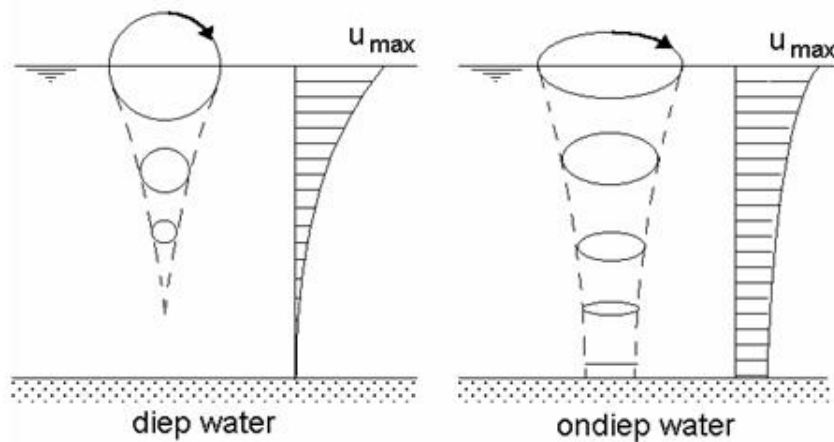
Figuur 3: Golfcondities nabij de platformlocatie



Figuur 4: Jaarlijkse golfhoogte op de platformlocatie (Fugro, 2019)



Figuur 5: Jaarlijkse golfhoogte en golfperiode op de platformlocatie (Fugro, 2019)



Figuur 6: Principe van effect van waterdiepte op de golf-gedreven stroming bij de zeebodem

2.2.3 Sedimenteigenschappen

Het onderzoeksbureau GEOxyz beschrijft de zeebodem en eigenschappen van het sediment aan de oppervlakte ter plekke van het platform (GEOxyz, 2019): de zeebodem ter plekke van het (boor)platform bestaat uit fijn zand met schelpresten (Figuur 7). Dit zand heeft korreldiameters in de orde grootte van tweehonderd micrometer (200 μm ofwel 0,2 mm). Daarbij zijn er kleibrokken te vinden die tot vijftig centimeter boven de rest van de zeebodem uitsteken. Ook de lokale aanwezigheid van grof zand en grind resulteert in bodemhoogtevariatie ter plekke van het platform. Voor de rest is de zeebodem bij de locatie van het platform vrijwel vlak zonder duidelijke golf- en stromingsribbels, duinen of grotere beddingvormen.

De afwezigheid van golf- en stromingsribbels op de zandige zeebodem is een indicatie dat er weinig sedimenttransport plaatsvindt en dat de lokale zeebodem dus niet heel dynamisch is. Zandkorrels van tweehonderd micrometer beginnen in beweging te komen bij een stroomsnelheid van circa 0,2 m/s. Aangezien

tijdens dagelijkse omstandigheden al stroomsnelheden tot circa 0,5 m/s in het midden van de waterkolom voorkomen, is het natuurlijke sediment ter plekke van het platform tenminste in een deel van de eb-vloedcyclus in beweging. Golven met een golfperiode langer dan zes seconden dragen ook bij aan het in beweging brengen van het sediment. Bij kentering zakt dit sediment weer op de zeebodem en blijft, afhankelijk van de golfcondities, een aantal uur stilliggen tot de stroomsnelheid nabij de zeebodem weer boven de circa 0,2 m/s is. Het fijnere deel van het natuurlijke sediment op de zeebodem is mobieler dan het grovere deel van het sediment, en wordt dus vaker en over grotere afstanden getransporteerd.



Figuur 7: Foto van de zeebodem ter plekke van het boorplatform, zonder duidelijke beddingvormen zoals golf- en stromingsribbels

3 Lokale morfologische effecten

3.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt een voorspelling gedaan van de lokale morfologische effecten van het boorplatform, het productieplatform en de boorwerkzaamheden. Hierbij is steeds de vraag hoe de platforms en de boorwerkzaamheden de morfologie van de natuurlijke zeebodem beïnvloeden door extra erosie en sedimentatie rondom het boorplatform en het productieplatform.

Voor de lokale morfologische effecten zijn drie elementen relevant die in paragraaf 3.2 in meer detail worden beschreven:

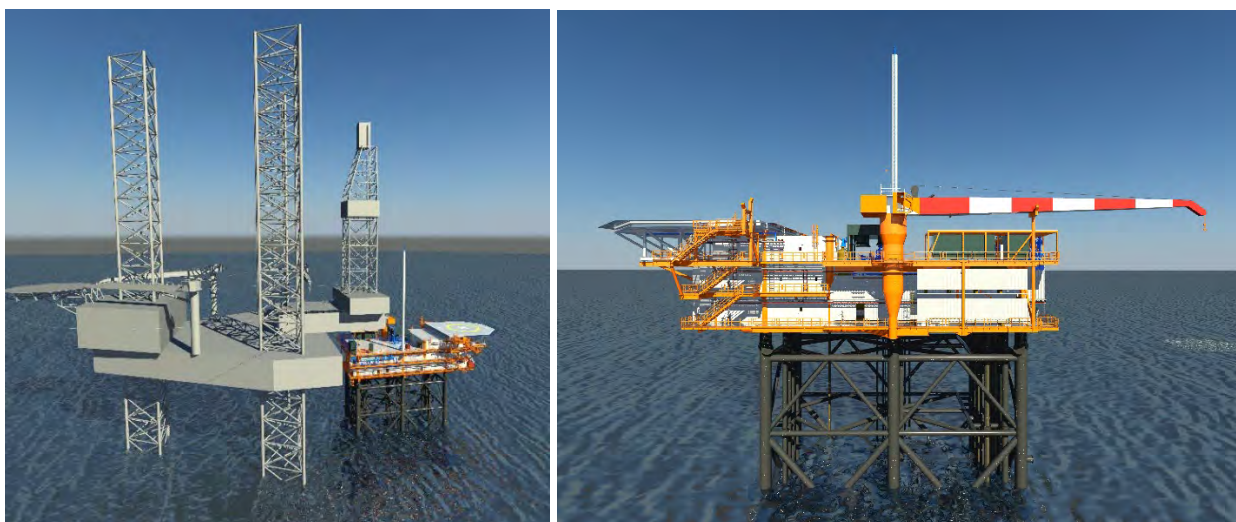
- 1 Het platform, waarvan de poten en conductors het meest relevant zijn voor de morfologie:
 - 1.1 Tijdelijk boorplatform en productieplatform tijdens de boorfase;
 - 1.2 Productieplatform tijdens de productiefase.
- 2 Steenbestorting rondom het poten van de platforms ter bescherming tegen ontgrondingskuilen;
- 3 Lozing van boorgruis tijdens de boorfase.

Op basis van deze beschrijving worden in paragraaf 3.3 de verwachte morfologische effecten per element beschreven.

3.2 Beschrijving

3.2.1 Platform

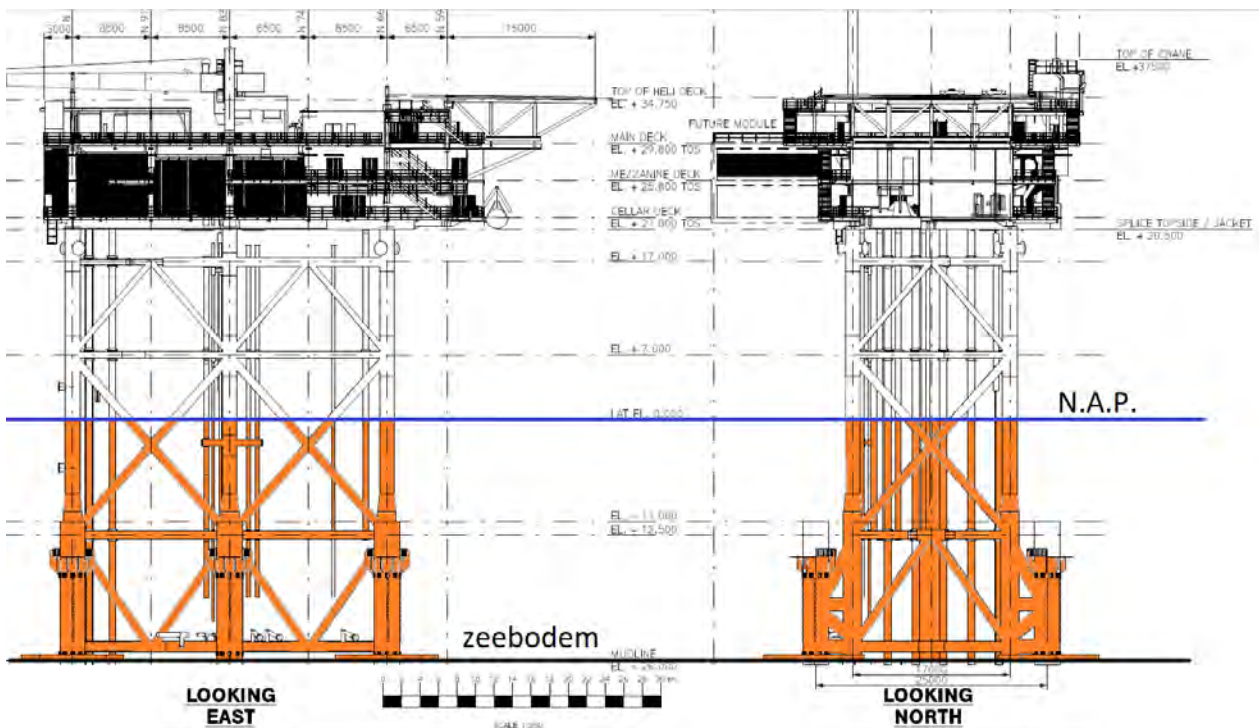
Tijdens de boor- en aanlegfase bestaat het platform uit een tijdelijk boorplatform en het productieplatform (Figuur 8). Daarna zal het tijdelijke boorplatform worden weggehaald en blijft het productieplatform staan. Het is ook mogelijk dat de eerste boringen voorafgaand aan de installatie van het productieplatform uitgevoerd worden.



Figuur 8: Impressie van het platform tijdens de boor- en aanlegfase met tijdelijk boorplatform (links) en het platform tijdens de productiefase met alleen het productieplatform (rechts)

Het tijdelijke boorplatform heeft drie poten met elk een oppervlakte van ongeveer tweehonderdvijftig vierkante meter. Bij het opzetten van het boorplatform wordt het drijvende boorplatform op de juiste locatie gebracht, vastgezet met tijdelijke ankers en worden vervolgens de drie poten neergelaten tot deze de zeebodem bereiken. Daarna worden de ankers verwijderd en wordt het boorplatform opgekrikt tot gewenste hoogte.

Het productieplatform heeft zes poten met daartussen dwarsverbindingen ter versterking van de constructie. Elk van de zes poten wordt met een stalen heipalen vastgezet op de zeebodem. Deze heipalen hebben een diameter van drie meter. Tussen de zes poten lopen een aantal conductors waarbinnen de putten zich bevinden. Deze conductors hebben een diameter van 75 cm. Figuur 9 vertoont de constructie van het productieplatform en daarin met oranje gearceerd het deel van de constructie onder water. Dit deel van de constructie heeft effect op de stroming, golven, sedimenttransport en morfologie. Belangrijk hierin is het weinig vrije doorstroomoppervlak tussen de poten, de dikke fundatie van de poten en de aanwezigheid van dwarsverbindingen nabij de bodem.



Figuur 9: Voor- en zijaanzicht van het productieplatform en daarin met oranje het deel dat onderwater ligt

3.2.2 Steenbestorting

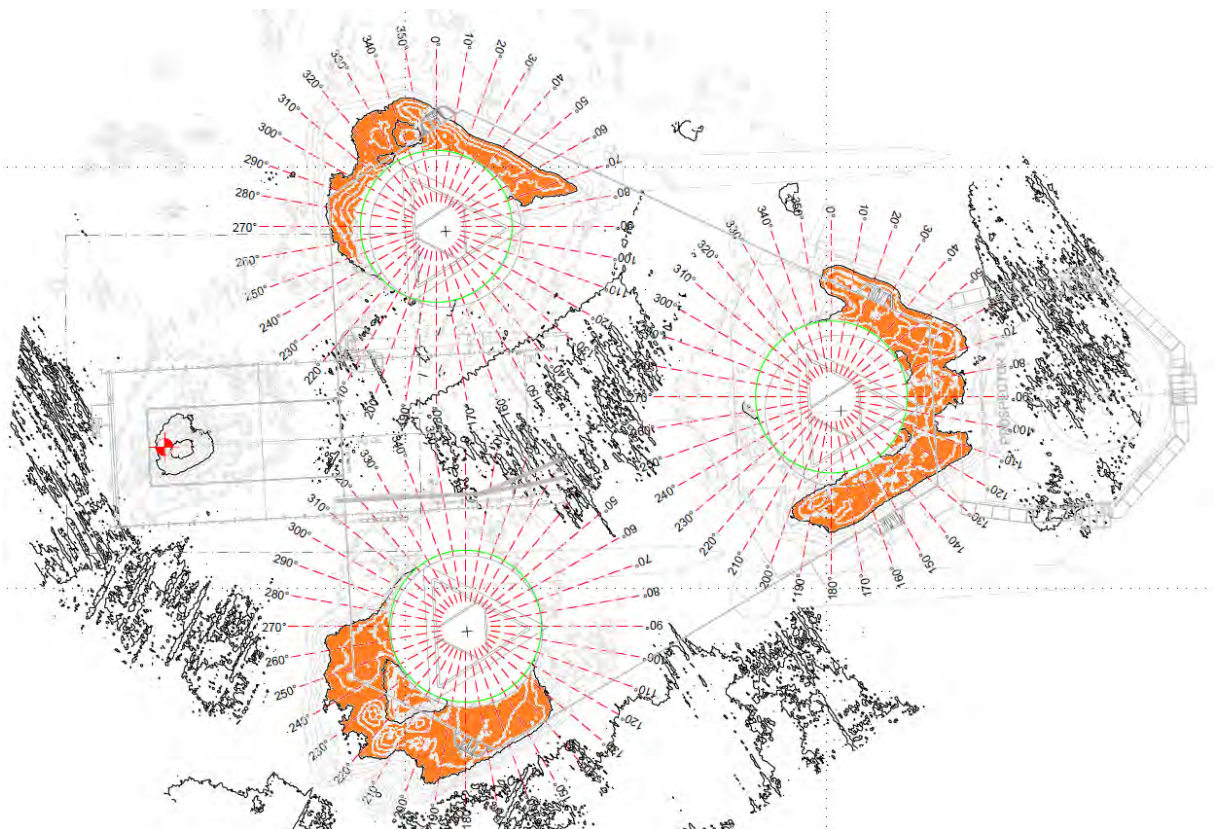
Steenbestorting wordt aangebracht op de productielocatie om erosie rondom de poten van het boorplatform en het productieplatform te voorkomen.

De beschrijving van de steenbestorting rondom het boorplatform is gebaseerd op het ontwerp en metingen van Tideway (Tideway, 2017), waarin de steenbestorting voor de poten van een soortgelijk boorplatform en de methodiek voor het aanleggen van deze steenbestorting is beschreven. Volgens het ontwerp van Tideway bestaat de steenbestorting uit stenen met een één tot drie inch sortering. Deze stenen zijn dusdanig groot dat ze niet of nauwelijks verplaatst worden door de stroming en/of golven.

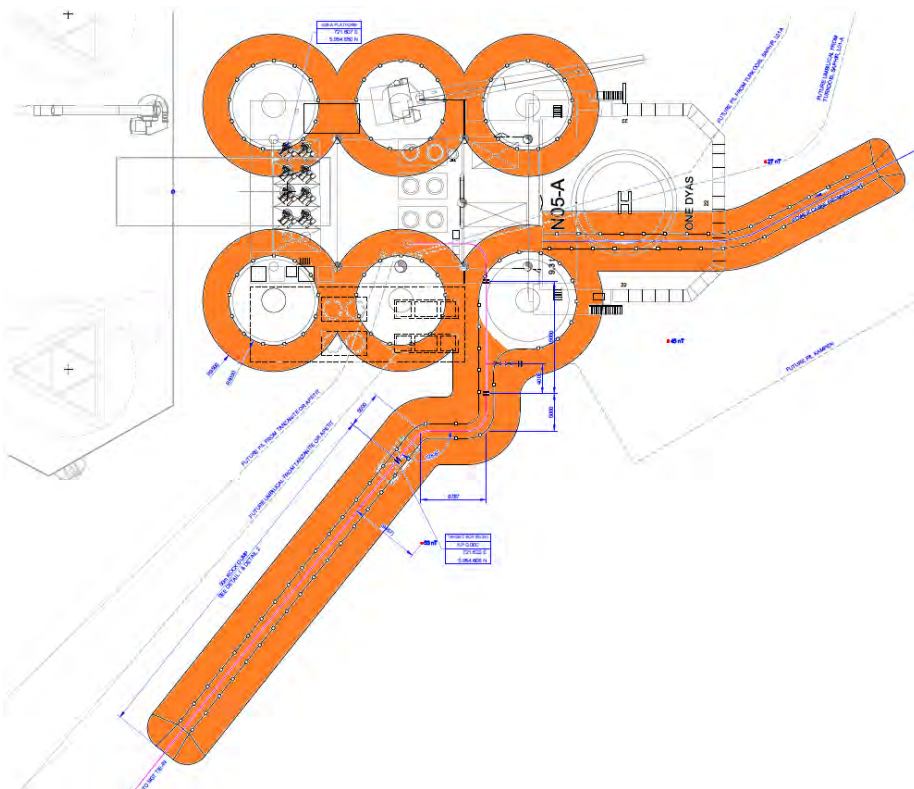
Per poot van het boorplatform is een steenbestorting van zeshonderd ton voorzien, dus achttienhonderd ton in totaal voor het boorplatform. Dit komt overeen met een volume van ruim vierhonderd kuub per poot, oftewel ruim twaalfhonderd kuub in totaal. De steenbestorting wordt vooral langs de buitenzijden van de drie poten geplaatst (Figuur 10). De laagdikte van de bestorting is vijftig tot tachtig centimeter, resulterend in een oppervlakte van orde van grootte van zeshonderd kuub per poot oftewel orde grootte achttienhonderd kuub in totaal voor het boorplatform.

De steenbestorting rondom het productieplatform is weergegeven in Figuur 11. Rondom de zes poten wordt een 3,5 m brede laag steenbestorting aangelegd, wat overeenkomt met een totale oppervlakte van ruim tweeduizend vierkante meter. Daarnaast wordt steenbestorting aangelegd langs de eerste delen van de pijpleiding en de elektriciteitskabel. De breedte hiervan is ongeveer tien meter en met een lengte van 73 m heeft de steenbestorting voor de pijpleiding een oppervlakte van 730 m². Met een lengte van circa vijftig meter heeft de steenbestorting voor de elektriciteitskabel een oppervlakte van vijfhonderd vierkante meter.

Belangrijk voor de voorspelling van de morfologische effecten nabij het boorplatform en het productieplatform is dat de steenbestorting lokaal is en dat tussen de poten geen steenbestorting wordt aangelegd.



Figuur 10: Indicaties van de locaties van steenbestorting (oranje) rondom de poten van het boorplatform (Tideway, 2017)



Figuur 11: Ontwerp van de steenbestorting (oranje) rondom de poten van het productieplatform en langs de eerste delen van de pijpleiding en elektriciteitskabel

3.2.3 Lozing van boorgruis

Tijdens het boren wordt in de variant '**Lozing boorgruis en -spoeling**' het boorgruis en de boerspoeling op waterbasis in zee geloosd. In de variant '**Afvoer boorgruis en -spoeling**' worden het boorgruis en de boerspoeling op waterbasis afgevoerd. Boorgruis en boerspoeling op oliebasis wordt altijd afgevoerd.

De totale hoeveelheid te lozen boorgruis is 664 m³, verdeeld over vier boorsecties. De hoeveelheid te lozen boorgruis en de tijdsduur is berekend voor een gemiddelde put bij N05-A en varieert per boorsectie:

- 205 ton in één dag voor sectie 1;
- 484 ton in anderhalve dag voor sectie 2;
- 492 ton in vierenhalf dag voor sectie 3;
- 545 ton in acht dagen voor sectie 4;
- en voor sectie 5 wordt het boorgruis sowieso afgevoerd.

De totale hoeveelheid te lozen boorgruis is dus circa 1725 ton. Met een dichtheid van 2650 kg/m³ voor het gesteente en 40% poriën in het op de zeebodem afgezette boorgruis is de totale hoeveelheid te lozen boorgruis gelijk aan ongeveer 1100 m³. In werkelijkheid varieert de dichtheid per gesteentelaag, en is ook de porositeit van het afgezette boorgruis variabel, dus de daadwerkelijke hoeveelheden kunnen afwijken.

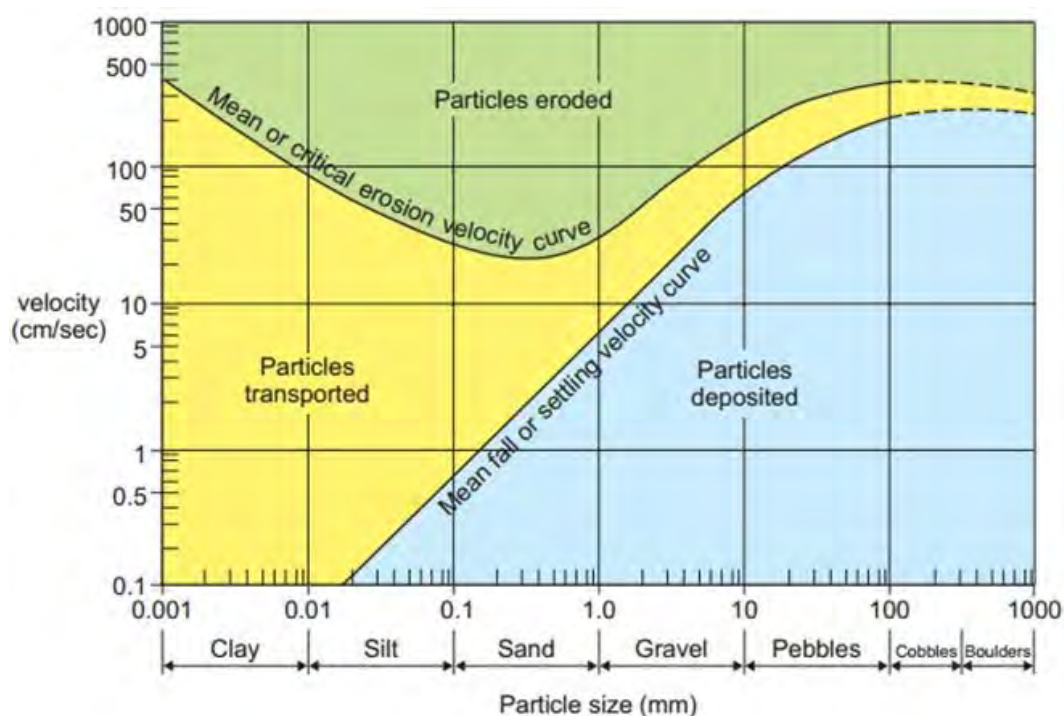
De korrelgrootteverdeling van het geloosde boorgruis is onzeker en varieert over de diepte. Boorgegevens van een proefboring laten zien dat de bovenste ongeveer 380 meter grotendeels uit los zand bestaat. Daaronder ligt vast gesteente. De korrelgrootteverdeling van het boorgruis afkomstig uit het vaste gesteente varieert per gesteentelaag. Zo zijn de kalksteenlagen in de bovenste kilometer zachter dan de

kalksteenlagen die dieper liggen dan een kilometer, waardoor het boorgruis afkomstig uit het kalksteen in de bovenste kilometer naar verwachting fijner is dan het boorgruis uit de diepere kalksteenlagen. Boorgruis uit de haliet- en anhydriet-lagen (op ongeveer 2000 - 3500 meter diepte) lossen deels in zee en in de boorspoeling op en wordt dus niet volledig afgezet op de zeebodem.

Om ondanks de onzekerheden en variaties in steensoort en korrelgroottes toch een inschatting te kunnen maken van de afzetting van boorgruis op de zeebodem, wordt een bepaalde normale korrelgrootteverdeling aangenomen. Hierbij wordt ingeschat dat een korrelgrootte van ongeveer 1,25 mm het meest voorkomt.

Voor het bepalen van de kritische stroomsnelheid waarbij het boorgruis in beweging komt, bestaan diverse empirische relaties. Volgens het Hjulström diagram (Figuur 12) komt het boorgruis in beweging bij een stroomsnelheid van circa 0,2 m/s voor het fijne boorgruis van 0,5 mm, en circa 0,5 m/s voor boorgruis van twee millimeter. Volgens een andere methode van Van Rijn³ komt het fijne boorgruis pas bij 0,45 m/s in beweging, en het grove twee mm boorgruis pas bij 0,85 m/s. Hierbij is nog geen rekening gehouden met eventuele golfwerking en turbulentie waardoor het boorgruis bij iets lagere stroomsnelheden al in beweging kan komen. Duidelijk is wel dat het grove boorgruis slechts heel beperkt getransporteerd kan worden, en het fijne boorgruis alleen rond de getijdepieken in beweging kan komen.

Ondanks de onzekerheden in de korrelgrootteverdeling van het boorgruis lijkt het aannemelijk dat een significant deel van het boorgruis een grotere korrel diameter heeft dan het natuurlijke sediment (circa 0,2 mm diameter) op de zeebodem ter plekke van de boorlocatie. Het boorgruis is dan ook minder mobiel dan het natuurlijke sediment. Het boorgruis wordt pas bij hogere stroomsnelheden/golven en over minder grote afstanden getransporteerd.



Figuur 12: Hjulström diagram met drempelwaarden van stroomsnelheid voor erosie, transport en sedimentatie van sediment.

³ Van Rijn, 2013, Simple general formulae for sand transport in rivers, estuaries and coastal waters, www.leovanrijnsediment.com.

3.3 Verwachte morfologische effecten

3.3.1 Boorplatform, productieplatform en steenbestorting

De poten van het boorplatform en het productieplatform vormen een gedeeltelijke blokkade voor de stroming. Dit zorgt voor lokale stroomvertraging aan de stroomopwaartse zijde van elke poot, stroomversnelling langs elke poot en een turbulentie aan de stroomafwaartse zijde van elke poot. Hoe gestroomlijnder en gladder de poten, des te kleiner zijn deze effecten. De dwarsverbindingen in de constructie zorgen voor extra weerstand en turbulentie.

Bij de bodem kan de stroomvertraging voor lokale sedimentatie zorgen. De stroomversnelling en de benedenstroomse turbulentie zorgen echter voor erosie: de vorming van ontgrondingskuilen. Als gevolg van deze erosie is de sedimentatie aan de bovenstroomse zijde vaak klein of afwezig.

De vorming van ontgrondingskuilen wordt voorkomen door de aanleg van de steenbestorting rondom de poten van het boorplatform. Deze steenbestorting bestaat uit grof materiaal (zie paragraaf 3.2.2), waarbij de stenen dusdanig groot zijn dat ze blijven liggen bij zware omstandigheden, zoals een zware storm in combinatie met getijdestroming.

In paragraaf 3.2.2 is echter ook beschreven dat de steenbestorting, tenminste voor het boorplatform, alleen aan de buitenzijden van de poten wordt aangelegd. Dit betekent dat de binnenzijde van de poten onbeschermd zijn, waardoor hier ontgrondingskuilen kunnen ontstaan afhankelijk van de stromingsrichting.

Bovendien is het aannemelijk dat langs de randen van de steenbestorting enige erosie van de zeebodem optreedt. De steenbestorting vormt namelijk een pleisterlaag, waarbij het natuurlijke sediment onder de steenbestorting niet kan bewegen. Bovendien blijft natuurlijk sediment achter de grove stenen van de steenbestorting hangen. Het sediment-arme water vanaf de steenbestorting neemt langs de randen van de steenbestorting sediment op waardoor lokale erosie optreedt. Als gevolg van de erosie kan de steenbestorting langs de randen in de erosiekuilen rollen. Dit type erosiekuilen zal zich vooral vormen langs het zuidwesten en noordoosten van de bodembescherming, aangezien dit de richting van de getijdestroming is.

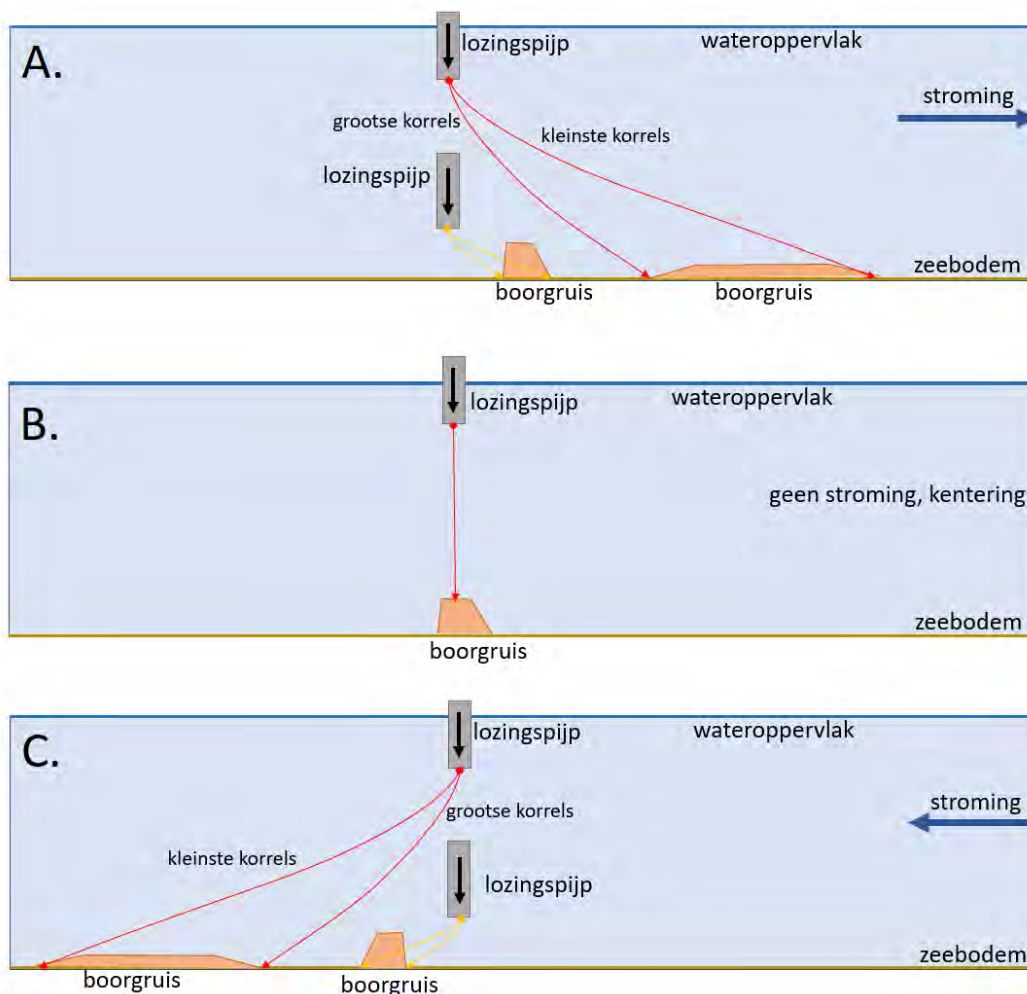
Na de boorfase wordt het boorplatform verwijderd en blijft alleen het productieplatform aanwezig. Eventuele ontgrondingskuilen die ondanks de bodembescherming toch zijn ontstaan, worden hierna naar verwachting binnen een periode van enkele dagen tot weken opgevuld door natuurlijke sedimentatie.

Volledig rondom de zes poten van het productieplatform is steenbestorting voorzien (zie paragraaf 3.2.2). Hierdoor zijn hier geen grote ontgrondingskuilen als gevolg van hydrodynamische effecten van de poten van het productieplatform te verwachten. Wel zou, net als bij het boorplatform, enige erosie langs de randen van de steenbestorting van het productieplatform kunnen ontstaan, waardoor verderop ook enige sedimentatie kan plaatsvinden.

3.3.2 Boorgruis

3.3.2.1 Uitzakken van het boorgruis

Het uitzakken van het boorgruis na lozing uit de lozingspijp is een belangrijk proces waarbij verschillende factoren een rol spelen. In Figuur 13 is het proces van uitzakken van het boorgruis schematisch weergegeven. Vanuit de lozingspijp heeft het boorgruis een bepaalde snelheid. Al snel daarna bepalen de stroomsnelheid, stroomrichting en de valsnelheid waar het boorgruis op de zeebodem neerkomt.



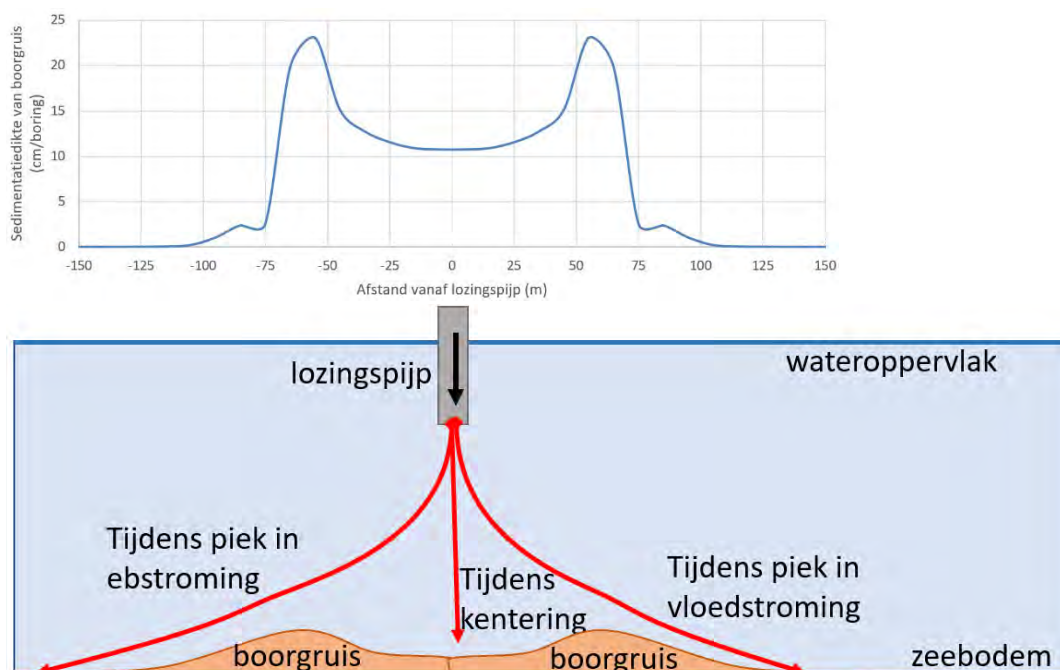
Figuur 13: Schematische weergave van het effect van (getide)stroming en hoogte van de lozingspijp op de sedimentatie van boorgruis, tijdens stroming naar rechts (A), kentering (B) en stroming naar links (C)

Vereenvoudigde rekensommen kunnen een indicatie geven van waar het boorgruis op de zeebodem neerkomt en hoe dik de afzetting wordt:

- Relatief kleine korrels (0,5 mm) hebben een lage valsnelheid van zo'n zeven cm/s. De grotere korrels van twee mm hebben een valsnelheid van orde twintig cm/s. Als het uiteinde van de lozingspijp op twintig meter boven de zeebodem ligt, dan duurt het dus gemiddeld bijna twee minuten voordat de grotere korrel de bodem bereiken en bijna vijf minuten voordat de kleine korrels de bodem bereiken.
- Voor het uitzakken van het boorgruis is relevant dat het suspensie-nummer Z voor zowel de kleine als de grote boorgruiskorrels groter is dan vijf, wat betekent dat de valsnelheid dusdanig groot is dat de valsnelheid de turbulente stromingen die de korrels in suspensie kunnen houden, overwint.
- Als de lozingspijp dichterbij de zeebodem ligt dan is de tijd die de korrels nodig hebben om de bodem te bereiken een stuk korter. Bijv. op tien meter boven de zeebodem duurt het 2,5 minuut voor de kleine korrels en één minuut voor de grotere korrels om de zeebodem bereiken.
- De locatie waarop het boorgruis op de zeebodem komt is vervolgens ook afhankelijk van de stroomsnelheid, zie Tabel 1 waarin de afstand berekend is op basis van de hoogte van de lozingspijp, de val-

snelheid en de stroomsnelheid. Tijdens vloedstroming komt het boorgruis ten oosten van de platformlocatie terecht; bij ebstroming komt het boorgruis ten westen van de platformlocatie terecht. Twee keer per etmaal is er ebstroming, en twee keer per etmaal is er vloedstroming. Rondom kentering is er nauwelijks stroming en komt het geloosde boorgruis onder de lozingspijp terecht (Figuur 13).

- Gezien de geschatte korrelgrootteverdeling van het boorgruis en de variërende stroomsnelheid gedurende een eb-vloed cyclus, wordt naar verwachting het meeste boorgruis afgezet op een afstand van 55 meter van de lozingspijp (Figuur 13). Op een afstand groter dan ongeveer honderd meter wordt nauwelijks boorgruis afgezet. Op de afstand van 55 meter is de sedimentatiesnelheid van het boorgruis in de orde van 7,5 mm/dag. Zonder transport van het boorgruis komt dit neer op een laagdikte van 23 cm na uitvoering van één boring, uitgaande van een noord-zuid verspreiding over vijftig meter en een totale lozing van 1100 m³ boorgruis per boring. Op een afstand van circa 90 m van de lozingspijp is de laagdikte circa 1,5 cm voor één boring.
- Bij meerdere boringen serieel of in batch zal dient de voorspelde laagdikte met het aantal boringen te worden vermenigvuldigd. Bij het uitvoeren van twaalf boringen leidt dus tot circa $12 \times 23 = 276$ cm boorgruisafzetting. Voor twaalf boringen wordt de laagdikte van 1,5 cm bereikt op een afstand van circa 105 meter vanaf de lozingspijp. In de praktijk zal de boorgruislaag tijdens en na afloop van de boorperiode (ongeveer drie jaren voor twaalf boringen) dunner zijn als gevolg van verspreiding van boorgruis tijdens stormen, het deels oplossen van het boorgruis uit de zoutlagen, variatie in korrelgrootte en hellings-effecten.
- In de volgende paragraaf wordt een inschatting gemaakt van het transport van het boorgruis, waardoor het boorgruis over een groter oppervlak wordt verspreid en dus dunner wordt. Het fijne deel van het boorgruis zal meer en sneller verspreid worden dan het grove boorgruis, waardoor vooral de laagdikte langs de buitenkant van de boorgruis-afzetting (op circa 100 meter afstand van de lozingspijp) waar het fijnere boorgruis is afgezet snel dunner wordt.
- Golven generen verticale en horizontale circulaties waardoor het uitzakken van het boorgruis een wat complexer patroon volgt dan hierboven beschreven. Op de platformlocatie zorgen de golven echter niet voor een netto transport in een bepaalde richting.
- Ook wind-gedreven stromingen maken het uitzakken van het boorgruis wat complexer. Wanneer de wind in dezelfde richting gaat als het getijde, dan nemen de stroomsnelheden toe en komt het boorgruis over een grotere afstand van de lozingspijp terecht. Als voorbeeld: extreme windcondities kunnen voor een toename van enkele tientallen cm/s zorgen tot circa 0,9 m/s bij een 1/jaar conditie². Bij deze stroomsnelheden komt het boorgruis op ruim 92 tot 253 meter afstand van de lozingspijp terecht.



Figuur 14: Berekende laagdikte van het boorgruis bij één boring en een lozingspijphoogte van 20 meter (boven) en schematische weergave van de ruimtelijke verdeling van de boorgruis-afzetting over een eb-vloed cyclus (onder)

Tabel 1: Voorbeelden van berekende afstand waarop het boorgruis neerkomt op de zeebodem, in meters vanaf het uiteinde van de lozingspijp. De richting waarin de afstand geldt is afhankelijk van eb of vloed

Korrelgrootte (mm)	Hoogte van lozingspijp (m boven zeebodem)	Stroomsnelheid (m/s)	Afstand vanaf lozingspijp (m)
0,5	20	0.5	141
1	20	0.5	79
2	20	0.5	51
0,5	10	0.5	70
1	10	0.5	40
2	10	0.5	26
0,5	20	0.9	253
1	20	0.9	142
2	20	0.9	92
0,5	20	0.1	28
1	20	0.1	16
2	20	0.1	10

In een eerdere studie voor een vergelijkbaar boorplatform zijn voorspellingen gedaan van de sedimentatiedikte van het boorgruis op basis van modelberekeningen⁴. Hierin werd een maximale laagdikte van 22 cm boorgruis voorspeld voor één boring. De laagdikte op een afstand van vierhonderd meter was maximaal 6,5 mm, waarbij het boorgruis vooral in oostelijke en westelijke richtingen door de getijdestroming werd verspreid.

In de berekeningen en eerdere studie is het effect van het boorplatform en het productieplatform op de lokale stroming niet meegenomen. Zoals uitgelegd in paragraaf 3.3.1, is aannemelijk dat de poten van

⁴ Xodus Group, 2017, Cuttings Dispersion Modelling - ParTrack: Diamant Z1 Exploration Well.

beide platformen de getijdestroming deels blokkeren en voor extra turbulentie zorgen. Afhankelijk van de locatie van de lozingspijp t.o.v. de poten van de platformen en de stromingsrichting zal het boorgruis verder of juist minder ver van de lozingspijp worden afgezet. Aangezien de dominante stroomrichtingen van het getij naar het oosten en westen is (Figuur 2), is het aannemelijk dat de (poten van de) platformen voor acceleratie van de getijdestroming langs de noordkant en zuidkant zorgt, terwijl de stroming aan de oost- en westkant juist vertraagd wordt. Voor een zo groot mogelijke verspreiding (en dunnere sedimentatie-laag) van het boorgruis zou de lozingspijp dus aan de noord- of zuidzijde van het boorplatform geplaatst dienen te worden.

3.3.2.2 Transport van boorgruis over de zeebodem

Zodra het boorgruis op de zeebodem ligt, bepalen de korrelgrootte en de stroming of, en zo ja, hoe snel het boorgruis verder verplaatst wordt. Zoals beschreven in paragraaf 3.2.3 is het boorgruis met een typische korreldiameter van circa 0,5 – 2 mm duidelijk grover dan het natuurlijke sediment op de boorlocatie. Hierdoor is het boorgruis minder mobiel dan het van nature aanwezige sediment.

Het lijkt aannemelijk dat vrijwel alleen het fijne deel van het boorgruis rondom de dagelijkse pieken in eb- en vloedstroming mobiel is, gezien:

- 4 de dagelijkse pieken in dieptegemiddelde stroomsnelheid van circa 0,5 m/s;
- 5 de minimale golfperiode van zes seconden om effect te hebben op de zeebodem, wat ongeveer de helft van de tijd voorkomt;
- 6 de kritische stroomsnelheden van circa 0,2 - 0,45 m/s voor het fijne boorgruis;
- 7 de kritische stroomsnelheden van circa 0,5 - 0,85 m/s voor het grove boorgruis.

Het grove deel van het boorgruis is onder dagelijkse omstandigheden niet mobiel, en tussen de pieken door is het boorgruis geheel niet mobiel.

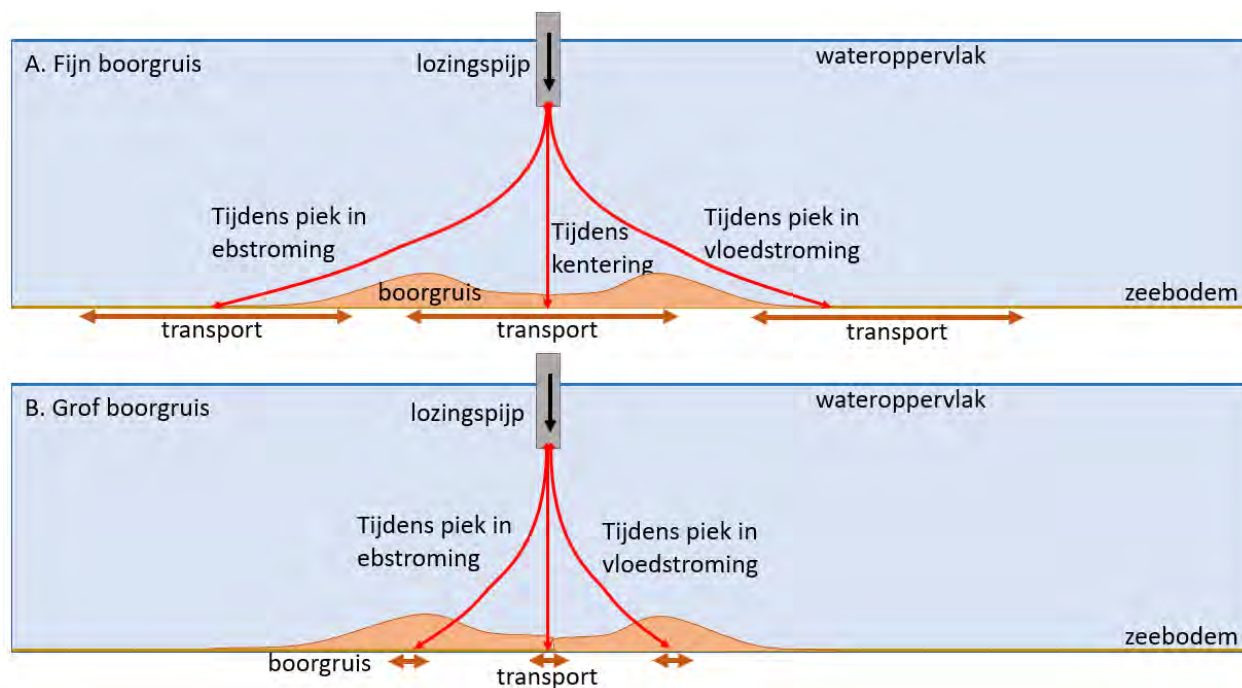
Een berekening van het transport van het boorgruis (met de Soulsby – Van Rijn sedimenttransport-voorspeller⁵) geeft een indicatie van hoeveel van het geloosde boorgruis na het neerzakken op de zeebodem getransporteerd wordt over de zeebodem. Tijdens het boren en lozen wordt 68 - 322 ton/dag boorgruis geloosd, afhankelijk van de boorsectie. Bij dagelijkse omstandigheden zoals een stroomsnelheid van 0,5 m/s, golfhoogte van een meter en golfperiode van zes seconden wordt minder dan 0,1% van het dagelijkse lozingsvolume getransporteerd. Dit betekent dat elke dag 99,9% van het geloosde boorgruis blijft liggen waar het op de zeebodem neerzakt. Bij extreme condities die ongeveer eens per jaar voorkomen (dieptegemiddelde stroomsnelheid van 0,9 m/s, golfhoogte van 5,5 meter en golfperiode van veertien seconden), is het dagelijkse transport circa 160 – 350 ton/dag, dus dezelfde orde als het dagelijkse geloosde volume boorgruis. Dat betekent dat tijdens extreme condities slechts een fractie van het totale geloosde boorgruis wordt verplaatst.

Op basis van deze berekeningen kan worden voorspeld dat het minstens weken, maar waarschijnlijker maanden tot jaren duurt voordat het boorgruis vanaf de platformlocatie verspreid wordt over een groot gebied in de Noordzee. Dit is mede afhankelijk van de weers- en stromingsomstandigheden. De boorgruislaagdikte berekend in paragraaf 3.3.2.1 voor één boring, vermenigvuldigd met het aantal boringen (serieel of batch maakt hiervoor niet veel uit), is een conservatieve, worst-case berekening aangezien de boorperiode ook langer wordt bij meerdere boringen. De kans wordt dan groter dat er tijdens de boorperiode meerdere stormen plaatsvinden. Ook heeft het boorgruis uit de zoutlagen langere tijd om op te lossen in het zeewater.

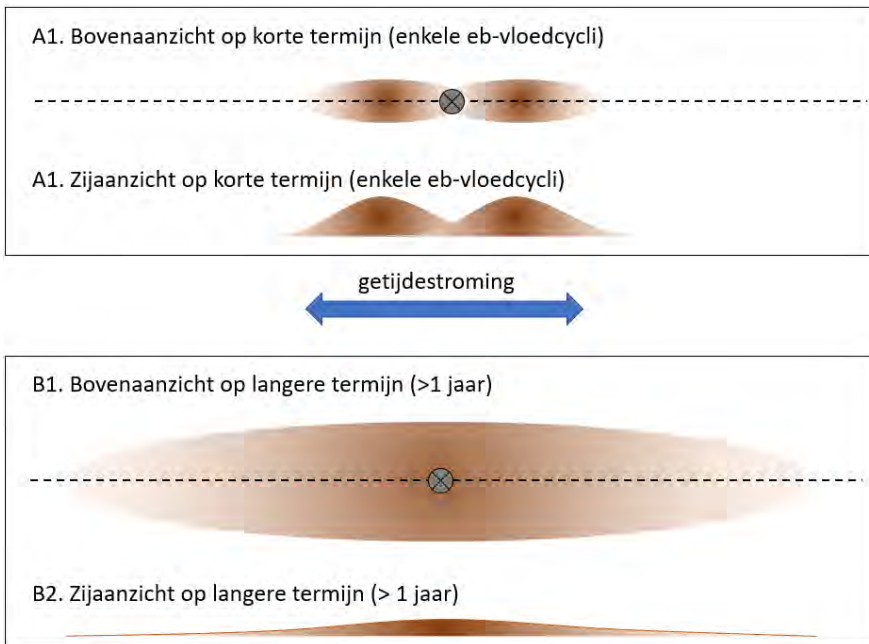
⁵ Soulsby, 1997, *Dynamics of marine sands*. Thomas Telford, UK.

In de maanden en jaren na de boorperiode wordt zowel het fijne als het grove deel van het boorgruis geleidelijk steeds meer verspreid. Het grove deel van het boorgruis wordt slechts over een klein gebied verplaatst en verdeeld en het fijne deel van het boorgruis wordt over een groter gebied verplaatst en verdeeld (Figuur 15). Een automatisch gevolg van deze verspreiding is dat de boorgruislaag steeds dunner wordt. Dit proces is weergegeven in Figuur 16. Het totale volume boorgruis op de zeebodem blijft onveranderd, tenzij het door bijvoorbeeld zandwinning verwijderd wordt.

Figuur 17 geeft een indicatie van de verspreiding van het boorgruis na enkele jaren, waarbij het totale volume boorgruis gelijk blijft. De dikte van de boorgruislaag neemt af, maar het oppervlak neemt toe. In dit indicatieve voorbeeld wordt uitgegaan van een min of meer identieke verspreiding in beide richtingen en een breedte van honderd meter. In dit voorbeeld wordt de drempelwaarde van anderhalve centimeter laagdikte overschreden binnen een afstand van ongeveer driehonderd meter vanaf de lozingspijp, wat resulteert in een totale oppervlakte van bijna vijf hectare waarbinnen de anderhalve centimeter wordt overschreden.

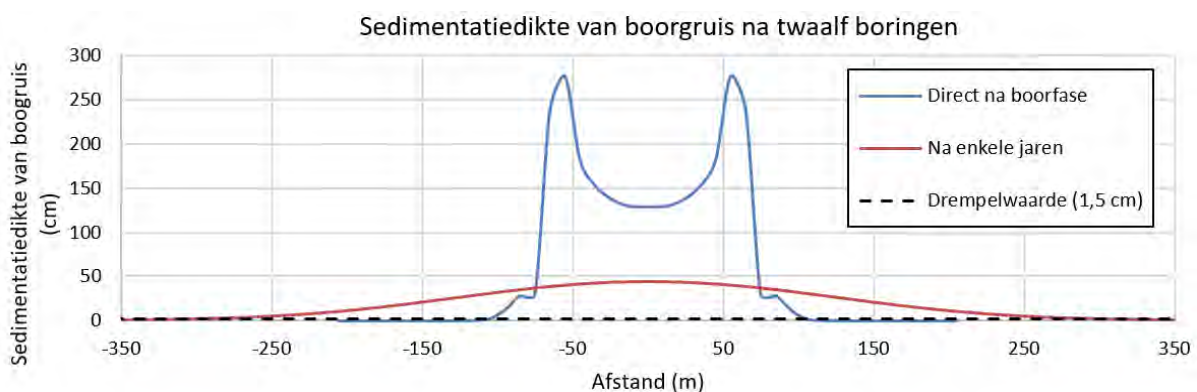


Figuur 15: Schematische weergave van transport van boorgruis zodra het op de zeebodem is neergezakt: voor het fijne deel van het boorgruis (A) en voor het grove deel van het boorgruis (B)



Figuur 16: Schematische weergave van de verspreiding en laagdikte van het boorgruis op korte termijn (boven) en lange termijn (onder)

De verspreiding van het fijne boorgruis op lange termijn is voornamelijk in oost-westelijke richting als gevolg van het getij, en in mindere mate in noord-zuidelijke richting door bijvoorbeeld wind-gedreven stroming en golven. Bij een symmetrisch getijde zou het fijne boorgruis hierbij na elke eb-vloed cyclus min of meer weer op dezelfde plek liggen, dus binnen een afstand van ongeveer honderd meter van de platformlocatie maar wat meer verspreid. Echter, gezien de getijde-asymmetrie waarbij de vloedstroming in oostelijke richting sterker is dan de eb-stroming, is de verwachting dat vooral het fijne deel van het boorgruis netto elk eb-vloed cyclus iets in oostelijke richting wordt getransporteerd.



Figuur 17: Indicatie van de sedimentatiedikte van het boorgruis na twaalf boringen en na verloop van tijd. Na enkele jaren wordt de 1,5 cm drempelwaarde overschreden op een afstand van circa 300 m vanaf de lozingspijp

Daarbij komt dat sedimenttransport een stochastisch proces is, wat inhoudt dat niet al het boorgruis tegelijkertijd met dezelfde snelheid over dezelfde afstand wordt getransporteerd. Kleine variaties in korrelgrootte, turbulentie, oneffenheden in de zeebodem, etc. resulteren in variatie in het transport. Daardoor wordt het boorgruis geleidelijk over een steeds groter stuk zeebodem verspreid en wordt de boorgruislaag op de zeebodem automatisch steeds dunner en minder aanwezig nabij de boorlocatie.

In een eerdere studie voor een ander boorplatform in de Noordzee heeft Imares (Imares, 2015) geconcludeerd dat het boorgruis geen zichtbaar morfologisch effect heeft, en slechts een klein effect heeft op de lokale flora en fauna. Hierbij is enerzijds belangrijk dat de waterdiepte (47 meter) op die platformlocatie groter was dan op de N05-A-platformlocatie en daardoor het boorgruis tijdens het neerzakken over een groter gebied verdeeld kan zijn. Anderzijds kan uit die studie wel worden opgemaakt dat het boorgruis in de loop van de tijd verspreid is over de zeebodem en nu onderdeel uitmaakt van die zeebodem.

4 Conclusies en aanbevelingen

In dit document is op basis van vereenvoudigde berekeningen, analyses en eerdere studies een inschatting gemaakt van de morfologische effecten van het boorplatform en productieplatform, de steenbestorting en het geloosde boorgruis. Daarnaast is een inschatting gemaakt van de dynamiek van het boorgruis.

Op basis van het ontwerp van de steenbestorting rondom de poten van het boorplatform en productieplatform is het aannemelijk dat enige erosie optreedt langs de randen van de steenbestorting. Het is ook aannemelijk dat deze ontgrondingskuilen worden opgevuld met steenbestorting die in de kuilen rolt.

Op basis van de berekeningen van het uitzakken van het boorgruis wordt geconcludeerd dat de hoogte van de lozingspijp boven de zeebodem een groot effect heeft op de lengte waarover het boorgruis neerslaat op de zeebodem. Een lozingspijp nabij de zeebodem resulteert in een kleine, maar dikke sedimentatielaag met boorgruis, terwijl een lozingspijp hoog in de waterkolom resulteert in een meer verspreide en dunnere sedimentatielaag van het boorgruis, waardoor de laag dunner is. Ook de locatie van de lozingspijp speelt een rol bij de verspreiding: een lozingspijp aan de noord- of zuidzijde zorgt voor een grotere verspreiding van het boorgruis.

De dikte van de boorgruisafzetting varieert over de afstand tot de lozingspijp en met de tijd. Bij een lozingspijphoogte van twintig meter boven de zeebodem is maximale laagdikte circa 23 cm per boring. Bij een lagere lozingspijphoogte is de boorgruisafzetting dikker en verspreid over een kleiner oppervlak. Bij meerdere boringen in batch of serieel wordt de boorgruisafzetting maximaal circa 23 cm x aantal boringen dik. Bij twaalf boringen⁶ is de boorgruisafzetting dus maximaal circa tweehonderdtachtig centimeter dik. Deze dikte van de boorgruisafzetting is een worst-case, aangezien bij meerdere boringen de totale boorperiode toeneemt en dus meer stormen tijdens de boorperiode plaatsvinden. Ook lost een deel van het boorgruis uit de zoutlagen op in het zeewater.

Wanneer voor het bepalen van de ecologische effecten van de boorgruisafzetting een kritische laagdikte van anderhalve centimeter wordt aangehouden, dan wordt deze kritische laagdikte bij één boring binnen een afstand van circa negentig meter rondom de lozingspijp overschreden. Bij meerdere boringen wordt deze afstand groter. Bij twaalf boringen wordt, rekening houdend met de worst-case situatie, de gezamenlijke laagdikte van anderhalve centimeter overschreden binnen een afstand van circa 105 meter vanaf de lozingspijp.

Op basis van de korrelgrootte van het boorgruis, de kritische stroomsnelheid voor begin van beweging, de stroomsnelheden als gevolg van het getij en wind, en sedimenttransportberekeningen is het aannemelijk dat een zeer klein deel van het boorgruis, en dan slechts het fijne deel van het boorgruis, rond de pieken in eb- en vloedstroming in beweging komt en meegevoerd wordt met de getijdestroming. Dit deel van het boorgruis gaat heen en weer met de eb- en vloedstroming. Tijdens jaarlijkse stormcondities kan een hoeveelheid van ongeveer de dagelijkse lozing worden getransporteerd. Dit betekent dat het minstens weken, maar waarschijnlijker maanden tot jaren duurt voordat het boorgruis over een grote afstand vanaf de platformlocatie is verspreid, mede afhankelijk van het voorkomen van stormen.

Het is belangrijk om te noemen dat de analyses en berekeningen in deze studie een zekere onzekerheid hebben. Deze onzekerheid zit vooral in de analyses en berekeningen ten aanzien van het boorgruis. Belangrijke onzekere factoren zijn o.a. de korrelgrootteverdeling van het boorgruis en de natuurlijke variatie in turbulentie, stromings- en golfcondities.

⁶ Het MER heeft betrekking op 12 boringen en 12 side tracks. De side tracks worden altijd geboord met boorspoeling op oliebasis en standaard afgevoerd.

5 Referenties

- 1 HaskoningDHV, *Pluimmodellering boringen N05-A*, 2020
- 2 Fugro, *Metocean Criteria for the N05A Platform*, ref.no.: 18192_1_R2, 2019
- 3 GEOxyz, *Survey Report – N5A Platform Area*, ref.no.: N05-A-7-10-0-70016-01, 2019
- 4 Tideway, *As-Built Report FPV*, ref.no.: TW-RP-17076RD1-22000-ABR, 2017
- 5 Imares, *Post drill survey A6-A6*, ref.no.: C046.15, pp 41, 2015