

Deelrapport bodem

Rapport Vlaams Nederlandse Scheldecommissie

Onderwerp

Deelrapport bodem

Auteur

Jasper Schuur

Bas van Leeuwen (Svašek
Hydraulics)

Bram Blik (Svašek Hydraulics)

Lynyrd de Wit (Svašek
Hydraulics)

Datum

23 maart 2015

Telefoon / Email

088-9102035

jschuur@lievenseCSO.com

Status

Definitief

Documentnummer

VNZN-R-123-5



Inhoudsopgave

1	Inleiding	4
1.1	Inleiding	4
1.2	Doelstelling van het project Nieuwe Sluis Terneuzen	4
1.3	Effectonderzoeken MER	5
2	Projectgebied	7
2.1	Beschrijving van het sluizencomplex	7
2.2	Omgeving van het sluizencomplex	8
3	Beschrijving van de onderzochte varianten	10
3.1	Beschrijving voorkeursalternatief	10
3.2	Beschrijving varianten	11
3.2.1	Invalshoeken per variant	11
3.2.2	Variant 1	11
3.2.3	Variant 2	13
3.2.4	Variant 3	14
3.2.5	Samenvatting varianten	16
4	Beoordelingskader	17
5	Werkwijze bepaling grondverzet	18
5.1	Onderzoeksopzet	18
5.2	Studiegebied	18
5.2.1	Sluizencomplex	19
5.2.2	Schependijk	20
5.2.3	Voorhavens	20
5.2.4	Gebied ten westen van de buitenvoorhaven	21
5.3	Huidige situatie en autonome ontwikkeling	21
6	Optredende effecten grondverzet	22
6.1	Omvang grondverzet	22
6.1.1	Variant 1	22
6.1.2	Variant 2	24
6.1.3	Variant 3	25
6.2	Verandering bodemkwaliteit	26
6.3	Toepassingsmogelijkheden vrijkomende grond en baggerspecie	27
6.3.1	Potentiele bestemming vrijkomend materiaal	27
6.3.1	Variant 1	32
6.3.1	Variant 2	33
6.3.2	Variant 3	33
7	Leemten in informatie	35
8	Werkwijze slibberekeningen Westbuitenhaven	36
8.1	Doel van de studie	36
8.2	Huidige situatie	36
8.3	Modelopzet	41
8.4	Calibratie referentiesituatie	48

9	Morfologische effecten Westbuitenhaven	52
9.1	Schematisering van varianten	52
9.2	Resultaten	56
9.2.1	Stroombeelden	56
9.2.2	Totaal baggerbezwaar	59
9.3	Beoordelingscriterium mate van erosie en sedimentatie	62
9.4	Beoordelingscriterium vertroebeling	63
9.4.1	Uitvoeringsvisie	63
9.4.2	Vertroebeling door afgraven grond	63
9.4.3	Vertroebeling door mogelijk toepassen persleiding	64
10	Leemten in informatie morfologie Westbuitenhaven	66
11	Voorkeursvariant	67
11.1	Beschrijving voorkeursvariant	67
11.1.1	Sluiskolk	68
11.1.2	Buitenhaven	69
11.1.3	Inrichting sluizencomplex	70
11.1.4	Binnenhaven	74
11.1.5	Waterbeheer	75
11.2	Aanlegfase	77
11.3	Omvang grondverzet en verandering bodemkwaliteit	79
11.3.1	Verandering bodemkwaliteit	80
11.3.2	Afzet vrijkomende grond	81
11.4	Mate van erosie en sedimentatie voorkeursvariant	82
11.4.1	Mate van sedimentatie in voorhaven	82
11.4.2	Bestemming onderhoudsspecie	84
11.5	Vertroebeling Westbuitenhaven voorkeursvariant	93
12	Leemten in informatie Voorkeursvariant	94
13	Samenvatting	95
13.1	Grondverzet en afzetbaarheid	95
13.2	Kwaliteitsverandering	96
13.3	Morfologische effecten	96
13.4	Vertroebeling	97
13.5	Vergelijking met verkenningsfase	97
14	Literatuurlijst	98
Bijlage 1 Verklaring afkortingen		101
Bijlage 2 Eindnoten		102
Bijlage 3 Svašek Hydraulics (2014). Stroming in de Westbuitenhaven Terneuzen. 3-D stromingsberekingen en analyse sedimentatie.		103

1 Inleiding

1.1 Inleiding

Nederland en Vlaanderen zijn overeengekomen de plannen voor een Nieuwe Sluis op het sluisencomplex van Terneuzen uit te werken¹. Het voornemen bestaat de uitkomsten vast te leggen in een Tracébesluit. Bij de voorbereiding van dit Tracébesluit wordt de milieueffectrapportage (m.e.r.) doorlopen. Dit rapport bevat de onderzoeksresultaten van het m.e.r.-onderzoek naar bodem.



Figuur 1-1 Westsluis van het sluisencomplex Terneuzen (bron: Rijkswaterstaat, Joop van Houdt)

1.2 Doelstelling van het project Nieuwe Sluis Terneuzen

In 2007 is een probleemanalyse uitgevoerd naar de maritieme toegankelijkheid van de Kanaalzone². Uit de probleemanalyse komen verschillende knelpunten in toegankelijkheid naar voren, zowel voor zeeschepen als voor binnenvaart. De knelpunten zijn de slechte bereikbaarheid van de Kanaalzone Gent-Terneuzen en de Seine-Scheldeverbinding:

- de capaciteit van het sluisencomplex is beperkt, hierdoor vindt verdringing van lading naar andere modaliteiten waaronder wegverkeer plaats;
- de capaciteit van het sluisencomplex is beperkt, hierdoor is de wachttijd voor de binnenvaart onacceptabel hoog;
- de robuustheid van de verbinding van het Kanaal Gent-Terneuzen is niet optimaal omdat er bij een mogelijke stremming van het sluisencomplex geen alternatieve routes bestaan;

¹ Besluit van het politiek college van de Vlaams-Nederlandse Schelde Commissie inzake planuitwerkingsfase Grote Zeesluis Kanaal Gent-Terneuzen, 19 maart 2012

² Nota probleemanalyse Kanaalzone Gent-Terneuzen 2008, mei 2007

-
- de afmetingen van de huidige Westsluis zijn beperkt waardoor de schaalvergroting in de zeevaart niet gevolgd kan worden. Met robuustheid wordt bedoeld de beschikbaarheid en betrouwbaarheid.

Doelstelling van het project Grote Zeesluis Terneuzen Kanaal Gent Terneuzen is het verbeteren van de toegankelijkheid van de Kanaalzone. Hiervoor worden de drie knelpunten aangepakt op de volgende wijze:

- de capaciteit van het sluizencomplex wordt vergroot, zodat het transport van de autonome goederengroei door het sluiscomplex vlot en veilig kan plaatsvinden en er geen verschuiving van goederenstromen naar andere havens of modaliteiten optreedt. Dit wordt gemeten doordat het vervoerde tonnage vrachtverkeer door het sluizencomplex vergroot en de wachttijden voor de binnenvaart verminderen ten opzichte van de autonome ontwikkeling.
- de robuustheid van het sluizencomplex wordt verbeterd. Hiervoor moeten alle sluiskolken een beschikbaarheid hebben van minstens 98% gemiddeld over 5 jaar.
- de schaalvergroting in de zeevaart wordt gefaciliteerd. De nieuwe sluiskolk heeft afmetingen van 427m x 55m x 16m (lxbxd)³

1.3 Effectonderzoeken MER

In het kader van de m.e.r. zijn verschillende deelstudies uitgevoerd naar de effecten van de aanleg en het gebruik van de Nieuwe Sluis. Deze studies gaan in op:

- Verkeer en vervoer
- Leefomgevingskwaliteit
- Natuur
- Bodem
- Water
- Inpassing in de omgeving
- Duurzaamheid en klimaat
- Hoogwaterveiligheid.

Dit rapport is één van de serie deelrapporten die onderdeel uitmaakt van het MER. Het MER is opgebouwd uit drie lagen, te weten:

- Samenvatting - bevat de kern van het MER
- Hoofdrapport - informatie voor de geïnteresseerde
- Deelrapporten - achtergrondinformatie voor specialisten

Het hoofdrapport van het MER bevat de effectbeoordeling. Hier wordt de effecten vergeleken met de effecten die optreden als het project Nieuwe Sluis Terneuzen niet wordt uitgevoerd.

³ Besluit van het politiek college van de Vlaams Nederlandse Schelde Commissie inzake planuitwerkingsfase Grote Zeesluis Kanaal Gent-Terneuzen, 19 maart 2012

De deelrapporten bevatten per milieuthema de opzet van het betreffende onderzoek, de uitgangspunten en de uitkomsten van het onderzoek. Om te zorgen dat ieder deelrapport zelfstandig leesbaar is, wordt begonnen met inleidende hoofdstukken, waarin een toelichting op de projectlocatie en de varianten wordt gegeven.

De beschrijving van de huidige situatie en de autonome ontwikkeling gaat in op die zaken, die relevant zijn voor het onderzoek van de thema's die behandeld worden in dit deelrapport.

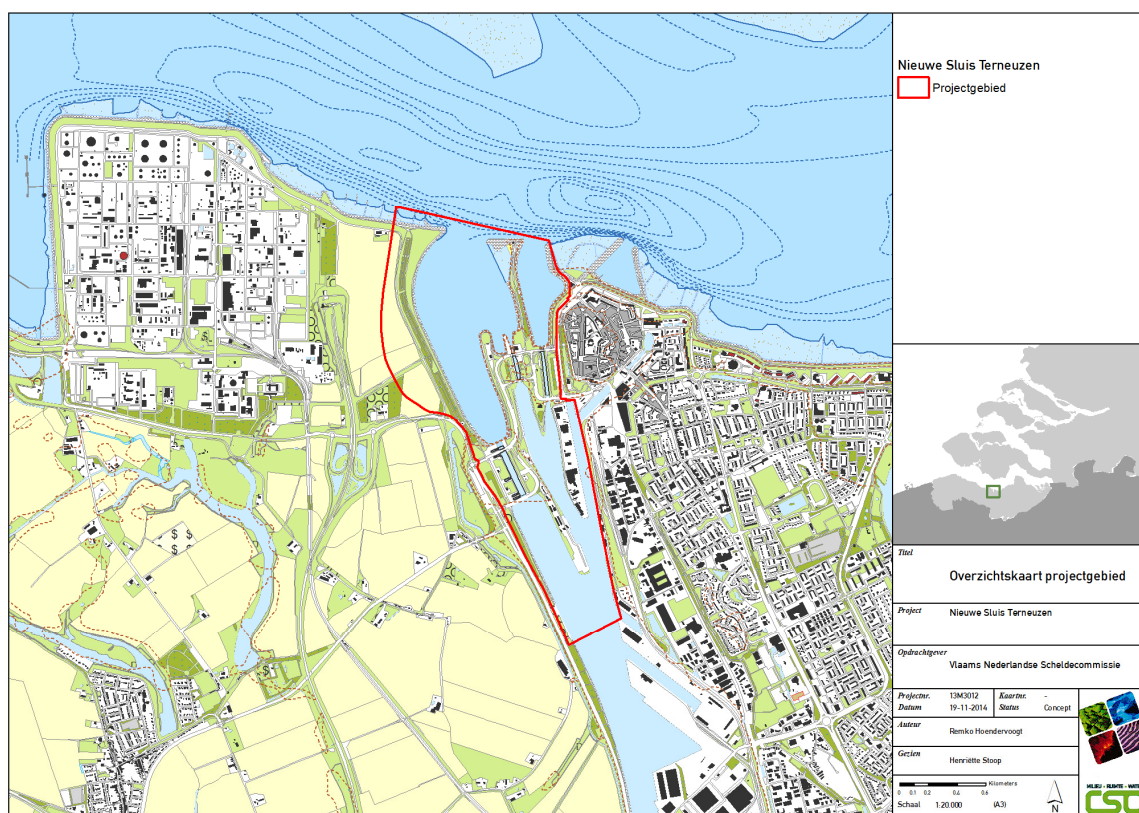
Bij de beschrijving van de effecten wordt per beoordelingscriterium de verwachte effecten van de drie varianten aangegeven. Hierbij wordt geen rekening gehouden met mogelijke maatregelen om de effecten te verzachten. Deze mitigerende maatregelen staan apart beschreven. Alleen bij de beoordeling van de voorkeursvariant is rekening gehouden met de mitigerende maatregelen die onderdeel uitmaken van de voorkeursvariant.

Dit rapport heeft betrekking op effectbeschrijving bodem. Hierin worden drie verschillende deelstudies beschreven:

- Omvang van het grondverzet.
- Morfologische effecten in de buitenhaven
- Morfologische effecten ten gevolge van het storten van materiaal in de Westerschelde

2 Projectgebied

2.1 Beschrijving van het sluizencomplex



Figuur 2-1 Projectgebied inclusief projectgrens

De Westerschelde en het Kanaal Gent-Terneuzen worden met elkaar verbonden door de sluizen van Terneuzen (zie Figuur 2-1 voor de ligging van het sluizencomplex). Het huidige sluizencomplex van Terneuzen bestaat uit drie sluizen, waarvan er één geschikt is voor de (grotere) zeescheepvaart (zie Figuur 2-3). De Westsluis dateert uit 1968, is 290 m lang, 40 m breed en heeft een sluisdrempel van 13,5 m tov kanaalpeil. In de Westsluis kan maximaal een gelichterde Panamax van beperkte lengte worden geschut. De maximale scheepsafmetingen toegestaan op het kanaal is: 265 m (lengte) x 34 m (breedte) x 12,5 m (diepgang in opvaart)⁴. Grotere schepen hebben vrijstelling of ontheffing nodig om op het kanaal te worden toegelaten. Door schaalvergroting en een stijging van het aantal schepen in de binnenvaart wordt deze Westsluis tegenwoordig ook voor binnenvaartschepen gebruikt. De Oostsluis en de Middensluis worden voornamelijk ter afhandeling van de binnenvaart gebruikt. De Oostsluis dateert net als de Westsluis uit 1968. De bouw van de Middensluis is in 1910 afgerond en deze sluis onderging in 1986 een grondige renovatie.

⁴ Scheepvaartreglement voor het Kanaal van Gent naar Terneuzen, artikel 38

De Middensluis is een getijsluis, die ook toegankelijk is voor kleine kustvaarders, maar biedt daarentegen wel beperkingen voor grotere duwstellen.

Op het sluizencomplex zijn verschillende kantoren en bedrijvigheid aanwezig. Deze kantoren en bedrijvigheid zijn deels gebonden aan het water of aan de functionaliteit van het sluizencomplex.



Figuur 2-2 Overzicht Sluizencomplex Terneuzen

Over alle sluizen liggen twee verkeersbruggen. Het kruisende wegverkeer ondervindt weinig hinder van het schutten van de schepen.

2.2 Omgeving van het sluizencomplex

Aan de oostzijde van het sluizencomplex ligt de plaats Terneuzen. Ter hoogte van de Oostsluis worden de woningen door middel van een bomenrij van het sluizencomplex gescheiden. Meer naar het zuiden grenst bedrijvigheid aan het kanaal. De Kennedylaan/Meester F.J. Haarmanweg vormt de scheiding tussen bedrijvigheid langs het kanaal en woonwijken daarachter. Schependijk is een bedrijventerrein tussen de haven van Terneuzen en het toegangskanaal tot de Oostsluis.

Terneuzen ligt vrijwel volledig aan de oostzijde van het sluizencomplex. Alleen het busstation ligt aan de westzijde van het sluizencomplex. Aan de westzijde is verder de ingang van de Westerscheldetunnel gelegen, en het chemiebedrijf Dow Chemical. Het overige land wordt agrarisch gebruikt.

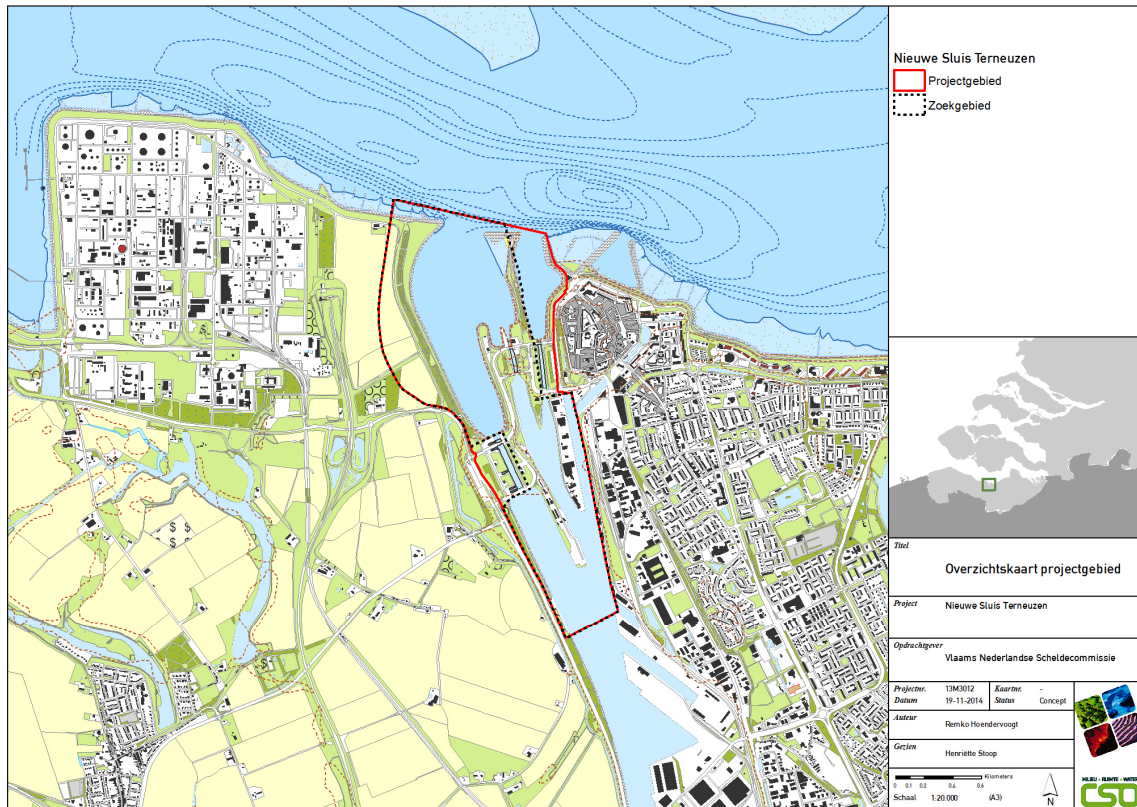
Aan de noordzijde van het complex ligt de Westerschelde. De Westerschelde maakt onderdeel uit van het Natura 2000-gebied Westerschelde en Saeftinghe. Het is een dynamisch estuarium door het getijdenverschil. De Westerschelde is daarnaast ook de toegangsvaarweg naar het Kanaal Gent-Terneuzen aan de zuidzijde van het complex, en de havens van Antwerpen en Vlissingen.



Figuur 2-3 Overzicht sluizencomplex Terneuzen met Terneuzen op de achtergrond

3 Beschrijving van de onderzochte varianten

3.1 Beschrijving voorkeursalternatief



Figuur 3-1 Projectlocatie, zwarte stippellijn geeft zoekruimte weer (bron: Besluit Politiek College)

In de verkenning die voorafgaand aan de planuitwerking is uitgevoerd, is zowel verbetering van het kanaal als het sluisencomplex onderzocht. Op basis van de daaruit beschikbaar gekomen informatie en het advies van het stakeholders advies forum, is besloten de aanleg van een Nieuwe Sluis binnen het sluisencomplex van Terneuzen uit te werken. Dit is vastgelegd in het besluit van het politiek college van de Vlaams-Nederlandse Schelde Commissie. Daarbij is besloten dat het voorkeursalternatief bestaat uit de Nieuwe Sluis zonder aanpassing aan het kanaal. Hierbij geldt dat de Nieuwe Sluis gerealiseerd dient te worden binnen het bestaande sluisencomplex in Terneuzen. De zoekruimte voor de Nieuwe Sluis is weergegeven op Figuur 3-1. Alle werken die nodig zijn voor de aanleg moeten binnen de aangegeven zoekruimte worden uitgevoerd.

De nieuwe sluis heeft een omvang van 427m x 55m x 16m (lxbxd). Het voorkeursalternatief vormt het uitgangspunt van de varianten die in de m.e.r. worden onderzocht.

Om de nautische verkeersstromen van en naar het sluisencomplex te faciliteren, kan aanpassing van de voorhavens noodzakelijk zijn. Onderzoek naar aanpassingen van de voorhavens maakt daarom integraal onderdeel uit van de m.e.r. Wanneer aanpassing van de voorhavens noodzakelijk is, zal de aanpassing worden opgenomen in het Tracébesluit.

3.2 Beschrijving varianten

3.2.1 Invalshoeken per variant

Bij het opstellen van de varianten is vanuit verschillende invalshoeken naar de opgave van de sluis gekeken. Om te komen tot reële varianten met voldoende bandbreedte in milieueffecten, is gekozen de varianten vanuit de volgende invalshoeken in te vullen:

- Beperken ruimtebeslag, effecten op natuur minimaliseren
- Betrouwbaarheid en versterken landschappelijke kwaliteit
- Optimalisatie scheepvaart, verminderen beïnvloeding leefomgevingskwaliteit.

In de hiernavolgende paragrafen is per variant een toelichting op de gekozen invalshoek opgenomen, en is weergegeven tot welke keuzes de gekozen invalshoek leidt.

3.2.2 Variant 1



Figuur 3-2 Schets van variant 1

De invalshoek voor het beperken van het ruimtebeslag in variant 1 is ingegeven door de wens de mogelijkheid tot het behoud van de Middensluis te onderzoeken. Om de Middensluis te kunnen behouden, moet de sluis zo noordelijk mogelijk worden gepositioneerd en zo min mogelijk geroteerd ten opzichte van de Westsluis. Een beperkte rotatie vergroot het gemak van de in- en uitvaart. Dat leidt tot de keuze voor de oriëntatie van 3°.

Het ruimtebeslag van de deuren naast de sluiskolk is gering om behoud van de Schependijk mogelijk te maken. Daarom wordt met gekromde roldeuren gewerkt. De lengte van de sluis is minder bepalend voor het behoud van de Middensluis en Schependijk. De bruggen zijn daarom net als bij de Oost- en Westsluis een basculebrug met 1 val.

De wegstructuur is vormgegeven met een voorrangsweg op de kortste route als alle deuren gesloten zijn. De kruisingen zijn als gewone kruisingen vormgegeven, zonder uitvoegstroken.

De droge, sluisgebonden diensten waarvan de locatie komt te vervallen, worden verspreid over het sluizencomplex teruggeplaatst. Er wordt geen centrale locatie aan de rand van het complex gecreëerd, omdat dit ten koste zou gaan van de huidige functie op die locatie. De opslag moet zo veel mogelijk verplaatst worden langs de Nieuwe Sluis.

De Middensluis kan niet in zijn huidige functie behouden blijven. Er is onvoldoende ruimte voor de in- en uitvaart van vier sluizen op het complex. De Middensluis krijgt de functie van spuwmiddel.

Om de effecten op natuur te minimaliseren, wordt gekozen voor een zo beperkt mogelijke verbreding van de havenmond. Ook is het havenbekken niet naar de westzijde vergroot, mede in verband met de agrarische functie van het gebied. Zo wordt zo min mogelijk hydraulische en morfologische effecten veroorzaakt. Wel wordt een vergroting van de havenmond aan de westzijde binnen deze variant onderzocht in verband met de nautische veiligheid. De voorhaven wordt verdiept zodat schepen met een diepgang van 12,50 meter onafhankelijk van het tij de voorhaven in kunnen varen. Dit in verband met de capaciteit van het complex. Er wordt geen zwaaicirkel aangelegd.

Om effecten op natuur door verzilting te minimaliseren, zijn innovatieve zoet-zoutscheidingsmethoden opgenomen. Hierbij wordt ook gekeken naar de mogelijkheden om bij de andere sluizen op het complex maatregelen uit te voeren om de verzilting te beperken. Uitgangspunt is dat het rendement van de scheidingssystemen bij alle sluizen 75% is.

Voor de bouwmethode wordt gekozen voor het bouwen van de kolk in het natte. De sluishoofden worden wel droog gebouwd. De bouw van de ronde deurkassen is technisch lastig, en kan niet nat gebouwd worden.

3.2.3 Variant 2



Figuur 3-3 Schets van variant 2

Variant 2 zet in op betrouwbaarheid. Hierbij is gekozen voor zoveel mogelijk beproefde technieken en zo min mogelijk ingrepen. Dat leidt tot de keuze van rechte roldeuren voor de sluis, en basculebruggen. Dit vraagt de nodige ruimte, waardoor de Middensluis niet behouden kan blijven, en de Schependijk deels moet worden verwijderd.

Het deels verwijderen van de Schependijk creëert de opgave om deze nieuw in te richten. De huidige bebouwing zal als gevolg van de versmalling deels moeten verdwijnen. Omdat het niet wenselijk is huidige gebruikers van de Schependijk met een halve loods, of half perceel te laten zitten. Er zullen daardoor delen van percelen opgekocht moeten worden, die niet direct nodig zijn voor de verbreding van de vaarweg. Hierdoor ontstaan kansen om sluisgebonden diensten die verplaatst moeten worden, terug te plaatsen op de Schependijk.

In tegenstelling tot variant 1, wordt niet vastgehouden aan de huidige invulling van het sluisencomplex. Daardoor ontstaat de mogelijkheid functies te clusteren en in te zetten op ruimtelijke kwaliteit.

Ook voor de scheiding van zoet en zout water wordt gebruikt gemaakt van bewezen technieken, zoals een bellenscherm. Dat betekent dat er geen gebruik wordt gemaakt van de innovatieve methodes die zijn opgenomen in variant 1, waardoor de totale effectiviteit iets lager zal zijn. De zoet-zoutscheiding wordt binnen dit project alleen aangelegd bij de Nieuwe Sluis.

Voor het spuien wordt een los spuikanaal met apart spuimiddel tussen de Oostsluis en de Nieuwe Sluis aangelegd. De kruisingen van de wegen hebben een aparte strook voor verkeer dat linksaf wil slaan.

De Nieuwe Sluis wordt 5° gedraaid ten opzichte van de Westsluis. Daardoor ligt de sluis in lijn met het kanaal. Dit faciliteert een vlotte en veilige in- en uitvaart aan de kanaalzijde. De buitenvoorhaven wordt aan de oostzijde vergroot, doordat de Middensluis verdwijnt. Verder wordt de voorhaven niet aangepast. De havenmond wordt dus niet verbreedt, de voorhaven niet verdiept en er wordt geen zwaaicirkel aangelegd. Wel wordt er een slibvang voor de Nieuwe Sluis aangelegd. Dit is noodzakelijk vanwege het verschil in diepte tussen de buitenvoorhaven en de sluis.

De sluiskolk wordt in het natte gebouwd. De hoofden van de sluis worden boven de grond gebouwd en met de caissonmethode in de grond gebracht.

3.2.4 Variant 3



Figuur 3-4 Schets van variant 3

De variant 3 wordt geoptimaliseerd op de scheepvaartfunctie (zeevaart en binnenvaart). Dit leidt tot zo min mogelijk beïnvloeding van de luchtkwaliteit en zo min mogelijk geluidshinder. Dat betekent dat de sluis 5° gedraaid is ten opzichte van de Westsluis. Er is dan geen ruimte meer voor de Middensluis. Er is gekozen voor een sluiskolk waar de deuren en bruggen weinig ruimte innemen in de lengterichting van

de sluis, zodat de schepen snel in en uit kunnen varen. Om dit te bereiken zijn de bruggen over de deuren gelegd. Er is zo veel mogelijk ruimte tussen de Westsluis en de Nieuwe Sluis, zodat het verkeer voor de beide sluiskolken zo min mogelijk interfereert.

Om een goede invaart van de Oostsluis mogelijk te houden, wordt de Schependijk deels afgegraven. De graafwerkzaamheden leveren tijdens de bouw extra geluidshinder op. In de eindsituatie is naar verwachting minder geluidsoverlast, omdat de bedrijvigheid op de Schependijk een hoge geluidsproductie heeft. Daarnaast wordt de vervuilde grond van de Schependijk gesaneerd.

Om de invaart vanaf de Westerschelde te faciliteren wordt de havenmond vergroot en de westelijke havendijk verlegd. Zo ontstaat een brede invaart van de buitenvoorhaven, en een ruime voorhaven met zwaaicirkel. De buiten voorhaven wordt verdiept zodat alle schepen die op het kanaal kunnen varen tijonafhankelijk de voorhaven in kunnen.

Er is gekozen voor geen scheiding van zoet en zoutwater, zodat de scheepvaart vrij kan doorvaren. Dat betekent dat ter plaatse mitigerende maatregelen nodig kunnen zijn om ongewenste effecten van de verzilting te verminderen. In tijden met watertekort wordt er gezocht naar optimalisatie. Omdat het kanaal verzilt, is het mogelijk water van de Westerschelde in te laten.

Door niet vast te houden aan de huidige verdeling van functies op het sluizencomplex, ontstaat de ruimte voor clustering van functies en het verbeteren van de ruimtelijke kwaliteit. Alle diensten die samenhangen met het functioneren van het sluizencomplex worden geclusterd teruggeplaatst langs de verbrede voorhaven. De voorhaven wordt zodanig vormgegeven, dat er ruimte is voor zowel functies op land als op water. Er wordt geen apart spuikanaal aangelegd. Het spuien vindt plaats via de Nieuwe Sluis.

De keuze om op de deuren te rijden vraagt het nodige van de wegstructuur. De kruising tussen de Oostsluis en de Nieuwe Sluis wordt vormgegeven middels een rotonde voor een soepele aansluiting.

Zowel de sluiskolk als de sluishoofden worden in den droge gebouwd. Door de bouwmethoden in de verschillende varianten te wisselen, ontstaat inzicht in de effecten van de bouwmethode.

3.2.5 Samenvatting varianten

In onderstaande tabel is de opbouw van de varianten samengevat. In deze samenvatting zijn de ontwerpkeuzes opgenomen. Effecten die voortkomen uit de verschillende keuzes zijn in de betreffende deelrapporten opgenomen.

Tabel 3-1 Samenvatting opbouw varianten

Ontwerpkeuze	Variant D01	Variant D02	Variant D03
Oriëntatie sluis	3 graden geroteerd	5 graden geroteerd	5 graden geroteerd
Breedte voorhaven	Geen dijkverlegging	Geen dijkverlegging	Gedeeltelijke dijkverlegging 215 m
Havenmondverbreding	Verbreding west	Geen havenmondverbreding	Verbreding oost en west
Diepte voorhaven	12,5 m tij-onafhankelijk	Huidig +slibvang	12,5 m tij-onafhankelijk
Behoud Middensluis	Middensluis spuien	Middensluis slopen	Middensluis slopen
Spuifunctie	Apart via Middensluis	Apart via nieuw spuimiddel	Nieuwe Sluis
Type deuren	Gekromde roldeur (2 + 1)	Roldeur (2 + 2)	Roldeur (2 + 1)
Bouwmethode	Hoofden: bouwkuip droog	Hoofden: caissonmethode	Hoofden: bouwkuip droog
	Kolk: bouwkuip nat	Kolk: bouwkuip nat	Kolk: bouwkuip droog
Locatie bruggen	Bruggen net buiten deuren	Bruggen net buiten deuren	Bruggen over sluisdeuren
Zoet-zout	Maximale inzet met innovatieve methoden	Inzet van bewezen technieken	Verzilten
Type bruggen	Basculebrug 1 val	Basculebrug 1 val	Op de deuren rijden
Locatie kruisingen	Voorrangsweg met gewone kruising	Voorrangsweg met linksafstrook	rotonde
zwaaicirkel	Geen	geen	550
Mate van verwijderen Schependijk	Behouden	39.500 m2	72.330 m2
Locatie diensten nieuw	Verspreid	Schependijk	buitenhaven

4 Beoordelingskader

Voor het MER Nieuwe Sluis Terneuzen is een beoordelingskader opgesteld. Dit beoordelingskader is vastgelegd in het uitgangspuntendocument (VNZT-R-26-3). De beschreven effecten vallen onder het thema bodem en water, specifiek de deelaspecten bodem en morfologie (zie Tabel 4-1 en Tabel 4-2).

In de tabel is aangegeven of de beoordelingswijze kwantitatief of kwalitatief is en of de beoordeling voor de aanlegfase, de gebruiksfase of beide wordt uitgevoerd.

Tabel 4-1 Beoordelingskader inclusief beoordelingscriteria voor deelaspecten oppervlaktewater en grondwater

Milieu thema	Deelaspect	Beoordelingscriterium	Beoordelingswijze	Aanleg	Gebruik
Bodem	Bodem	Afzetmogelijkheden	kwantitatief	x	
		Kwaliteitsverandering	kwantitatief		x
	Morfologie	Mate van erosie en sedimentatie	kwantitatief	x	x
		Vertroebeling tijdens uitvoering	kwantitatief	x	

In de onderstaande tabel is per beoordelingscriterium weergegeven waar in het rapport de relevante informatie voor het betreffende onderdeel is opgenomen.

Tabel 4-2 Locatie beoordelingscriteria in deelrapport bodem

Deelaspect	Beoordelingscriterium	Aanleg	Gebruik
Bodem	Afzetmogelijkheden	Paragraaf 6.1 en 11.3	-
	Kwaliteitsverandering	-	Paragraaf 6.2 en 11.3
Morfologie	Mate van erosie en sedimentatie	Paragraaf 9.3 en 11.4.1	Paragraaf 9.3 en 11.4.1
	Vertroebeling tijdens uitvoering	Paragraaf 9.4 en 11.5	-

In de hoofdstukken 5 t/m 7 wordt ingegaan op de omvang van het grondverzet in de verschillende varianten, de effecten van het grondverzet en de leemtes in kennis.

In de hoofdstukken 8 t/m 10 wordt ingegaan op de morfologische effecten.

In hoofdstuk 11 worden de effecten van de voorkeursvariant beschreven.

5 Werkwijze bepaling grondverzet

5.1 Onderzoeksopzet

Ten behoeve van het bepalen van de omvang van het benodigde grondverzet en de kwaliteit en samenstelling van het te verzetten materiaal is een 3-d bodemmodel gemaakt. Basis voor dit model is het bodemonderzoek (VNZT-R-125-0), waarvan de uitkomsten zijn vertaald naar zones met gelijke kwaliteit en bodemopbouw. Vervolgens is het gehele projectgebied geschematiseerd door middel van cellen van 5x5 meter met een dikte van 0,5 meter. Dit leidt tot blokjes van 12,5 m³ die op basis van het bodemonderzoek zijn geclassificeerd op basis van materiaal en kwaliteit. Het bereik van het model is NAP +20 meter tot NAP -20 meter, waardoor het huidige maaiveld en alle voorziene aanpassingen ervan gemodelleerd kunnen worden.

Bovenstaande uitgangspunten betekenen dat alle hoogtematen (zowel het huidige maaiveld, als de maatvoering in het ontwerp) afgerond worden op halve meters. Aangezien dit zowel naar boven, als naar beneden gebeurt wordt aangenomen dat dit op het geheel uitmiddelt en derhalve voor de totalen geen verschil zal maken. Voor losse bouwdelen kan dit echter tot (kleine) verschillen leiden tijdens de uitvoering. Voor de effectbeoordeling wordt deze methode als voldoende nauwkeurig beschouwd.

Per variant zijn bouwdelen gedefinieerd, waarvoor ontwerphoogtes/ontwerpdieptes zijn vastgesteld. Om deze goed aan te laten sluiten op het bestaande maaiveld is het niet afgeronde bestaande maaiveld in een TIN-oppervlakte (Triangular Irregular Networks) gemodelleerd. Hieroverheen zijn vervolgens per variant de bouwdelen gelegd en aangesloten om per variant tot een logisch maaiveld na aanleg te komen. De TIN's per variant zijn vervolgens afgerond op halve meters en als parameter in het bodemmodel opgenomen.

Op basis van het bodemmodel en de huidige en toekomstige maaiveldhoogte is vervolgens voor de verschillende varianten per bouwdeel het benodigde grondverzet bepaald. Hierbij geldt dat voor ieder bouwdeel is bepaald of er ontgraven/gebaggerd of aangevuld dient te worden (elk bouwdeel kan maar één van de twee typen hebben). Naast de kwantiteit zijn tegelijkertijd ook de samenstelling en kwaliteit van het vrijkomende materiaal bepaald.

De resultaten zijn per bouwdeel exact en voor het hele project afgerond op 1000 m³ gerapporteerd.

5.2 Studiegebied

Het projectgebied is weergegeven in Figuur 2-1. Het studiegebied voor het in beeld brengen van het grondverzet is in principe gelijk aan het projectgebied, met uitzondering van de noordwestzijde.

Hier is voor sommige varianten tussen de vaargeul van de Westerschelde en het plangebied ontgraving nodig om te voorkomen dat onder water een drempel ontstaat tussen buitenhavens en Westerschelde.

Grote delen van het plangebied zijn onderzocht conform de NEN 5740 (strategie voor het uitvoeren van verkennend onderzoek). Overige delen zijn indicatief onderzocht. Het verkennend bodemonderzoek is gericht op de bovengrond (0-0,5 m-mv) en de ondergrond (tot 2 m-mv). De resultaten van het verkennend onderzoek zijn beschreven in het 'Verkennend bodem-, waterbodemonderzoek en asbestonderzoek dossier C (fase 1) (LievenseCSO, kenmerk VNZT-R-74-1, d.d. 14 maart 2014) en 'Verkennend bodemonderzoek en asbestonderzoek fase 2 (LievenseCSO, kenmerk VNZT-R-112-0, d.d. 22 juli 2014).

In aanvulling op het verkennend bodemonderzoek conform NEN 5740 is ook onderzoek gedaan naar de kwaliteit en samenstelling van de diepere ondergrond (>2 m-mv). Om de samenstelling van de ondergrond in beeld te brengen, zijn 27 mechanische boringen geplaatst tot een diepte van 17-19m-NAP.

De bodemopbouw is te onderscheiden voor drie delen:

- Sluizencomplex
- Schependijk
- Voorhavens
- Gebied ten westen van de buitenvoorhaven

5.2.1 Sluizencomplex

De bodem ter plaatse van het sluizencomplex bestaat uit een zandige bodengrond van 1 tot 2 meter dikte. Deze bovengrond is overwegend schoon. Lokaal is een verontreiniging aangetroffen. De bovengrond kan ook puinhoudend zijn en incidenteel zijn een grindlaag, slakken of zandcement aangetroffen.

Onder deze zandige bovengrond bevindt zich veelal een kleilaag, met afwisselend venige lagen. Plaatselijk komt deze laag ook aan de oppervlakte. Ook zijn in deze laag dunne zandlagen aanwezig. De klei is overwegend matig siltig en bevat laagjes veen. De klei is als niet verontreinigd te beschouwen

Onder de kleilaag is wederom een dik zandpakket aanwezig dat zich ten minste uitstrekt tot 19,0 m-NAP. Dit zand is overwegend zeer tot matig fijn en zwak tot matig siltig en bevat plaatselijk laagjes veen of klei. Ook zijn plaatselijk schelpenresten aangetroffen. Ook deze zandlaag is in het kader van de Wet bodembescherming als niet verontreinigd te beschouwen.

5.2.2 Schependijk

Op de Schependijk zijn verschillende bedrijfslocaties (bedrijven en scheepswerven) aanwezig. De bodem bestaat hoofdzakelijk uit zand- en kleilagen.

De bovengrond van de Schependijk bestaat hoofdzakelijk uit puinhoudend matig fijn, zwak siltig zand en puin. De bovenste 2 meter is licht tot sterk verontreinigd met zware metalen PAK, PCB en/of minerale olie. Plaatselijk wordt een puinlaag tot beneden 2 m-mv aangetroffen. Ter plaatse kan de bodem dieper verontreinigd zijn. Zeer plaatselijk is in de bodem een asbestconcentratie boven de interventiewaarde aanwezig en is sprake van een geval van ernstige verontreiniging met asbest.

Waarschijnlijk is de verontreiniging deels een gevolg van het toepassen van verontreinigd materiaal (onder andere puin) in de ophooglaag van de Schependijk. Daarnaast is de bodem aanvullend verontreinigd door lokale bodembelasting vanwege bedrijfsactiviteiten.

De weg over de Schependijk is verhard met een asfaltlaag van circa 10 cm. Onder de asfaltverharding is ter plaatse van de meeste boringen een betonlaag aangetroffen en incidenteel een grindlaag. Hieronder is overwegend zintuiglijk schoon zand aangetroffen. Het asfalt bevat minder dan 50 mg/kg PAK en is daarmee als niet-teerhoudend te beschouwen.

De bodemopbouw vanaf 2 meter beneden maaiveld is vergelijkbaar met het Sluizencomplex. Onder de puin/zandlaag is een laag aanwezig die afwisselend uit klei en veen bestaat en sterk varieert in dikte. Ook zijn in deze laag dunne zandlagen aanwezig. De klei bevat laagjes veen en is als niet verontreinigd te beschouwen. Het veen is mineraalarm en is licht verontreinigd te beschouwen vanwege Molybdeen. Onder de klei- en veenlaag is een zandlaag aanwezig. Dit zand is overwegend zeer tot matig fijn en zwak tot matig siltig en bevat plaatselijk laagjes veen of klei. Deze zandlaag is als niet verontreinigd te beschouwen.

5.2.3 Voorhavens

De waterbodem aan de Westerschelde zijde bestaat uit een 1 tot 2 m dikke, donkergrijze sliblaag, met daaronder voornamelijk zand en plaatselijk klei. In het noordelijke deel is geen slib aangetroffen. Zeer plaatselijk is onder de sliblaag een slib- en zandlaag aangetroffen met een dikte van (ten minste) 2 m.

Onder de sliblaag is overwegend zand aangetroffen, tot minimaal 19,5 m-NAP. Dit zand varieert van overwegend zwak siltig, zeer fijn. Het slib is toepasbaar als klasse A. Het zand is overwegend schoon.

De waterbodem aan de kanaalzijde bestaat uit een sliblaag met een sterk variabele dikte. De kwaliteit van het slib varieert (schoon tot klasse B). Plaatselijk zijn (met name in het slib) puinbijmengingen, olie-waterreacties en een brandstofgeur waargenomen. Dieper dan 13 m-NAP is overwegend zeer fijn zand met laagjes klei aangetroffen. Het zand is vrij toepasbaar.

5.2.4 Gebied ten westen van de buitenvoorhaven

Het westelijk deel van het plangebied omvat akkers in de polder, de dijk en de teen van de dijk (buitendijks). In de polder wordt vanaf het maaiveld een kleilaag aangetroffen. Deze klei is zwak tot matig zandig, plaatselijk zwak tot matig siltig en bevat plaatselijk sliblaagjes. De akkers in de polder zijn indicatief onderzocht. De gehele kleilaag (inclusief de top laag) is als niet verontreinigd te beschouwen. In het zuidelijk deel is onder de kleilaag een veenlaag aangetroffen. De waterkering in het westelijk deel van het plangebied bestaat uit een dijk van zand, bekleed met kleilaag van 0,8 tot 1,3 m dikte. Vanaf circa 0,5 m + NAP wordt weer een kleilaag aangetroffen. Het niveau van de kleilaag komt overeen met het niveau van het maaiveld in de aangrenzende polder.

Het terreindeel ten oosten van de dijk (buitendijks) betreft de teen van de dijk. Vanaf het maaiveld wordt een kleilaag aangetroffen met een dikte variërend van 1,0 tot 2,2 meter. Onder de kleilaag wordt een zandlaag aangetroffen.

Onder de klei(en veen-)laag is in het gehele gebied tot minimaal 17,5 m-NAP een laag aanwezig bestaande uit zeer fijn tot matig fijn zand met plaatselijk laagjes slib en resten schelpen. Incidenteel is een dunne veenlaag aanwezig. Deze zandlaag is als niet verontreinigd te beschouwen.

5.3 Huidige situatie en autonome ontwikkeling

In de huidige situatie vindt er jaarlijks baggeronderhoud van de buitenhaven plaats. Hierbij wordt er de bodem gebaggerd tot de onderhoudsdiepte en wordt het vrijkomende materiaal (slib) in de Westerschelde gestort. In paragraaf 9.2 wordt de omvang van het reguliere baggeronderhoud beschreven.

Wat betreft klimaatverandering kan worden gesteld dat de stijging van de zeespiegel klein is ten opzichte van de diepte van de haven. Daarbij is de verwachting dat baggeractiviteiten zullen 'meestijgen' met de verandering in zeespiegel, waardoor de geometrie van de haven – en dus de slibvang – bij benadering gelijk blijven.

Voor de autonome ontwikkeling wordt geen wijziging ten opzichte van de huidige onderhoudsinspanning en baggerhoeveelheden voorzien.

6 Optredende effecten grondverzet

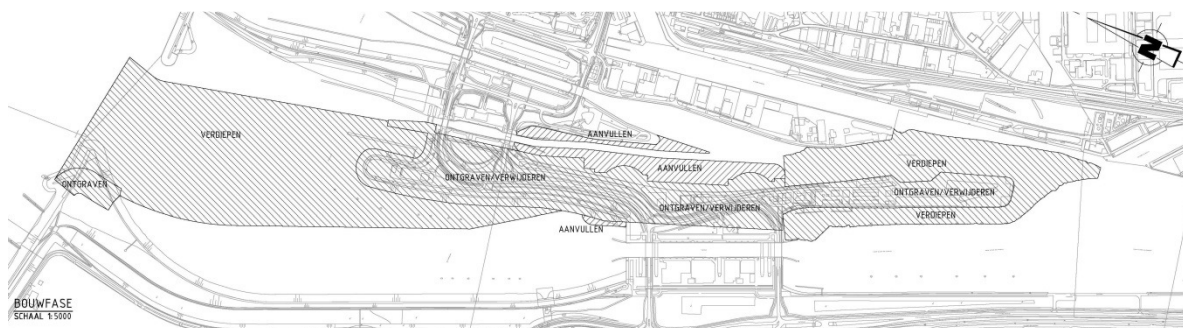
6.1 Omvang grondverzet

Grondverzet is beoordeeld voor de aanlegfase. Van grondverzet in de gebruiksfase is geen sprake. Het baggeronderhoud wordt beschreven bij de morfologische effecten. De totale omvang van het grondverzet is niet direct een beoordelingscriterium, maar wel de mate waarin verontreinigde grond wordt afgegraven (verbetering bodemkwaliteit) en de afzetmogelijkheden van de vrijkomende grond (hergebruik).

De te ontgraven grond is geclassificeerd op basis van de herkomst van de grond en de eisen zoals gesteld in het besluit Bodemkwaliteit. Dit betekent dat grond afkomstig van landbodem is geclassificeerd alsof het wordt toegepast op landbodem en de waterbodem alsof het wordt toegepast op de waterbodem. Er is voor deze werkwijze gekozen omdat dit de meest voor de hand liggende toepassingen zijn. Waterbodem kan alleen toegepast worden in water omdat het chloridegehalte te hoog is voor toepassing op landbodem. Toepassing van landbodem in oppervlaktewater is soms mogelijk, maar niet verder uitgewerkt.

6.1.1 Variant 1

In figuur 6-1 is weergegeven welke bouwdelen ontgraven of aangevuld worden bij variant 1.



Figuur 6-1 Te ontgraven en aan te vullen bouwdelen variant 1

Qua omvang van het grondverzet is deze variant de middelste van de drie varianten, met een totale bagger/ontgravingshoeveelheid van bijna zeven miljoen kubieke meter en een aanvulhoeveelheid van bijna zevenhonderdduizend kubieke meter. Het bouwdeel dat het meeste grondverzet oplevert is het ontgraven/baggeren van de buitenhaven (bijna twee miljoen kubieke meter baggeren en twee miljoen kubieke meter ontgraven).

Het totaaloverzicht van te ontgraven/baggeren en aan te vullen grond voor variant 1 is weergegeven in Tabel 6-2. De samenstelling en kwaliteit van het te ontgraven/baggeren materiaal voor variant 1 is weergegeven in Tabel 6-1. Uit deze tabel blijkt dat het grootste deel van de grond (ca. 85%) vrij toepasbaar is. Iets meer dan 1% van het materiaal is niet toepasbaar. Qua materiaal is iets minder dan de helft van het vrijkomende materiaal zeer fijn tot matig fijn zand. De gemiddelde korrelgrootte (d50) van de onderzochte zandlagen is 152 µm. met een range van 121 tot 220 µm. Bijna een kwart van het materiaal is kleiveen. Ruim 7,5% van het materiaal is niet onderzocht.

Tabel 6-1 Overzicht samenstelling en kwaliteit te ontgraven materiaal variant 1 in m³

kwaliteit									
	water- bodem	landbodem	waterbodem			landbodem			
materiaal	vrij toepas- baar	vrij toepas- baar	Klasse a	Klasse b	niet toepasbaar	Kwaliteits klasse wonen	Kwaliteits klasse industrie	niet toepasbaar	totaal
slib	2.000	0	386.0 00	27.00 0	0	0	0	0	415.000
zand	742.000	2.427.000	0	0	89.000	2.000	6.000	1.000	3.267.000
kleizand	863.000	0	0	5.000	0	0	0	0	868.000
kleizand- veen	185.000	0	0	0	0	0	0	0	185.000
kleiveen	0	1.576.000	0	0	0	0	4.000	0	1.580.000
totaal	1.792.000	4.003.000	386.0 00	32.00 0	89.000	2.000	10.000	1.000	6.315.000
niet bemonsterd	522.000							incl. niet bemonst.	6.837.000

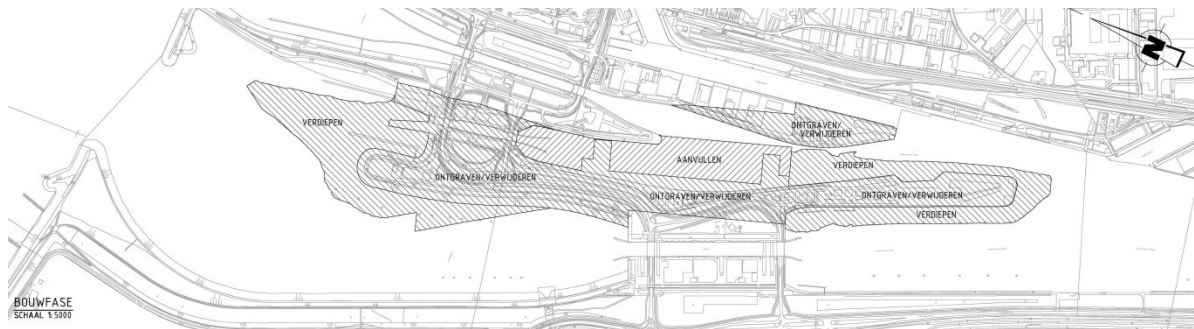
Het totaaloverzicht van te ontgraven/baggeren en aan te vullen grond voor variant 1 is weergegeven in Tabel 6-1 en in Tabel 6-8 is opgenomen wat de afzetmogelijkheden zijn voor de verschillende delen.

Tabel 6-2 Overzicht totaal grondverzet variant 1

Baggeren/ontgraven	Aanvullen
6.837.000 m ³	677.000 m ³

6.1.2 Variant 2

In figuur 6-2 is weergegeven welke bouwdelen ontgraven of aangevuld worden bij variant 2.



Figuur 6-2 Te ontgraven en aan te vullen bouwdelen variant 2

Variant 2 is qua grondverzet de minst ingrijpende variant, met een totale bagger/ontgravingshoeveelheid van ruim vijfeneenhalf miljoen kubieke meter en een aanvulhoeveelheid van bijna vijfhonderdduizend kubieke meter. Het bouwdeel dat het meeste grondverzet oplevert is het verruimen van de buitenhaven door verwijderen van het sluseiland en de middensluis (ruim een half miljoen kubieke meter baggeren en ruim twee miljoen kubieke meter ontgraven). Omdat de buitenhaven in variant 2 niet wordt verdiept zijn de hoeveelheden kleiner dan in variant 1 en 3.

Het totaaloverzicht van te ontgraven/baggeren en aan te vullen grond voor variant 2 is weergegeven in Tabel 6-3.

Tabel 6-3 Overzicht totaal grondverzet variant 2

Baggeren/ontgraven	Aanvullen
5.690.000 m ³	497.000 m ³

De samenstelling en kwaliteit van het te ontgraven/baggeren materiaal voor variant 2 is weergegeven in Tabel 6-4. Uit deze tabel blijkt dat het grootste deel van de grond (meer dan 90%) vrij toepasbaar is. Iets minder dan 1% van het materiaal is niet toepasbaar.

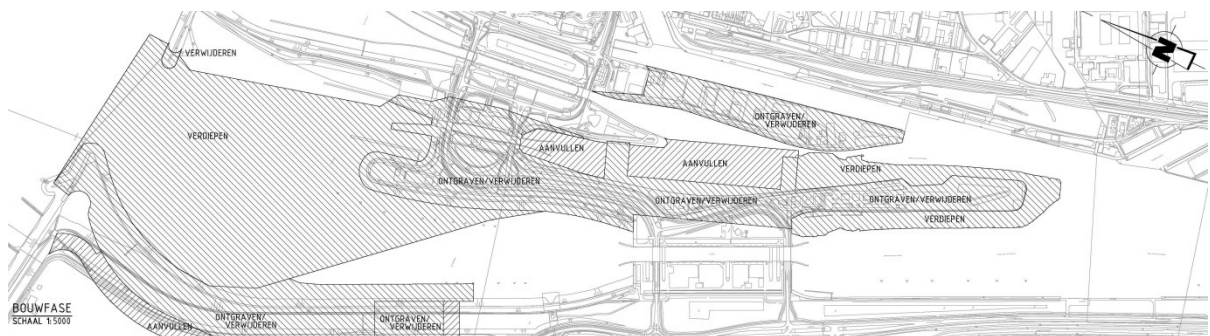
Qua materiaal is iets minder dan de helft van het vrijkomende materiaal zand. Circa 30% van het materiaal is kleiveen. Ruim 2% van het materiaal is niet onderzocht.

Tabel 6-4 Overzicht samenstelling en kwaliteit te ontgraven materiaal variant 2 in m³

Kwaliteit									
	Waterbodem	Landbodem	Waterbodem			Landbodem			
Materiaal	Vrij toepasbaar	Vrij toepasbaar	Klasse A	Klasse B	Niet toepasbaar	Klasse Wonen	Klasse Industrie	Niet toepasbaar	Totaal
slib	2.000	0	163.000	37.000	0	0	0	0	202.000
zand	326.000	2.379.000	0	0	0	2.000	25.000	49.000	2.781.000
kleizand	581.000	0	0	5.000	0	0	0	0	586.000
Kleizand-veen	262.000	0	0	0	0	0	0	0	262.000
kleiveen	0	1.706.000	0	0	0	0	17.000	1.000	1.724.000
Totaal	1.171.000	4.085.000	163.000	42.000	0	2.000	42.000	50.000	5.555.000
Niet bemonsterd	135.000							Incl. niet bemonst.	5.690.000

6.1.3 Variant 3

In figuur 6-3 is weergegeven welke bouwdelen ontgraven of aangevuld worden bij variant 3.



Figuur 6-3 Te ontgraven en aan te vullen bouwdelen variant 3

Variant 3 is qua grondverzet de meest ingrijpende van de varianten, met een totale bagger/ontgravingshoeveelheid van ruim tien miljoen kubieke meter en een aanvulhoeveelheid van bijna één miljoen kubieke meter. Het bouwdeel dat het meeste grondverzet oplevert is het ontgraven/baggeren van de buitenhaven (bijna drie miljoen kubieke meter baggeren en ruim twee miljoen kubieke meter ontgraven). Daarnaast zorgt het verruimen van de buitenhaven aan de westzijde voor nog eens bijna twee miljoen kubieke meter aan grondverzet.

Het totaaloverzicht van te ontgraven/baggeren en aan te vullen grond voor variant 3 is weergegeven in tabel 6-5.

Tabel 6-5 Overzicht totaal grondverzet variant 3

Baggeren/ontgraven	Aanvullen
10.189.000 m ³	965.000 m ³

De samenstelling en kwaliteit van het te ontgraven/baggeren materiaal voor variant 3 is weergegeven in Tabel 6-6. Uit deze tabel blijkt dat het grootste deel van de grond (ca. 88%) vrij toepasbaar is. Iets meer dan 1,5% van het materiaal is niet toepasbaar.

Qua materiaal is iets minder dan de helft van het vrijkomende materiaal zand. Circa 30% van het materiaal is kleiveen.

Ruim 3,5% van het materiaal is niet onderzocht.

Tabel 6-6 Overzicht samenstelling en kwaliteit te ontgraven materiaal variant 3 in m³

Kwaliteit									
	Waterbodem	Landbodem	Waterbodem			Landbodem			
Materiaal	Vrij toepasbaar	Vrij toepasbaar	Klasse A	Klasse B	Niet toepasbaar	Klasse Wonen	Klasse Industrie	Niet toepasbaar	Totaal
slib	2.000		581.000	39.000	0	0	0	0	622.000
zand	1.024.000	3.508.000	0	0	106.000	2.000	65.000	70.000	4.775.000
kleizand	1.144.000	0	0	5.000	0	0	0	0	1.149.000
Kleizand-veen	268.000	0	0	0	0	0	0	0	268.000
kleiveen		2.992.000	0	0	0	0	18.000	1.000	3.011.000
Totaal	2.438.000	6.500.000	581.000	44.000	106.000	2.000	83.000	71.000	9.825.000
Niet bemonsterd	364.000							Incl. niet bemonst.	10.189.000

6.2 Verandering bodemkwaliteit

In paragraaf 6.1 is de omvang van het grondverzet beschreven en is gekwantificeerd hoeveel verontreinigd bodemmateriaal wordt afgegraven. In onderstaande tabel is hiervan een overzicht gegeven.

	Landbodem		Waterbodem	
	Matig verontreinigd (klasse B)	Sterk verontreinigd (niet toepasbaar)	Matig verontreinigd (industrie)	Sterk verontreinigd (niet toepasbaar)
Variant 1	10.000	1.000	32.000	89.000
Variant 2	42.000	50.000	42.000	0
Variant 3	83.000	71.000	44.000	106.000

Landbodem

Het projectgebied is met name het bedrijventerrein Schependijk verontreinigd. In variant 1 wordt dit terrein niet vergraven. Hierdoor komt er vrijwel geen sterk verontreinigd bodemmateriaal vrij. De bodemkwaliteit in het plangebied verandert niet.

In variant 3 wordt vrijwel het terrein vrijwel geheel vergraven. Hierdoor komt circa 70.000 m³ sterk verontreinigd bodemmateriaal afgegraven. De bodemkwaliteit in het plangebied verbetert hierdoor.

In variant 2 wordt een groot gedeelte van het terrein vergraven om de toegang tot de oostsluis mogelijk te maken. Hierdoor komt circa 50.000 m³ sterk verontreinigd bodemmateriaal afgegraven. De bodemkwaliteit in het plangebied verbetert hierdoor. Een deel van het resterende terrein wordt gebruikt voor sluisgebonden diensten. Indien nodig voor toekomstig gebruik, zal dit terrein aanvullend worden gesaneerd. Dit kan leiden tot een extra hoeveelheid sterk verontreinigde grond van circa 20.000 m³.

Waterbodem

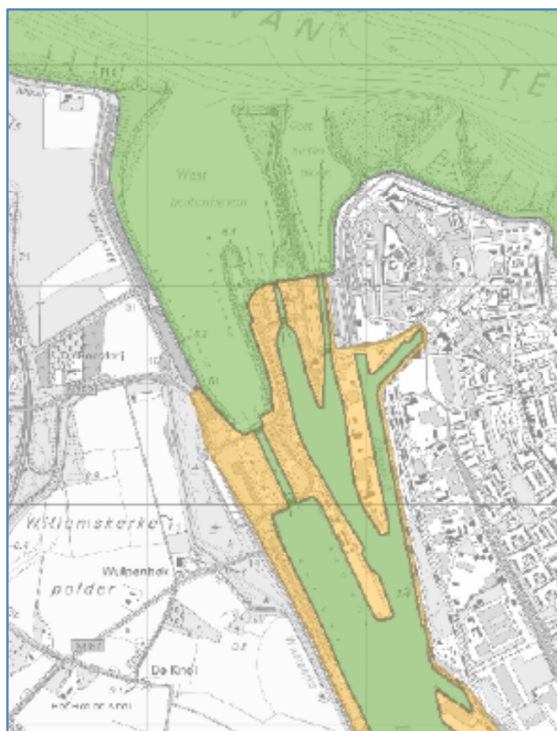
In de buitenvoorhaven is bij het indicatieve onderzoek in het noordelijke deel een sterke verontreiniging aangetroffen. In varianten 1 en 3 wordt de voorhaven verdiept, waardoor dit materiaal (*ca 100.000 m³) wordt afgegraven. In variant 2 wordt de voorhaven niet verdiept.

In alle varianten komt matig verontreinigde baggerspecie vrij, vooral uit de taluds langs het sluiscomplex aan de kanaalzijde.

6.3 Toepassingsmogelijkheden vrijkomende grond en baggerspecie

6.3.1 Potentiele bestemming vrijkomend materiaal

Om de potentiele bestemming van vrijkomend materiaal te bepalen is het van belang of het materiaal is te beschouwen als landbodem (grond) of als baggerspecie. Baggerspecie is materiaal dat vrijkomt uit de waterbodem (groene gebied in Figuur 6-4). Materiaal uit het drogere oevergebied (geel gebied in Figuur 6-4) is geen baggerspecie maar landbodem (grond).



Figuur 6-4 Ligging drogere oevergebieden Terneuzen (Waterwet)

De volgende bestemmingen van vrijkomende materialen zijn in principe mogelijk:

1. hergebruik in project
2. verspreiden van baggerspecie in Westerschelde of Noordzee
3. nuttig toepassen in oppervlaktewater (Westerschelde, Oosterschelde, Noordzee)
4. nuttig toepassen op land
5. storten, reinigen of tijdelijk opslag

1. Hergebruik in project

In het project is een beperkte hoeveelheid materiaal nodig (0,5 - 1 miljoen m³) voor aanvullingen. Een deel kan waarschijnlijk wel vervangen worden door vrijkomend zandig materiaal dat vrijkomt uit het project. Het betreft vooral materiaal voor aanvulling van de bouwlocatie van de Nieuwe Sluis (huidige invaart middensluis). Daarnaast is materiaal nodig voor de nieuwe waterkering. In de kern van de waterkering kan mogelijk wel zandig materiaal uit het projectgebied worden hergebruikt. Qua fasering kan dit zandige materiaal vrijkomen bij ontgraven van ondergrond (> 3 m) van de Schependijk.

In het projectgebied komt wel veel klei voor, maar deze klei is niet geschikt als dijkklei. Hiervoor is het humusgehalte te hoog.

2. Verspreiden van baggerspecie in de Westerschelde of Noordzee

In het kader zijn de effecten van het storten (verspreiden) van aanlegspecie in de Westerschelde (Put van Terneuzen) onderzocht. Uit het uitgevoerde morfologische en ecologische onderzoek is gebleken dat het verspreiden van zandige aanlegspecie in de put van Terneuzen mogelijk kan zijn zonder significant negatieve effecten op de instandhoudingsdoelstellingen (N2000). Bij het verspreiden van het kleiige materiaal kunnen echter significant negatieve effecten niet worden uitgesloten. Bovendien leidt het storten van dit kleiige materiaal tot een sterke toename van het onderhoudsbaggerwerk in de havens langs de Westerschelde.

Het verspreiden van vrijkomende baggerspecie van de aanleg van de Nieuwe Sluis past niet goed binnen de huidige wetgeving (Besluit Bodemkwaliteit). Op grond van het Besluit bodemkwaliteit wordt in de huidige situatie onderhoudsbaggerspecie verspreid in het oppervlaktewater op basis van art. 35 sub g. Het argument hiervoor is dat het gaat om systeemeigen materiaal. Het weghalen van sediment uit de Westerschelde geeft een ongewenste verstoring van de sedimentbalans.

Voor een deel van de aanlegspecie van Terneuzen zou op grond hiervan het verspreiden in de Westerschelde wenselijk kunnen zijn. Het gaat dan met name om het materiaal dat vrijkomt bij de aanlegwerkzaamheden in de buitenvoorhaven. Door de beheerder van de Westerschelde is aangegeven dat er in de toekomst een tekort aan materiaal in de Westerschelde kan gaan ontstaan, die aanvoer van materiaal van buiten het systeem wenselijk maakt.

Ten aanzien van het verspreiden op de Noordzee is de beleidsregel "Toepassen en verspreiden baggerspecie op de Noordzee" van toepassing. Ook hierbij is het verschil tussen onderhoud en aanleg van belang. In de beleidsregel voor de Noordzee staat "Het oogmerk voor het verspreiden van baggerspecie onder artikel 35 onder g Bbk betreft het weer in het systeem terugbrengen van de baggerspecie." Hier is met het verspreiden van aanlegspecie uit Terneuzen geen sprake van.

Conclusie ten aanzien van het verspreiden van aanlegspecie in de Westerschelde is dat het verspreiden van zandige materiaal van de verdieping van de voorhaven een optie kan zijn.

3. Nuttig toepassen in oppervlaktewater (Westerschelde, Oosterschelde, Noordzee)

Een andere optie is het nuttig toepassen van de vrijkomende grond en baggerspecie in het oppervlaktewater (Bbk artikel 35 sub d). Dit artikel wordt bijvoorbeeld gebruikt voor het verondiepen van zandwinputten in het rivierengebied en het IJsselmeer. Deze toepassing is echter niet direct vergelijkbaar met een systeem als de Westerschelde omdat het materiaal zich door stroming zal gaan verspreiden.

Onder dit artikel van het Bbk vallen ook ophogingen in het kader van het aanleggen van waterbouwkundige constructies. Hiervan is bijvoorbeeld sprake bij constructies op het sluiscomplex zelf.

Er zou gedacht kunnen worden aan toepassing in projecten op gebied van hoogwaterbescherming en ecologische kwaliteitsverbetering. Voorbeelden hiervan zijn elders Rijkswateren gerealiseerd of in voorbereiding (geweest), met name in het IJsselmeer/Markermeer en in het Haringvliet.

Uit de inventarisatie van mogelijkheid voor nuttige toepassing is gebleken dat er bijvoorbeeld een concrete wens is voor het aanleggen van zandstrandjes langs de Westerschelde. Hierbij zou zandig materiaal gebruik kunnen worden dat vrijkomt bij de aanleg van de Nieuwe Sluis.

Een andere concrete mogelijkheid is het gebruiken van het zandige materiaal voor kustverdediging. In de beleidsregel voor de Noordzee wordt met name gesproken over het toepassen van zandige baggerspecie voor versteviging van het kustfundament. Hiervoor kan zandige grond en baggerspecie te gebruiken die voldoet aan de milieuhygiënische eisen (achtergrondwaarde) en die voldoet aan de wensen betreffende de korrelgrootteverdeling ($D_{50} > 175\mu\text{m}$ en $< 375\mu\text{m}$). Uit de uitgevoerde analyse op het vrijkomende zand is echter gebleken dat het overwegend fijn zand betreft met een D_{50} van circa $150\mu\text{m}$. In de Noordzee bestaat wel de wens tot het opvullen van enkele diepere zandputten. Hiervoor kan de aanlegspecie (en grond) van de Nieuwe Sluis Terneuzen wel worden gebruikt.

In de Oosterschelde bestaat een grote behoefte aan materiaal voor nuttige toepassingen in oppervlaktewater. Het betreft materiaal voor natuurbouwprojecten zoals bij Schelphoek. De projecten zijn nodig in het kader van behoud en ontwikkeling van de ecologische doelstellingen in het gebied. Bij het toepassen van kleiig materiaal in deze projecten is wel aandacht nodig ten aanzien van de stabiliteit en duurzaamheid van de constructies (bv aanleggen van een oeververdediging en eventueel afdekken van het materiaal).

In het kader van de MIRT Verkenning Zandhonger (RWS, 2014) is voorgesteld om de aanpak te starten met een suppletie van 1,5 miljoen m^3 zand op de Roggeplaat. Het zandige materiaal uit Terneuzen voldoet aan de wensen ten aanzien van kwaliteit en samenstelling. Suppletie op andere zandplaten is niet direct noodzakelijk.

5. Nuttige toepassing op land

Gezien de planning voor de realisatie van de Nieuwe Sluis is het op dit moment nog niet nuttig om een definitieve lijst van toepassingsmogelijkheden van de grond te maken. Wel is er een eerste inventarisatie uitgevoerd naar toekomstige plannen die bij de gemeenten en in de omgeving van het projectgebied. Deze zijn in onderstaande tabel weergegeven. Bij deze tabel dient te worden opgemerkt dat het gaat om voorbeelden en dat het nog niet zeker is dat de genoemde plannen ook gerealiseerd gaan worden. Verder geldt dat de genoemde hoeveelheden indicatief zijn.

Naast deze genoemde projecten kan ook worden gedacht aan afzet van humeuze klei / weinig materiaal als bodemverbetering in de landbouw, toepassing in natuurbouwprojecten, afdekgrond voor stortplaatsen etc.

Naast de kwaliteitsklasse geldt ook het chloridegehalte van de vrijkomende grond als een belangrijk aandachtspunt. Bij chloridegehaltes boven de 200 mg/kg mag grond niet zomaar worden toegepast.

In overleg met de betreffende gemeenten kan mogelijk voor uitzonderingslocaties, waar in de huidige situatie al materiaal met een chloridegehalte > 200 mg/kg aanwezig is, materiaal met hogere chloridegehaltes worden toegepast.

Tabel 6-7 Overzicht mogelijke toepassingsmogelijkheden grond

Organisatie	Plan/project	Indicatieve hoeveelheid
Gemeente Hulst	Realisatie golfterrein Perkpolder West (vanaf 2015)	> 1 miljoen m ³ grond
Gemeente Terneuzen	Valuepark Terneuzen	onbekend
Gemeente Terneuzen	Werkzaamheden Tractaatweg (op zijn vroegst medio 2015)	50.000 – 80.000 m ³ grond
Defensie	Marine kazerne Vlissingen Oost (start <2017)	onbekend, waarschijnlijk veel grond nodig

5. Storten, verwerken en tijdelijke opslag

Voor de vrijkomende grond is in Nederland een stortverbod van kracht, tenzij het om niet reinigbare, sterk verontreinigde grond gaat. Dit betekent dat alleen de (sterk verontreinigde) grond die vrijkomt van de Schependijk (bovengrond) gestort mag worden, mits deze niet reinigbaar is.

Voor baggerspecie is geen stortverbod van toepassen. Bij storten in baggerspeciedepots moet de vrijkomende baggerspecie voldoen aan de acceptatiecriteria van de betreffende depots. In het algemeen kan alleen sterk verontreinigde baggerspecie worden gestort. In Zeeland is geen baggerspeciedepot aanwezig. Zoute baggerspecie zou eventueel gestort kunnen worden op de Slufter (Maasvlakte). De hoeveelheid verontreinigde baggerspecie bij de aanleg van de Nieuwe Sluis is echter zeer beperkt.

Voor materialen die hergebruikt kunnen worden, maar waarvoor niet direct een toepassing gevonden kan worden, is tijdelijke opslag een mogelijkheid. Voor het kleiige en venige materiaal dat vrijkomt bij de aanleg van de Nieuwe Sluis is tijdelijke opslag in de omgeving van de Nieuwe Sluis (bijvoorbeeld ten westen van de voorhaven) een optie. Om al het vrijkomende kleiig en venig materiaal tijdelijk op te slaan zou een oppervlak nodig zijn van circa 200 ha. Het terrein naast de westelijke voorhaven (binnen plangrens) is circa 20 ha groot. Een beperkt deel zou dus via een tijdelijk depot op deze locatie naar een nieuwe bestemming afgevoerd kunnen worden. In de regio zijn ook private partijen aanwezig die beschikken over tijdelijke depotruimte en verwerkingsmogelijkheden.

6.3.1 Variant 1

In Tabel 6-8 is de potentiële afzet van het materiaal van variant 1 weergegeven. Hierbij is de veronderstelling dat het materiaal uit de waterbodems toegepast kan worden in de Westerschelde. Het zandige materiaal zou ook elders toegepast kunnen worden. Het zandige materiaal dat vrijkomt bij afgraven van het sluseiland (landbodem) is te beschouwen als goed vermarktbaar.

Tabel 6-8 Afzetmogelijkheden typen materiaal variant 1

Materiaal		Afzetmogelijkheid	Hoeveelheid (m3)
Waterbodem (zand en slib)	Buithaven	Westerschelde (systeemeigen materiaal)	3.171.000
	Binnenhaven	Westerschelde (slib) of vermarkten (zand)	980.000
	Verontreinigd	Storten	89.000
Landbodem	Zand schoon	Goed vermarktbaar	1.586.000
	Zand overig	Goed Vermarktbaar	7.000
	Sterk verontreinigd	Storten of reinigen	1.000
	Klei/veen schoon	Slecht vermarktbaar	995.000
	Klei/veen overig	Slecht vermarktbaar	2.000

Uit deze tabel blijkt dat 85% van het materiaal goed afzetbaar en vermarktbaar is. Het deel sterkverontreinigde landbodem is zeer beperkt en 15% is slecht vermarktbaar.

6.3.1 Variant 2

In Tabel 6-9 is de potentiële afzet van het materiaal van variant 2 weergegeven. Hierbij is de veronderstelling dat het materiaal uit de waterbodems toegepast kan worden in de Westerschelde. Het zandige materiaal zou ook elders toegepast kunnen worden. Het zandige materiaal dat vrijkomt bij afgraven van het sluiseland (landbodem) is te beschouwen als goed vermarktbaar.

Tabel 6-9 Afzetmogelijkheden typen materiaal variant 2

Materiaal		Afzetmogelijkheid	Hoeveelheid (m3)
Waterbodem	Buithaven	Westerschelde (systeemeigen materiaal)	1.880.000
	Binnenhaven	Westerschelde (slib) of vermarkten (zand)	933.000
	Verontreinigd		-
Landbodem	Zand schoon	Goed vermarktbaar	1.624.000
	Zand overig	Goed Vermarktbaar	26.000
	Sterk verontreinigd	Storten of reinigen	49.000
	Klei/veen schoon	Slecht vermarktbaar	1.164.000
	Klei/veen overig	Slecht vermarktbaar	15.000

Uit deze tabel blijkt dat voor 78% van de vrijkomende grond goede afzetmogelijkheden zijn. Een klein deel (1%) is verontreinigd en 21% heeft slechte afzetmogelijkheden.

6.3.2 Variant 3

In tabel 6.10 is de potentiële afzet van het materiaal van variant 3 weergegeven. Hierbij is de veronderstelling dat het materiaal uit de waterbodems toegepast kan worden in de Westerschelde. Het zandige materiaal zou ook elders toegepast kunnen worden. Het zandige materiaal dat vrijkomt bij afgraven van het sluiseland (landbodem) is te beschouwen als goed vermarktbaar.

Tabel 6-10 Afzetmogelijkheden typen materiaal variant 3

Materiaal		Afzetmogelijkheid	Hoeveelheid (m3)
Waterbodem	Buithaven	Westerschelde (systeemeigen materiaal)	4.105.000
	Binnenhaven	Westerschelde of vermarkten (zand)	956.000
	Verontreinigd	Storten depot	106.000
Landbodem	Zand schoon	Goed vermarktbaar	2.461.000
	Zand overig	Goed Vermarktbaar	66.000
	Sterk verontreinigd	Storten of reinigen	70.000
	Klei/veen schoon	Slecht vermarktbaar	2.342.000
	Klei/veen overig	Slecht vermarktbaar	16.000

Uit deze tabel blijkt dat voor 76% van de vrijkomende grond goede afzetmogelijkheden zijn. Een klein deel (1%) is verontreinigd en 23% heeft slechte afzetmogelijkheden.

7 Leemten in informatie

De omvang van het grondverzet is bepaald op basis van digitale terreinmodellen en geeft een nauwkeurig beeld van de totale omvang. De aard en kwaliteit van de vrijkomende grond is echter veel minder zeker. Er is informatie gebruikt uit de uitgevoerde boringen en chemische analyses, die zijn geëxtrapoleerd naar een gebiedsdekkend model.

Tijdens het verwerken van de ontwerpen per variant is gebleken dat voor sommige kleine bouwdelen geen informatie over samenstelling en kwaliteit van de te ontgraven/baggeren grond aanwezig is. Het gaat hierbij onder andere om een stuk tussen de projectgrens en de Westerschelde (buiten het projectgebied) en de locatie van de wachtplaatsen aan de kanaalzijde van de sluis.

Het aandeel niet bemonsterd bedraagt 8% in variant 1, 2% in variant 2 en 4% in variant 3. Voor het vergelijken van de varianten is de ontbrekende informatie naar verwachting niet van beperkte invloed.

Zoals vermeld bij de uitgangspunten is voor het bepalen van het grondverzet gerekend met laagdiktes van een halve meter, wat naar verwachting geen effect zal hebben op het totale resultaat. Voor individuele bouwdelen kan dit echter wel leiden tot een onder- of overschatting van het aantal kubieke meter grondverzet. Voor het beoordelen van de varianten is het detailniveau van de informatie voldoende.

Ten aanzien van de afzet van vrijkomende grondstromen is er nog geen zekerheid. Er is in de planstudie een globale inschatting gemaakt, en de effecten van het storten in de Westerschelde is alleen indicatief onderzocht. Voor een deel van het materiaal lijkt het storten in de Westerschelde een goede optie, omdat daarmee geen materiaal wordt onttrokken aan het systeem. De effecten van het storten van deze aanlegspecie zal nog wel nader onderzocht moeten worden in het kader van de benodigde vergunningen.

8 Werkwijze slibberekeningen Westbuitenhaven

8.1 Doel van de studie

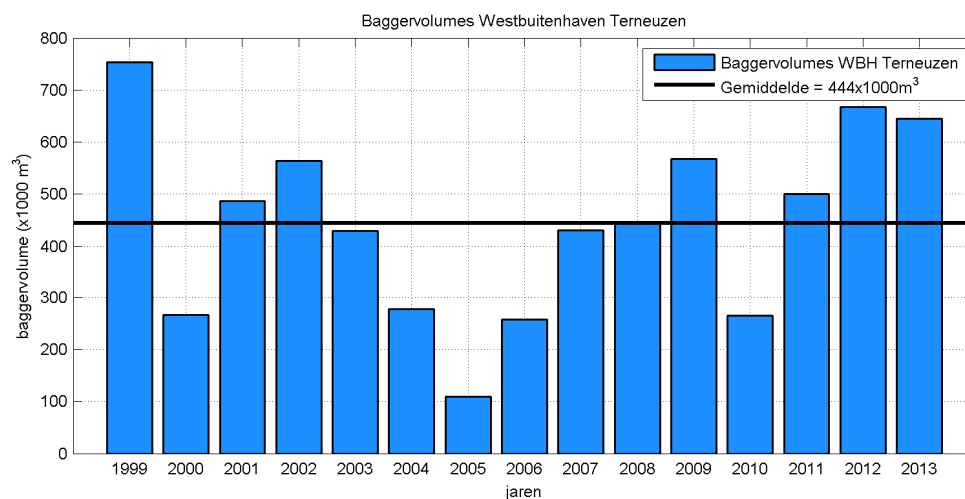
Het doel van de studie is een inschatting te maken van het effect van de verschillende configuraties van de sluis en voorhaven voor het baggeronderhoud zoals dat nu en in de toekomst periodiek dient te worden uitgevoerd.

Baggerwerken zijn gedocumenteerd en de diepe delen van de haven worden regelmatig gesurveyed. Met behulp van die informatie is een morfologisch model gekalibreerd. Het baggerbezwaar volgt dan in principe relatief eenduidig uit de simulaties. Al het materiaal dat de haven binnenkomt en neerslaat dient immers weer gebaggerd te worden om de haven op diepte houden. Hierbij spelen zowel het havenoppervlak, de havendiepte en de grootte van de havenopeningen een belangrijke rol.

8.2 Huidige situatie

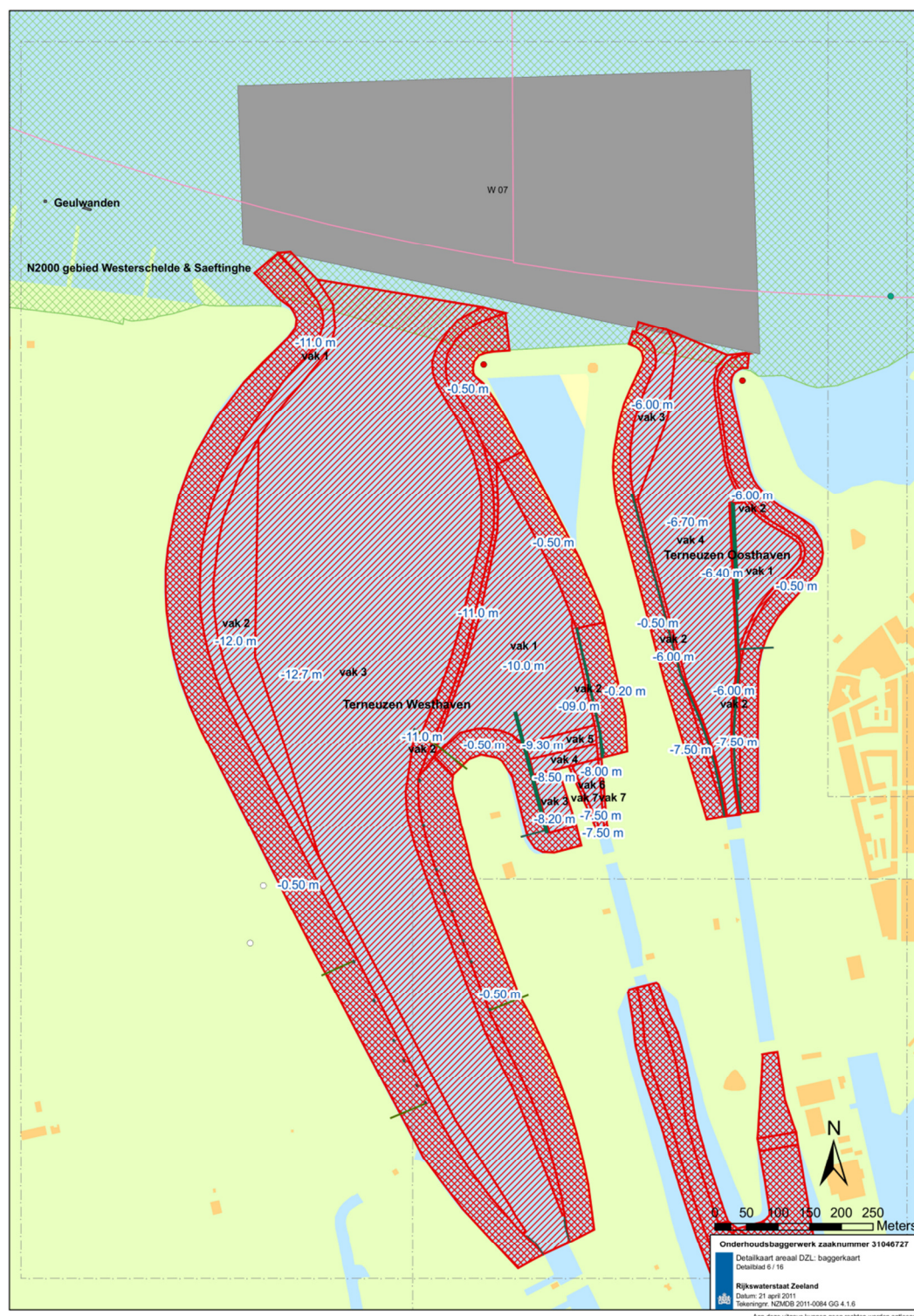
Uit gegevens zoals gepubliceerd in Consortium Deltares, IMDC, Svašek, Arcadis (2013a, zie tabel 2.2) blijkt dat het materiaal dat wordt gestort in vakken W07 en W14 (waar het baggerspecie uit West- en Oostbuitenhaven wordt verspreid) voor respectievelijk 60 en 46% bestaat uit (fijn) zand, diameter > 64 µm.

De totale baggervolumes (in beunkuubs) zijn te herleiden uit tabellen ter beschikking gesteld door Rijkswaterstaat (Rijkswaterstaat, 2011 en 2014). De volumes zijn weergegeven in onderstaande figuur. In de afgelopen vijftien jaar is het minimum baggervolume 96.000 m³ (2005) en het maximum 702.000 m³ (1999). Het gemiddelde is 444.000 m³ /jaar.



Figuur 8-1 Jaarlijkse baggervolumes beun in Westbuitenhaven Terneuzen 1999-2013.

Ten aanzien van het patroon van aanslibbing is een aantal bronnen beschikbaar. Zo zijn voor 2013 dagrapporten beschikbaar gesteld met daarin een gedeeltelijke specificatie van de gebaggerde volumes in bepaalde baggervakken. Aangezien deze onderhoudsbaggervakken echter relatief groot zijn (zie Figuur 8-2), kan deze informatie niet worden vertaald naar een patroon in aanslibbing.



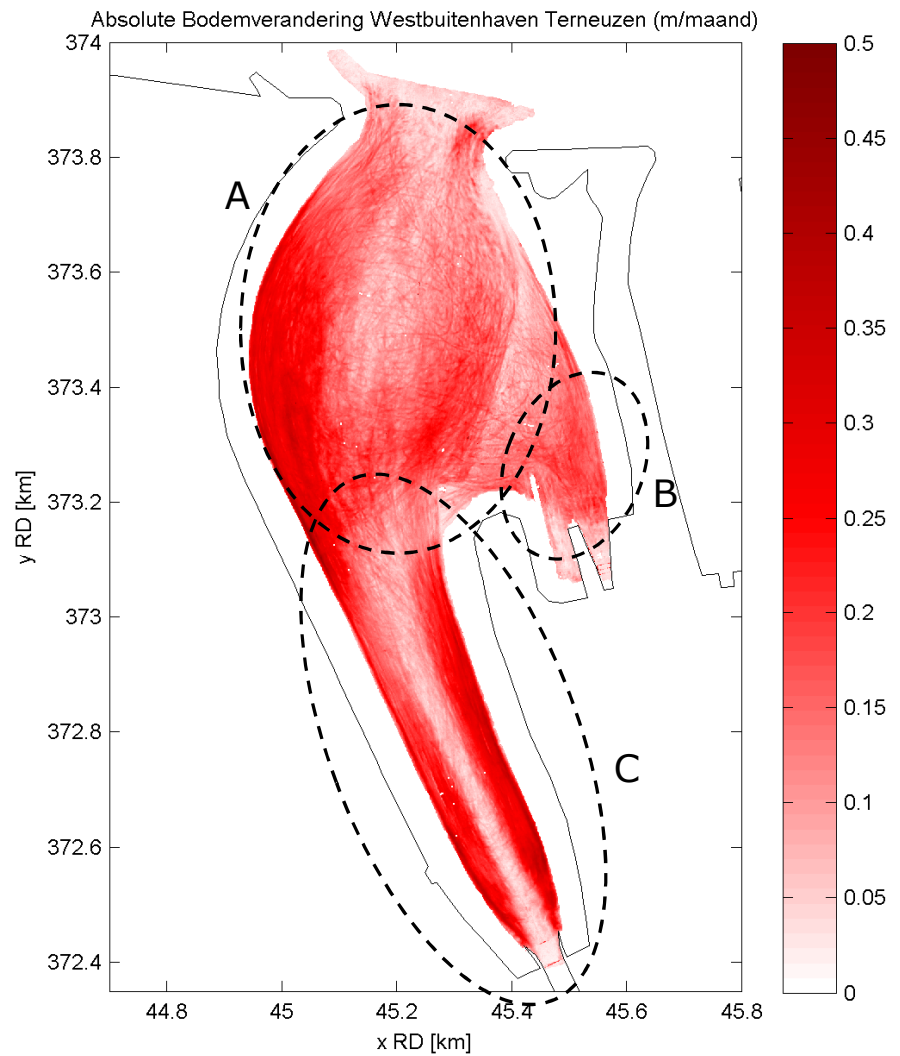
Figuur 8-2 Onderhoudsbaggerwerk havens Terneuzen (Zaaknummer 310046727, 21 april 2011, tekeningnr: NZMDV 2011-0084 GG 4.1.6). NB de weergegeven getallen betreffen de minimaal te garanderen diepten, in werkelijkheid zijn de meeste gebieden dieper.

Iedere twee maanden wordt een bodemsurvey uitgevoerd, de data van deze surveys zijn beschikbaar voor november 2011 tot november 2013 (Baggerbedrijf de Boer & van der Kamp, 2011-2013). Per jaar wordt meerdere keren gebaggerd (driemaal in 2013 zoals blijkt uit

dagrapporten van baggerbedrijf de Boer, beschikbaar gesteld door Rijkswaterstaat).

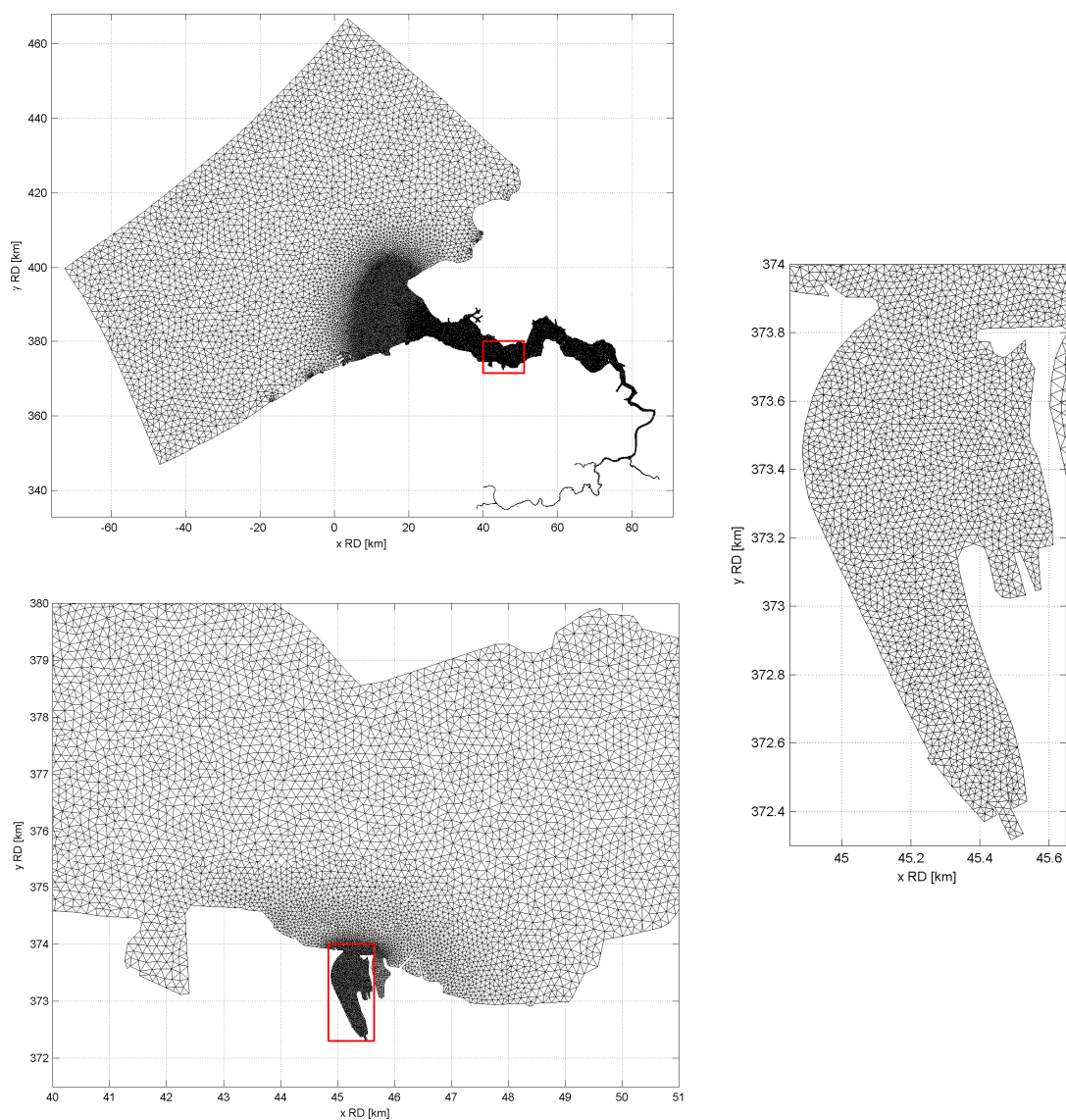
De bestanden hebben een ruimtelijke resolutie van 1x1 meter en geven zodoende een nauwkeurig beeld van bodemligging. De meetmomenten staan los van de timing van onderhoudsbaggerwerken, verschillen tussen metingen worden dus gevormd door baggerwerkzaamheden en aanslibbing samen. Intervals tussen metingen waarin gebaggd is, zijn duidelijke te herkennen aan significante bodemverlagingen. Verschillen tussen metingen waar tussen niet gebaggd is zijn maandgemiddeld weergegeven in Figuur 8-3, deze is dus indicatief voor het werkelijke aanslibbingpatroon.

Ter controle kan het aanslibbingpatroon uit Figuur 8-3 gekubeerd worden en daarna vermenigvuldigd worden met 12 om tot een jaargemiddelde aanslibbing te komen: 557.000 m³/jaar. Voor het niet meenemen van sedimentatie tussen metingen met baggerwerkzaamheden is in de tijdsmiddeling gecorrigeerd, maar desondanks is de schatting niet helemaal representatief. Ondanks dat is het gevonden getal vergelijkbaar met de baggerhoeveelheden die gepresenteerd zijn voor de periode 2011-2013 in Figuur 8-1. Dit geeft extra vertrouwen in de beunvolumes die in dat figuur zijn gepresenteerd en die in deze studie worden gebruikt voor de kalibratie van de referentiesituatie.



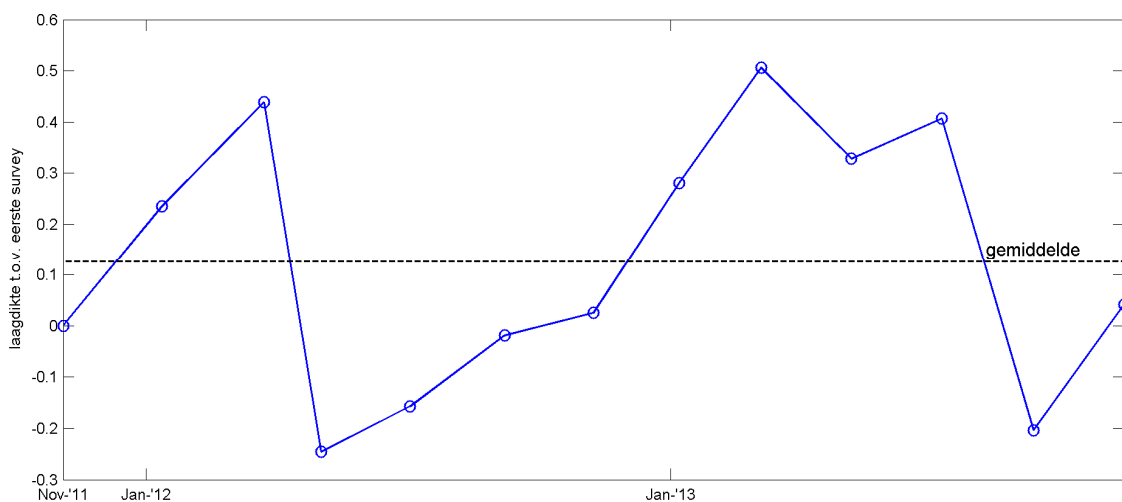
Figuur 8-3 Gemiddelde bodemverhoging per maand zoals is afgeleid uit verschillen tussen twaalf 2-maandelijke surveys van Rijkswaterstaat (november 2011 tot en met november 2013). Hierbij zijn periodes waarin gebaggerd werd buiten beschouwing gelaten.

Het rekenrooster is weergegeven in Figuur 8-5. De haven zelf is verfijnd tot cellen van 25 m. In FINEL2D is horizontale impulsdiffusie (en dus de vorming van neren) deels afhankelijk van rekenroosterresolutie. Daarom is de resolutie iteratief bepaald, waarbij zowel grovere als fijnere roosters zijn getest. Een kwalitatieve beoordeling van neervorming en het daarvan afhankelijke slibdepositiepatroon heeft tot de huidige resolutie geleid, deze is overigens gelijk aan die toegepast voor een gelijkwaardige studie in de Sloehavens (Svašek Hydraulics, 2012).



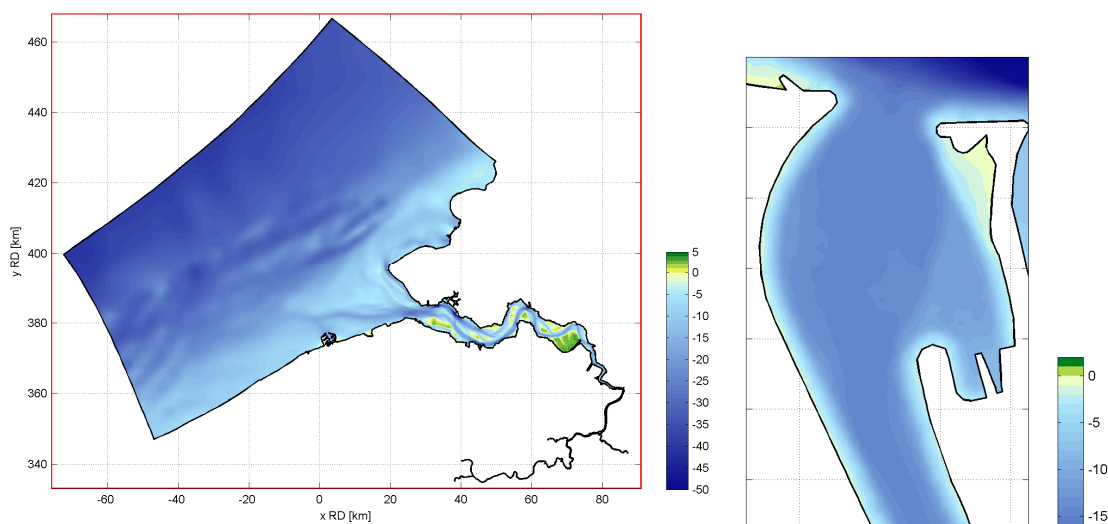
Figuur 8-5 Rekenrooster, tegen de klok in met toenemend detail weergegeven

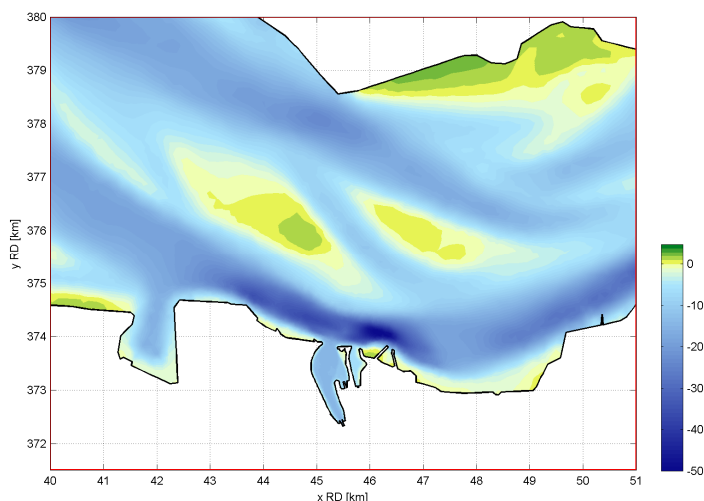
Voor vrijwel de gehele Westerschelde is de bodem van 2012 toegepast. Voor de Westbuitenhaven is de laatst beschikbare bodempeiling van november 2013 toegepast. Zoals te zien is in Figuur 8-6 betreft die laatste peiling een geval net onder de gemiddelde bodemligging van de voorgaande twee jaar.



Figuur 8-6 Gemiddelde bodemverandering tussen twee-maandelijkse peilingen van de Westbuitenhaven zoals uitgevoerd door Baggerbedrijf de Boer & van der Kamp (2011-2013).

Een zeer beperkt aantal locaties (vooral aan de rand van vakken) zijn conform de onderhoudsbaggervakken (zie Figuur 8-2) op diepte gebracht. De volledige bodem is weergegeven in Figuur 8-7.





Figuur 8-7 Bodem, tegen de klok in met toenemend detail weergegeven in m+NAP

Hydrodynamisch is het FINEL2D Westerschelde model uitgebreid gevalideerd (meest recent nog in Consortium Deltares, IMDC, Svašek, Arcadis, 2013b), ook specifiek voor de Braakmanhaven enkele kilometers ten westen van de Westbuitenhaven (Svašek Hydraulics, 2012, p.51). Als test voor de consistentie van de huidige implementatie is het model nogmaals getoetst aan de bestaande waterstandmeetpunten in de Westerschelde (hier niet weergegeven).

Zoals eerder gesteld bestaat het gebaggerd materiaal voor een deel uit fijn zand. In de modeltoepassing wordt uitgegaan van uitsluitend slib. Er wordt aangenomen dat veranderingen in de invang van slib ook indicatief zijn voor de invang van fijn zand⁵. Er is gerekend met de slibinstellingen zoals weergegeven in Tabel 8-1. De eigenschappen van slib in het model zijn tot op zekere hoogte onzeker, enerzijds omdat slibdepositie een zeer complex fenomeen is dat lastig is te vangen in een aantal parameters, anderzijds door de 2D simulatie ervan in het FINEL2D model. Slibinstellingen zijn dan ook – binnen een realistisch domein – gebruikt om de totale depositie in de haven (achtergrondconcentratie) en het patroon daarvan (overige instellingen) te kalibreren. Het resultaat van kalibratie door aanpassing van de achtergrondconcentratie is een relatief hoge concentratie voor de Westerschelde (82 mg/l). Dit wordt deels veroorzaakt doordat in werkelijkheid de helft van het te baggeren materiaal fijn zand is. In de kalibratie is dit volume als slib meegenomen waardoor de achtergrondconcentratie dus hoger is dan in werkelijkheid. Flocculatie is niet expliciet meegenomen in het model⁶.

⁵ Er bestaat een significant verschil tussen slib- en zandtransport. Zo volgt de laatste veel directer de stroming en is ook de dichtheid van het neergeslagen volume zand hoger dan die van slib. Uiteindelijk wordt er in deze berekeningen vooral gekeken naar het relatieve effect van verschillende ingrepen. De grootheden die hierin een rol spelen (de grootte van de havenopening, de diepte en oppervlakte van de haven) hebben allemaal hun weerslag op de naar binnen gerichte stroom water. Deze zal niet alleen meer slib met zich meebrengen, maar ook meer fijn zand. Vandaar dat de effecten op slib ook als indicatief kunnen worden gezien voor de effecten op zand.

⁶ In zoutwater kan vlokvorming (flocculatie) optreden in gesuspendeerd slib, deze vlokken hebben een grotere valsnelheid dan individuele slibdeeltjes en leiden dus tot een grotere depositie. Flocculatie treedt vooral op onder lage stroomomstandigheden, bijvoorbeeld in havens. In de hier gepresenteerde studie is in het model niet expliciet rekening gehouden met flocculatie. De slibinstellingen zijn gekalibreerd op aanslibbing in de Westbuitenhaven en nemen dus impliciet wel de invloed van flocculatie mee, indien hier sprake van zou zijn. Zoutwater toevoegen aan het slibhoudend zoetwatermilieu kan tot flocculatie leiden, het omgekeerde is echter niet het geval: flocculatie wordt niet ongedaan gemaakt als zoetwater aan een zout milieu wordt toegevoegd. De zoetwatertoevoer door het spuien van het kanaal Gent-Terneuzen zal dan ook geen invloed hebben op flocculatie, en dus ook niet op de aanslibbing in de haven.

Tabel 8-1 Sedimenteigenschappen FINEL2D Westerschelde model Westbuitenhaven Terneuzen

Parameter	Symbool	Waarde	Eenheid
Valsnelheid	w_s	0.002 ⁷	m/s
Erosiesnelheid	M	0.00005	kg/m ² s
Kritische bodemschuifspanning voor erosie	τ_e	0.30	N/m ²
Kritische bodemschuifspanning voor depositie	τ_d	0.15	N/m
Dichtheid slib	ρ_s	400	kg/m ³
Achtergrondconcentratie Westerschelde	$C_{\text{achtergrond}}$	82 ⁸	mg/l

Voor de dichtheid van slib is 400 kg/m³ (droog) aangehouden. Dit is consistent met slibdeposities die een maand tot een jaar de tijd hebben gehad om te consolideren, zie Van Rijn (1993 p.11.28). Bij het berekenen van baggerhoeveelheden zijn dichtheden altijd een factor van onzekerheid. Slibdichtheden op de bodem (*in situ*) na een maand tot een jaar consolidatie kunnen variëren van 250 kg/m³ tot 550 kg/m³ (droog, zie Van Rijn, 1993, p. 11.28). Eenzelfde onzekerheid bestaat voor zogenaamde beunkuubs (de volumes gerapporteerd baggermateriaal, gemeten in de beun van het baggerschip), behalve dat de dichtheden hier over het algemeen lager zijn. In deze studie zijn (droge) dichtheden *in situ* gelijk gesteld aan (droge) dichtheden in beun (400 kg/m³).

Het effect van onzekerheid in deze op de uiteindelijke berekende effecten van verschillende varianten is echter klein. In het model wordt de totale hoeveelheid depositie afgeregeld door de concentratie in de Westerschelde aan te passen (op zichzelf al een onzekere factor door seizoen- en weervariatie). Gegeven de kleine dikte aanslibbing ten opzichte van de diepte is de non-lineariteit in de berekening klein; een lagere achtergrondconcentratie in de Westerschelde leidt zodoende tot een evenredig lagere depositie in de Westbuitenhaven. Door de genoemde lineariteit hebben aanpassingen in achtergrondconcentratie en/of slibdichtheid geen invloed op het relatieve effect van eventuele maatregelen. Aangezien juist het relatieve effect belangrijk is, kan gesteld worden dat de onzekerheden in dichtheden en achtergrondconcentratie niet leiden tot significante onzekerheden in de resultaten.

⁷ Deze valsnelheid is hoog voor het storten van licht ongeconsolideerd havenslib. Het betreft een conservatieve benadering voor het in beeld brengen van aanslibbing in de haven.

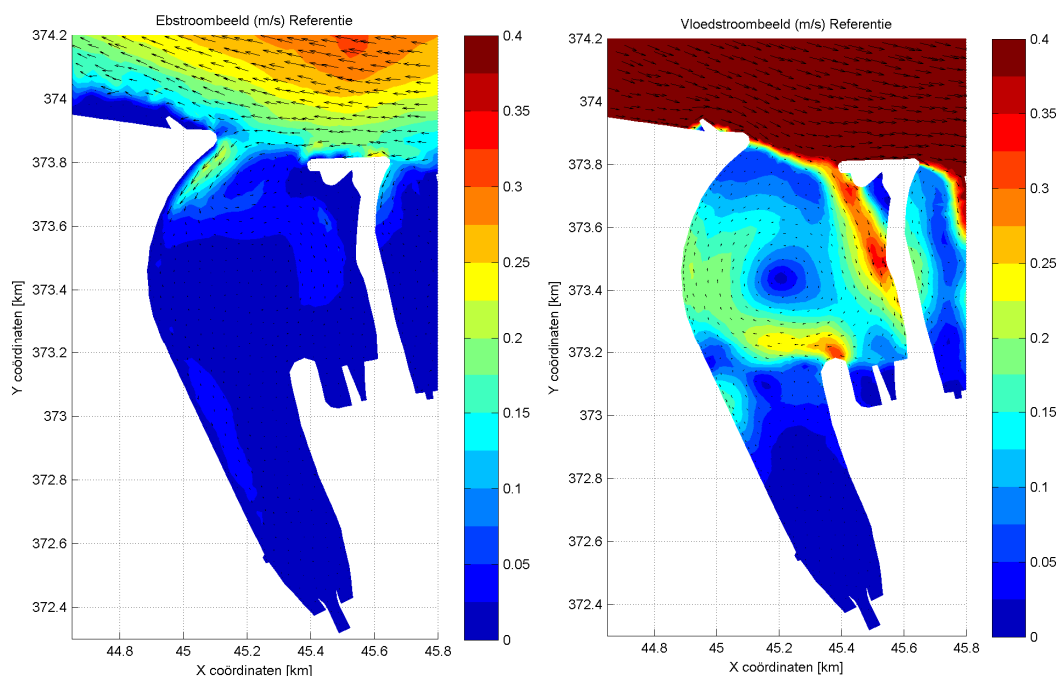
⁸ Deze concentratie betreft een conservatieve aanname.

Hetzelfde geldt in principe voor de valsnelheid. Valsnelheid bepaalt zowel de hoeveelheid aanslibbing (een grotere valsnelheid betekent immers dat meer materiaal achter blijft in de haven), als de afstand waarover het slib uitzakt (de verspreiding door de haven heen). Maar in een vergelijking tussen scenario's zijn onzekerheden in die parameter minder van belang.

De overige slibinstellingen zijn realistisch gekozen en vergelijkbaar met eerdere slibstudies, zie bijvoorbeeld Svašek Hydraulics (2012). Kritische bodemschuifspanningen hebben voornamelijk een effect op het aanslibbingspatroon binnen de haven. Met die instellingen is het gemeten patroon zo goed mogelijk gereproduceerd, zie de volgende paragraaf.

8.4 Calibratie referentiesituatie

Met het in het vorige hoofdstuk beschreven model is een maand doorgerekend (2 doortij-springtij-cycli). Tijdens vloed ontstaat een goed ontwikkelde neer (zie het linkerpaneel van Figuur 8-8), tijdens eb is de instroom van water (en dus slib) kleiner.



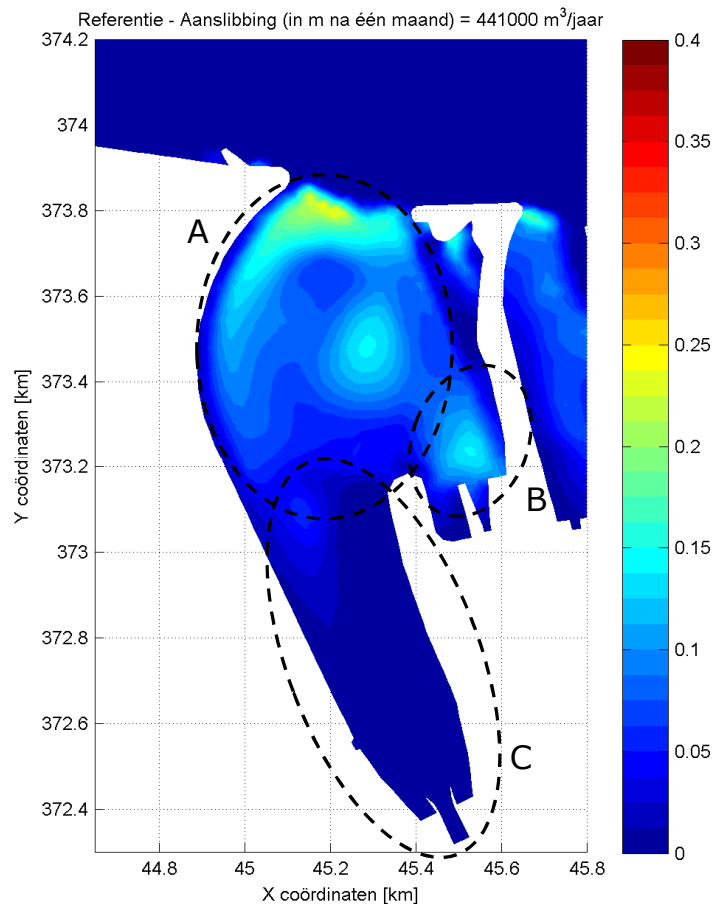
Figuur 8-8 Voorbeelden stroomvelden, ebstroom links, vloedstroom rechts

Het slibpatroon dat hierbij hoort is weergegeven in Figuur 8-9. Hierin zijn een aantal overeenkomsten en een aantal verschillen te zien met het opgetreden aanslibbingspatroon in Figuur 8-3.

De totale depositie wordt correct gereproduceerd⁹. In het patroon zijn wederom drie gebieden te herkennen.

- Gebied A wordt gevoed door de neren bij eb en vloed. In tegenstelling tot het gemeten patroon uit Figuur 8-3 concentreert de depositie zich in de berekening meer in de havenmond.
- Depositie voor de Middensluis wordt correct weergegeven (B).
- De depositie aan beide zijden van de toegang naar de Westsluis is in het model afwezig (C), vermoedelijk doordat passerende schepen in het model afwezig zijn.

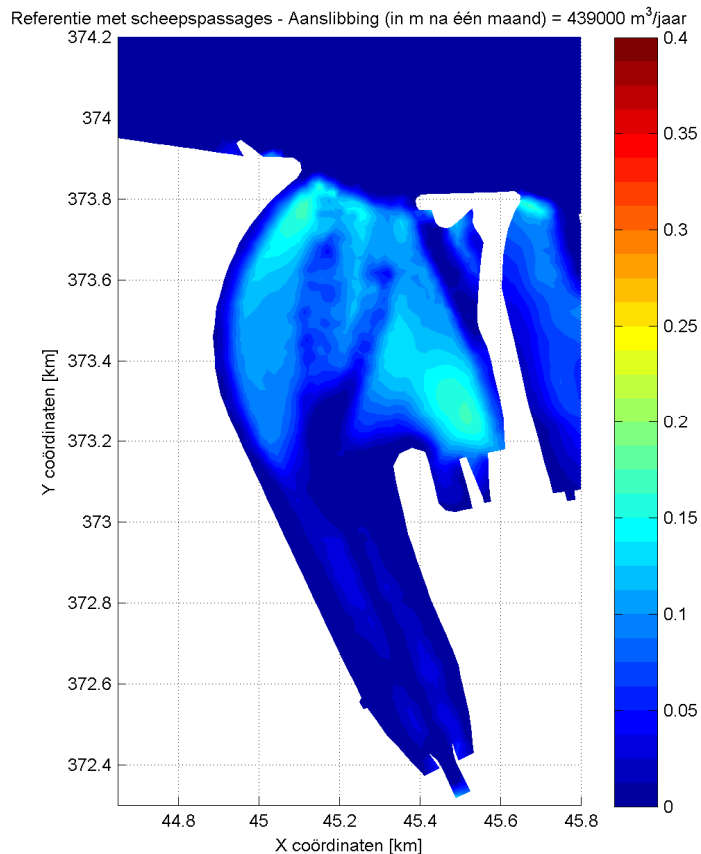
⁹ Dit is gekalibreerd met behulp van een achtergrondconcentratie. Deze is aan de hoge kant (82 g/l) gegeven wat voorkomt in de Westerschelde. De gerapporteerde volumes voor het baggeronderhoud zijn echter weer beunkuubs waarvan de droge dichtheid over het algemeen weer lager is dan die aangehouden in het model (400 kg/m³). Ook is een deel van het gebaggerde materiaal fijn zand, wat niet in het model is opgenomen.



Figuur 8-9 Aanslibbing (in m) na één maand simulatie. Totale depositie in m³ (400 kg/m³ droog)

Gegeven de vorm van de gemeten depositie in de toegang naar de Westsluis bestaat het vermoeden dat deze wordt veroorzaakt door passerende schepen. Om dit te onderzoeken zijn een aantal schepen van het formaat Panamax in het model gebracht (L = 294 m, B = 32 m, diepgang 12 m). In FINEL2D kan het effect van passerende schepen op de stroming worden geschat door de schepen als een lokale vermindering van de waterdiepte te beschouwen, deze ondiepte wordt dan door het model 'gesleept'. De stroming die door deze schepen wordt gegenereerd heeft weer een effect op slibtransport. Deze functionaliteit is gevalideerd voor de Kruithaven in Amsterdam (zie WL|Delft Hydraulics, 2007).

Er is een simulatie gedraaid waar (als eerste schatting) het genoemde Panamax schip twee maal daags vanaf de sluis heen en weer naar de Westerschelde vaart. Een korte analyse van de passerende schepen toont dat dergelijke grote schepen de haven minder vaak bezoeken, maar daarnaast is er wel een veel groter aantal kleinere schepen. De schepen varen in het model in het smalle zuidelijk gedeelte van de haven allemaal dezelfde route, en in het ruimere noordelijk gedeelte één van vijf routes naar de hoofdgeul. Het resultaat van deze simulatie is weergegeven in de onderstaande Figuur.



Figuur 8-10 Aanslibbing (in m) na één maand simulatie in geval van een simulatie met varende schepen. Totale depositie in m³ (400 kg/m³ droog)

Uit deze berekening wordt duidelijk dat schepen zeker een rol spelen in de uiteindelijke verdeling van het slib door de haven. De aanslibbing in de monding is in de simulatie met schepen sterk verminderd. Ook is er slib in het zuidelijke deel van de haven terecht gekomen en heeft zich dat aan beide zijden van de vaarroute afgezet. Belangrijkste conclusie is dat de totale hoeveelheid sedimentatie nauwelijks verandert door de invloed van schepen, maar dat het patroon wel behoorlijk beïnvloed wordt.

In de context van de nautische simulaties van MARIN voor de m.e.r. van de Nieuwe Sluis zijn door Svašek Hydraulics enkele driedimensionale zoet-zout sommen uitgevoerd van het openen van de sluis. Hierbij is gebleken dat het zoete water zich snel als een dunne laag over het zuidelijk deel van de haven verspreidt. Zoutwater zal dus in tegengestelde richting stroming om de sluis te vullen. Dit zoute water neemt slib mee, wat tot meer sedimentatie zorgt in het zuidelijke deel van de haven. De zoet/zout stroming is ook een mechanisme dat de interne verspreiding van slib in de Westbuitenhaven beïnvloedt, en dat niet in een dieptegemiddeld model wordt gerepresenteerd. Er wordt aangenomen dat de zoet/zout stroming geldt dat deze de totale hoeveelheid aanslibbing in de buitenhaven niet significant beïnvloedt. Deze aanname dient te worden onderbouwd met een additionele 3 dimensionale berekening.

Ook kan worden opgemerkt dat in de simulatie met een enkele slibfractie (en een enkele valsnelheid) is gerekend. In werkelijkheid betreft slib een mengsel met een bepaalde verdeling van valsmeden. Langzamer vallende fracties zullen dieper in de haven binnendringen en dus ook tot meer sedimentatie in het zuidelijk deel van de haven zorgen.

Er kan dus worden geconcludeerd dat de aanslibbing in de Westbuitenhaven qua kwantiteit goed wordt voorspeld. Het patroon van die aanzanding wordt slechts gedeeltelijk gereproduceerd, dit wordt voor een deel veroorzaakt door varende schepen die bezonken slib weer opwoelen en wellicht door zoet/zout stromen tijdens het schutten. Aangezien de precieze verdeling binnen de haven niet of nauwelijks ter zake doet voor het schatten van de effecten van de Nieuwe Sluis, wordt in deze studie verder gerekend met de totale aanslibbingsvolumes zoals bepaald met het beschreven model.

9 Morfologische effecten Westbuitenhaven

9.1 Schematisering van varianten

De drie MER-varianten (hoofdsuk 3) zijn doorgerekend met het morfologische model. De varianten wijken af van de huidige situatie op de volgende mogelijke manieren: 1) de haven wordt vergroot om ruimte te maken voor de aanvaarroute naar de nieuwe sluis, 2) de haven wordt verdiept om grotere schepen toe te laten en 3) in sommige varianten wordt de havenmond vergroot om de toegankelijkheid voor die grote schepen te verbeteren.

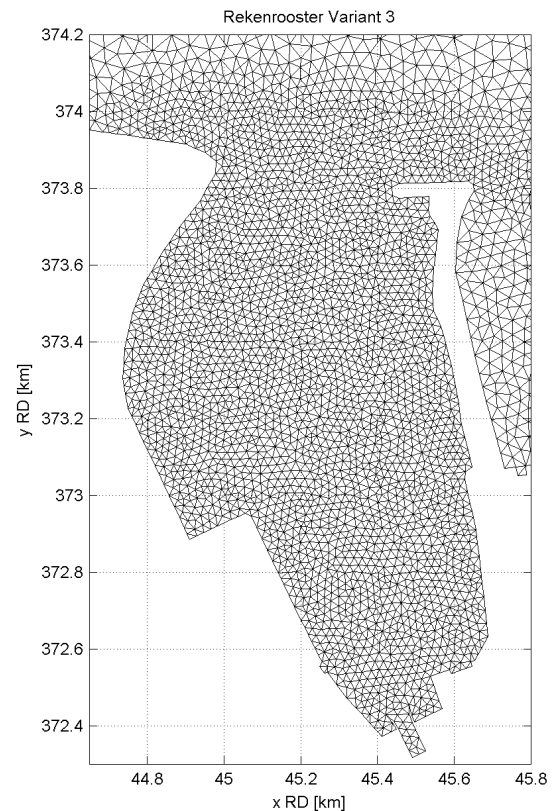
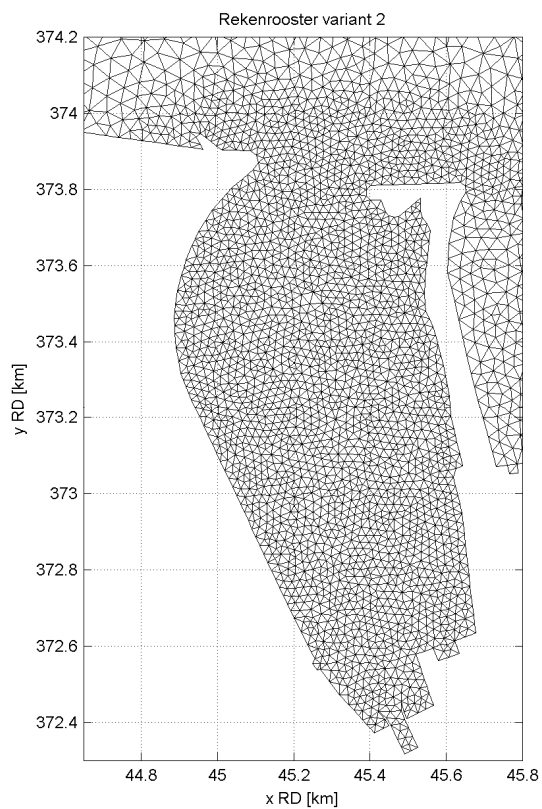
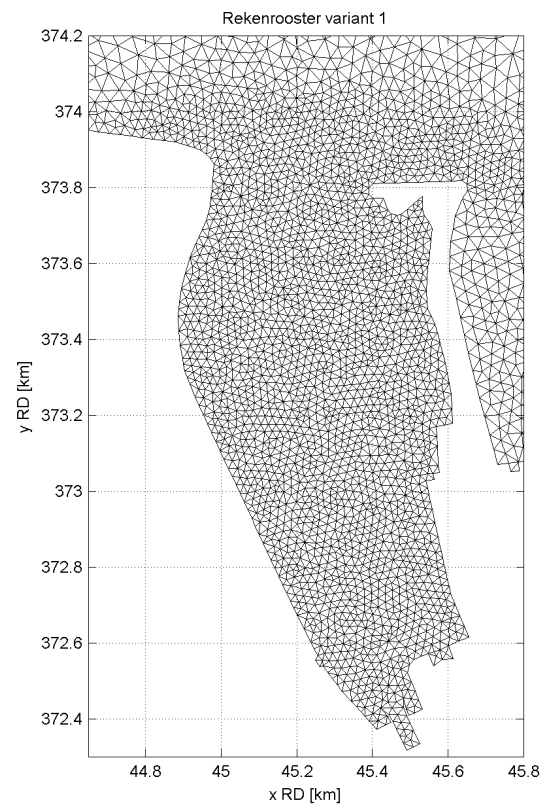
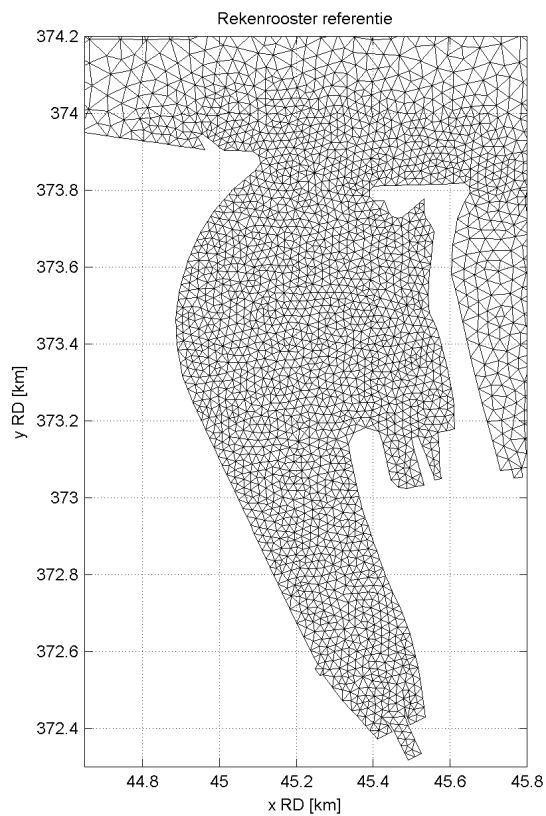


Figuur 9-1 Huidige situatie Westbuitenhaven, locaties van Nieuwe Sluis (bij benadering) in oranje

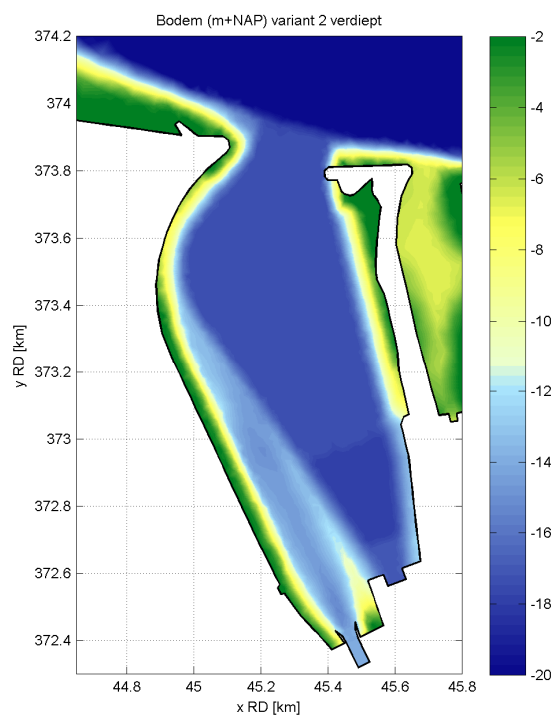
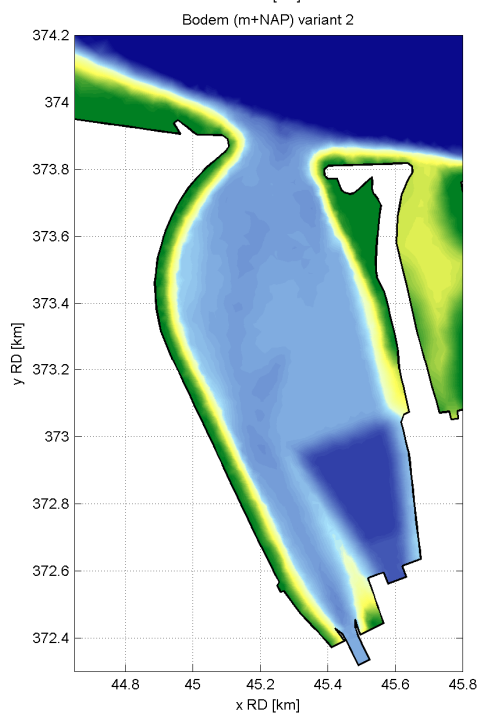
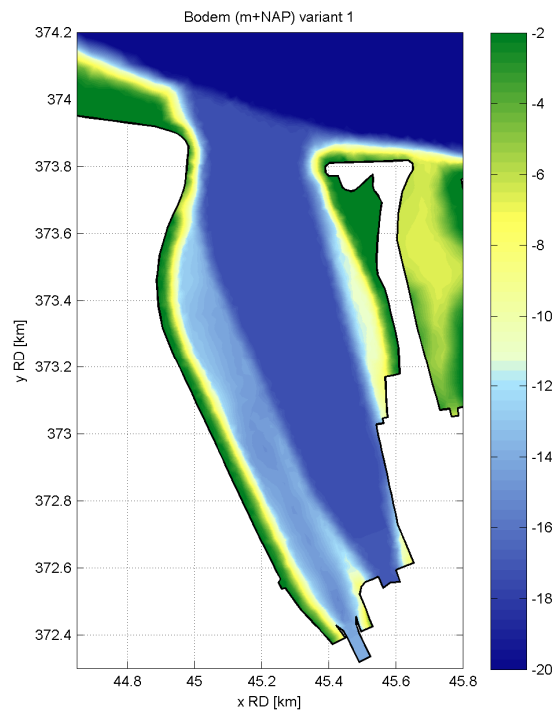
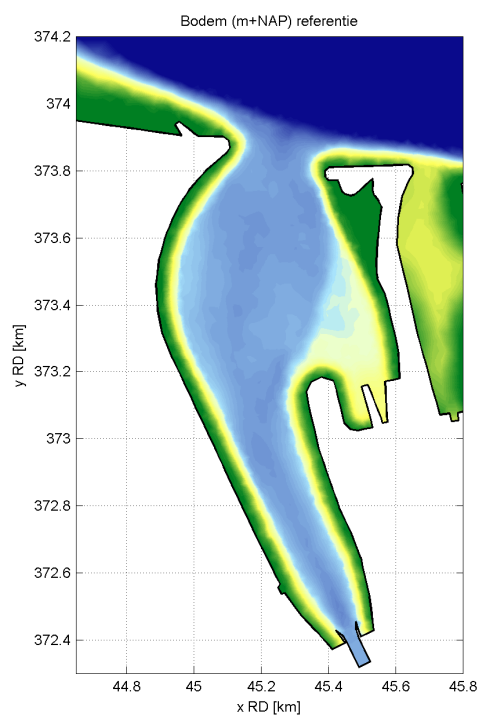
Het gaat om de volgende varianten:

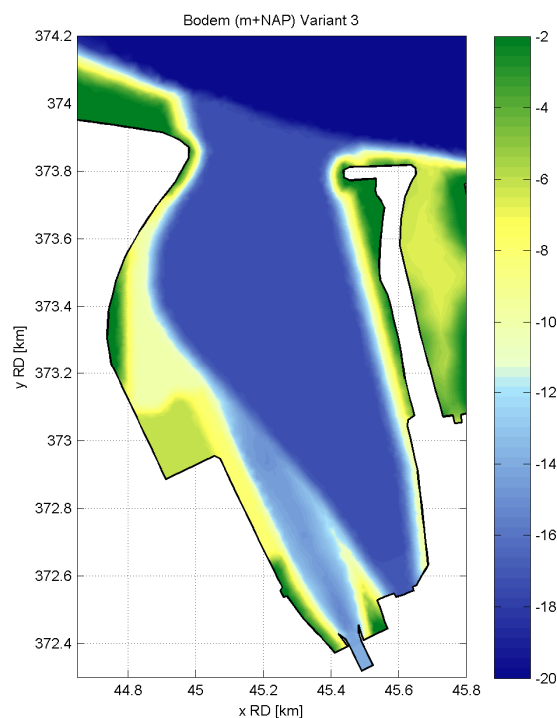
- Variant 1: een teruglegging van de westelijke havendam. Behoud van de middensluis waardoor de haven zelf slechts beperkt groter wordt. De haven wordt verdiept tot -16.44 m+NAP (contractdiepte). De baggerdiepte is een meter dieper -17.44 m+NAP, en deze wordt in alle scenario's aangehouden.
- Variant 2: behoud huidige havendammen. Geen behoud middensluis en dus een aanzienlijke vergroting van het havenoppervlak. In deze variant wordt het grootste gedeelte van de haven (nog) niet verdiept en wordt alleen voor de ingang van de nieuwe sluis een slibvang op -18 m+NAP aangelegd.
- Variant 2-verdiept: als variant 2, maar nu met de hele haven verdiept tot -17.44 m+NAP.
- Variant 3: zowel de westelijke als de oostelijke havendam worden teruggelegd. De haven wordt zowel in oostelijke als in westelijke richting vergroot. Aan de westzijde wordt de waterkering verlegd. De haven wordt verdiept tot -17.44 m+NAP.

De varianten zijn in het FINEL2D Westerschelde model ingebracht door het rekendomein (zoals vastgelegd in het rekenrooster) en de modelbodem aan te passen. De resulterende rekenroosters zijn weergegeven in Figuur 8-5, de bodems in Figuur 8-7. Voor de volledigheid is ook steeds het referentiescenario weergegeven. Uitsluitend de Westbuitenhaven zelf is afgebeeld, de rest van het model is zowel wat betreft rooster als bodem in alle gevallen gelijk. Het rekenrooster is voor variant 2-verdiept gelijk aan dat van variant 2, het verschil tussen deze twee scenario's bestaat uitsluitend in de bodemdiepte.



Figuur 9-2 Rekenroosters van links naar recht en van boven naar beneden: Referentie, Variant 1, Variant 2 (en Variant 2-verdiept) en Variant 3





Figuur 9-3 Modelbodems van links naar recht en van boven naar beneden: Referentie, Variant 1, Variant 2, Variant 2-verdiept en Variant 3

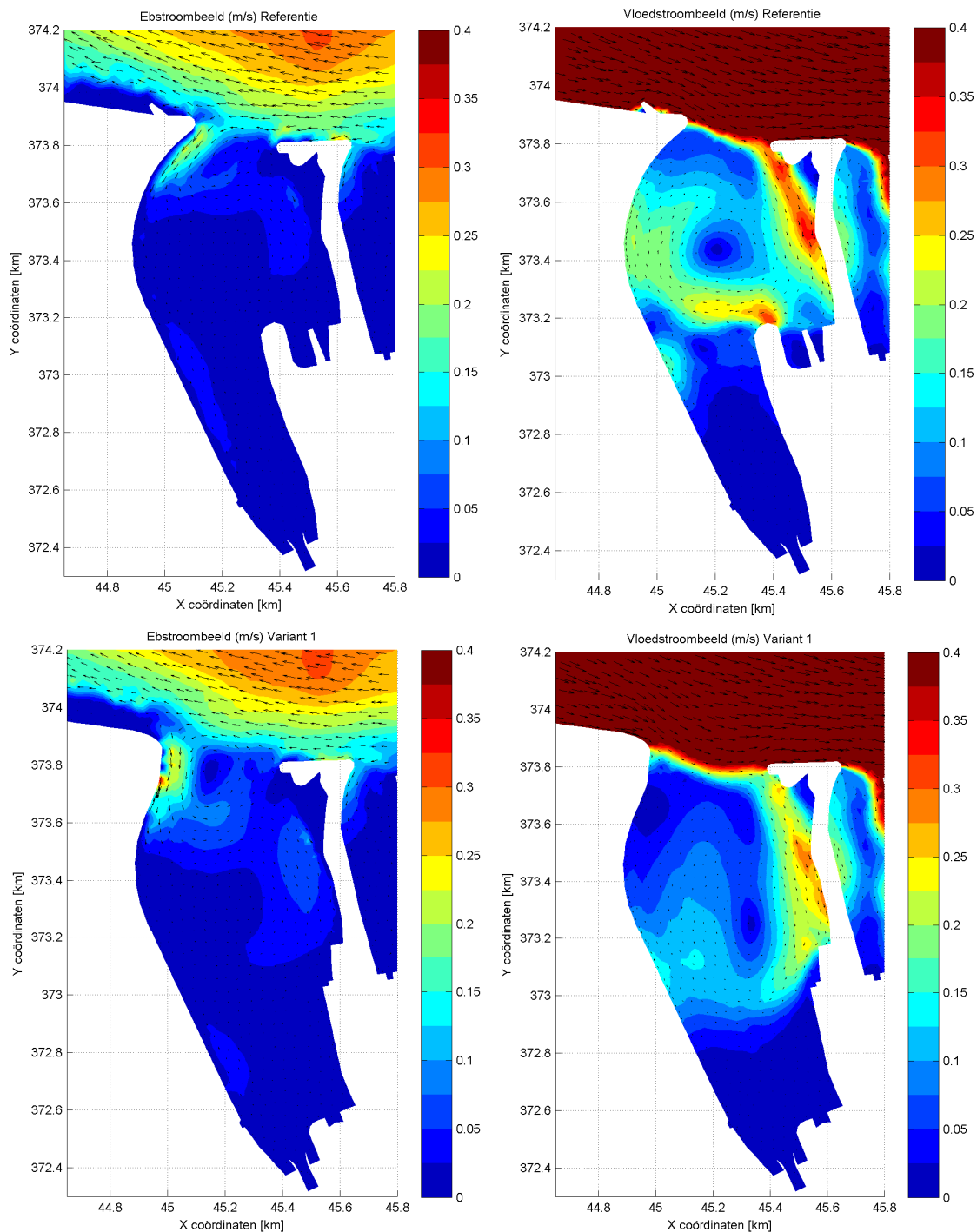
9.2 Resultaten

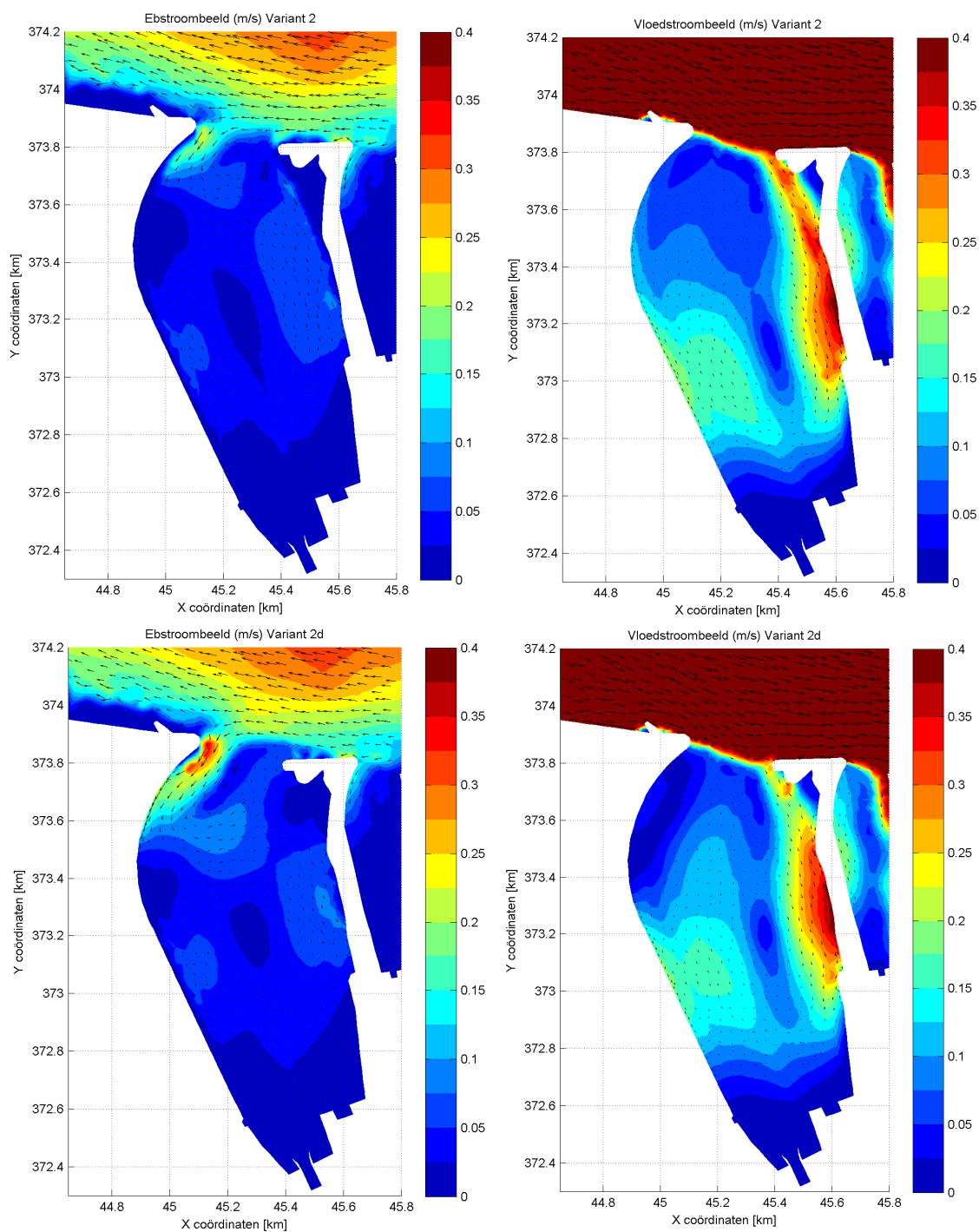
De hierboven beschreven scenario's zijn op dezelfde wijze doorgerekend als het Referentiescenario zoals gepresenteerd in paragraaf 8.4.

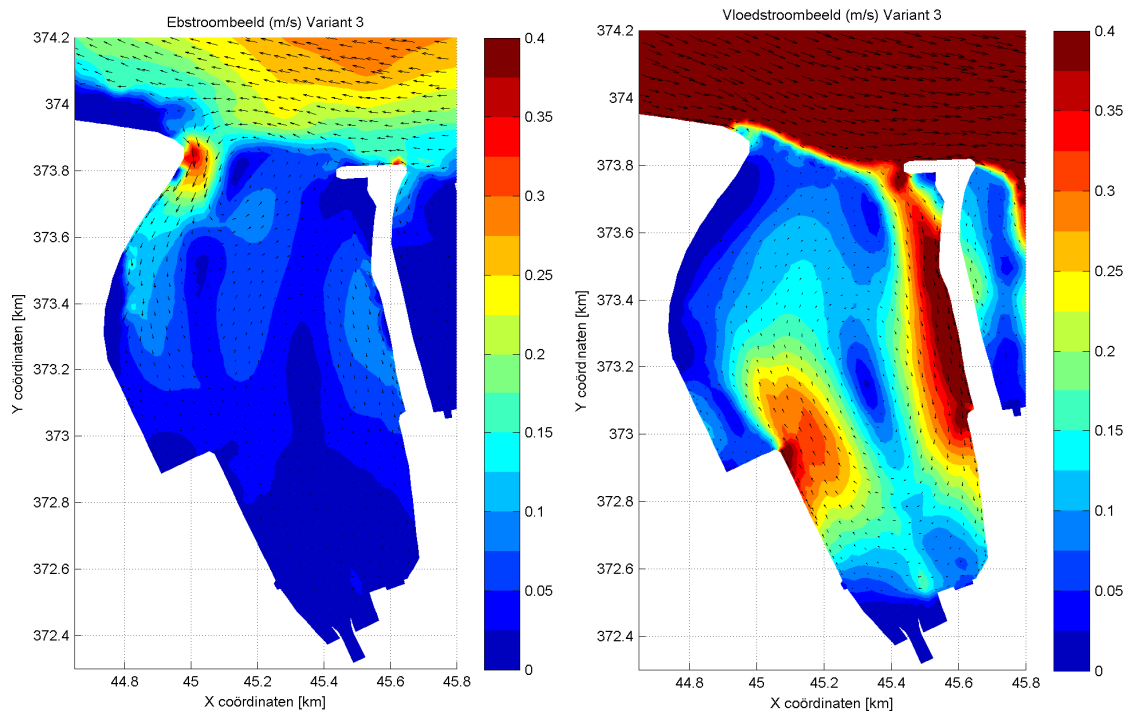
9.2.1 Stroombeelden

Voor alle varianten en Referentie is een karakteriserend stroombeeld gegeven voor eb (links) en vloed (rechts) tijdens springtij in Figuur 9-4¹⁰. Ondanks dat voor varianten 1 en 3 de havenmond is aangepast blijft het steeds de vloedneer die dominant is. In de referentiesituatie wordt de grootte van deze neer beperkt door de landtong ten westen van de Middensluis. In alle varianten wordt dit gebied uitgegraven waardoor de neer de kans krijgt veel dieper in de haven door te dringen. Het extra binnendringen van de neer ten opzichte van de Referentie is relatief beperkt in Variant 1 en relatief groot in Variant 3. Dit komt door de nauwe opzet van Variant 1 in vergelijking met de grote haven van Variant 3. Beide varianten 2 liggen wat betreft de neervorming in het midden. Hierbij dient te worden opgemerkt dat de grootte van de neer niet bepalend is voor de hoeveelheid slib. De aanslibbing is namelijk afhankelijk van hoeveel water de haven binnenstroomt terwijl de neer aangeeft hoe water zich in de haven zelf beweegt.

¹⁰ De stroombeelden zijn verkregen uit dezelfde set die is toegeleverd aan MARIN voor de uitvoering van de nautische simulaties.



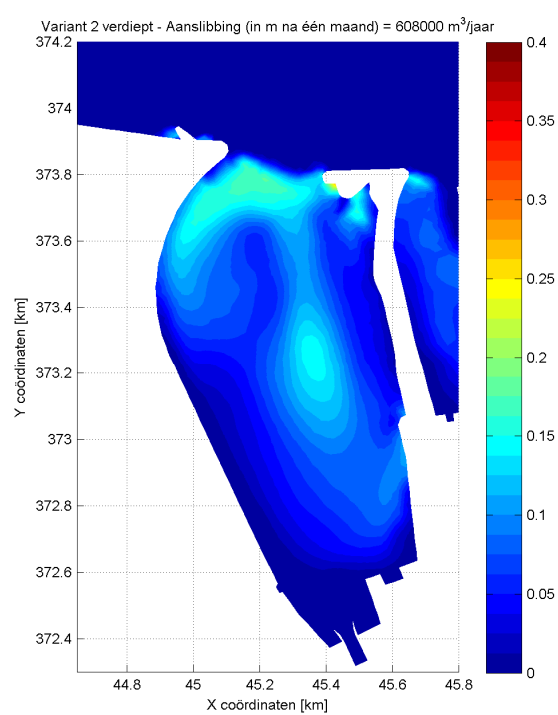
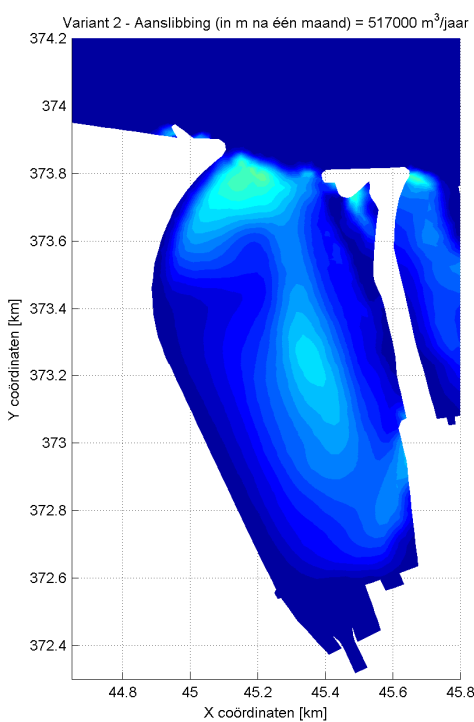
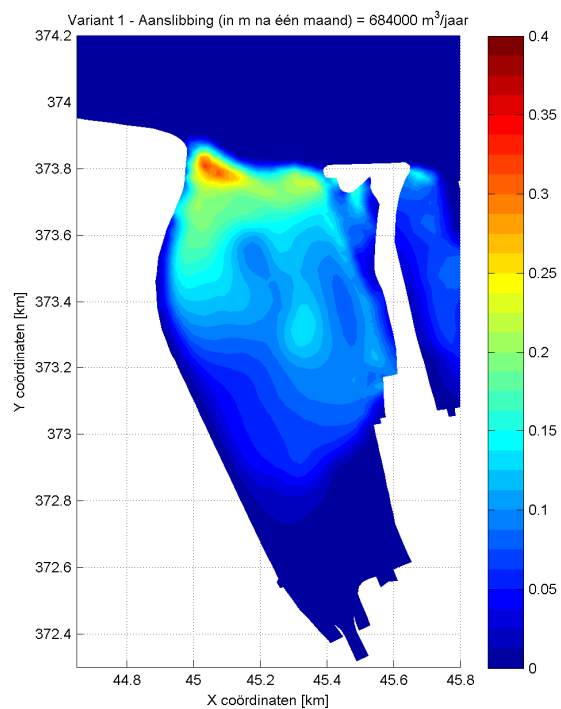
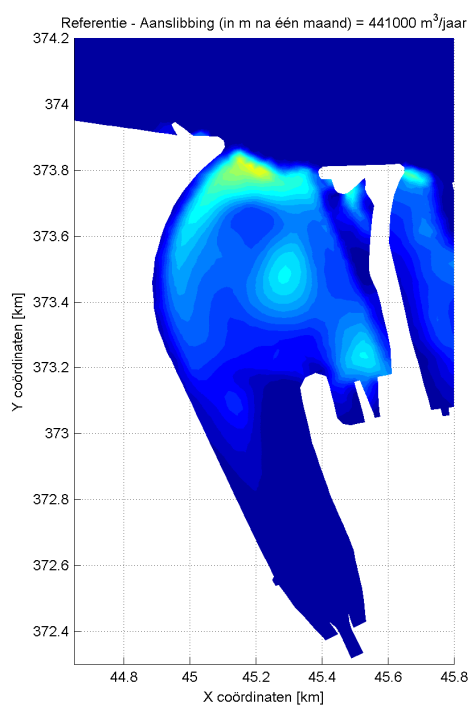


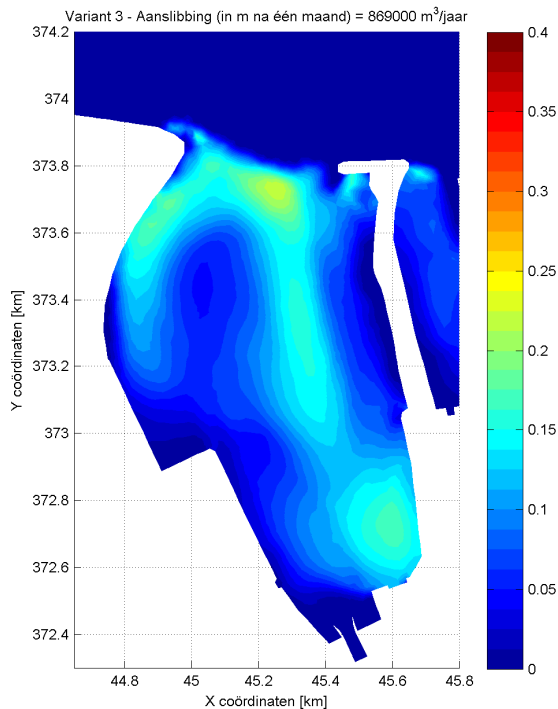


Figuur 9-4 Voorbeeld springtij stroombeelden van referentie en scenario, ebstroom links en vloedstroom rechts

9.2.2 Totaal baggerbezwaar

De aanslibbing na een maand simuleren is gepresenteerd in Figuur 9-5. Zoals eerder is gesteld zijn de patronen in de haven zelf zoals berekend door FINEL2D niet accuraat. Wel laten alle scenario's zien dat slib dieper in de haven doordringt dan in het geval van de Referentie. Deze verdere doordringing heeft te maken met de grotere neer zoals die in de vorige sectie te zien is. Verdere doordringing van sediment komt boven op de eerder genoemde mechanismen die niet in het hier toegepaste FINEL2D zijn meegenomen: groter aantal (grotere) scheepsbewegingen (door de nieuwe sluis) en een grotere retourstroming door het vrijkomen van zoetwater uit de nieuwe grotere sluis. Wat betreft het patroon van aanslibbing kan dus gesteld worden dat ook rekening dient te worden gehouden met aanslibbing dicht bij de ingang van de nieuwe sluis.





Figuur 9-5 Aanslibbing van referentie en scenario na één maand simulatie en vertaling naar jaarlijks baggerbezwaar (droog)

Door de aanslibbing in het model te kuberen en op te schalen naar een jaar, is een schatting van het te verwachten jaarlijks baggerbezwaar te geven. De getallen zijn weergegeven in Tabel 9-1. De toename in het baggerbezwaar kan worden verklaard door drie verschillende aanpassingen in de Westbuitenhaven (zoals die aan het begin van dit hoofdstuk genoemd zijn):

1. Vergroting oppervlakte leidt tot grotere komberging, om de haven tijdens vloed te vullen is meer water nodig dat meer slib meeneemt. Variant 2 (niet verdiept) betreft eigenlijk alleen deze aanpassing en leidt tot een toename van 17%.
2. Verdieping van de haven betekent dat water makkelijker de haven binnen kan stromen en zo ook meer slib meevoert. Dit komt vooral doordat een belangrijk mechanisme van slibimport de neer is die in de havenmond staat bij vloed. Variant 2-verdiept geeft een additionele 21% toename ten opzichte van Variant 2 onverdiept, welke kan worden toegeschreven aan dit mechanisme.
3. Vergroting van de havenmond leidt tot een grotere en sterkere neer, die meer slib meeneemt. Belangrijkste verschil tussen Variant 1 en Variant 2-verdiept is vergroting van de havenmond, deze leidt tot een additioneel baggerbezwaar van 17%.

De havenaanpassingen (vergroting, verdieping en vergroting mond) lijken dus – in de mate waarin ze binnen de varianten worden toegepast – een bij benadering gelijke bijdrage te leveren aan de vergroting van het baggerbezwaar. In variant 3, waar de haven vergroting en de vergroting van de mond het grootst zijn is de aanslibbing, met een toename van bijna een factor 2, ook het grootst.

Tabel 9-1 Baggerbezwaar per doorgerekend scenario

Scenario	Aanslibbing (m ³ /jaar, droog)	Verandering t.o.v. referentie
Referentie	441 000	-
Variant 1	684 000	+55%
Variant 2	517 000	+17%
Variant 2-verdiept	608 000	+38%
Variant 3	869 000	+ 97%

9.3 Beoordelingscriterium mate van erosie en sedimentatie

Gebruiksfase

Verschillende varianten leiden tot significante toenames in baggerbezwaar, van 17% voor Variant 2 tot 97% voor Variant 3. De mogelijke aanpassingen die zijn behandeld (aanpassing havenoppervlak, inkorting havendammen en verdieping haven) hebben een min of meer gelijke invloed op de verhoging van het baggerbezwaar. Wat betreft de verdeling van deze aanslibbing in de haven zelf is de verwachting dat deze verder naar binnen zal optreden en baggerwerkzaamheden dus dichterbij de sluisingen dienen plaats te vinden.

Tabel 9-2 Gemiddelde jaarlijkse hoeveelheid baggeronderhoud

Variant	Gemiddelde jaarlijkse hoeveelheid onderhoudsbagger (m ³)	Toename onderhoudsbagger (%)
Huidige situatie/ autonome situatie	444.000	
Variant 1	688.000	55%
Variant 2	520.000	17%
Variant 3	861.000	97%

De berekening van de mate van aanslibbing is berekend zonder rekening te houden met klimaatverandering. Het effect van klimaatverandering (zeespiegelstijging) zal naar verwachting zeer beperkt zijn, omdat de zeespiegelstijging van +0,5 meter relatief beperkt is ten opzichte van de waterdiepte (15-17 m).

Uitvoeringsfase

In de uitvoeringsfase zullen de effecten geleidelijk overgaan van de referentiesituatie naar de situatie in de betreffende variant omdat verschillende ingrepen (vergroten havenmond, verdiepen haven en vergroten haven) op verschillende momenten en gefaseerd worden uitgevoerd. Er zijn geen aanvullende effecten te verwachten tijdens de uitvoeringsfase.

9.4 Beoordelingscriterium vertroebeling

9.4.1 Uitvoeringsvisie

De mate van vertroebeling is afhankelijk van de wijze waarop grond ontgraven wordt. Daarom is een uitvoeringsvisie opgesteld, waarin is opgenomen welke ontgravingsmethoden worden voorzien:

- Grond boven grondwaterspiegel wordt droog ontgraven, hiermee kunnen de verschillende bodemlagen afzonderlijk worden ontgraven.
- Mechanisch ontgraven verdient ook de voorkeur in geval van aanwezige constructies (funderingen, damwanden, verankeringen, etc).
- Voor diepe en omvangrijke ontgravingen zou een hydraulische methode het beste zijn. Hierbij met een sleep- of snijkopzuiger kunnen worden gewerkt, afhankelijk van het te ontgraven materiaal en de al dan niet separaat te ontgraven hoeveelheden.

De aan- en afvoer van grote hoeveelheden van materiaal vindt zoveel mogelijk over water plaats. Aan de zijde van de Westerschelde zal daarvoor waarschijnlijk een loswal worden aangelegd om het materiaal af te voeren. Er wordt overwogen een persleiding toe te passen om afgegraven grond van de kanaalzijde naar de kant van de Westerschelde te transporteren. Een andere optie, waarmee in effectstudie voor luchtkwaliteit en geluid rekening mee is gehouden, is het transport met dumpers en vrachtwagens, waarbij een ongelijkvloerse kruising wordt aangelegd met de openbare weg over het sluiscomplex.

9.4.2 vertroebeling door afgraven grond

Nog niet behandeld in de voorgaande hoofdstukken is vertroebeling die optreedt door de werkzaamheden in de aanlegfase. vertroebeling is alleen relevant in de aanlegfase. De belangrijkste oorzaak van vertroebeling is slib dat vrijkomt bij het afgraven van grond. Hiervoor kan een zogenaamde cutterzuiger gebruikt, deze machine heeft een snijkop waarmee grond wordt losgesneden en een zuigmond die het vervolgens opzuigt. De hoeveelheid grond (en dus slib) die bij dergelijke werkzaamheden 'lekt' is in vergelijking met andere winningsmethoden zoals bijvoorbeeld een sleephopperzuiger zeer klein. Er kan echter ook met andere materieel worden gewerkt, zoals sleephopperzuigers of snijkopzuigers.

Onderzoek naar een kwantificering van het vrijkomen slib is op dit moment niet beschikbaar. In dit rapport wordt als conservatieve schatting 10% (van de massa) aangehouden als grondverlies bij afgraving van klei met een cutterzuiger. Als een aantal (conservatieve) aannamen wordt gedaan, dan betekent dit afhankelijk van de variant 8,7 tot 16 miljoen m³ slib (opgeschaald naar een lage dichtheid van 400 kg/m³) wordt afgegraven. Wederom afhankelijk van het scenario

wordt hiervan circa de helft aan Westerscheldezijde en de helft aan kanaalzijde afgegraven.

Als tot slot wordt uitgegaan van een looptijd van vier jaar van het project, dan komt aan beide zijden jaarlijks maximaal 200 duizend m³ in het milieu. Voor variant 1 en 2 is dit ruwweg de helft.

Voor de zeezijde betreft dit de helft van het huidige jaarlijks onderhoud en zelfs relatief minder als het onderhoud als gevolg van de ingrepen toeneemt (zoals beschreven in paragraaf 9.2.2). Gegeven de relatief kleine hoeveelheden en de locatie van vrijkomen achterin de Westbuitenhaven is de verwachting dat het vrijkomend materiaal voornamelijk in de haven zelf tot vertroebeling leidt en dat deze vertroebeling van dezelfde orde is als het al autonoom optredend beeld. Lokaal bij het werk in uitvoering kan natuurlijk veel hogere vertroebeling optreden. Als het materiaal weer neerslaat betekent dit een additioneel af te graven volume.

Voor de kanaalzijde zal de vertroebeling ook lokaal zijn door de beperkte de stroming. De lage netto stroming houdt de vertroebeling bovendien dicht bij het sluiscomplex.

Als met een overstort wordt gewerkt – waarmee het overvloedige water van de cutterzuiger wordt afgevoerd, zijn de verliezen significant groter. De verwachting is wel dat het breken van de grond in de leiding (en de daarmee samenhangende overstortverliezen) beperkter is dan in geval van de overstort na een persleiding (zie paragraaf 9.4.3) die over veel grotere afstanden wordt ingezet.

Al met al hangt de vertroebeling door activiteiten in de haven grotendeels af van de gekozen methodiek.

9.4.3 Vertroebeling door mogelijk toepassen persleiding

Aan de zijde van de Westerschelde zal waarschijnlijk een loswal worden aangelegd om het materiaal af te voeren. Er wordt overwogen een persleiding toe te passen om afgegraven grond van de kanaalzijde naar de kant van de Westerschelde te transporteren. Een andere optie, waarmee in effectstudie voor luchtkwaliteit en geluid rekening mee is gehouden, is het transport met dumpers en vrachtwagens, waarbij een ongelijkvloerse kruising wordt aangelegd met de openbare weg over het sluiscomplex.

Bij een persleiding wordt de grond met grote hoeveelheden water verpomptbaar gemaakt en vervolgens door een leiding naar de Westbuitenhaven getransporteerd, daar komt het via een overstort in een transportschip. Het overvloedige water stroomt bij een dergelijke overstort weer weg. Het verlies van slib dat via dit water 'lekt' is zeer afhankelijk van de gevolgde techniek en de aanwezigheid van eventuele mitigerende maatregelen, maar is wel significant groter dan wat vrijkomt bij het afgraven van grond met een cutterzuiger. Dit betekent dat een significant deel van het slib dat aan kanaalzijde wordt afgegraven in de Westbuitenhaven in het systeem komt. Naast het feit dat dit tot grote vertroebeling in de Westbuitenhaven kan zorgen is het goed denkbaar dat dergelijke volumes met het getij de Westerschelde

instromen, waar het tot een additionele vertroebeling leidt. Dit is een aandachtspunt als wordt overgegaan tot het toepassen van een dergelijke persleiding.

10 Leemten in informatie morfologie Westbuitenhaven

Bij een diepe haven kunnen driedimensionale stromingspatronen ontwikkelen. Zo is het mogelijk dat relatief zout en slibhoudend water tijdens bepaalde fasen van het getij de haven binnenstroomt. De Westbuitenhaven is beduidend ondieper dan de diepe geul direct buiten de haven en mede door deze 'drempel' geeft het tweedimensionaal model redelijke resultaten. Bij een verdieping wordt de drempel echter lager en kunnen driedimensionale (dichtheids-)effecten belangrijker worden, waardoor de slibvang nog verder toeneemt dan hier berekend. Dit is een onzekerheid in de resultaten inherent aan de keuze voor een 2D model. Dergelijke processen kunnen uitsluitend met een gekalibreerd 3D model worden onderzocht.

In een latere fase van het onderzoek is het baggerbezwaar voor de voorkeursvariant, zie volgend hoofdstuk, is naast een 2D model een 3D model ingezet. Met dit model is de invloed van driedimensionale stromingspatronen op de wateruitwisseling in de haven onderzocht. Op basis van de wateruitwisseling is het baggerbezwaar voor de voorkeursvariant opnieuw bepaald. Uit de 3D berekeningen volgt voor de voorkeurvariant een 25% hoger baggerbezwaar dan uit de 2D berekeningen.

Wanneer er vanuit wordt gegaan dat deze opslag als gevolg van driedimensionale stroming eveneens opgaat voor variant 1, 2 en 3, leidt dit tot hoeveelheden zoals weergegeven in onderstaande tabel. Ten opzichte van de autonome situatie worden voor variant 1, 2 en 3 respectievelijk een toename van circa 100%, circa 50% en circa 150% verwacht.

Tabel 10-1 Gemiddelde jaarlijkse hoeveelheid baggeronderhoud inclusief 3D opslag

Variant	Gemiddelde jaarlijkse hoeveelheid onderhoudsbagger (m³)	Toename onderhoudsbagger (%)
Huidige situatie/ autonome situatie	444.000	
Variant 1	860.000	Ca. 100%
Variant 2	650.000	Ca. 50%
Variant 3	1.076.000	Ca. 150%

11 Voorkeursvariant

11.1 Beschrijving voorkeursvariant



Figuur 11-1: Schets van voorkeursvariant

Op basis van onderzoeksresultaten en financiële randvoorwaarden is besloten de voorkeursvariant op te bouwen uit verschillende elementen van de onderzochte varianten. Ruimtelijk gezien is variant 2 als basis genomen. Argumenten bij deze keuze zijn dat het scheepvaartverkeer in variant 1 niet optimaal wordt gefaciliteerd. In de Westbuitenhaven kunnen grote schepen elkaar niet passeren, waardoor in de toekomst als er meer grote schepen gebruik maken van deze vaarroute knelpunten kunnen ontstaan. De nauwe invaart voor de Oostsluis, waardoor een duwkonvooi met 2x2 bakken naast elkaar, klasse VIB-schepen, geen gebruik kunnen maken van de Oostsluis past niet in de beleidsdoelstelling van het Rijk. In de SVIR is de ambitie uitgesproken om alle hoofdvaarwegen die belangrijke zeehavens met het achterland verbinden geschikt te maken voor klasse VIB-schepen. Daarnaast zijn de kromme roldeuren uit variant 1 minder betrouwbaar en is de variant veel duurder.

De voordelen voor de scheepvaart van de verbreding van de Westbuitenhaven, met verlegging van de primaire waterkering, in variant 3 zijn beperkt. Daarom is geoordeeld dat de extra kosten en milieueffecten van de verlegging van de primaire waterkering niet

opwegen tegen de meerwaarde voor de nautische toegankelijkheid. Ook is de het voor de nautische dienstverlening niet noodzakelijk om de primaire waterkering te verleggen. In de voorkeursvariant is de sleepboothaven gesitueerd aan de oostzijde van de buitenvoorhaven. De verlegging van de westelijke waterkering van de Westbuitenhaven is niet opgenomen in de voorkeursvariant. Wel is een verdieping van de voorhaven en verruiming van de invaart (havenmond oostzijde onder water en westzijde zowel boven als onderwater) opgenomen in de voorkeursvariant. Deze maatregelen dragen bij aan het vlotter en veiliger afwikkelen van de zeevaart.

Dit maakt dat de voorkeursvariant ruimtelijk het meest lijkt op variant 2. Bij de invulling van overige bouwstenen is gebruik gemaakt van bouwstenen uit de varianten 1 en 3.

11.1.1 Sluiskolk

De ligging en oriëntatie van de Nieuwe Sluis is zo optimaal mogelijk gekozen voor het maatgevende schip na kanaalaanpassingen, zodat de sluis toekomstvast is. Na analyse van de technische studies blijkt dat zeevaart en binnenvaart conflicteren. De ligging van de Nieuwe Sluis is daarom een compromis waarbij zowel met de belangen van de zeevaart als met de binnenvaart rekening is gehouden. Dit is hieronder nader toegelicht.

Het oppervlak van de sluiskolk is reeds vastgelegd in het Politiek besluit. Dat is 427m x 55m x 16m (lxbxd). Deze maten zijn in het MER niet nader onderzocht. De netto maten zijn kleiner. Er is ruimte nodig om de waterstromen van het nivelleren van de sluiskolk rond de schepen te leiden. De maten van de sluiskolk zijn 427m lengte tussen één binnendeur en één buitendeur. De breedte is 55m tussen de muren. De diepte van de kolkdrempel ligt op 16,44m –NAP en de diepte van de kolk op 17m – NAP voor de nivelleerstromen.

De locatie van de sluis heeft grote samenhang met de snelheid waarmee schepen de sluis kunnen naderen, en daarmee met capaciteit. Het onderzoek naar de in- en uitvaart van de schepen van de sluis is uitgevoerd met verschillende grote schepen, waaronder het grootste schip dat na oplevering van de sluis kan varen, en het grootste schip dat na aanpassingen op het kanaal naar de Kanaalzone kan. In de noord-zuidrichting is weinig marge. Hierin verschilt de voorkeursvariant niet van de varianten 1, 2 en 3. Een noordelijker ligging leidt tot minder tijd voor het stoppen en ophijnen van de schepen in de buitenvaart. Dit maakt het nodig dat langzamer wordt gevaren om in alle gevallen op tijd te kunnen stoppen. Situaties van harde wind en stroming worden bij een kortere lengte om te manoeuvreren eerder als te onveilig voor het naderen van de sluis beoordeeld. Een zuidelijker ligging leidt tot problemen aan de kanaalzijde. De invaart van de Nieuwe Sluis met grote schepen conflicteert in dat geval met de invaart van de Oostsluis. Dit leidt ook tot een vermindering van de capaciteit van het complex.

In oost-west richting is ook geen marge. Op basis van doelbereik is gekozen voor rechte roldeuren. Deze hebben de grootste bijdrage aan het doelbereik op het gebied van robuustheid van het sluizencomplex. Rechte roldeuren ten westen van de sluiskolk van de Nieuwe Sluis zijn geen optie, omdat de invaart van de Nieuwe Sluis dan tot problemen leidt in combinatie met verkeer van en naar de Oostsluis, zelfs als de binnenhaven van de Oostsluis wordt verruimd door afgraven van de Schependijk. Hiermee is de ligging van de sluiskolk gelijk aan variant 2.

Er is gekozen voor zowel in het buitenhoofd als in het binnenhoofd twee sluisdeuren. Voor onderhoud aan een deur, of in het geval dat een deur is aangevaren, kan met de andere deur het schutproces worden voortgezet. Dit voorkomt stremming van de Nieuwe Sluis. Ook geeft twee deuren aan beide zijden van de sluis een extra waarborg voor hoogwaterveiligheid.

De oriëntatie van de Nieuwe Sluis is zodanig dat er een zo recht mogelijke invaart is vanuit het kanaal. Daarom is de sluiskolk 5° gedraaid ten opzichte van de Westsluis. Bij een draaiing van 5° is het niet mogelijk de Middensluis te behouden.

De ruimtelijke ligging van de deuren en de sluiskolk van de Nieuwe Sluis in de voorkeursvariant maakt het noodzakelijk dat de Schependijk gedeeltelijk wordt afgegraven om de binnenhaven van de Oostsluis voldoende breed te houden. De afgraving van de Schependijk is gelijk aan variant 2.

11.1.2 Buitenhaven

Verbreiding van de buitenhaven is niet nodig voor vlot en veilig gebruik van de Westsluis en de Nieuwe Sluis. Daarom wordt de westelijke havendijk niet verplaatst. Daarmee is de buitencontour van de buitenhaven gelijk aan variant 2.

Verdieping van de buitenhaven is noodzakelijk om grote schepen te kunnen faciliteren. Vanuit de doelstelling robuustheid wordt gekozen de verdieping nu al op te nemen in de voorkeursvariant, zodat schepen met een diepgang van 12,5 m tijonafhankelijk van het sluizencomplex gebruik kunnen maken. De buitenhaven wordt verdiept tot een nuttige diepte van 16,44 m -NAP. De verdieping vindt over de volledige breedte van de buitenhaven plaats, zodat er voldoende vaardiepte is voor schepen uit de Westsluis en de Nieuwe Sluis om elkaar te passeren. De verdieping blijft buiten de invloedszone van de waterkering aan de westzijde van de buitenhaven.

Niet alleen de diepte van de buitenhaven bepaalt in welk deel van het tijvenster schepen gebruik kunnen maken van het sluizencomplex. Ook de invaart vanaf de Westerschelde is een belangrijk issue. Schepen moeten vanaf de Westerschelde de buitenhaven indraaien, onder invloed van wind en getij. Een verbreding van de havenmond is noodzakelijk voor een vlotte en veilige invaart van schepen met een diepgang van 12,5 m onder maximale stroomcondities. Aan de westzijde van de havenmond wordt de verbreding boven- en

onderwater uitgevoerd. Aan de oostzijde wordt het talud steiler gemaakt, zodat onderwater een verbreding plaatsvindt, zonder dat de landtong bovenwater korter wordt. Daardoor blijft de hoogwatervluchtplaats behouden. De totale verbreding is 70 m onderwater op het diepste punt. Op maaiveldhoogte is de verbreding 110 m aan de westzijde. Deze verbreding is ook geschikt om in de toekomst maatgevende schepen met een diepgang van 14,5 m vlot en veilig in te laten varen binnen het tijvenster.

In de buitenhaven worden wacht- en opstelplaatsen voor de binnenvaart gemaakt, zodat de binnenvaart gebruik kan maken van de Westsluis en Nieuwe Sluis. In de buitenhaven komen wacht- en opstelplaatsen voor circa 15 binnenvaartschepen langs de westelijke havendijk. Deels langs de dijk, deels aan palen met een remmingswerk. Alle ligplaatsen in de buitenhaven worden op het talud van de westelijke havendijk gerealiseerd. Hiervoor wordt het talud van de westelijke havendijk steiler gemaakt, zodat de ligplaatsen niet in de vaarweg naar de Westsluis liggen.

De wacht- en opstelplaatsen kunnen ook worden gebruikt als overnachtingsplaats voor binnenvaartschepen. Door het realiseren van overnachtingsplaatsen kan efficiënter van het sluisencomplex gebruik worden gemaakt. Binnenvaartschepen kunnen in de nieuwe situatie ook 's avonds worden geschut en vervolgens afmeren in de buitenhaven. Dit beperkt de drukte in de ochtend. De ligplaatsen hebben geen voorzieningen om de wal te bereiken of voorzieningen voor walstroom.

Voor de zeeschepen wordt een noodsteiger aan de oostzijde in de buitenhaven gemaakt. Hier kunnen schepen met een maximale diepgang van 12,5 m afmeren. Naast deze noodsteiger wordt een sleepboothaven gerealiseerd. In deze haven is plaats voor 15 sleepboten, en is de mogelijkheid voor een aanlegplaats die bereikbaar is voor hulpdiensten. De ingang van de sleepboothaven zit aan de zuidzijde. De sleepboten liggen op deze manier beschut tegen de golven in de buitenhaven.

11.1.3 Inrichting sluisencomplex

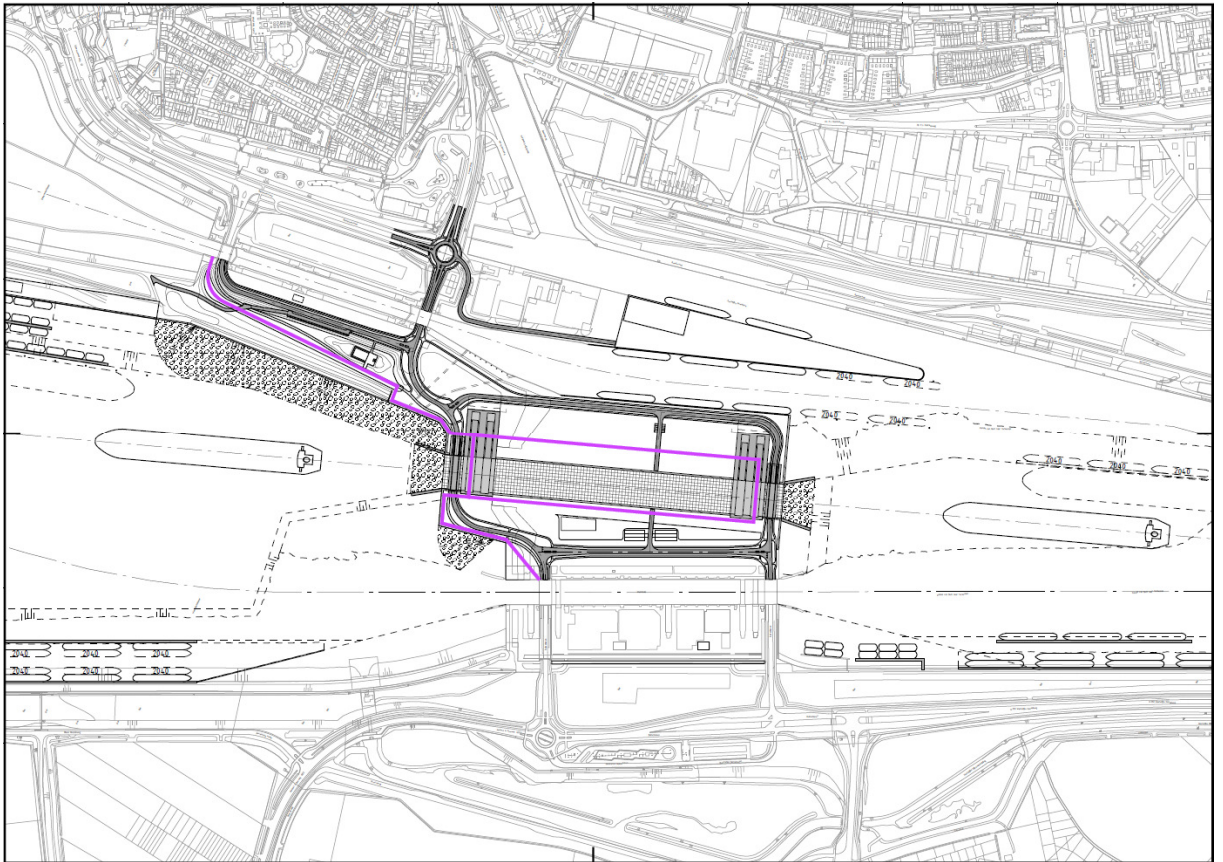
De huidige waterkering wordt vanaf de Oost- en Westsluis verbonden met de Nieuwe Sluis. Tussen de noordzijde Westsluis en de Nieuwe Sluis wordt een harde kering aangelegd met een hoogte van 8,50 m +NAP, die aansluit op het sluisplateau. Aan de oostzijde van de Nieuwe Sluis gaat deze over in een groene waterkering met een hoogte van 9,75 m +NAP. Aan de buitenzijde van deze waterkering wordt een damwand geplaatst omdat er onvoldoende ruimte beschikbaar is voor een talud. Deze groene waterkering sluit aan de oostzijde aan op de keermuur bij de Oostsluis.

Bij de Nieuwe Sluis zijn zowel het binnenhoofd als het buitenhoofd onderdeel van de primaire kering. Het binnenhoofd krijgt een hoogte van 6,30 m +NAP. De waterkering rond de Nieuwe Sluis verloopt dus

van 8,50 m +NAP aan de buitenzijde tot 6,30 m +NAP aan de binnenzijde. De weg rond de sluiskolk ligt op de waterkering.

De weg ten westen van de Oostsluis ligt binnen de primaire kering. De brug ligt buiten de deuren. Dat betekent dat de weg daar buiten de primaire kering ligt. De kruisingen van de weg met de waterkering zijn zichtbaar in de tekening.

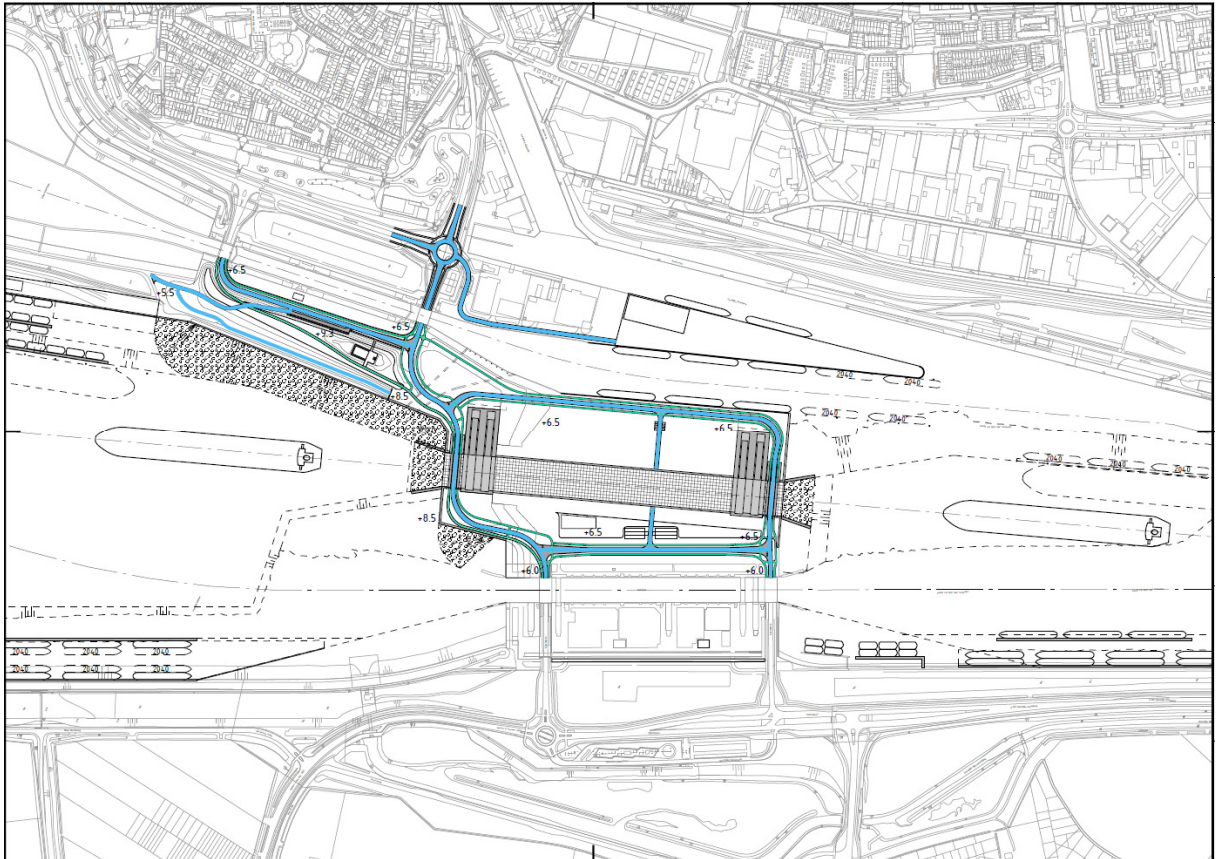
De weg ten westen van de Oostsluis ligt binnen de primaire kering. De brug ligt buiten de deuren. Dat betekent dat de weg daar buiten de primaire kering ligt. De kruisingen van de weg met de waterkering zijn zichtbaar in de tekening.



Figuur 11-2 Ligging waterkering in VKV (paars)

De wegenstructuur op het sluizencomplex wordt ingericht zoals in de tekening is opgenomen. Alle wegen worden ingericht op 50 km/u. De hoofdroute loopt langs het noordelijke sluishoofd van de Westsluis en de Nieuwe Sluis en langs het zuidelijke sluishoofd van de Oostsluis. De hoofdroute is de kortste route die over het complex mogelijk is en is vormgegeven als een voorrangsweg ten opzichte van de overige wegen op het sluizencomplex. Wanneer één van de bruggen in de hoofdroute geopend is, zal het wegverkeer gebruik moeten maken van een nevenroute. Deze wegen worden duidelijk ingericht als secundair ten opzichte van de hoofdroute. Met dynamische bebording wordt het gemotoriseerd wegverkeer en fietsverkeer naar de juiste brug geleid.

De kruising waar hoofd- en nevenroute elkaar kruisen tussen de Oostsluis en de Nieuwe Sluis, wordt vormgegeven als twee T-kruisingen. Verkeer wordt zo actief ontmoedigd om van de nevenroute gebruik te maken als de hoofdroute beschikbaar is. De kruisingen ten westen van de Nieuwe Sluis worden ook als een T-kruising vormgegeven.



Figuur 11-3 Ligging droge infrastructuur
Blauw – wegen
Groen - fietspaden

Er worden vrijliggende fietspaden aangelegd aan weerszijden van de weg. Langs de buitenhaven worden fietspaden met 2 rijrichtingen aan de buitenkant van de weg gelegd. Zo hebben de fietsers het beste zicht op de scheepvaart in de buitenhaven. Ook wordt met deze route invulling gegeven aan de voorgestelde mitigerende maatregel voor verkeersveiligheid, om kruisingen tussen snel en langzaam verkeer te minimaliseren. Fietsers hebben bij iedere kruising voorrang op het gemotoriseerd wegverkeer. Voor voetgangers worden wandelpaden aangelegd. Deze zijn gescheiden van de fietspaden. Op de bruggen bestaat de scheiding tussen voetgangers en fietsers ten minste uit belijning. Op de bruggen wordt het wegverkeer fysiek gescheiden van fietsers.

De bruggen over de sluiskolk van de Nieuwe Sluis worden vergelijkbaar met de bruggen over de Oost- en de Westsluis: basculebruggen met 1 val. De bruggen worden buiten de deuren geplaatst. Zo is er het minste kans op aanvaren van de bruggen. De brugconstructie bestaat

uit een vakwerkconstructie, vergelijkbaar met de bruggen van de Westsluis.

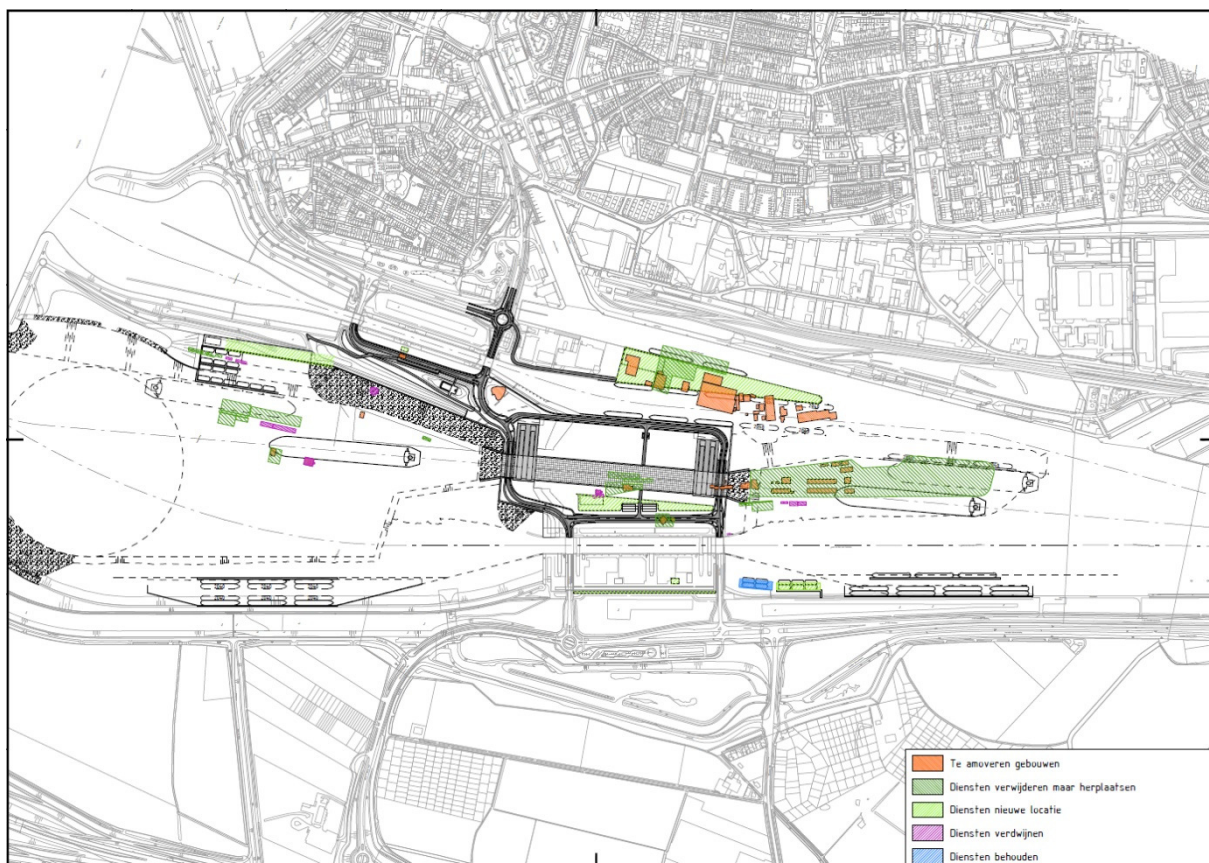
De diensten op het sluizencomplex worden ontsloten via de nevenroutes. De hoofdroute wordt zo niet belast met afslaand verkeer naar een van de diensten.

Op het sluiscomplex wordt ruimte gemaakt voor de sluisgebonden diensten. Dit zijn:

- Sleepdiensten. Naast de sleepboothaven in de buitenhaven is de mogelijkheid aanwezig voor opslag van materialen ten behoeve van de sleepdiensten.
- Bootslieden en de loodsen (Nederlands loodswezen). Hiervoor worden voorzieningen gerealiseerd tussen de Westsluis en de Nieuwe Sluis. Tijdens de aanlegfase wordt een tijdelijke voorziening aangelegd ten westen van de Westsluis.
- Opslag Rijkswaterstaat t.b.v. onderhoud en beheer sluiscomplex. De materialen die over water aan- en afgevoerd moeten worden, zoals de reservedeuren voor de Oostsluis, worden gesitueerd op de Schependijk. Voor de overige materialen worden opslagvoorzieningen gerealiseerd tussen de sluizen, en ten westen van de Westsluis. Ten westen van de Westsluis wordt ook de nieuwe noodstroomvoorziening aangelegd.

Alle overige functies die binnen het huidige complex aanwezig zijn worden geamoveerd.

Zoals in het hoofdstuk natuur is aangegeven is er 3 ha schraal grasland voor orchideeën nodig voor de natuurcompensatie voor de Flora en Faunawet (zie deelrapport Natuur). Dit grasland wordt ingepast op het complex, onder meer ten westen van de Nieuwe Sluis en ten oosten van de Oostsluis. Dit gebied kan ook dienen als habitat voor rolklaver en de vijfvlak-sint-jansvlinder.



Figuur 11-4 Sluisgebonden diensten: huidige locaties en hervestiging, en overige diensten

11.1.4 Binnenhaven

Om de Westsluis beter geschikt te maken voor de afwikkeling van binnenvaart, worden ook aan de kanaalzijde wacht- en opstelplaatsen aangelegd. Deze worden aan de westzijde van het kanaal gelegd en bieden ruimte voor circa 15 binnenvaartschepen. Hiervoor wordt het kanaal ter plaatse van de ligplaatsen verbreed door het talud af te graven en een damwand te plaatsen. De ligplaatsen komen op deze wijze buiten de vaarweg te liggen.

Direct ten zuiden van de Westsluis wordt aan de kanaaloever een extra steiger aangelegd voor de sleepboten die in de huidige situatie aan de Zeevaartweg kunnen afmeren. In totaal kunnen hier circa 10 sleepboten afmeren.

Door het gedeeltelijk afgraven van de Schependijk en het verwijderen van de landtong Zeevaartweg verdwijnen wacht- en opstelplaatsen voor de Oostsluis. Aan de Schependijk worden nieuwe mogelijkheden aangelegd om af te meren voor circa 6 binnenvaartschepen. Op termijn kunnen circa 4 extra wacht- en opstelplaatsen worden gecreëerd in het verlengde van de Schependijk en langs de noodsteiger van de Nieuwe Sluis.

Er worden geen specifieke overnachtingsplaatsen gecreëerd. Wel wordt het mogelijk om wacht- en opstelplaatsen aan de westzijde van het kanaal 's nachts in te zetten als overnachtingsplaatsen. Aan de kanaalzijde gaat het om circa 4 overnachtingsplaatsen. Deze plaatsen hebben geen voorzieningen zoals walstroom of afloopvoorzieningen.

Er wordt een noodsteiger voor de zeeschepen aan de oostzijde van de vaarweg naar de Nieuwe Sluis gemaakt. Wanneer een schip ligt afgemeerd aan deze noodsteiger, ligt het schip deels in de vaarweg naar de Nieuwe Sluis. Omdat de noodsteiger alleen in het geval van calamiteiten wordt gebruikt, is dit geen probleem.

11.1.5 Waterbeheer

Wanneer het kanaalpeil hoger wordt dan het vastgestelde peil, wordt kanaalwater gespuid via de sluisdeuren. In de aansturing van de verschillende functies van het sluiscomplex (operationeel concept) wordt het spuien zo georganiseerd dat dit tot minimale hinder voor scheepvaart zal leiden. Ook wanneer het kanaalpeil lager wordt dan het gestelde peil zullen de kolken zo worden benut voor de scheepvaart dat er minimaal verlies aan kanaalwater zal zijn, bij voorbeeld door te schutten bij minimaal verhang. Wanneer in droge perioden het kanaalpeil ondanks deze maatregelen toch te ver daalt, kan er niet gevaren worden op het kanaal en wordt het complex gestremd. Het nivelleren van de waterstanden in de sluiskolk is onafhankelijk van het spuisysteem. Hiervoor worden schuiven in de sluisdeuren gebruikt. Er worden geen omloopriolen aangelegd.

Indien geen aanvullende maatregelen worden getroffen kan de aanleg van de Nieuwe Sluis negatieve effecten hebben op de Kaderrichtlijn Water GEP (goed ecologisch potentieel) waarde van 3000 mg/l chloride gemeten aan het wateroppervlak bij Sas van Gent op het Kanaal van Gent naar Terneuzen. De kans is dan aanwezig dat het zoutgehalte door aanleg van de Nieuwe Sluis zonder aanvullende maatregelen in droge zomers boven de genoemde GEP waarde gaat uitstijgen. Deze kans is zeker niet denkbeeldig, aangezien ook bij een autonome ontwikkeling (=zonder bouw Nieuwe Sluis) de verwachting is dat in droge zomers de zoutnorm op het kanaal kritiek gaat worden. Om deze mogelijke negatieve effecten op de vastgestelde KRW chloride-norm op het Kanaal te voorkomen wordt het volgende pakket maatregelen getroffen:

1. Met oog op het beperken van het zoutbezwaar (of voorkomen van verdergaande verzilting) ten gevolge van het gebruik van de Nieuwe Sluis Terneuzen handelt Vlaanderen conform artikel 32 van het verdrag van 1960, met de aanpassingen zoals beschreven in artikel 1 van de overeenkomst tot wijziging uit 1985 door het nemen van passende maatregelen.
2. Daarnaast wordt het schutbedrijf, in functie van minimale wachttijden, optimaal spuien en gecontroleerde zoutindringing, zodanig geoptimaliseerd, dat indien uit de monitoring blijkt dat het chloridegehalte van de KRW-norm overschreden dreigt te gaan worden, het chloridegehalte binnen de gestelde normen blijft. Een nieuw op te richten werkgroep met Vlaamse en

Nederlandse experts (waaronder de beheerder) zal over deze optimalisatie advies verlenen waarbij zij ook moeten beoordelen of het bestaande monitoringsnetwerk daartoe voldoet of dat het uitgebreid moet worden.

3. Er wordt in de realisatiefase een budgetvoorziening van 10 miljoen euro als risicoreservering opgenomen. Geborgd wordt dat ook na realisatie van de Nieuwe Sluis een bedrag beschikbaar blijft gedurende een periode van 5 jaar vanaf het moment dat de Nieuwe Sluis in gebruik wordt genomen. Deze laatste reservering zal binnen de Vlaams-Nederlandse Scheldec commissie, in de lijn van het verdrag uit 2005 inzake de samenwerking op het gebied van het beleid en het beheer van het Schelde-Estuarium worden geregeld. Het gereserveerde bedrag kan gebruikt worden om onderzoek te doen naar de effecten van (innovatieve) alternatieve zoet-zout-scheidingsmaatregelen. Indien daaruit blijkt dat een maatregel effectief is en de bovengenoemde maatregelen geen of te weinig effect hebben, kan zo'n voorziening daaruit worden bekostigd.
4. Vanuit de stuurgroep NST wordt aan de VNSC verzocht om de werkgroep "Agenda voor de toekomst" een aanvullend onderzoek naar de optimale zoetwaterverdeling in het Schelde-stroomgebied tijdens droge perioden uit te laten voeren, waarin ook wordt bekeken hoe het beperken van het zoutbezwaar (of voorkomen van verdergaande verzilting van het kanaal) optimaal gerealiseerd kan worden.
5. Voor wat betreft de problematiek bij Canisvliet zal, gezien het kwetsbare karakter van dit gebied en eventuele schade onomkeerbaar is, ongeacht de uitkomsten van de monitoring de waterafvoer ter plaatse worden aangepast om verzilting te voorkomen.

Tabel 11-1: Ontwerpkeuzes VKV

Ontwerpkeuzes		Keuze
1	Afmetingen sluiskolk	lengte 427m breedte 55m Diepte drempel 16,44m -NAP
2	Locatie van de sluiskolk	Noord
2a	Type deuren	Rechte roldeuren
3	Oriëntatie van de sluiskolk	5 graden
3a	Behoud Middensluis	Middensluis slopen
4	Breedte buitenhaven door dijkverlegging	Geen dijkverlegging, wel functies in het talud plaatsen met voldoende ruimte voor het passeren van (zee)schepen.
5	Breedte van de havenmond	Verbreiding westzijde, oostzijde alleen onderwater
6	Diepte van de buitenhaven	12,5 m getij onafhankelijk
7	Spuifunctie	Spuien via de deuren
8	Waterkering	Kering over beide hoofden (hoog buitenhoofd, laag binnenhoofd)
9.	Bruggen	Buiten de deuren met een basculebrug (enkele val)

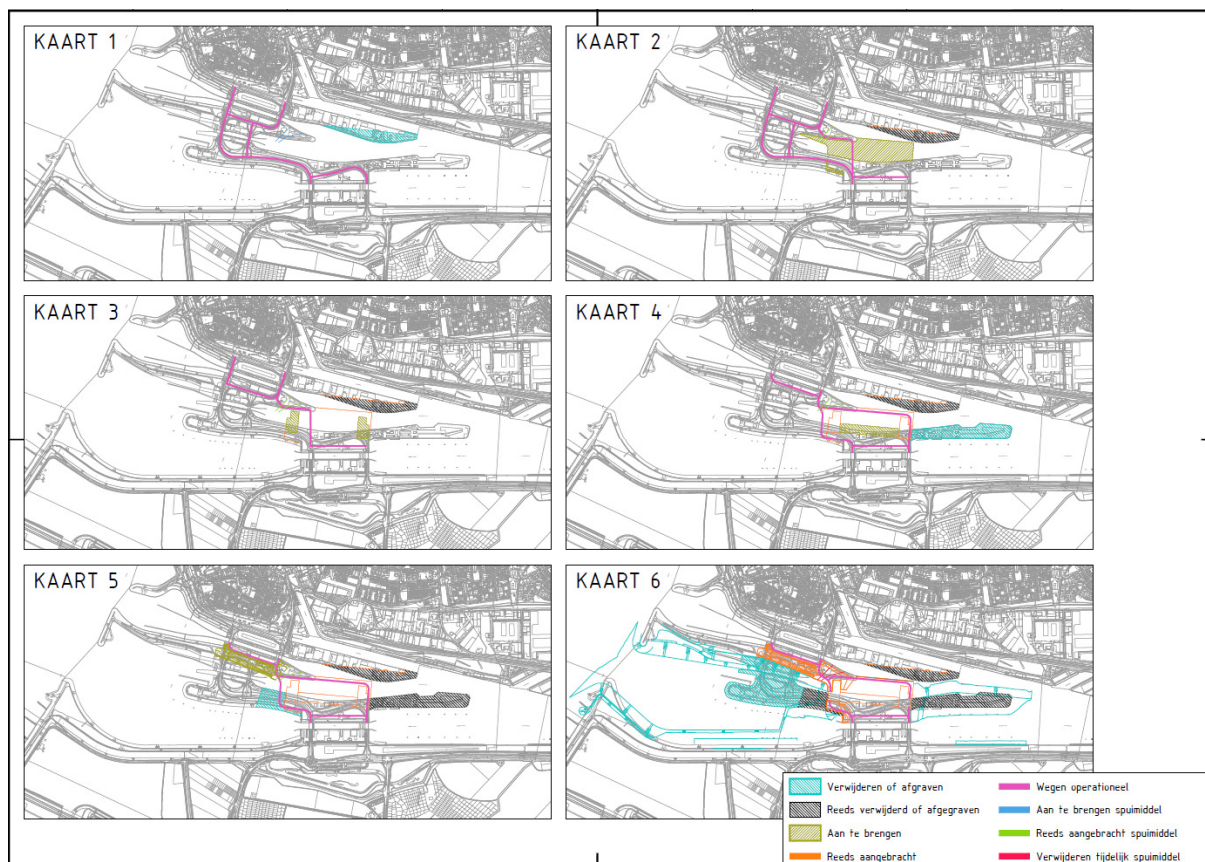
Ontwerpkeuzes		Keuze
10.	Ligplaatsen	Buitenhaven Oostsluis: geen aanpassingen Buitenhaven: voor ca 15 binnenvaartschepen Binnenhaven Oostsluis: voor ca. +6 binnenvaartschepen Binnenhaven Westsluis: voor ca 15 binnenvaartschepen Mede gebruik van wacht- en opstelplaatsen als overnachtingsplaatsen gedurende de nacht.
11.	Diensten	Verplaatsen sleepdiensten, bootslieden en loodsen en opslag Rijkswaterstaat t.b.v. onderhoud en beheer sluiscomplex.
12.	Primaire kering	Verbinding van Oost- en Westsluis naar Nieuwe Sluis, primaire kering bij Nieuwe Sluis over beide hoofden.
13.	Nivelleren	Via de deuren
14.	Spuicapaciteit	130m ³ /s gemiddeld, 168 m ³ /s gemiddeld bij lagere waterstand Westerschelde dan kanaal
15.	Zoet-zoutscheiding	Inzet op mitigerende maatregelen
16.	Wegverkeer	50 km/u met korte hoofdroute als voorrangsweg. Kruising tussen Nieuwe Sluis en Oostsluis als twee T-kruisingen.
17.	Deurconfiguratie	2x2

11.2 Aanlegfase

De bouw van de Nieuwe Sluis zal 4 tot 5 jaar in beslag nemen. Het uitgangspunt in de aanlegfase is dat het sluizencomplex altijd functioneel moet zijn. Dit betekent dat de hoofdfuncties van het sluizencomplex gedurende de aanlegfase operationeel moeten zijn. We onderscheiden de volgende hoofdfuncties:

- Scheepvaartverkeer;
- Spuien;
- Wegverkeer;
- Waterkwaliteitsbeheer;
- Waterkeren.

Op hoofdlijnen worden in de tijdelijke situatie de volgende bouwfasen doorlopen (zie Figuur 11-5):



Figuur 11-5 Fasering van de bouw.

1. Verplaatsen functies en voorzieningen: zoals aanleg Sleepboothaven & ligplaatsen en bedrijven Schependijk verplaatsen, verplaatsen kabels en leidingen en noodstroomvoorziening, inrichten werkterrein.
 - a. *Bewaken continuïteit bedrijfsvoering sluisgebonden bedrijven*
 - b. *Verkrijgen condities voor afgraving Schependijk*
2. Toegankelijkheid Oostsluis vergroten door de Schependijk te verwijderen (zie kaart 1 Figuur 11-5) en aanleggen van tijdelijke spuivoorziening (kanaal dat aansluit op huidige Middensluis).
3. Grondlichaam van de Nieuwe Sluis wordt gemaakt (zie kaart 2 Figuur 11-5).
 - a. *Alle Scheepvaart wordt via de Oostsluis en Westsluis geleid, de Middensluis is buiten bedrijf.*
 - b. *Wegverkeer wordt zoveel als mogelijk gescheiden van het bouwverkeer door de aanleg van een tijdelijke (vaste) brug tussen de Oostsluis en de Westsluis.*
4. Bouwen bouwkuip: hoofden, kolk en deuren aan de kanaalzijde worden tegelijkertijd gebouwd (zie kaart 3 Figuur 11-5).

-
5. De landtong wordt verwijderd om de deuren in te varen. Allereerst wordt het binnenhoofd geplaatst en vervolgens het buitenhoofd.
 - a. *Met deze stap blijft de waterkering intact gedurende de aanlegfase.*
 - b. *Na het testen van de deuren en het aansluiten van de waterkering kan het buitenhoofd van de Middensluis gesloopt worden.*
 - c. *De Nieuwe Sluis wordt in gebruik genomen als spuimiddel*
 6. Plaatsen van de bruggen (zie kaart 5 Figuur 11-5).
 7. Verwijderen restant van de landtong Middensluis (zie kaart 6 Figuur 11-5).

Tijdens de bouw is een bouwterrein nodig met opslag van grond en materialen en laad/loskades. Hiervoor zijn verschillende mogelijkheden. De locatie naast de Middensluis kan gedurende vrijwel het gehele project als bouwlocatie worden gebruikt met mogelijkheden voor een loswal. Op deze wijze kan kruisend bouwverkeer in de buitenhaven en transport over de weg voor een groot deel worden vermeden.

Het terrein langs de Zeevaartweg (opslagterrein RWS) kan in de aanlegfase ook als bouwterrein worden gebruikt, mits er een nieuwe locatie voor tijdelijke opslag is gerealiseerd. Ook aan de kanaalzijde kan op deze wijze een loswal worden gerealiseerd.

Ten westen van de Westsluis en ten westen van de buitenhaven kunnen terreinen worden gebruikt voor opslag van materialen. Deze locaties sluiten niet direct aan op de locatie waar de sluis wordt aangelegd.

Het verdiepen van de buitenhaven verloopt gedurende de gehele aanlegfase. Mogelijk wordt één cutterzuiger gedurende de 4 à 5 jaar ingezet.

Gedurende de aanlegfase wordt een route over het sluizencomplex gegarandeerd. Hierbij is ruimte voor wegverkeer en een vrijliggende route voor langzaam verkeer.

11.3 Omvang grondverzet en verandering bodemkwaliteit

Qua omvang van de te ontgraven gebieden en de diepte tot waarop wordt ontgraven lijkt de voorkeursvariant het meest op variant 3 uit de MER, met als belangrijkste uitzondering voor het grondverzet dat de gehele westelijke uitbreiding van de Voorhaven aan de Westerschelde-zijde (de dijkverlegging) niet plaats zal vinden. In totaal wordt ruim 8 miljoen m³ grond ontgraven.

Tabel 11-2 Overzicht totaal grondverzet voorkeursvariant

Baggeren/ontgraven	Aanvullen
8.392.000 m ³	753.000 m ³

In Tabel 11-3 is de detailtabel met meer informatie over de kwaliteit en het materiaal van de te ontgraven grond weergegeven.

Tabel 11-3 Overzicht samenstelling en kwaliteit te ontgraven materiaal voorkeursvariant in m³

Kwaliteit									
Materiaal	Vrij toepasbaar Water	Vrij toepasbaar Land	Klasse A	Klasse B	Niet toepasbaar water	Klasse Wonen	Klasse Industrie	Niet toepasbaar land	Totaal
slib	2.000	-	629.000	41.000	-	-	-	-	672.000
zand	1.093.000	2.713.000	-	-	106.000	2.000	22.000	35.000	3.971.000
kleizand	1.085.000	-	-	6.000	-	-	-	-	1.091.000
Kleizand-veen	303.000	-	-	-	-	-	-	-	303.000
kleiveen	-	1.896.000	-	-	-	-	14.000	-	1.910.000
Totaal	2.483.000	4.609.000	629.000	47.000	106.000	2.000	36.000	35.000	7.947.000
Niet bemonsterd	445.000							Incl. niet bemonst.	8.392.000

Uit te bovenstaande tabellen blijkt ook dat het totale grondverzet dicht in de buurt ligt bij het grondverzet voor variant 3. In variant 3 wordt ook de voorhaven verdiept en de invaart verruimd. De hoeveelheid is bijna 2 miljoen m³ lager, voornamelijk door het niet vergraven van de kering aan de westzijde van de buitenhaven. Omdat daarnaast alle bouwdelen van de voorkeursvariant ook al in één of meerdere varianten onderzocht zijn, valt de voorkeursvariant binnen de bandbreedte van het MER-onderzoek.

11.3.1 Verandering bodemkwaliteit

In het projectgebied is met name het bedrijventerrein Schependijk verontreinigd. In de voorkeursvariant wordt dit bedrijfsterrein gedeeltelijk vergraven. Daarbij wordt circa 35.000 m³ sterk verontreinigd bodemmateriaal afgegraven. Dit is vergelijkbaar met variant 2.

In de voorkeursvariant wordt, net als in variant 2, een resterend deel van de Schependijk gebruikt voor hervestiging van sluisgebonden diensten. Dit betekent dat dit terrein aanvullend gesaneerd zal moeten worden. Indicatief kan daarbij worden uitgegaan van het aanbrengen van een leeflaag van 1 meter dikte. Bij het afgraven van 1 meter van het huidige terrein ten behoeve van deze leeflaag komt circa 20.000 m³ verontreinigde grond vrij.

11.3.2 Afzet vrijkomende grond

In Tabel 11-2 is het grondverzet voor de voorkeursvariant weergegeven en in Tabel 11-4 de afzetmogelijkheden per type materiaal.

Tabel 11-4 Afzetmogelijkheden grond en baggerspecie voorkeursvariant

Materiaal		Afzetmogelijkheid	Hoeveelheid (m ³)
Waterbodem	Buithaven	Westerschelde (systeemeigen materiaal)	4.835.000
	Binnhaven	Westerschelde (slib) en vermarkten (zand)	972.000
	Sterk Verontreinigd	Storten	108.000
Landbodem	Zand schoon	Goed vermarktbaar	1.802.000
	Zand overig	Goed Vermarktbaar	26.000
	Sterk verontreinigd	Storten of reinigen	41.000 *
	Klei/veen schoon	Slecht vermarktbaar	1.206.000
	Klei/veen overig	Slecht vermarktbaar	17.000

* exclusief aanvullende sanering Schependijk, circa 20.000 m³

De hoeveelheid vrijkomende grond en baggerspecie bij de voorkeursvariant is ruim 8 miljoen m³. Dit materiaal zal gedurende een bouwfase van 4 a 5 jaar vrijkomen. Hiervan kan een klein gedeelte worden gebruikt in het plangebied voor aanvullingen (ca 0,5 miljoen m³).

Er zijn verschillende afzetmogelijkheden voor dit materiaal, maar de aard van het materiaal en het grote volume maken de afvoer niet eenvoudig.

Het materiaal dat vrijkomt uit de verdieping van de voorhaven zou mogelijk als systeemeigen materiaal verspreid kunnen worden in de Westerschelde. Het is echter niet geheel zeker of dit mogelijk is binnen de huidige beleidsregels, en er is aanvullend onderzoek nodig om te beoordelen of het verspreiden geen nadelige effecten heeft op morfologie en natuur. Het gaat om bijna 5 miljoen m³. De huidige vergunning voor het verspreiden van onderhoudsspecie is gelimiteerd tot 1.255 miljoen m³ per jaar.

Er is een verkenning uitgevoerd naar de afzet van al het aanlegmateriaal van de Nieuwe Sluis Terneuzen in de Westerschelde (tot 10 miljoen m³ in een periode van 3 – 5 jaar). Daaruit is gebleken dat met name kleilig en weinig materiaal kan leiden tot significant negatieve effecten (vertroebeling) en tot een toename van de onderhoudsinspanning langs de Westerschelde. Aanvullend onderzoek naar deze effecten is nog nodig, indien wordt gekozen voor deze bestemming.

Een andere bestemming waar veel materiaal nodig is, is de Oosterschelde. Hier worden, in het kader van het project Zandhonger, suppleties van zandplaten voorbereid. Er is een concreet plan voor 1,5

miljoen m³ zand, maar in de verdere toekomst zou dit uitgebreid kunnen worden. Het zandige materiaal uit Terneuzen is waarschijnlijk geschikt. Voor kustsuppleties en versterking van het kustfundament op de Noordzee is het materiaal te fijnkorrelig.

De afzet van het kleiige en venige materiaal is het meest problematisch. Er kan worden gedacht aan toepassing in natuurontwikkelingsprojecten (aanleg slikken en schorren), maar hiervoor zijn nog geen concrete projecten. Ook is het verondiepen van zandwinputten op de Noordzee een optie. Het materiaal zou ook, eventueel via een tussendepot) als bodemmateriaal afgezet kunnen worden.

Het vrijkomende sterk verontreinigde materiaal (ca 40.000 m³) kan worden gereinigd of worden afgevoerd naar een regionale stortplaats. Daarnaast komt er een hoeveelheid sterk verontreinigde baggerspecie vrij (ca 100.000 m³), welke afgevoerd moet worden naar een baggerdepot.

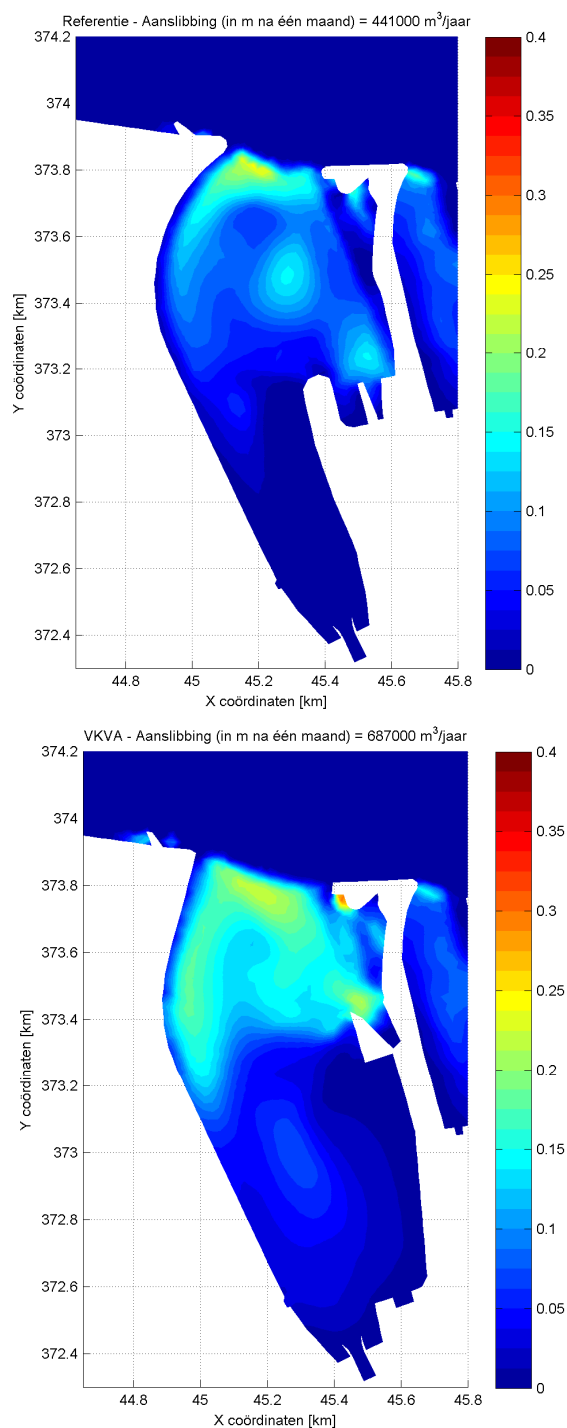
11.4 Mate van erosie en sedimentatie voorkeursvariant

11.4.1 Mate van sedimentatie in voorhaven

Gebruiksfase

Het baggerbezwaar voor de voorkeursvariant is in twee fasen bepaald. Ten eerste wordt het additionele baggerbezwaar bepaald op vergelijkbare wijze als voor de drie varianten met het FINEL2D model. Hierbij worden dichtheidseffecten per definitie niet meegneomen. Daarna wordt met een aparte analyse met het driedimensionale FINEL3D de invloed van die dichtheidstromen op de sedimentinvang geschat en verwerkt in een verbeterde schatting.

FINEL2D berekeningen geven voor de voorkeursvariant een verwacht baggerbezwaar van 687 000 m³/s, zie Figuur 11-6. Deze hoeveelheid is vergelijkbaar met variant 1. De VKV lijkt qua geometrie dan ook op variant 1, maar het havenvolume is iets groter door de verwijderde middensluis. In de rest van deze paragraaf zal de invloed van dichtheidstromen op de sedimentinvang worden geschat.



Figuur 11-6 Baggerbezwaar zoals voorspeld door het FINEL2D model, links in geval van de referentiesituatie en rechts in geval van de VKV.

Werkwijze 3-D stromingsberekening

De resultaten van het baggerbezwaar van de voorkeursvariant zijn vervolgens aanvullend geïnterpreteerd met behulp van de stromingsberekeningen in FINEL3D. In bijlage 3 is de rapportage met betrekking tot deze 3D modellering van het VKV opgenomen. Voor de 3-D stromingsberekeningen is een gedetailleerd FINEL3D model van de Westerbuitenhaven, de Westerschelde en de Noordzee gebruikt. Dit

model is vervolgens gebruikt om het verwachte uitwisselingsdebiet in de havenmond te bepalen.

Het gebruikte model is een stromingsmodel, waarbij voor de 3-D berekeningen **geen** rekening is gehouden met de sedimentatie. Aangezien sedimenttransport en uitwisselingsvolume echter wel aan elkaar gekoppeld zijn, is het mogelijk om op basis van het uitwisselingsvolume het sedimenttransport te bepalen. Dit is gedaan met behulp van het toenamekental van zowel de 2-D als de 3-D berekening voor de voorkeursvariant. Dit kental geeft de toename van het uitwisselingsdebiet t.o.v. de referentie situatie aan, waarbij een kental van 1 betekent dat er geen verandering is. Omdat van de 2-D berekeningen ook de sedimentstoeiname ten opzichte van de referentiesituatie bekend is kan het te verwachten baggervolume worden bepaald met onderstaande formules.

$$\frac{\text{Toenamekental 3D berekening}}{\text{Toenamekental 2D berekening}} \times \text{Sedimentkental 2D} = \text{Sedimentkental 3D}$$

$$\text{Baggervolume ref} \times \text{Sedimentkental 3D} = \text{verwacht baggervolume}$$

Resultaat

De VKV lijkt qua geometrie erg op variant 1, maar het havenvolume is nog net iets groter (door de verwijderde middensluis). Het toenamekental voor de voorkeursvariant die uit de 2-D berekening volgt is 1,8, met een sedimentkental van 1,55. Uit de 3-D berekening volgt een toenamekental van 2,3 wat leidt tot het volgende sedimentkental:

$$\frac{2,3}{1,8} \times 1,55 = 1,98$$

Gezien het huidige baggervolume van 441 duizend m³/jaar levert dit het volgende te verwachten bagger bezwaar op:

$$441.000 \times 1,98 = 873.000 \text{ m}^3$$

Het baggervolume in geval van de VKV wordt op basis van de 2-D en 3-D berekeningen dusgeschat op 873 duizend m³/jaar (t.o.v. 441 duizend m³/jaar nu). Dit is een toename van circa 100%.

Aanlegfase

In de aanlegfase gaat de situatie geleidelijk over van de huidige situatie in de situatie van de gebruiksfase.

11.4.2 Bestemming onderhoudsspecie

Zoals is vastgesteld in paragraaf 11.4.1 stijgen de onderhoudsbaggerwerken in de Westbuitenhaven van Terneuzen van 441 duizend m³/jaar naar circa 873 duizend m³/jaar. In deze paragraaf wordt gekeken of dit additioneel onderhoud op de huidige manier in de Westerschelde kan worden gestort en wat de morfologische effecten hiervan zijn. Het uitgangspunt is dat de specie op gelijkwaardige

manier wordt gebaggerd en gestort als dat nu het geval is. Hierbij dient gebruikt te worden gemaakt van de bestaand (of voorgenomen) stortvakken. De analyse beoordeelt de volgende aspecten:

- Ruimte in de bestaande vergunningen
- Beschikbare ruimte in stortvakken
- Morfologische effecten (geul en plaatdynamiek)
- Verandering in aanslibbing
- Vertroebeling

In deze paragraaf worden geen nieuwe simulaties gepresenteerd, maar is uitgegaan van bestaande onderzoeken. Het gaat voornamelijk om het LTV rapport B-22 Analyse alle havenstortvakken Westerschelde (Consortium Deltares, IMDC, Svašek, Arcadis, 2013, vanaf hier LTV B-22) en de Passende Beoordeling en quick scan verspreiding baggerspecie uit havens in de Westerschelde (Arcadis, 2013).

Huidige en toekomstige stortstrategie

Op het moment van schrijven zijn de stortvakken zoals vergund in 2011 nog van kracht. De relevante vakken voor de havens van Terneuzen en per vak de vergunde volumes zijn weergegeven in Figuur 11-7¹¹.



Figuur 11-7 Huidige stortvakken (W07, W08 en W14) met gegunde hoeveelheden. Figuur aangepast van Rijkswaterstaat (2011). Volumes uit Arcadis (2013)

In LTV B-22 en Arcadis (2013) wordt voorgesteld een aantal van de nu geldende vakken te verplaatsen/vervangen. De reden is dat een aantal

¹¹ De volumes zoals die genoemd staan in Rijkswaterstaat(2011a) wijken licht af van die uit Arcadis(2013). Hier worden die uit Arcadis (2013) aangehouden, omdat de analyse in dit hoofdstuk op die studie is gebaseerd.

vakken (bijvoorbeeld W14) onvoldoende capaciteit hebben. De nieuwe stortvakken zijn nog niet officieel vastgesteld, maar dat voornemen is er wel (Rijkswaterstaat, persoonlijk communicatie, 2014¹²). In deze analyse wordt uitgegaan van de nieuwe vakken die zijn weergegeven in Figuur 11-8.



Figuur 11-8 Voorgestelde stortvakken (W07, W08 en W1416 of W14_alt1) met bijbehorende hoeveelheden. Figuur aangepast van Rijkswaterstaat (2011). Volumes uit Arcadis (2013). Volumes van W07 en W08 blijven gelijk ten opzichte van Figuur 11-7

Voor de verplaatsing van W14 zijn twee mogelijkheden. Of er wordt gekozen voor een gecombineerd vak met het naastgelegen W16 (waar specie uit de Braakmanhaven wordt gestort), of er wordt gekozen voor een vak aan de zuidkant van de geul, namelijk W14_alt1. Voor beide geldt dat het volume dat vanuit de havens van Terneuzen mag worden gestort gelijk blijft. In tegenstelling tot de huidige situatie wordt in deze vakken ook een volume van 100 000 m³/jaar uit de kanaalhavens (in het kanaal Gent Terneuzen) gestort. Dit zal altijd plaatsvinden in de W1416, ook als voor W14_alt1 wordt gekozen. Dit volume is niet opgenomen in de in dit hoofdstuk genoemde vergunde volumes. Zowel in de huidige als in de toekomstige situatie is er in totaal een vergunde capaciteit van 1255 duizend m³/jaar. Voorkeur voor storten gaat in principe altijd uit naar vakken aan de noordkant van de geul, omdat hier het retourstroom-percentages naar de havens het kleinst is.

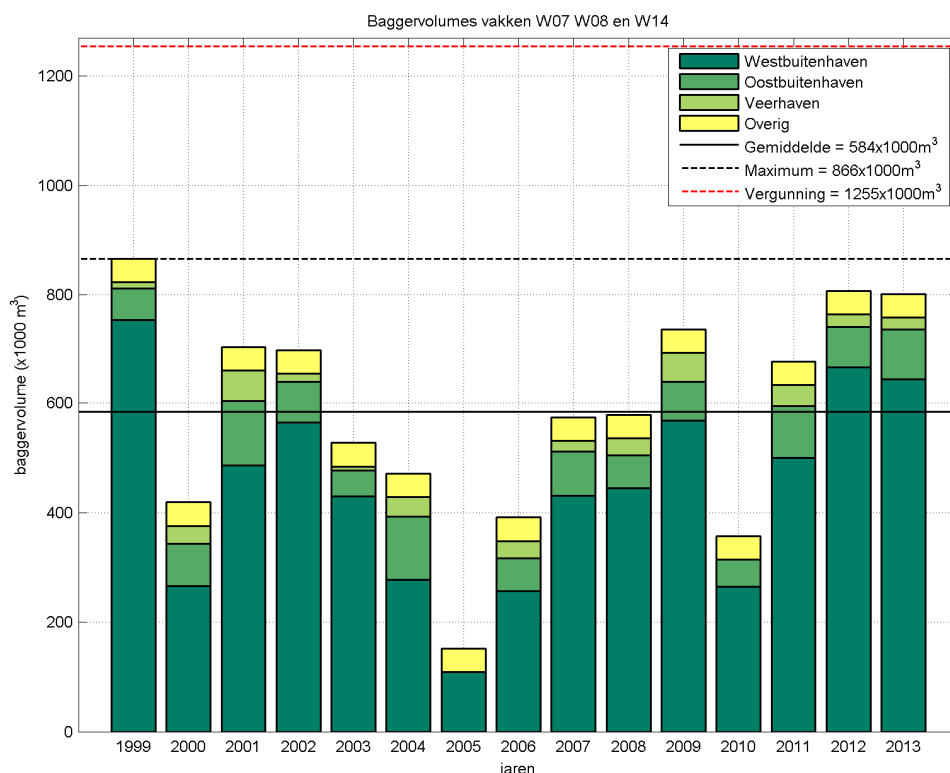
¹² Bij monde van Gert-Jan Liek, per telefoon, 27 oktober 2014.

Ruimte in de bestaande vergunningen

Het gros van het baggerwerk in de vakken beschreven in de vorige paragraaf komt uit de West- en Oostbuitenhaven.

De rest komt uit de Veerhaven (die niet meer als zodanig wordt gebruikt en ten oosten ligt van de Oostbuitenhaven) en enkele baggerlocaties in de sluizen en het kaneel. De historische volumes die de afgelopen vijftien jaar zijn gebaggerd zijn weergegeven in Figuur 11-9. Deze figuren zijn opgesteld op basis van Rijkswaterstaat (2011 en 2014).

Hierbij zijn onbekende getallen ingevuld tot het maximum van de vergunning, het betreft dan voornamelijk de posten voor Toeleidingskanaal KGT, Deurkassen sluizen Terneuzen. Zoutkom Westsluis Terneuzen (zie Rijkswaterstaat, 2011a). Dit is een conservatieve benadering omdat normaal gesproken de gegunde capaciteit niet volledig wordt gebruikt.



Figuur 11-9: Jaarlijkse bagger volumes beun havens Terneuzen 1999-2013. Overig betreft de volgende baggerlocaties: Toeleidingskanaal KGT, Deurkassen sluizen Terneuzen. Zoutkom Westsluis Terneuzen

Het daadwerkelijk gebaggerde meerjarig gemiddeld volume is 584 duizend m³/jaar. De vergund capaciteit (1.255 duizend m³/jaar) is dus ruim twee keer zo hoog als het baggerbezwaar. Deze overcapaciteit is ingebouwd om de variatie tussen de jaren op te vangen. Zo is het maximum in de reeks van 1999, 866 duizend m³.

Wanneer voor het additionele baggervolume van de voorkeursvariant dezelfde verhoudingen worden aangenomen voor het maximum baggervolume (tov gemiddeld) en de ruimte binnen de vergunning (tov gemiddeld), worden devolgende cijfers gegenereerd, zie tabel 11-5.

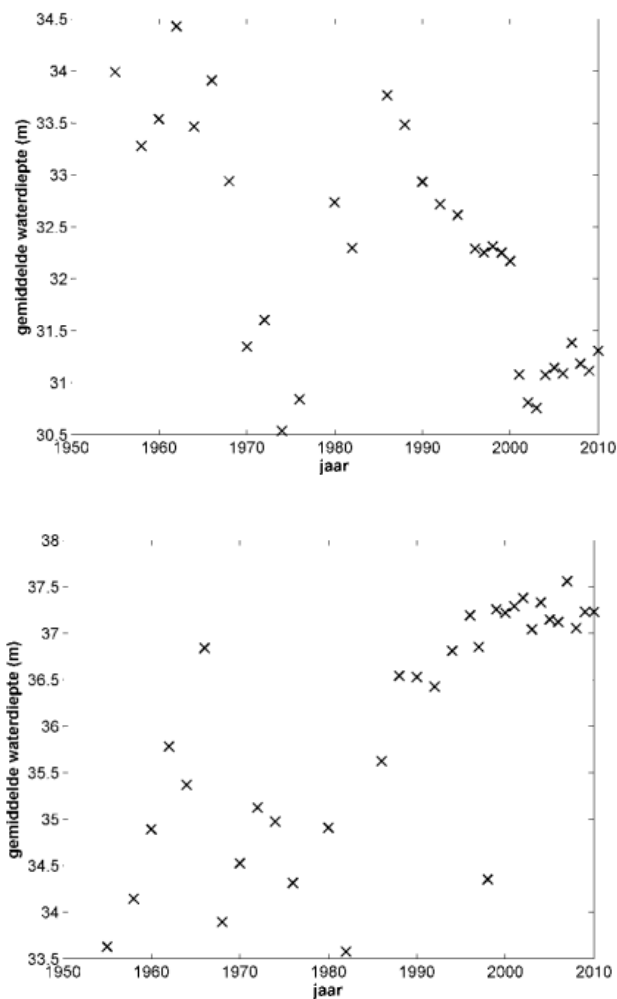
Tabel 11-6 Gemiddeld en maximaal baggervolume en ruimte binnen vergunning; obv huidige situatie en extrapolatie van die gegevens naar additioneel door zeesluis

Situatie	Gemiddelde baggervolume (duizend m ³ /jaar)	Maximale baggervolume (duizend m ³ /jaar)	Vergunning (duizend m ³ /jaar)
Huidig	584	866	1.255
Additioneel door VKV	432	640 (schatting)	
Totaal toekomstig	1016	1506	1255

Gezien de verhouding tussen het verwachte maximale baggervolume en het vergunde volume voor storten in de baggervakken is nadere afstemming hierover noodzakelijk.

Beschikbare ruimte in stortvakken

Vakken W07 en W08 hebben nog meer dan voldoende capaciteit, zoals is te zien in figuur 11-10. In deze diepe vakken is voorlopig geen capaciteitsprobleem te verwachten, in beide vakken is de trend in de tien jaar voor 2010 stabiel tot erosief. Het volledige additionele volume baggerwerk zou in deze vakken kunnen worden gestort zonder dat dat op korte termijn tot problemen leidt.



Figuur 11-10 Gemeten gemiddelde waterdiepte in vakken W07 (links) en W08 (rechts). Bron: LTV B-22

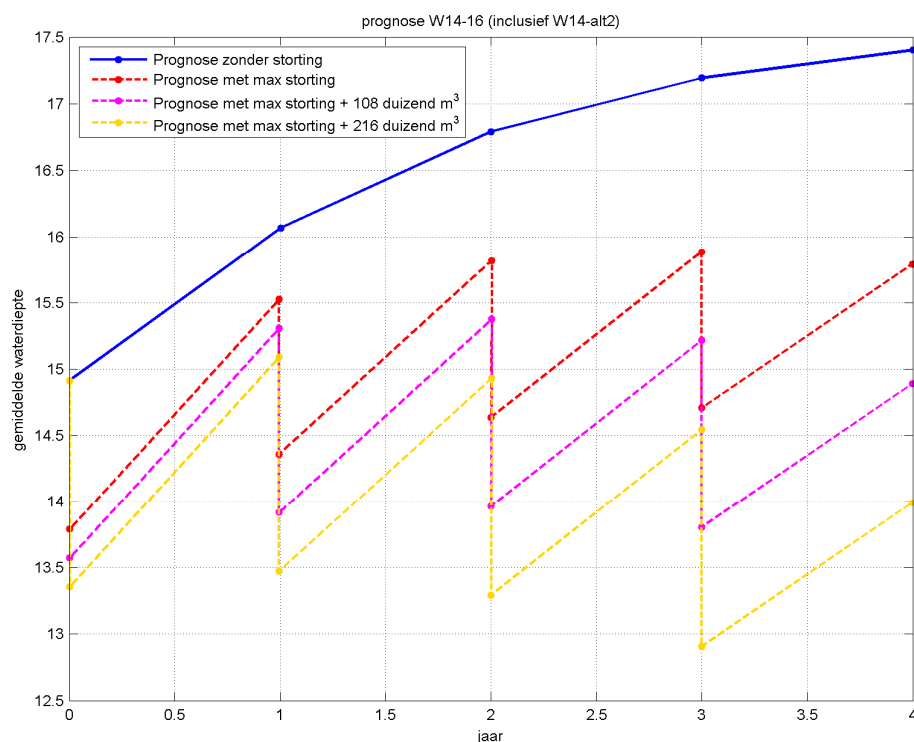
De nieuwe stortvakken liggen op ondieper dan W07 en W08. In LTV B-22 zijn voor zowel het combinatievak W1416 en W14_alt1 simulaties uitgevoerd met een morfologisch model. In figuur 11-11 en figuur 11-12 zijn de resultaten hiervan weergegeven.

Op basis van de resultaten van een maximale stortingen zoals uitgerekend door LTV B-22 is er een extrapolatie gemaakt voor de effecten van het additionele baggerbezwaar. Hierbij zijn de volgende aannames gemaakt:

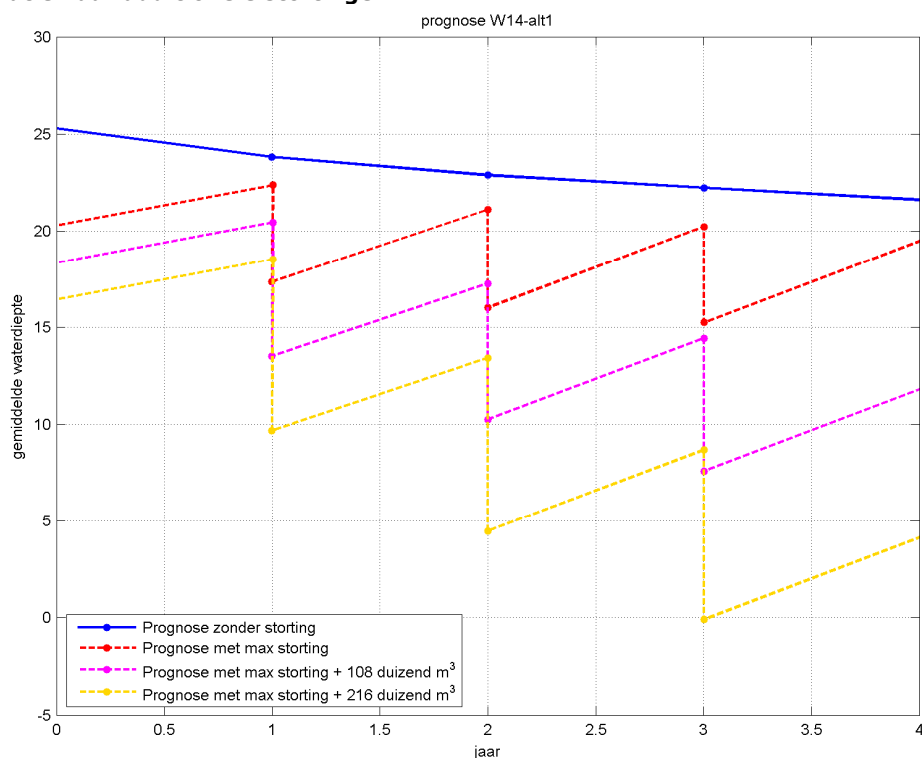
- In LTV B-22 is uitgegaan van de vergunde volumes. Zoals echter te zien is in Figuur 11-9 is dit een conservatieve aanname. Voor meerjarige analyses dient te worden uitgegaan van meerjarig gemiddelde baggervolumes. In deze aanvulling wordt deze overschatting niet gecorrigeerd, maar voor de additionele volumes wordt wel met meerjarig gemiddelde verwachting (432 duizend m³/jaar) gewerkt.
- 50 % van het materiaal wordt als zandig beschouwd en zal zodoende een effect hebben op de diepte van het vak. Dit is LTV B-

22, waar dezelfde beperking werd toegepast en voor stortvak W14 zandpercentages van 46 en 60% zijn gevonden.

- Uitsluitend de verondiepingen door de jaarlijkse stortingen worden herschaald. Erosie in tussengelegen periode is gelijk gelaten. Dit is een conservatieve benadering omdat in werkelijkheid erosie sneller zal gaan in geval van een grotere storting.
- Bodemophoging van storting wordt naar ratio verhoogd. De originele maximale storting in W1416 is 558 duizend m³/jaar en in W14_alt1 283 duizend m³/jaar. Extra storting heeft dus in W14_alt1 relatief een groter effect. De genoemde volumes betreffen de zandfracties van de maximaal gegunde hoeveelheden. Dit is meer dan historisch gezien is opgetreden.
- Zowel het volledige additionele volume (50% van 432 = 216 duizend m³/jaar) als de helft daarvan zijn in de figuren ingetekend. In het laatste geval wordt aangenomen dat de andere helft in W07 of W08 wordt gestort. Of in geval van W14_alt1 in W1416 (welke toch bestaat omdat hierin baggermateriaal uit de Braakman en Autrichehaven dient te worden gestort).



Figuur 11-11 Simulatieresultaten stortingen in W1416 (LTV B-22) en extrapolatie naar additionele stortingen.



Figuur 11-12 Simulatieresultaten stortingen in W14_alt1 (LTV B-22) en extrapolatie naar additionele stortingen.

Voor deze ondiepe vakken geldt dat de diepte niet kleiner mag worden dan 7 m. Dan worden de vakken immers moeilijk toegankelijk voor de baggerschepen. In het combinatievak W1416 komt deze grens niet in zicht binnen de beschouwde vier jaar en waarschijnlijk ook niet binnen

tien jaar.

Voor het vak W14_alt1 geldt dit niet en leidt het extra storten van een additionele 216 000 m³/jaar al binnen tweejaar tot een onderschrijding van de 7 m grens. Dergelijke volumes kan W14-alt1 blijkbaar niet verwerken en een keuze voor dit vak voor de toewijzing van het storten van het additionele volumes lijkt dan ook niet voor de hand liggend.

Effecten op grootschalige morfologie

In LTV B-22 zijn de effecten van de onderhoudstoringen op de morfologie gemodelleerd. De effecten hiervan waren voornamelijk lokaal. Dit is conform datgene dat gevonden is voor de veel grotere storting die onderzocht zijn in de context van het storten van de aanlegspecie van de Nieuwe Sluis zoals elders beschreven in dit rapport. De verwachting is dat een additioneel volume van 432 duizend m³/jaar (waarvan slechts circa de helft zand is) daar niets aan verandert.

Effecten op aanslibbing

Aanslibbing wordt niet apart behandeld in Arcadis (2013) vooral omdat er volgens Baptist *et al.* (2006) geen verschuiving optreedt van slibarm naar slibrijk en daardoor geen invloed op soorten is. Hoogstens kan de totale sliblaagdikte toenemen. De toename door storting van de extra specie zal hier niet ineens leiden tot een situatie waarin de aanslibbing wel een significant effect betreft.

Effecten op vertroebeling

Vertroebeling is niet doorgerekend voor W14 en alternatieven in LTV B-22 en ook niet beschouwd in de Arcadis (2013). Dit komt vooral omdat het in die studies een verplaatsing van de vakken betreft en niet een verhoging van de te storten hoeveelheden. Arcadis (2013) zegt over de ecologische effecten van vertroebeling door stortingen van havenslib het volgende:

Vanwege het beperkte ruimtelijk en temporele effect van de tijdelijke sterke verhoging van de zwevend stofgehalten is sprake van een beperkt effect op de primaire productie. Lokaal wordt het doorzicht voor zichtjagers beperkt, maar er blijven ruim voldoende uitwijkmogelijkheden over voor zichtjagers. De gemiddelde toename van de troebelheid is dermate beperkt dat dit geen effecten zal hebben voor de primaire productie en het zicht.

Gegeven het bovenstaande lijkt het niet waarschijnlijk dat de verhoging van stortingen in de vakken bij de havens van Terneuzen tot significante effecten zal leiden.

Conclusie

In dit hoofdstuk is het storten van het extra baggerbezwaar van de Westbuitenhaven in de toekomstige stortvakken besproken.

Hieruit is het volgende naar voren gekomen:

- Baggerspecie uit de Westbuitenhaven wordt gestort in de vakken W07, W08 en W14. Voor W14 wordt in de toekomst een nieuw vak aangewezen, of als onderdeel van het combinatie vak van W1416, of het vak W14_alt1. De gezamenlijke vergunde capaciteit van deze vakken is 1255 duizend m³/jaar.
- Gezien de verhouding tussen het vergunde volume voor storten en het maximale baggerbezwaar wat wordt verwacht is nadere afstemming hierover noodzakelijk
- Effecten op grootschalige morfologie (geul- en plaatdynamiek) zijn niet te verwachten.
- Een significante verandering in aanslibbing is niet te verwachten.
- Een significant effect op vertroebeling is niet te verwachten.

Deze conclusies gelden ook voor de variant 1 en 2, aangezien de additional baggervolumes voor deze varianten kleiner zijn dan bij de voorkeursvariant. Voor variant 3 is er echter een grotere additioneel baggervolume. Voor zowel variant 1, 2 en 3 past binnen de vergunning alleen het *gemiddelde* baggervolume, en kan een jaarlijks maximum niet worden opgevangen.

11.5 Vertroebeling Westbuitenhaven voorkeursvariant

De vertroebeling in de Westbuitenhaven komt ongeveer overeen met variant 2. De hoeveelheden vrijkomende baggerspecie bij aanleg zijn relatief klein ten opzichte van de reguliere hoeveelheden baggerspecie en komen vrij achterin de Westbuitenhaven. De verwachting is daarom dat het vrijkomend materiaal voornamelijk in de haven zelf tot vertroebeling leidt en dat deze vertroebeling van dezelfde orde is als het al autonoom optredend beeld. Lokaal bij het werk in uitvoering kan natuurlijk veel hogere vertroebeling optreden. Als het materiaal weer neerslaat betekent dit een additioneel af te graven volume.

Voor de kanaalzijde zal de vertroebeling ook lokaal zijn door de beperkte de stroming. De lage netto stroming houdt de vertroebeling bovendien dicht bij het sluiscomplex.

Als met een overstort wordt gewerkt – waarmee het overvloedige water van de cutterzuiger wordt afgevoerd, zijn de verliezen significant groter. De verwachting is wel dat het breken van de grond in de leiding (en de daarmee samenhangende overstortverliezen) beperkter is dan in geval van de overstort na een persleiding (zie 9.4.3) die over veel grotere afstanden wordt ingezet. Al met al hangt de vertroebeling door activiteiten in de haven grotendeels af van de gekozen uitvoeringswijze.

12 Leemten in informatie Voorkeursvariant

De omvang van het grondverzet is bepaald op basis van digitale terreinmodellen en geeft een nauwkeurig beeld van de totale omvang. Voor de voorkeursvariant is gebruik gemaakt van de 3D ontwerptekening van november 2014. De ontwerpwijzigingen die daarnij zijn opgetreden hebben nauwelijks invloed op de omvang van het grondverzet.

De aard en kwaliteit van de vrijkomende grond is echter veel minder zeker. Er is informatie gebruikt uit de uitgevoerde boringen en chemische analyses, die zijn geëxtrapoleerd naar een gebiedsdekkend model.

Tijdens het verwerken van de ontwerpen per variant is daarnaast gebleken dat voor sommige kleine bouwdelen geen informatie over samenstelling en kwaliteit van de te ontgraven/baggeren grond aanwezig is. Het gaat hierbij onder andere om een stuk tussen de projectgrens en de Westerschelde en de locatie van de ligplaatsen. Het aandeel niet bemonsterd bedraagt ongeveer 6% voor de voorkeursvariant. Voor het vergelijken van de varianten is de ontbrekende informatie naar verwachting niet van beperkte invloed.

Ten aanzien van de afzet van vrijkomende grondstromen is er nog geen zekerheid. Er is in de planstudie een globale inschatting gemaakt, en de effecten van het storten in de Westerschelde is alleen indicatief onderzocht. Voor een deel van het materiaal lijkt het storten in de Westerschelde een goede optie, omdat daarmee geen materiaal wordt onttrokken aan het systeem. De effecten van het storten van deze aanlegspecie zal nog wel nader onderzocht moeten worden in het kader van de benodigde vergunningen.

Voor het resterende materiaal zijn diverse opties benoemd, zoals toepassen in de Oosterschelde of Westerschelde in het kader van natuurherstel. Ook voor deze bestemmingen zullen nog ontwerp- en vergunningtrajecten doorlopen moeten worden.

Ten aanzien van de sedimentatie in de buitenhaven is voor de voorkeursvariant de onzekerheid verkleind door modellering met een 3D stromingsmodel. Met dit model is de invloed van driedimensionale stromingspatronen op de wateruitwisseling in de haven onderzocht. Op basis van de wateruitwisseling is het baggerbezwaar voor de voorkeursvariant opnieuw bepaald. Uit de 3D berekeningen volgt voor de voorkeursvariant een 25% hoger baggerbezwaar dan uit de 2D berekeningen. Bovendien is hiermee vastgesteld dat er geen effect te verwachten is van het spuien op het baggerbezwaar. Op basis van de grote waterdiepte is de verwachting dat klimaatverandering geen significante effecten zal hebben op de sedimentatie in de westbuitenhaven.

13 Samenvatting

13.1 Grondverzet en afzetbaarheid

In de onderstaande tabel is het verwachte grondverzet per variant weergegeven. Uit volgt dat voor variant 2 het minste grondverzet benodigd is en voor variant 3 het meeste. Daarbij valt op dat variant 1 en 2 qua grondverzet slechts 8% verschillen en variant 3 met een derde tot de helft meer kubieke meters grondverzet duidelijk onderscheidend is. Het grondverzet van de voorkeursvariant is groter dan dat van variant 1 en 2 en kleiner dan dat van variant 3.

Tabel 13-1 Overzicht grondverzet varianten

Variant	Ontgraven/baggeren	Aanvullen
Variant 1	6.837.000 m ³	677.000 m ³
Variant 2	5.690.000 m ³	497.000 m ³
Variant 3	10.189.000 m ³	965.000 m ³
Voorkeursvariant	8.392.000 m ³	753.000 m ³

De afzetbaarheid is weergegeven in Tabel 13-2. Er zijn verschillende afzetmogelijkheden voor het vrijkomend materiaal.

Het materiaal dat vrijkomt uit de verdieping van de voorhaven zou mogelijk als systeemeigen materiaal verspreid kunnen worden in de Westerschelde. Het is echter niet geheel zeker of dit mogelijk is binnen de huidige beleidsregels. Het gaat om circa 2 miljoen m³, waarvan 1,2 miljoen m³ slib (kleig/venig materiaal).

Er komt bij de aanleg veel zand vrij. Dit materiaal is goed afzetbaar, onder andere voor suppleties van zandplaten. Ook zijn er mogelijkheden voor toepassing als ophoogzand op land.

De afzet van het kleiige en venige materiaal is het meest problematisch (slecht vermarktbaar). Er kan worden gedacht aan toepassing in natuurontwikkelingsprojecten (aanleg slikken en schorren), maar hiervoor zijn nog geen concrete projecten. Ook is het verondiepen van zandwinputten op de Noordzee een optie. Het materiaal zou ook, eventueel via een tussendepot) als bodemmateriaal afgezet kunnen worden.

Het vrijkomende sterk verontreinigde materiaal (ca 60.000 m³) kan worden afgevoerd naar een regionale stortplaats. Daarnaast komt er een hoeveelheid sterk verontreinigde baggerspecie vrij (ca 100.000 m³), welke afgevoerd moet worden naar een baggerdepot.

Tabel 13-2 Afzetmogelijkheden materiaal voor alle varianten

Materiaal		Afzetmogelijkheid	Var1	Var 2	Var 3	Voorkeurs variant
Waterbodem	Buithaven	Westerschelde (systeemeigen materiaal)	3.171	1.880	4.105	4.447
	Binnenhaven	Waterschelde en vermarkten	980	933	956	982
	Verontreinigd	Storten depot	89	0	106	106
Landbodem	Zand schoon	Goed vermarktbaar	1.586	1.624	2.461	1.668
	Zand overig	Goed Vermarktbaar	7	26	66	23
	Sterk verontreinigd	Storten of reinigen	1	49*	70	35*
	Klei/veen schoon	Slecht vermarktbaar	995	1.164	2.342	1.117
	Klei/veen overig	Slecht vermarktbaar	2	15	16	10

* exclusief aanvullende sanering Schependijk(circa 20.000 m³)

13.2 Kwaliteitsverandering

In alle varianten is het overgrote deel (85-90%) van het te ontgraven materiaal vrij toepasbaar is. Slechts een fractie (1-2%) van het materiaal is niet toepasbaar. In Tabel 13-3 is de hoeveelheid sterk en matig verontreinigde grond en baggerspecie weergegeven.

Voor de landbodem lijkt de voorkeursvariant op variant 2, omdat hier een gedeelte van de Schependijk wordt afgegraven.

Voor de waterbodem lijkt de voorkeursvariant op variant 3 omdat hier de voorhaven wordt verdiept.

Tabel 13-3 Overzicht kwaliteit te ontgraven materiaal voor alle varianten

	Landbodem		Waterbodem	
	Matig verontreinigd (industrie)	Sterk verontreinigd (niet toepasbaar)	Matig verontreinigd (klasse B)	Sterk verontreinigd (niet toepasbaar)
Variant 1	10.000	1.000	32.000	89.000
Variant 2	42.000*	50.000*	42.000	0
Variant 3	83.000	71.000	44.000	106.000
Voorkeursvariant	36.000*	35.000*	47.000	106.000

* betreft alleen de vergraving ten behoeve van de invaart voor de Oostsluis. Het resterende deel van Schependijk wordt gebruikt voor sluisgebonden diensten, en zal aanvullend gesaneerd worden.

13.3 Morfologische effecten

Met behulp van een tweedimensionaal slibmodel zijn de effecten van de verschillende varianten op het baggerbezwaar (toename onderhoudsbagger) onderzocht.

Variant 1, 2 en 3 leiden respectievelijk tot een toename in het baggerbezwaar van circa 100%, circa 50% en circa 150%. In de voorkeursvariant neemt het baggerbezwaar toe met circa 100%.

In de huidige situatie wordt de onderhoudsbaggerspecie gestort in de Westerschelde. Voor de varianten 1, 2 en de voorkeursvariant past het (gemiddelde) additionele volume binnen het vergunde volume voor de bestaande vakken. Indien wordt uitgegaan van een tegenvallend jaar is de vergunde omvang nog voldoende voor variant 2. Negatieve morfologische effecten zijn niet te verwachten. Voor variant 1, 3 en de voorkeursvariant is er echter een groter additionele baggervolume. In dat geval past binnen de vergunning alleen het *gemiddelde* baggervolume, en kan een jaarlijks maximum niet worden opgevangen. Eventueel kan de overdiepte in de haven tijdens een maximaal jaar tijdelijk als buffer worden ingezet, om zo binnen de stortvergunning te blijven.

13.4 Vertroebeling

Vertroebeling tijdens aanleg zal beperkt zijn door toepassing van een cutterzuiger (bepaald op basis van expert judgement), maar toepassing van ander materieel (bijvoorbeeld een sleepopperzuiger of snijkopzuigers) wordt niet uitgesloten. Indien een persleiding wordt ingezet om grond te transporteren binnen de projectlocatie naar een loswaldient – zonder mitigerende maatregelen - rekening te worden gehouden met significante additionele vertroebeling.

13.5 Vergelijking met verkenningsfase

In de verkenningsfase is ook een grondbalans opgesteld, ter indicatie van het grondverzet. In deze grondbalans blijkt dat voor de 'Grote zeesluis zonder kanaalaanpassing' 10,3 miljoen m³ als ontgravingshoeveelheid is opgenomen. Dit sluit goed aan bij de huidige hoeveelheden, welke per variant variëren tussen de 5,7 en 10,2 miljoen m³.

14 Literatuurlijst

- [VNSC, 2013. *Vraagspecificatie voor de planuitwerking en voorbereiding realisatie Nieuwe Sluis Kanaal Gent – Terneuzen, contractnummer 31074944. Bijlage B Werkpakketbeschrijving 3.10.*]
- [VNSC, 2014, *Integrale rapportage bodemgerelateerd onderzoek, VNZT-R-124*]
- [VNSC (2014a). VNZT-R-163-2-Effecten storten aanlegspecie Westerschelde.]
- Arcadis (2013). Passende Beoordeling en quick scan verspreiding baggerspecie uit havens in de Westerschelde. Rapport, referentie: 077310318:B: Definitief.
- Baggerbedrijf de Boer & van der Kamp (2011-2013). Bathymetrie Terneuzen WBH – Termijnpeiling. Als diverse pdfs en ook beschikbaar gemaakt als ascii data.
- Baptist, H. S. Tatman, T. van Kessel, G. van Moorsel, Z.B. Wang, P. Erftemeijer (2006). Habitattoets: effecten bagger- en stortactiviteiten t.b.v. havenonderhoud in Zeeuwse wateren; Westerschelde. WL | Delft Hydraulics, Ecologisch Adviesbureau Henk Baptist, Ecosub Report Z4112.00.
- Consortium Deltares, IMDC, Svašek, Arcadis (2013a). Analyse alle havenstortvakken Westerschelde. Onderdeel van Instandhouding vaarpassen Schelde Milieuvergunningen terugstorten baggerspecie. Rapport, 1 oktober, referentie: B-22.
- IMDC (2012). Monitoringprogramma Flexibel Storten. Deelopdracht 7: Analyse van de stortingen in de diepe delen van de hoofdgeul. Rapport, referentie: RA11353.
- IMDC (2014). Monitoringprogramma Flexibel Storten. Deelopdracht 12: Analyse van de stortingen in de diepe delen van de hoofdgeul – fase 2. Rapport, referentie: RA12198.
- Rijkswaterstaat (2011). Bijlage 1.5, Zaaknummer: 31046727. 17 maart 2011.
- Rijkswaterstaat (2011a). Stortvakken Westerschelde. Waterdistrict Westerschelde, Versie maart 2011.
- Rijkswaterstaat (2013). MIRT Verkenning Zandhonger Oosterschelde (ontwerp structuurvisie).
- Rijkswaterstaat (2014). Overzicht bagger- en stortactiviteiten Westerschelde. Exceltabellen voor de jaren 2010-2013.
- Svašek Hydraulics (2006). Morfodynamische berekeningen van de Westerschelde met behulp van “FINEL2D”. Rapport, referentie: 1339/06119/GD.

-
- Svašek Hydraulics (2009). Berekeningen slib- en zandverspreiding verbetering toegang Braakmanhaven tbv natuurtoets. In opdracht van Zeeland Seaports, referentie: LdW/1529/09036/B.
 - Svašek Hydraulics (2012). Vermindering onderhoudsinspanning baggerspecie. Sloehaven & Braakmanhaven. Rapport, referentie: 1642/U12165/SPo.
 - Consortium Deltares, IMDC, Svašek, Arcadis (2013a). Analyse alle havenstortvakken Westerschelde. Onderdeel van Instandhouding vaarpassen Schelde Milieuvergunningen terugstorten baggerspecie. Rapport, 1 oktober, referentie: B-22.
 - Consortium Deltares, IMDC, Svašek, Arcadis (2013b). Actualisatierapport FINEL 2D Schelde-estuarium. Onderdeel van Instandhouding vaarpassen Schelde Milieuvergunningen terugstorten baggerspecie. Rapport, 1 oktober, referentie: A-26.
 - Van Ledden, M. (2003). *Sand-mud segregation in estuaries and tidal basins*. PhD thesis, TU Delft.
 - Van Rijn, L.C. (1993). *Principles of Sediment Transport in Rivers, Estuaries and Coastal Seas*. Amsterdam: Aqua Publications.
 - WL|Delft Hydraulics (2007). Verbetering Dipro. Rapport referentie: Q4264.01.

Bijlagen

Bijlage 1 Verklaring afkortingen

d.d.	<i>De dato</i> , daterend van
FINEL2D	FINite Element 2Dimensionaal hydrodynamisch en morfologische model van Svašek Hydraulics
g	Gram
m	Meter
m.e.r.	Milieu-effectrapportage
MER	Milieueffectrapport
N	Newton
NAP	Normaal Amsterdams Peil
RWS	Rijkswaterstaat
s	Seconde

Bijlage 2 Eindnoten

ⁱ Besluit van het politiek college van de Vlaams-Nederlandse Schelde Commissie inzake planuitwerkingsfase Nieuwe Sluis Kanaal Gent-Terneuzen, 19 maart 2012

ⁱⁱ Scheepvaartreglement voor het Kanaal van Gent naar Terneuzen, artikel 38

Bijlage 3 Svašek Hydraulics (2014).

Stroming in de Westbuitenhaven Terneuzen.

3-D stromingsberekingen en analyse sedimentatie.

Stroming in de Westbuitenhaven Terneuzen

3D-stromingsberekeningen en analyse sedimentatie

Rapport Vlaams Nederlandse Scheldecommissie

Onderwerp

3D stroming WBHT

Auteur

S.E. Poortman

Datum

23 januari 2015

Status

concept

Documentnummer

VNZZ-R-203-0

Stroming in de Westbuitenhaven Terneuzen

3D-stromingsberekeningen en analyse sedimentatie

Concept

VNZZ-R-203-0

1724/U14416/B/SPo

23 januari 2015

SVAS

HYDRAULICS

COASTAL, HARBOUR AND RIVER CONSULTANTS

EK

LICS

CONSULTANTS

Schiehaven 13G

3024 EC Rotterdam

Nederland

T +31 - 10 - 467 13 61

F +31 - 10 - 467 45 59

E info@svasek.com

I www.svasek.com

Document titel	Stroming in de Westbuitenhaven Terneuzen
	3D-stromingsberekeningen en analyse sedimentatie
Verkorte Titel	3D stroming WBHT
Status	Concept
Datum	23 januari 2015
Project naam	Nieuwe zeesluis Terneuzen
Project nummer	1724
Opdrachtgever	LievenseCSO
Referentie LievenseCSO	VNzt-R-203-0
Referentie Svasek	1724/U14416/B/SPo

Auteur	S.E. Poortman
Gecontroleerd door	B. van Leeuwen

INHOUDSOPGAVE

		Pag.
1	ALGEMEEN	1
1.1	Achtergrond	1
1.2	Opdrachtschrijving	1
1.3	Leeswijzer	1
2	MODELOPZET FINEL3D WESTERSCHELDE	2
2.1	FINEL3D	2
2.2	FINEL3D Westbuitenhaven	2
2.2.1	Modeldomein en randvoorwaarden	2
2.2.2	Rekenrooster	2
2.2.3	Bodemligging	5
2.2.4	Turbulentie	6
2.2.5	Dichtheid en saliniteit	6
2.3	Kalibratie	8
2.3.1	Gebruikte meetdata	8
2.3.2	Modelkalibratie	11
2.4	Validatie	15
2.4.1	Gebruikte meetdata	15
2.4.2	Modelvalidatie	15
2.5	Conclusies	18
3	SCENARIOBEREKENINGEN FINEL3D	19
3.1	Overzicht scenario's	19
3.2	A. Referentiesituatie	19
3.3	B. Voorkeursvariant zonder spuumiddel	23
3.4	C. Voorkeursvariant met spuien via de Nieuwe Sluis	26
3.5	D. Referentiesituatie met spuien via de Middensluis	30
3.6	Conclusies	33
4	ANALYSE SEDIMENTATIE	34
4.1	Definitie uitwisselingskengetal en toenamekengetal	34
4.2	A. Kengetallen voor de referentiesituatie	35
4.3	B. Kengetallen voor de voorkeursvariant	36
4.4	H. Invloed van spuien op de wateruitwisseling	37
4.5	Vertaling resultaten naar baggerbezwaar VKV	38
4.6	Conclusies sedimentatie	40
5	CONCLUSIES	41
	LITERATUUR	42
A	VERGELIJKING METING EN FINEL3D	
B	TUDFLOW3D	

1 ALGEMEEN

1.1 Achtergrond

Svašek Hydraulics heeft gedurende 2014 geassisteerd bij de MER voor de Nieuwe Zeesluis Terneuzen. Deze ondersteuning bestond onder andere uit het inschatten van de toename van het baggerbezwaar en het genereren van stroombeelden voor nautische analyses in het geval van een nieuw vormgegeven Westbuitenhaven. Op beide gebieden zijn eerder op basis van 2DH simulaties (met FINEL2D) uitgevoerd.

Op het gebied van baggerbezwaar konden FINEL2D simulaties tot snelle en onderscheidende resultaten leiden. Voor de voorkeursvariant was behoefte aan een nauwkeuriger inschatting van de toename van het baggerbezwaar. Aanvullend op de 2D modellering is er behoefte aan het inschatten van de bijdrage van dichtheidsstroming (3D) aan het baggerbezwaar

In een eerder stadium van dit project is op basis van het genoemde FINEL2D model (opgezet voor de slibberekeningen) ook een set stroombeelden voor verschillende scenario's gegenereerd. Deze stroombeelden zijn vervolgens door MARIN toegepast in scheepssimulaties met loods en om de toegankelijkheid van de nieuwe sluis te onderzoeken. Aangezien het slibmodel niet is gekalibreerd op stroming en metingen op dat moment nog niet beschikbaar waren, was de stroming in de haven onzeker. Gegeven het belang van de vaarsimulaties voor het havenontwerp is nu behoefte aan gevalideerde stromingsvoorspellingen voor de scheepvaart.

1.2 Opdrachtschrijving

Er zal een 3D model worden opgezet met behulp van FINEL3D welke wordt gevalideerd met recentelijk bij Svašek Hydraulics beschikbaar gekomen metingen van Rijkswaterstaat (van zowel binnen als buiten de haven). Met dit gevalideerde 3D model kan vervolgens worden voorzien in de informatiebehoefte zoals in voorgaande paragraaf beschreven:

1. Het effect van 3D stroming op de wateruitwisseling van de haven (slibarm) met de Westerschelde (slibrijk) wordt onderzocht. Deze uitwisseling is indicatief voor de toevoer van slib naar de haven.
2. Op basis van het 3D model worden stroombeelden gegenereerd die kunnen worden toegepast in de MARIN scheepssimulaties. (Dit maakt geen deel uit van deze rapportage)

1.3 Leeswijzer

Na deze inleiding start dit rapport met modelopzet en validatie van het FINEL3D model van de Westbuitenhaven in Hoofdstuk 2. Daarna worden in Hoofdstuk 3 de verschillende scenario's gepresenteerd die zijn uitgevoerd, zowel ten behoeve van de sedimentstudie als nautische doeleinden. Het effect van dichtheidstromen wordt vertaald in nieuwe schattingen voor het baggerbezwaar in Hoofdstuk 4 (doel 1 van deze studie). Tot slot wordt een korte samenvatting van de conclusies gegeven in Hoofdstuk 5.

2 MODELOPZET FINEL3D WESTERSCHELDE

Dit hoofdstuk bespreekt het gebruikte numerieke model voor stromingsberekeningen in de Westbuitenhaven van Terneuzen. Er wordt kort ingegaan op de achtergrond van het model. Daarnaast worden de opzet van het model en de kalibratie en validatie van het model behandeld.

2.1 FINEL3D

FINEL3D is een volledig driedimensionaal numeriek stromingsmodel, gebaseerd op de eindige elementenmethode. Het model is ontwikkeld door Svašek Hydraulics. De wetenschappelijke basis is gegeven door Labeur (2009) en Labeur & Wells (2011). FINEL3D rekent met behulp van ongestructureerde rekenroosters, waarbij de tetraëder elementen in het modeldomein in grootte en vorm variëren. Hierdoor bestaat de mogelijkheid om in de interessegebieden lokaal de resolutie van de elementen te vergroten, zowel in horizontale als verticale richting, waardoor er waar het telt met meer detail kan worden gerekend.

Svašek Hydraulics heeft recentelijk een basismodel van het Schelde-estuarium ontwikkeld. Dit basismodel is voor waterstanden en stroming in de Westerschelde volledig gekalibreerd, en zal daarom als basis dienen voor het model dat in voorliggende studie is gebruikt.

2.2 FINEL3D Westbuitenhaven

Om de stroming in de Westbuitenhaven te kunnen berekenen is uitgegaan van het FINEL3D basismodel van de Westerschelde. Dit model is aangepast door zowel in de horizontaal als verticaal een verfijning in het rekenrooster ter plaatse van de Westbuitenhaven aan te brengen. Deze paragraaf gaat in op de verschillende aspecten van het FINEL3D model van de Westbuitenhaven.

2.2.1 Modeldomein en randvoorwaarden

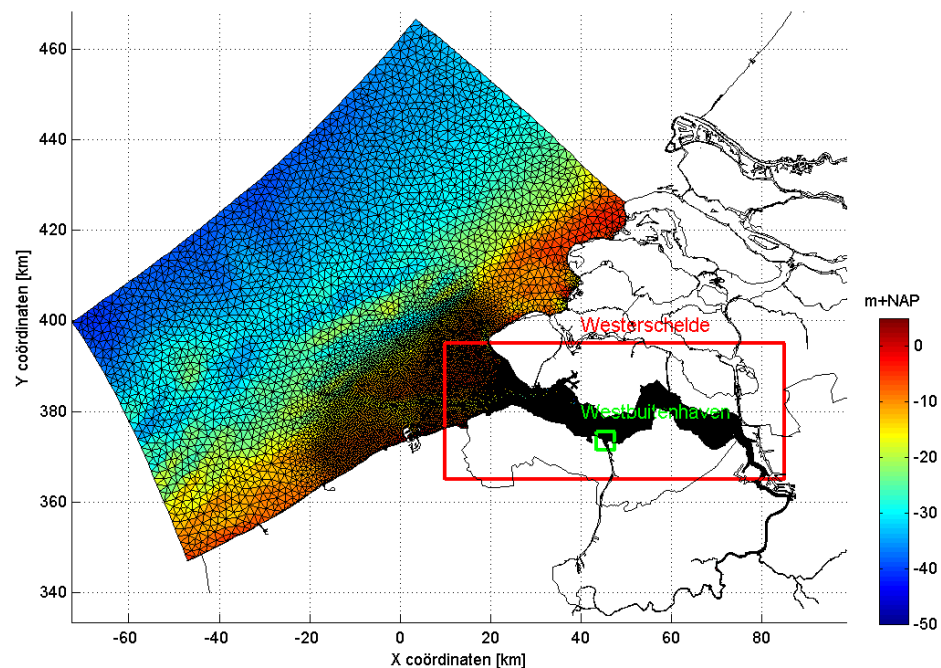
Het modeldomein van het FINEL3D model omvat de Westerschelde, de Beneden-Zeeschelde, de Boven-Zeeschelde en een deel van de Noordzee, zie Figuur 2.1 en Figuur 2.4. Op de randen van het model worden randvoorwaarden opgelegd. Voor de Noordzeeranden betreft dit de waterstand in de vorm van harmonische getijrandvoorwaarden, gebaseerd op 94 componenten. De Belgische rivieren de Schelde, de Nete, de Zenne en de Dijle zijn als constante debietranden geschematiseerd.

2.2.2 Rekenrooster

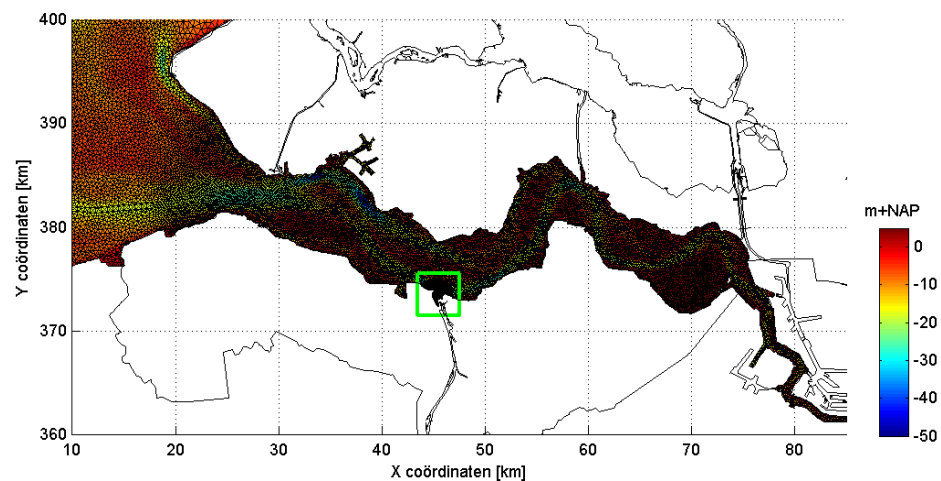
Het rekenrooster van het FINEL3D stromingsmodel wordt getoond in Figuur 2.1. De grootte van de elementen varieert door het modeldomein. In de figuur is zichtbaar dat de elementen in de Noordzee groter zijn dan in de Westerschelde. In Figuur 2.2 wordt ingezoomd op het rekenrooster in de Westerschelde, en in Figuur 2.3 op het rekenrooster ter plaatse van de Westbuitenhaven. In de Westbuitenhaven zijn de elementen het kleinst, met in horizontale richting elementzijden van ca. 15 m. Het rekenrooster telt in het horizontale vlak ongeveer 52.500 elementen.

In de verticaal wordt het rooster verdeeld in verschillende roosterlagen. De hoeveelheid lagen varieert door het modeldomein, zie Figuur 2.4. In de Noordzee en de Zeeschelde is gekozen voor twee lagen in de verticaal. In de Westerschelde varieert het aantal lagen tussen één en vijf, afhankelijk van de diepte. Voor de haveningang van de Westbuitenhaven zijn zes lagen in de

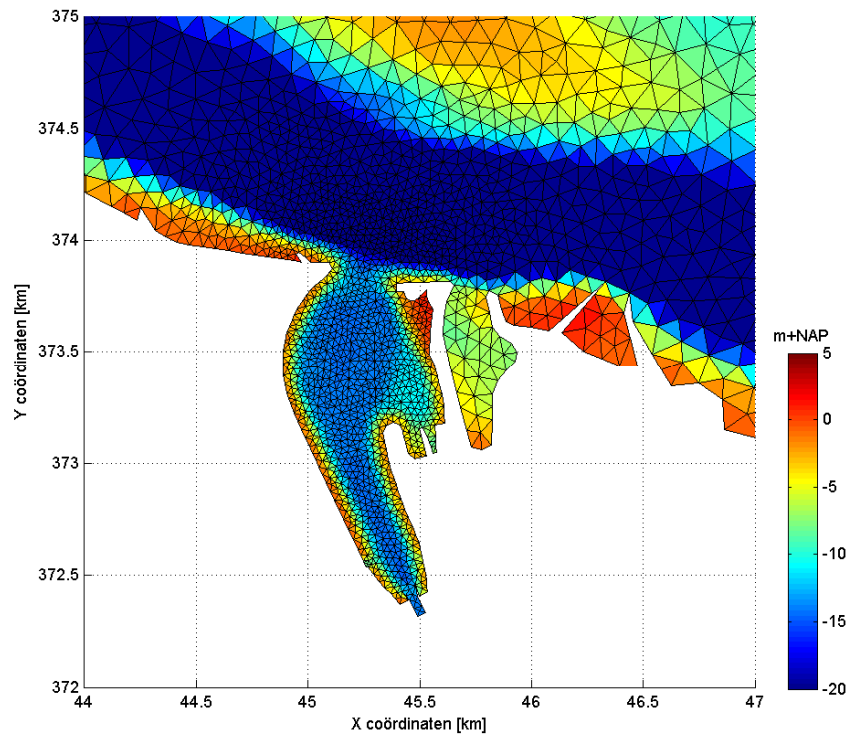
verticaal aanwezig. Ter plaatse van de Westbuitenhaven is meer detail gewenst en loopt het aantal lagen in de verticaal op tot acht, zie Figuur 2.5.



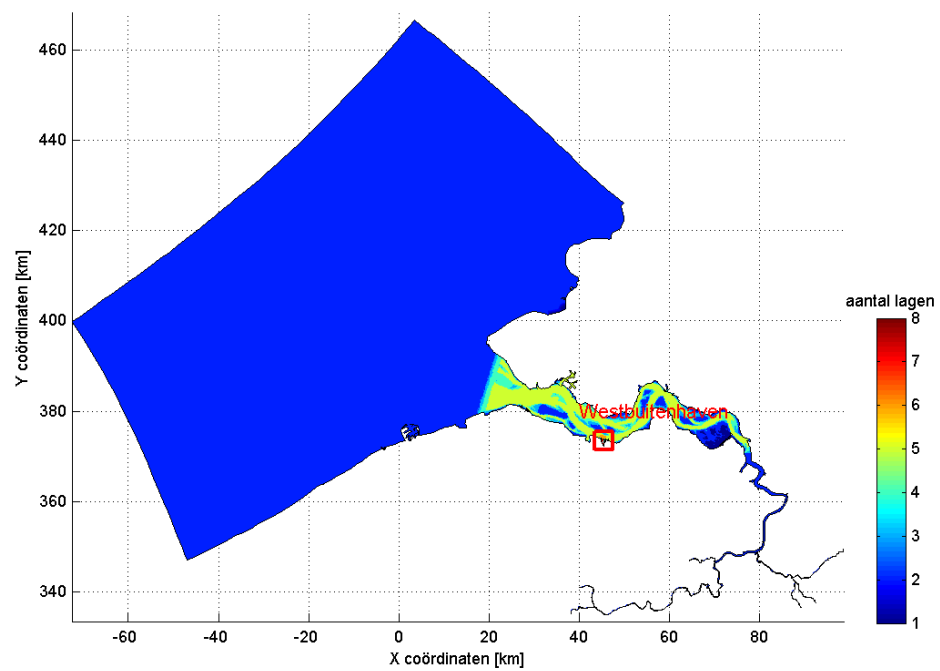
Figuur 2.1: Rekenrooster van FINEL3D model. In Figuur 2.2 wordt het deel van het rekenrooster in het rode kader weergegeven; in Figuur 2.3 het deel in het groene kader.



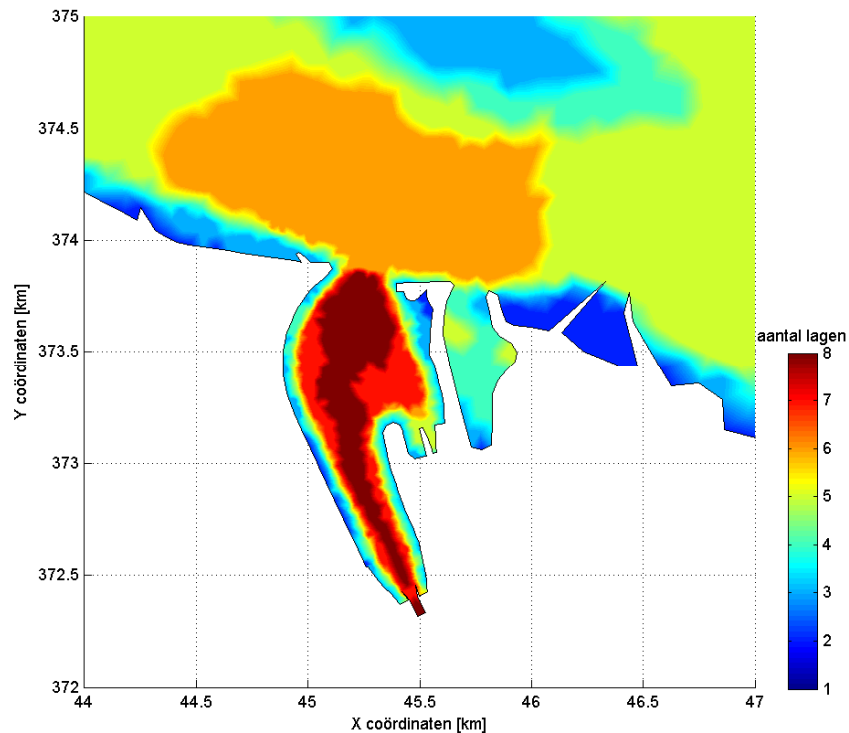
Figuur 2.2: Rekenrooster van FINEL3D model, ingezoomd op de Westerschelde. In Figuur 2.3 wordt het deel van het rekenrooster in het groene kader weergegeven



Figuur 2.3: Rekenrooster van het FINEL3D model ter plaats van de Westbuitenhaven van Terneuzen.



Figuur 2.4: Aantal roosterlagen in de verticaal in het FINEL3D model.



Figuur 2.5: Aantal roosterlagen in de verticaal in het FINEL3D model ter plaatse van de Westbuitenhaven.

2.2.3 Bodemligging

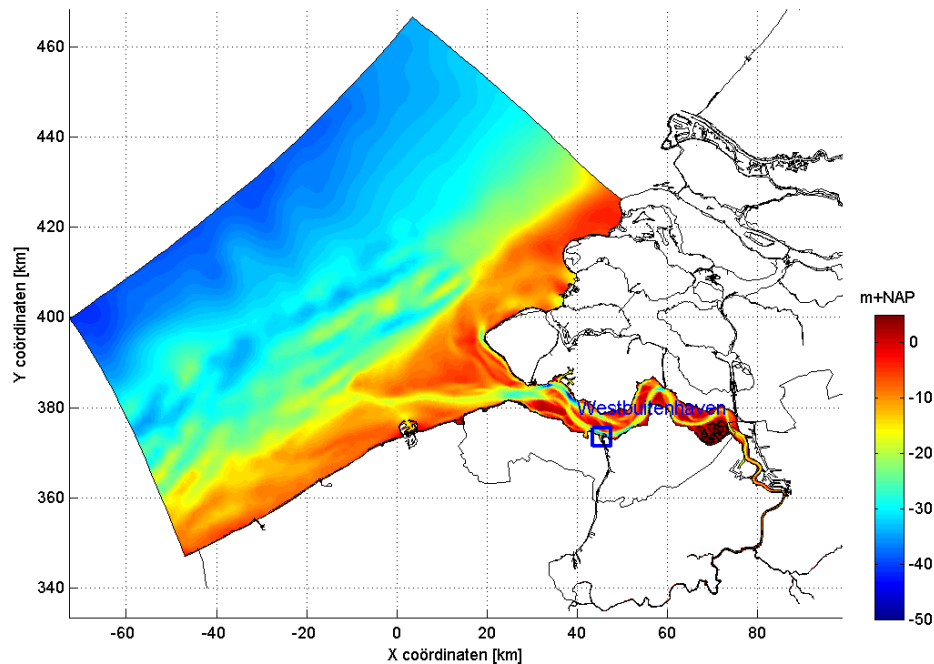
De modelbodem die toegepast wordt voor de kalibratie is samengesteld uit verschillende datasets welke zoveel mogelijk bij 2007 passen (het jaar dat de metingen zijn uitgevoerd). De bodemligging in de Westerschelde zelf is gebaseerd op de peiling van 2007 (Rijkswaterstaat). In de monding van de Westerschelde is gebruik gemaakt van een bodembestand uit 2011 en in de Zeeschelde van een bodembestand uit 2010. De rest van het gebied is aangevuld met de NEVLA bodem uit 2006, zie Maximova et al. (2009).

Voor de Westbuitenhaven is de huidige bodemligging zoals geleverd door LieveenseCSO toegepast, deze is gebaseerd op het “baseline model” van Deltares (een verzameling van bodemgegevens van rivieren). De precieze datum van deze bodemligging is niet bekend, maar vergelijking met de diepteprofielen in de gemeten raaien laat goede overeenkomst zien. Dit is in minder mate het geval voor de – waarschijnlijk recentere - dieptemetingen uit 2011-2013 uitgevoerd door Baggerbedrijf de Boer & van der Kamp (2011-2013), welke voor de kalibratiesommen dus *niet* zijn toegepast.

Bovenstaande data is geïnterpoleerd naar het FINEL3D rooster om de modelbodem te verkrijgen. Het resultaat wordt getoond in Figuur 2.6 en in Figuur 2.7 wordt ingezoomd op de modelbodem in de Westbuitenhaven van Terneuzen.

2.2.4 Turbulentie

Om de turbulentie in de modelberekeningen in beschouwing te kunnen nemen, worden de wervels gemodelleerd door middel van een turbulentiemodel. Er is gekozen om voor de bepaling van de verticale viscositeit gebruik te maken van het k-epsilon turbulentiemodel, dat een van de meest gebruikte turbulentiemodellen is. In het horizontale vlak wordt een constante viscositeit van $1 \text{ m}^2/\text{s}$ toegepast.



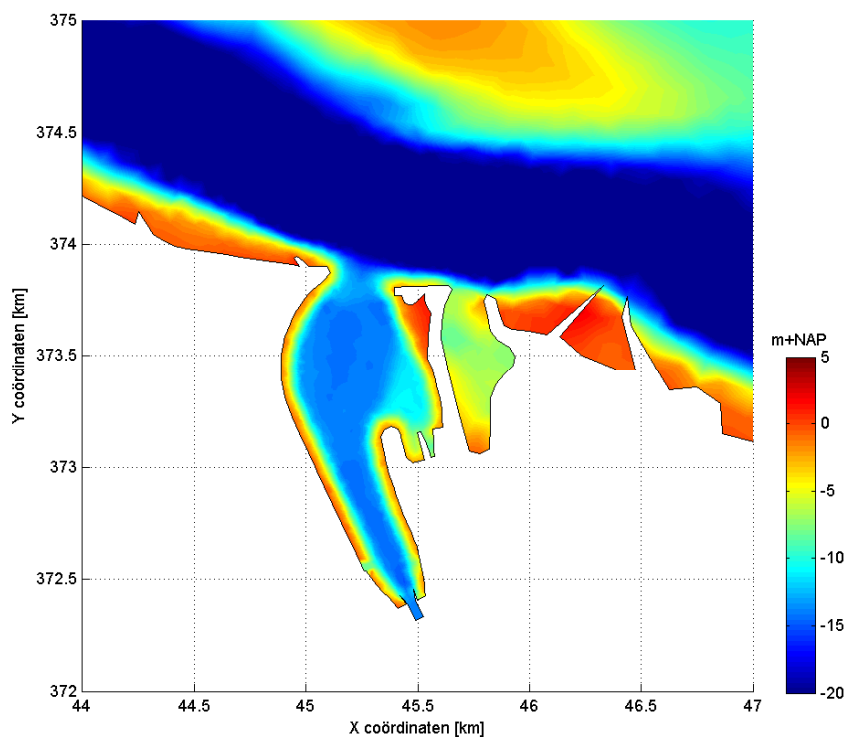
Figuur 2.6: Modelbodem van het FINEL3D model. Het deel van de modelbodem in het blauwe kader is weergegeven in Figuur 2.7.

2.2.5 Dichtheid en saliniteit

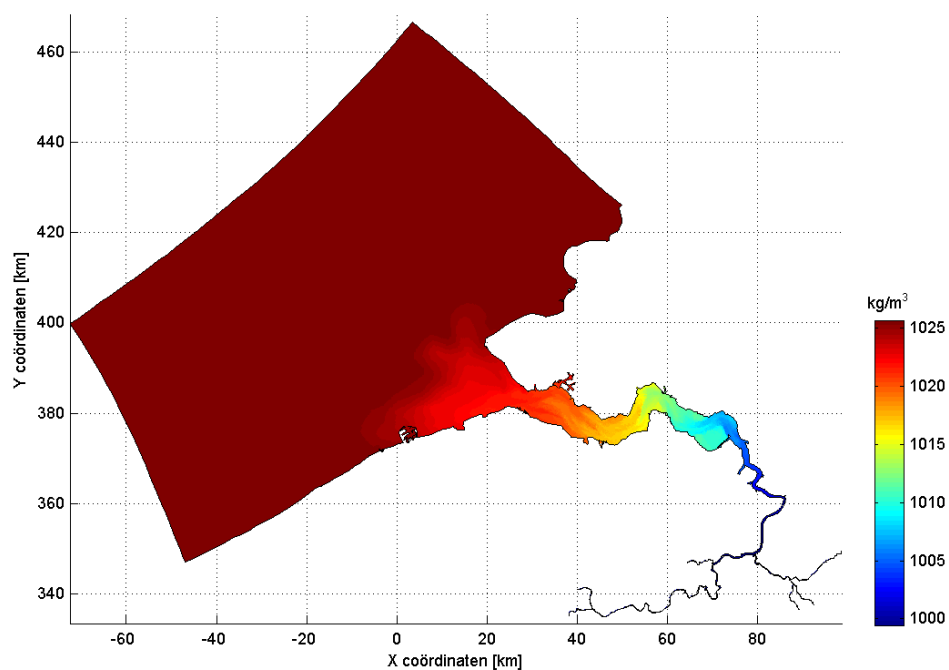
De Westerschelde staat bekend als een goedgemengd estuarium, waarbij de dichtheidsverschillen over de verticaal klein zijn. Over de lengte van de Westerschelde zijn echter wel dichtheidsverschillen aanwezig, veroorzaakt door verschillen in saliniteit, waarbij het zeewater op de Noordzee zout is, en het rivierwater bij Gent zoet is.

De verschillen in dichtheid worden meegenomen in de modelberekeningen door deze te verwerken in de opgelegde randvoorwaarden. Op de Noordzeerand bedraagt de saliniteit 34 PSU (practical salinity units) en op de randen van de Vlaamse rivieren is de saliniteit gelijk aan nul. Daarnaast wordt een initieel saliniteitsveld opgelegd, dat is gebaseerd op metingen. Het initiële saliniteitsveld wordt weergegeven in Figuur 2.8.

Het initiële dichtheidsverloop vertoont dezelfde variatie als de saliniteit. De dichtheid op de Noordzeerand bedraagt $1025,6 \text{ kg/m}^3$ bij een watertemperatuur van 13 graden Celsius. In de Boven-Zeeschelde bedraagt de dichtheid $999,5 \text{ kg/m}^3$.



Figuur 2.7: Modelbodem van het FINEL3D model ter plaatse van de Westbuitenhaven van Terneuzen.



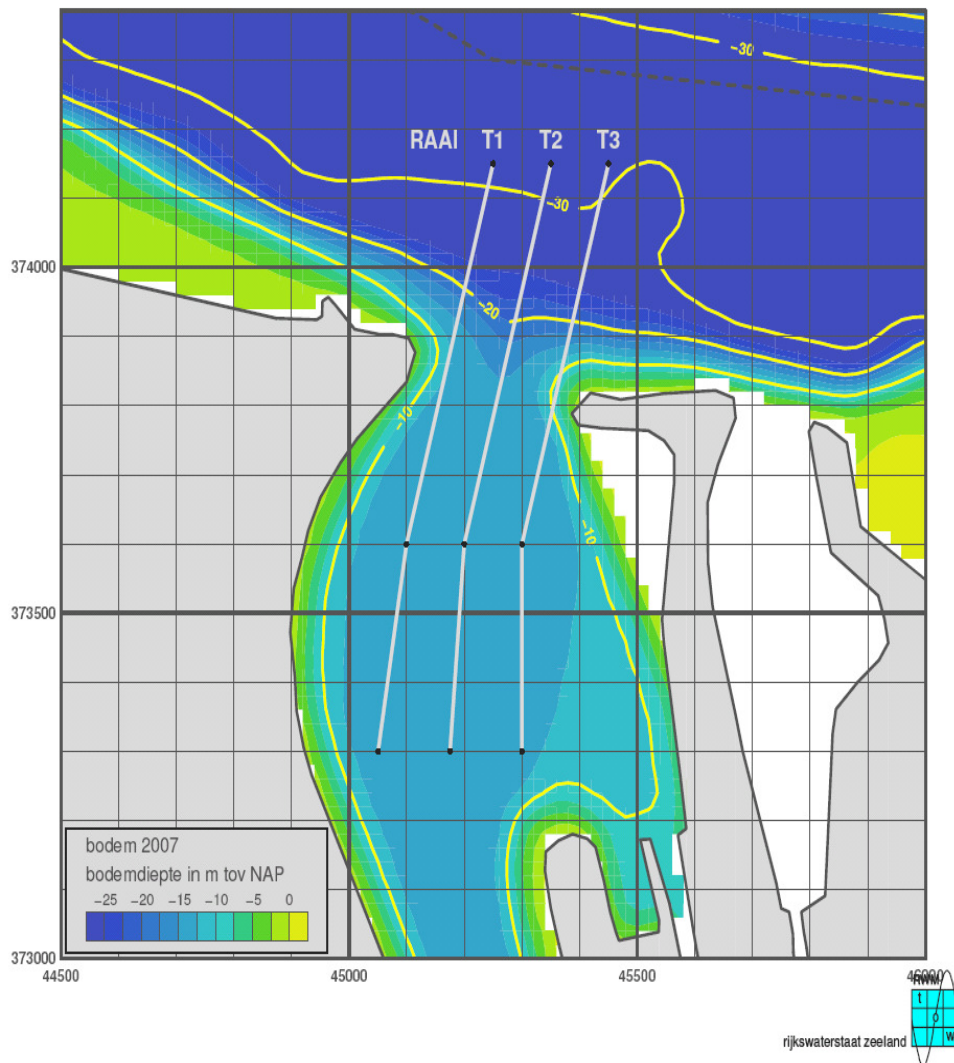
Figuur 2.8: Verloop van de saliniteit in het FINEL3D model.

2.3 Kalibratie

Om tijdens de kalibratie van het FINEL3D stromingsmodel van de Westbuitenhaven de modelresultaten goed te kunnen beoordelen, dienen deze vergeleken te worden met gemeten stroomsnelheden. De modelinstellingen worden vervolgens aangepast tot de modeluitkomsten goed overeenkomen met de meetgegevens. Deze paragraaf behandelt eerst kort de gebruikte stroommetingen en gaat daarna in op de kalibratie van het FINEL3D model zelf.

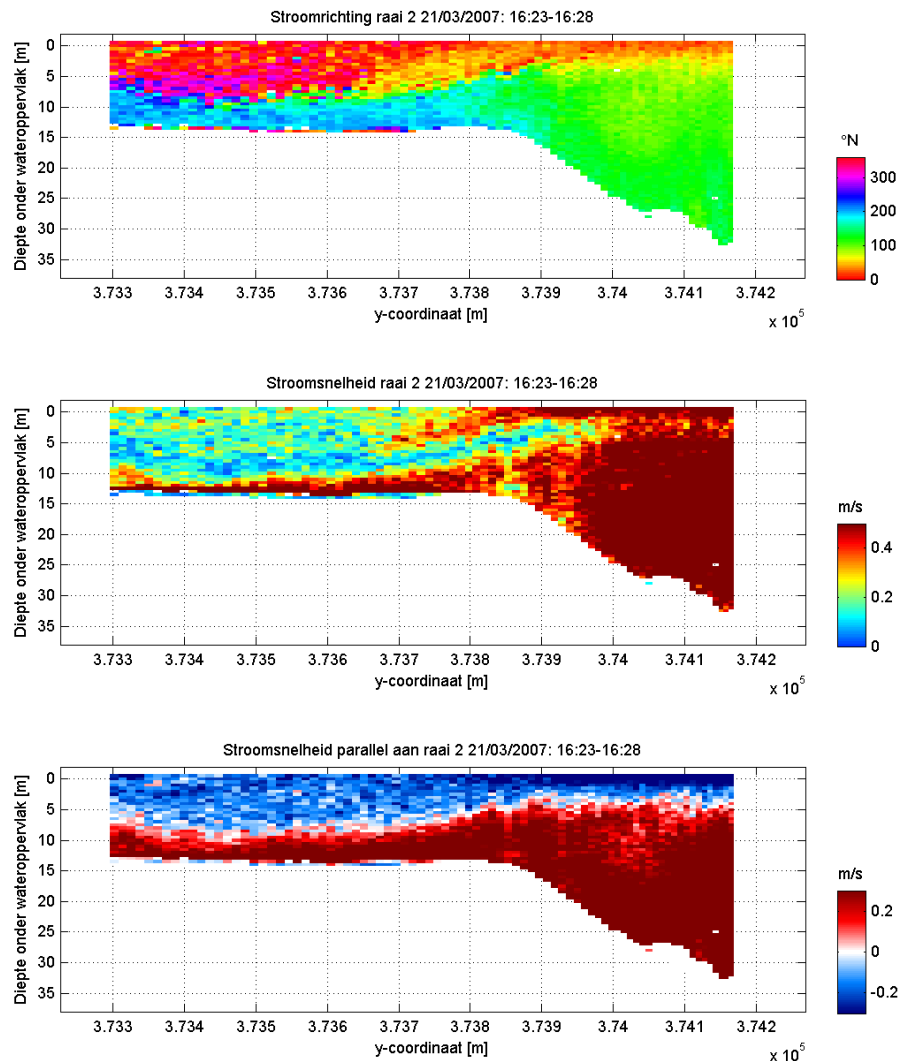
2.3.1 Gebruikte meetdata

Op 21 maart 2007 heeft Rijkswaterstaat (RWS) varende stroommetingen in de Westbuitenhaven van Terneuzen uitgevoerd. Gedurende 13 uur is de stroming langs drie verschillende raaien gemeten. Een overzicht van de locaties van de raaien is gegeven in Figuur 2.9. De meetresultaten worden in voorliggende rapportage niet gepresenteerd, maar kunnen desgewenst opgevraagd worden via de Servicedesk Data van RWS. Deze data is gebruikt om het FINEL3D model te kalibreren.



Figuur 2.9: Overzicht meetraaien varende stroommetingen Terneuzen op 21 maart 2007. Bron: RWS

Om inzicht te verkrijgen in de stromingssituatie in de Westbuitenhaven heeft Svašek Hydraulics de stromingsdata op verschillende wijzen gepresenteerd en geanalyseerd, zodat de verschillende stromingsverschijnselen in de metingen goed geïdentificeerd kunnen worden. Er zijn onder andere figuren opgesteld waarin de stroomsnelheid per vaarronde en verschillende dieptes ruimtelijk gepresenteerd wordt, zie Figuur 2.11. Daarnaast zijn er per raai dwarsdoorsneden opgesteld, zie Figuur 2.10, waarin de stroomrichting (bovenste paneel), stroomsnelheid (middelste paneel) en de stroomsnelheidscomponent in de langsrichting van de meetraai (onderste paneel) gepresenteerd wordt.

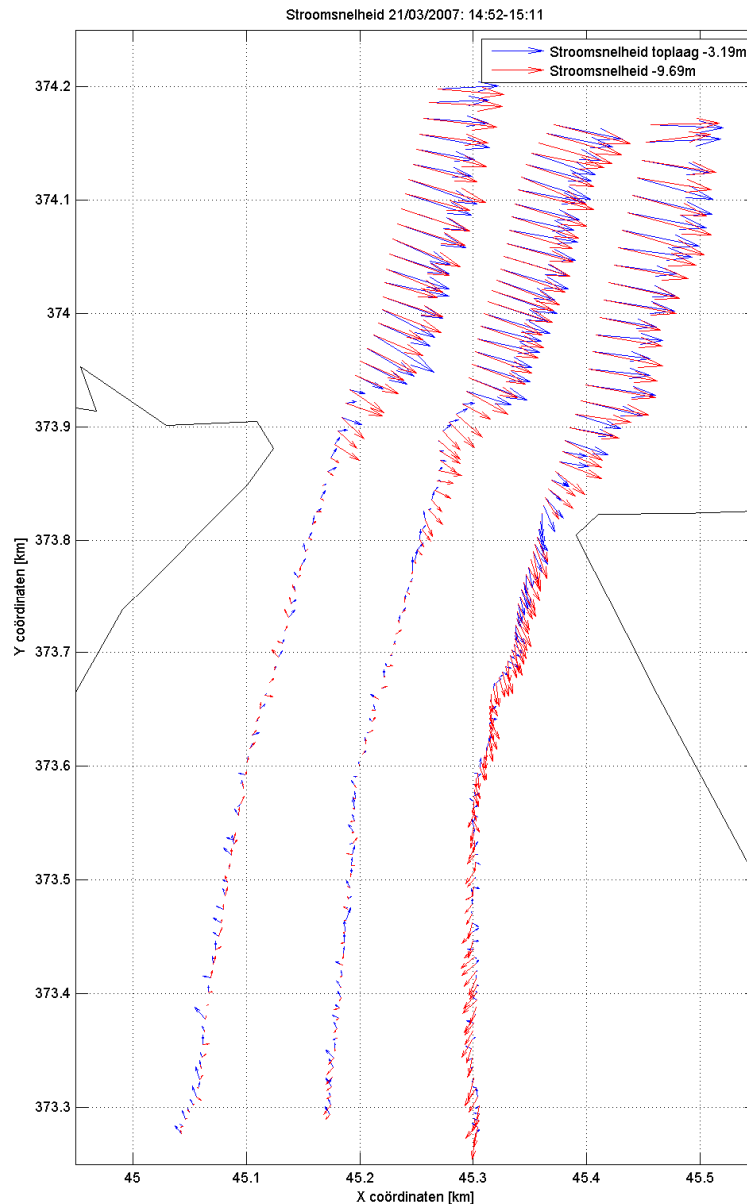


Figuur 2.10: Stroomrichting, stroomsnelheid en langscomponent van de stroomsnelheid van een gemeten raai in de Westbuitenhaven.

Aan de hand van de bewerking en analyse van de aangeleverde meetdata kunnen de onderstaande conclusies met betrekking tot de stroming in de Westbuitenhaven van Terneuzen worden getrokken. In de modelberekeningen zal aandacht worden besteed aan het goed reproduceren van deze afzonderlijke verschijnselen.

- De stroomsnelheden in de haven zijn relatief laag ($<0,5$ m/s), zie Figuur 2.11 en Figuur 2.10 (middelste paneel).
- Op bepaalde momenten in de getijcyclus is sprake van horizontale neerstroming in haven, zie Figuur 2.11.
- Op bepaalde momenten in de getijcyclus, voornamelijk rondom kentering in de Westerschelde, is sprake van driedimensionale stroming, waarbij in de bovenste laag uitstroming optreedt en in de onderste laag instroming, zie Figuur 2.10 (bovenste en onderste paneel). Ook de omgekeerde situatie, waarbij in de bovenste laag instroming optreedt en in de onderste laag uitstroming, is in de meetgegevens zichtbaar.

NB. De volledige set van verwerkte meetdata wordt in voorliggende rapportage niet gepresenteerd, maar kan desgewenst bij Svašek Hydraulics worden opgevraagd.



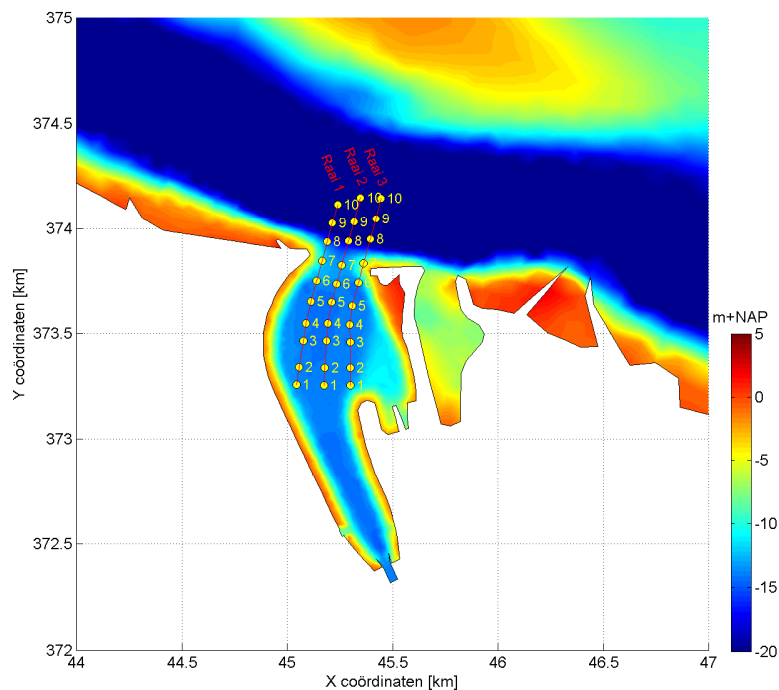
Figuur 2.11: Stroming langs gevaren raaien in de Westbuitenhaven tijdens vloed op twee verschillende diepten. De aangegeven diepte is de diepte ten opzichte van het meetinstrument.

2.3.2 Modelkalibratie

Tijdens de kalibratie worden de modelinstellingen van het FINEL3D model aangepast zodat de modelresultaten en metingen goed overeenkomen. Daartoe is eerst gekeken naar waterstanden in de gehele Westerschelde om de eerste stappen naar de juiste instellingen te kunnen zetten. De waterstanden, waarbij zowel naar de amplitude als de fase gekeken is, komen in de gehele

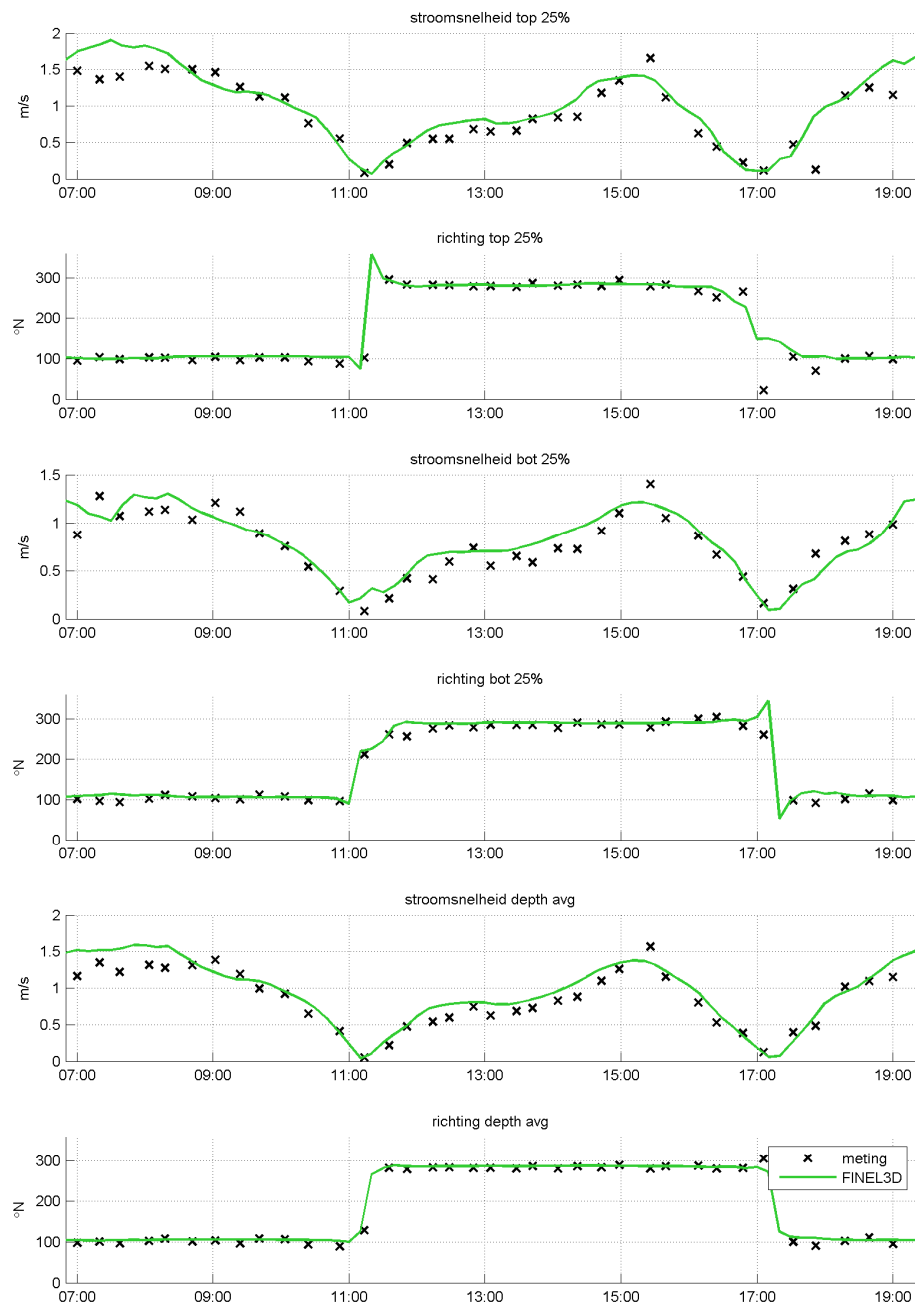
Westerschelde goed overeen met de werkelijkheid. Bovenstrooms vanaf Antwerpen wijken de waterstanden wat meer af. (Deze kalibratieresultaten zijn niet weergegeven maar kunnen desgewenst bij Svašek Hydraulics worden opgevraagd.)

Vervolgens zijn stroomsnelheden in de Westbuitenhaven vergeleken om het model verder af te regelen. Hiertoe is gebruik gemaakt van de meetresultaten van de varende stroommetingen die RWS op 21 maart 2007 in de haven heeft uitgevoerd, zie paragraaf 2.3.1. Om de metingen goed met de modelresultaten te kunnen vergelijken, zijn voor 30 punten in de haven tijdseries gegenereerd. De locaties van deze punten zijn weergegeven in Figuur 2.12.

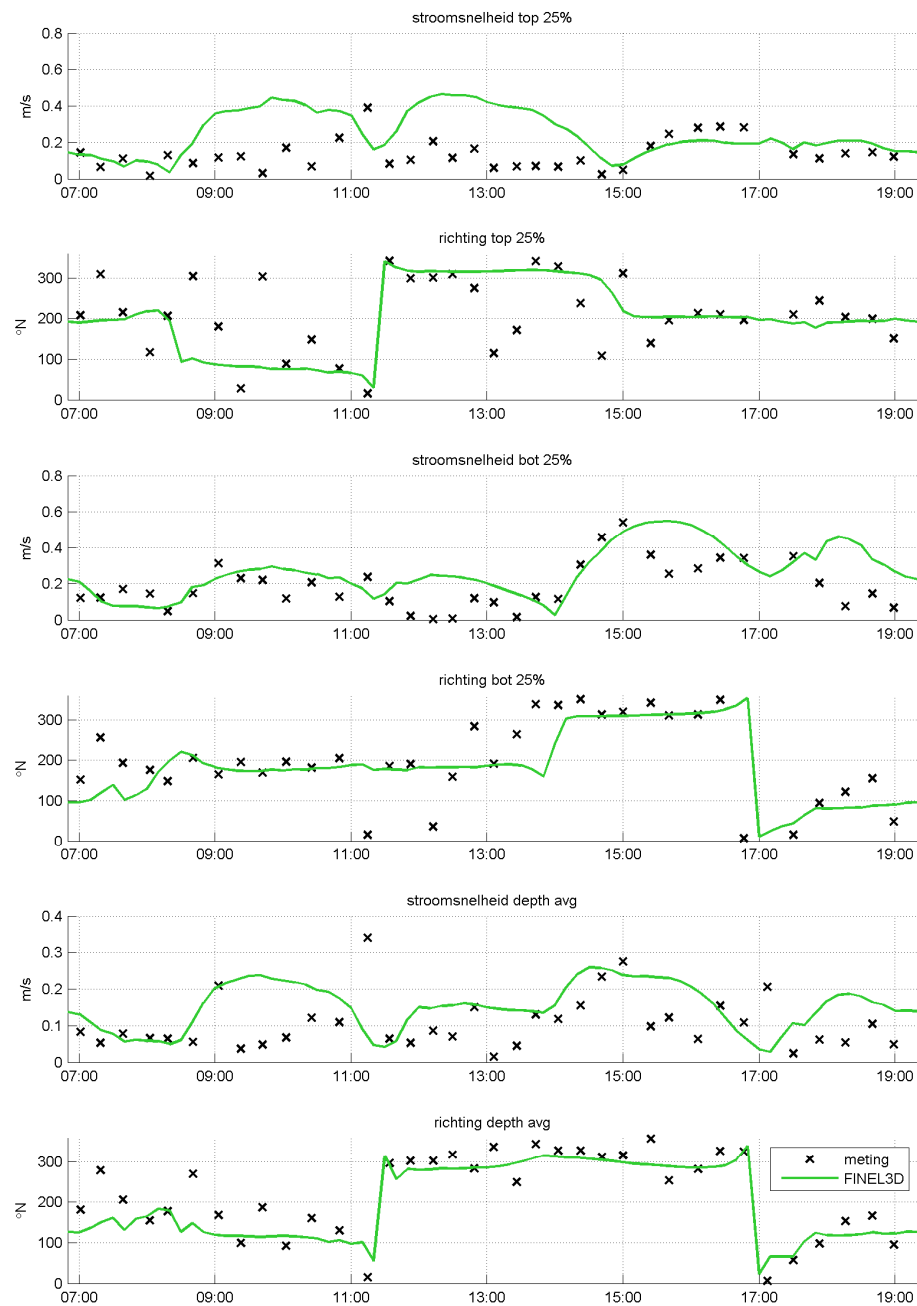


Figuur 2.12: Uitvoerpunten in de modelberekening ten behoeve van de kalibratie. Op de uitvoerpunten zijn voor zowel de meet- en modelresultaten tijdreeksen opgesteld.

De vergelijking tussen de meting en de modelresultaten op punt 9 van raai 2 in de haven wordt gepresenteerd in Figuur 2.13. Dit punt is gelegen in de Westerschelde. De bovenste twee panelen tonen de vergelijking van de stroomsnelheid en stroomrichting in het bovenste kwart van de waterkolom. De middelste twee panelen tonen de stroomsnelheid en stroomrichting in het onderste kwart van de waterkolom, en de onderste twee panelen tonen de dieptegemiddelde stroomsnelheid en stroomrichting. Zowel de gemodelleerde stroomsnelheid als stroomrichting komt in de figuur goed overeen met de meting.



Figuur 2.13: Vergelijking van de gemeten en gemodelleerde stroomsnelheid en stroomrichting op punt 9 van raai 2 in de Westbuitenhaven ten behoeve van de kalibratie van het FINEL3D model op 21 maart 2007. De locatie van het punt is getoond in Figuur 2.12.



Figuur 2.14: Vergelijking van de gemeten en gemodelleerde stroomsnelheid en stroomrichting op punt 7 van raai 2 in de Westbuitenhaven ten behoeve van de kalibratie van het FINEL3D model op 21 maart 2007. De locatie van het punt is getoond in Figuur 2.12.

Figuur 2.14 toont de gemeten en gemodelleerde stroming op punt 7 van raai 2. Dit punt bevindt zich in de monding van de haven. Uit de figuur is af te lezen dat het model de stroomsnelheid overschat. De oorzaak van deze overschatting is dat de hoofdstroming op de Westerschelde in het model iets dieper de haven indringt dan in de metingen het geval is.

Voor de overige punten in de haven worden de resultaten gepresenteerd in Bijlage A. De stroomsnelheid en stroomrichting vertonen ook voor de overige punten grotendeels goede overeenstemming. Bij lage snelheden ($<0,2$ m/s) is het verloop wat grilliger. Dit is voornamelijk in de stroomrichting duidelijk zichtbaar en wordt veroorzaakt door het feit dat de meetfout bij lage snelheden van vrijwel dezelfde orde is als de gemeten snelheden, en de stroomsnelheid en stroomrichting bij lage snelheden minder nauwkeurig te bepalen zijn.

Uit de vergelijking van de meetresultaten en de modelresultaten (Bijlage A) kan worden geconcludeerd dat het FINEL3D model van de Westerschelde goed in staat is om de gemeten stroomsnelheden en stroomrichtingen in de Westbuitenhaven van Terneuzen goed te reproduceren. Ook de driedimensionale stroming, waarbij er aan de bodem instroming plaatsvindt en aan het oppervlakte uitstroming en vice versa, wordt door het model goed gereproduceerd. Wel dringt de hoofdstroming op de Westerschelde te diep de haven in, waardoor in de monding kleine afwijkingen tussen de meting en het model zichtbaar zijn. Ondanks deze verschillen presteert het model goed en kan het model goed worden ingezet om de stroming in de Westbuitenhaven te modelleren en de effecten van diverse ingrepen op de complexe driedimensionale stroming te onderzoeken.

2.4 Validatie

Wanneer het model gekalibreerd is, wordt het nogmaals met metingen vergeleken voor een validatie op basis van een aparte meetset. Deze paragraaf behandelt eerst kort de gebruikte stroommetingen en gaat daarna in op de validatie van het FINEL3D model.

2.4.1 Gebruikte meetdata

Rijkswaterstaat heeft in 2011, 2012 en 2013 een puntmeting uitgevoerd in de monding van de Westbuitenhaven. De locatie van de puntmeting is weergegeven in Figuur 2.15. Op deze locatie is steeds een periode van enkele weken de stroomsnelheid en stroomrichting gemeten. De meetresultaten worden in voorliggende rapportage niet gepresenteerd, maar kunnen desgewenst opgevraagd worden via de Servicedesk Data van RWS. Deze data is gebruikt om het FINEL3D model te valideren.

2.4.2 Modelvalidatie

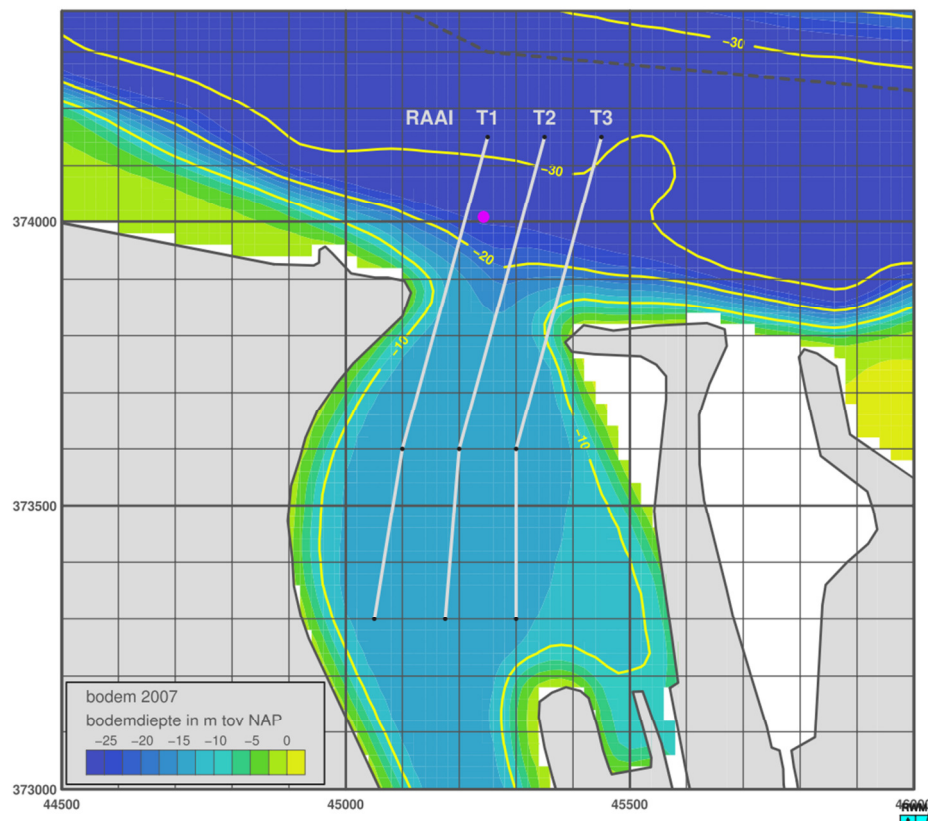
Om het vertrouwen in de tijdens de kalibratie gevonden modelinstellingen van het FINEL3D model toe te laten nemen, worden de modelresultaten vergeleken met metingen uit een andere periode. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van de hierboven beschreven puntmetingen. Er is gekozen uit de drie beschikbare meetseries gebruik te maken van de serie uit 2012, omdat er van dit jaar een betrouwbare peiling van de Westerschelde beschikbaar is.

Om de meetresultaten met de modelresultaten in deze periode te kunnen vergelijken is een modelbodem gekozen die zo goed mogelijk overeenkomt met de werkelijke bodemligging in 2012. Hiertoe is de bodem toegepast zoals die is gepresenteerd in paragraaf 3.2.

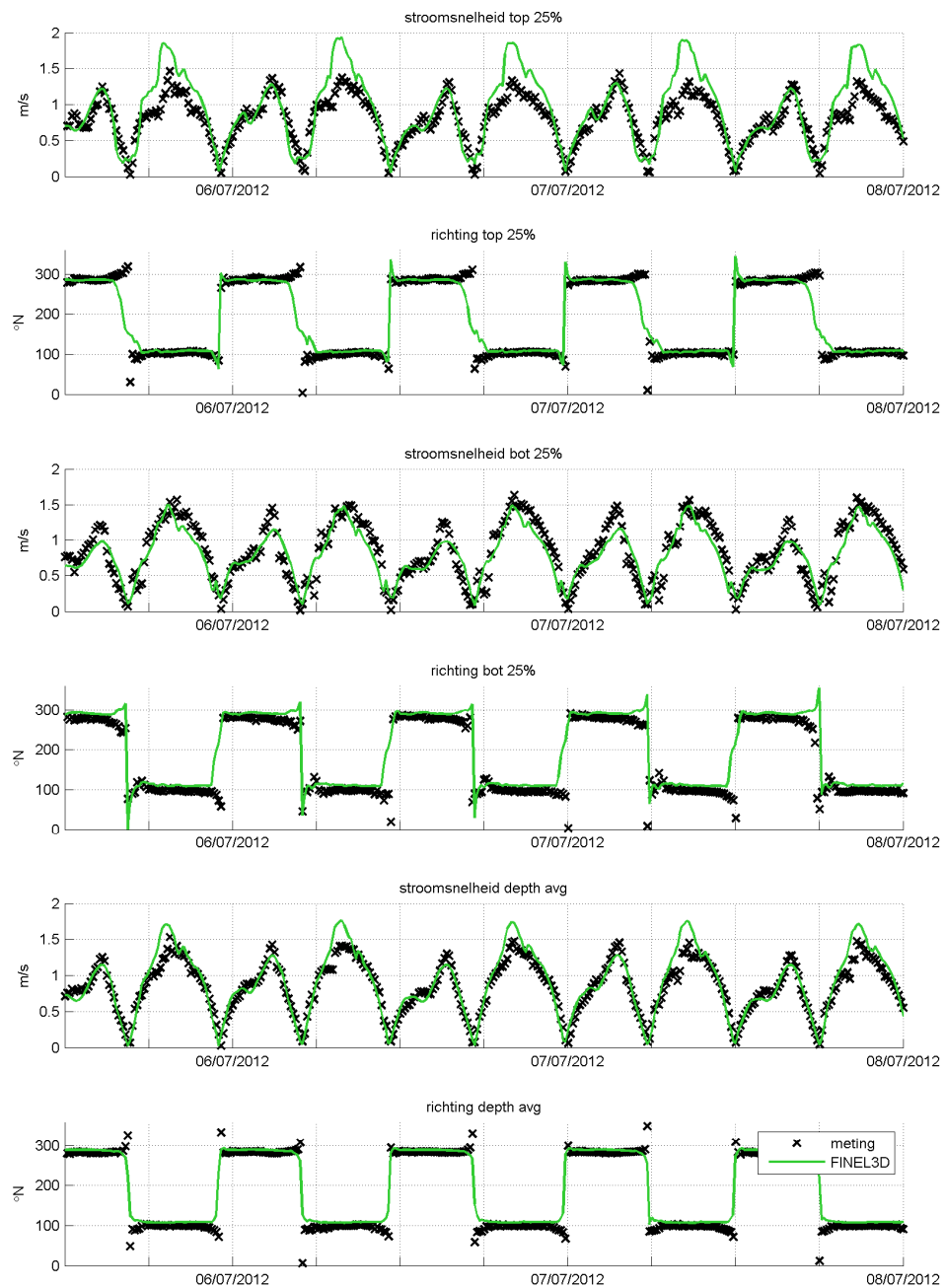
De vergelijking tussen de puntmeting en de modelresultaten wordt gepresenteerd in Figuur 2.16. Dit punt is gelegen in de Westerschelde. De bovenste twee panelen tonen de vergelijking van de stroomsnelheid en stroomrichting in het bovenste kwart van de waterkolom. De middelste twee panelen tonen de stroomsnelheid en stroomrichting in het onderste kwart van de waterkolom, en de onderste twee panelen tonen de dieptegemiddelde stroomsnelheid en stroomrichting.

Zowel de gemodelleerde stroomsnelheid tijdens eb als stroomrichting tijdens eb en vloed komt in de figuur goed overeen met de meting. Tijdens vloed wordt de maximale stroomsnelheid wat overschat. Van deze overschatting is alleen sprake in het bovenste deel van de waterkolom. In het onderste deel van de waterkolom komen de gemeten en gemodelleerde stroomsnelheid goed overeen. Deze overschatting is conform de voor de kalibratie vastgestelde afwijking dat de vloedstroom te ver de haven binnendringt.

Uit de vergelijking kan worden geconcludeerd dat het FINEL3D model, ondanks een enkele afwijking, ook voor een andere periode goed in staat is om de stroomsnelheid en stroomrichting in de Westerschelde bij Terneuzen goed te reproduceren.



Figuur 2.15: Het magenta punt geeft de locatie van de puntmetingen weer. Op deze locatie zijn voor zowel de meet- en modelresultaten tijdreeksen opgesteld.



Figuur 2.16: Vergelijking van de gemeten en gemodelleerde stroomsnelheid en stroomrichting in de monding van de Westbuitenhaven ten behoeve van de kalibratie van het FINEL3D model. De meting betreft een puntmeting. De locatie van het punt is getoond in Figuur 2.15.

2.5 Conclusies

Het FINEL3D model dat is opgezet om de stroming in de Westbuitenhaven van Terneuzen te kunnen berekenen presteert goed. Zowel met betrekking tot de waterstand in de gehele Westerschelde als de stroming in de Westbuitenhaven zelf komen meetresultaten en modelresultaten goed overeen. Het complexe driedimensionale stromingspatroon is in de modelresultaten goed zichtbaar. Een enkele afwijking treedt in de monding van de haven op, waar de stroomsnelheid in het model iets wordt overschat. Ondanks deze beperkte afwijkingen kan worden geconcludeerd dat het FINEL3D model goed presteert en kan worden ingezet om de stroming in de Westbuitenhaven te modelleren en de effecten van diverse ingrepen op de stroming in de haven te onderzoeken.

3 SCENARIOBEREKENINGEN FINEL3D

Het FINEL3D model van de Westerschelde is ingezet om de effecten van de verschillende ontwerpvarianten van de Westbuitenhaven op stroming in deze haven in kaart te brengen. De verschillende scenario's en het effect van de ingrepen op het stroombeeld worden in dit hoofdstuk behandeld.

3.1 Overzicht scenario's

Om de effecten van de verschillende varianten op de stroming in de Westbuitenhaven in kaart te brengen zijn diverse scenario's met het FINEL3D stromingsmodel doorgerekend. Om het verschil met de huidige situatie te kunnen bepalen is ook een zogenaamde referentiesituatie doorgerekend. De varianten die zijn doorgerekend zijn op basis van de voorkeursvariant. In deze berekeningen is uitgegaan van de situatie zonder spuien.

Daarnaast is een scenario doorgerekend waarbij is uitgegaan van de voorkeursvariant en een maximaal spuidebiet. Er wordt gespuid via het spuumiddel dat in de voorkeursvariant is opgenomen, via de Nieuwe Sluis. Het maximaal debiet van de Nieuwe Sluis bedraagt $230 \text{ m}^3/\text{s}$. Ook voor de referentiesituatie is een berekening met spuien uitgevoerd. Dit betreft een debiet van $50 \text{ m}^3/\text{s}$ door de bestaande Middensluis.

Samenvattend zijn de volgende scenario's doorgerekend:

- A. Referentie situatie, zonder spuien;
- B. Voorkeursvariant, variant zonder spuumiddel, zonder spuien;
- C. Voorkeursvariant, met spuidebiet van $230 \text{ m}^3/\text{s}$ via de Nieuwe Sluis;
- D. Referentiesituatie, met spuidebiet van $50 \text{ m}^3/\text{s}$ via de bestaande Middensluis.

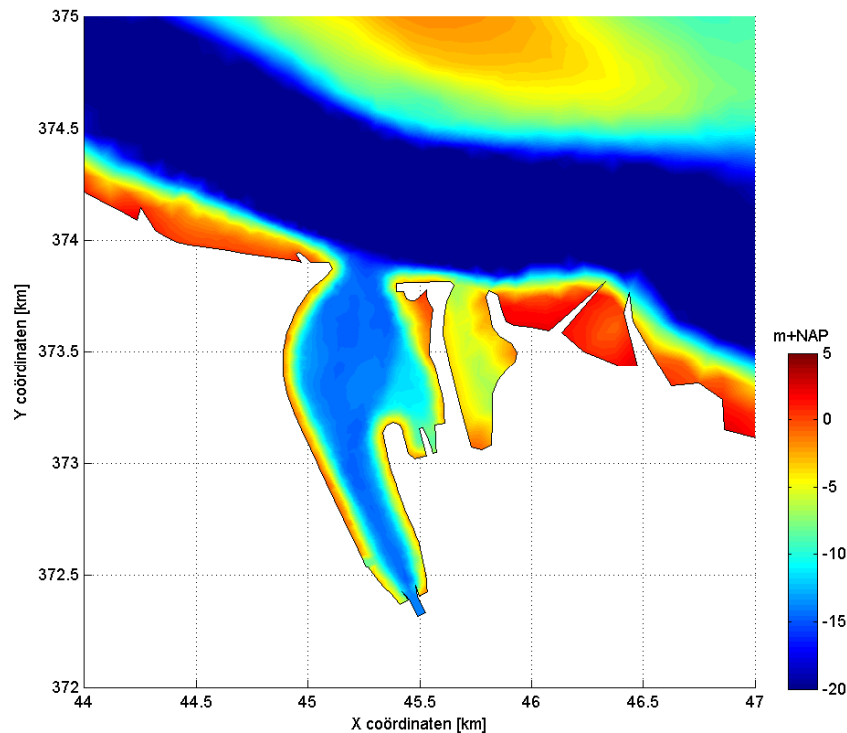
Van bovenstaande scenario's zijn scenario A tot en met C van belang voor het bepalen van de nautische omstandigheden in de haven. Scenario A is daarnaast van belang voor het bepalen van het baggerbezwaar in de haven, evenals scenario D.

3.2 A. Referentiesituatie

De referentiesituatie is gelijk aan de huidige situatie. Om dit scenario door te rekenen is hetzelfde rekenrooster gebruikt als tijdens de validatie van het model, zie paragraaf 2.4. Om de huidige situatie door te rekenen is uitgegaan van de bodemligging in 2013. Hiertoe zijn twee wijzigingen doorgevoerd ten opzichte van de modelbodem die in de kalibratie is gebruikt:

- De bodemliggingen van de Westerschelde is gebaseerd op de peiling van 2012 in plaats van de peiling van 2007 (RWS).
- De bodemligging in de Westbuitenhaven is gebaseerd op dieptemetingen van 2013, uitgevoerd door Baggerbedrijf de Boer & Van der Kamp (2011-2013).

Een zeer beperkt aantal locaties (vooral langs de rand van de haven) zijn conform de onderhoudsbaggervakken (zie Rijkswaterstaat Zeeland, 2011) op diepte gebracht. De resulterende bodemligging is weergegeven in Figuur 3.1.



Figuur 3.1: Modelbodem van het FINEL3D model ter plaatse van de Westbuitenhaven van Terneuzen voor de referentiesituatie.

De modelresultaten worden getoond in Figuur 3.2 tot en met Figuur 3.5, waarin de stroomsnelheden gemiddeld over de bovenste en onderste vijf meter van de waterkolom worden gepresenteerd. De figuren tonen de stroomsnelheid en richting tijdens maximale ebstroming (Figuur 3.2), de kentering van eb naar vloed (Figuur 3.3), maximale vloedstroming (Figuur 3.4) en de kentering van vloed naar eb (Figuur 3.5).

Tijdens eb zijn de stroomsnelheden in de haven laag en is geen duidelijk patroon in de stroming zichtbaar. Tijdens vloed zijn de stroomsnelheden beduidend hoger en draait er een horizontale neer in de haven. Opvallend hierbij is dat de hoogte stroomsnelheden in het onderste deel van de waterkolom voorkomen. Daarnaast vindt in het onderste deel van de waterkolom hoofdzakelijk instroming plaats, en in het bovenste deel van de waterkolom voornamelijk uitstroming. Desondanks is de horizontale neer zowel onder- als bovenin de waterkolom duidelijk zichtbaar.

Rondom kentering is de stroomrichting in het bovenste en onderste deel van waterkolom tegenovergesteld. Dit is zowel het geval bij de kentering van eb naar vloed als de kentering van vloed naar eb. Bij de kentering van eb naar vloed vindt aan het oppervlak instroming plaats en aan de bodem uitstroming. Bij de kentering van vloed naar eb, treedt juist aan de bodem instroming op en aan het oppervlak uitstroming.

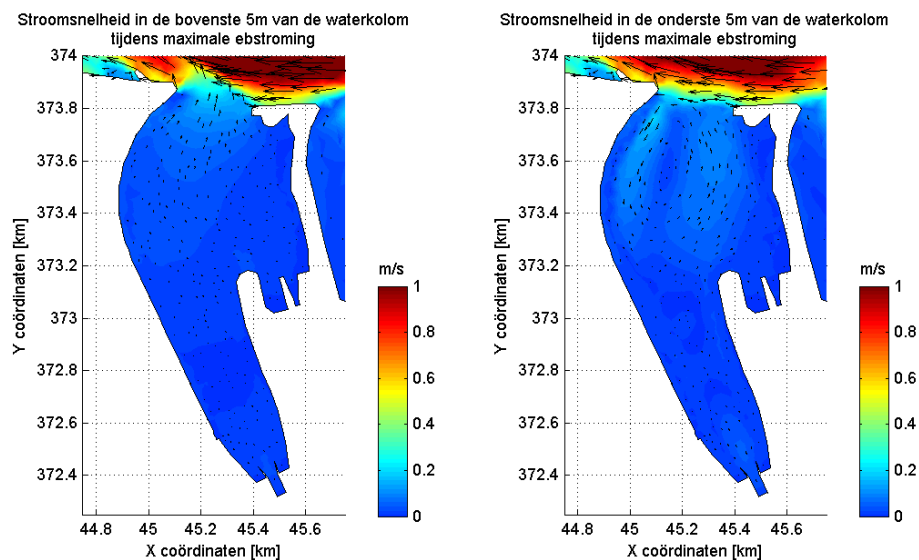
De oorzaak van deze driedimensionale stroming met instroming aan het oppervlak en uitstroming aan de bodem, en vice versa, zijn de dichtheidsverschillen in de Westerschelde. Tijdens vloed neemt de dichtheid in de Westerschelde bij Terneuzen toe door de aanvoer van zout water uit de Noordzee. De dichtheid van het water in de Westerschelde is maximaal op het moment van de kentering van vloed naar eb. Tijdens eb neemt de dichtheid van het water weer langzaam af door

toevoer van zoeter water. Het water heeft de laagste dichtheid op het moment van de kentering van eb naar vloed, wanneer de aanvoer van zoeter water stopt.

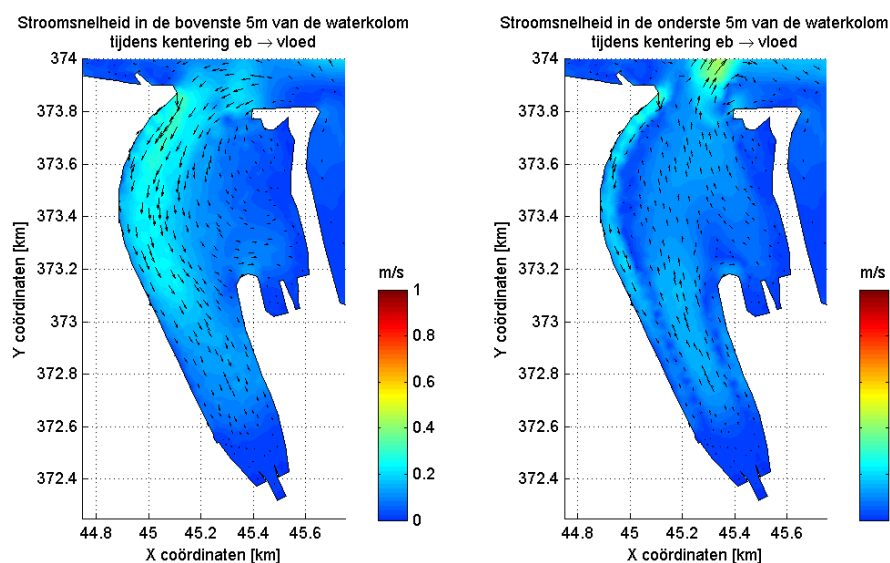
De dichtheid in de Westbuitenhaven is vaak hoger dan de dichtheid in de Westerschelde. Rond de kentering tijdens hoogwater is de dichtheid van het water in de Westerschelde echter hoger dan de dichtheid van het water in de Westbuitenhaven. Exact op dat moment vindt er in de Westbuitenhaven instroming aan de bodem plaats, terwijl aan het oppervlak sprake is van uitstroming als gevolg van de eb. Dat juist op dit moment instroming aan de bodem plaatsvindt, geeft aan dat deze instroming het gevolg is van het verschil in dichtheid tussen het water van de Westbuitenhaven en het water van de Westerschelde, ofwel dat er sprake is van dichtheidsstroming.

Er kan worden gesteld dat er sprake is van meerdere mechanismen die de stroming in de monding van de Westbuitenhaven bepalen:

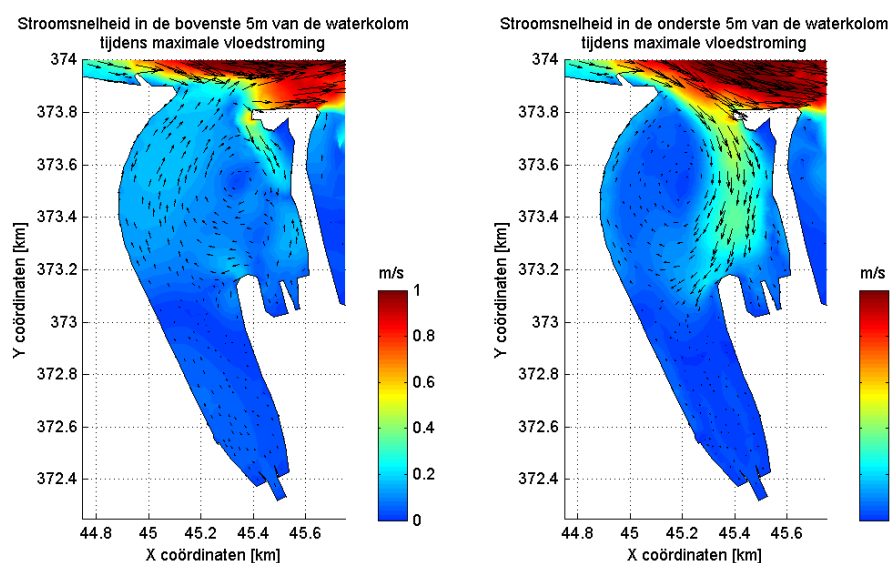
- Getijdestroming: de waterstand in de Westbuitenhaven volgt de waterstand in de Westerschelde. Dit proces blijkt voornamelijk dominant in het bovenste deel van de waterkolom. Tijdens vloed stroomt er water de Westbuitenhaven in en stijgt de waterspiegel. Tijdens eb stroomt er water de Westbuitenhaven uit en daalt de waterspiegel.
- Dichtheidsstroming: water met een hoge dichtheid stroomt naar plaatsen met water met een lage dichtheid. Dit proces is voornamelijk dominant in het onderste deel van de waterkolom. Tijdens de eerste helft van de eb is de dichtheid in de Westerschelde hoger dan de dichtheid in de Westbuitenhaven, en is de stroming de haven in gericht. Tijdens het eerste deel van de vloed is de dichtheid in de Westbuitenhaven hoger dan in de Westerschelde, en is de stroming de haven uit gericht.



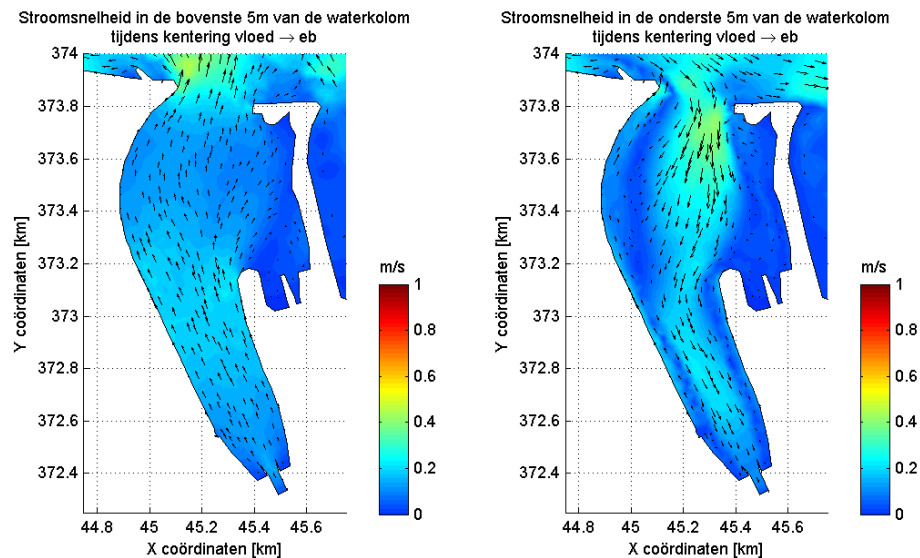
Figuur 3.2: Stroomsnelheid voor de referentiesituatie tijdens maximale ebstroming boven- en onderin de waterkolom.



Figuur 3.3: Stroomsnelheid voor de referentiesituatie tijdens de kentering van eb naar vloed boven- en onderin de waterkolom.



Figuur 3.4: Stroomsnelheid voor de referentiesituatie tijdens maximale vloedstroming boven- en onderin de waterkolom.



Figuur 3.5: Stroomsnelheid voor de referentiesituatie tijdens de kentering van vloed naar eb boven- en onderin de waterkolom.

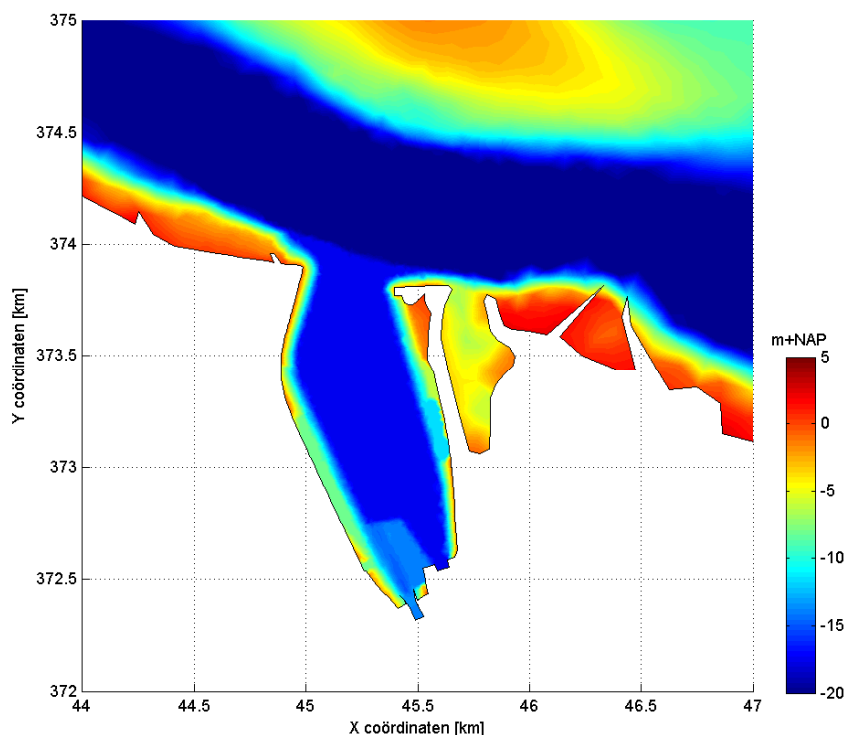
3.3 B. Voorkeursvariant zonder spuumiddel

De aanleg van een nieuwe zeesluis tussen de Westbuitenhaven en het Kanaal Gent-Terneuzen heeft gevolgen voor de geometrie van de haven. Ten opzichte van de huidige situatie worden in het ontwerp van de voorkeursvariant zonder spuumiddel diverse wijzigingen voorgesteld, en wordt de haveningang breder, de haven dieper, en neemt het oppervlak van (het zuidelijke deel van) de haven significant toe.

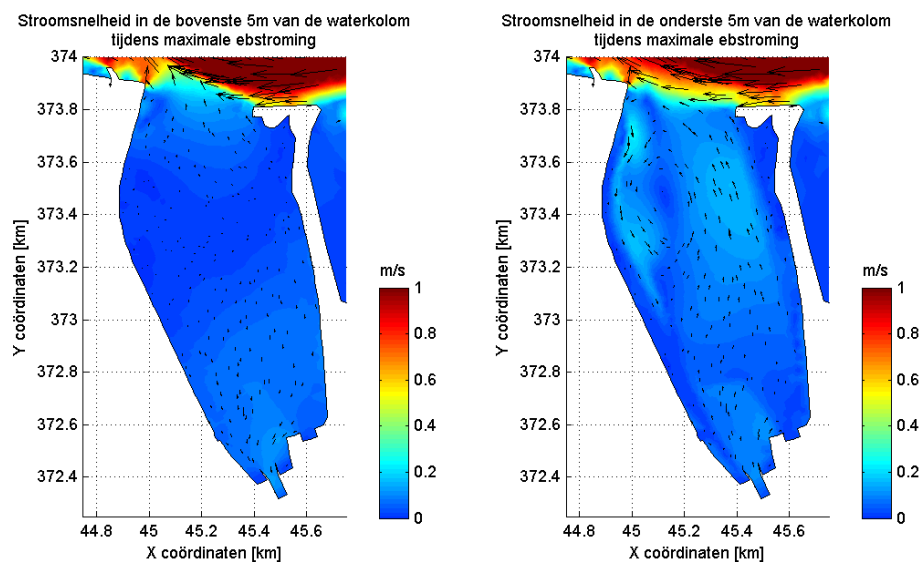
Om de voorkeursvariant zonder spuumiddel met het FINEL3D model door te kunnen rekenen zijn enkele aanpassingen in de modelschematisatie aangebracht, waaronder het aanpassen van de modeloutline en het uitbreiden van het rooster en een lokale aanpassing van het rooster ter plaatse van het spuumiddel (t.o.v. oorspronkelijk VKV met spuumiddel). Deze is uitgevoerd op basis van de door LievenseCSO geleverde tekening en verder modeling doorgegeven (Voorkeursvariant Alternatief, VNZT-00-T-SO-00-D007). Daarnaast is de bodemligging aangepast.

De modelinstellingen zijn gelijk gebleven. De geometrie van de voorkeursvariant zonder spuumiddel en de bijbehorende bodemligging wordt gepresenteerd in Figuur 3.6.

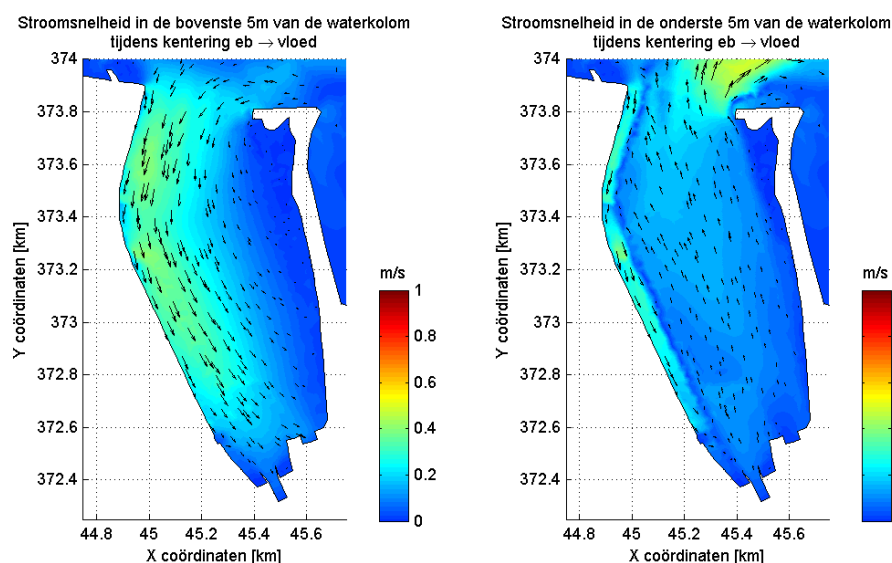
De modelresultaten worden getoond in Figuur 3.7 tot en met Figuur 3.10, waarin de stroomsnelheden gemiddeld over de bovenste en onderste vijf meter van de waterkolom worden gepresenteerd. De figuren tonen de stroomsnelheid en richting tijdens maximale ebstroming (Figuur 3.7), de kentering van eb naar vloed (Figuur 3.8), maximale vloedstroming (Figuur 3.9) en de kentering van vloed naar eb (Figuur 3.10).



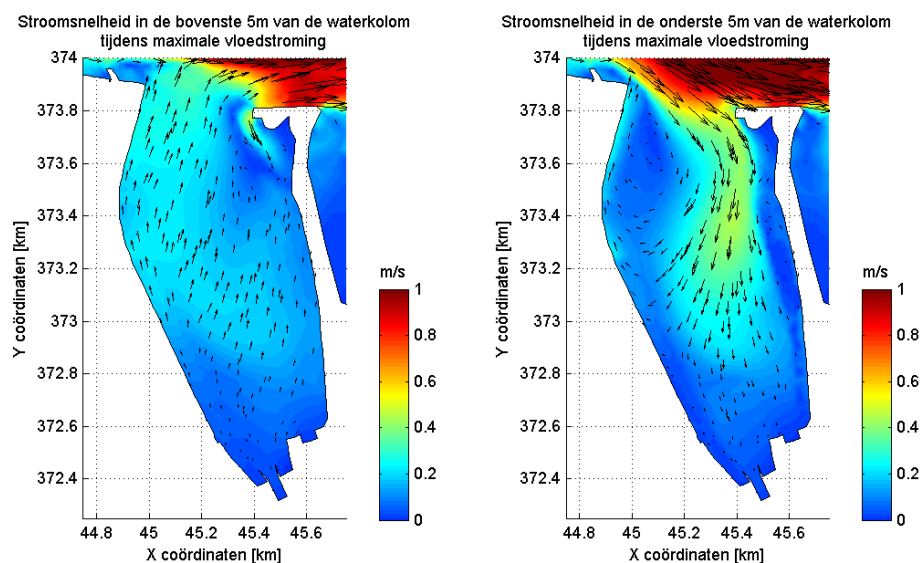
Figuur 3.6: Modelbodem van het FINEL3D model ter plaatse van de Westbuitenhaven van Terneuzen voor de voorkeursvariant zonder spuumiddel.



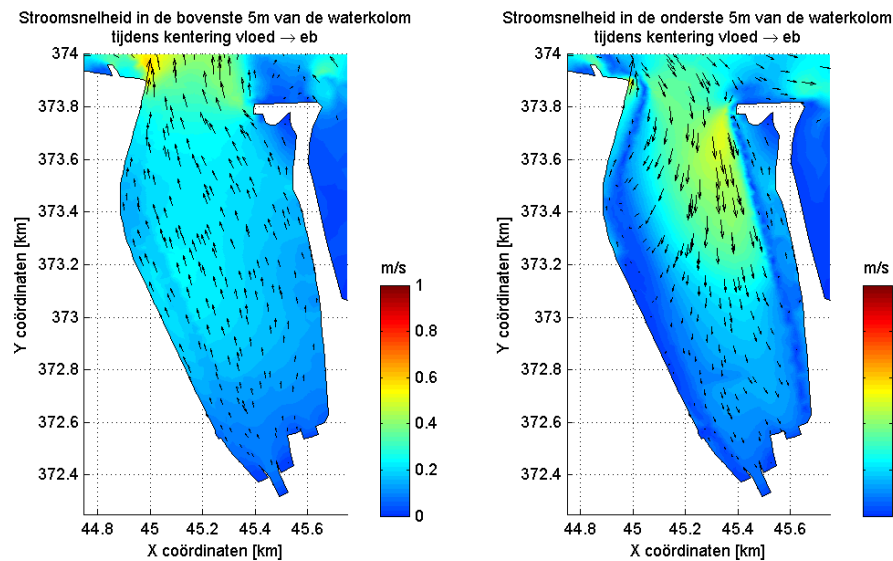
Figuur 3.7: Stroomsnelheid in het geval van de voorkeursvariant zonder spuumiddel tijdens maximale ebstroming boven- en onderin de waterkolom.



Figuur 3.8: Stroomsnelheid in het geval van de voorkeursvariant zonder spuimiddel tijdens de kentering van eb naar vloed boven- en onderin de waterkolom.



Figuur 3.9: Stroomsnelheid in het geval van de voorkeursvariant zonder spuimiddel tijdens maximale vloedstroming boven- en onderin de waterkolom.

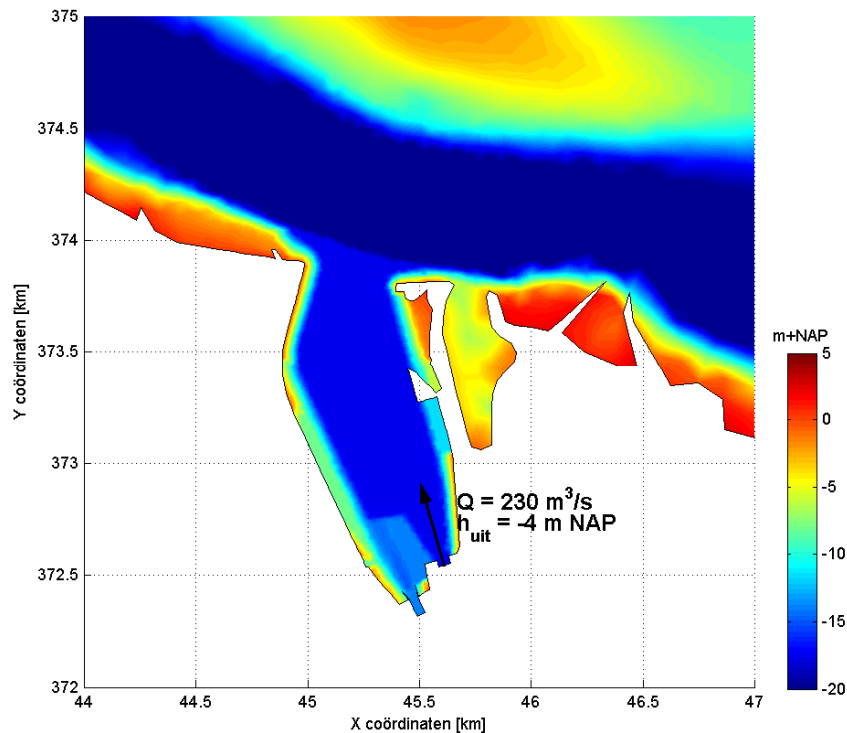


Figuur 3.10: Stroomsnelheid in het geval van de voorkeursvariant zonder spuumiddel tijdens de kentering van vloed naar eb boven- en onderin de waterkolom.

3.4 C. Voorkeursvariant met spuien via de Nieuwe Sluis

Naast een variant zonder spuien, is het ook mogelijk om te spuien via de aanwezige sluizen. Ook het spuien via een van de sluizen beïnvloedt de stroming in de Westbuitenhaven, en kan hinder voor de scheepvaart veroorzaken. Wanneer er gespuid wordt via de Nieuwe Sluis, kan bijvoorbeeld het veilig benaderen van de naastgelegen Westsluis in het geding komen en vice versa. Om te onderzoeken wat de stroomsnelheden in de haven zijn wanneer er gespuid wordt via de Nieuwe Sluis, wordt de stroming in het geval van de voorkeursvariant met een maximaal spuidebiet van $230 \text{ m}^3/\text{s}$ met het FINEL3D model berekend.

Het spuidebiet wordt gemodelleerd door het toepassen van een puntbron op de hoogte waar de kleppen in de sluis gepland zijn, op -4 m NAP. Het spuiwater is zoeter dan het water in de haven, en heeft een PSU-waarde van 5. Omdat de gradiënten in de stroming tijdens spuien naar verwachting hoog zijn, is het modelrooster ter plaatse van het spuumiddel verfijnd. Voor de geometrie en bijbehorende bodemligging wordt verwezen naar Figuur 3.11. Ook voor deze berekening is met TUDflow3D berekeningen voor het gebied rondom de sluis gecontroleerd of de resulterende stroming uit de FINEL3D berekeningen correct is, en is het FINEL3D model voldoende accuraat om het effect van spuien op de stroming in de haven te berekenen.

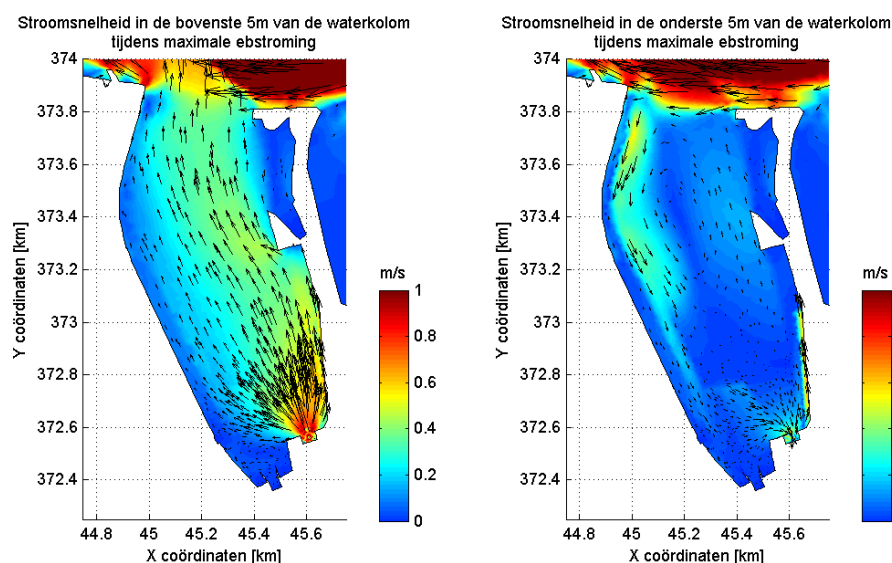


Figuur 3.11: Modelbodem van het FINEL3D model ter plaatse van de Westbuitenhaven van Terneuzen voor de voorkeursvariant. De pijl geeft de locatie en richting van het spuidebiet uit de Nieuwe Sluis aan.

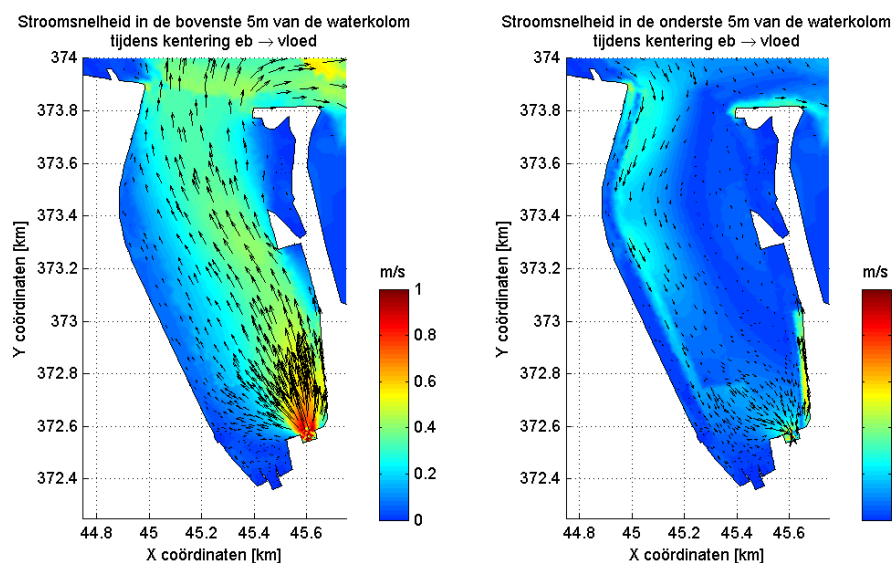
De modelresultaten worden getoond in Figuur 3.12 tot en met Figuur 3.15, waarin de stroomsnelheden gemiddeld over de bovenste en onderste vijf meter van de waterkolom worden gepresenteerd. De figuren tonen de stroomsnelheid en richting tijdens maximale ebstroming (Figuur 3.12), de kentering van eb naar vloed (Figuur 3.13), maximale vloedstroming (Figuur 3.14) en de kentering van vloed naar eb (Figuur 3.15).

In de figuren is te zien dat de spuistroming de oppervlaktestroming domineert. In alle fasen van het getij is in de gehele haven een uitgaande stroming zichtbaar, met snelheden van 0,4 m/s tot 0,5 m/s. Langs de vaarroute naar de Westsluis kan scheepvaart een dwarsstroming van maximaal 0,25 m/s ervaren. De stroomsnelheden zijn tijdens vloed wat hoger dan tijdens eb. De modeluitkomsten tonen dat het zoetere spuiwater zich naar het oppervlak verplaatst en als relatief dunne laag aan het oppervlak uitstroomt. Tijdens eb en de kentering na eb zijn de stroomsnelheden aan de bodem laag, en tijdens vloed en de kentering na vloed zijn de snelheden van de inkomende stroming aanzienlijk. Omdat tijdens vloed de waterspiegel in de haven stijgt, en er aan het oppervlakte uitstroming plaatsvindt als gevolg van spuien, wordt de aanvoer van water volledig via de bodem gestuurd.

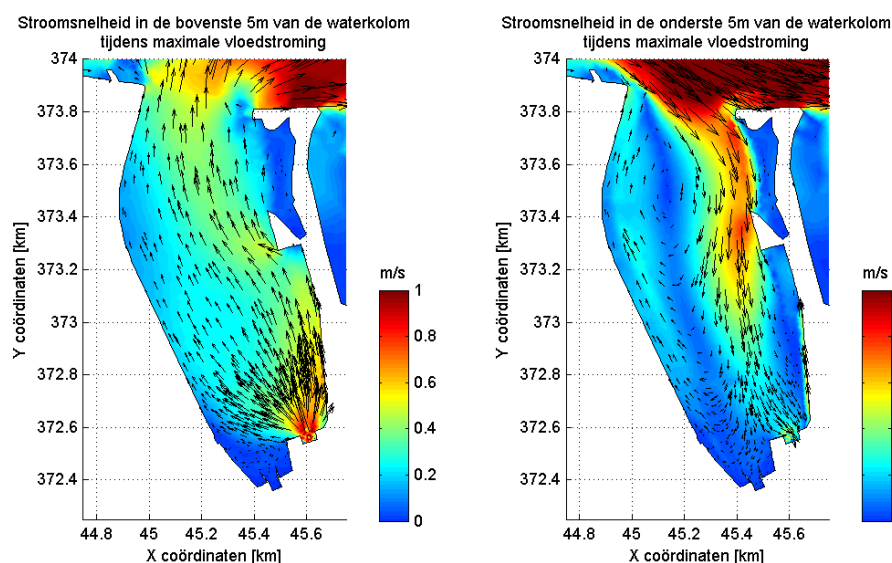
Ook hier geldt dat in het model gedurende de hele tijdsyclus een constant spuidebiet van $230 \text{ m}^3/\text{s}$ is opgelegd. In werkelijkheid is het spuidebiet afhankelijk van de buitenwaterstand en enkel bij laag water $230 \text{ m}^3/\text{s}$. Bij hoog water is het spuidebiet zelfs $0 \text{ m}^3/\text{s}$. De resultaten bij hoogwater zijn daarmee niet representatief voor de werkelijke situatie.



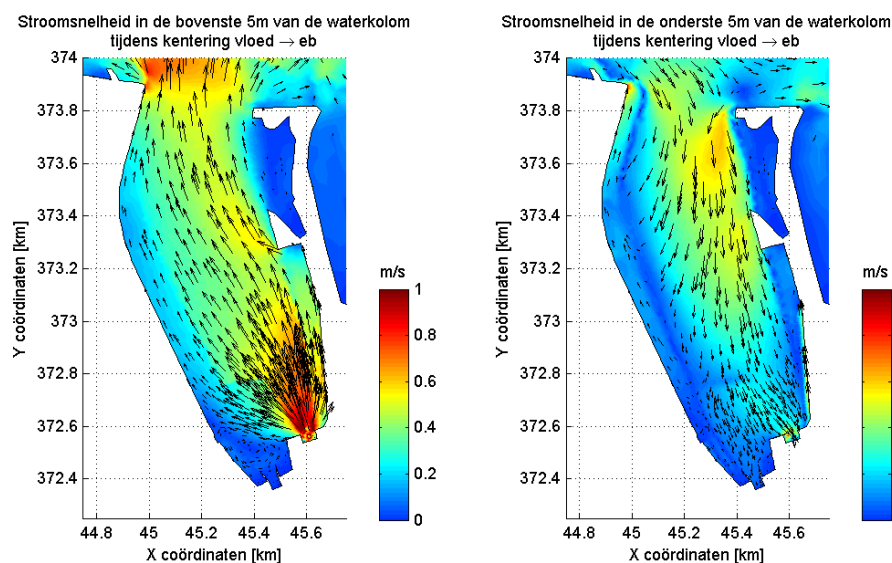
Figuur 3.12: Stroomsnelheid in het geval van de voorkeursvariant met spuien van $230 \text{ m}^3/\text{s}$ via de Nieuwe Sluis tijdens maximale ebstroming boven- en onderin de waterkolom.



Figuur 3.13: Stroomsnelheid in het geval van de voorkeursvariant met spuien van $230 \text{ m}^3/\text{s}$ via de Nieuwe Sluis tijdens de kentering van eb naar vloed boven- en onderin de waterkolom.



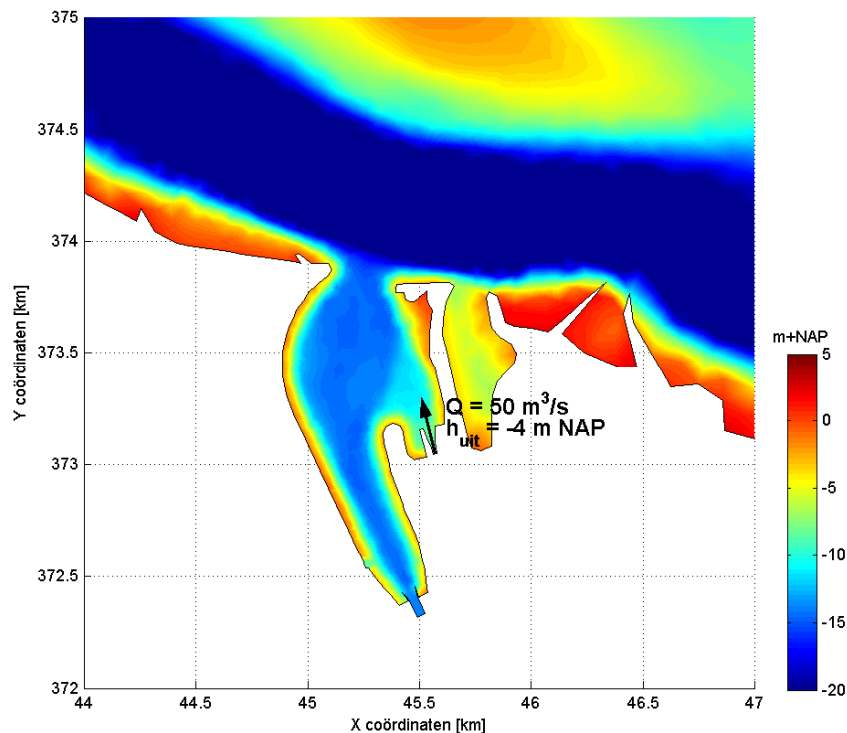
Figuur 3.14: Stroomsnelheid in het geval van de voorkeursvariant met spuien van $230 \text{ m}^3/\text{s}$ via de Nieuwe Sluis tijdens maximale vloedstroming boven- en onderin de waterkolom.



Figuur 3.15: Stroomsnelheid in het geval van de voorkeursvariant met spuien van $230 \text{ m}^3/\text{s}$ via de Nieuwe Sluis tijdens de kentering van vloed naar eb boven- en onderin de waterkolom.

3.5 D. Referentiesituatie met spuien via de Middensluis

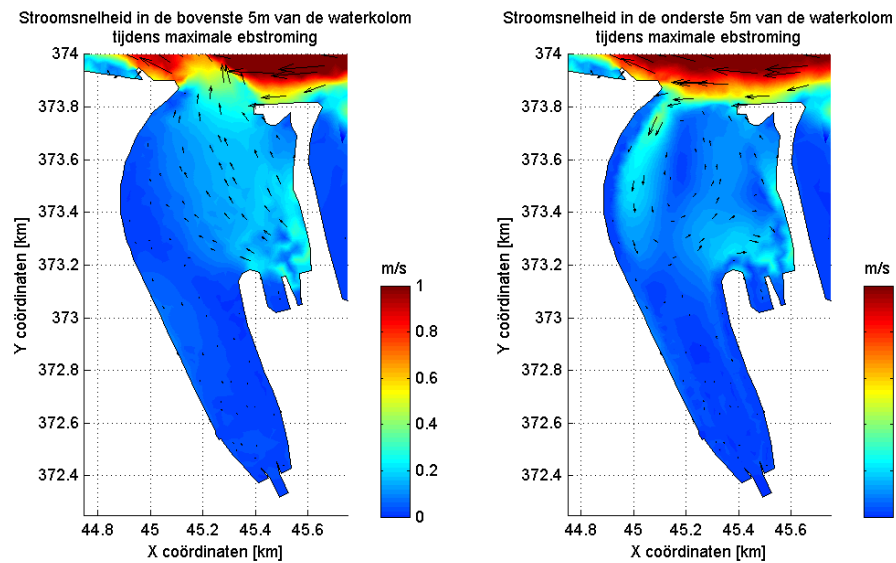
Om te onderzoeken in hoeverre spuien de sedimentatie in de Westbuitenhaven beïnvloedt is de referentiesituatie doorgerekend met een jaargemiddeld spuidebiet van $50 \text{ m}^3/\text{s}$ via de Middensluis. Het spuidebiet wordt gemodelleerd door het toepassen van een puntbron op -4 m NAP. Het spuiwater is zoeter dan het water in de haven, en heeft een PSU-waarde van 5. Er is gebruik gemaakt van hetzelfde rooster als in scenario A. Voor de geometrie en bijbehorende bodemligging wordt verwezen naar Figuur 3.16.



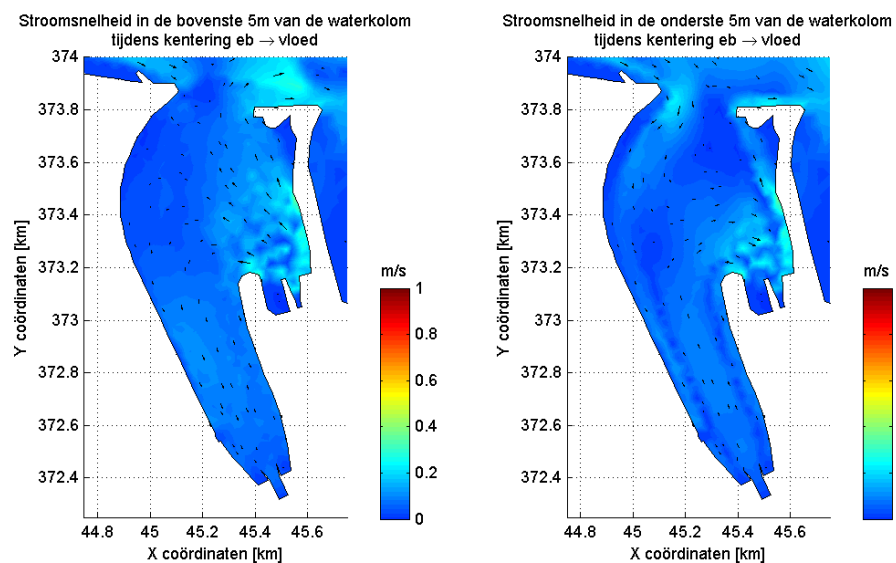
Figuur 3.16: Modelbodem van het FINEL3D model ter plaatse van de Westbuitenhaven van Terneuzen voor de referentiesituatie. De pijl geeft de locatie en richting van het spuidebiet uit de Middensluis aan.

De modelresultaten worden getoond in Figuur 3.17 tot en met Figuur 3.20, waarin de stroomsnelheden gemiddeld over de bovenste en onderste vijf meter van de waterkolom worden gepresenteerd. De figuren tonen de stroomsnelheid en richting tijdens maximale ebstroming (Figuur 3.17), de kentering van eb naar vloed (Figuur 3.18), maximale vloedstroming (Figuur 3.19) en de kentering van vloed naar eb (Figuur 3.20).

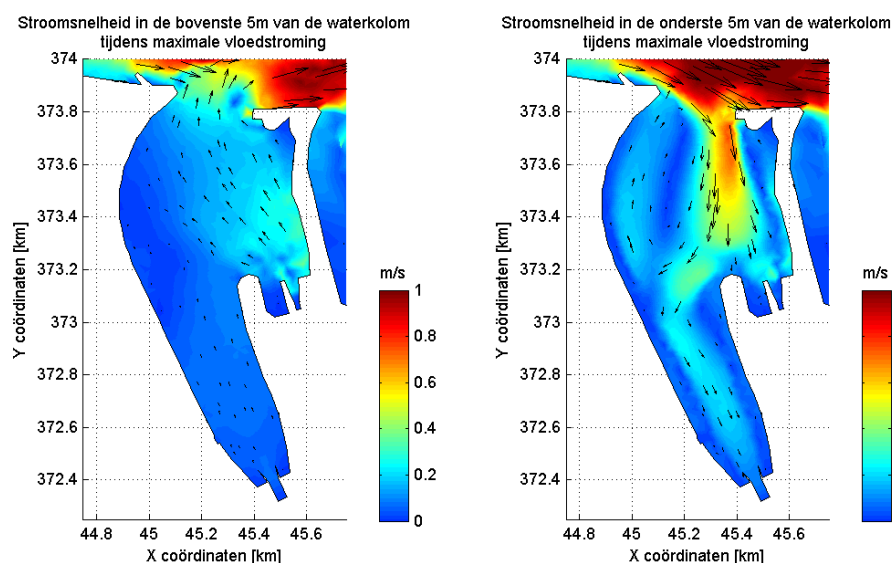
Als gevolg van het spuien vindt er aan het oppervlak in alle fasen van het getij uitstroming plaats, doordat het zoete spuiwater over het zoutere havenwater heen stroomt. De bijbehorende stroomsnelheden zijn echter beperkt. De stroming in het onderste deel van de waterkolom wordt nauwelijks beïnvloed.



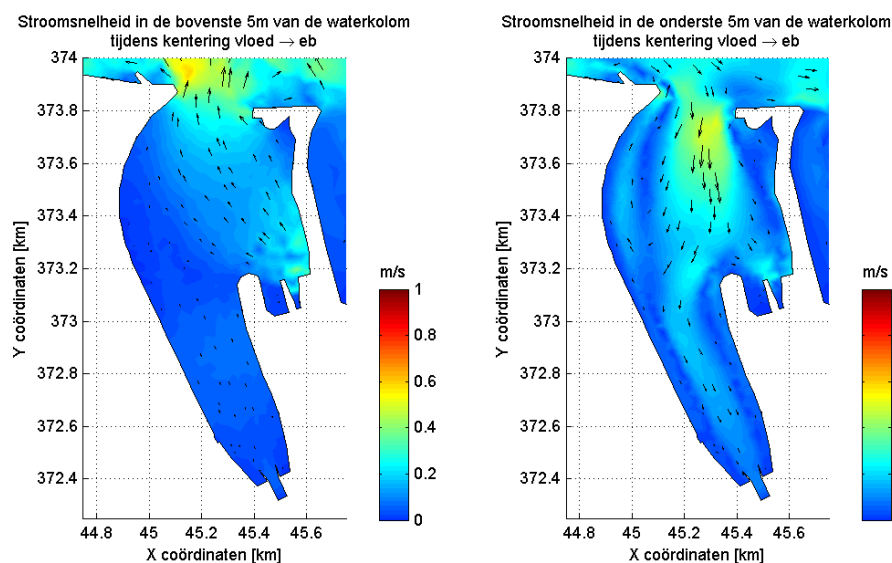
Figuur 3.17: Stroomsnelheid voor de referentiesituatie met spuien van $50 \text{ m}^3/\text{s}$ via de Middensluis tijdens maximale ebstroming boven- en onderin de waterkolom.



Figuur 3.18: Stroomsnelheid voor de referentiesituatie met spuien van $50 \text{ m}^3/\text{s}$ via de Middensluis tijdens kentering van eb naar vloed boven- en onderin de waterkolom.



Figuur 3.19: Stroomsnelheid voor de referentiesituatie met spuien van $50 \text{ m}^3/\text{s}$ via de Middensluis tijdens maximale vloedstroming boven- en onderin de waterkolom.



Figuur 3.20: Stroomsnelheid voor de referentiesituatie met spuien van $50 \text{ m}^3/\text{s}$ via de Middensluis tijdens kentering van vloed naar eb boven- en onderin de waterkolom.

3.6 Conclusies

Aan de hand van de FINEL3D modelberekeningen kan worden gesteld dat er sprake is van meerdere mechanismen die de stroming in de monding van de Westbuitenhaven bepalen:

- **Getijdestroming:** de waterstand in de Westbuitenhaven volgt de waterstand in de Westerschelde. Dit proces blijkt voornamelijk dominant in het bovenste deel van de waterkolom. Tijdens vloed stroomt er water de Westbuitenhaven in en stijgt de waterspiegel. Tijdens eb stroomt er water de Westbuitenhaven uit en daalt de waterspiegel.
- **Dichtheidsstroming:** water met een hoge dichtheid stroomt naar plaatsen met water met een lage dichtheid. Dit proces is voornamelijk dominant in het onderste deel van de waterkolom. Tijdens de eerste helft van de eb is de dichtheid in de Westerschelde hoger dan de dichtheid in de Westbuitenhaven, en is de stroming de haven in gericht. Tijdens het eerste deel van de vloed is de dichtheid in de Westbuitenhaven hoger dan in de Westerschelde, en is de stroming de haven uit gericht.

In de voorkeursvariant (VKV), waarbij de havenmond verbreedt en de haven verdiept is, neemt de dichtheidsstroming een meer prominente rol in dan in de referentiesituatie het geval is. Zowel boven als onderin de waterkolom zijn de stroomsnelheden in de voorkeursvariant hoger dan in de referentiesituatie. Dit gaat op voor alle fasen van het getij. De voorkeursvariant met en zonder spuimiddel zijn wat dit betreft niet onderscheidend.

Spuien van overtollig (zoet) water via de Nieuwe Sluis heeft een uit de haven gerichte stroming aan het oppervlak tot gevolg. Het zoete spuiwater stroomt als een relatief dunne laag over het zoutere water in de haven heen. Dit is onafhankelijk van de diepte waarop het spuiwater de haven inkomt.

4 ANALYSE SEDIMENTATIE

In eerdere fasen van de MER van de Nieuwe Zeesluis is voor het uitrekenen van het toekomstige baggerbezwaar van de Westbuitenhaven uitgegaan van een 2D benadering. Op basis van deze berekeningen en een *expert judgement* werd het verwachte jaarlijks baggervolume geschat op 700 duizend m³/jaar voor de voorkeurvariant (VKV), in vergelijking met het huidige gemiddelde van 440 duizend m³/jaar. De 2D aanpak kwam voort uit de overweging dat door de relatieve ondiepte van de Westbuitenhaven ten opzichte van de Westerschelde, dichtheidstroming van ondergeschikt belang is. Doordat in geval van de Nieuwe Zeesluis de WBH significant dieper wordt is het mogelijk dat dichtheidstroming toch een belangrijkere rol gaat spelen.

In dit hoofdstuk wordt het belang van dichtheidstroming voor het baggerbezwaar geschat op basis van een tweetal kentallen, welke worden gebruikt om een verbeterde inschatting van het verwachte jaarlijkse baggerbezwaar voor de VKV te maken.

4.1 Definitie uitwisselingskengetal en toenamekengetal

De waterstand in de Westbuitenhaven volgt de waterstand in de Westerschelde. Om de waterstand in de Westbuitenhaven gelijk te houden aan die in de Westerschelde stroomt elke getijcyclus water de haven in en weer uit. Het volume water dat benodigd is om de waterstand in de Westerschelde te kunnen volgen is het kombergingsvolume. In werkelijkheid spelen andere processen echter ook vaak een rol, en is het volume water dat tijdens een getijcyclus de haven in en uit stroomt, het uitwisselingsvolume, groter dan het kombergingsvolume. Een voorbeeld hiervan is neerstroming. Wanneer er een neer in de haveningang draait, stroomt er aan de ene kant van de ingang water de haven in, en aan de andere kant van de ingang water uit.

De wateruitwisseling in de Westbuitenhaven is van belang omdat het water van de Westerschelde sediment de haven in transporteert. Hoe hoger de wateruitwisseling, hoe hoger de sedimentaanvoer en hoe hoger de aanslibbing in de haven. Omdat het sedimenttransport en de wateruitwisseling aan elkaar gekoppeld zijn, kan de verhouding tussen het kombergingsvolume en het werkelijke uitwisselingsvolume worden gebruikt als maat voor het sedimenttransport de haven in. Wanneer deze verhouding voor de verschillende scenario's bepaald worden, kan het effect van de ingreep op het uitwisselingsvolume en daarmee de sedimentatie in de haven worden bepaald.

De komberging van de haven, ofwel de hoeveelheid water die elk getij de haven in en uit stroomt om waterbeweging op de Westerschelde te volgen, is gelijk aan het verschil tussen de laagwaterstand en hoogwaterstand, vermenigvuldigd met het oppervlak van de haven:

$$V_{\text{komberging}} = dh * A_{\text{komberging}}$$

In bovenstaande formulering wordt er van uitgegaan dat tijdens vloed het water over de gehele dwarsdoorsnede van de haveningang instroomt en dat het water tijdens eb over de gehele dwarsdoorsnede van de haveningang uitstroomt.

Tijdens bijvoorbeeld neerstroming is er sprake van instroming en uitstroming tegelijk. Wanneer het netto volume door de ingang wordt bepaald door het instroomvolume en uitstroomvolume bij elkaar op te tellen, is dit gelijk aan $V_{\text{komberging}}$. Immers, de waterstand in de haven volgt nog steeds de waterstand in de Westerschelde.

$$V_{\text{netto}} = V_{\text{komberging}} = \frac{V_{\text{in}} + V_{\text{uit}}}{2}$$

De totale wateruitwisseling in de haven is echter veel hoger dan $V_{komberging}$:

$$V_{uitwisseling} = \frac{|V_{in}| + |V_{uit}|}{2}$$

De verhouding r_V tussen het kombergingsvolume $V_{komberging}$ en het werkelijke uitwisselingsvolume $V_{uitwisseling}$ wordt gebruikt om te bepalen hoe belangrijk driedimensionale effecten zoals dichtheidsstroming op de haven zijn:

$$r_V = \frac{V_{uitwisseling}}{V_{komberging}}$$

Hoe groter de waarde van r_V is, hoe meer water er de haven in getransporteerd wordt. Wanneer de waarde van het kengetal bijvoorbeeld 5 bedraagt, vindt er vijf keer meer wateruitwisseling in de haven plaats dan voor komberging strikt noodzakelijk is. De laagste waarde die r_V kan bereiken is gelijk aan 1. De werkelijke uitwisseling en de minimale uitwisseling benodigd voor komberging zijn in dat geval aan elkaar gelijk.

Om het effect van de verschillende ingrepen op de driedimensionaliteit in de haven te onderzoeken, zal de waarde van r_V in de volgende paragrafen voor verschillende modelberekeningen worden vergeleken met de waarde van r_V van de referentiesituatie.

Wanneer een ontwerpvariant een waarde van r_V lager dan de waarde van r_V van de referentiesituatie heeft, hebben de aanpassingen in de geometrie waarschijnlijk een positief effect op de driedimensionaliteit, dat wil zeggen, de hoeveelheid water die als gevolg van bijvoorbeeld dichtheidseffecten in verhouding bovenop de komberging de haven in getransporteerd wordt, neemt af. Dit is vervolgens gunstig voor het sedimenttransport de haven in. Levert een ontwerpscenario juist een hogere r_V , dan heeft de gewijzigde geometrie een negatief effect op de driedimensionale stroming in de haven.

Naast het uitwisselingskengetal r_V wordt een tweede kengetal gedefinieerd, het toenamekengetal r_T . Dit toenamekengetal geeft de verhouding tussen de totale wateruitwisseling in de referentiesituatie en verschillende scenario's:

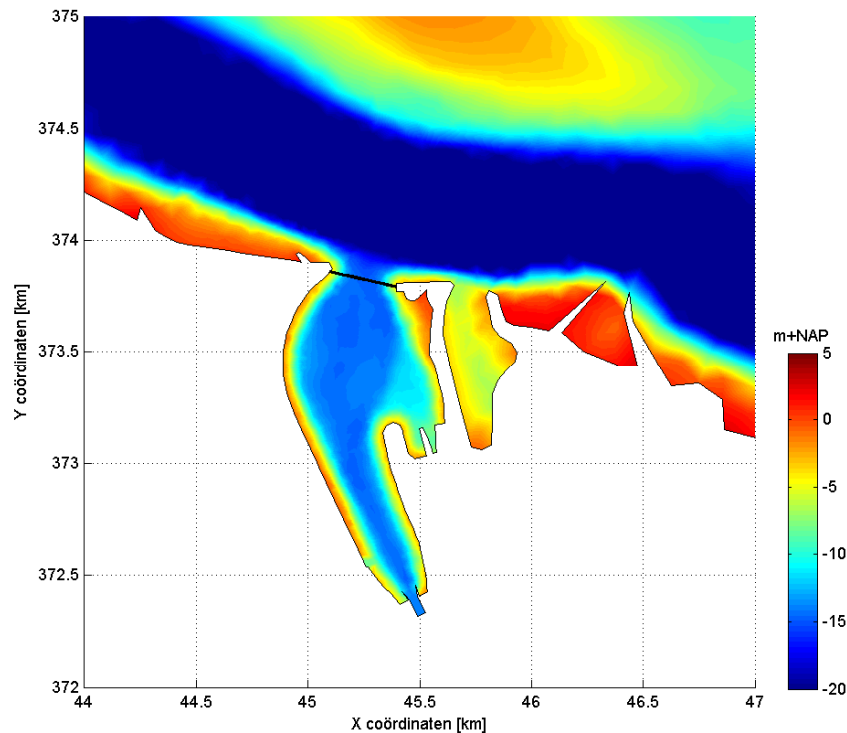
$$r_T = \frac{V_{uitwisseling,scenario}}{V_{uitwisseling,ref}}$$

Omdat wateruitwisseling en sedimentatie gerelateerd zijn, wordt het toenamekengetal gebruikt om een indicatie te geven van het effect van de ingrepen in de haven op de sedimentatie. Wanneer de waarde van r_T hoger is dan 1, dan leidt de ingreep tot meer sedimentatie in de haven. In de waarde van r_T kleiner dan 1, dan leidt de ingreep juist tot minder sedimentatie in de haven.

4.2 A. Kengetallen voor de referentiesituatie

Het uitwisselingskengetal voor de Westbuitenhaven wordt bepaald aan de hand van het debiet door de monding van de haven. De doorsnede waardoor het debiet in de referentiesituatie bepaald wordt is weergegeven in Figuur 4.1.

In de referentiesituatie treden verschillende stromingsverschijnselen op, waaronder horizontale neerstroming als gevolg van de havengeometrie, en dichtheidsstroming als gevolg van natuurlijke dichtheidsverschillen in de Westerschelde. In een getijcyclus zijn er daardoor meerdere momenten waarop instroming en uitstroming tegelijk optreedt. De waarde van uitwisselingskengetal r_V is daardoor groter dan 1. Voor de referentiesituatie bedraagt r_V 3,5, wat inhoudt dat de wateruitwisseling in de haven 3,5 keer groter is dan voor komberging strikt noodzakelijk.



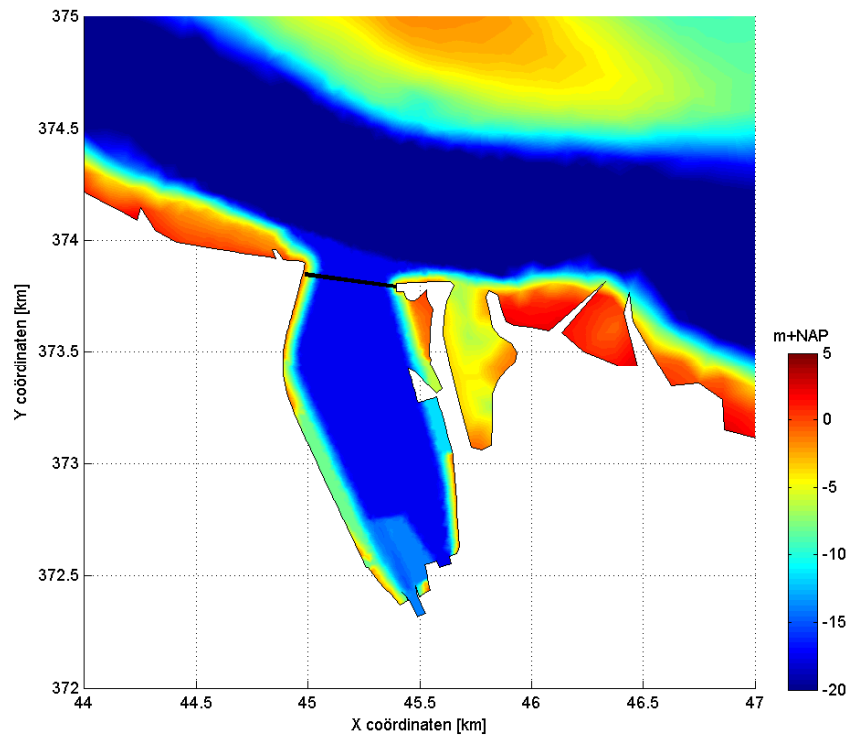
Figuur 4.1: Modelbodem van het FINEL3D model ter plaatse van de Westbuitenhaven van Terneuzen voor de referentiesituatie. De doorsnede waardoor het debiet van de haven bepaald wordt is weergegeven met een zwarte lijn in de havenmonding.

4.3 B. Kengetallen voor de voorkeursvariant

Het uitwisselingskengetal en toenamekengetal voor de Westbuitenhaven wordt ook voor de voorkeursvariant bepaald aan de hand van het debiet door de monding van de haven. In de voorkeursvariant is deze monding breder dan in de referentiesituatie. De doorsnede waardoor het debiet in de voorkeursvariant bepaald wordt is weergegeven in Figuur 4.2.

Net als in de referentiesituatie treden bij de voorkeursvariant verschillende stromingsverschijnselen, zoals dichtheidsstroming op, waardoor er in een getijcyclus momenten zijn waarop instroming en uitstroming tegelijk opreden en de waarde van uitwisselingskengetal r_v daardoor groter dan 1 is. Voor de voorkeursvariant bedraagt r_v 6,7, wat inhoudt dat de wateruitwisseling in de haven 6,7 keer groter is dan voor komberging strikt noodzakelijk. Dit is bijna een verdubbeling ten opzichte van het uitwisselingskengetal in de referentiesituatie. Deze toename wordt veroorzaakt door een versterking van de dichtheidsstroming in de haven, zie paragraaf **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden..**

Het toenamekengetal, de verhouding tussen de wateruitwisseling in de referentiesituatie en de ontwerpvariant, bedraagt voor de voorkeursvariant 2,3. Dit houdt in dat de totale wateruitwisseling tussen de Westerschelde en de Westbuitenhaven in de voorkeursvariant 2,3 keer zo hoog is. Omdat water sediment transporteert dat vervolgens in de haven kan bezinken, zijn de wateruitwisseling in de haven en de te verwachten sedimentatie in de haven gerelateerd. Doordat het toenamekengetal verdubbelt, zal de sedimentatie in haven naar verwachting ook verdubbelen.

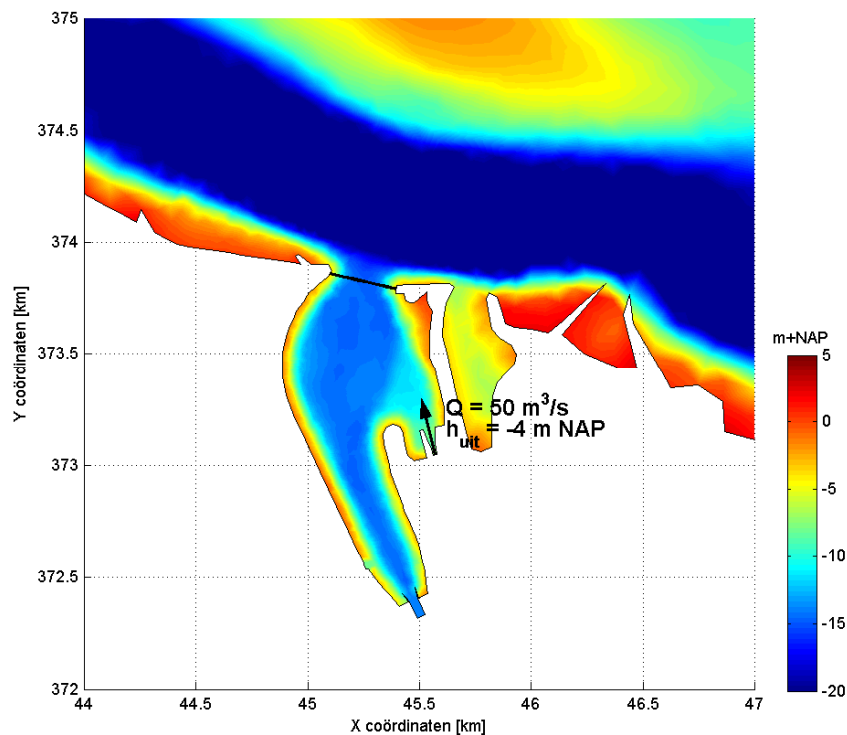


Figuur 4.2: Modelbodem van het FINEL3D model ter plaatse van de Westbuitenhaven van Terneuzen voor de voorkeursvariant. De doorsnede waardoor het debiet van de haven bepaald wordt is weergegeven met een zwarte lijn in de havenmonding.

4.4 H. Invloed van spuien op de wateruitwisseling

Om het effect van spuien op de wateruitwisseling in de haven te bepalen is het uitwisselingskengetal in de referentiesituatie bepaald voor de situatie met een jaargemiddeld spuidebiet van $50 \text{ m}^3/\text{s}$ via de Middensluis, zie Figuur 4.3.

Omdat het spuiwater significant zoeter is dan het water in de haven en Westerschelde, nemen de dichtheidsverschillen en daarmee de sterkte van de dichtheidstroming wat toe. Daardoor neemt ook het uitwisselingskengetal r_v iets toe. In de situatie met een jaargemiddeld spuidebiet bedraagt het uitwisselingskengetal 3,7, ten opzichte van 3,5 in de situatie zonder spuien. De toename is echter beperkt. Het toenamekengetal bedraagt 1,1, wat een beperkte toename van de wateruitwisseling ten opzichte van situatie zonder spuien inhoudt. Hieruit kan worden geconcludeerd dat ook het effect van spuien op de aanslibbing in de haven beperkt is.



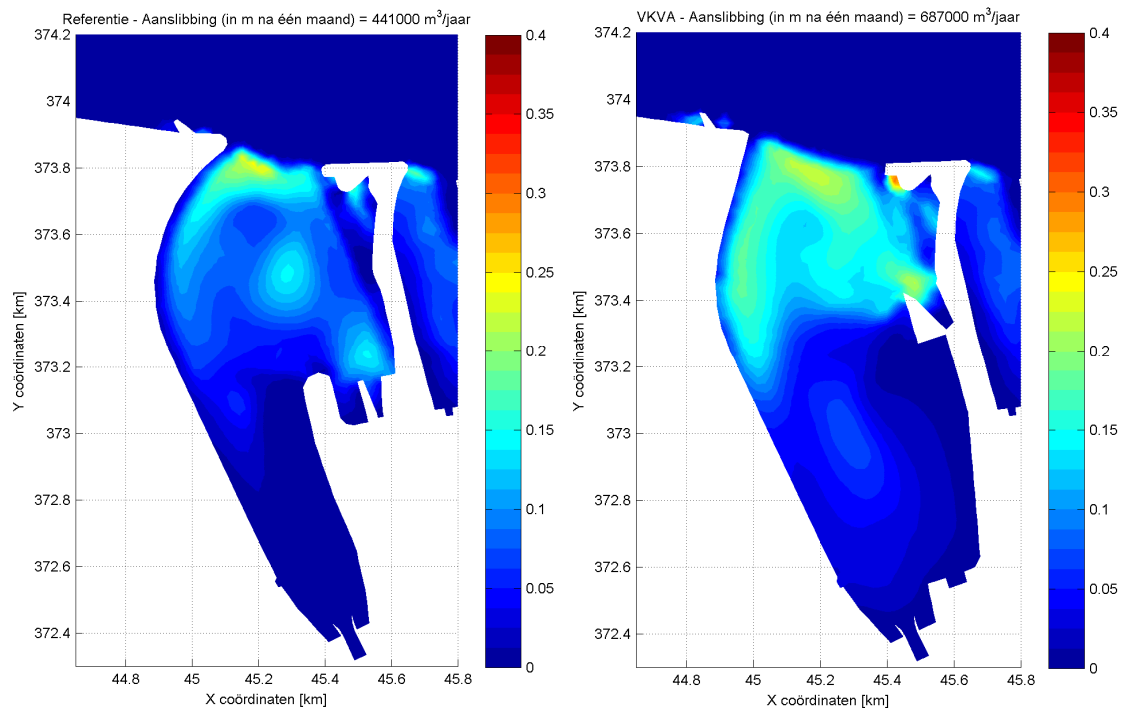
Figuur 4.3: Modelbodem van het FINEL3D model ter plaatse van de Westbuitenhaven van Terneuzen voor de referentiesituatie. De doorsnede waardoor het debiet van de haven bepaald wordt is weergegeven met een zwarte lijn in de havenmonding. In dit scenario wordt er gespuid via de Middensluis met een jaargemiddeld debiet van $50 \text{ m}^3/\text{s}$.

4.5 Vertaling resultaten naar baggerbezwaar VKV

In FINEL3D is niet met sediment gerekend. Dit is wel gedaan in het bestaande FINEL2D model. Specifiek voor dit rapport is in dit model naast de eerder uitgevoerde referentiesituatie ook het VKV doorgerekend. Voor die situatie was als eerder op basis van *expert judgement* het toekomstige baggerbezwaar geschat op $700\,000 \text{ m}^3/\text{jaar}$, uit de berekening komt $687\,000 \text{ m}^3/\text{s}$, zie Figuur 4.4.

Ook met het 2D model zijn kengetallen te bepalen. Het uitwisselingsdebiet wordt dan puur bepaald door de horizontale neer die tegelijkertijd naar binnen en naar buiten stroomt. Zoals te zien is in Tabel 4.1 neemt ook in geval van de 2D berekening het uitwisselingskengetal toe, van 1,8 tot 2,7. Wat betreft de uitwisseling van water met de Westerschelde spelen dichtheidstromen dus ook in de referentiesituatie een belangrijkere rol dan eerder gedacht.

Zoals voorspelt spelen die 3D stromingen echter een nog grotere rol bij het diepere VKV scenario. Als er dan ook wordt gekeken naar het toenamekengetal (welke iets zegt over de toename van uitwisselingsdebiet ten opzichte van de referentie) dan is deze voor de 3D simulatie significant groter dan voor 2D; 2,3 ten opzichte van 1,8.



Figuur 4.4: Baggerbezwaar zoals voorspeld door het FINEI2D model, links in geval van de referentiesituatie (eerder verschenen in MER deelrapport Bodem (VNZT-R-123)) en rechts in geval van de VKV.

Tabel 4.1: Kentallen voor 3D en 2D simulaties

	Uitwisselings- kental 3D	Toename- kental 3D	Uitwisselings- kental 2D	Toename- kental 2D	Sediments- toename 2D
Referentie	3,5	(1)	1,8	(1)	(1)
VKV	6,7	2,3	2,7	1,8	1,55

Een toename in wateruitwisseling met de Westerschelde is niet één op één te vertalen naar een toename in sedimentinvang. Hoe meer water uitgewisseld wordt, hoe meer sediment ook weer met dat water de haven verlaat. Dit is te zien als voor de 2D benadering te toename in wateruitwisseling wordt vergeleken met de toename in sedimentinvang (1,8 versus 1,55). Aan andere kant zijn er op verschillende afstanden van de bodem verschillende sedimentconcentraties en kan uitwisseling dicht bij de bodem een veel groter effect hebben dan bij het wateroppervlak.

In dit geval wordt de verhouding tussen toename in wateruitwisseling en sedimentinvang zoals die bestaat in de 2D benadering aangehouden. Dit zou betekenen dat de toename van de sedimentinvang en dus baggerbezwaar kan worden gegeven door:

$$\frac{toename_{kental_{3D}}}{toename_{kental_{2D}}} * Sedimentstoename_{2D} = 1,98$$

Het verwachte baggerbezwaar voor de VKV zoals gebaseerd op de 3D stromingssommen is zodoende $1,98 * 441.000 = 873$ duizend m³/jaar.

4.6 Conclusies sedimentatie

Door met het toenamekengetal de verhouding tussen de wateruitwisseling in de referentiesituatie en de wateruitwisseling in de verschillende scenario's te bepalen, kan voor de verschillende varianten het effect op de aanslibbing van de haven worden bepaald. Hierbij wordt er vanuit gegaan dat hoe meer wateruitwisseling er optreedt, hoe meer sediment er de haven in getransporteerd wordt en daar vervolgens kan bezinken.

De voorkeursvariant heeft een verdubbeling van het toenamekengetal tot gevolg. Om de wateruitwisseling en het sedimentatie in de haven gerelateerd zijn, houdt dit in dat de verwachte aanslibbing in de Westbuitenhaven ongeveer verdubbeld.

Het effect van spuien op de wateruitwisseling is eveneens onderzocht. Hierbij is uitgegaan van de referentiesituatie. De verhoging van het uitwisselingskengetal en toenamekengetal is beperkt, waarmee geconcludeerd kan worden dat ook het effect van spuien of de aanslibbing beperkt is.

Op basis van resultaten van het FINEL3D stromingsmodel en het FINEL2D sedimentmodel is voor de VKV een baggerbezwaar geschat van 873 duizend m³/jaar, wat ongeveer een verdubbeling is van het huidige gemiddelde baggerbezwaar van 441 duizend m³/jaar.

5

CONCLUSIES

In deze studie is een gekalibreerd en gevalideerd 3D model van de Westbuitenhaven Terneuzen opgezet. Het model kan de metingen doorgaans goed representeren. In het model lijkt de vloedstroom te ver naar binnen te stromen, daarnaast zijn stromingen kleiner dan 0,2 m/s moeilijk te vergelijken aangezien meetinstrumenten dan moeite hebben om vooral richting correct te registreren.

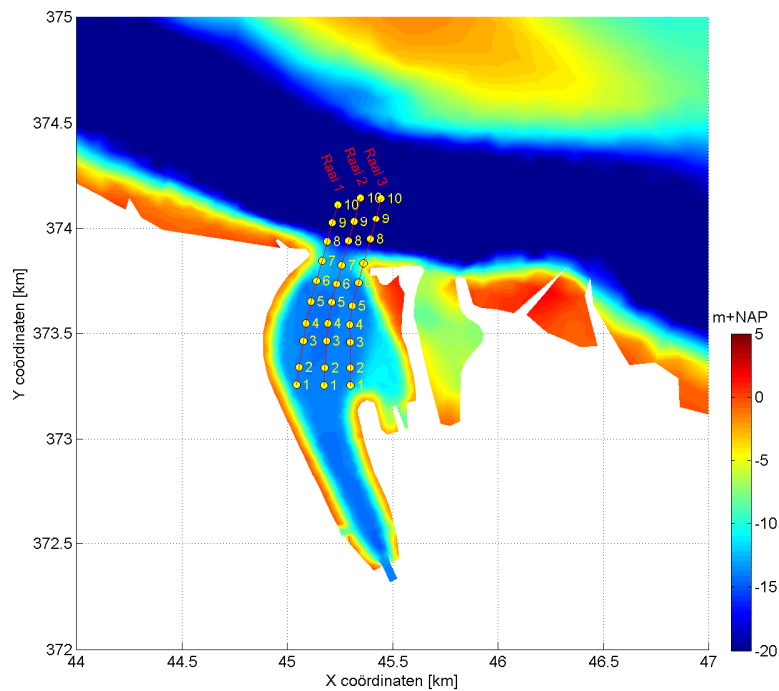
Op basis van het 3D model is vastgesteld dat dichtheidstromen zoals verwacht een grotere invloed hebben in geval van de VKV dan in de huidige (referentie) situatie. Wat ook is gebleken is dat ook in de referentiesituatie dichtheidstroming tot een grotere wateruitwisseling leiden dan tot nu toe berekend. Spuien heeft slechts een beperkt invloed op het uitwisselingsdebiet. Op basis van de bepaalde debieten en nieuwe 2D berekeningen is het baggerbezwaar in geval van de VKV geschat op 873 duizend m³/jaar.

LITERATUUR

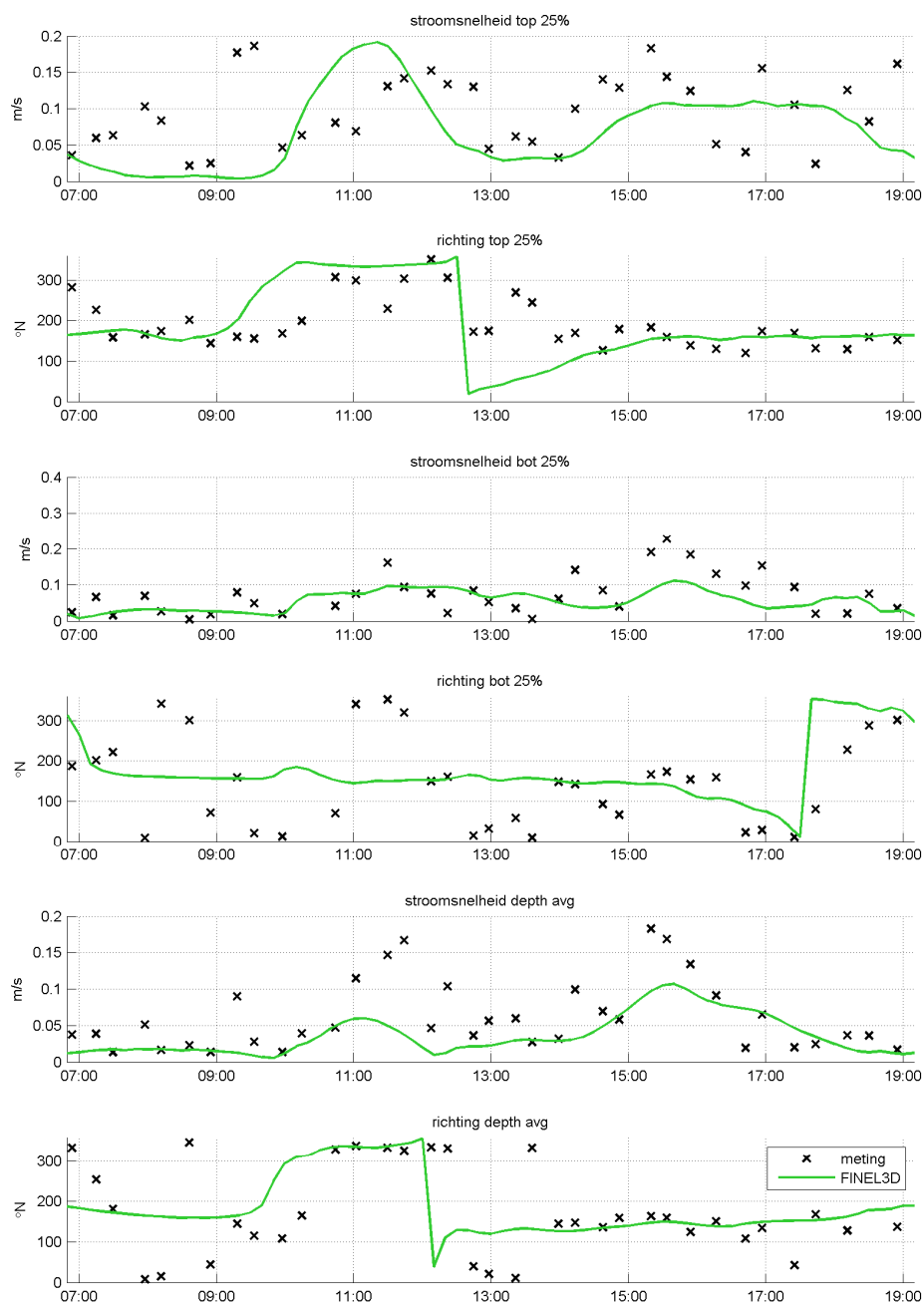
- Baggerbedrijf de Boer & van der Kamp (2011-2013). Bathymetrie Terneuzen WBH – Termijnpeiling. Als diverse pdf's en ook beschikbaar gemaakt als ascii data.
- Labeur, R.J., Wells, G.N. (2012). Energy stable and momentum conservative interface stabilised Finite Element Method for the incompressible Navier-Stokes equations. *SIAM Journal on Scientific Computing*, 34(2), A889-A913.
- Labeur, R.J. (2009). *Finite element modelling of transport and non-hydrostatic flow in environmental fluid mechanics*. Ph.D. Thesis, Delft University of Technology, Delft.
- Maximova, T., S. Ides, T. de Mulder en F. Mostaert (2009). LTV O&M thema veiligheid: deelproject 1. Verbetering hydrodynamisch NEVLA model ten behoeve van scenario-analyse. Rapport, referentie: 756_05 (Deltares/Waterbouwkundig Laboratorium).
- Rijkswaterstaat Zeeland (2011). 'Onderhoudsbaggerwerk zaaknummer 31046727. Detailkaart areaal DZL: baggerkaart. Detailblad 6/16. Datum: 21 april 2011. Tekeningnr: NZMDB 2011-0084 GG 4.1.6.

A VERGELIJKING METING EN FINEL3D

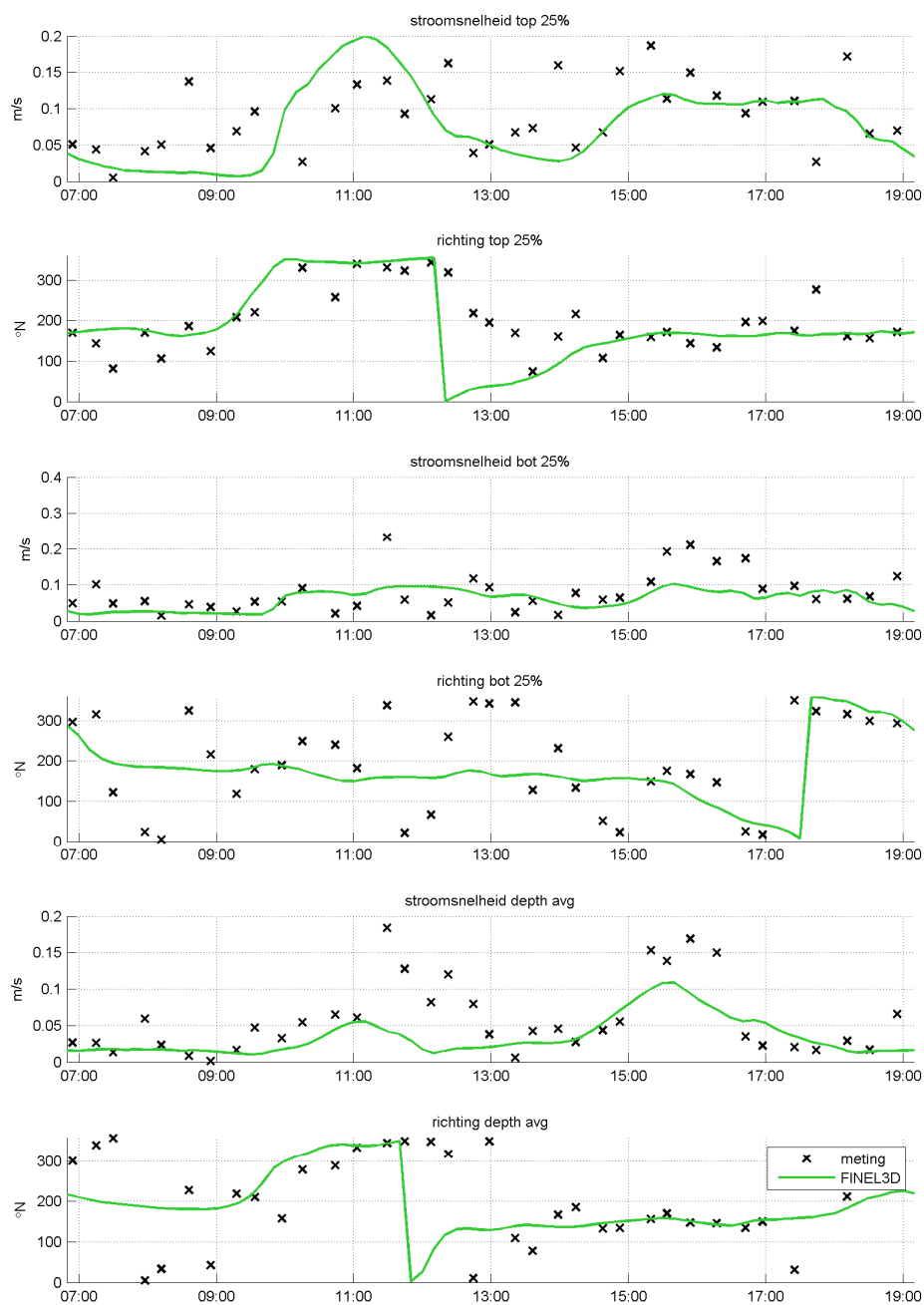
De figuren in deze bijlage tonen de vergelijking tussen de gemeten en gemodelleerde stroming in de Westbuitenhaven van Terneuzen op 21 maart 2007. De meetresultaten en modelresultaten worden op 30 punten in de haven vergeleken. De locaties van deze punten worden weergegeven in Figuur A.1. Elke figuur bestaat uit zes panelen, waarvan de bovenste twee panelen de stroomsnelheid en stroomrichting in het bovenste kwart van de waterkolom tonen, de twee middelste panelen de stroomsnelheid en stroomrichting in het onderste kwart van de waterkolom tonen en de twee onderste panelen de dieptegemiddelde stroomsnelheid en stroomrichting weergegeven.



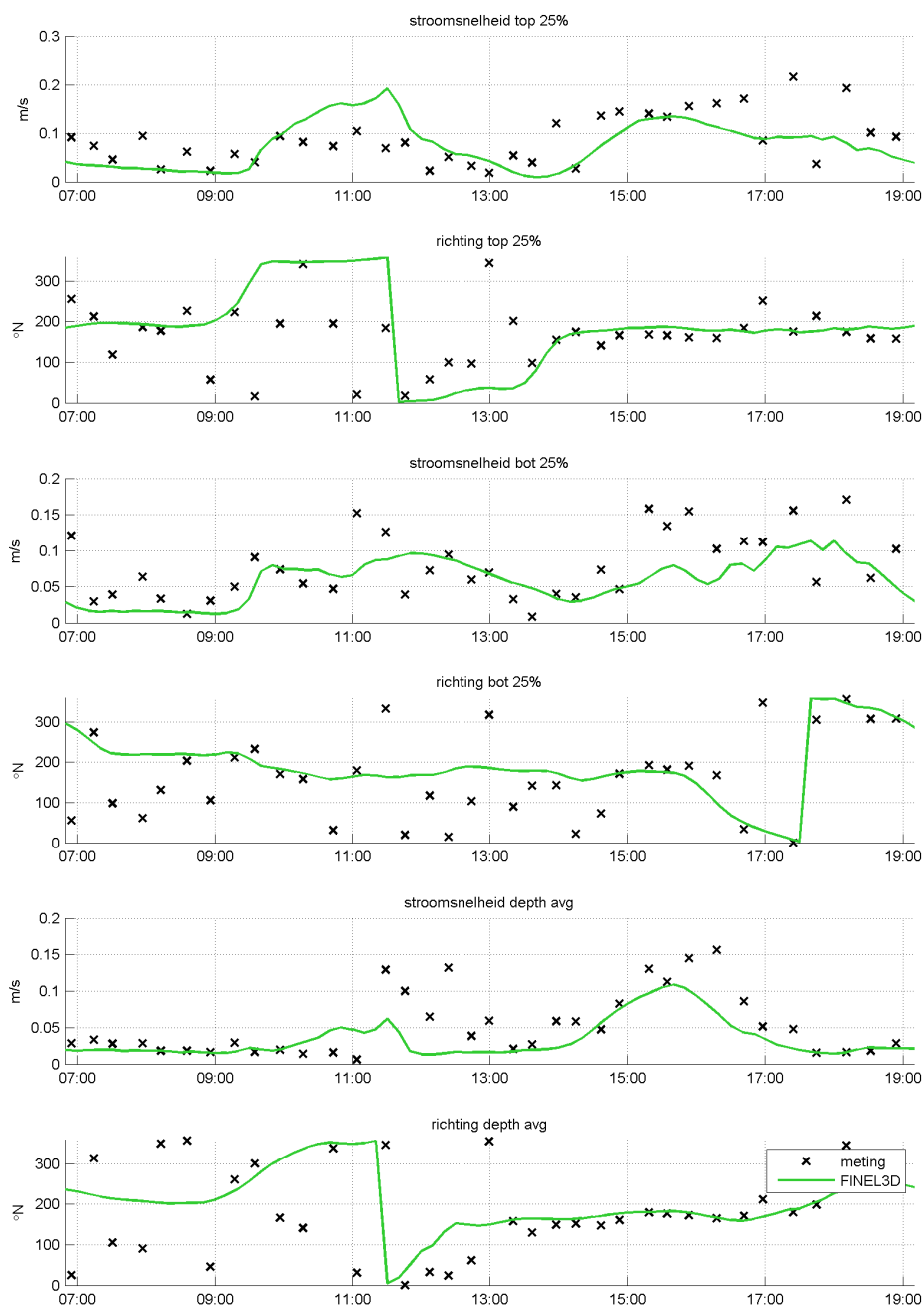
Figuur A.1: Uitvoerpunten in de modelberekening ten behoeve van de kalibratie. Op de uitvoerpunten zijn voor zowel de meet- en modelresultaten tijdreeksen opgesteld.



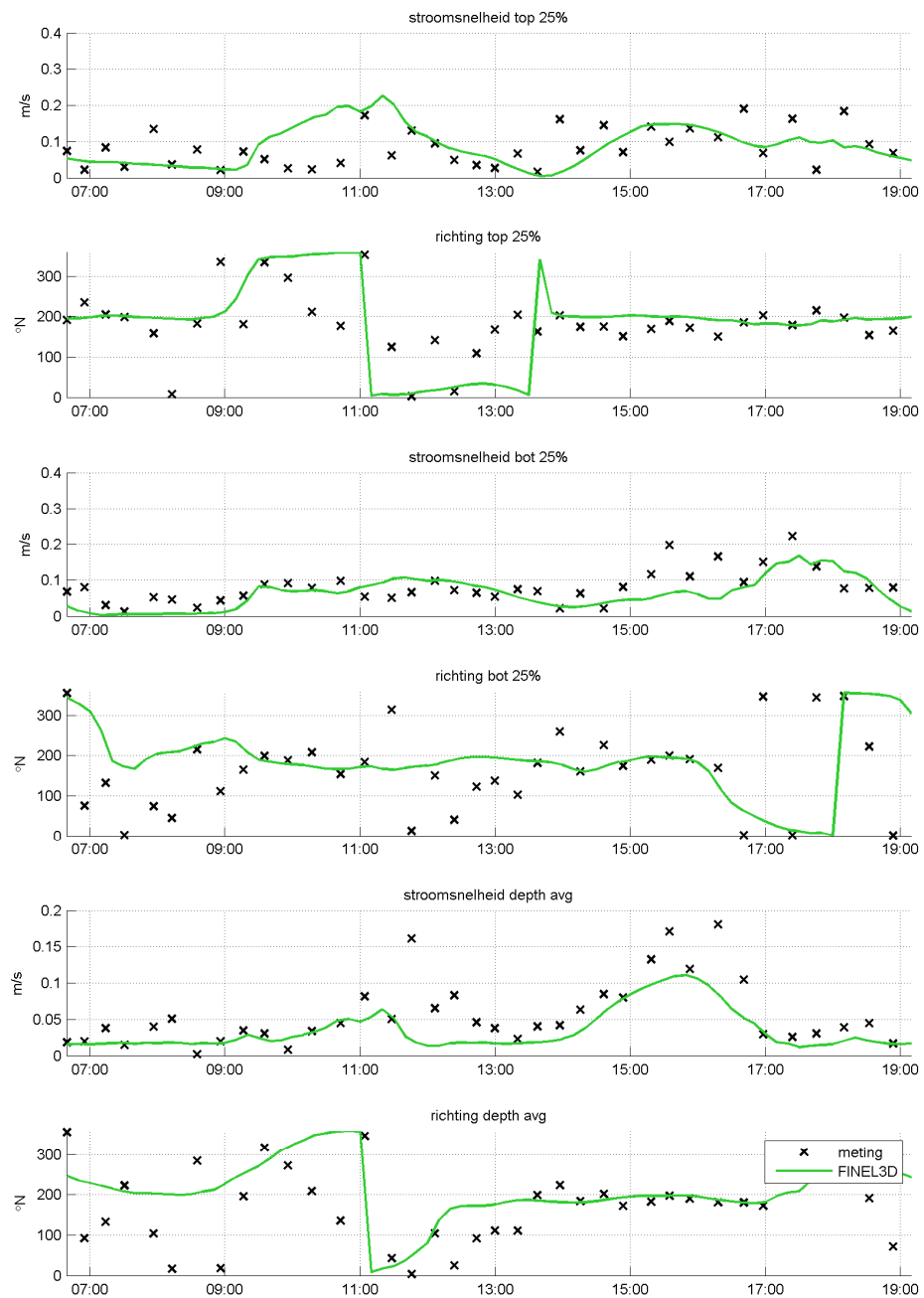
Figuur A.2: Vergelijking van de gemeten en gemodelleerde stroomsnelheid en stroomrichting op punt 1 van raai 1 in de Westbuitenhaven ten behoeve van de kalibratie van het FINEL3D model op 21 maart 2007.



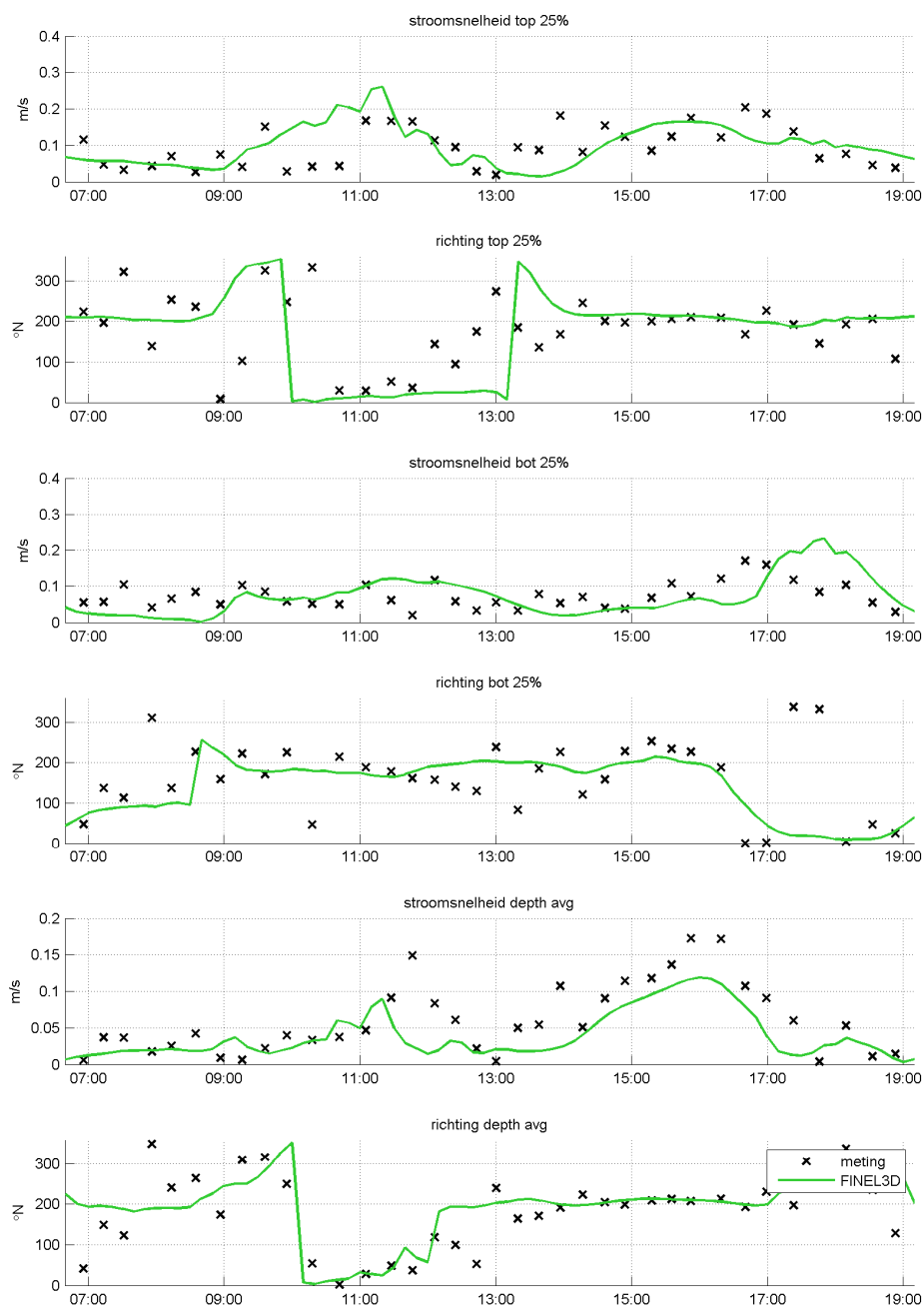
Figuur A.3: Vergelijking van de gemeten en gemodelleerde stroomsnelheid en stroomrichting op punt 2 van raai 1 in de Westbuitenhaven ten behoeve van de kalibratie van het FINEL3D model op 21 maart 2007.



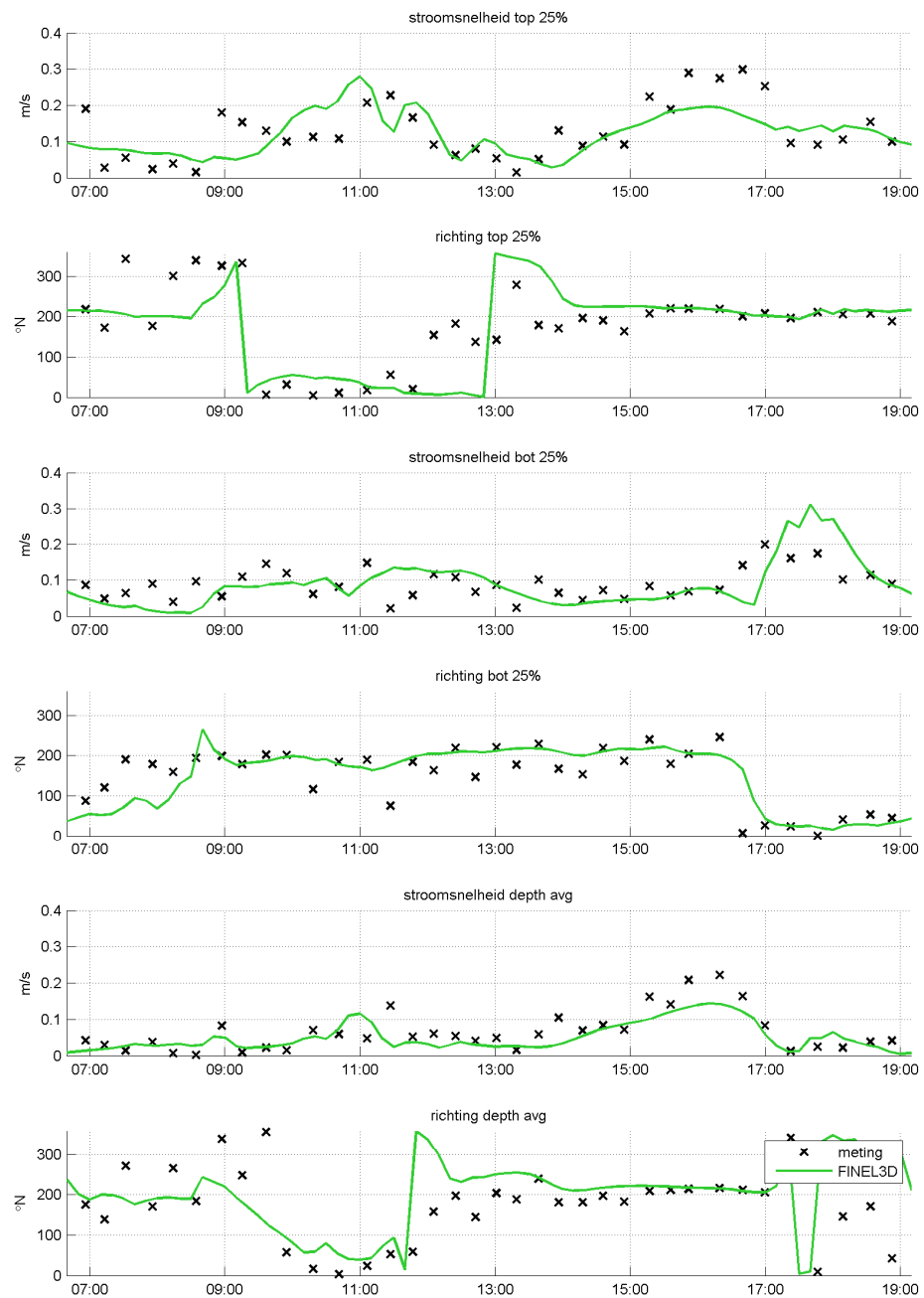
Figuur A.4: Vergelijking van de gemeten en gemodelleerde stroomsnelheid en stroomrichting op punt 3 van raai 1 in de Westbuitenhaven ten behoeve van de kalibratie van het FINEL3D model op 21 maart 2007.



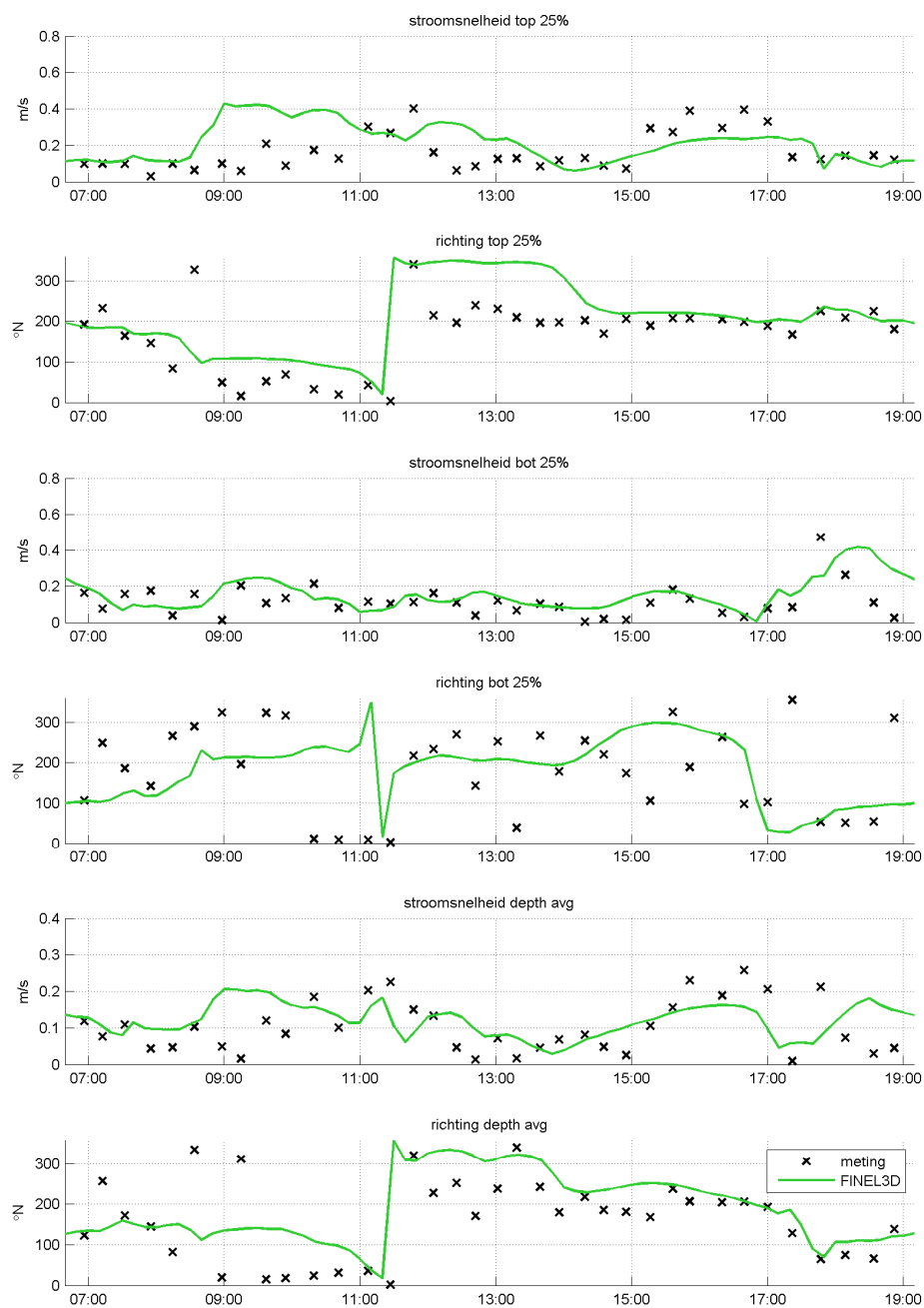
Figuur A.5: Vergelijking van de gemeten en gemodelleerde stroomsnelheid en stroomrichting op punt 4 van raai 1 in de Westbuitenhaven ten behoeve van de kalibratie van het FINEL3D model op 21 maart 2007.



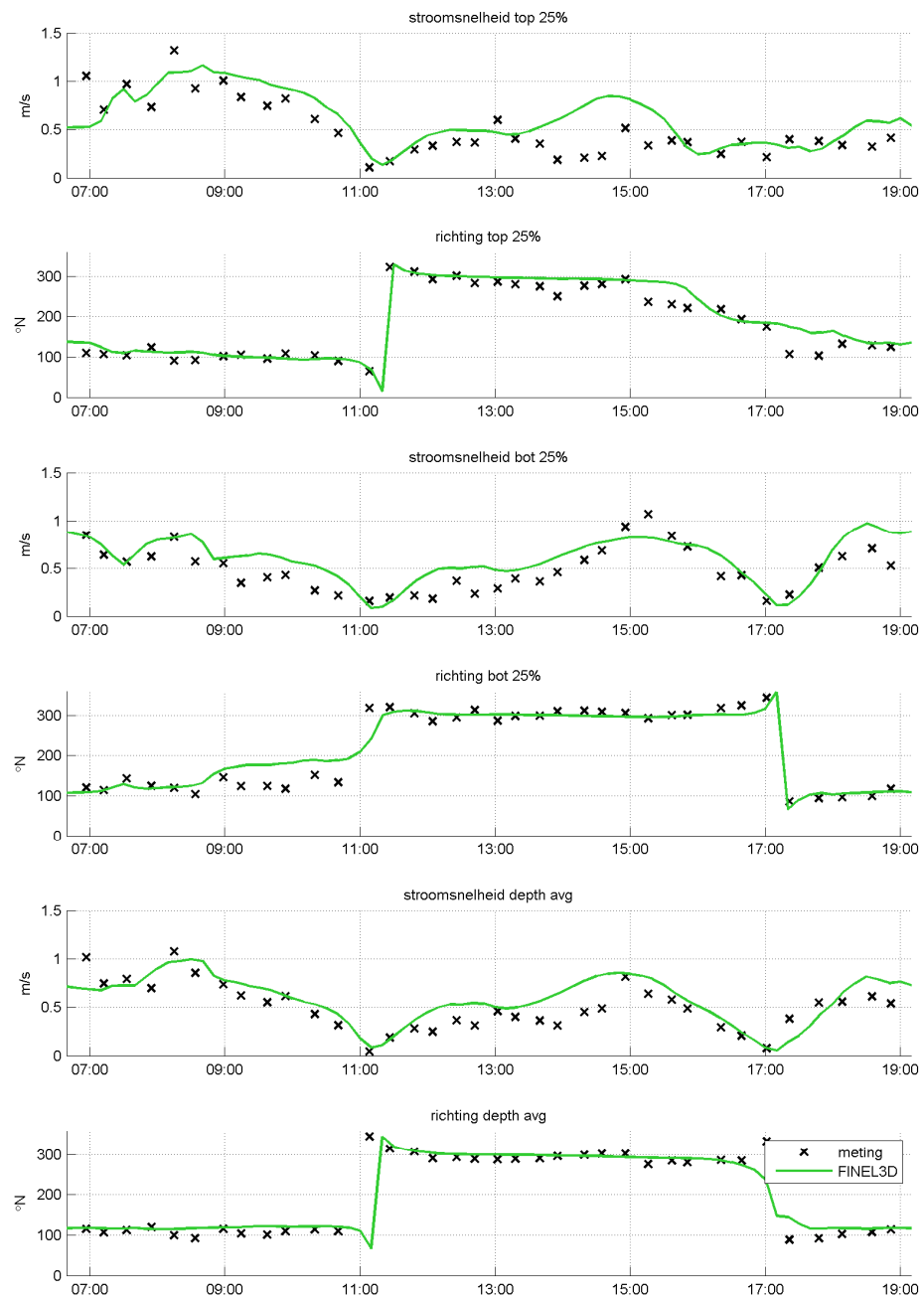
Figuur A.6: Vergelijking van de gemeten en gemodelleerde stroomsnelheid en stroomrichting op punt 5 van raai 1 in de Westbuitenhaven ten behoeve van de kalibratie van het FINEL3D model op 21 maart 2007.



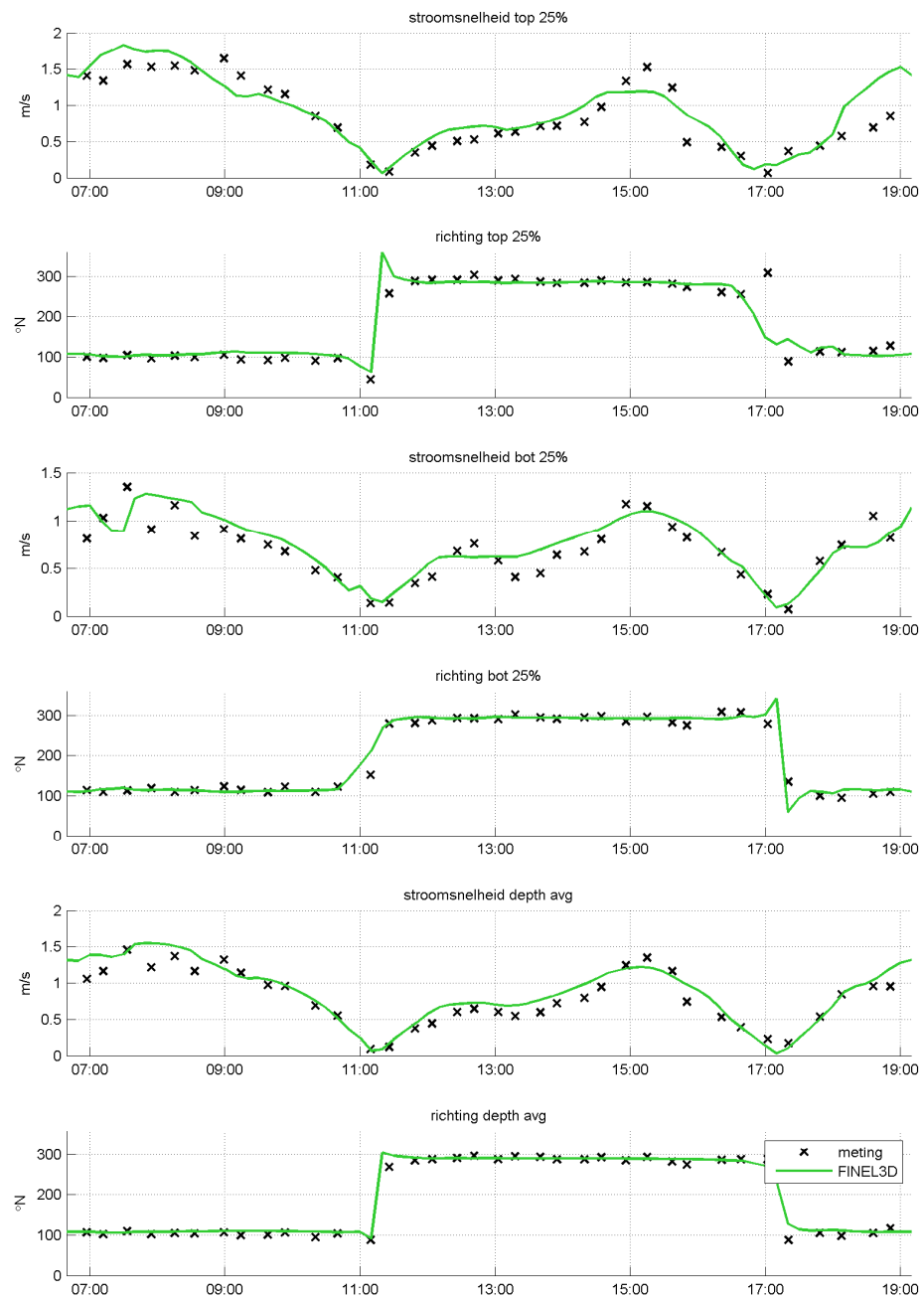
Figuur A.7: Vergelijking van de gemeten en gemodelleerde stroomsnelheid en stroomrichting op punt 6 van raai 1 in de Westbuitenhaven ten behoeve van de kalibratie van het FINEL3D model op 21 maart 2007.



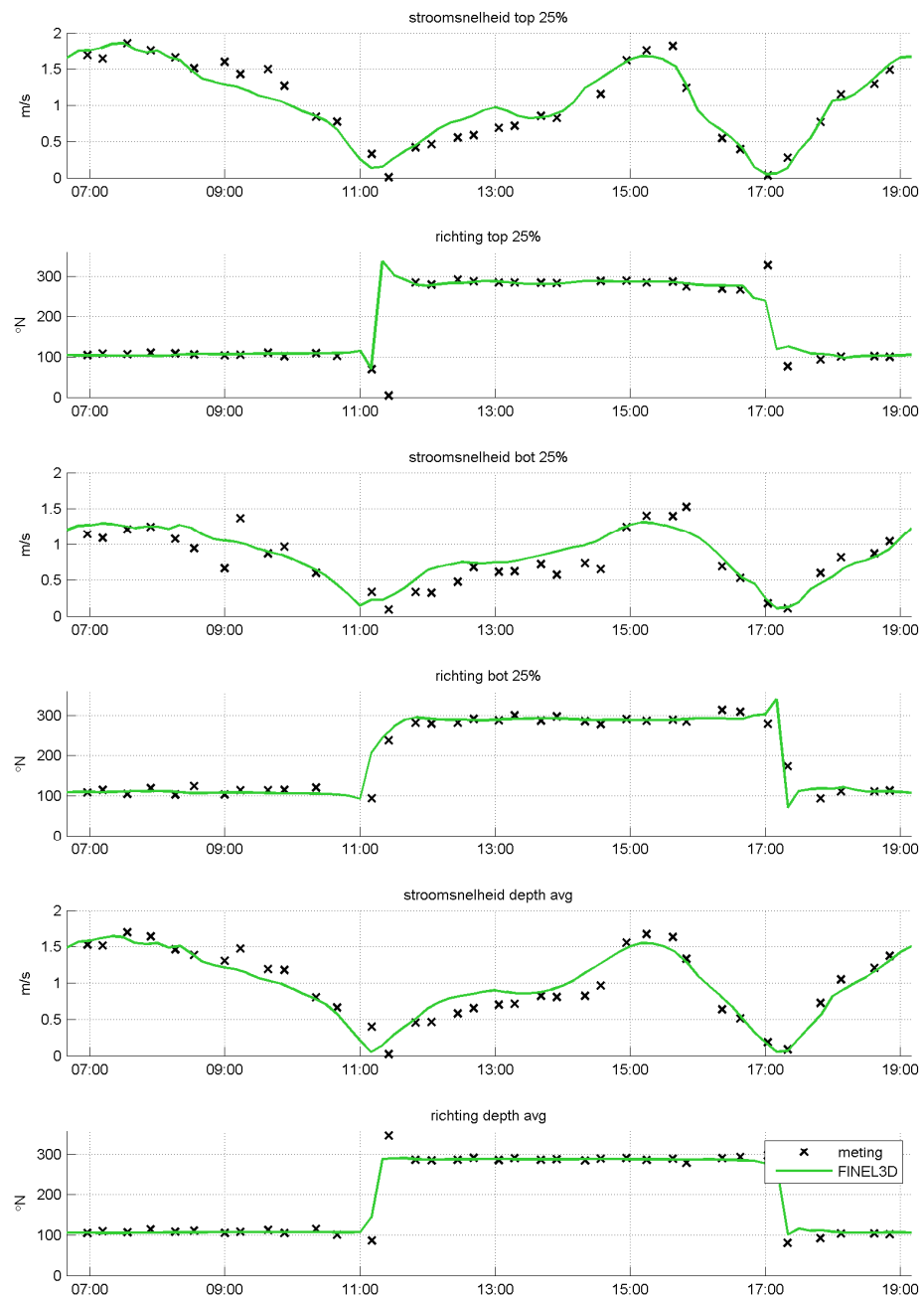
Figuur A.8: Vergelijking van de gemeten en gemodelleerde stroomsnelheid en stroomrichting op punt 7 van raai 1 in de Westbuitenhaven ten behoeve van de kalibratie van het FINEL3D model op 21 maart 2007.



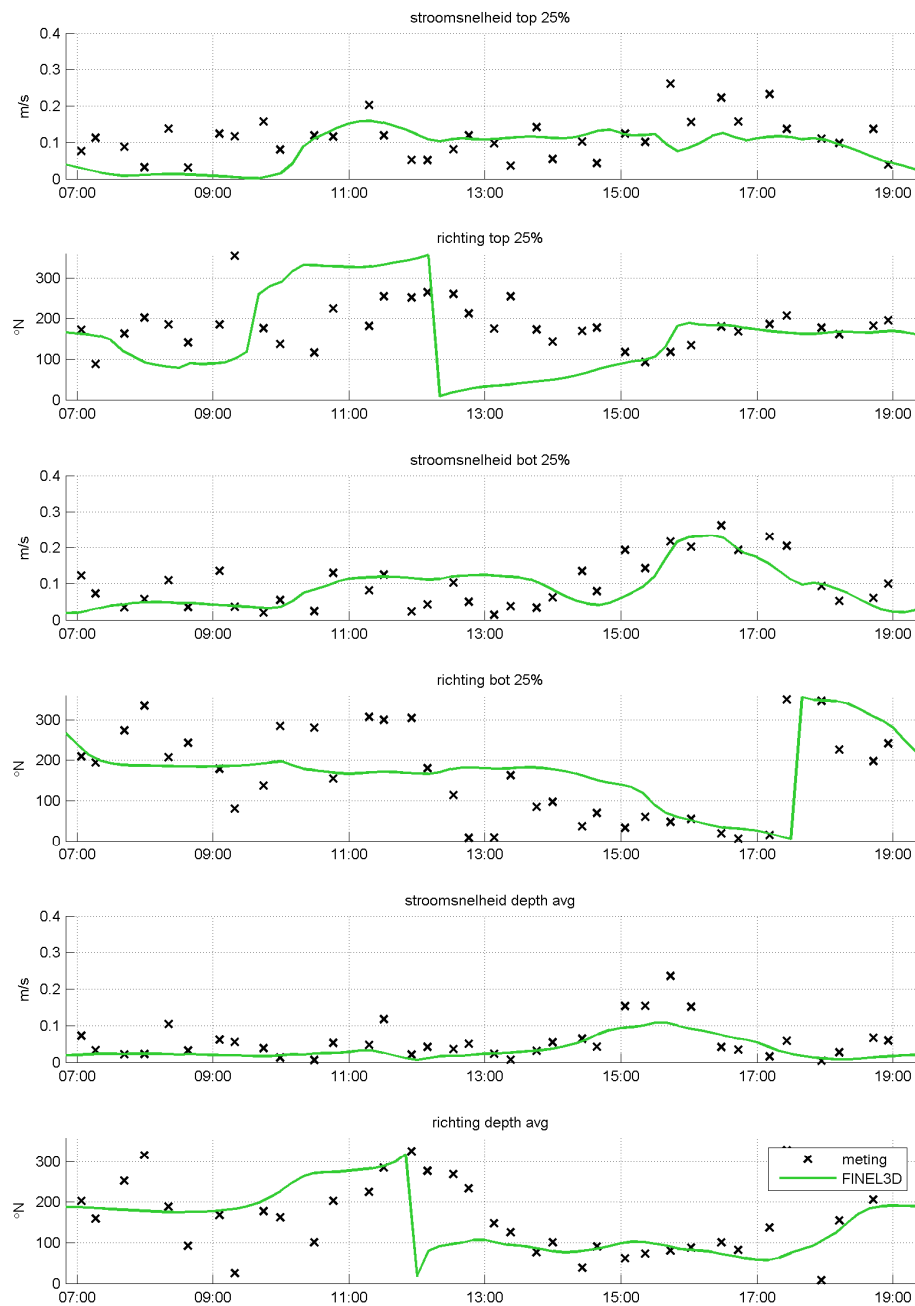
Figuur A.9: Vergelijking van de gemeten en gemodelleerde stroomsnelheid en stroomrichting op punt 8 van raai 1 in de Westbuitenhaven ten behoeve van de kalibratie van het FINEL3D model op 21 maart 2007.



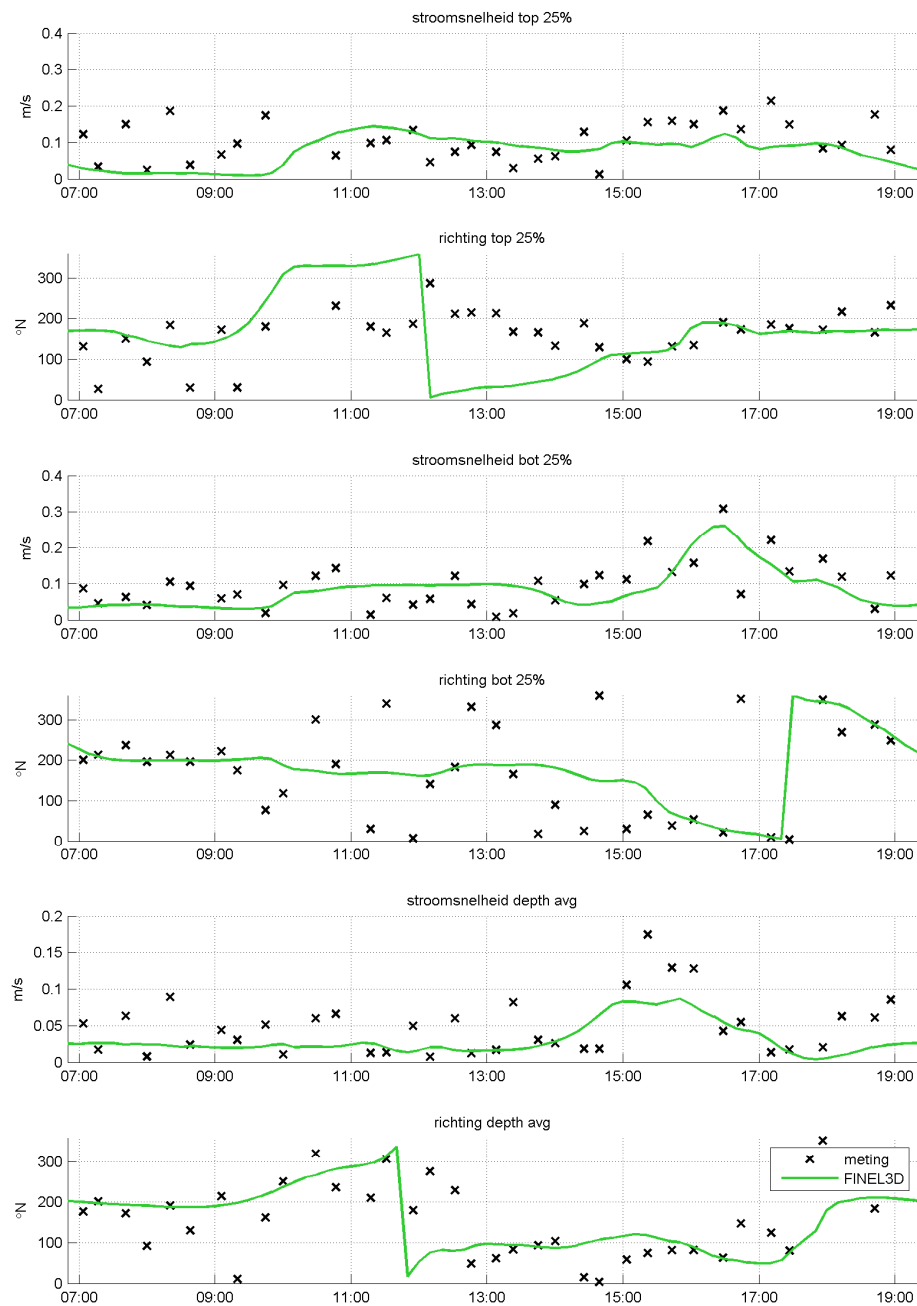
Figuur A.10: Vergelijking van de gemeten en gemodelleerde stroomsnelheid en stroomrichting op punt 9 van raai 1 in de Westbuitenhaven ten behoeve van de kalibratie van het FINEL3D model op 21 maart 2007.



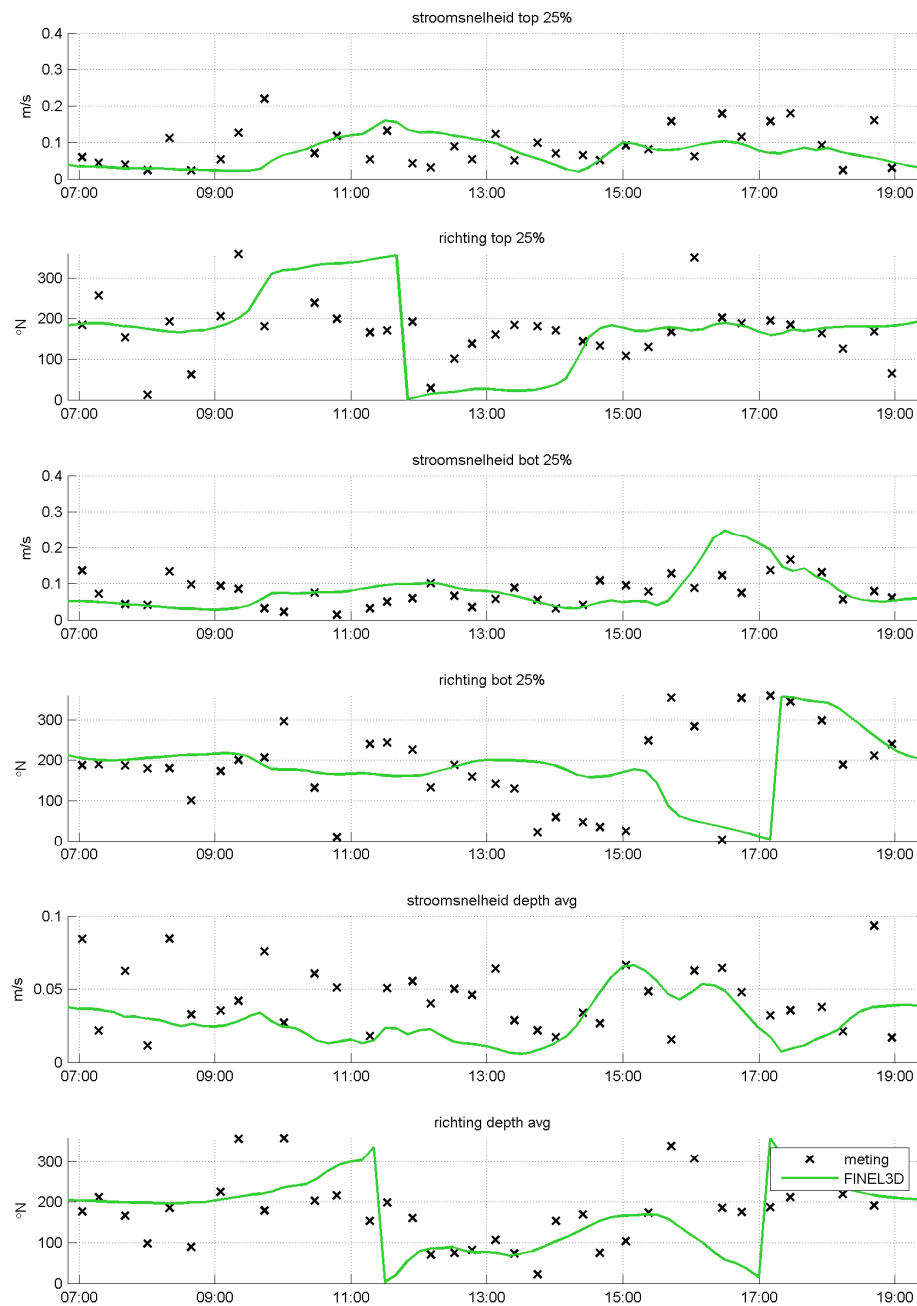
Figuur A.11: Vergelijking van de gemeten en gemodelleerde stroomsnelheid en stroomrichting op punt 10 van raai 1 in de Westbuitenhaven ten behoeve van de kalibratie van het FINEL3D model op 21 maart 2007.



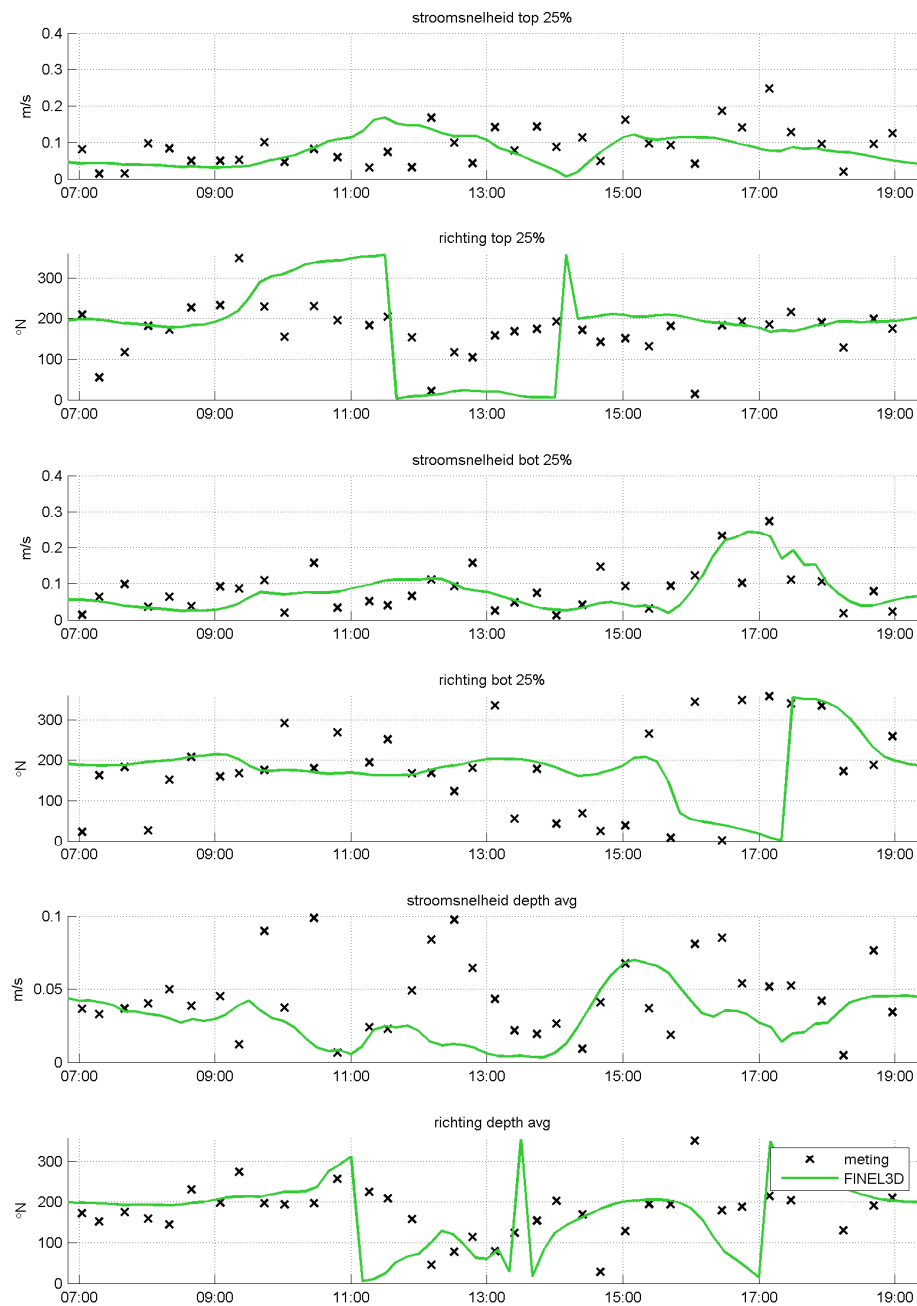
Figuur A.12: Vergelijking van de gemeten en gemodelleerde stroomsnelheid en stroomrichting op punt 1 van raai 2 in de Westbuitenhaven ten behoeve van de kalibratie van het FINEL3D model op 21 maart 2007.



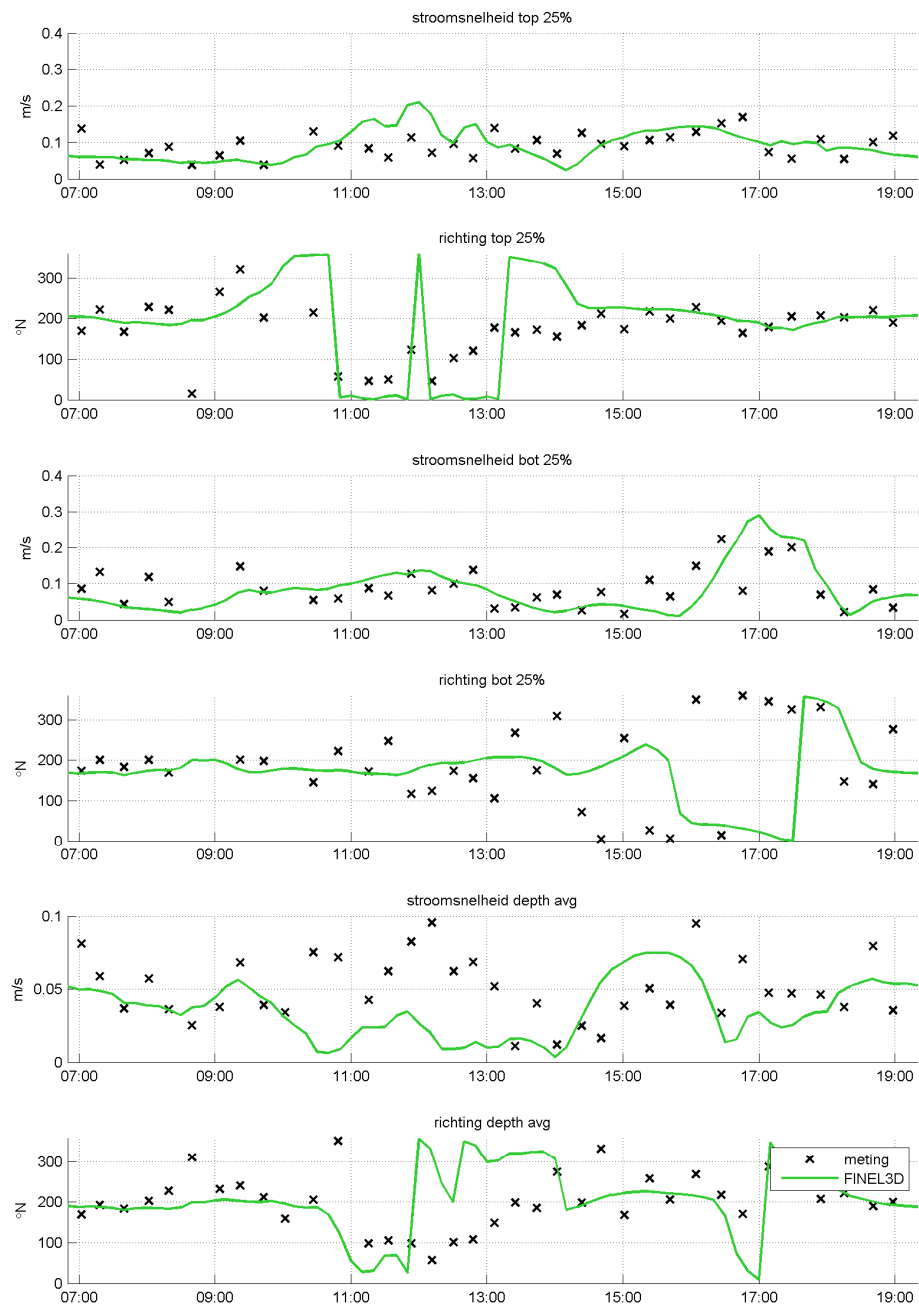
Figuur A.13: Vergelijking van de gemeten en gemodelleerde stroomsnelheid en stroomrichting op punt 2 van raai 2 in de Westbuitenhaven ten behoeve van de kalibratie van het FINEL3D model op 21 maart 2007.



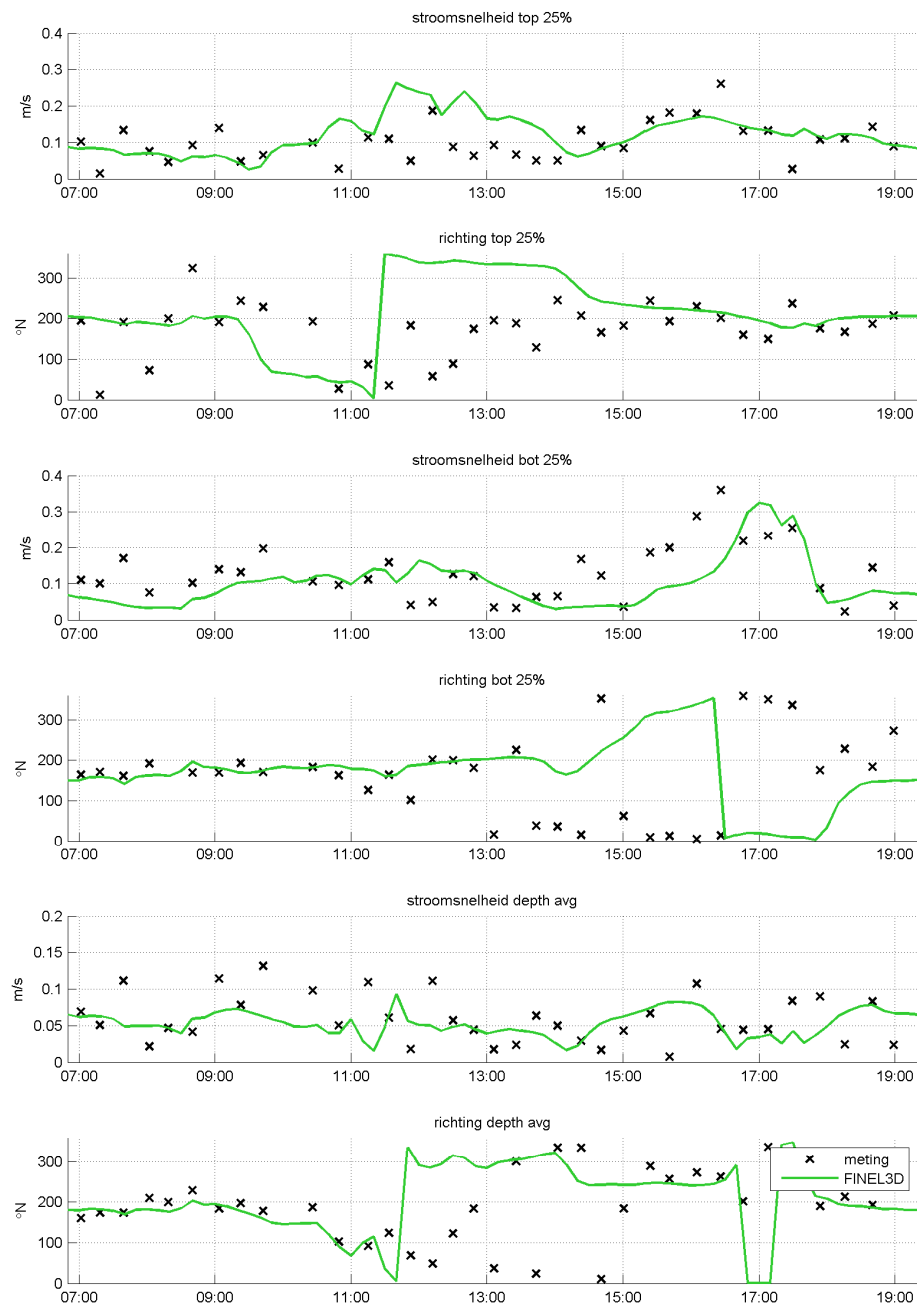
Figuur A.14: Vergelijking van de gemeten en gemodelleerde stroomsnelheid en stroomrichting op punt 3 van raai 2 in de Westbuitenhaven ten behoeve van de kalibratie van het FINEL3D model op 21 maart 2007.



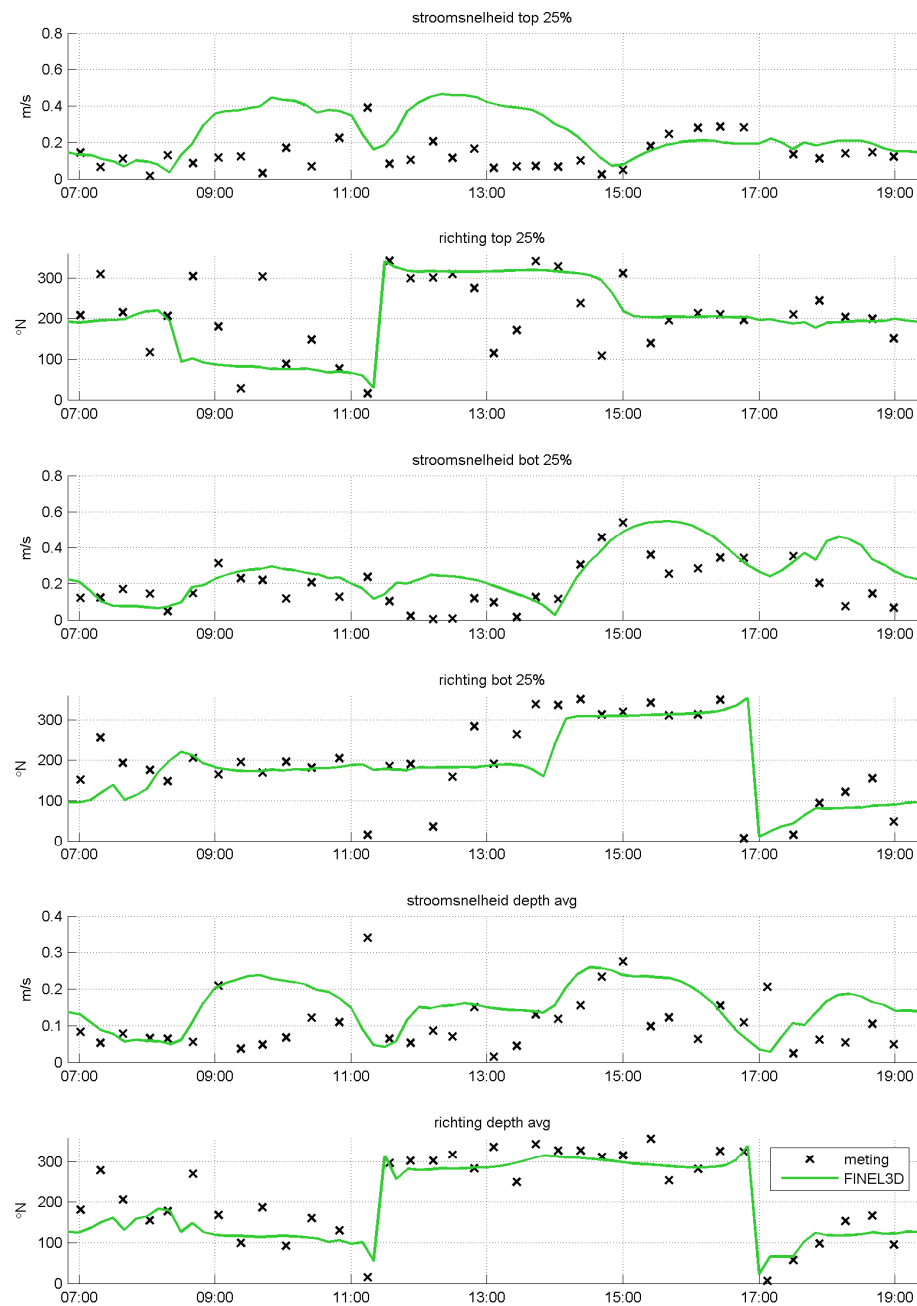
Figuur A.15: Vergelijking van de gemeten en gemodelleerde stroomsnelheid en stroomrichting op punt 4 van raai 2 in de Westbuitenhaven ten behoeve van de kalibratie van het FINEL3D model op 21 maart 2007.



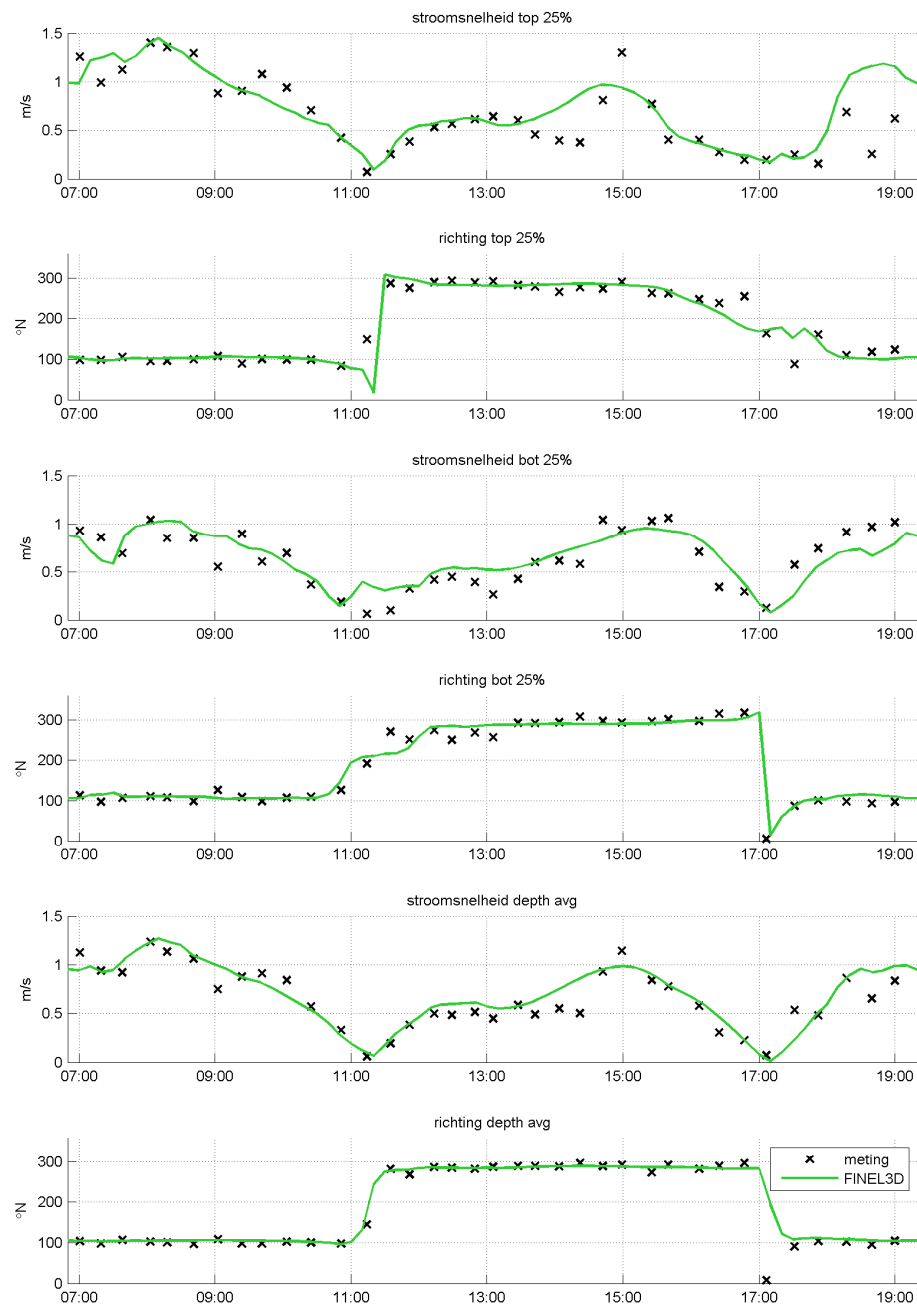
Figuur A.16: Vergelijking van de gemeten en gemodelleerde stroomsnelheid en stroomrichting op punt 5 van raai 2 in de Westbuitenhaven ten behoeve van de kalibratie van het FINEL3D model op 21 maart 2007.



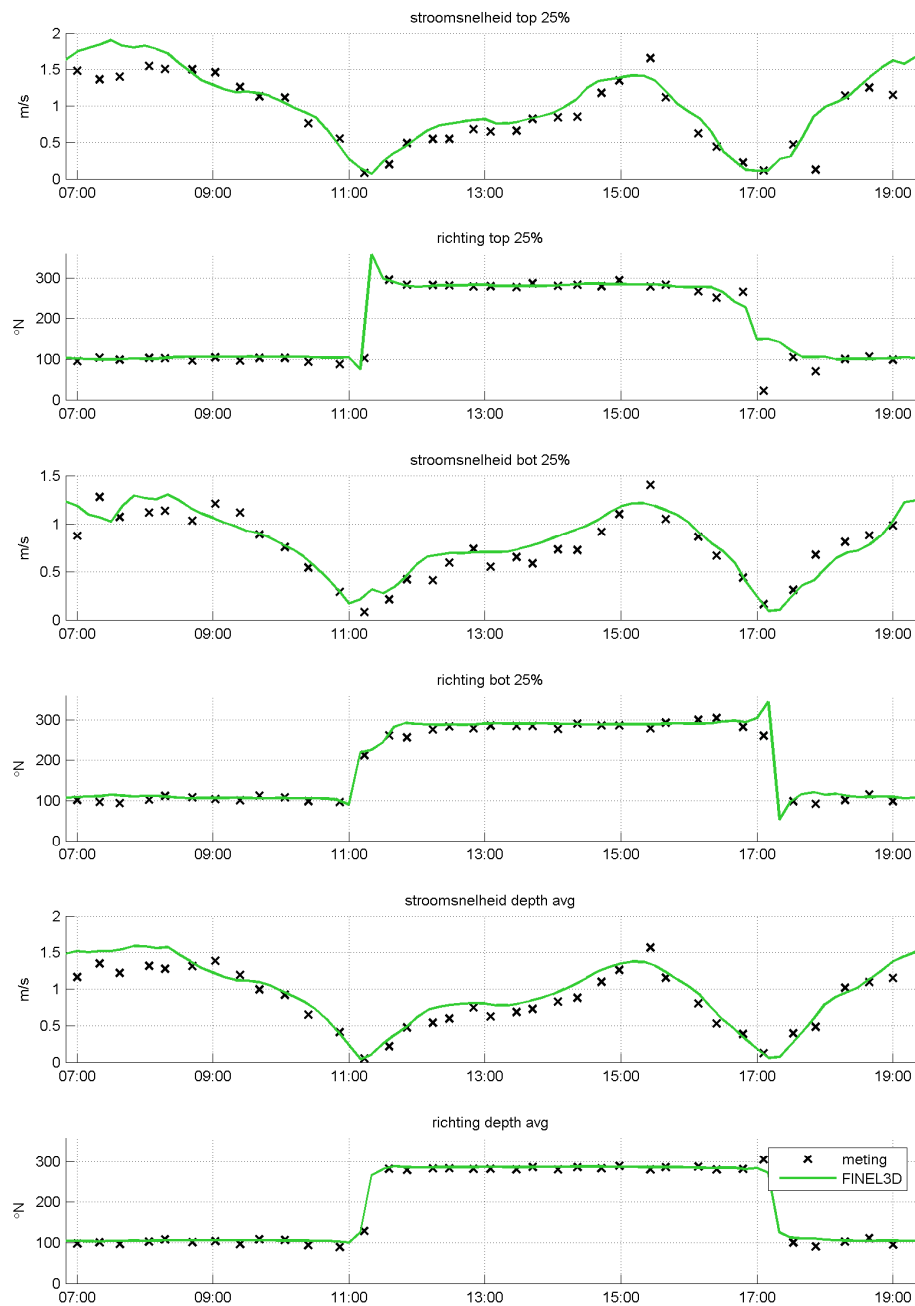
Figuur A.17: Vergelijking van de gemeten en gemodelleerde stroomsnelheid en stroomrichting op punt 6 van raai 2 in de Westbuitenhaven ten behoeve van de kalibratie van het FINEL3D model op 21 maart 2007.



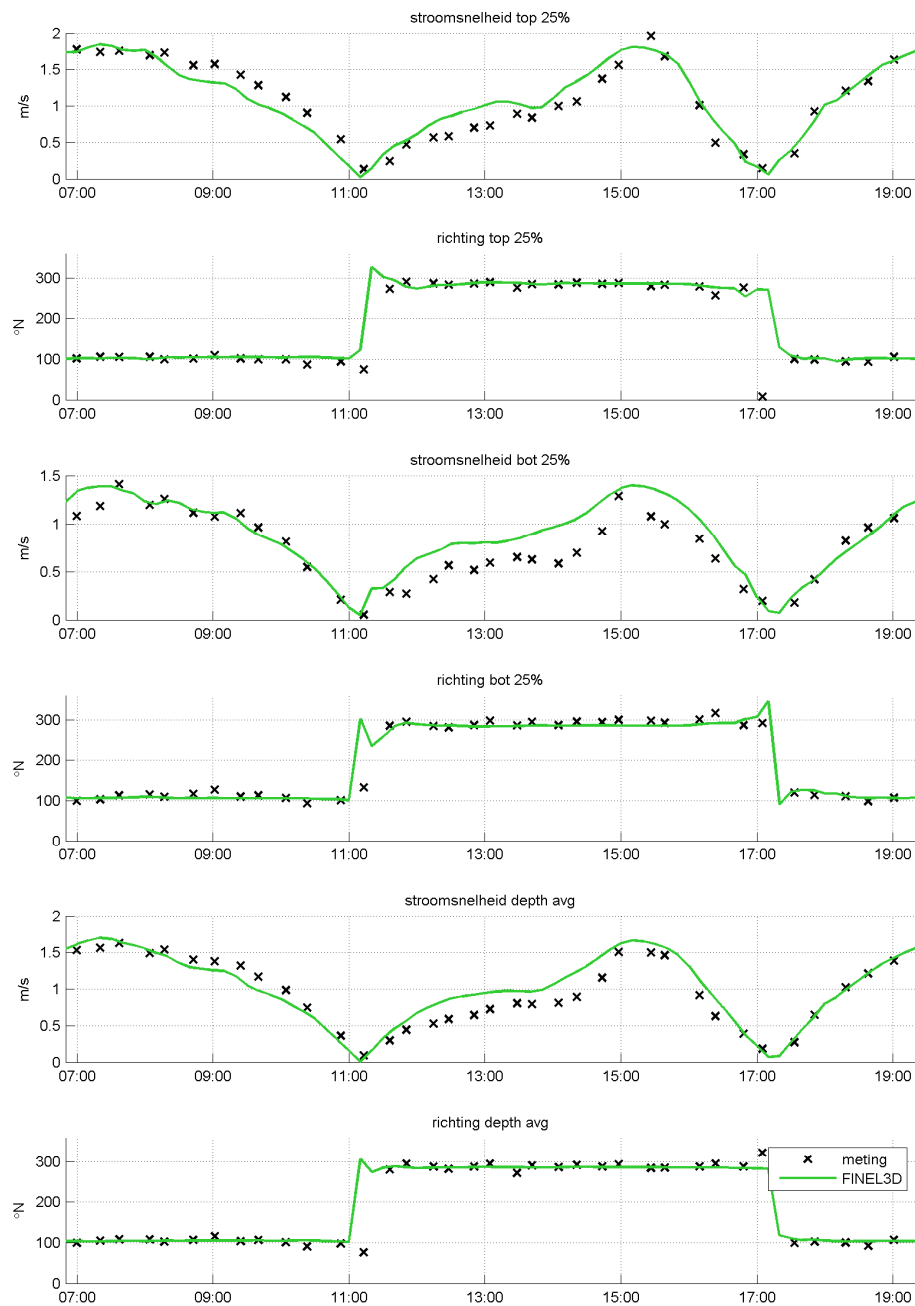
Figuur A.18: Vergelijking van de gemeten en gemodelleerde stroomsnelheid en stroomrichting op punt 7 van raai 2 in de Westbuitenhaven ten behoeve van de kalibratie van het FINEL3D model op 21 maart 2007.



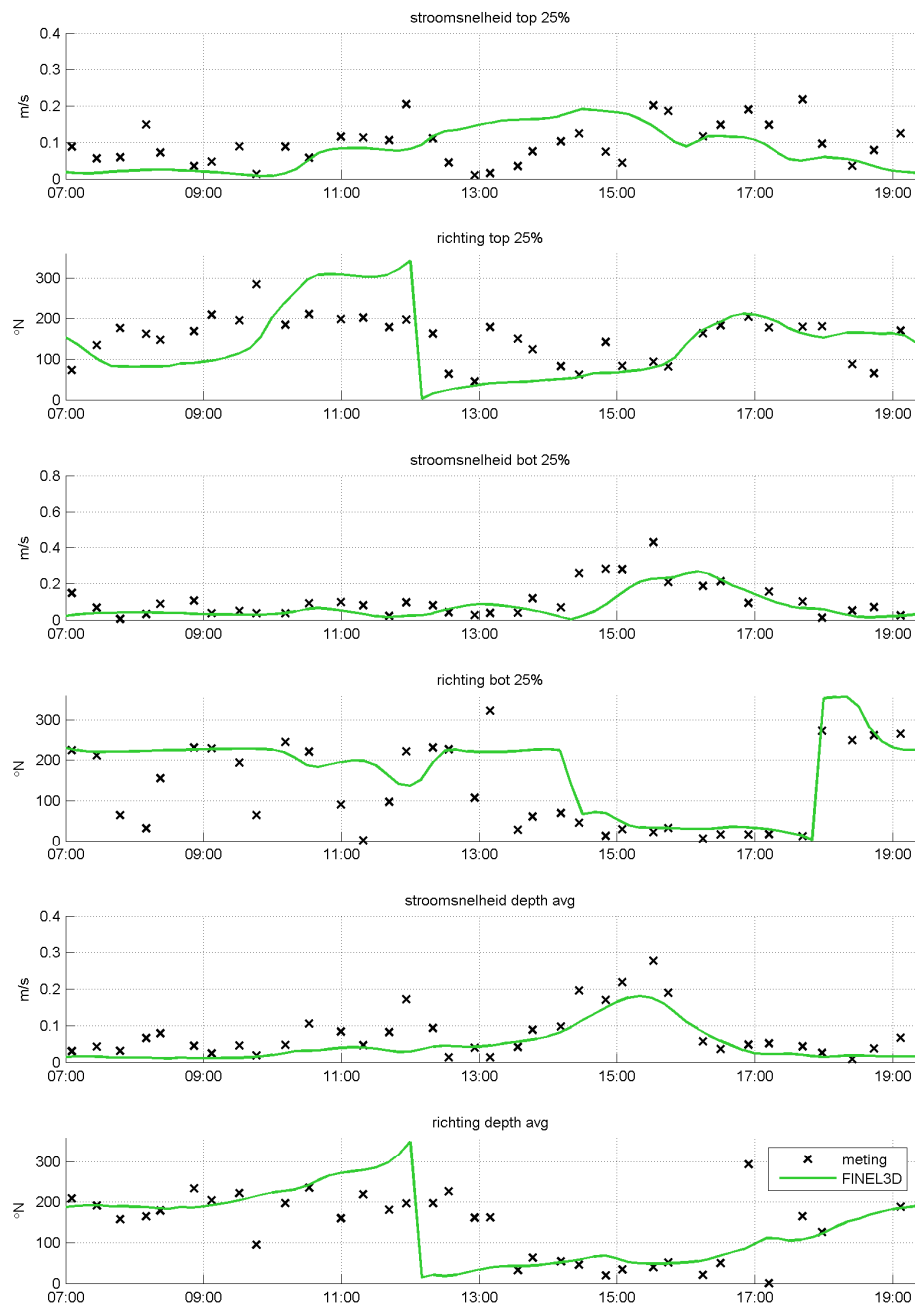
Figuur A.19: Vergelijking van de gemeten en gemodelleerde stroomsnelheid en stroomrichting op punt 8 van raai 2 in de Westbuitenhaven ten behoeve van de kalibratie van het FINEL3D model op 21 maart 2007.



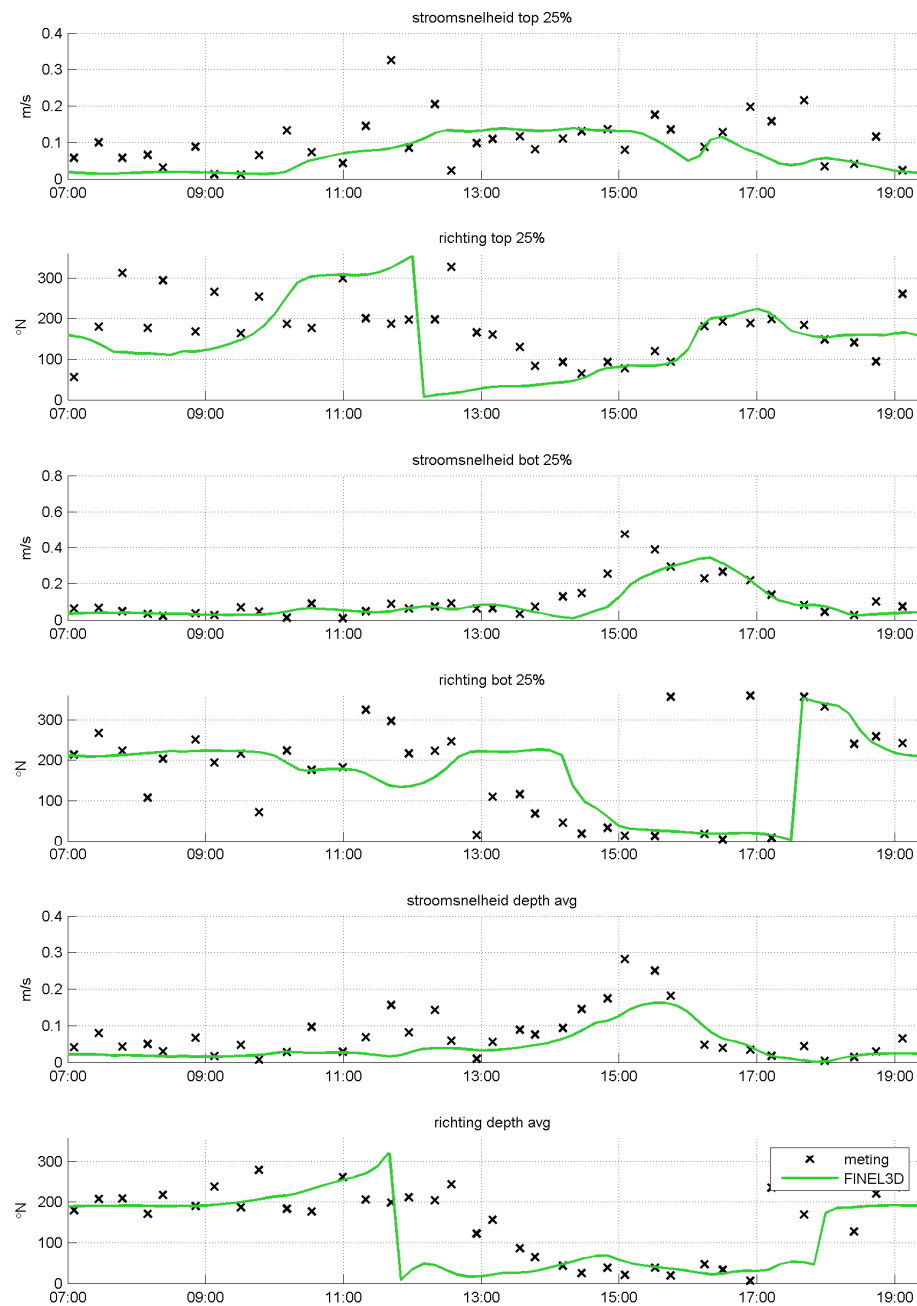
Figuur A.20: Vergelijking van de gemeten en gemodelleerde stroomsnelheid en stroomrichting op punt 9 van raai 2 in de Westbuitenhaven ten behoeve van de kalibratie van het FINEL3D model op 21 maart 2007.



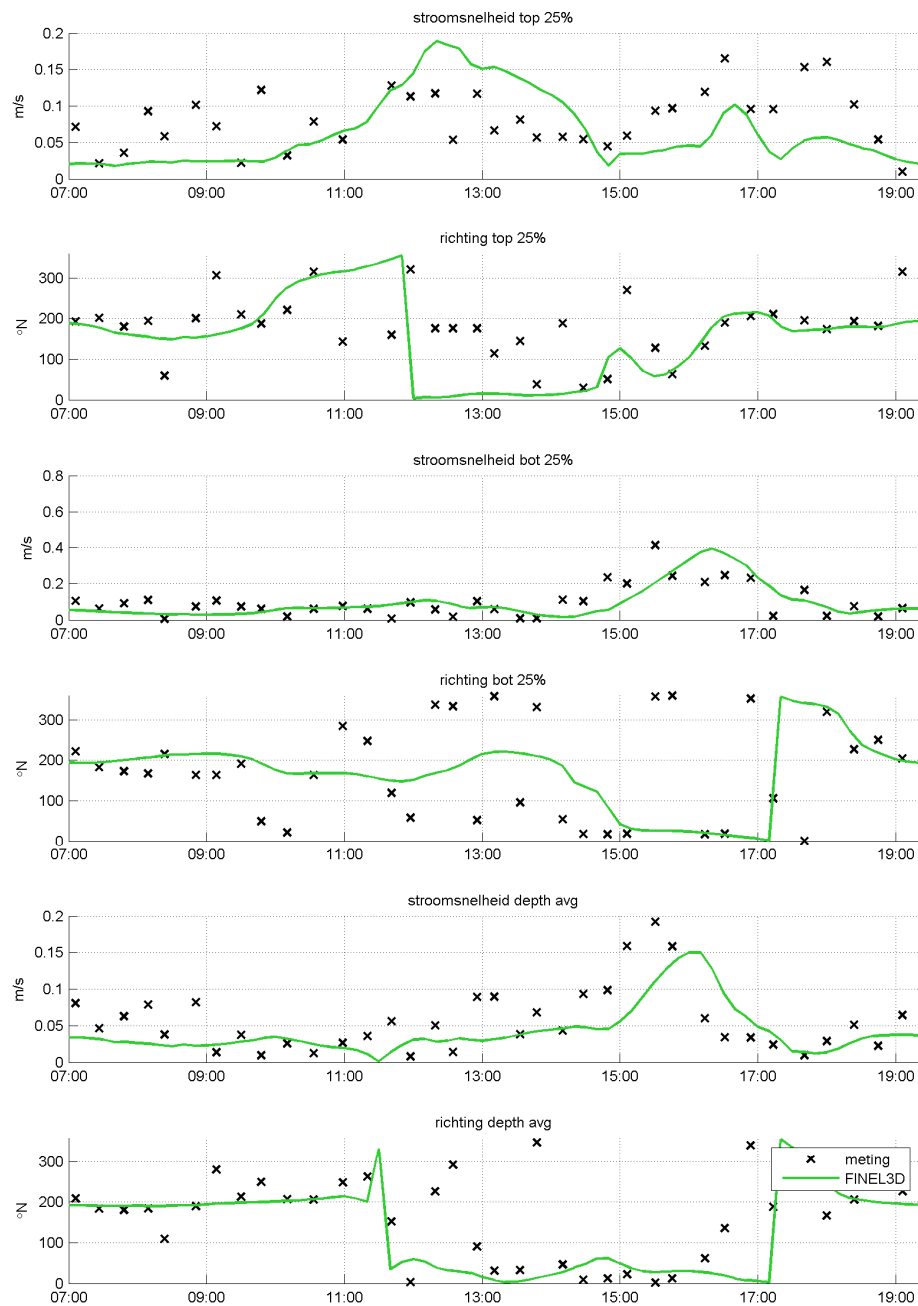
Figuur A.21: Vergelijking van de gemeten en gemodelleerde stroomsnelheid en stroomrichting op punt 10 van raai 2 in de Westbuitenhaven ten behoeve van de kalibratie van het FINEL3D model op 21 maart 2007.



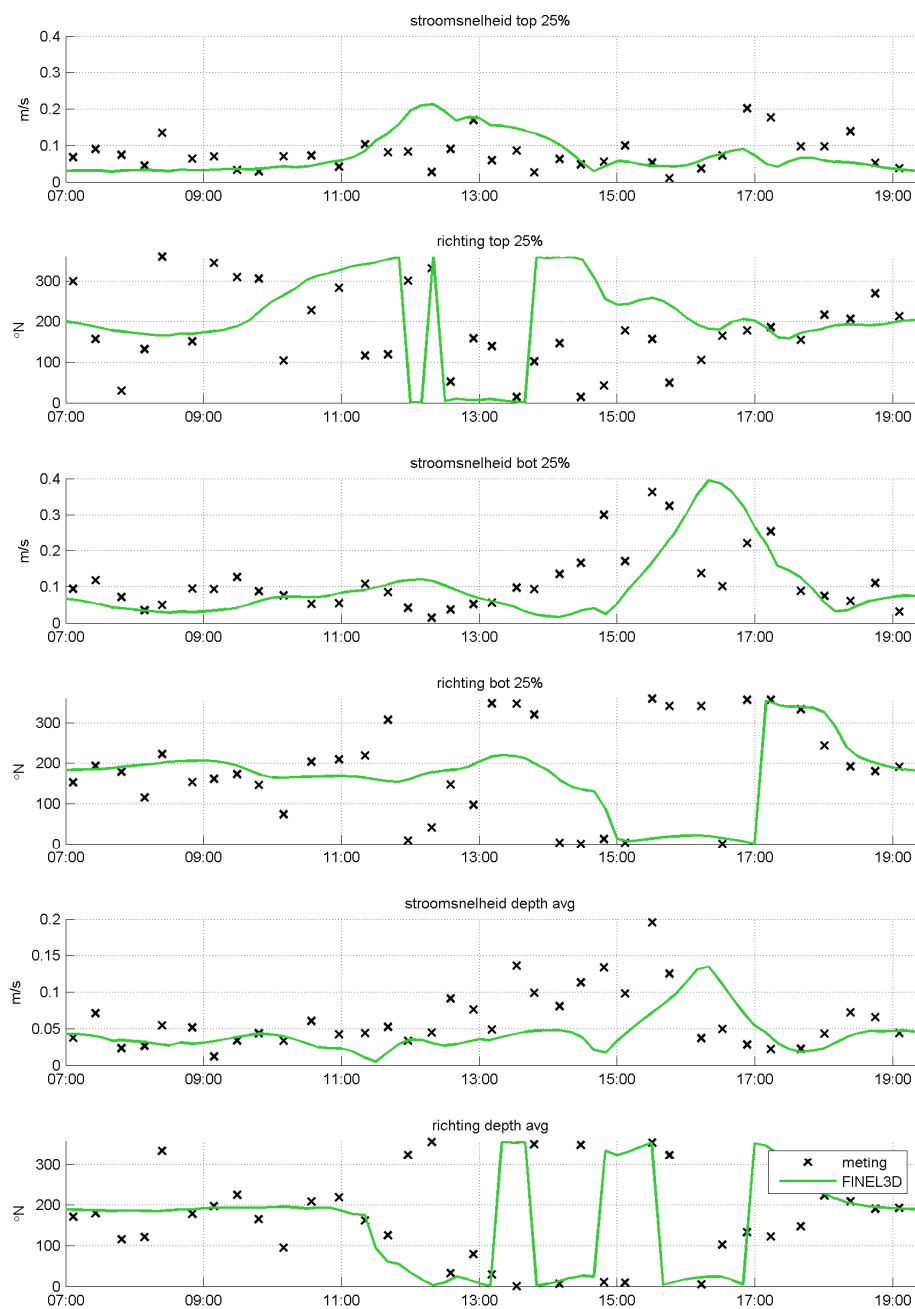
Figuur A.22: Vergelijking van de gemeten en gemodelleerde stroomsnelheid en stroomrichting op punt 1 van raai 3 in de Westbuitenhaven ten behoeve van de kalibratie van het FINEL3D model op 21 maart 2007.



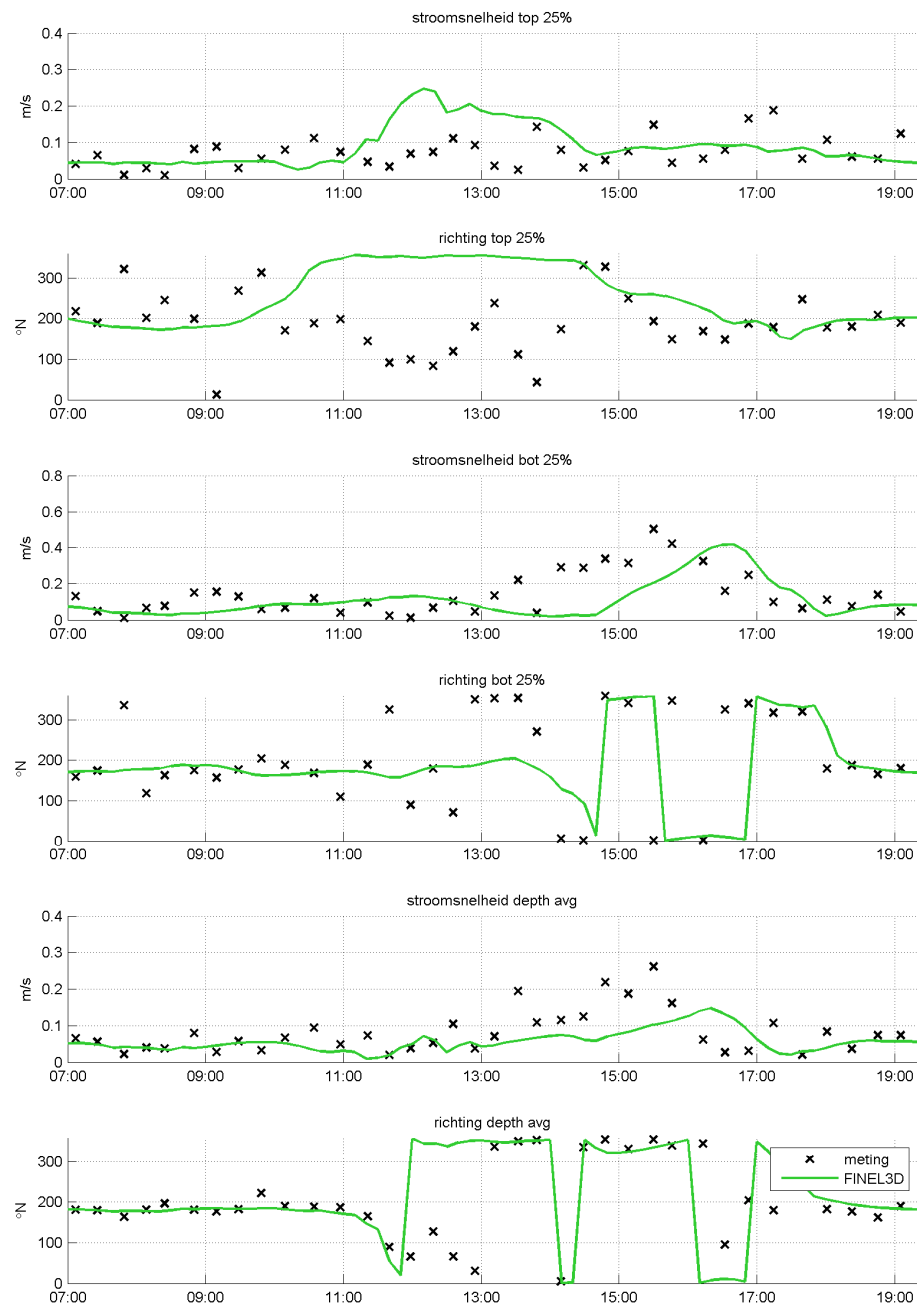
Figuur A.23: Vergelijking van de gemeten en gemodelleerde stroomsnelheid en stroomrichting op punt 2 van raai 3 in de Westbuitenhaven ten behoeve van de kalibratie van het FINEL3D model op 21 maart 2007.



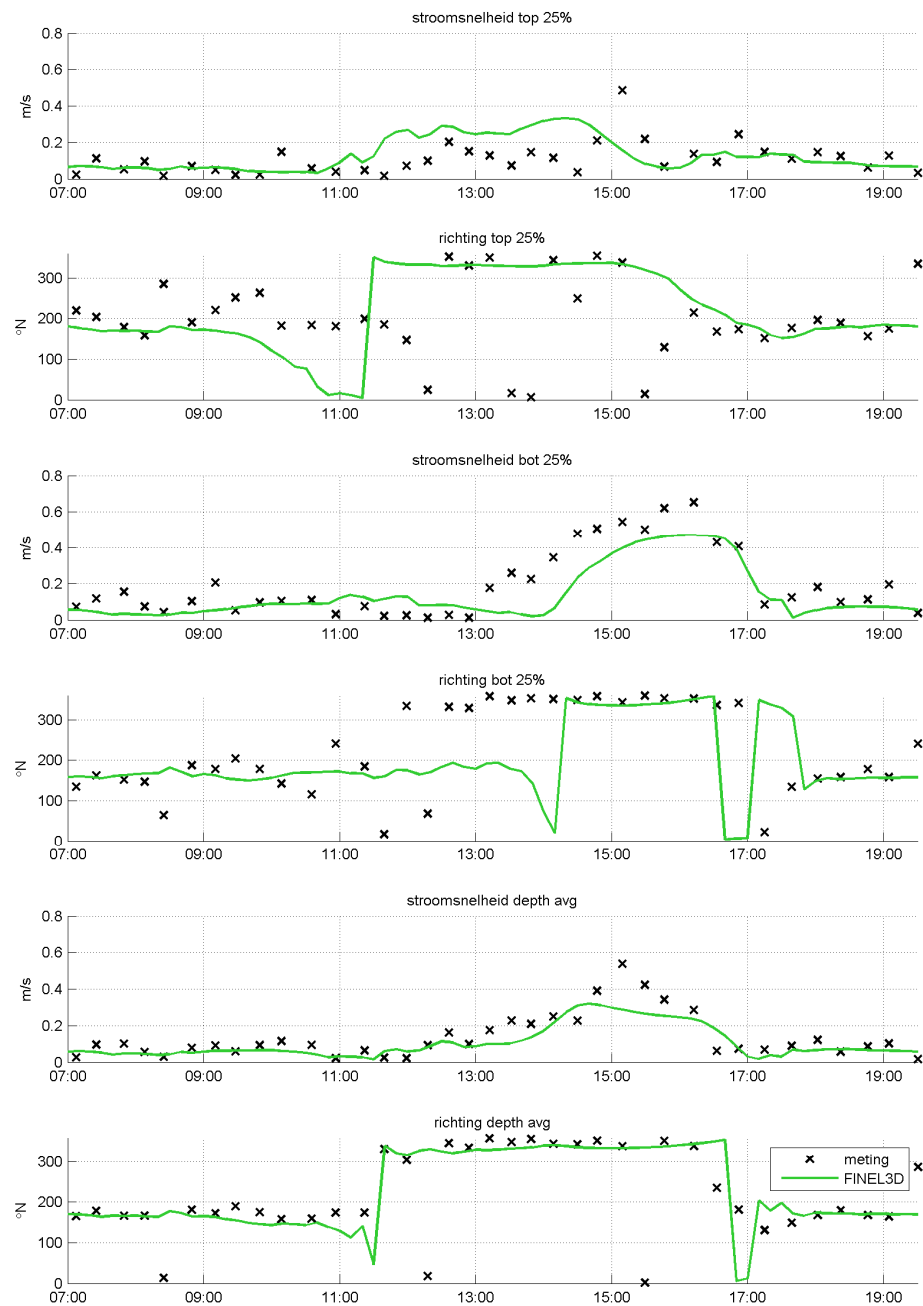
Figuur A.24: Vergelijking van de gemeten en gemodelleerde stroomsnelheid en stroomrichting op punt 3 van raai 3 in de Westbuitenhaven ten behoeve van de kalibratie van het FINEL3D model op 21 maart 2007.



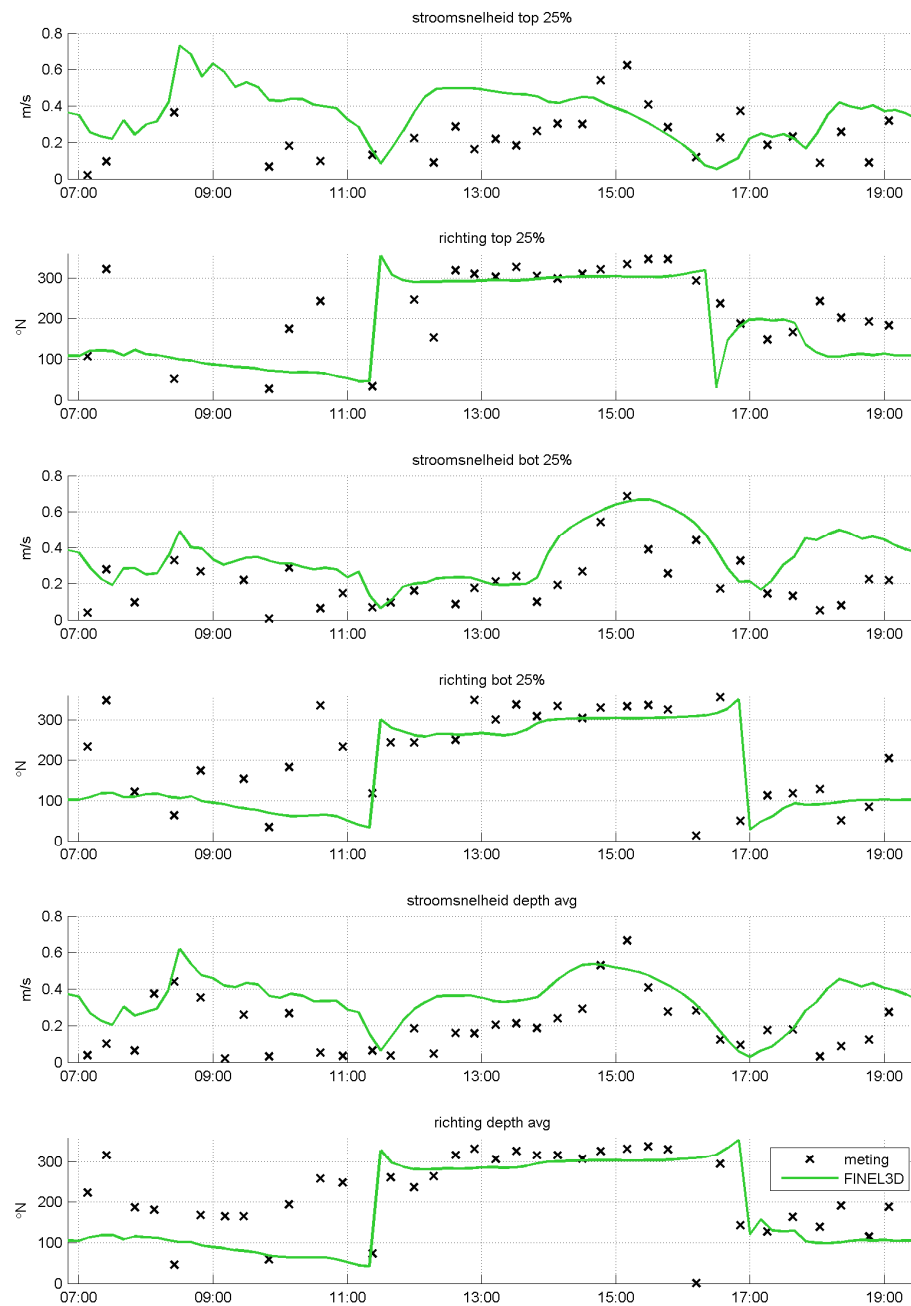
Figuur A.25: Vergelijking van de gemeten en gemodelleerde stroomsnelheid en stroomrichting op punt 4 van raai 3 in de Westbuitenhaven ten behoeve van de kalibratie van het FINEL3D model op 21 maart 2007.



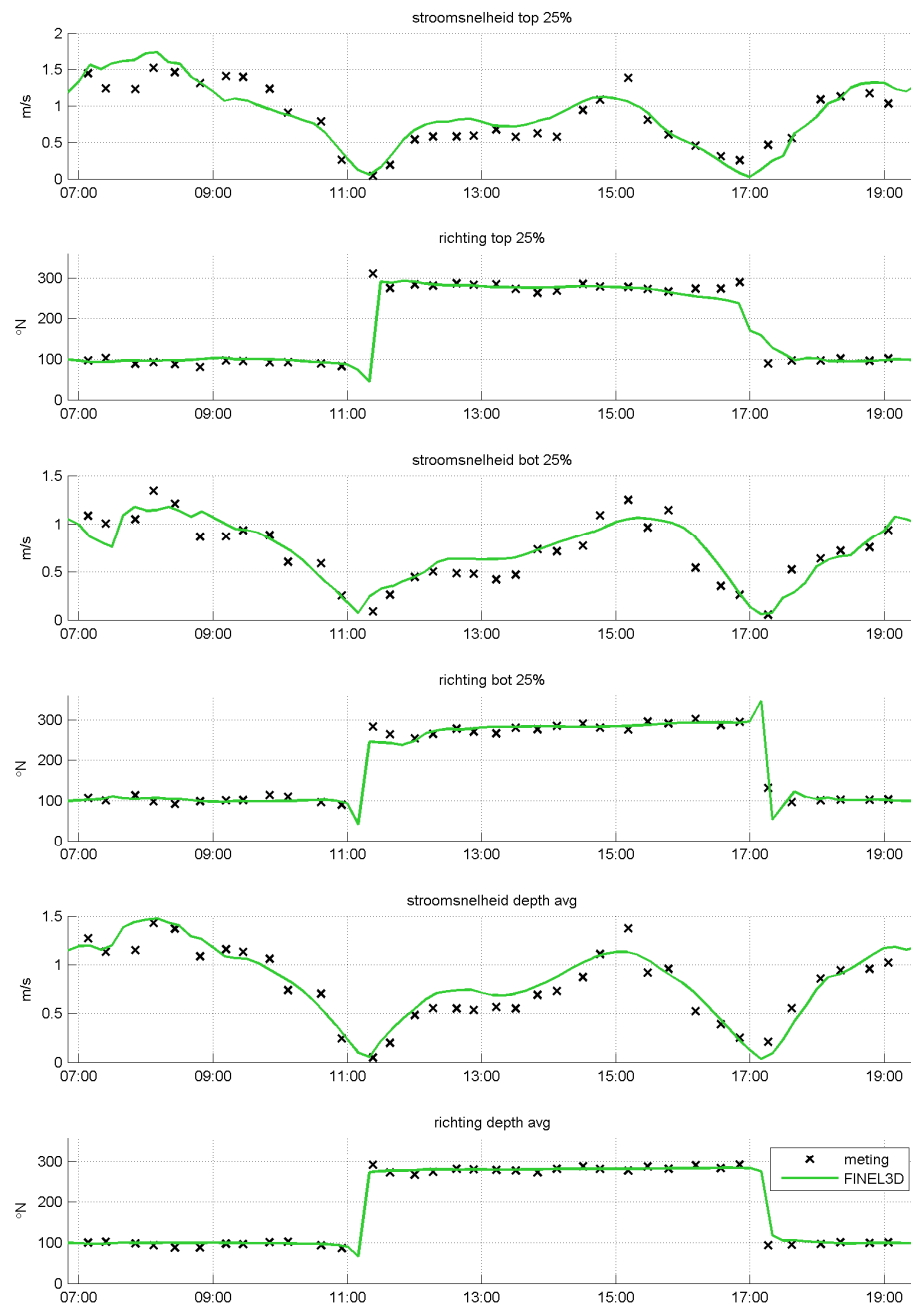
Figuur A.26: Vergelijking van de gemeten en gemodelleerde stroomsnelheid en stroomrichting op punt 5 van raai 3 in de Westbuitenhaven ten behoeve van de kalibratie van het FINEL3D model op 21 maart 2007.



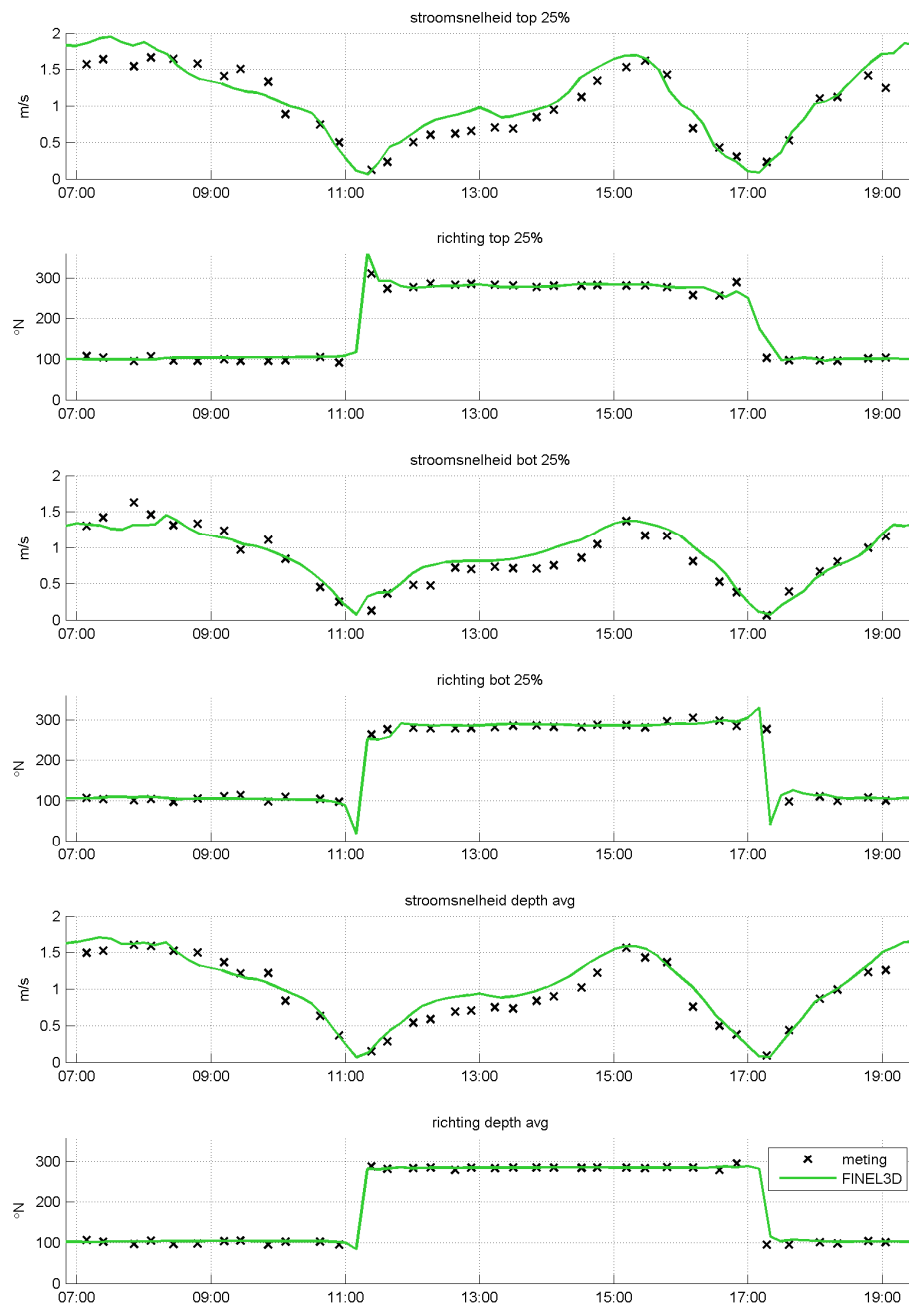
Figuur A.27: Vergelijking van de gemeten en gemodelleerde stroomsnelheid en stroomrichting op punt 6 van raai 3 in de Westbuitenhaven ten behoeve van de kalibratie van het FINEL3D model op 21 maart 2007.



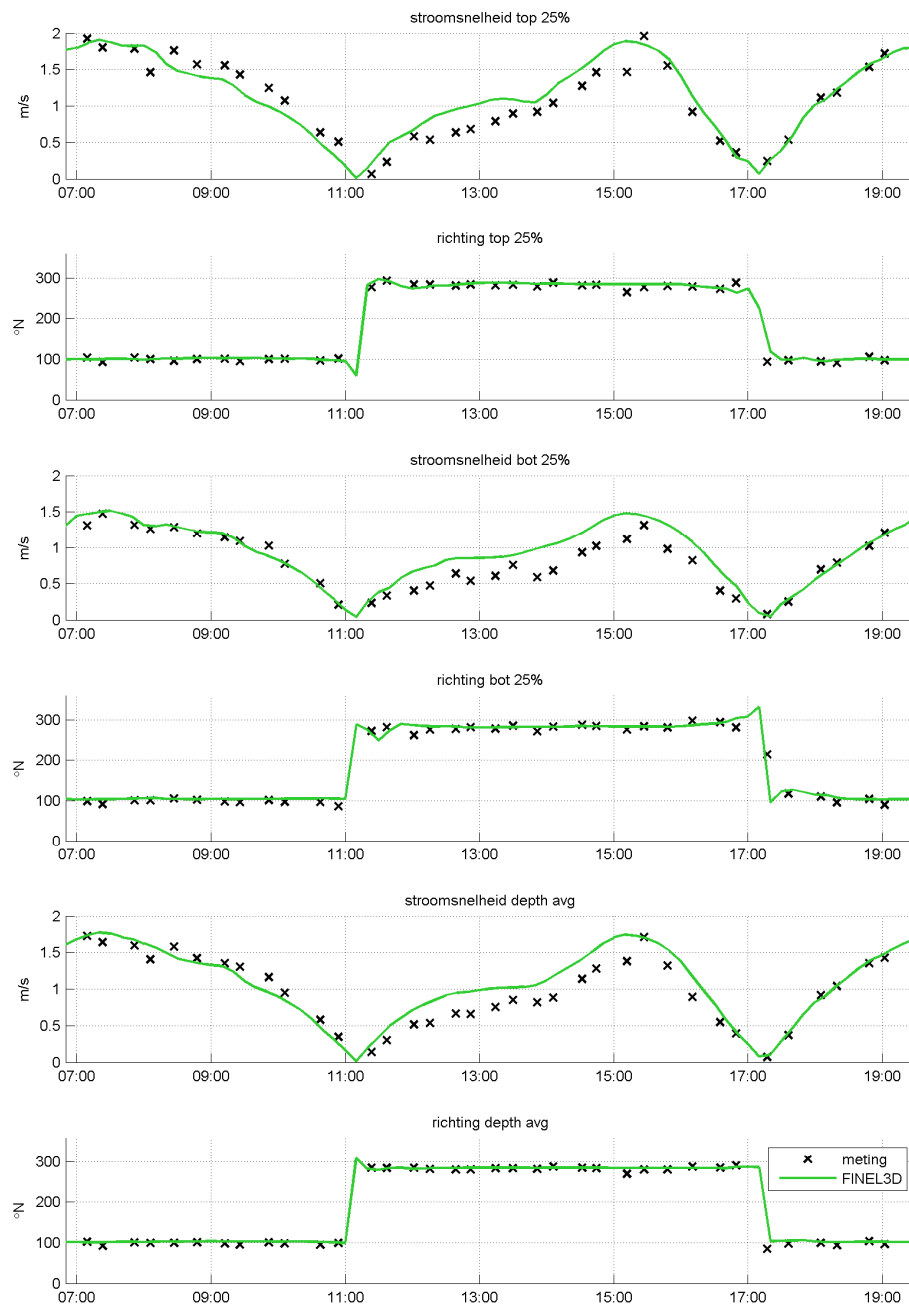
Figuur A.28: Vergelijking van de gemeten en gemodelleerde stroomsnelheid en stroomrichting op punt 7 van raai 3 in de Westbuitenhaven ten behoeve van de kalibratie van het FINEL3D model op 21 maart 2007.



Figuur A.29: Vergelijking van de gemeten en gemodelleerde stroomsnelheid en stroomrichting op punt 8 van raai 3 in de Westbuitenhaven ten behoeve van de kalibratie van het FINEL3D model op 21 maart 2007.



Figuur A.30: Vergelijking van de gemeten en gemodelleerde stroomsnelheid en stroomrichting op punt 9 van raai 3 in de Westbuitenhaven ten behoeve van de kalibratie van het FINEL3D model op 21 maart 2007.



Figuur A.31: Vergelijking van de gemeten en gemodelleerde stroomsnelheid en stroomrichting op punt 10 van raai 3 in de Westbuitenhaven ten behoeve van de kalibratie van het FINEL3D model op 21 maart 2007.

B TUDFLOW3D

TUDflow3d is een volledig driedimensionale numeriek stromingsmodel dat gedetailleerde resultaten met betrekking tot turbulentie geeft, op prototypeschaal. De Large Eddy Simulation (LES) benadering is gebruikt om de invloed van turbulentie mee te nemen, wat inhoudt dat de meest belangrijke wervelingen op grote schaal daadwerkelijk opgelost worden, in plaats van benaderd met een model zoals in RANS. Met het model kunnen dichtheidsstroming, bijvoorbeeld bij warm/koudwateruitlaten veroorzaakt door temperatuur, of door verschillen in saliniteit, en sedimenttransport worden bepaald.

TUDflow3d is gebaseerd op een numerieke code afkomstig van TU Delft en is door Svašek Hydraulics verder ontwikkeld voor toepassingen op prototypeschaal. Het model gebruikt een snelle solver op gestructureerde rekenroosters en rekent parallel via MPI. Op een 8 core machine kunnen prototypeschaal stromingsberekeningen met hoge Reynoldsgetallen gesimuleerd worden binnen uren-dagen op rekenroosters bestaande uit 1-50 miljoen elementen.

TUDflow3d is succesvol toegepast op:

- Loslating van sedimentpluimen van een varend baggervaartuig
- Loslating van staartpluimen nabij de zeebodem
- Zoutpluimen in dwarsstromingen
- Turbulente stroming in waterlopen
- Turbulente stroming in waterlopen met hoge en lage sediment concentraties (wel of geen invloed van concentratie op dichtheid en snelheden)
- Dichtheidsstroming met en zonder sedimentatie

