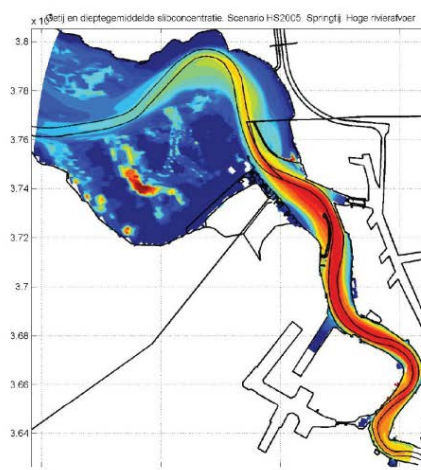


Instandhouding vaarpassen Schelde Milieuvergunningen terugstorten baggerspecie



LTV – Veiligheid en Toegankelijkheid

Analyse alle havenstortvakken Westerschelde

Basisrapport specifieke beheervragen B-22

01 oktober 2013

Colofon

International Marine & Dredging Consultants

Adres: Coveliersstraat 15, 2600 Antwerpen, België

Telefoon: + 32 3 270 92 95

Fax: + 32 3 235 67 11

Email: info@imdc.be

Website: www.imdc.be

Deltares

Adres: Rotterdamseweg 185, 2600 MH Delft, Nederland

Telefoon: + 31 (0)88 335 8273

Fax: +31 (0)88 335 8582

Email: info@deltares.nl

Website: www.deltares.nl

Svašek Hydraulics BV

Adres: Schiehaven 13G, 3024 EC Rotterdam, Nederland

Telefoon: +31 10 467 13 61

Fax: +31 10 467 45 59

Email: info@svasek.com

Website: www.svasek.com

ARCADIS Nederland BV

Adres: Nieuwe Stationsstraat 10, 6811 KS Arnhem, Nederland

Telefoon: +31 (0)26 377 89 11

Fax: +31 (0)26 377 85 60

Email: info@arcadis.nl

Website: www.arcadis.nl

Document Identificatie

Titel	Analyse alle havenstortvakken Westerschelde
Project	Instandhouding vaarpassen Schelde Milieuvergunningen terugstorten baggerspecie
Opdrachtgever	Afdeling Maritieme Toegang - Tavernierkaai 3 - 2000 Antwerpen
Bestek nummer	16EF/2010/14
Documentref	I/RA/11387/12.291/GVH
Documentnaam	K:\PROJECTS\11\11387 - Instandhouding Vaarpassen Schelde\10-Rap\Op te leveren rapporten\Oplevering 2013.10.01\B-22 - Analyse havenstortvakken Westerschelde_v2.0.docx

Revisies / Goedkeuring

Versie	Datum	Omschrijving	Auteur	Nazicht	Goedgekeurd
1.0	28/11/2012	Finaal	dr. ir. T. van Kessel/ dr. ir. J.J. van der Werf ir. A. Giardino	ir. M.D. Taal	ir. T. Schilperoort
1.1	31/03/2013	Klaar voor revisie	dr. ir. T. van Kessel/ dr. ir. J.J. van der Werf ir. A. Giardino	ir. M.D. Taal	ir. T. Schilperoort
2.0	01/10/2013	FINAAL	dr. ir. T. van Kessel/ dr. ir. J.J. van der Werf ir. A. Giardino	ir. M.D. Taal	ir. T. Schilperoort

Verdeellijst

1	Analoog	Youri Meersschaut
1	Digitaal	Youri Meersschaut

Analyse havenstortvakken Westerschelde

Thijs van Kessel
Jebbe van der Werf
Alessio Giardino

1205999-000

Titel

Analyse havenstortvakken Westerschelde

Opdrachtgever

Waterdienst & Vlaamse
Overheid

Project

1205999-000

Kenmerk

1205999-000-ZKS-0021

Pagina's

108

Trefwoorden

Westerschelde havenonderhoud specieverspreiding stortvakken slibmodel

Samenvatting

Dit rapport beschrijft de resultaten van een onderzoek naar de resterende levensduur van havenstortvakken en hun invloed op vaargeulonderhoud, slibconcentratie en retourstroming. Het rapport kent drie hoofdonderdelen: 1. Een gegevensanalyse van de historische bodemontwikkeling van en rondom de stortvakken; 2. Zandverspreidingsberekeningen naar de invloed van (het zandige deel van) de specieverspreiding op vaargeulonderhoud en 3. Slibverspreidingsberekeningen naar de invloed van (het slibrijke deel van) de specieverspreiding op de slibconcentratie en de retourstroming. Uit het onderzoek blijkt dat het merendeel van de huidige stortvakken het komende decennium nog probleemloos kan worden benut. Voor drie stortvakken is de resterende ruimte op dit moment al kritiek, namelijk voor de vakken W13, W14 en W23. Hiervoor zijn alternatieven gedefinieerd en doorgerekend. Deze alternatieven voldoen aan de gestelde eisen wat betreft stortruimte, invloed op vaargeulonderhoud, retourstroming en slibconcentratie.

Referenties

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
2.0	nov. 2012	dr. ir. T. van Kessel		ir. M.D. Taal		ir. T. Schilperoort	
		dr. ir. J.J. van der Werf					
		A. Giardino					

Status

definitief

Inhoud

1 Inleiding	1
2 Morfologische gegevensanalyse rondom stortlocaties	3
2.1 Gegevens	3
2.2 Gegevensanalyse op macrocel niveau	4
2.3 Gegevensanalyse op stortvak niveau	11
2.3.1 Baggerlocatie: Breskens en Veerhaven	12
2.3.2 Baggerlocatie: Buitenhaven Vlissingen	19
2.3.3 Baggerlocatie: Havens Vlissingen oost	21
2.3.4 Baggerlocaties: Braakmanhaven en Autrichehaven	22
2.3.5 Baggerlocatie: Terneuzen	24
2.3.6 Baggerlocatie Hansweert	29
2.4 Voorstel voor alternatieve locaties voor problematische stortvakken	31
3 Berekening zandverspreiding	35
3.1 Beschrijving Delft3D model	35
3.2 Modelsimulaties	36
3.3 Modelresultaten huidige stortlocaties	37
3.3.1 Sedimentatie/erosie	37
3.3.2 Volumes en dieptes	38
3.3.3 Vaargeulonderhoud	39
3.4 Modelresultaten alternatieve stortlocaties	39
3.4.1 Sedimentatie/erosie	39
3.4.2 Volumes, dieptes en vaargeulonderhoud	40
4 Berekening slibverspreiding	43
4.1 Verspreiding van eenheidslozing	44
4.2 Effect haven	45
4.3 Effect verplaatsing stortvakken	49
4.4 Fractieverdeling	51
5 Conclusies	53
6 Referenties	55

Bijlage(n)

A Zandverspreiding	A-1
A.1 Sedimentatie en erosie zonder stortingen	A-1
A.2 Sedimentatie erosie huidige stortlocaties	A-5
A.3 Volumes en dieptes huidige stortlocaties	A-9
A.4 Vaargeulonderhoud huidige locaties	A-13
A.5 Sedimentatie en erosie alternatieve stortlocaties	A-15
A.6 Volumes en dieptes alternatieve stortlocaties	A-22
A.7 Vaargeulonderhoud alternatieve locaties	A-29
B Resultaten slibverspreiding	B-31
B.1 Eenheidslozingen	B-31
B.1.1 Vlissingen	B-31
B.1.2 Breskens	B-32
B.1.3 Sloehaven	B-35
B.1.4 Braakman	B-37
B.1.5 Terneuzen	B-38
B.1.6 Hansweert	B-41
B.2 Effect havens	B-43
B.2.1 Vak W04	B-43
B.2.2 Vak W13	B-44
B.2.3 Vak W14	B-45
B.2.4 Vak W16	B-46
B.3 Effect verschuiving stortvakken	B-47
B.3.1 W13_alt1 t.o.v. W13	B-47
B.3.2 W13_alt2 t.o.v. W13	B-48
B.3.3 W13_alt1 t.o.v. W13_alt2	B-49
B.3.4 W04_alt1 t.o.v. W04	B-50
B.3.5 W14_alt1 t.o.v. W14	B-51
B.3.6 W16_alt1 t.o.v. W16	B-52
B.3.7 W5, W6 en W17 t.o.v. W18, W23 en W24	B-53

1 Inleiding

Het voorliggende rapport omvat een analyse van de stortvakken in de Westerschelde die in gebruik zijn ten behoeve van de verspreiding van baggerspecie afkomstig van havenonderhoud.

Dit rapport is een vervolg over het rapport over stortvak W13, gelegen in de buurt van de Sloehaven. De analysemethodiek van het huidige rapport is gelijk aan die van het vorige rapport, maar de analyse heeft nu betrekking op alle stortvakken voor baggerspecie in plaats van op een enkel stortvak. Bovendien is nu ook een analyse gemaakt van het effect van een verplaatsing van diverse stortvakken.

De analyse is gebaseerd op twee componenten: een analyse van de waargenomen ontwikkeling van de bodemligging in de tijd en de numerieke modellering van de verspreiding van zand en slib vanaf de stortlocaties.

Baggerspecie afkomstig van havenonderhoud in de Westerschelde bestaat voor het grootste deel uit slib ($< 64 \mu\text{m}$), maar voor een aanzienlijk deel ook uit zand ($> 64 \mu\text{m}$). Typisch ligt de verhouding zand/slib in de buurt van 40/60. Het verspreidingsgedrag van zand en slib is sterk verschillend, daarom wordt dit met afzonderlijke modellen beschouwd.

De opzet van het rapport is als volgt:

In hoofdstuk 2 wordt een analyse gemaakt van de ontwikkeling in de tijd van de bodemligging in en rondom de stortvakken. Op basis van deze analyse wordt duidelijk welke stortvakken 'ruim in hun jasje' zitten en welke stortvakken nog slechts een beperkte capaciteit hebben en waarvoor binnen afzienbare tijd een alternatief dient te worden gevonden.

In hoofdstuk 3 worden verspreidingsberekeningen voor zand besproken. Uit deze berekeningen volgt in welke mate zand zich over de omgeving verspreidt en welk deel in het stortvak achterblijft. De te verwachten resterende levensduur van de stortvakken kan zo worden bepaald. Ook wordt de invloed van de specieverbreiding op het vaargeulonderhoud zo zichtbaar.

In hoofdstuk 4 worden verspreidingsberekeningen voor slib gepresenteerd. Belangrijke aandachtspunten zijn het effect op de vertroebeling en aanslibbing van platen en havens. De retourstroming van de stortplaats naar naburige havens is hierbij een belangrijke parameter.

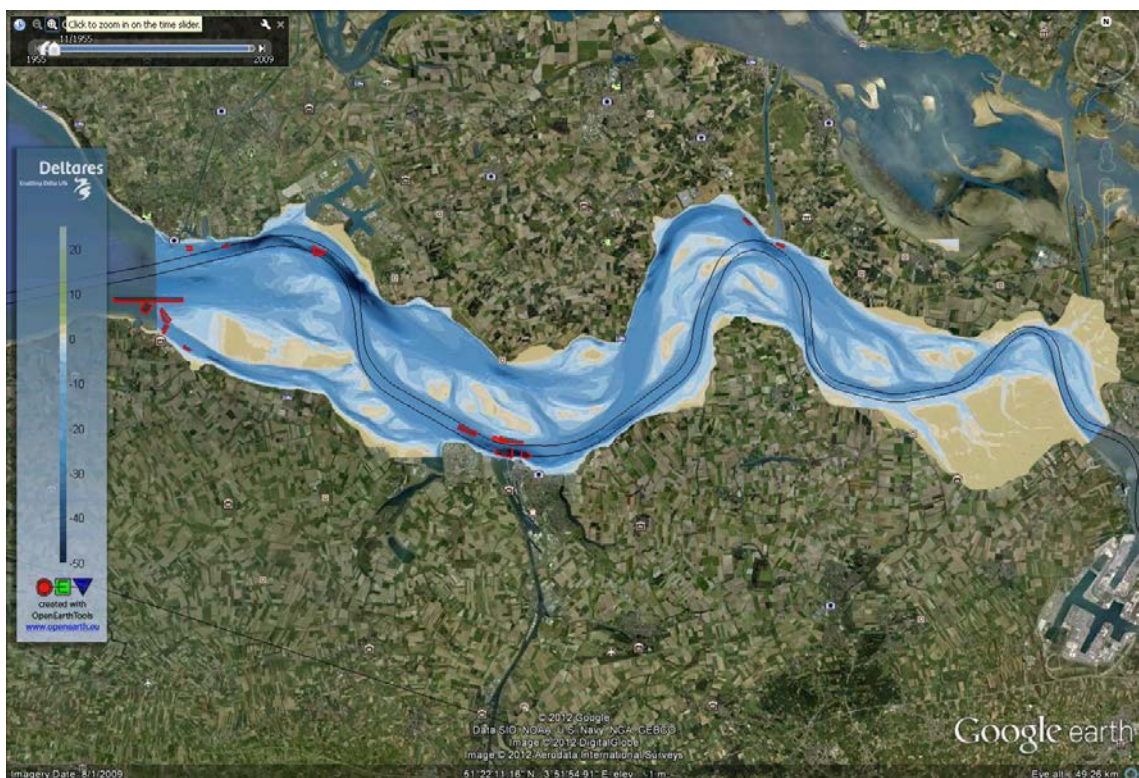
Tenslotte worden in hoofdstuk 5 de conclusies gepresenteerd gebaseerd op de resultaten van de onderdelen morfologische analyse, berekening zandverspreiding en berekening slibverspreiding.

2 Morfologische gegevensanalyse rondom stortlocaties

2.1 Gegevens

De langetermijn morfodynamica is bestudeerd op basis van vaklodingen. Deze lodingen zijn beschikbaar op een 20×20 m rooster. De gegevens zijn beschikbaar tussen 1955 en 2010, elke één tot twee jaar, afhankelijk van de periode. Figuur 2.1 en Figuur 2.2 tonen de bodemligging [m NAP] voor de jaren 1955 en 2010 voor de hele Westerschelde.

Voor de morfologische ontwikkeling van de grootste stortvakken in de Westerschelde (stortvolume groter dan 100.000 m^3 per jaar) wordt in dit hoofdstuk geanalyseerd. De lijst met alle stortvakken die bestudeerd zijn, is gegeven in Tabel 2.1, samen met de havens die worden uitgebaggerd. Op basis van de analyse van bodemdata beschikbaar voor de periode 1955-2010 wordt een aantal "problematische" stortvakken geïdentificeerd, waarvan het beschikbare volume voor storting op dit moment al bijna nul is of in de nabije toekomst bijna nul zal worden. Er worden nieuwe mogelijke locaties voor deze stortvakken geselecteerd (Paragraaf 2.4).



Figuur 2.1 Vaklodingen van het jaar 1955. De locaties van de stortvakken geanalyseerd in deze studie zijn zichtbaar in rode schaduwkleur. De vaargeul is aangegeven met zwarte lijnen.



Figuur 2.2 Vaklodgingen van het jaar 2009. De locaties van de stortvakken geanalyseerd in deze studie zijn zichtbaar in rode schaduwkleur. De vaargeul is aangegeven met zwarte lijnen

Tabel 2.1 Lijst van de stortvakken die worden geanalyseerd in deze studie. In de linkerkolom staan de namen van de havens waarin onderhoudsbaggerwerk wordt uitgevoerd.

Haven	Stortvakken
Breskens / Veerhaven	W05, W06, W17, W18, W24, W23
Buitenhaven Vlissingen	W09, W10
Havens Vlissingen oost	W13
Braakmanhaven / Autrichehaven	W15H, W16
Terneuzen	W07, W08, W14
Hansweert	W03, W04

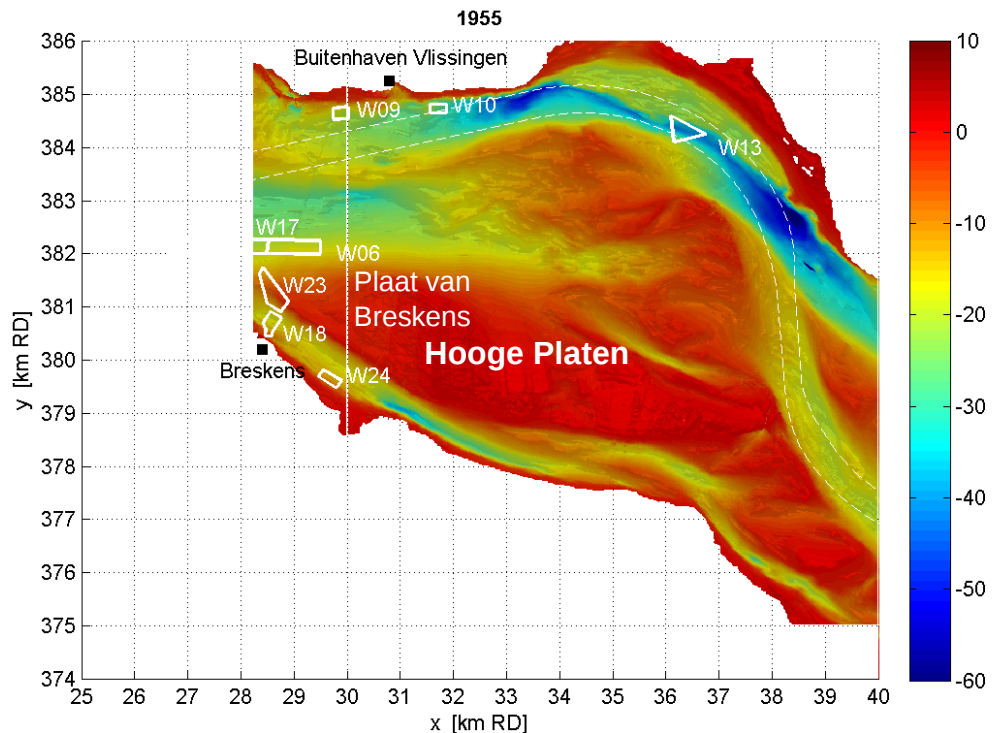
2.2 Gegevensanalyse op macrocel niveau

In deze paragraaf wordt de morfologische ontwikkeling van de Westerschelde beschreven op macrocel niveau. Deze analyse wordt uitgevoerd om de natuurlijke ontwikkelingen op grote schaal in beeld te brengen.

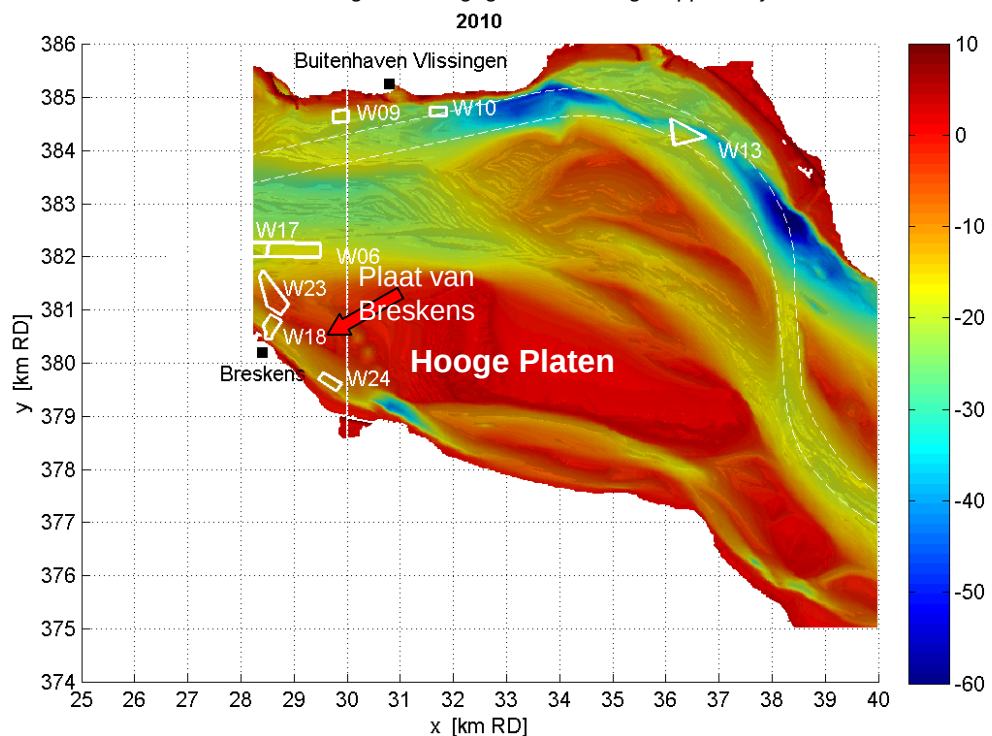
Figuur 2.3 en Figuur 2.4 tonen de bodemligging voor macrocel 1 en 2 voor respectievelijk de jaren 1955 en 2010. Uit een vergelijking van de bodemligging van 2010 met de die van 1955 is het duidelijk dat het aantal platen in het complex is afgenomen. Bovendien is ook een toename van de hoogte van de hogere gebieden in de Hooge Platen zichtbaar. Deze bevindingen worden ook beschreven in Cleveringa (2007).

Voor deze studie is het belangrijk om te kijken naar de migratie van platen in de richting van de stortlocaties. Figuur 2.3 toont in vergelijking met Figuur 2.4 bijvoorbeeld een zichtbare migratie van de Plaat van Breskens, die deel uitmaakt van de Hooge platen, in zuidwestelijke richting waar een aantal stortvakken ligt. Dezelfde trend is beter zichtbaar in Figuur 2.5, waar

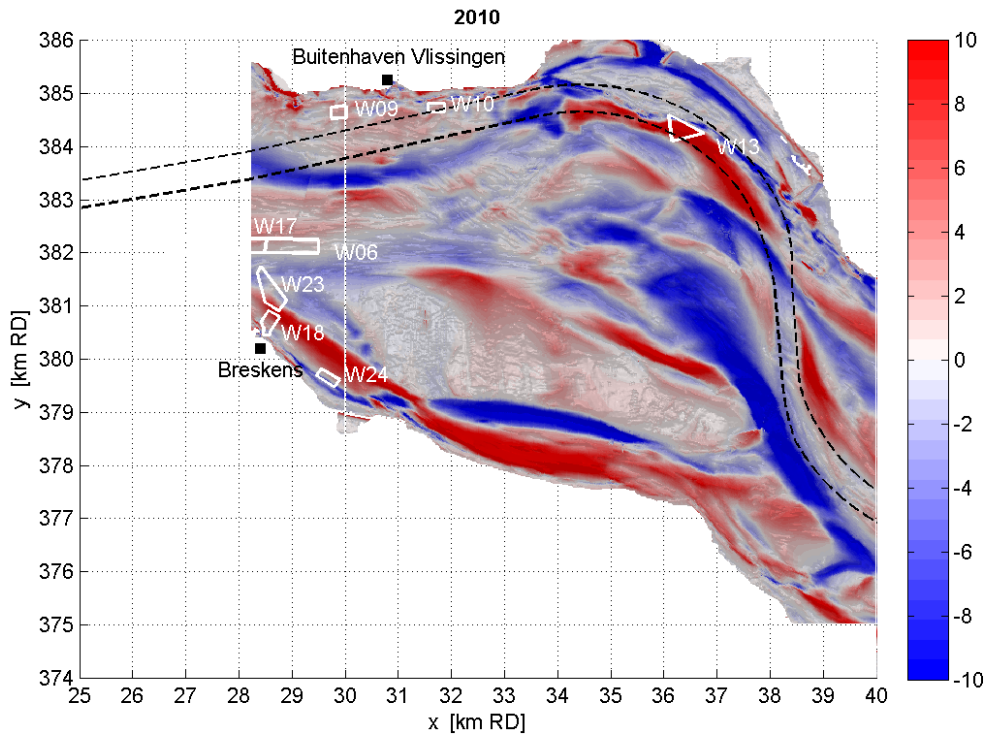
de rode kleur duidt op sedimentatie en blauw op erosie. Een duidelijk rood patroon is zichtbaar voor stortlocaties W23, W18 en W24, dat een afname van het beschikbare volume voor storting op deze locaties aangeeft (Paragraaf 0).



Figuur 2.3 Bodem van het jaar 1955 voor macrocellen 1 en 2. De witte polygonen geven de positie van de verschillende stortvakken. De vaargeul is aangegeven met de gestippelde lijnen.

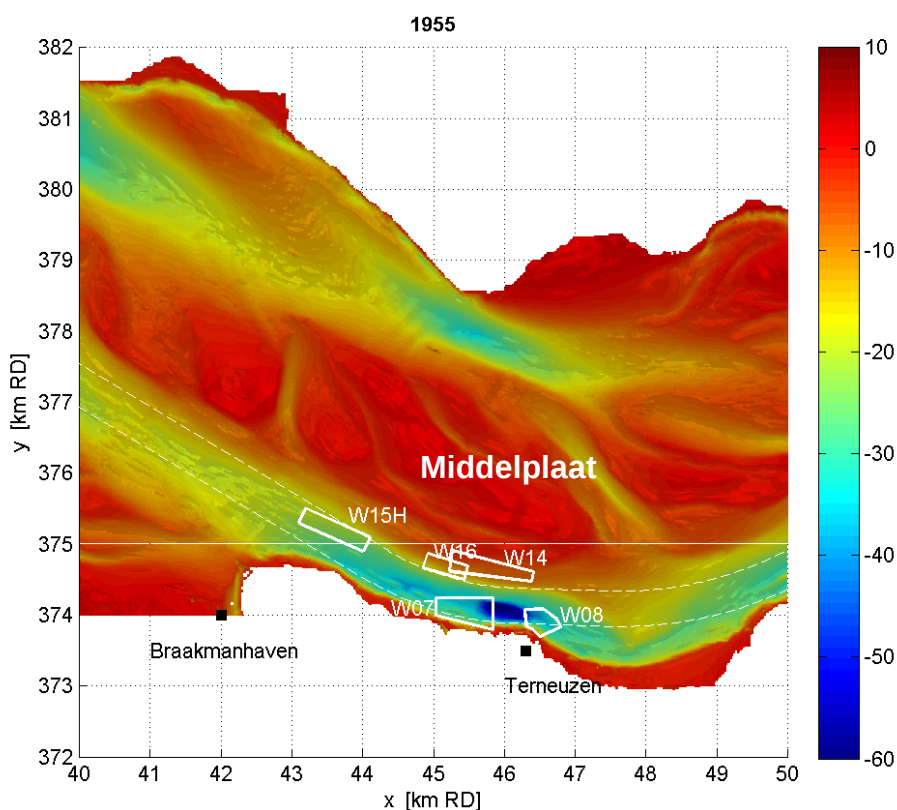


Figuur 2.4 Bodem van het jaar 2010 voor macrocellen 1 en 2. De witte polygonen geven de positie van de verschillende stortvakken. De vaargeul is aangegeven met de gestippelde lijnen. Het rode pijltje geeft de richting van migratie van de Plaat van Breskens, deel van de Hooge platen.

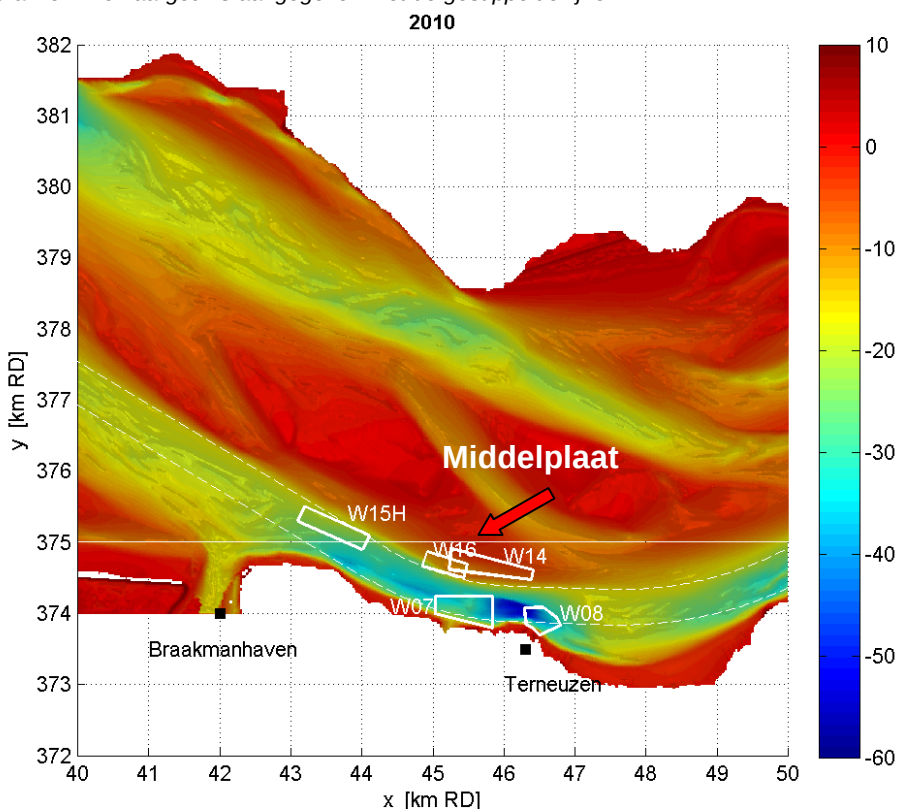


Figuur 2.5 Sedimentatie (rood) en erosie (blauw) tussen 2010 en 1955. De witte polygonen geven de positie van de verschillende stortvakken. De vaargeul is aangegeven met de gestippelde lijnen.

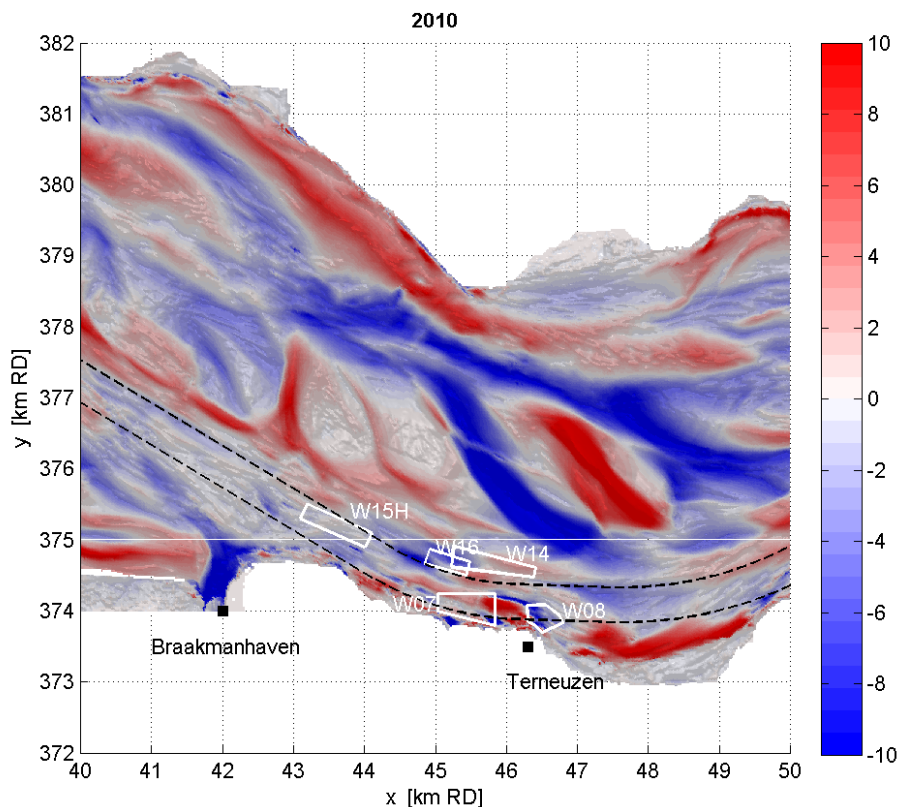
De morfologische ontwikkeling van macrocel 3 wordt beschreven in Figuur 2.6 en Figuur 2.7. Voor de Middelplaat is er een duidelijk zichtbaar afname van het areaal intergetijdengebied (Cleveringa, 2007 en huidige studie). Bovendien is er een duidelijke migratietrend van de Middelplaat naar het zuidwesten. Deze trend is belangrijk voor het beschikbare stortvolume voor stortlocaties W14 en W16 (Paragraaf 2.3.5.3 en 2.3.4.2). De erosie-sedimentatiepatronen worden getoond in Figuur 2.8, waar de rode kleur de migratie van de oostelijke deel van de Middelplaat in zuidwestelijke richting aangeeft.



Figuur 2.6 Bodem van het jaar 1955 voor macrocel 3. De witte polygonen geven de positie van de verschillende stortvakken. De vaargeul is aangegeven met de gestippelde lijnen.

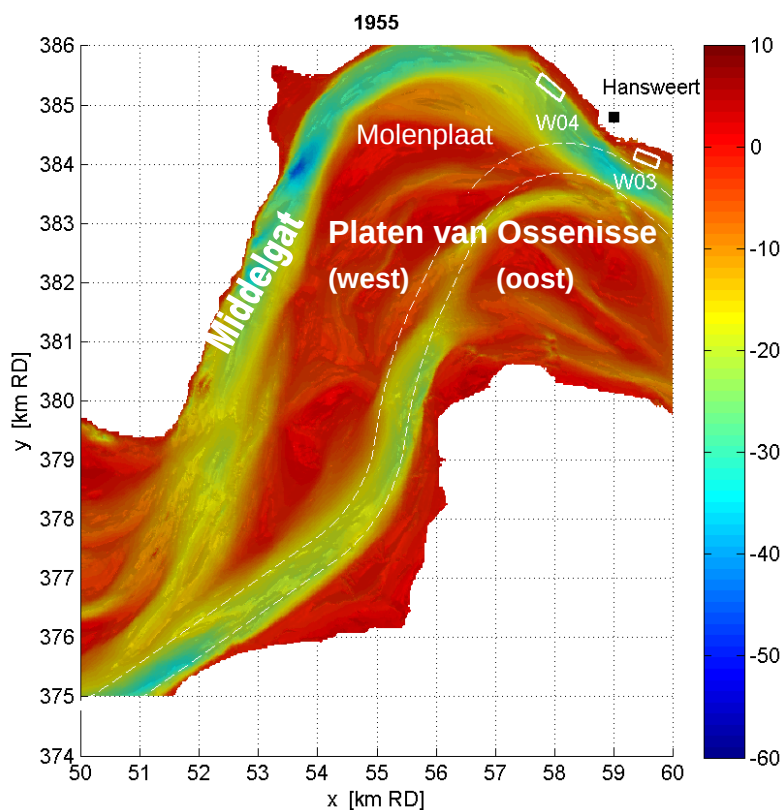


Figuur 2.7 Bodem van het jaar 2010 voor macrocel 3. De witte polygonen geven de positie van de verschillende stortvakken. De vaargeul is aangegeven met de gestippelde lijnen.

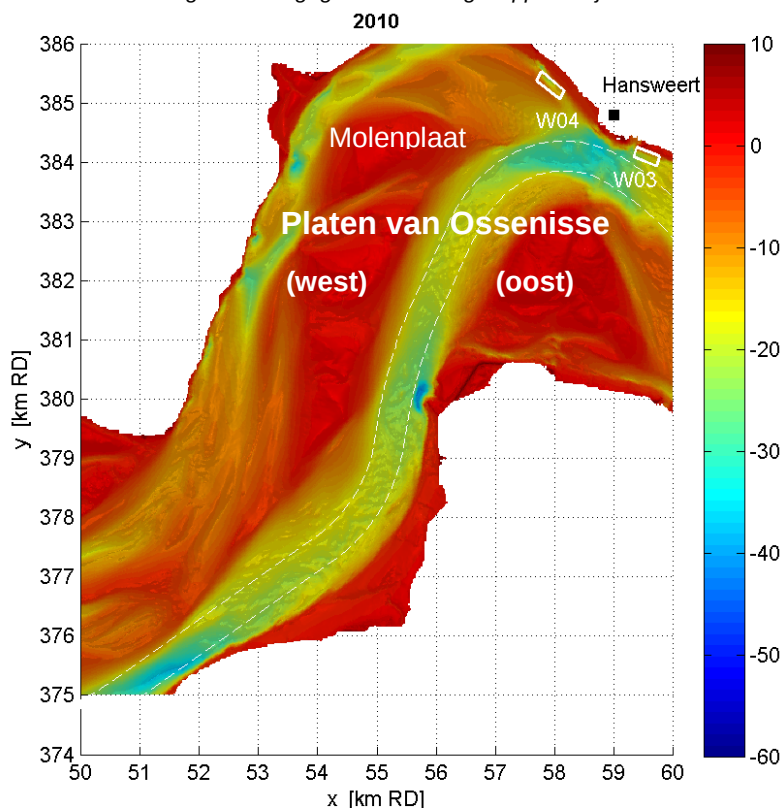


Figuur 2.8 Sedimentatie (rood) en erosie (blauw) tussen 2010 en 1955. De witte polygonen geven de positie van de verschillende stortvakken. De vaargeul is aangegeven met de gestippelde lijnen.

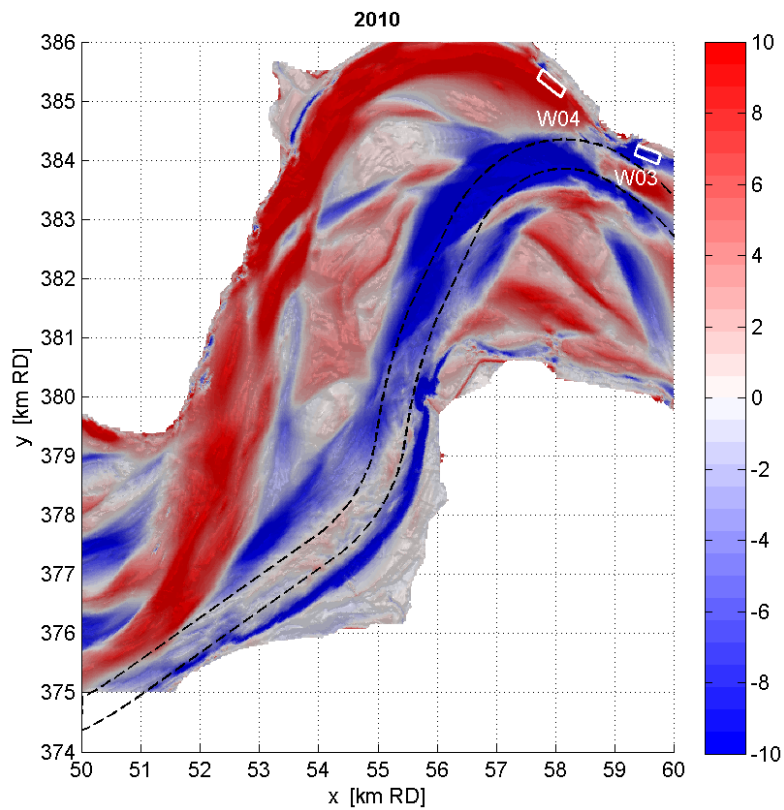
De morfologische ontwikkeling van macrocel 4 is getoond in Figuur 2.9 en Figuur 2.10. In het algemeen is er een duidelijke toename zichtbaar in hoogte en areaal van de hogere delen van de platen. Bovendien is het geulareaal toegenomen (Cleveringa, 2007). De erosie-sedimentatiepatronen in Figuur 2.11 laten overwegend sedimentatie zien ten westen van de Platen van Ossensisse en voor de Molenplaat in de Middelgat. Dit is gerelateerd aan het feit dat het Middelgat voor de jaren tachtig de hoofdgeul was, terwijl het nu de nevengeul is. Dit is belangrijk voor stortvak W04, die in deze geul ligt (Paragraaf 2.3.6.2).



Figuur 2.9 Bodem van het jaar 1955 voor macrocel 4. De witte polygonen geven de positie van de verschillende stortvakken. De vaargeul is aangegeven met de gestippelde lijnen.



Figuur 2.10 Bodem van het jaar 2010 voor macrocel 4. De witte polygonen geven de positie van de verschillende stortvakken. De vaargeul is aangegeven met de gestippelde lijnen.



Figuur 2.11 Sedimentatie (rood) en erosie (blauw) tussen 2010 en 1955. De witte polygonen geven de positie van de verschillende stortvakken. De vaargeul is aangegeven met de gestippelde lijnen.

2.3 Gegevenanalyse op stortvak niveau

In deze paragraaf wordt een analyse uitgevoerd voor alle stortvakken (zie Tabel 2.1), verdeeld over de verschillende havens waarin onderhoudsbaggerwerk wordt uitgevoerd. Voor elk stortvak worden de relatieve veranderingen van de gemiddelde waterdiepte getoond. Bovendien wordt een meer gedetailleerde analyse uitgevoerd voor een aantal "problematische" stortvakken.

Tabel 2.2 toont de jaarlijkse storthoeveelheden per vak conform de huidige vergunningen. De gegevens van de jaarlijks uitgevoerde stortingen waren niet beschikbaar voor de gehele periode. Daarom wordt in de onderstaande analyses en modelberekeningen gebruik gemaakt van de storthoeveelheden volgens de huidige vergunningen. Op basis hiervan zijn indicatieve volumeveranderingen berekend, aannemende dat de fractie $< 64 \mu\text{m}$ zich snel verspreid buiten de stortvakken. In geval van meerdere vakken per vergunning is de vergunde hoeveelheid evenredig verdeeld over deze vakken. Er is verondersteld dat de verspreiding 80% bedraagt van de limiet volgens de vergunningen. De in de volgende paragrafen besproken waargenomen volumeveranderingen in de stortvakken kunnen worden geplaatst in de context van Tabel 2.2. Indien alle zand zou achterblijven in de stortvakken, treedt een jaarlijkse volume-afname van het stortvak volgens de vierde kolom op (natuurlijke morfologische ontwikkelingen daargelaten). Bij de laatste kolom, namelijk de cumulatieve volumeverandering over 60 jaar wordt opgemerkt dat in het begin van deze periode de verspreide hoeveelheden waarschijnlijk belangrijk lager zijn, zodat het geschatte cumulatieve volume een bovengrens is. Van de periode voor circa 1990 zijn de gegevens over specieverspreiding echter niet meer beschikbaar.

Tabel 2.2 Lijst van geschatte volumeveranderingen per stortvak t.g.v. de verspreiding van havenspecie (alleen fractie $> 64 \mu\text{m}$). Kolom 4 = $0.8 \times \text{kolom 2} \times \text{kolom 3}$. Kolom 5 = $60 \times \text{kolom 4}$.

Stortvak	m ³ vergunning ×10 ³	Fractie $> 64 \mu\text{m}$	m ³ zand per jaar ×10 ³	totaal periode 1950 – 2010
W03	300	36	86	5.184
W04	300	36	86	5.184
W05	225	48	86	5.184
W06	225	48	86	5.184
W07	570	60	274	16.416
W08	70	60	34	2.016
W09	225	42	76	4.536
W10	225	42	76	4.536
W13	1750	60	840	50.400
W14	615	46	226	13.579
W15H	1750	48	672	40.320
W16	1100	48	422	25.344
W17	365	48	140	8.410
W18	215	51	88	5.263
W23	225	44	79	4.752
W24	225	44	79	4.752

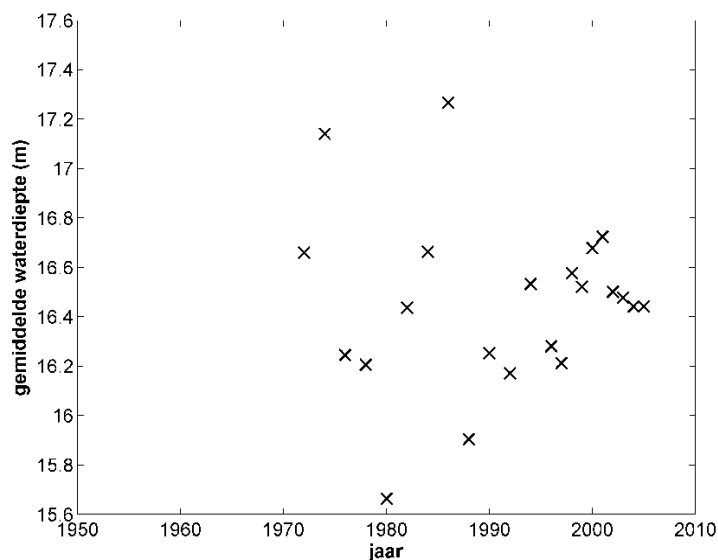
2.3.1 Baggerlocatie: Breskens en Veerhaven

2.3.1.1 Stortvak W05

De locatie van stortvak W05 wordt getoond in Figuur 2.12 en gemiddelde diepte in Figuur 2.13. Deze figuur toont nauwelijks veranderingen in waterdiepte in de tijd. Bovendien is de waterdiepte ruim voldoende voor schepen die de specie verspreiden. De ondergrens voor de bodemligging voor baggerschepen die het meest worden ingezet in de Westerschelde is ongeveer LAT -7 m (corresponderend met NAP -9.6 m op basis van LAT bij Vlissingen).



Figuur 2.12 Locatie van stortvak W05 met bodemdata van het jaar 2009 op de achtergrond.



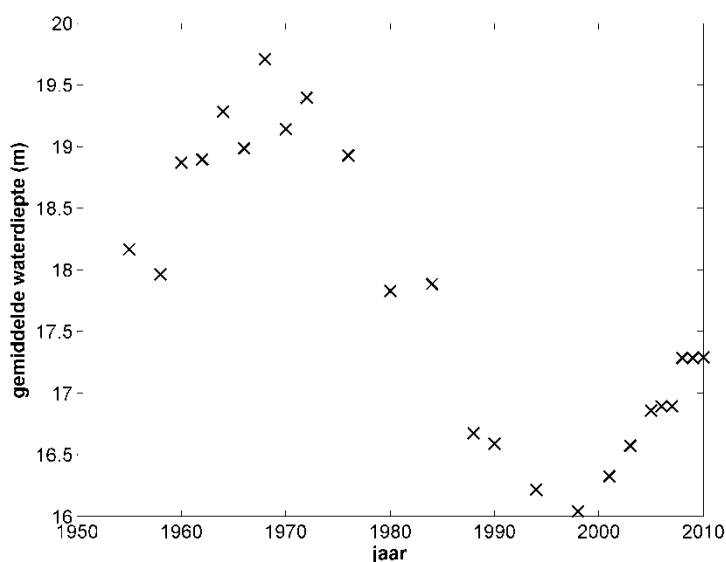
Figuur 2.13 Relatieve veranderingen van de gemiddelde waterdiepte t.o.v. NAP ter plekke van stortvak W05.

2.3.1.2 Stortvak W06

De locatie van stortvak W06 is zichtbaar in Figuur 2.14. Figuur 2.15 beschrijft de veranderingen in gemiddelde waterdiepte van stortvak W06 tussen 1955 en 2010. Deze figuur toont een afname in de gemiddelde waterdiepte tussen 1970 en 2000 van bijna 4 m. Niettemin is de trend sinds 2000 omgekeerd en is de gemiddelde waterdiepte evenals de capaciteit voor specieverspreiding toegenomen.



Figuur 2.14 Locatie van stortvak W06 met bodemdata van het jaar 2009 op de achtergrond.



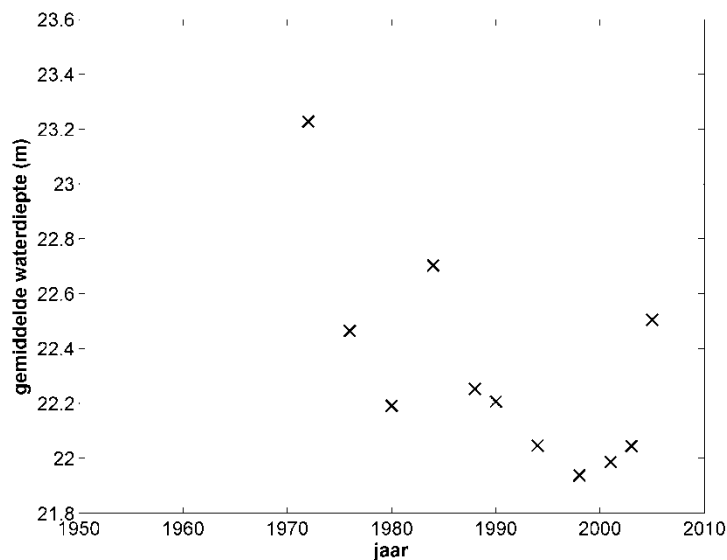
Figuur 2.15 Relatieve veranderingen van de gemiddelde waterdiepte t.o.v. NAP ter plekke van stortvak W06.

2.3.1.3 Stortvak W17

De locatie van stortvak W17 is zichtbaar in Figuur 2.16. Figuur 2.17 toont de ontwikkeling in de tijd van de gemiddelde waterdiepte in het stortvak. Deze figuur toont geen duidelijke trend: de verandering in waterdiepte is beperkt.



Figuur 2.16 Locatie van stortvak W17 met bodemdata van het jaar 2009 op de achtergrond.



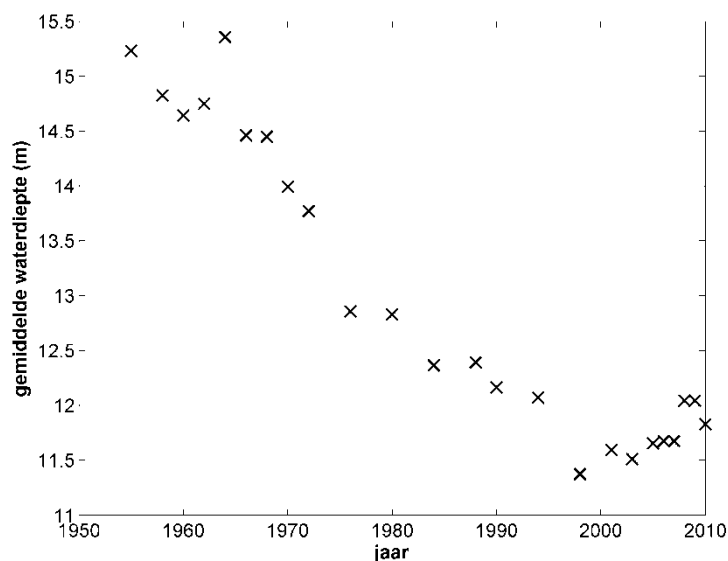
Figuur 2.17 Relatieve veranderingen van de gemiddelde waterdiepte t.o.v. NAP ter plekke van stortvak W17.

2.3.1.4 Stortvak W18

Figuur 2.18 toont de locatie van stortvak W18. De ontwikkeling van de gemiddelde waterdiepte in de tijd is zichtbaar in Figuur 2.19. Deze figuur toont een duidelijke afnemende trend van de gemiddelde waterdiepte tussen 1955 en 2000. Voor de laatste 10 jaar zijn slechts relatief kleine veranderingen zichtbaar. De gemiddelde waterdiepte in 2010 was 11.8 m. De invloed van in de omgeving uitgevoerde plaatrandstortingen in 2010 is niet zichtbaar. Als de trend die zichtbaar is tussen 1955 en 2000 door zal zetten in de toekomst, zal stort op deze locatie beëindigd moeten worden op een tijdschaal van ongeveer 30 jaar. Daarom beschouwen we dit stortvak als “problematisch met lage prioriteit”. Alternatieve locaties voor dit stortvak worden besproken in Paragraaf 2.4.



Figuur 2.18 Locatie van stortvak W18 met bodemdata van het jaar 2009 op de achtergrond.



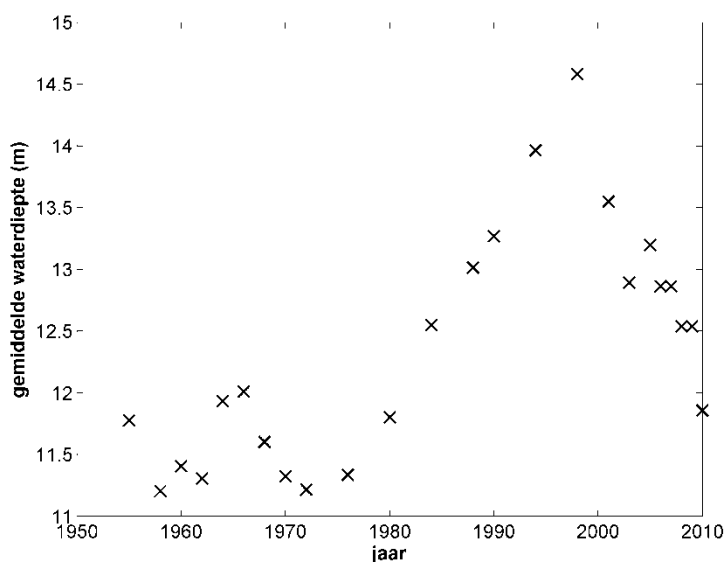
Figuur 2.19 Relatieve veranderingen van de gemiddelde waterdiepte t.o.v. NAP ter plekke van stortvak W18.

2.3.1.5 Stortvak W24

Figuur 2.20 toont de locatie van stortvak W24. De gemiddelde diepte in het stortvak wordt getoond in Figuur 2.21. Deze figuur toont geen duidelijke trend en de verandering in waterdiepte op de tijdschaal van de metingen (55 jaar) is minimaal. Sinds 1980 is de waterdiepte toegenomen met ongeveer 2.5 m, sinds 1998 is de waterdiepte weer aan het afnemen. Hierdoor komt de waterdiepte echter nog niet beneden het niveau van de jaren '50 tot '70.



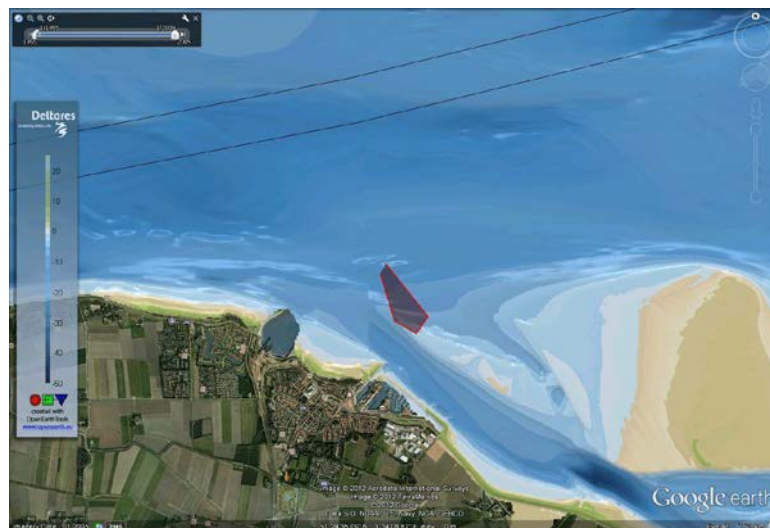
Figuur 2.20 Locatie van stortvak W24 met bodemdata van het jaar 2009 op de achtergrond.



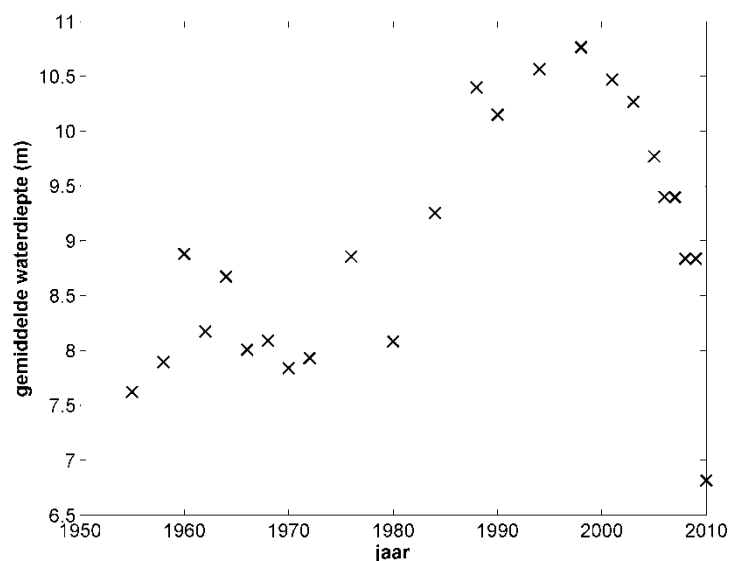
Figuur 2.21 Relatieve veranderingen van de gemiddelde waterdiepte t.o.v. NAP ter plekke van stortvak W24.

2.3.1.6 Stortvak W23

Figuur 2.22 toont de locatie van stortvak W23. De ontwikkeling van de gemiddelde waterdiepte in de tijd is zichtbaar in Figuur 2.23. Deze figuur toont een heel kleine waterdiepte in 2010 van maar 6.8 m. Deze sprong in waterdiepte wordt waarschijnlijk veroorzaakt door de in 2010 ter plekke uitgevoerde plaatrandstortingen. Bovendien is de trend in de gemiddelde waterdiepte voor de laatste 12 jaar negatief. Dus beschouwen we dit stortvak als “problematisch met hoge prioriteit” (Paragraaf 2.4). Figuur 2.24 toont de ontwikkeling in de tijd van het sedimentvolume in het stortvak. In de laatste 10 jaar is het sedimentvolume in het stortvak toegenomen met ongeveer $0.8 \times 10^6 \text{ m}^3$. Dat is gedeeltelijk gerelateerd aan het storten van sediment in het stortvak. Niettemin kan de natuurlijke morfologische ontwikkeling van de nabijgelegen plaat (de plaat van Breskens) een invloed hebben (Paragraaf 2.2).

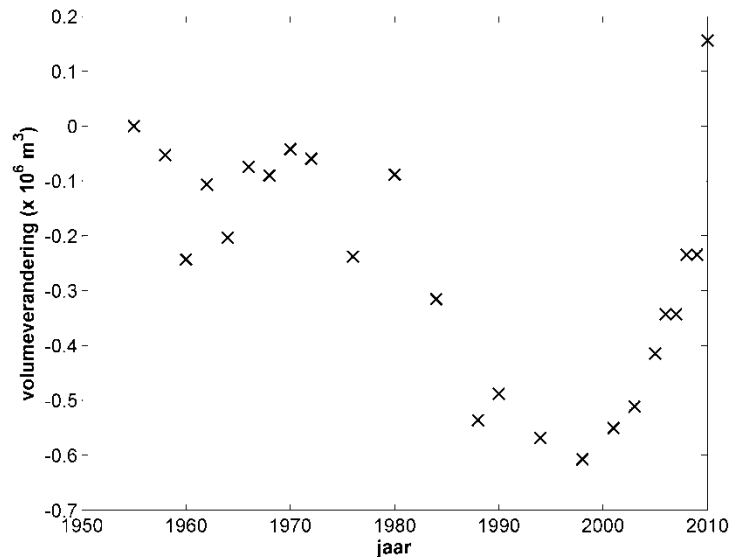


Figuur 2.22 Locatie van stortvak W23 met bodemdata van het jaar 2009 op de achtergrond.

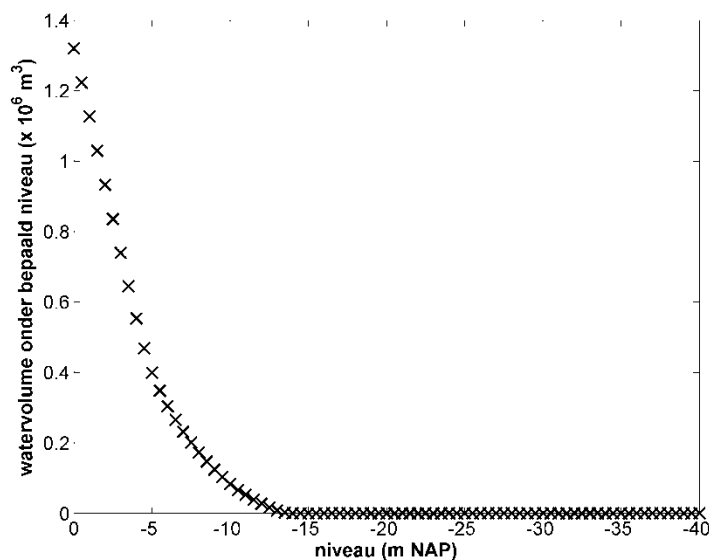


Figuur 2.23 Relatieve veranderingen van de gemiddelde waterdiepte t.o.v. NAP ter plekke van stortvak W23.

Figuur 2.25 toont het watervolume dat onder een gegeven verticaal niveau ligt (de "stortruimte"). Als we bijvoorbeeld 7 m LAT (9.6 m NAP) beschouwen als minimale diepte voor storting, is er nog een stortruimte van ongeveer $0.1 \times 10^6 \text{ m}^3$.



Figuur 2.24 Cumulatieve volumeveranderingen in het stortvak W23 t.o.v. jaar 1955.



Figuur 2.25 Hypsometrische curve (watervolume) ter plekke van stortvak W23.

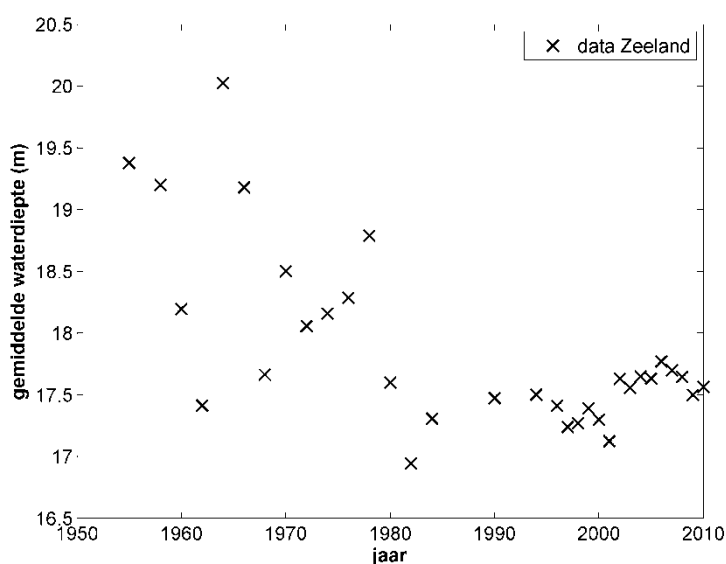
2.3.2 Baggerlocatie: Buitenhaven Vlissingen

2.3.2.1 Stortvak W09

Figuur 2.26 toont de locatie van stortvak W09. De gemiddelde diepte in het stortvak wordt getoond in Figuur 2.27. Deze figuur toont geen duidelijke verandering in waterdiepte voor de laatste 30 jaar, dus we beschouwen de situatie van dit stortvak als stabiel.



Figuur 2.26 Locatie van stortvak W09 met bodemdata van het jaar 2009 op de achtergrond.



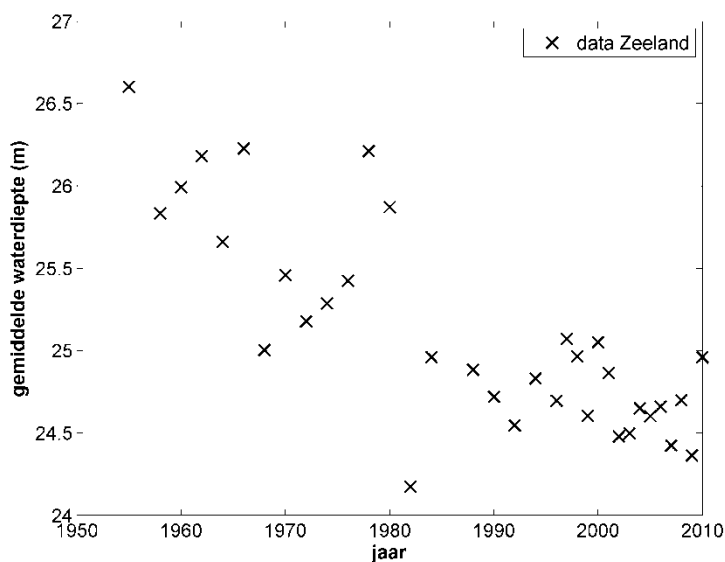
Figuur 2.27 Relatieve veranderingen van de gemiddelde waterdiepte t.o.v. NAP ter plekke van stortvak W09.

2.3.2.2 Stortvak W10

De locatie van stortvak W10 is zichtbaar in Figuur 2.28. Figuur 2.29 beschrijft de veranderingen in gemiddelde waterdiepte in stortvak W10 tussen 1955 en 2010. De verandering in gemiddelde waterdiepte is minimaal. Bovendien is de gemiddelde waterdiepte op deze locatie relatief hoog. Dus wordt dit stortvak niet beschouwd als problematisch.



Figuur 2.28 Locatie van stortvak W10 met bodemdata van het jaar 2009 op de achtergrond.



Figuur 2.29 Relatieve veranderingen van de gemiddelde waterdiepte t.o.v. NAP ter plekke van stortvak W10.

2.3.3 Baggerlocatie: Havens Vlissingen oost

2.3.3.1 Stortvak W13

De locatie van stortvak W13 is zichtbaar in Figuur 2.30. Deze stortlocatie is in detail geanalyseerd in Van Kessel et al. (2012). Figuur 2.31 beschrijft de veranderingen in gemiddelde waterdiepte in stortvak W13 tussen 1955 en 2010. De gemiddelde diepte in 2010 was circa 23 m. Dit stortvak is deels gepositioneerd in de vaargeul waar de bovengrens voor storten is gesteld op NAP = -22.6 m. Dat betekent dat de ruimte die nog beschikbaar is voor storting heel beperkt is. Daarom beschouwen wij dit stortvak als “problematisch met hoge prioriteit” (Paragraaf 2.4).



Figuur 2.30 Locatie van stortvak W13 met bodemdata van het jaar 2009 op de achtergrond.

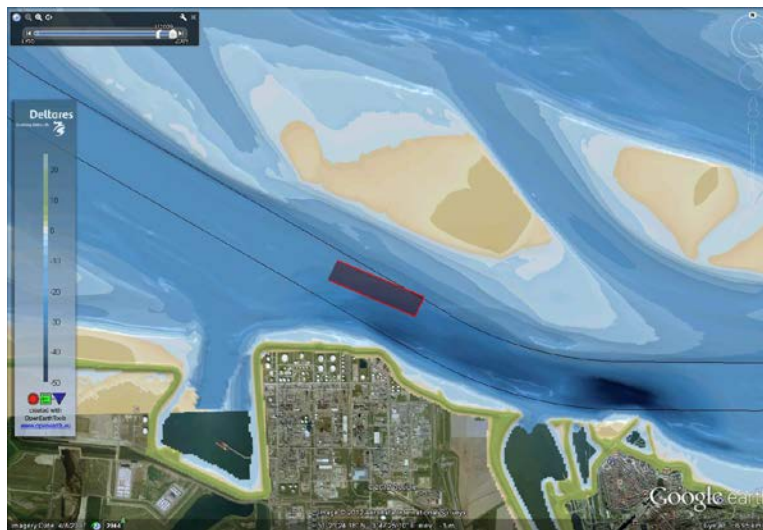


Figuur 2.31 Relatieve veranderingen van de gemiddelde waterdiepte t.o.v. NAP ter plekke van stortvak W13. Ontbrekende vaklodingen data van Rijkswaterstaat Zeeland (zwarte kruizen) zijn aangevuld met data van Rijkswaterstaat Waterdienst (rode cirkels).

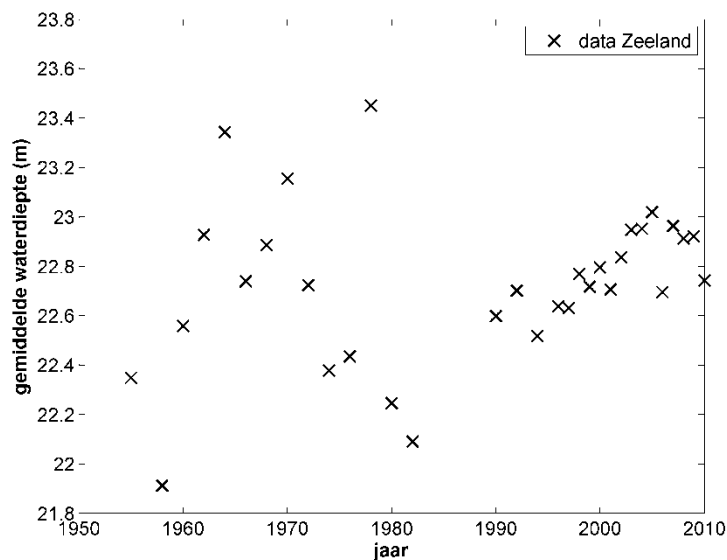
2.3.4 Baggerlocaties: Braakmanhaven en Autrichehaven

2.3.4.1 Stortvak W15H

De locatie van stortvak W15H is zichtbaar in Figuur 2.32. De gemiddelde diepte in het stortvak wordt getoond in Figuur 2.33. Deze figuur toont geen duidelijke verandering in waterdiepte, dus we beschouwen de situatie van dit stortvak als stabiel.



Figuur 2.32 Locatie van stortvak W15H met bodemdata van het jaar 2009 op de achtergrond.



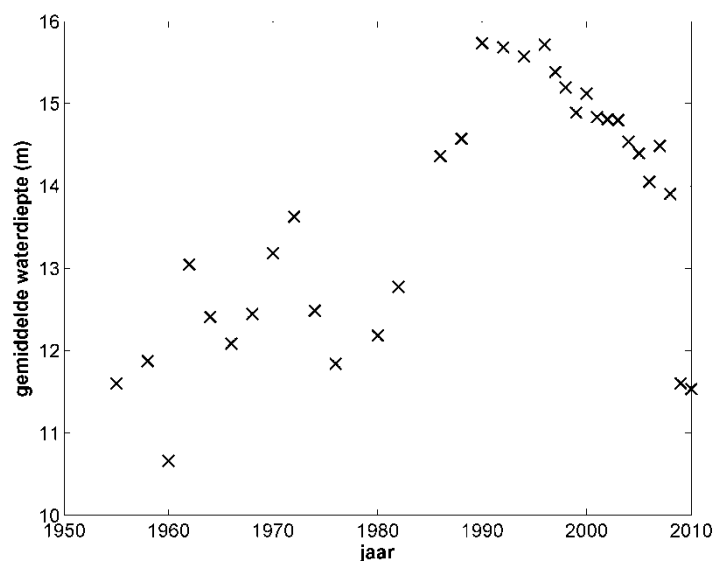
Figuur 2.33 Relatieve veranderingen van de gemiddelde waterdiepte t.o.v. NAP ter plekke van stortvak W15H.

2.3.4.2 Stortvak W16

De locatie van stortvak W16 is zichtbaar in Figuur 2.34. De gemiddelde diepte in het stortvak wordt getoond in Figuur 2.35. Tussen 1955 en 2010 is er nauwelijks verandering in de gemiddelde waterdiepte. Niettemin is de gemiddelde waterdiepte tussen 1990 en 2010 afgenomen met meer dan 4 m. Als deze trend verder zal gaan in de toekomst, dient stort op deze locatie beëindigd te worden op een tijdschaal van ongeveer 10 jaar. Daarom beschouwen wij deze stortlocatie als “problematische met lage prioriteit” (Paragraaf 2.4). Tussen 2008 en 2009 vindt een plotselinge afname van de gemiddelde waterdiepte plaats van circa 14 tot 12 m.



Figuur 2.34 Locatie van stortvak W16 met bodemdata van het jaar 2009 op de achtergrond.



Figuur 2.35 Relatieve veranderingen van de gemiddelde waterdiepte t.o.v. NAP ter plekke van stortvak W16.

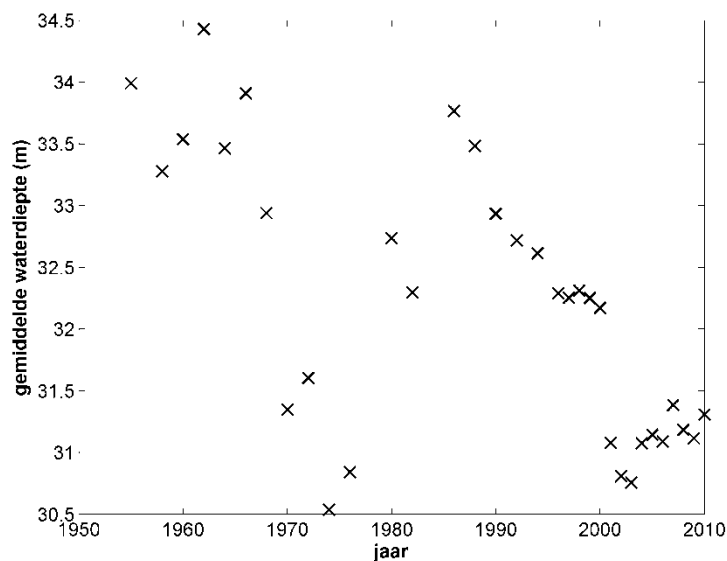
2.3.5 Baggerlocatie: Terneuzen

2.3.5.1 Stortvak W07

De locatie van stortvak W07 is zichtbaar in Figuur 2.36. Figuur 2.37 beschrijft de veranderingen in gemiddelde waterdiepte in stortvak W07 tussen 1955 en 2010. De Figuur toont een erg grote waterdiepte op deze locatie, ondanks een zwakke negatieve trend. Dus kan dit stortvak nog tot in de verre toekomst gebruikt worden.



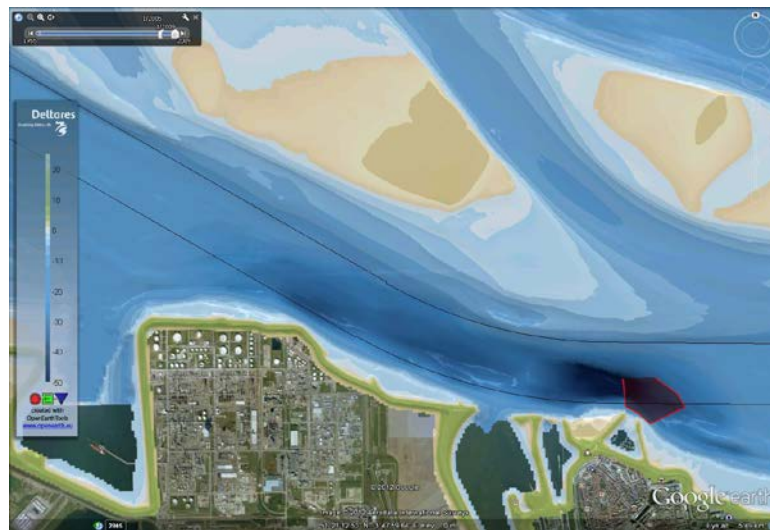
Figuur 2.36 Locatie van stortvak W07 (omgeven door rode lijn) met bodemdata van het jaar 2009 op de achtergrond.



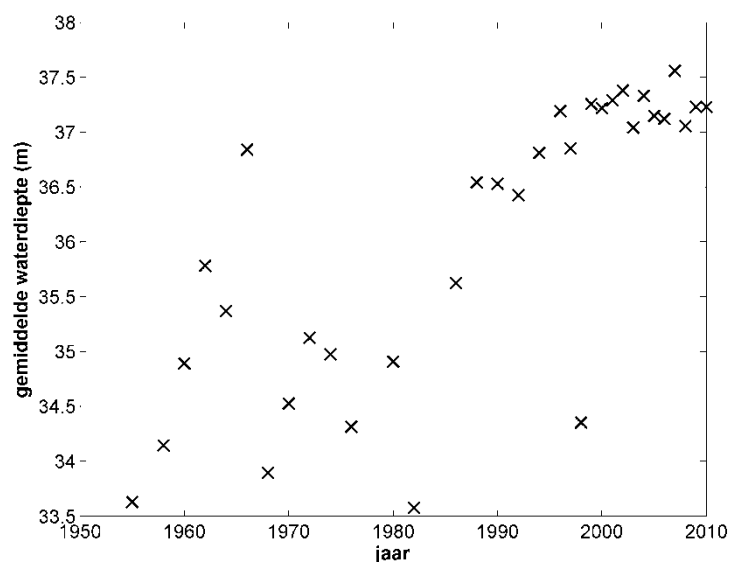
Figuur 2.37 Relatieve veranderingen van de gemiddelde waterdiepte t.o.v. NAP ter plekke van stortvak W07.

2.3.5.2 Stortvak W08

Figuur 2.38 toont de locatie van stortvak W08, die is gelegen in een zeer diep deel van de vaargeul. Dat wordt bevestigd door Figuur 2.39, die de verandering van de water diepte in de tijd toont. Bovendien is de trend op deze stortlocatie in de richting van een verdere toename van de waterdiepte. Dus is er op deze locatie geen probleem met stortruimte te voorzien in de toekomst.



Figuur 2.38 Locatie van stortvak W08 (omgeven door rode lijn) met bodemdata van het jaar 2009 op de achtergrond.



Figuur 2.39 Relatieve veranderingen van de gemiddelde waterdiepte t.o.v. NAP ter plekke van stortvak W08.

2.3.5.3 Stortvak W14

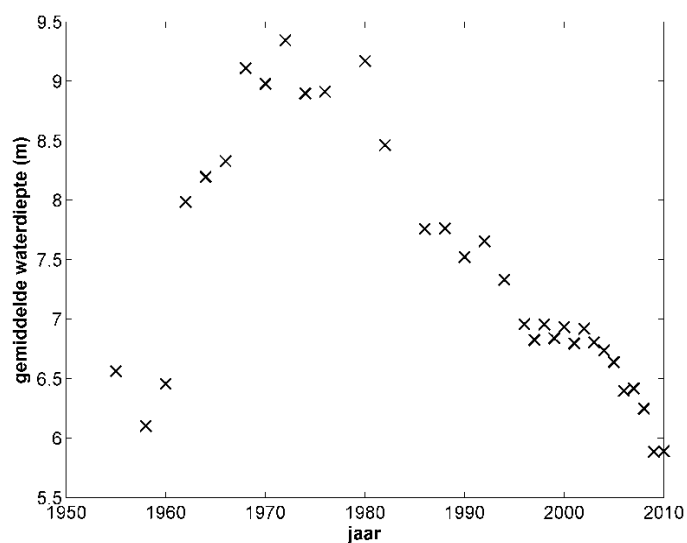
Figuur 2.40 toont de locatie van stortvak W14. De ontwikkeling van de gemiddelde waterdiepte in de tijd wordt getoond in Figuur 2.41. De gemiddelde waterdiepte in 2010 is maar 5.9 m. Bovendien is de trend in waterdiepte sinds de jaren zeventig negatief geworden met een afname in waterdiepte van meer dan 3 m in 30 jaar. Daarom beschouwen we dit stortvak als “problematisch met hoge prioriteit” (Paragraaf 2.4).

De sterke verandering in trend tussen voor en na de jaren zeventig is misschien gerelateerd aan het begin van storten van specie op deze locatie. Natuurlijke grootschalige morfologische veranderingen zoals beschreven in Paragraaf 2.2 (voornamelijk de migratie van de Middelpaai) kunnen ook een rol spelen in deze verandering in trend.

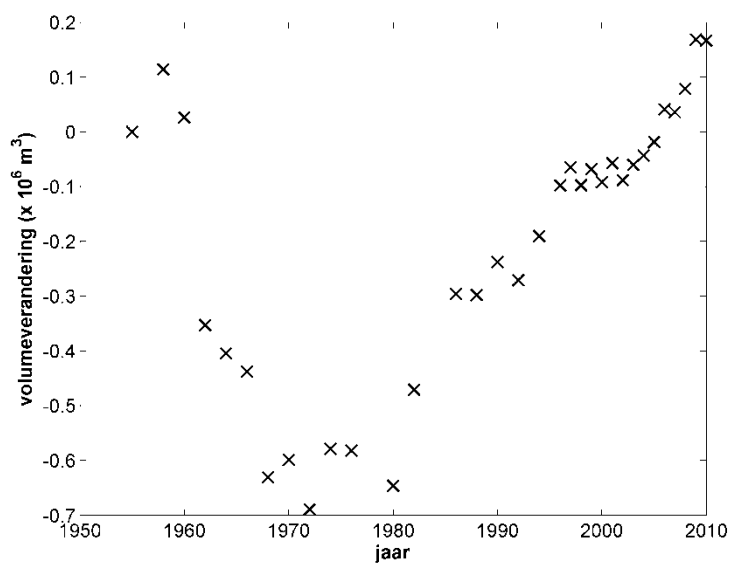
Figuur 2.42 toont de ontwikkeling in de tijd van het sedimentvolume in het stortvak. In de laatste 30 jaar is het sedimentvolume in het stortvak toegenomen met ongeveer $0.85 \times 10^6 \text{ m}^3$. Figuur 2.43 toont het watervolume dat onder een gegeven verticaal niveau ligt (de “stortruimte”). Indien we LAT -7 m (NAP -9.6 m) als minimumdiepte voor storting hanteren, is er nog een stortruimte van slechts $0.02 \times 10^6 \text{ m}^3$.



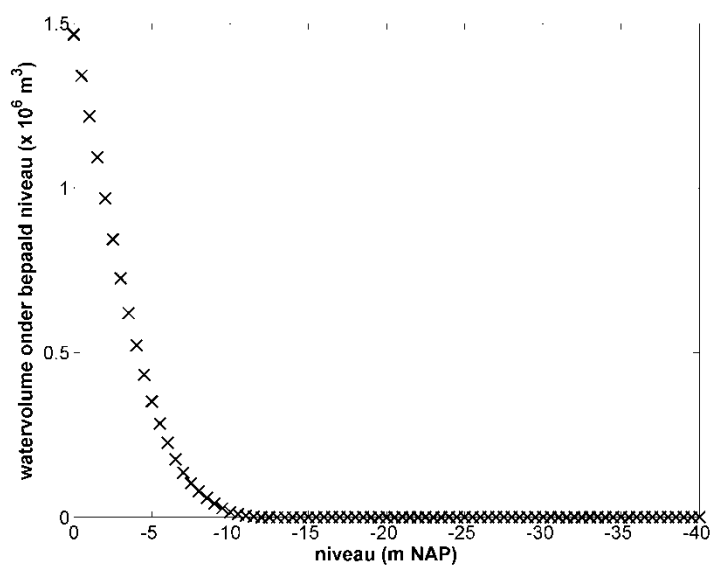
Figuur 2.40 Locatie van stortvak W14 met bodemdata van het jaar 2009 op de achtergrond.



Figuur 2.41 Relatieve veranderingen van de gemiddelde waterdiepte t.o.v. NAP ter plekke van stortvak W14.



Figuur 2.42 Ontwikkeling van het totale sedimentvolume in het stortvak W14.



Figuur 2.43 Hypsometrische curve (water volume) ter plekke van stortvak W14.

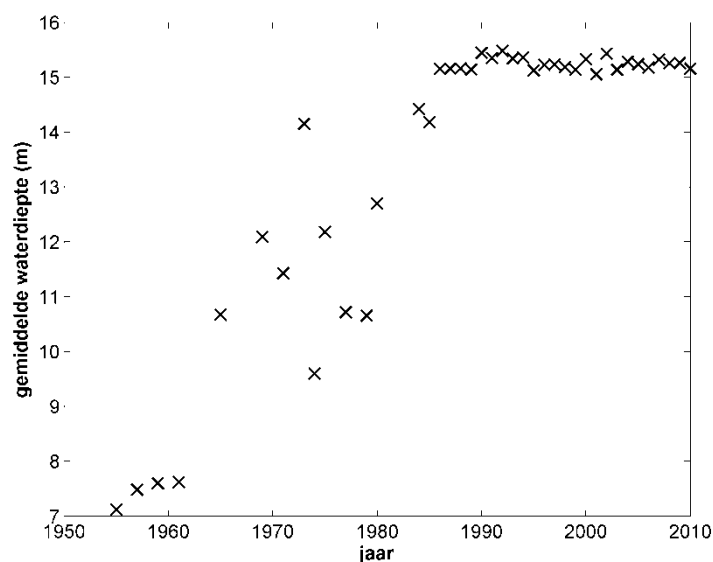
2.3.6 Baggerlocatie Hansweert

2.3.6.1 Stortvak W03

Figuur 2.44 toont de locatie van stortvak W03. De ontwikkeling van de gemiddelde waterdiepte in de tijd wordt getoond in Figuur 2.45. Deze figuur toont nauwelijks verandering in waterdiepte voor de laatste 25 jaar. Daarom voorzien wij geen probleem met de stortruimte op deze locatie.



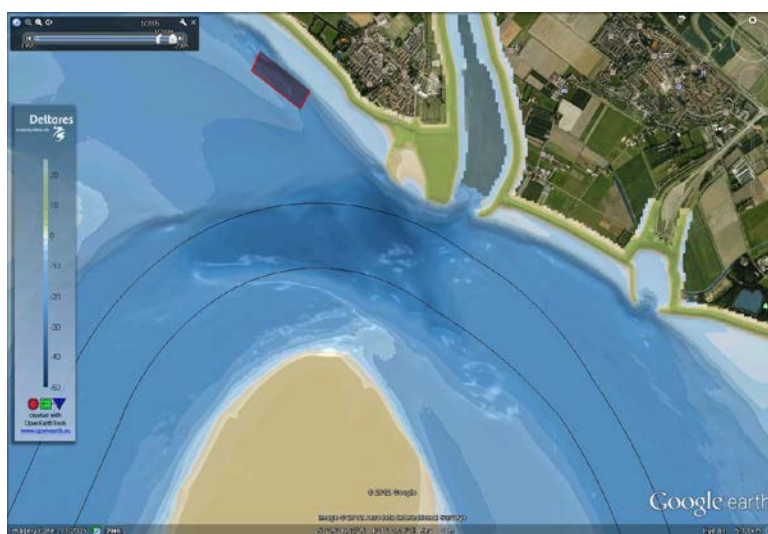
Figuur 2.44 Locatie van stortvak W03 met bodemdata van het jaar 2009 op de achtergrond.



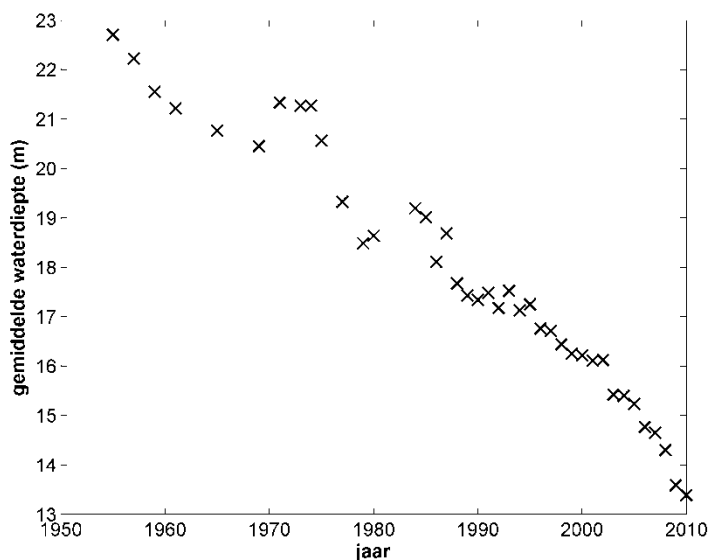
Figuur 2.45 Relatieve veranderingen van de gemiddelde waterdiepte t.o.v. NAP ter plekke van stortvak W03.

2.3.6.2 Stortvak W04

Figuur 2.46 toont de locatie van stortvak W04. De ontwikkeling in tijd van de gemiddelde waterdiepte in stortvak W04 is zichtbaar in Figuur 2.47. Deze Figuur toont een constante afname in gemiddelde waterdiepte tussen 1955 en 2010 met een trend van ongeveer 0.2 m per jaar. Dat is gerelateerd met de grootschaal morfodynamische veranderingen in deze macrocel (Paragraaf 2.2). Indien de trend zich de komende jaren doorzet, betekent dit dat het gebruik van dit stortvak gestopt zal moeten worden over ongeveer 20 jaar. Dus beschouwen wij deze stortlocatie als “problematisch met lage prioriteit” (Paragraaf 2.4).



Figuur 2.46 Locatie van stortvak W04 met bodemdata van het jaar 2009 op de achtergrond.



Figuur 2.47 Relatieve veranderingen van de gemiddelde waterdiepte t.o.v. NAP ter plekke van stortvak W04.

2.4 Voorstel voor alternatieve locaties voor problematische stortvakken

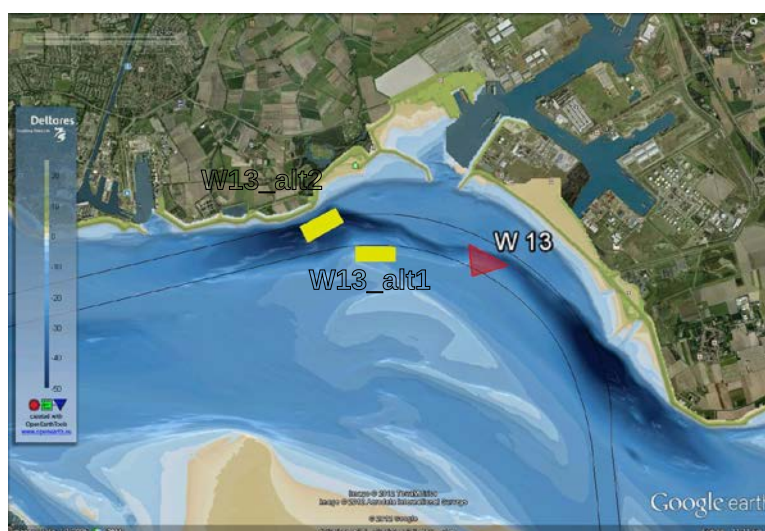
In de voorafgaande paragrafen is de morfologische ontwikkeling van de belangrijkste stortvakken in de Westerschelde (stortvolumes groter dan 100.000 m³ per jaar) geanalyseerd op basis van bodemdata beschikbaar voor de periode 1955-2010. Met behulp van deze analyse zijn de stortvakken geïdentificeerd waarvan de beschikbare capaciteit momenteel (lees 2010) ontoereikend is en die waarvan de capaciteit in de toekomst mogelijk niet voldoende zal zijn bij een voortzetting van de morfologische trend (sedimentatie) van de laatste jaren. Het vinden van alternatieve locaties voor de eerste groep stortvakken heeft een hoge prioriteit en hieronder vallen vakken W13, W14 en W23. De tweede groep bestaat uit W04, W16, W18 en W24, voor deze stortvakken heeft het vinden van alternatieve stortvakken een lagere prioriteit. De lijst met problematische stortvakken is gegeven in Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Lijst met problematische stortvakken

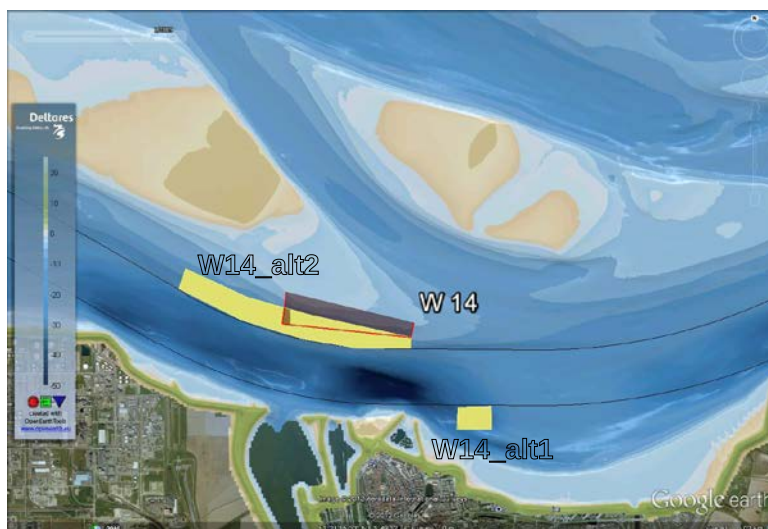
Klassering	Naam stortvak
Hoge prioriteit	W13, W14, W23
Lage prioriteit	W04, W18, W24, W16

Voor alle bovenstaande stortvakken hebben we mogelijke alternatieve locaties gezocht rekening houdend met i) vaarafstand, ii) diepte (i.e. stortcapaciteit), iii) morfologische ontwikkeling (waarbij een erosieve trend een plus is, want dan zal naar verwachting het gestorte sediment niet snel accumuleren) en iv) aanwezigheid van andere functies (met name met betrekking tot de scheepvaart). Deze mogelijke alternatieve locaties worden in Hoofdstukken 3 en 4 doorgerekend waarbij naast deze aspecten ook bestudeerd zal worden hoe het onderhoud van de vaargeul en de havens wordt beïnvloed door de locatiekeuze.

Deze overwegingen leiden tot de mogelijke alternatieve stortlocaties zoals getoond in Figuur Figuur 2.48 tot en met Figuur 2.51.



Figuur 2.48 Huidige locatie stortvak W13 (in rode kleur) en mogelijke nieuwe locaties (in gele kleur). De zwarte lijn geeft de ligging van de vaargeul.



Figuur 2.49 Huidige locatie stortvak W14 (in rode kleur) en mogelijke nieuwe locaties (in gele kleur). De zwarte lijn geeft de ligging van de vaargeul.

Voor stortvak W13 betreft het een alternatief aan de overzijde van de vaargeul ca. 1 km ten westen van de huidige locatie (alternatief 1) en het al door Svašek (Van Leeuwen en Rotsaert, 2012) doorgerekende alternatief in de diepe put in de vaargeul ten westen van Sloehaven (alternatief 2) (Figuur 2.48).

Voor het stortvak W14 zijn de alternatieven: 1) ten zuiden van de vaargeul en ten oosten van de haven en 2) een gezamenlijk stortvak met W16 dat aan de overzijde van de vaargeul ligt (Figuur 2.49). De bestaande stortvakken W07 en W08 zijn op basis van hun waterdiepte en resterend stortvolume ook geschikt, maar zijn op basis van hun ligging pal voor de havenmonding minder gunstig wat betreft retourstroming.

Het enige alternatief dat doorgerekend is voor W23 is om het sediment, gezamenlijk met het sediment uit W18 en W24, te storten in de huidige stortvakken W05, W06 en W17 naar ratio van de huidige vergunning voor deze laatstgenoemde stortvakken.

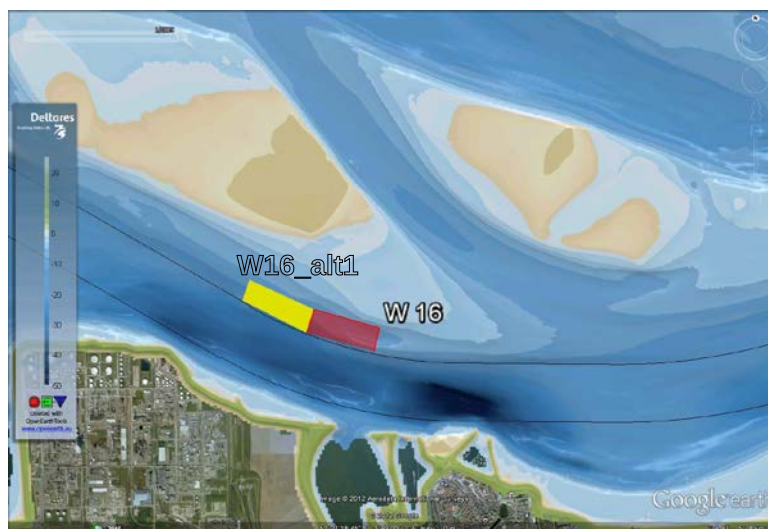
Alternatief 1 voor stortvak W04 ligt ten zuiden van de huidige locatie langs de noordelijke rand van de vaargeul (Figuur 2.50). Het tweede alternatief is het benutten van de capaciteit van het huidige stortvak W03 ten oosten van de haven van Hansweert.

Voor stortvakken W18 en W24 geldt dat we voor nu alleen de mogelijkheid doorgerekend hebben om de specie (tezamen met het sediment uit W23) te storten in de stortvakken W05, W06 en W17.

Voor W16 bestuderen we twee alternatieve opties om de specie te storten, namelijk op een locatie direct ten westen van de huidige locatie (alternatief 1, zie Figuur 2.51) en in een groot stortvak voor de specie die nu in W14 en W16 gestort wordt (alternatief 2, zie Figuur 2.49). Merk op dat het grote stortvak van alternatief 2 ook het kleinere stortvak van alternatief 1 omvat.



Figuur 2.50 Huidige locatie stortvak W04 (in rode kleur) en mogelijke nieuwe locatie (in gele kleur). De zwarte lijn geeft de ligging van de vaargeul.



Figuur 2.51 Huidige locatie stortvak W16 (schaduwkleur) en mogelijke nieuwe locatie (in gele kleur). De zwarte lijn geeft de ligging van de vaargeul.

3 Berekening zandverspreiding

3.1 Beschrijving Delft3D model

In het kader van het project Lange Termijn Visie (LTV) Schelde estuarium is door Arcadis (2012) een morfologisch Delft3D model van het Schelde estuarium ontwikkeld. Het betreft een 2DH (dieptegemiddeld) model, wat inhoudt dat dichtheidstromingen en effecten van secondaire stroming in bochten niet door het model worden beschreven. De golfinvloed wordt niet meegenomen.

Het modeldomein en het rooster zijn gelijk aan dat van het NEVLA model (Maximova et al, 2009abc); 3D NEVLA simulaties vormen de hydrodynamische input van de slibberekeningen van deze studie. Het model beschrijft het gehele Schelde estuarium: de Voordelta, het mondingsgebied, de Westerschelde, en alle Vlaamse rivieren (Zeeschelde, Durme, Rupel, Beneden Nete, Grote Nete, Kleine Nete, Dijle en Zenne) tot waar het getij doordringt. De resolutie van het rekenrooster varieert van ~400 m op het Continentaal Plat tot ~10 m bovenstrooms. In de Westerschelde ligt de resolutie tussen de 50 en 100 m.

Het Delft3D model wordt benedenstrooms aangedreven door twee snelheidsranden loodrecht op de kust en een Riemannrand parallel aan de kust, aangeleverd door een trein van modellen die de gehele Noordzee beslaan. Bovenstrooms worden gemeten debieten opgelegd. Alle randvoorwaarden betreffen tijdreeksen voor het jaar 2006.

We nemen de meeste actuele gegevens als uitgangspunt voor het model. Dit betekent dat de referentiebodembodem voor de Westerschelde en Beneden-Zeeschelde uit 2011 afkomstig is en dus de 3^e verdieping bevat; de bodem van de meer beneden- en bovenstroomse gebieden (buiten het interessegebied) is gebaseerd op iets oudere data. De bodem van de Westerschelde bestaat afwisselend uit erodeerbare en niet- of slecht erodeerbare lagen. Dit is meegenomen in de modelschematisatie (bijgewerkt voor de situatie in 2011). Verder wordt rekening gehouden met baggeren, storten en zandwinning volgens de huidige strategie en gegevens (2011).

Het Delft3D model en het onderliggende NEVLA model zijn door Arcadis (2012) en Maximova et al. (2009abc) hydrodynamisch gevalideerd (waterstanden, debieten en stroomsnelheden). Arcadis (2012) heeft het model vervolgens morfologisch gevalideerd aan de hand van de morfologische ontwikkeling voor de periode 1998-2002. De berekende bodemontwikkeling kwam in grote deel van de Westerschelde goed overeen met de waargenomen ontwikkeling in de periode 1998-2002. Dit geeft ons vertrouwen in de geschiktheid van het model voor deze studie.

Vanwege rekentijd is het totale modelgebied opgesplitst in 5 deeldomeinen die parallel worden doorgerekend (domeindecompositie). De gehanteerde Delft3D versie is 5.00.05.1576.

3.2 Modelsimulaties

Het model rekt een 1 springtij-doodtij cyclus door van 19 mei tot 2 juni 2006 (14 dagen). Met een morfologische versnellingsfactor (Morfac) van 26 correspondeert dit met 1 jaar morfologische ontwikkeling. De startbodem is die uit 2011. Vervolgens hebben we het model 1 jaar laten inspelen om grote, kunstmatige bodemveranderingen te voorkomen. Deze ingespeelde bodem wordt vervolgens 4 jaar doorgerekend zonder (referentie) en met jaarlijkse stortingen.

Door de resolutie van het rekenrooster wijken de gehanteerde stortvakken in het model qua vorm en grootte enigszins af van de werkelijk stortpolygoenen. Tabel 3.1 geeft een overzicht van de huidige stortvakken en de doorgerekende alternatieve locaties. De jaarlijkse stortvolumes zijn gebaseerd op de totale sedimentvolumes volgens RWS Zeeland (2011) en de zandpercentages gerapporteerd in Baptist et al. (2006). Het sediment uit de oorspronkelijke stortvakken W18, W23 en W24 wordt verdeeld over stortvakken W05, W06 en W17 volgens de huidige verdeelsleutel van de laatstgenoemde 3 stortvakken. Bovendien worden hier de jaarlijkse stortvolumes van deze vakken zelf aan toegevoegd. Hetzelfde geldt voor stortvak W03 als alternatief van W04.

Tabel 3.1 Overzicht van de huidige stortvakken en de doorgerekende alternatieven.

Huidige locatie		Alternatief 1		Alternatief 2	
Polygoon	Volume ($\times 10^3$ m ³ /jaar)	Polygoon	Volume ($\times 10^3$ m ³ /jaar)	Polygoon	Volume ($\times 10^3$ m ³ /jaar)
W18	110	W05	197		
W23	113	W06	197		
W24	99	W17	319		
W13	1050	W13_alt1	1050	W13_alt2	1050
W14	283	W14_alt1	283	W14W16	558
W16	275	W16_alt1	275		
W04	108	W03	216	W04_alt1	108

In werkelijkheid geldt voor de stortvakken een dieptebeperking gerelateerd aan de vaardiepte van de (bagger)schepen. In de praktijk is dit LAT -7 m (NAP -9.6 m; NAP ligt 2.6 m hoger dan LAT bij Vlissingen) en LAP -20 m (NAP -22.6 m) voor de stortvakken in de vaargeul. Tijdens de modelsimulaties bleek het niet mogelijk voor alle locaties te voldoen aan zowel dit dieptecriterium als het stortvolume. Voor deze gevallen hebben we besloten het dieptecriterium los te laten, omdat zo direct in de bodemhoogte zichtbaar wordt als er een probleem optreedt (i.e. een bodemhoogte boven de LAT -7 m), terwijl bij het strikt hanteren van de dieptebeperking het probleem alleen zichtbaar wordt in de storthoeveelheden. Bovendien zijn de bovenstaande scenario's moeilijker vergelijkbaar als de storthoeveelheden verschillen. Zo zou er geconcludeerd kunnen worden dat het huidige W13 stortvak tot minder aanzanding van de vaargeul leidt dan een alternatieve locatie waar wel voldoende ruimte is voor alle sediment, terwijl er (veel) minder sediment aangebracht is vanwege de dieptebeperking.

Naast de modelsimulaties met zandstortingen volgens bovenstaande tabel, is er ook een scenario doorgerekend waarbij geen stortingen zijn toegepast. Dit geeft inzicht in de morfologische ontwikkeling zonder havenstortingen; stortingen als gevolg van vaargeulonderhoud worden dan wel meegenomen. Het verschil tussen de bodemontwikkeling

met en zonder stortingen toont de relatieve impact van de stortingen. We richten ons in onderstaande analyses met name op deze relatieve bodemverandering. Deze is over het algemeen meer betrouwbaar, omdat eventuele modelon nauwkeurigheden ten aanzien van de bodemontwikkeling zo deels worden weggelaten.

Onderstaande voorspelde sedimentatie-erosie patronen betreffen de periode 2011-2015 en zijn daarom niet direct vergelijkbaar met de gemeten sedimentatie-erosie gepresenteerd in Hoofdstuk 2 aangezien deze zijn bepaald voor de periode 1955-2010 (met name door verschillen in startbodem en bagger- en stortstrategie vaargeul). Verder wordt in de simulaties een constante korrelgrootte van 0.2 mm gehanteerd, ook voor de stortingen. Naar verwachting is het zand van de stortingen fijner. De studie van Van Kessel et al. (2012) laat zien dat de zandverspreiding kwalitatief vergelijkbaar is als met een korrelgrootte van 0.2 en 0.1 mm gerekend wordt.

3.3 Modelresultaten huidige stortlocaties

3.3.1 Sedimentatie/erosie

Appendix A1 toont de sedimentatie/erosie voor de modelsimulaties zonder stortingen en Appendix A2 het verschil in eindbodem tussen de simulaties met en zonder stortingen na 1 en 4 jaar. De laatste figuren betreffen dus de relatieve sedimentatie en erosie, ofwel de impact van de stortingen. Let op: een relatieve sedimentatie (erosie) kan zowel een afname van de erosie (sedimentatie) als een toename van de sedimentatie (erosie) betekenen door toedoen van de stortingen.

Kwalitatief zijn de sedimentatie/erosie patronen na 1 jaar over het algemeen vergelijkbaar met die na 4 jaar. De waardes zijn na 4 jaar wel hoger (intensere rood- en blauwtinten) omdat de simulatieperiode langer is.

Volgens de modelsimulaties zonder stortingen vindt ten oosten (Plaats van Breskens) en met name ten westen van stortvak W23 sedimentatie plaats. De geul Vaarwater langs Hoofdploot sedimenteert ter plekke van stortvak W24 en ten noordwesten en zuidoosten hiervan. Stortvak W18 ligt ook in deze geul en het noordelijke gedeelte ervan sedimenteert eveneens. Verder is er een sterke sedimentatie van de diepe put rechtsonder in de figuur zichtbaar. De nevengeul Schaar van de Spijkerploot ten noorden van de Plaats van Breskens en Hooge Platen sedimenteert (rechtsboven).

Een groot deel van het gestorte zand blijft liggen dan wel verspreidt in noordwestelijke (eb) richting. Het merendeel blijft na 4 jaar binnen een paar km van de stortvakken liggen. Stortvak W23 sedimenteert met maximaal ~2 m als gevolg van de stortingen. Bij de vakken W18 en W24 is de sedimentatie minder. Bij alle drie de stortvakken zijn de "natuurlijke" morfologische ontwikkelingen en de bodemveranderingen als gevolg van de stortingen van dezelfde orde van grootte.

In de figuur met stortvak W13 sedimenteert "van nature" het diepere deel van de vaargeul (Honte) tussen xRD = 32 en 36 km, terwijl het minder diepe, zuidelijke gedeelte verdiept. Het ondiepe water ten zuiden van W13 in de richting van de Spijkerploot erodeert eveneens. Het grootste gedeelte van W13 ligt in een gebied dat erodeert. De maximale berekende erosie in de "natuurlijke" situatie (zonder stortingen) is in W13 ~4 m. Het meeste gestorte zand blijft binnen ca. 1 km van het stortvak en wordt in beide richtingen parallel aan de geul getransporteerd. De invloed van de stortingen is met een aanzanding van 5-6 m na 4 jaar van

dezelfde orde van grootte als de natuurlijke ontwikkeling. Er zijn verschillen met de resultaten uit de eerdere studie van Van Kessel et al. (2012) naar de zandverspreiding van W13 door verschillen in referentiebodembodem, bagger-/stortstrategie voor het vaargeulonderhoud, de gehanteerde jaarlijkse stortvolumes in W13 en de modelopzet. Deze verschillen zijn veelal het gevolg van de keuze om in deze studie een zo actueel mogelijk model te gebruiken. Echter, over het algemeen komen de modelresultaten overeen.

De huidige stortvakken W14 en W16 liggen aan de rand van de Middelpaas en er is dan ook alleen ruimte voor het gestorte zand langs de zuidelijke rand op de oever richting de getijgeul Pas van Terneuzen. We zien sterke sedimentatie in deze geul en dan met name in de diepe put net ten westen van de Braakman haven. Volgens de modelresultaten reikt deze sedimentatie tot de rand van de stortvakken. De gehele zuidelijke rand van de Middelpaas erodeert en zo ook ter plekke van de stortvakken. Verder zien we dat de kortsluitgeul Zuid Everingen ten oosten van de Middelpaas sedimenteert. De stortingen hebben een behoorlijke morfologische impact. Ter plekke van de stortvakken tot ~1 km ten oosten en ~2 km ten westen ervan (in de dominante stroomrichting) zien we sedimentatie tot ca. 4 m. Verder zien we dat het zuidelijke deel van de vaargeul en de oever relatief erodeert; de geul wordt als het ware naar het zuiden geduwd door de bodemverhoging als gevolg van de stortingen.

W04 ligt in een morfologisch nagenoeg inactief gebied. Het gestorte zand blijft dan ook vrijwel in zijn geheel in het stortvak liggen en zorgt zo voor een relatieve sedimentatie van 4-6 m. De modelsimulaties zonder stortingen tonen dat het westelijke gedeelte van de getoonde vaargeul sedimenteert (Overloop van Hansweert), terwijl het oostelijke gedeelte (het Zuidergat) erodeert. Ten zuiden van W04 net boven de vaargeul is een erosiegebied zichtbaar (de overgang van de Overloop van Hansweert naar de kortsluitgeul Geul van de Molenpaas).

3.3.2 Volumes en dieptes

Appendix A3 toont de ontwikkeling van het zandvolume in de stortvakken en de gemiddelde waterdiepte ter plekke van de stortvakken in de tijd. De getoonde zandvolumes zijn relatief ten opzichte van de beginsituatie zonder storing. Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen de simulaties met en zonder jaarlijkse stortingen.

De resultaten van de simulaties worden samengevat in Tabel 3.2. Deze tabel bevat voor elk stortvak de initiële waterdiepte, de waterdiepte na 4 jaar en de sedimentatie/erosie zonder en met stortingen, alsook de impact van de suppletie in termen van relatieve sedimentatie en erosie en zandvolumes (met tussen haakjes het zandvolume ten opzichte van de hoeveelheid gestort zand). Positieve getallen duiden sedimentatie aan en zijn voor de duidelijkheid met vetgedrukt.

Tabel 3.2: Bodemhoogte- en -volumeveranderingen t.g.v. storten op huidige locaties.

Stortvak	Zonder stortingen			Met stortingen		Impact	
	h_0 (m)	h_4 (m)	Δz_b (m)	h_4 (m)	Δz_b (m)	Δz_b (m)	ΔV (10^3 m^3)
W18	10.5	10.8	-0.3	10.5	+0.1	+0.3	44 (10%)
W23	7.7	7.0	+0.7	6.2	+1.4	+0.8	194 (43%)
W24	11.1	11.2	-0.1	10.2	+1.0	+1.0	126 (32%)
W13	22.1	23.9	-1.8	19.6	+2.6	+4.3	1005 (24%)
W14	7.2	10.7	-3.6	9.1	-1.9	+1.6	433 (39%)
W16	14.5	18.5	-4.0	15.1	-0.7	+3.4	331 (30%)
W04	10.4	10.3	+0.0	7.0	+3.4	+3.3	423 (98%)

Zonder stortingen ondervinden de meeste stortvakken (W23 en W04 uitgezonderd) volgens het model gemiddeld gezien erosie. De gehanteerde stortingen doen de erosie naar sedimentatie omslaan voor de vakken W13, W18 en W24. W14 en W16 blijven met stortingen erosief. Historisch gezien sedimenteren deze stortvakken. De verschillen tussen de historische ontwikkeling (tot en met 2010) en de modelvoorspellingen (vanaf 2011) kunnen komen door modelbeperkingen, verschil in beschouwde periode (bodem, bagger- en stortstrategie, onderhoud vaargeul) en de gehanteerde stortvolumes (percentage zand en sedimentvolume).

Na 4 jaar blijft voor de meeste stortvakken 20-40% van het gestorte zand liggen. W18 is volgens de modelsom juist dynamischer (10%). In W04 blijft volgens het model nagenoeg al het gestorte zand liggen en na 4 jaar is de gemiddelde diepte dan ook bijna 3.5 m afgenomen tot 7.0 m, oftewel: de resterende stortcapaciteit is nihil bij een gehanteerde ondergrens van 7.0 m voor de waterdiepte. Hetzelfde geldt voor W23, maar in iets minder mate, aangezien dit grotere stortvak nog een paar diepere stukken kent.

Voor de stortvakken geldt in de praktijk een minimale diepte van LAT -7.0 m (wat correspondeert met NAP -9.6 m bij Vlissingen) voor baggerschepen om te kunnen storten. Stortvak W13 ligt in de vaargeul en hiervoor geldt als criterium NAP -22.6 m (LAT -20 m). Om de in Tabel 3.1 genoemde volumes toe te passen in de modelsimulaties hebben we “ondieper moeten storten in het model” in alle jaren voor de stortvakken W13, W14 en W23 wat de urgentie van het vinden van alternatieven voor deze locaties onderstreept. Hetzelfde geldt voor stortvak W04 na twee jaar simuleren.

3.3.3 Vaargeulonderhoud

De sedimentatie/erosie plots suggereren dat de invloed van de stortingen op de vaargeul beperkt is, met uitzondering van de vaargeul ter plekke van W13. We analyseren of dit het geval is voor de delen van de vaargeul in de nabijheid van de stortvakken Honte, Drempel van Borssele, Pas van Terneuzen, Overloop van Hansweert en de Drempel van Hansweert. Appendix A4 toont de locatie van deze stukken van de vaargeul, alsmede het berekende vaargeulonderhoud. De extra onderhoudsbehoefte is inderdaad beperkt (< 2%) voor vier laatst genoemde gebieden. Echter, het totale onderhoud na 4 jaar in de Honte wordt door de stortingen meer dan verdrievoudigd van $0.3 \times 10^6 \text{ m}^3$ naar $1.1 \times 10^6 \text{ m}^3$. Dit wordt veroorzaakt door het geringe resterende stortvolume in W13, waardoor in de modelberekeningen het interventiepeil voor vaargeulonderhoud lokaal wordt overschreden.

3.4 Modelresultaten alternatieve stortlocaties

3.4.1 Sedimentatie/erosie

Appendix A1 toont de sedimentatie/erosie voor de modelsimulaties zonder stortingen en Appendix A5 het verschil in eindbodem tussen de simulaties met en zonder stortingen op alternatieve locaties na 1 en 4 jaar (i.e. de relatieve sedimentatie en erosie, ofwel de impact van de stortingen).

Het gebied ten zuiden van stortvak W17 (bevat stortvak W05) sedimenteert “van nature” terwijl ten noorden hiervan erosie plaatsvindt (inclusief een klein gedeelte van stortvakken W06 en W17). Een groot deel van het gestorte zand blijft liggen dan wel verspreidt zich

voornamelijk in oost-westelijke richting tot hooguit ~1 km afstand van de stortvakken. De sedimentatie als gevolg van de stortingen bedraagt ~1-2 m. De morfologische ontwikkeling ter plekke van W17 wordt gedomineerd door de storting, terwijl de “natuurlijke” morfologische ontwikkeling dominant is in stortvak W05. In W06 hebben ze dezelfde orde van grootte. Verder zien we dat de westelijke kant van de Hoge Platen sedimenteert en dat deze aanzanding niet sterk wordt beïnvloed door de stortingen.

Ter plekke van stortvak W13_alt 1 vindt “van nature” erosie plaats, maar door de grote hoeveelheid gestort materiaal (~1 Mm³/jaar) slaat de balans hier om naar sedimentatie. Het zand wordt met name in ebrichting (naar het westen) getransporteerd in lijn met de ebdominantie van de getijgeul Honte die net boven het stortvak ligt. De bulk van de stortingen ligt na 4 jaar binnen een straal van ~1 km van het stortvak. Door de grootte van de ingreep wordt ook een groter gebied (indirect) beïnvloed door de stortingen in vak W13_alt1. Zo zien we relatieve erosie rondom het stortvak; het lijkt erop of het water enigszins om de omgeworpen blokkade heen wil stromen wat deze patronen veroorzaakt.

De alternatieve locatie voor stortvak W14 betreft, volgens het model, een gebied waar de bodem van nature sedimenteert. Dit geldt ook voor het zuidelijke gedeelte van stortvak W16_alt1. Deze sedimentatie wordt versterkt door de jaarlijkse zandstortingen. Het zand wordt in de richting parallel aan de getijgeul (vaargeul) getransporteerd en dan vooral in ebrichting, de dominante stroomrichting van de Pas van Terneuzen volgend. Het zand ligt na 4 jaar binnen 1-2 km van de stortvakken, en een deel ervan is in de vaargeul beland.

In stortvak W03 is er niet sprake van sterke “natuurlijke” aanzanding dan wel erosie. Volgens het model verspreidt het gestorte zand zich met name in ebrichting tot een afstand van ~1 km van het stortvak.

Appendix A1, de resultaten van de modelsimulaties zonder stortingen, laat zien dat het diepe gat ter plekke van W13_alt2 de neiging heeft zich op te vullen. Met uitzondering van de zuidelijke rand erodeert het gebied ter plekke van polygoon W14W16 volgens het model “van nature”. Bij het zuidelijke alternatief voor stortvak W04, W04_alt1, vindt voornamelijk “natuurlijke” aanzanding plaats volgens de modelberekening.

Appendix A5 toont dat de zandstortingen in W03_alt2 zorgen voor een maximale aanzanding van ~5 m na 4 jaar, i.e. de impact van de stortingen is van dezelfde orde van grootte als de “natuurlijke” morfologische ontwikkeling. Het grootste gedeelte van het gestorte zand wordt verspreidt in de dominante stroomrichting parallel aan de vaargeul tot een afstand van ~2 km. Hetzelfde geldt voor vak W14W16, alleen wordt het zand hier met name naar het westen (in ebrichting) getransporteerd. Ten zuiden van deze stortlocatie vindt juist relatieve erosie plaats; het water lijkt de neiging te hebben om de verhoogde bodem heen stromen. Bij stortvak W04_alt1 blijft het zand meer in de buurt van de stortlocatie en zorgt hier voor een maximale relatieve sedimentatie (ten opzichte van de modelsimulatie zonder stortingen) van ~2 m.

3.4.2 Volumes, dieptes en vaargeulonderhoud

Appendix A6 toont de ontwikkeling van het zandvolume in de stortvakken en de gemiddelde waterdiepte ter plekke van de alternatieve locaties voor de stortvakken in de tijd. De resultaten van de simulaties worden samengevat in Tabel 3.3.

Tabel 3.3: Bodemhoogte- en –volumeveranderingen t.g.v. storten op alternatieve locaties.

Stortvak	Zonder stortingen			Met stortingen		Impact	
	h_0 (m)	h_4 (m)	Δz_b (m)	h_4 (m)	Δz_b (m)	Δz_b (m)	ΔV (10 ³ m ³)
W05	14.4	11.9	+2.5	11.1	+3.3	+0.8	220 (28%)
W06	16.5	16.5	+0.1	15.2	+1.3	+1.3	399 (51%)
W17	21.9	22.2	-0.2	20.9	+1.0	+1.2	1001 (78%)
W13_alt1	14.5	16.4	-1.8	12.0	+2.6	+4.4	873 (21%)
W14_alt1	25.3	21.6	+3.6	19.5	+5.7	+2.1	120 (11%)
W16_alt1	16.7	17.6	-0.9	16.1	+0.6	+1.5	221 (20%)
W03	16.5	16.8	-0.4	14.2	+2.2	+2.6	253 (29%)
W13_alt2	39.9	36.9	+3.0	33.5	+6.4	+3.4	1094 (26%)
W14W16	14.9	17.4	-2.5	15.8	-0.9	+1.6	802 (36%)
W04_alt1	21.8	20.1	+1.7	19.1	+2.7	+1.0	112 (26%)

Zonder stortingen ondervinden de stortvakken W05, W06, W14_alt1, W13_alt2 en W04_alt1 volgens het model gemiddeld gezien sedimentatie en de vakken W17, W13_alt1, W16_alt1, W03 en W14W16 erosie. De gehanteerde stortingen doen de erosie naar sedimentatie omslaan met uitzondering van het vak W14W16 waar de erosie alleen gereduceerd wordt.

Na 4 jaar is voor de meeste stortvakken 20-30% van het gestorte zand terug te vinden in de stortpolygoenen. W14_alt1 is volgens de modelberekening juist veel dynamischer (11%) en in W17 blijft 78% van het gestorte zand liggen, maar de gemiddelde diepte is hier niet al te veel veranderd gegeven het grote oppervlakte van dit stortvak.

Met uitzondering van W13_alt1 is de minimale stortdiepte van NAP -9.6 m na 4 jaar (W13_alt2 is dit NAP -22.6 m) nog niet bereikt. Om het storten van de grote hoeveelheid zand mogelijk te maken, was het dus nodig dit criterium los te laten voor alternatieve locatie W13_alt1.

De laatste figuur in Appendix A6 laat zien dat het zandvolume in stortvak W15H licht afneemt en de waterdiepte licht toeneemt volgens de modelsimulaties met en zonder stortingen. Dit is min of meer in lijn met de conclusies uit de data-analyse. Door de stortingen op de alternatieve locaties is de erosie wat minder dan wanneer er gestort wordt op de huidige locaties, maar er lijkt geen probleem op te treden, aangezien de trend licht erosief blijft.

Het vaargeulonderhoud (Appendix A7) wordt nauwelijks beïnvloed door de stortingen (< 3%). Wederom is de uitzondering de vaargeul in de buurt van W13_alt1 (Honte). De grote stortingen doen het onderhoud flink toenemen van 0.3×10^6 m³ naar 1.6×10^6 m³ over de totale simulatieduur van 4 jaar. Daarom is lokatie W13_alt1 ongeschikt voor het storten van grote hoeveelheden zandige specie. Dit geldt niet voor slibrijke specie, zie Hoofdstuk 4.

Met uitzondering van W13_alt1 zijn de in deze paragraaf beschreven alternatieve locaties geschikt in de zin dat er gestort kon worden zonder dat het dieptecriterium werd overschreden en zonder dat de onderhoudsvolumes van de Honte, Drempel van Borssele, Pas van Terneuzen, Overloop van Hansweert en de Drempel van Hansweert significant toenamen.

4 Berekening slibverspreiding

De berekening van het effect van slibverspreiding zijn uitgevoerd met het numerieke model dat in de afgelopen jaren ontwikkeld is in het kader van het project LangeTermijnVisie (LTV) Schelde. De waterbeweging die ten grondslag ligt aan de berekening van de slibverspreiding is berekend door het Waterbouwkundig Laboratorium te Borgerhout met het 3D NEVLA model.

Voor een gedetailleerde beschrijving van het slibmodel wordt verwezen naar een reeks openbare rapporten die o.a. beschikbaar zijn via www.scheldemonitor.be. Alle titels uit deze reeks staan vermeld in de referentielijst achterin dit rapport. Resultaten verkregen met dit model zijn ook gepubliceerd in enkele tijdschriftartikelen (Van Kessel et al. 2010; Van der Wal et al. 2010).

Met het slibmodel kan zowel het effect van specieverspreiding als het gedrag van de natuurlijke achtergrondstroebelinge worden berekend. Hiertoe is het model gekalibreerd en gevalideerd (Van Kessel et al. 2010). Doordat gelijktijdig de specie- en achtergrondconcentratie beschikbaar is, kan de eerste in perspectief van de tweede worden geplaatst.

De resultaten van de verspreidingsberekeningen worden op vier manieren gepresenteerd:

- 1 De ruimtelijke verdeling van de slibconcentratie t.g.v. een constante eenheidslozing
- 2 Het effect van havenaanslibbing en –onderhoud op de slibconcentratie in de omgeving
- 3 Het effect van een verplaatsing van een stortvak op de slibconcentratie in de omgeving en de retourstroming naar de haven
- 4 De fractieverdeling van slib naar oorsprong: afkomstig van zee, van de rivier of verspreid t.g.v. havenonderhoud.

Het eerste onderdeel geeft aan in welke mate de concentratieverhoging t.g.v. specieverspreiding gevoelig is voor de gekozen verspreidingslocatie. Dit is nuttig om het effect van de huidige locaties te kennen, maar ook om de mogelijkheden voor optimalisatie van de locaties te verkennen.

Het tweede onderdeel geeft de beste indruk van het absolute effect van de specieverspreiding op de slibconcentratie, omdat hierin zowel het effect van verspreiding als het effect van havenaanslibbing is verdisconteerd. Het is belangrijk om te realiseren dat verspreiding van onderhoudsspecie en havenaanslibbing twee kanten zijn van één medaille: zonder havenaanslibbing zou er immers geen onderhoud nodig zijn. Noodzakelijkerwijs zijn voor een haven waarin de diepte wordt gehandhaafd aanslibbing en onderhoud op de langere termijn exact met elkaar in evenwicht. Verspreide onderhoudsspecie is geen 'nieuw' slib, maar 'oud' slib dat eerder tijdelijk aan het estuarium is onttrokken door afzetting in een haven. Door het gebruik van een bagger- en stortmodule in het slibmodel is deze balans in het model gegarandeerd. Hiertoe is het wel noodzakelijk dat de natuurlijke achtergrond meedraait in het model: met uitzondering van de retourstroming is de aanslibbing in havens immers afkomstig van de natuurlijke achtergrond.

Het derde onderdeel geeft de beste indruk van het effect van verplaatsing van een stortvak op de concentratie en de retourstroming. Voor een stortvak dat (bijna) vol is, is verplaatsing een harde noodzaak, maar ook voor een stortvak dat tot in de lengte der jaren voldoende ruimte biedt kan verplaatsing een nuttige optie zijn indien de nieuwe locatie een geringer effect heeft op de vertroebeling, de retourstroming verlaagt of economisch aantrekkelijker is.

Het vierde onderdeel is bedoeld om de onderlinge afhankelijkheid van specieverspreiding vanuit verschillende havens zichtbaar te maken. Een afnemende retourstroming naar de ene haven kan immers een toenemende retourstroming naar de andere haven betekenen. Door de afkomst van alle slib te kwantificeren, wordt per locatie zichtbaar welke fracties de grootste bijdrage leveren aan de aanslibbing. Zo wordt duidelijk of verplaatsing van een stortlocatie mogelijk een belangrijke invloed heeft op de concentratie of aanslibbing verder weg.

In de volgende paragrafen worden de resultaten afwisselend gepresenteerd als absolute waarde of als absoluut of relatief verschil met een referentieberekening (mg/L of %).

4.1 Verspreiding van eenheidslozing

Berekening met het numerieke verspreidingsmodel van eenheidslozingen maakt zichtbaar in welke mate de concentratieverhoging t.g.v. specieverspreiding gevoelig is voor de gekozen verspreidingslocatie.

Er zijn berekeningen uitgevoerd voor de volgende stortvakken:

- Bij Vlissingen: W09, W10
- Bij Breskens: W05, W06, W17, W18, W23, W24
- Bij de Sloehaven: W13, W13_alt1*, W13_alt2*
- Bij de Braakman: W15H, W15PP¹
- Bij Terneuzen: W07, W08, W14, W14_alt1*, W16, W16_alt1*
- Bij Hansweert: W03, W04, W04_alt1*

Voor een overzicht van de ligging van deze stortvakken wordt verwezen naar §2.3 en §2.4. De vakken gemarkeerd met een * zijn in het kader van deze studie (virtueel) verschoven vakken. Zie voor meer uitleg hierover §4.3.

In ieder vak wordt een gelijke hoeveelheid slib verspreid, zodat onderlinge vergelijking goed mogelijk is. De lozingssnelheid is constant en bedraagt 3.17 kg/s. Dit is equivalent met 100 kton per jaar. De periode waarover wordt gerekend is een half jaar. Dit is voldoende lang om een stationaire slibconcentratie te bereiken: de som van transport naar de wijde omgeving en netto depositie is dan gelijk aan de lozing. De verspreiding vindt plaats in een 'leeg' model: de achtergrondconcentratie wordt niet meeberekend.

Het wordt benadrukt dat deze berekeningen niet zijn bedoeld om het absolute effect van de stortlocaties te kwantificeren. Hiertoe zouden niet alleen de eenheidslozingen moeten worden opgeschaald tot gerealiseerde lozingen, maar zou ook het concentratieverlagende effect van havenaanslibbing in rekening moeten worden gebracht. Hiervoor wordt verwezen naar §4.2.

1. Wordt in de praktijk niet meer gebruikt vanwege vaarafstand en geringe diepte

De resultaten van de verspreidingsberekeningen worden getoond in Appendix B1. De getoonde parameter is de maandgemiddelde slibconcentratie nabij het oppervlak in mg/L. Op basis van deze resultaten worden de volgende conclusies getrokken:

- Slib verspreidt zich snel over een grote afstand, zodat het potentieel beïnvloedbare gebied een substantieel deel van het estuarium is.
- Bij verspreiding in brede, diepe geulen met veel doorstroming is de concentratieverhoging kleiner dan bij verspreiding in smalle, ondiepe geulen met weinig doorstroming.
- Omdat het estuarium naar het oosten toe smaller wordt, heeft een verspreiding van eenzelfde hoeveelheid slib in het oosten typisch een groter effect dan in het westen.
- Op het oog heeft een kleine verplaatsing van een stortvak meestal slechts een beperkte invloed op de concentratieverhoging, doordat de afstand van de verplaatsing (typisch enkele km) klein is ten opzichte van het beïnvloedingsgebied (enkele tientallen km).
- Alleen indien door verplaatsing een stortvak terechtkomt in een gebied met een geheel andere dynamiek (b.v. van hoofd- naar nevengeul), treden in het oog springende veranderingen op (b.v. vak w15h versus w15pp en vak w17 versus w18).

4.2 Effect haven

Het effect van een haven (uitgezonderd het effect van een mogelijk verdiepte toegangsgedul) op de slibdynamiek is tweeledig:

- 1 Er treedt aanslibbing op in de haven waardoor slib aan het estuarium wordt onttrokken;
- 2 Tijdens het uitvoeren van havenonderhoud wordt opgebaggerde specie weer verspreid in de omgeving.

Hierdoor treedt zowel een concentratieverlagend als –verhogend effect op. Deze effecten treden echter op verschillende plaatsen en tijdstippen op. Bovendien kan de som van de effecten ongelijk zijn aan nul.

Om deze effecten zo realistisch mogelijk in beeld te brengen, zijn berekeningen uitgevoerd met het slibmodel inclusief de natuurlijke achtergrondconcentratie. Telkens zijn twee berekeningen met elkaar vergeleken:

- 1 Een berekening met havenaanslibbing en -onderhoud;
- 2 Een berekening zonder havenaanslibbing en -onderhoud.

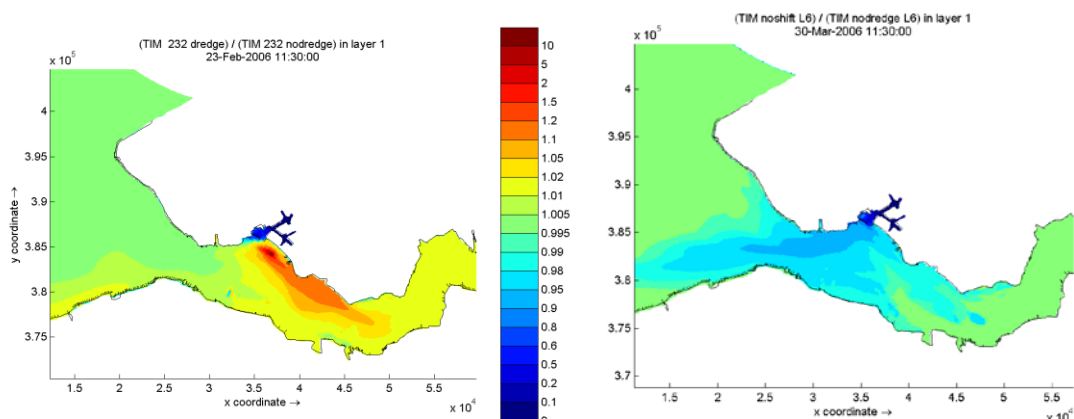
In berekening 2 is de aanslibbing in de haven uitgezet door de kritische schuifspanning voor depositie op nul te zetten. In het model vindt havenonderhoud plaats met een automatische bagger- en stortmodule. Hierbij wordt met een vaste frequentie alle sediment in de haven boven een opgegeven niveau verwijderd en teruggestort met een gegeven snelheid op een gegeven locatie. De gehanteerde instellingen zijn: frequentie = 1× per week; niveau = 5 mm; snelheid = 10 kiloton per dag. Alle sediment dat wordt verspreid n.a.v. havenonderhoud wordt in het model apart gelabeld. Hierdoor is het mogelijk om te bepalen wat de bijdrage van dit sediment is en opzichte van de natuurlijke achtergrond. Zo wordt ook de retourstroming gekwantificeerd.

Het verschil tussen beide berekeningen geeft het netto effect van de haven. De berekeningen zijn uitgevoerd voor de Sloehaven, de havens bij Terneuzen en de haven van Hansweert.

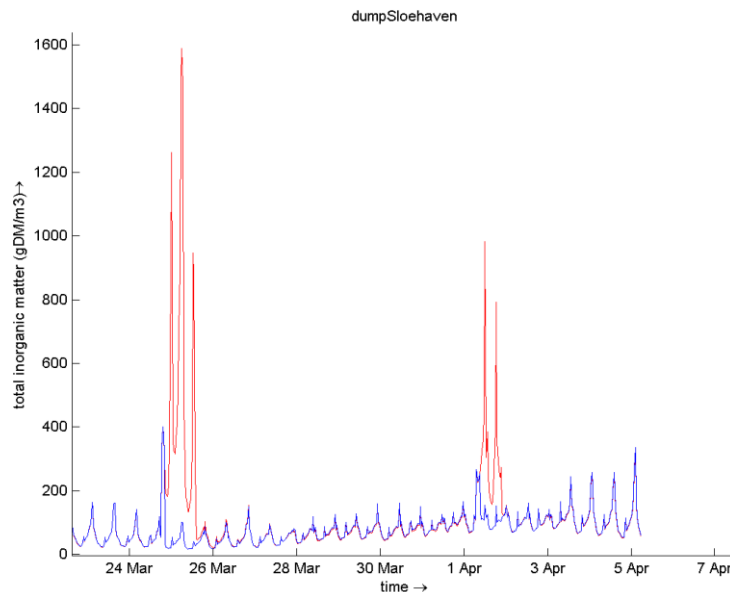
Voor de Sloehaven worden voor de begripsvorming de resultaten in meer detail besproken. Voor de overige havens is de rapportage beknopter.

Figuur 4.1 toont op twee specifieke momenten de relatieve concentratieverandering (-) van de situatie met havenaanslibbing en -onderhoud t.o.v. de situatie zonder havenaanslibbing en -onderhoud. Een waarde groter dan 1 wil zeggen dat door havenaanslibbing en -onderhoud de slibconcentratie toeneemt, een waarde kleiner dan 1 wil zeggen dat de slibconcentratie hierdoor juist afneemt. De linkerfiguur is representatief voor de periode dat er geen specieverspreiding plaatsvindt, de rechterfiguur is representatief voor de periode dat er wel specieverspreiding plaatsvindt. Hieruit blijkt dat de concentratie tijdens specieverspreiding hoger en zonder specieverspreiding lager is ten opzichte van de situatie zonder haven(aanslibbing).

Figuur 4.2 toont de tijdreeks van de slibconcentratie nabij het stortvak W13 voor de situatie met en zonder haven. Tijdens stort is de concentratie voor de situatie met haven plaatselijk veel hoger, maar na stort keert de concentratie snel terug naar het natuurlijke niveau zonder haven en wordt geleidelijk zelfs iets lager ten gevolge van aanslibbing in de haven. Op de schaal van Figuur 4.2 is dit laatste echter nauwelijks waarneembaar omdat het om een marginaal verschil gaat.

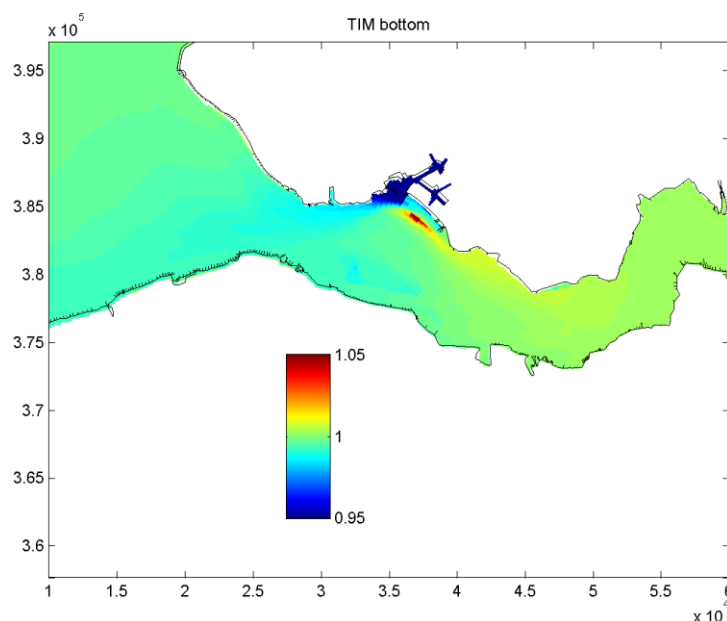


Figuur 4.1 Relatieve verandering van de slibconcentratie voor een situatie met t.o.v. zonder haven. a) in een periode met stort b) in een periode zonder stort. 1 = geen verandering

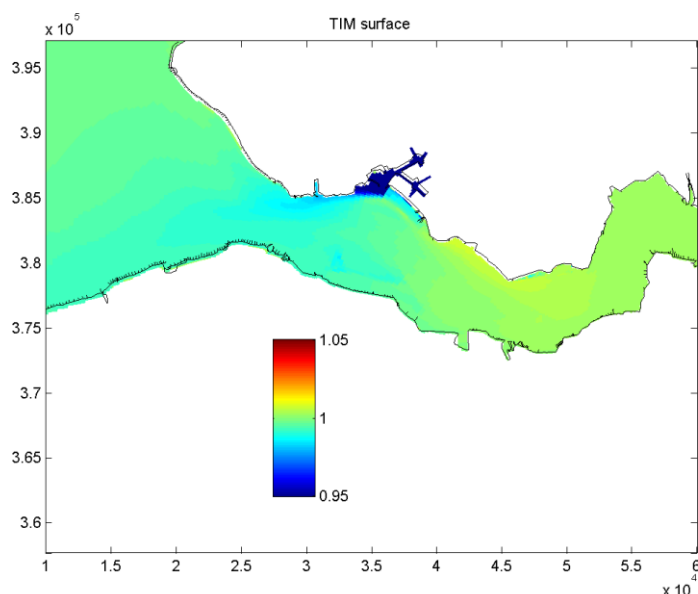


Figuur 4.2. Tijdreeks van de slibconcentratie nabij het stortvak W13. Rood: met haven; blauw: zonder haven.

Figuur 4.3 toont het tijdgemiddelde effect van de haven nabij de bodem. Buiten de haven is dit effect klein. In het stortvak neemt de gemiddelde concentratie vanzelfsprekend toe, maar op een afstand van een kilometer bedraagt de verhoging nog maar enkele procenten. Tegenover deze verhoging staat in concentratieverlaging in een groter gebied met name ten westen van de havenmonding van circa 1%. Nabij de oppervlakte is het concentratieverhogende effect iets minder sterk en het concentratieverlagende effect sterker, zie Figuur 4.4.

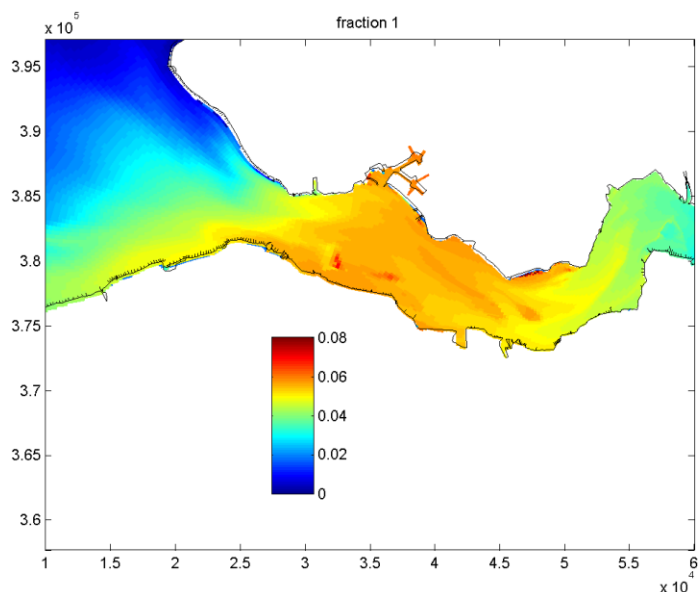


Figuur 4.3. Tijds-gemiddeld effect van haven nabij de bodem. Relatief verschil van de gemiddelde slibconcentratie met en zonder haven. 1 = geen verandering. Let op dat de schaalverdeling sterk afwijkt van Fig. 4.1.



Figuur 4.4. Tijdsgemiddeld effect van haven nabij de oppervlakte. Relatief verschil van de gemiddelde slibconcentratie met en zonder haven. 1 = geen verandering.

Figuur 4.5 toont de relatieve slibfractie afkomstig van havenonderhoud van de Sloehaven (verspreid vanaf huidig stortvak W13) ten opzichte van totale slibconcentratie. Hieruit blijkt dat deze fractie zo'n 6% bedraagt. Dit is dus ook de retourstroming naar de haven. Dit percentage geeft de maximaal haalbare reductie in aanslibbing indien het stortvak wordt verplaatst. Indien alle specie ver weg op de Noordzee zou worden gestort, kan het retourpercentage immers (bijna) 0% worden verondersteld. Dit is echter waarschijnlijk economisch onaanvaardbaar. Uit de rode vlek bij het westelijke deel van de Hooge Platen blijkt dat de berekende slibfractie afkomstig van de Sloehaven hier zo'n 7% bedraagt. Hieruit mag echter niet worden geconcludeerd dat de hoeveelheid slib hier lokaal toeneemt, zie Figuur 4.4. Hieruit blijkt geen concentratieverhogend effect van de aanwezigheid van de Sloehaven op de slibconcentratie bij de Hooge Platen.



Figuur 4.5: Fractie van de slibconcentratie afkomstig van onderhoudsspecie Sloehaven verspreid vanuit W13 (huidige situatie).

Voor de overige havens worden de resultaten getoond in Appendix B2. Voor de haven van Terneuzen is de gecombineerde aanslibbing van alle havens (inclusief de Braakman) beschouwd. Hierbij is zowel verspreiding in vak W14 als in W16 beschouwd. Hoewel deze vakken dichtbij elkaar liggen, zijn de effecten toch wezenlijk verschillend. De reden hiervoor is waarschijnlijk dat bij verspreiding in W14 meer slib wordt getransporteerd door de geul Everingen Zuid.

De berekende concentratieafname bij de haven van Hansweert wordt waarschijnlijk veroorzaakt doordat er zich slib ophoopt rondom stortvak W04. In deze verondiepende nevengeul is relatief weinig doorstroming. Hierdoor is minder slib beschikbaar elders in het estuarium.

4.3 Effect verplaatsing stortvakken

Verplaatsing van een stortvak is noodzakelijk indien het bestaande stortvak te weinig ruimte biedt. Maar ook wanneer er nog voldoende ruimte is, kan verplaatsing een bepaalde gevallen gunstig zijn, bijvoorbeeld om vaarafstand of retourstroming te beperken of effecten naar de omgeving te verminderen.

De nu doorgerekende alternatieve locaties zijn ingegeven door toekomstige ruimtebeperkingen van bestaande stortvakken, zie Hoofdstuk 2. Mogelijk kan van een nood een deugd worden gemaakt door alternatieven te kiezen die ten opzichte van de huidige locatie een verbetering betekenen voor een of meerdere van de genoemde criteria (vaarafstand, retourstroming, omgevingseffecten).

De volgende verplaatsingen zijn doorgerekend:

- Hansweert: W04 -> W04_alt1
- Sloehaven: W13 -> W13_alt1, W13_alt2
- Terneuzen: W14 -> W14_alt1, W16 -> W16_alt1
- Breskens: W18+W23+W24 -> W5+W6+W17

Van de berekeningsresultaten wordt het relatieve effect op slibconcentratie en retourstroming getoond in Appendix B3.

De verplaatsing van vak W04 bij Hansweert naar het zuidwesten leidt tot een beperkte verlaging van de slibconcentratie rondom een oude locatie en een beperkte verhoging rondom de nieuwe locatie. De retourstroming naar de haven neemt marginaal af. Vanuit de optiek van de slibdynamica is de verkende verplaatsing derhalve marginaal positief.

De verplaatsing van vak W13 bij de Sloehaven naar het westen leidt tot een beperkte verlaging van de slibconcentratie ten oosten van de Sloehaven, terwijl ten westen van de Sloehaven de slibconcentratie nauwelijks verandert. Dit geldt voor beide varianten W13_alt1 en W13_alt2, maar in sterkere mate voor de laatstgenoemde locatie. Wat betreft retourstroming is variant W13_alt1 echter gunstiger: een lager percentage van de verspreide specie keert terug naar de haven (zie Tabel 4.1). Voor slibrijke specie heeft variant W13_alt1 daarom de voorkeur, maar lokale accumulatie van in het slib aanwezige zand dient wel beperkt te blijven in verband met mogelijke interferentie met het lokale vaargeulonderhoud. Dit kan door middel van vaklodingen worden vastgesteld.

De verplaatsing van vak W14 bij Terneuzen naar het zuiden (W14_alt1) leidt weliswaar tot een lagere slibconcentratie bij de geul Everingen Zuid, maar tot een hogere concentratie bij de havenmondingen van Terneuzen en de Braakman. Hierdoor neemt ook de retourstroming

toe. Vanuit de optiek van de slibdynamica is deze verplaatsing derhalve negatief. Indien andere criteria worden meegewogen (zoals vaarafstand) kan deze verplaatsing mogelijk toch een optie zijn, omdat de toename van de aanslibbing beperkt is (enkele procenten).

De verplaatsing van vak W16 bij Terneuzen naar het westen (W16_alt1) leidt tot een nauwelijks waarneembare verandering van de lokale slibconcentratie en de retourstroming. Deze verplaatsing is vanuit het criterium slib betreft dus acceptabel. Voor alternatief W16_alt2, een combinatie van stortvakken W14 en W16 zijn eveneens nauwelijks waarneembare veranderingen te verwachten, omdat dit slechts een kleine verplaatsing van het zwaartepunt van het stortvak naar het oosten betreft. Vanwege deze beperkte veranderingen is dit alternatief niet apart doorgerekend.

De verplaatsing van de verspreiding van vakken W18, W23 en W24 naar de vakken W5, W6 en W17 leidt tot een lagere concentratie voor de haven van Breskens en in het vaarwater langs Hoofdplaat. De aanslibbing op de belendende slikken neemt hierdoor iets af. De concentratie bij de noordwestelijke rand van de Hooge Platen neemt echter wat toe, waardoor deze iets slikrijker worden. De berekende concentratieveranderingen bedragen echter hooguit een paar procent ten opzichte van de natuurlijke achtergrond, zodat deze in de praktijk nauwelijks waarneembaar zullen zijn.

Tabel 4.1 Berekende retourpercentage voor diverse stortvakken en alternatieven.

Vak	retourpercentage (%)
W16	5.9
W16_alt1	5.9
W14	5.8
W14_alt1	6.5
W13	7.0
W13_alt1	5.9
W13_alt2	7.5
W04	5.2
W04_alt1	5.4

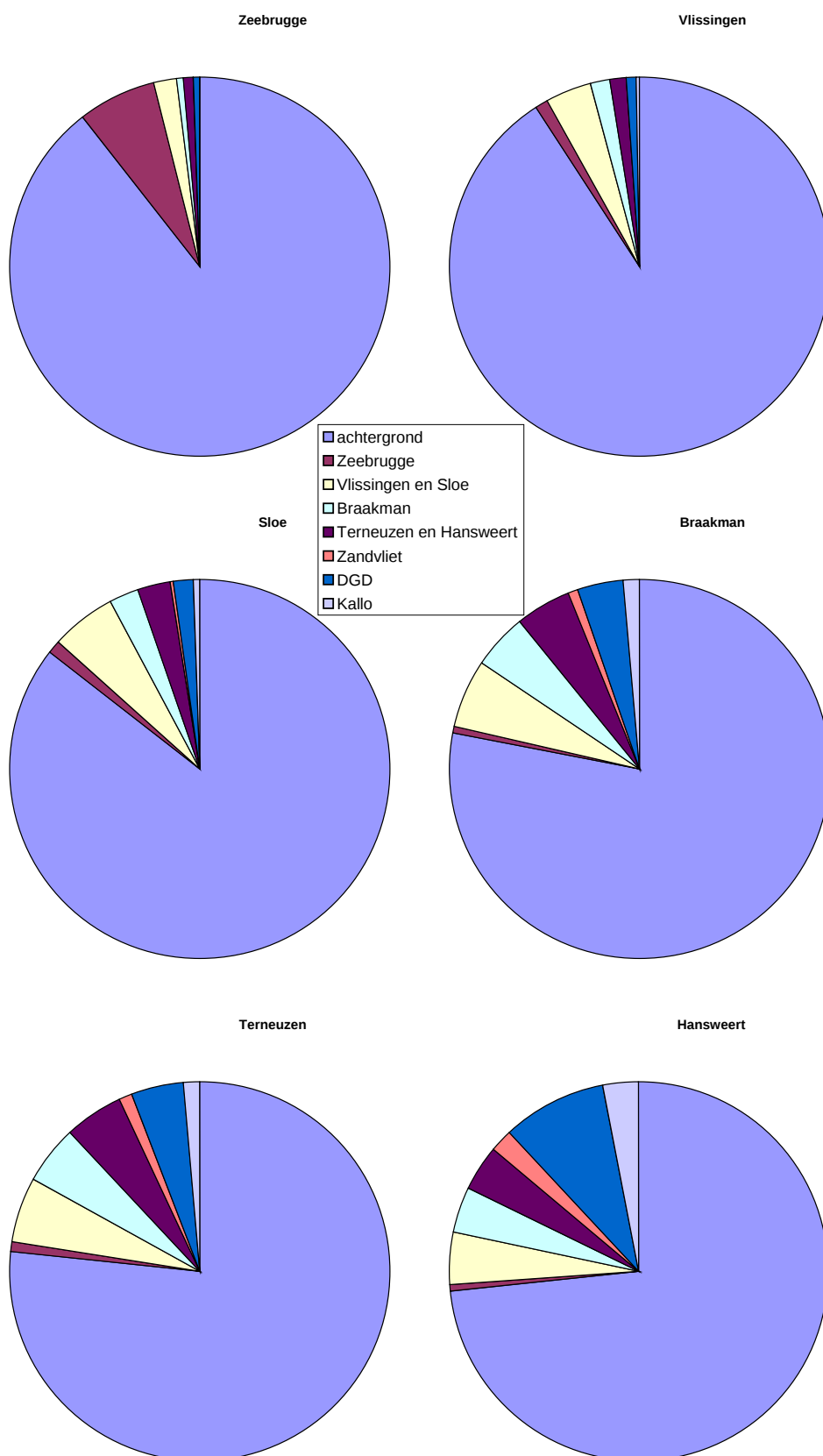
4.4 Fractieverdeling

Tenslotte wordt op een aantal plaatsen in het systeem de volledige fractieverdeling van het slib getoond (zie Figuur 4.6). Slib is ofwel afkomstig van natuurlijke bronnen (zee of rivier), ofwel afkomstig uit specieverspreiding t.g.v. havenonderhoud. Deze specie is van oorsprong weliswaar ook natuurlijk, maar door menselijk handelen is deze 'omgewerkt'.

Uit Figuur 4.6 blijkt dat voor de Sloehaven zo'n 15% van het slib afkomstig is van havenonderhoud. De Sloehaven zelf draagt zo'n 6% bij, de Braakman en Terneuzen samen voor 5.5%, Deurganckdok voor 1.5%, Zeebrugge voor 1% en overig 1%.

Voor Terneuzen bedragen deze percentages 23% totaal havenonderhoud, waarvan 6% uit de Sloe, 5% uit de Braakman, 5% uit Terneuzen en Hansweert, 4% uit Deurganckdok en 3% overig. Naar het oosten neemt de bijdrage van het havenonderhoud aan het totaal verder toe. Overigens is het niet zo dat als er geen havens zouden zijn in het estuarium de slibconcentratie bij Terneuzen 23% lager zou zijn. Behalve specieverspreiding zou er dan immers ook geen havenaanslibbing optreden, waardoor de taartpunt 'achtergrond' groter wordt en de weggevallen taartpunten grotendeels compenseert (zie §4.2 voor verdere discussie).

De analyse van de fractieverdeling laat wel zien dat de slibbalans van havenbekkens niet afzonderlijk kan worden opgesteld, maar dat er onderlinge wisselwerking optreedt.



Figuur 4.6: Fractieverdeling van de slibconcentratie naar herkomst (%).

5 Conclusies

Op basis van de analyse van de vaklodingen en de verspreidingsberekeningen voor zand en slib wordt het volgende geconcludeerd:

- De meeste stortvakken bieden nog voldoende ruimte voor toekomstig gebruik.
- Voor de stortvakken W13, W14, en W23 dient op korte termijn een alternatief te worden gezocht.
- Voor de stortvakken W04, W16, W18 en W24 dient op de langere termijn een alternatief te worden gezocht.
- Zandverspreiding is op de beschouwde tijdschaal (tot 4 jaar) vooral een lokaal fenomeen. Een deel van het zand blijft in het stortvak achter (typisch 20 tot 30%, met uitschieters omhoog en omlaag), de rest zorgt voor veranderingen in bodemhoogte binnen een straal van maximaal enkele km vanaf de stortlocatie.
- De invloed van zandverspreiding op vaargeulonderhoud is over het algemeen gering, tenzij de stortlocatie op korte afstand gelegen is van een gedeelte van de vaargeul dat regelmatig onderhoud behoeft. Voor het huidige stortvak W13 en alternatief vak W13_alt1 treedt deze beïnvloeding lokaal wel op, daarom is dit alternatief minder geschikt. Verder weg (zoals op de drempel van Borssele) is de beïnvloeding van het vaargeulonderhoud echter gering. Voor alternatief vak W13_alt2 is de beïnvloeding van het vaargeulonderhoud ook lokaal verwaarloosbaar vanwege de grote diepte van dit stortvak.
- Slibverspreiding is op de beschouwde tijdschaal (tot 6 maanden) een grootschalig fenomeen. Er blijft typisch weinig slib in het stortvak achter, verspreiding vindt plaats over een afstand van tientallen km.
- Indien zowel rekening wordt gehouden met het concentratieverhogende effect van specieverspreiding en het concentratieverlagende effect van havenaanslibbing, is het netto effect van havens op de gemiddelde slibconcentratie in de Westerschelde beperkt.
- Bij verspreiding in een geul met een groot debiet is het effect op de slibconcentratie geringer dan in geul met een klein debiet, hierdoor nemen effecten toe in oostelijke richting (lokale variaties daargelaten).
- De retourstroming van specie naar havens in de Westerschelde ligt tussen de 5 en 10%. Bij halvering van de retourstroming (een ambitieus doel) bedraagt de reductie in daarom aanslibbing maximaal 5%. Gezien de grote jaarlijkse variaties in de aanslibbing is een dergelijke reductie pas na vele jaren aantoonbaar.
- De combinatie van stortvakken W13_alt1 en W13_alt2 zijn een alternatief voor huidig stortvak W13. Slibrijke specie kan het beste in vak W13_alt1 worden gestort vanwege de kleinere retourstroming, terwijl zandige specie het beste in vak W13_alt2 kan worden gestort vanwege de verwaarloosbare invloed op het vaargeulonderhoud. Door middel van vaklodingen dient te worden vastgesteld dat accumulatie van zand in vak W13_alt1 beperkt blijft en niet van invloed is op het onderhoud van de nabijgelegen vaargeul.
- Een vergroting van vak W14 in de nabije omgeving (b.v. samenvoeging met van W16) biedt voorlopig een voldoende uitbreiding van de stortruimte. Een verplaatsing naar het zuiden biedt ook soelaas (vak W14_alt1), maar hierdoor neemt de retourstroming naar de havens van Terneuzen wel beperkt toe.
- Een alternatief voor vak W23 bij Breskens is specieverspreiding in de huidige vakken W5, W6 en W17. De invloed op het vaargeulonderhoud blijft verwaarloosbaar, terwijl de retourstroming naar de haven iets afneemt.

6 Referenties

- Arcadis, 2012. Actualisatie Delft3D model van de Westerschelde. Concept C04021.002666.0100.
- 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 rapport Z4112.
- Cleveringa, 2007. MER verruiming vaargeul Beneden-Zeeschelde en Westerschelde. Achtergrondsdocument morfoogische ontwikkeling Westerschelde. Fenomenologisch onderzoek naar de ontwikkelingen op meso-schaal.
- Maximova, T.; Ides, S.; Vanlede, J.; De Mulder, T.; Mostaert, F. (2009a). Verbetering 2D randvoorwaardenmodel. Deelrapport 3: Kalibratie bovenlopen. WL Rapporten, 753_09. Flanders Hydraulics Research, Antwerp, Belgium.
- Maximova, T.; Ides, S.; De Mulder, T.; Mostaert, F. (2009b). LTV O&M thema Veiligheid - Deelproject 1: Verbetering hydrodynamisch NeVla model ten behoeve van scenario-analyse. WL Rapporten, 756_05. Flanders Hydraulics Research & Deltares: Antwerp, Belgium
- Maximova, T.; Ides, S.; De Mulder, T.; Mostaert, F. (2009c). Verbetering randvoorwaardenmodel. Deelrapport 4: Extra aanpassingen Zeeschelde. WL Rapporten, 753_09. Flanders Hydraulics Research: Antwerp, Belgium.
- RWS Zeeland, 2011. Stortvakken Westerschelde, versie Maart 2011.
- Van Leeuwen, B, Rotsaert, M., 2012. Effect specieverspreiding in Westerschelde voor uitbreiding Sloehavens. Memo 1646/U12016/C/BvL, Svašek Hydraulics, Nederland.

Tijdschriftpublicaties

- Van Kessel, T., J. Vanlede, J.M. de Kok (2010). Development of a mud transport model for the Scheldt estuary. Continental Shelf Research. doi: 10.1016/j.csr.2010.12.006.
- Wal D. van der, T. van Kessel, M.A. Eleveld, J. Vanlede (2010). Spatial heterogeneity in estuarine mud dynamics. . Ocean Dynamics doi:10.1007/s10236-010-0271-9.

Reeks eerdere LTV-rapporten

Van Kessel, T., J. Vanlede, A. Bruens (2006). Development of a mud transport model for the Scheldt estuary in the framework of LTV. WL | Delft Hydraulics & WL Borgerhout report Z4210.

Van Kessel, T., J. Vanlede, J. de Kok (2007). Development of a mud transport model for the Scheldt estuary in the framework of LTV. Phase 1. WL | Delft Hydraulics & WL Borgerhout report Z4375.

Van Kessel, T., J. Vanlede, M. Eleveld, D. van der Wal (2008). Mud transport model for the Scheldt estuary in the framework of LTV. Deltares report Z4594, Delft, The Netherlands.

Van Kessel, T., J. Vanlede (2009). Impact of harbour basins on mud dynamics Scheldt estuary In the framework of LTV. Deltares & WL Borgerhout report 1200253.

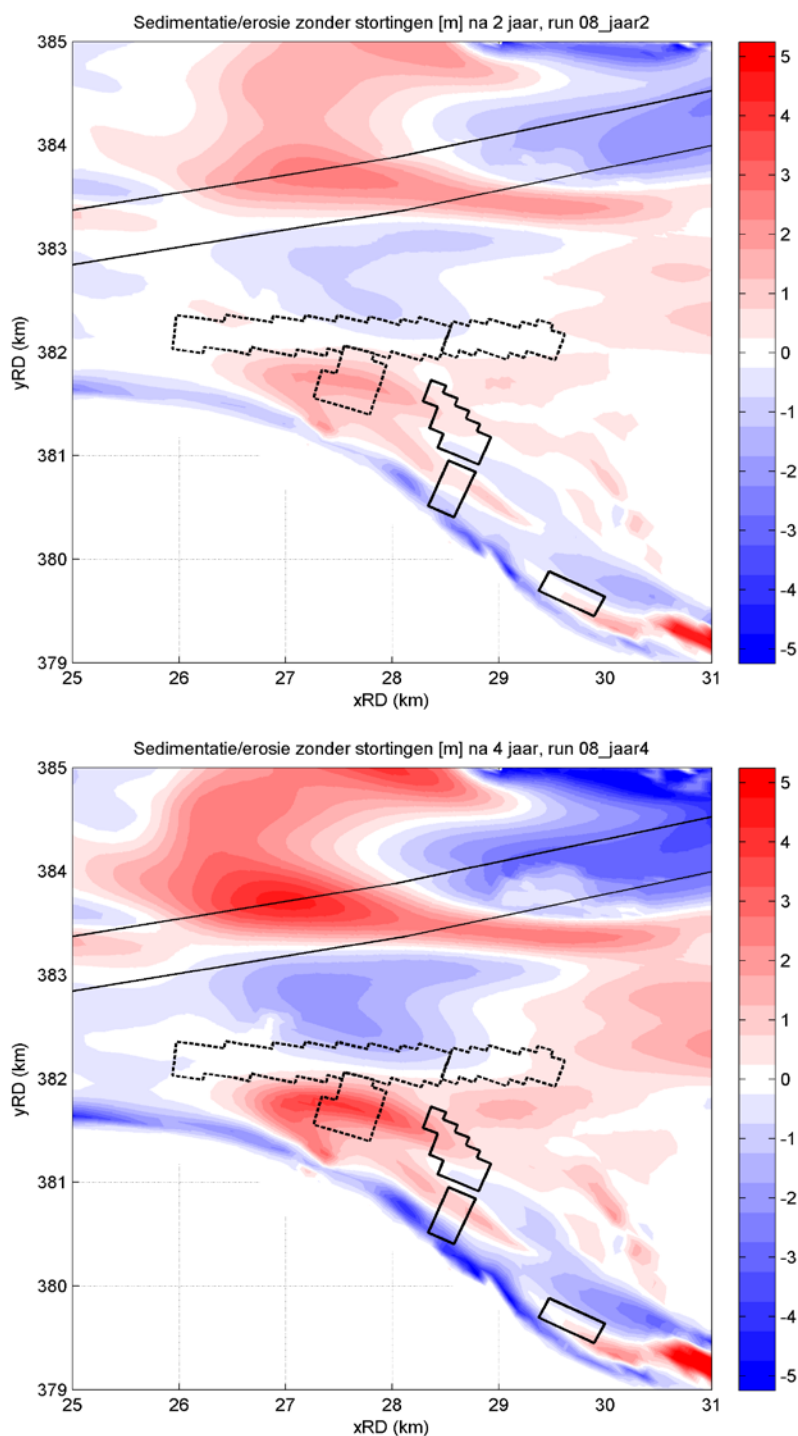
Van Kessel, T. J. Vanlede, M.A. Eleveld, D. van der Wal, B. De Maerschallck (2010). Validation and Application of Mud Model Scheldt Estuary in the framework of LTV. Deltares & WL Borgerhout & NIOO & IVM report no. 1202021

Van Kessel, T. J.J. van der Werf, A. Giardino (2011). Analyse stortvak W13. Deltares rapport 1204409

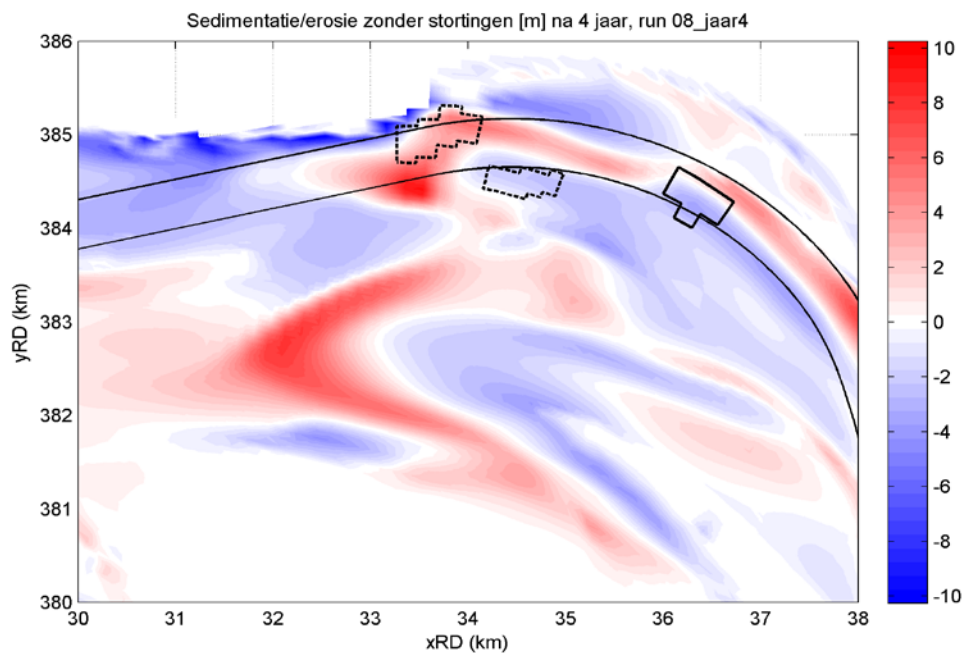
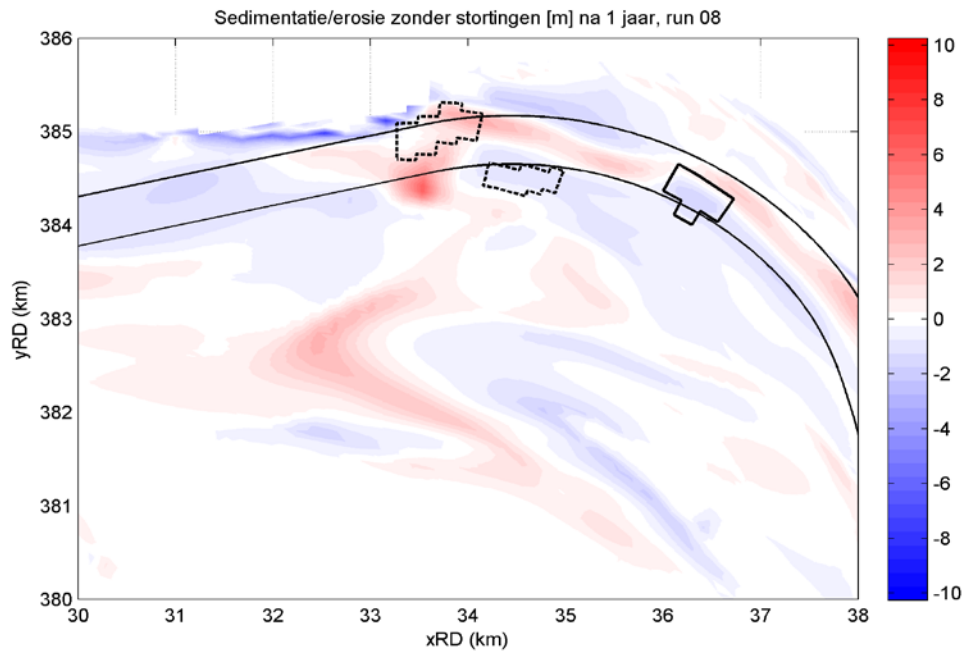
Alle bovenstaande LTV-rapporten zijn vrij toegankelijk via www.scheldemonitor.be.

A Zandverspreiding

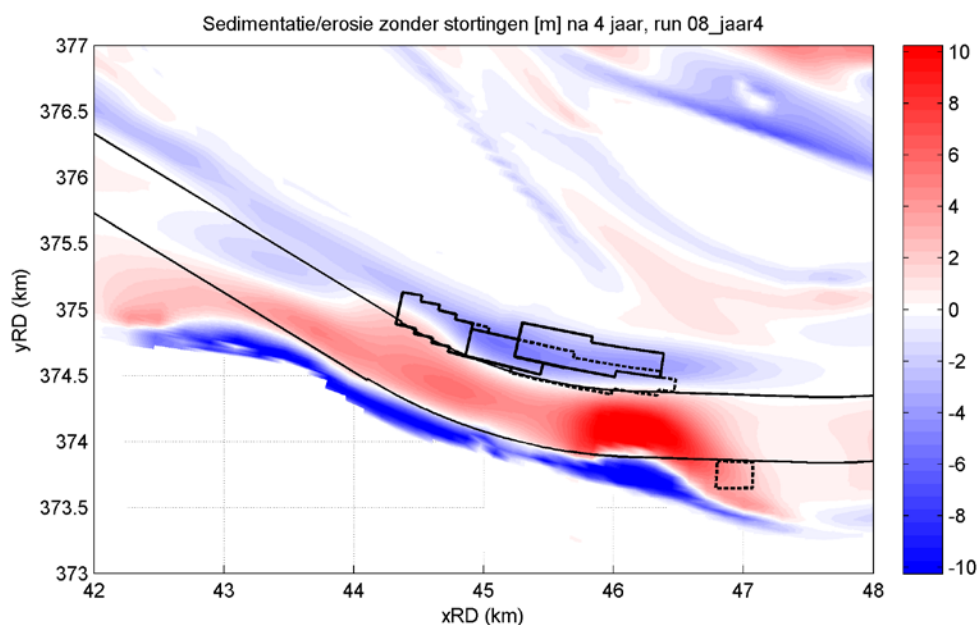
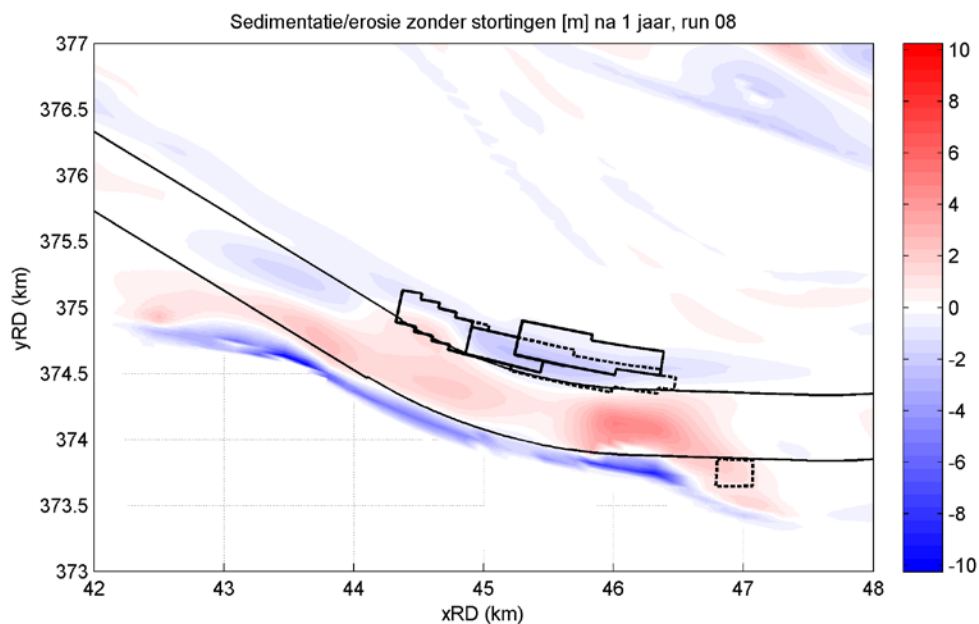
A.1 Sedimentatie en erosie zonder stortingen



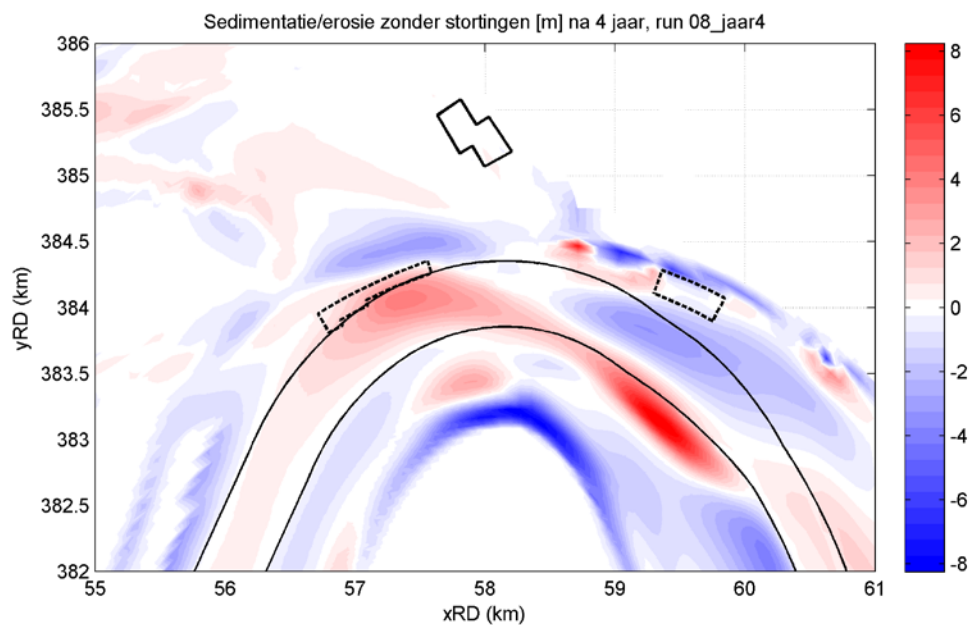
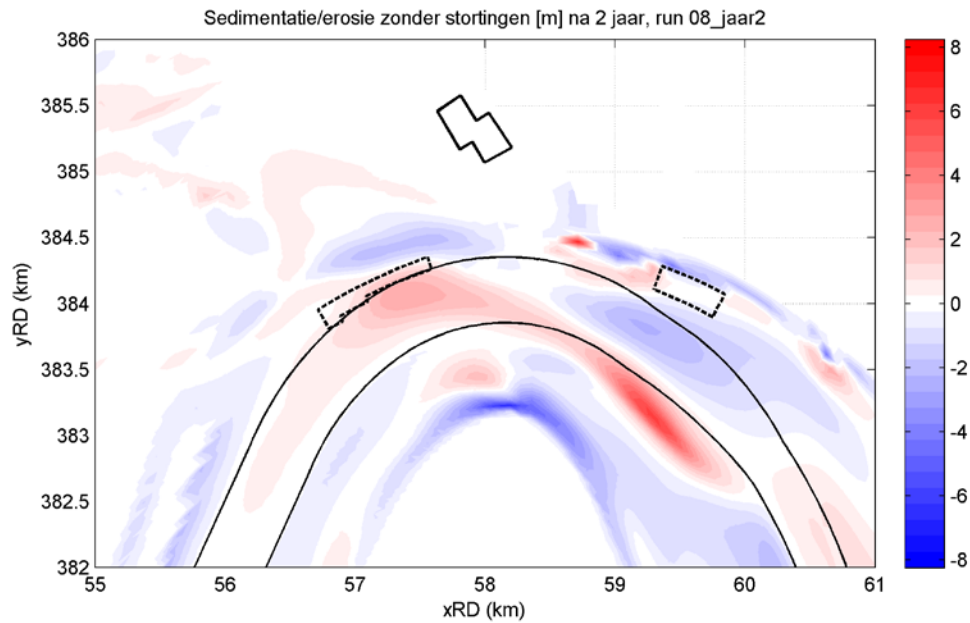
Berekende sedimentatie/erosie zonder stortingen ter plekke van storkvakken W18, W23, W24 (getrokken lijnen) en W05, W06, W17 (gestippelde lijnen) na 1 jaar (boven) en 4 jaar (onder).



Berekende sedimentatie/erosie zonder stortingen ter plekke van stortvakken W13 (getrokken lijn) en W13_alt1, W13_alt2 (gestippelde lijnen) na 1 jaar (boven) en 4 jaar (onder).

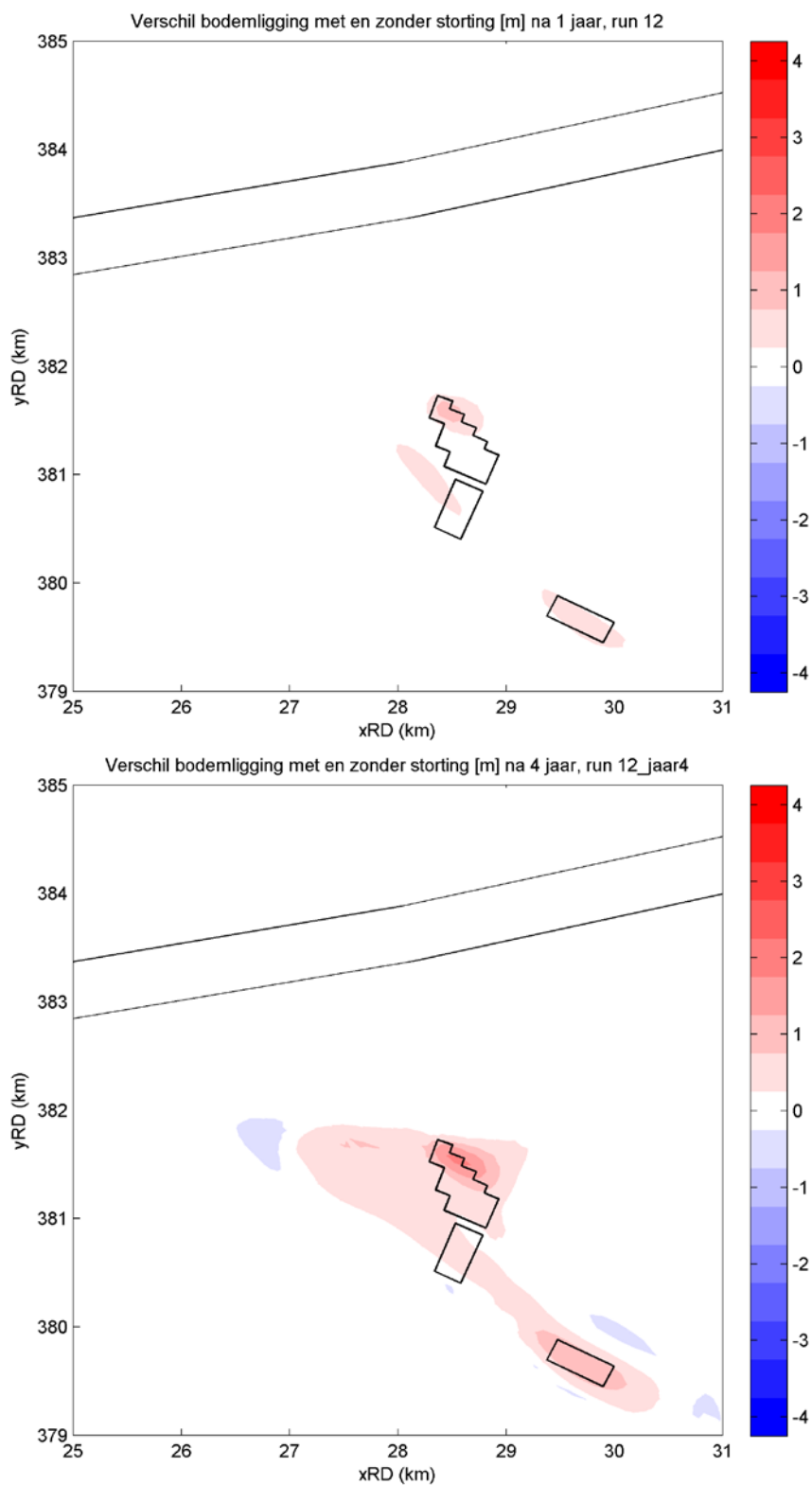


Berekende sedimentatie/erosie zonder stortingen ter plekke van stortvakken W14, W16 (getrokken lijnen) en W14_alt1, W16_alt1, W14W16 (gestippelde lijnen) na 1 jaar (boven) en 4 jaar (onder).

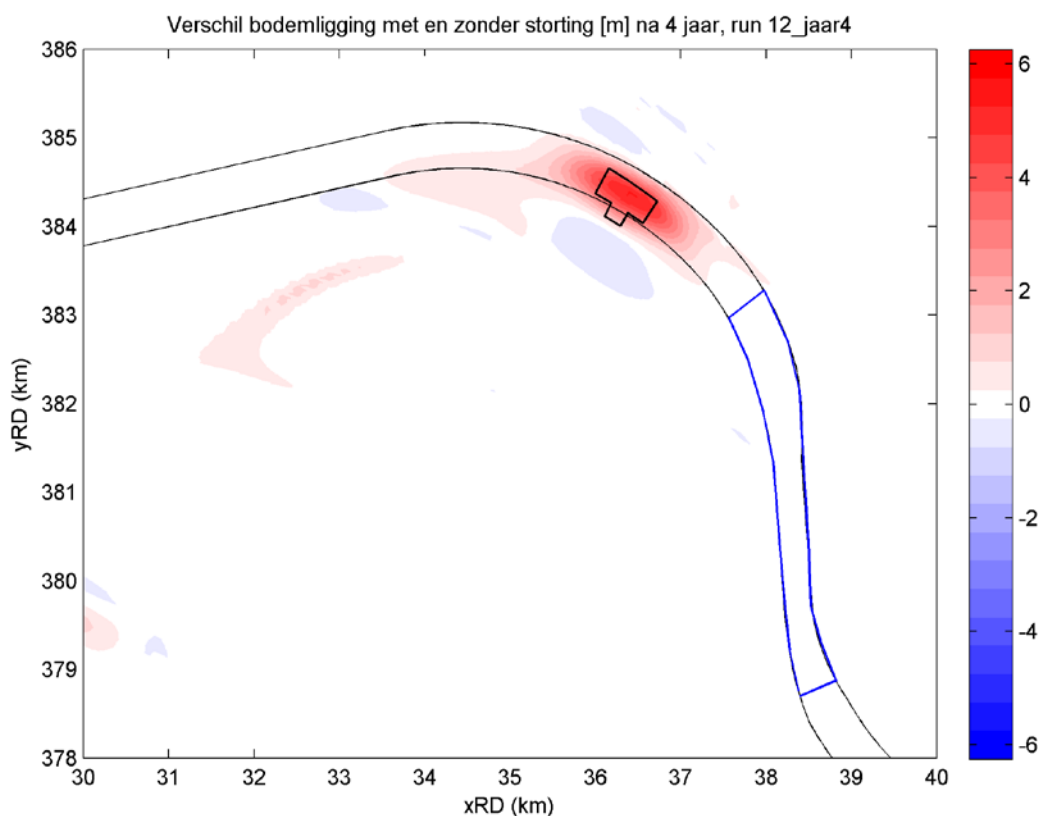
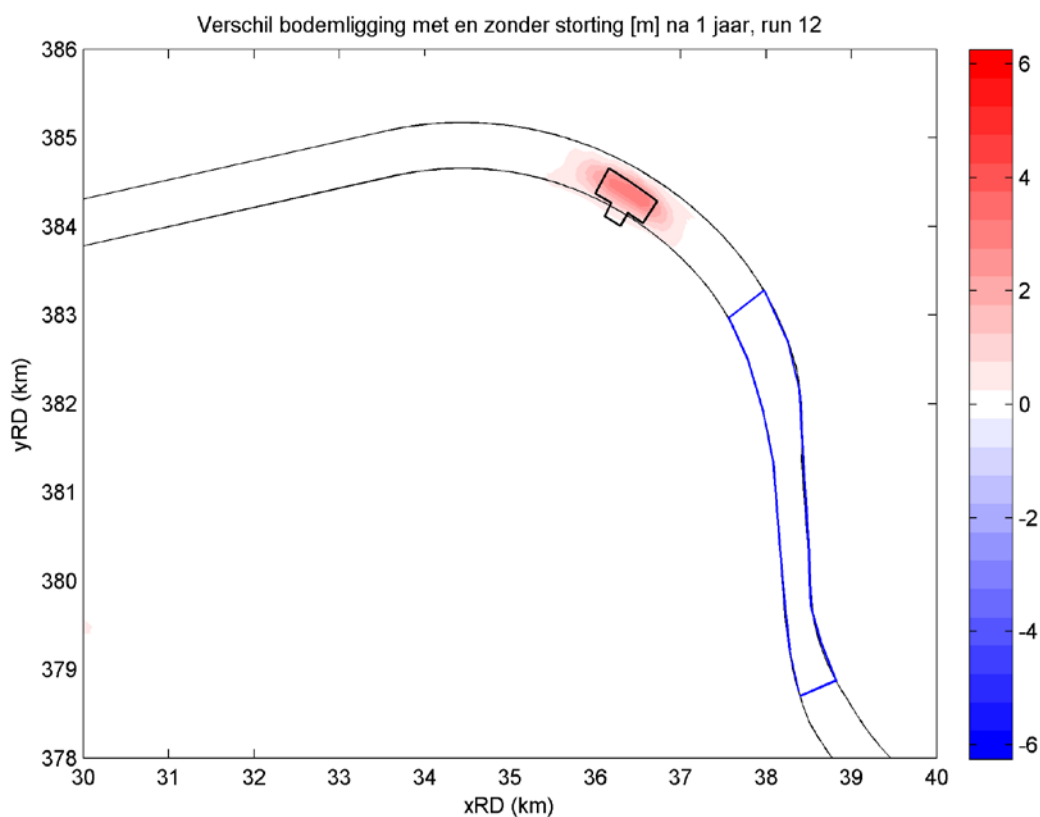


Berekende sedimentatie/erosie zonder stortingen ter plekke van stortvakken W04 (getrokken lijn) en W04_alt1, W03 (gestippelde lijnen) na 1 jaar (boven) en 4 jaar (onder).

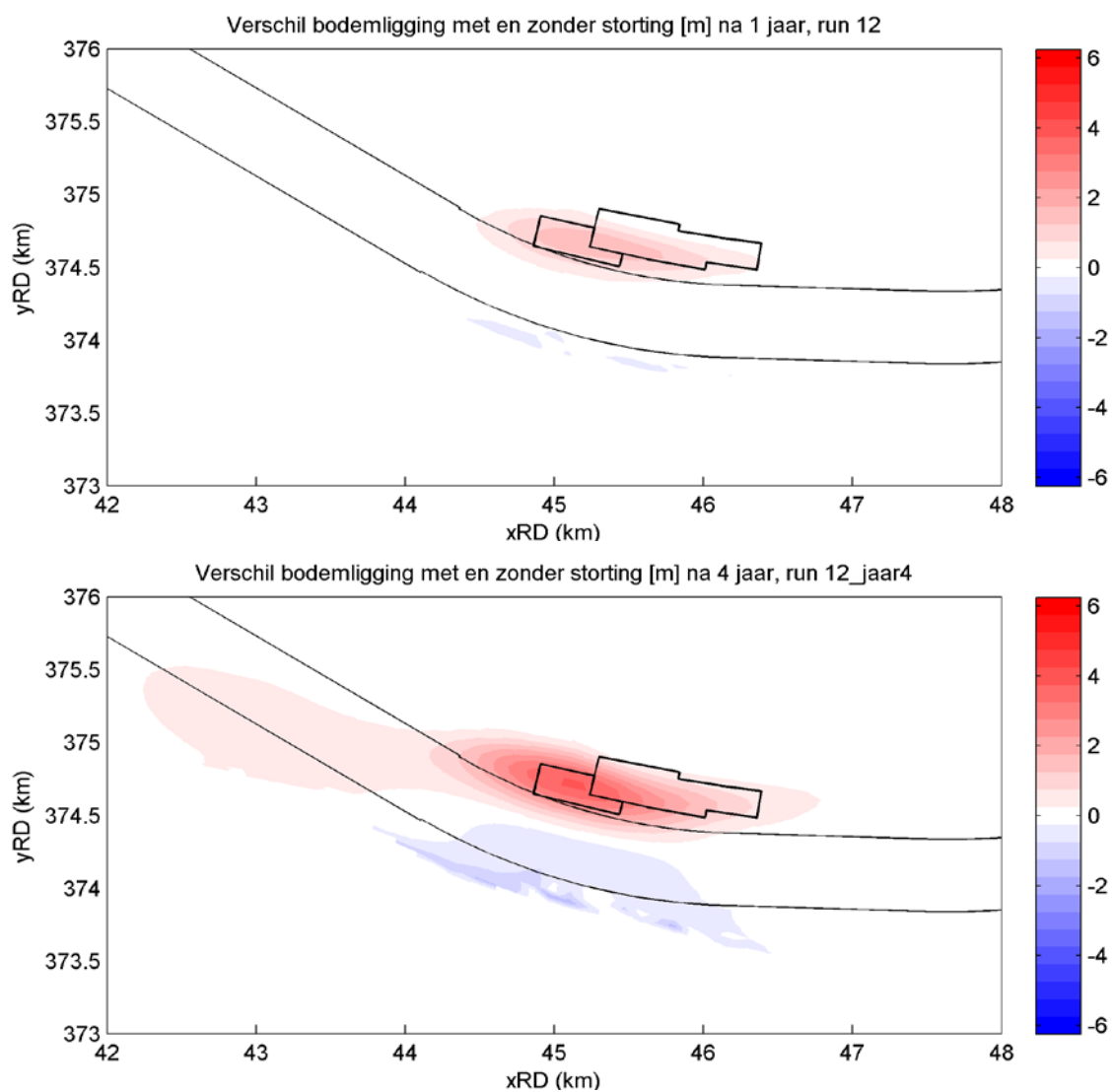
A.2 Sedimentatie erosie huidige stortlocaties

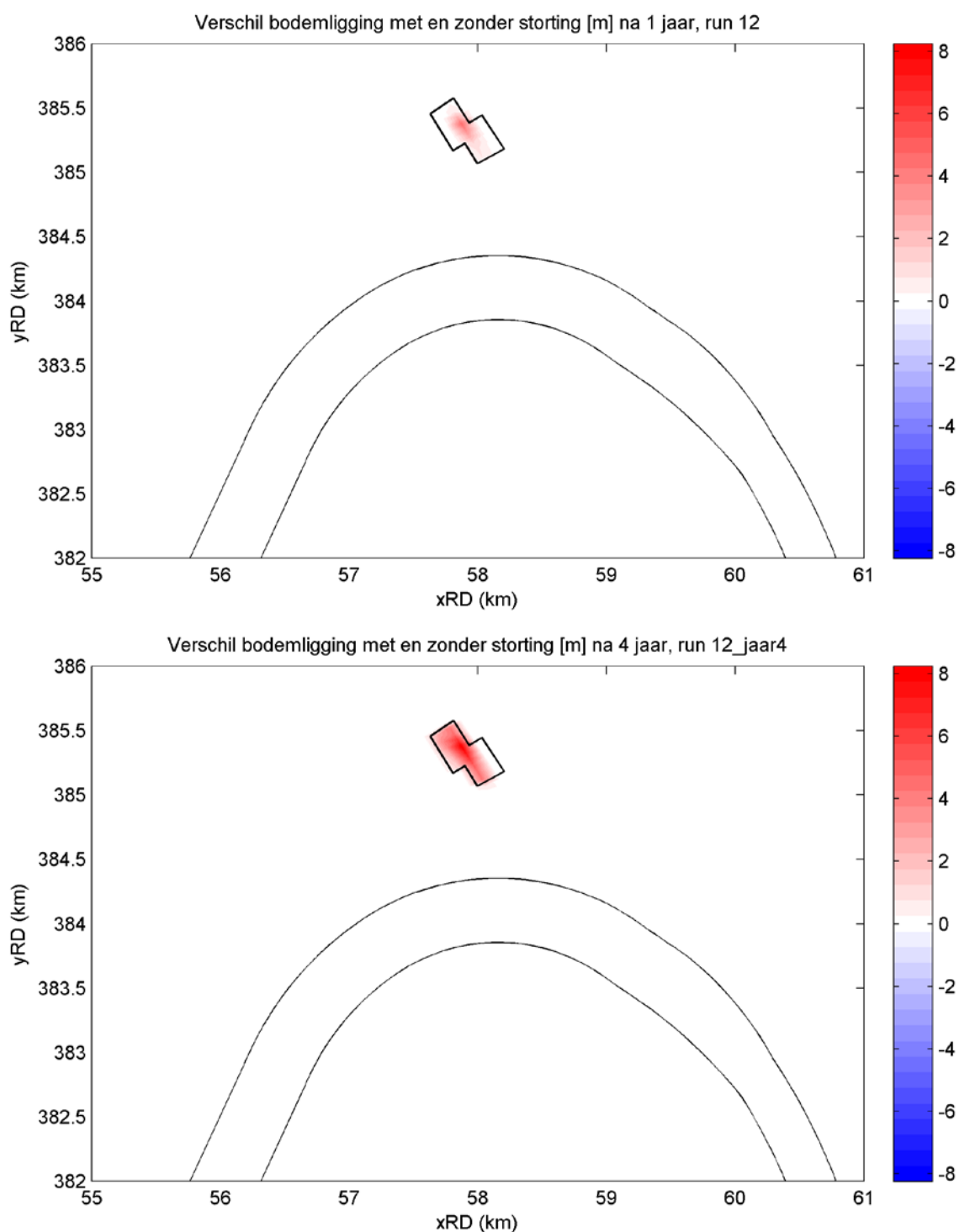


Berekende relatieve sedimentatie/erosie ter plekke van stortvakken W18, W23, W24 na 1 jaar (boven) en 4 jaar (onder).



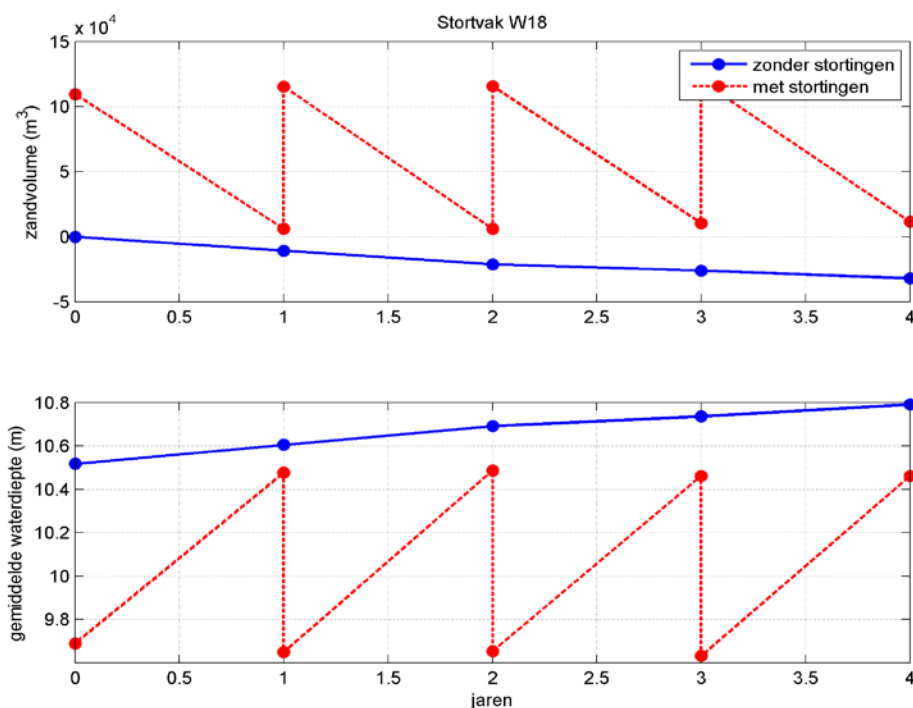
Berekende relatieve sedimentatie/erosie ter plekke van stortvak W13 na 1 jaar (boven) en 4 jaar (onder). De Drenth van Borssele ligt in het gebied aangegeven met de blauwe polygoon.



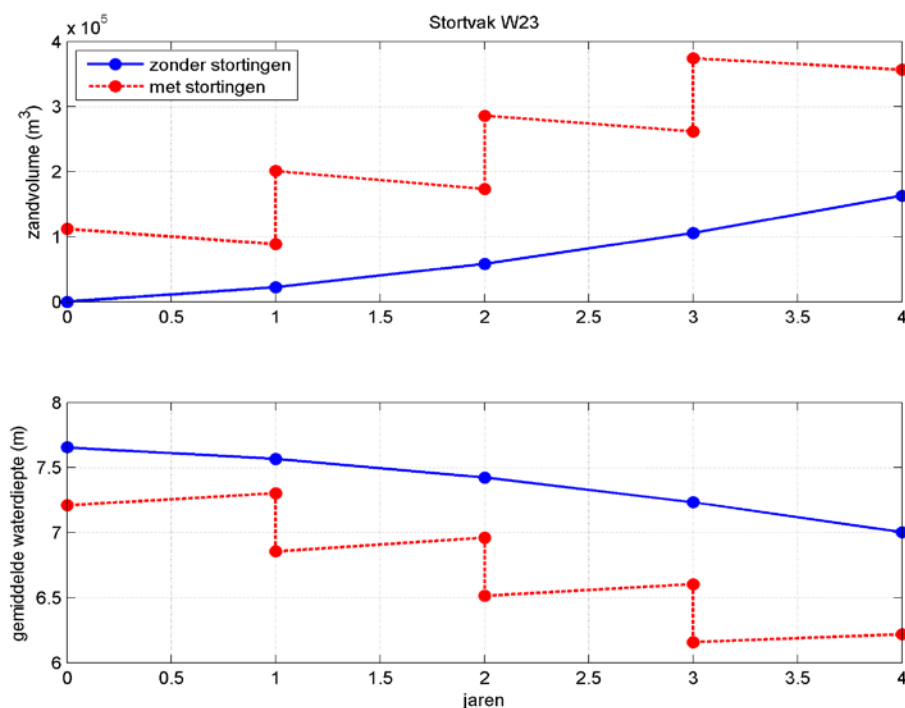


Berekende relatieve sedimentatie/erosie ter plekke van stortvak W04 na 1 jaar (boven) en 4 jaar (onder).

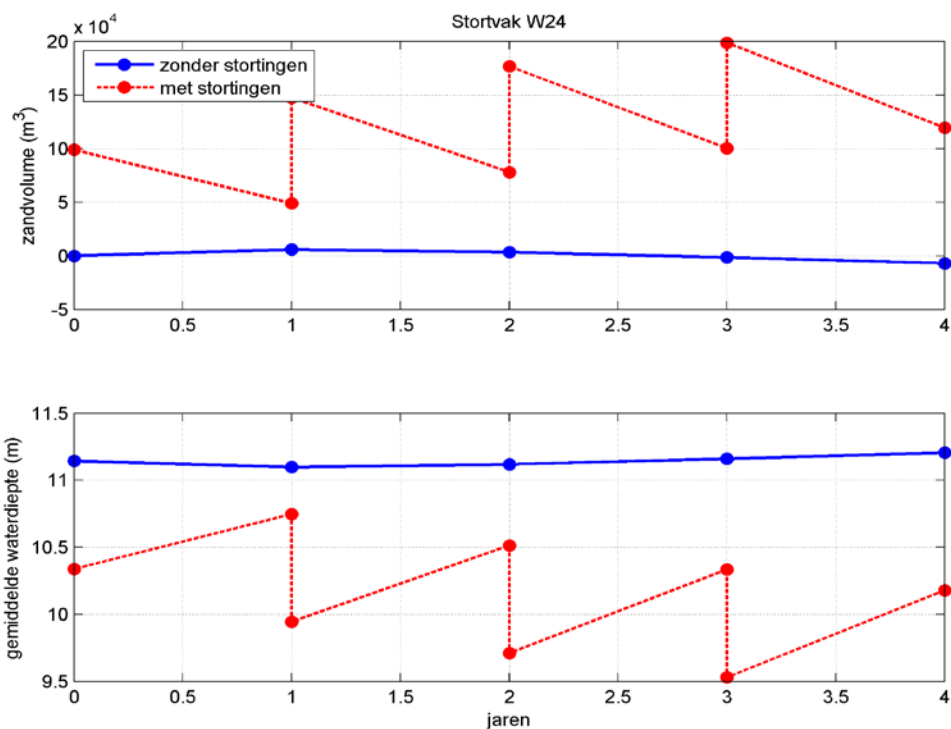
A.3 Volumes en dieptes huidige stortlocaties



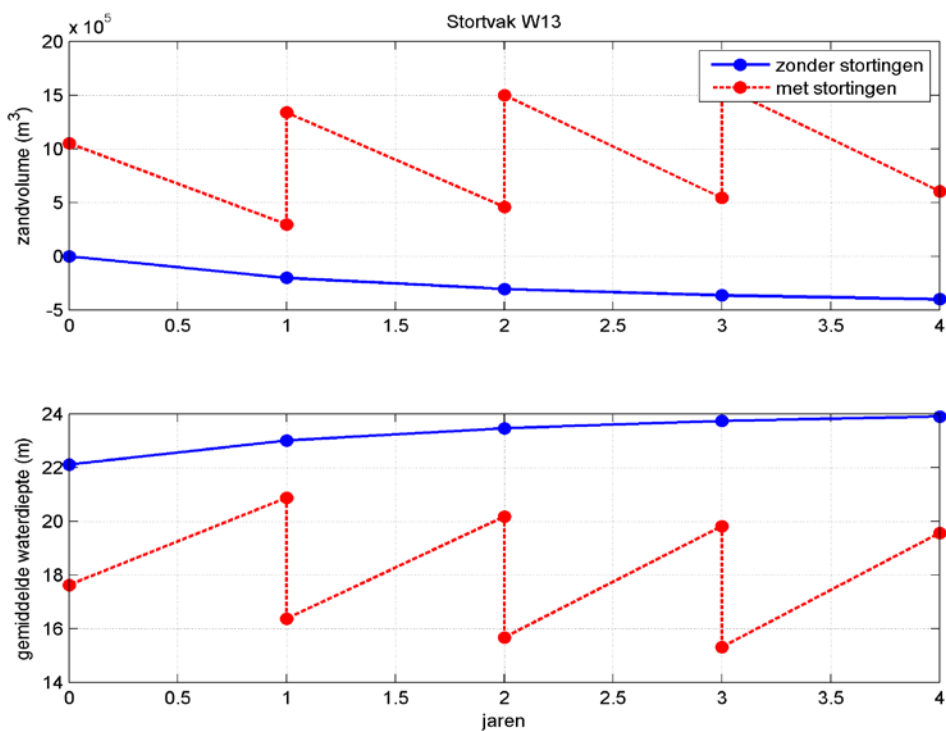
Berekende ontwikkeling van het zandvolume (bovenste figuur) en de gemiddelde waterdiepte (onderste figuur) ter plekke van stortvak W18 met en zonder jaarlijkse stortingen.



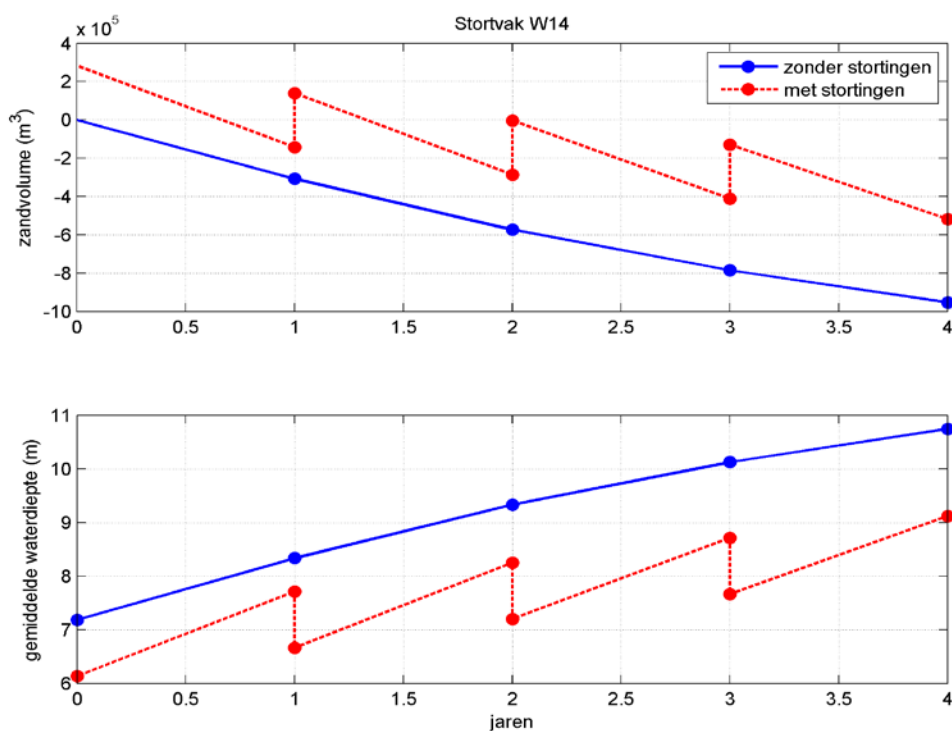
Berekende ontwikkeling van het zandvolume (bovenste figuur) en de gemiddelde waterdiepte (onderste figuur) ter plekke van stortvak W23 met en zonder jaarlijkse stortingen.



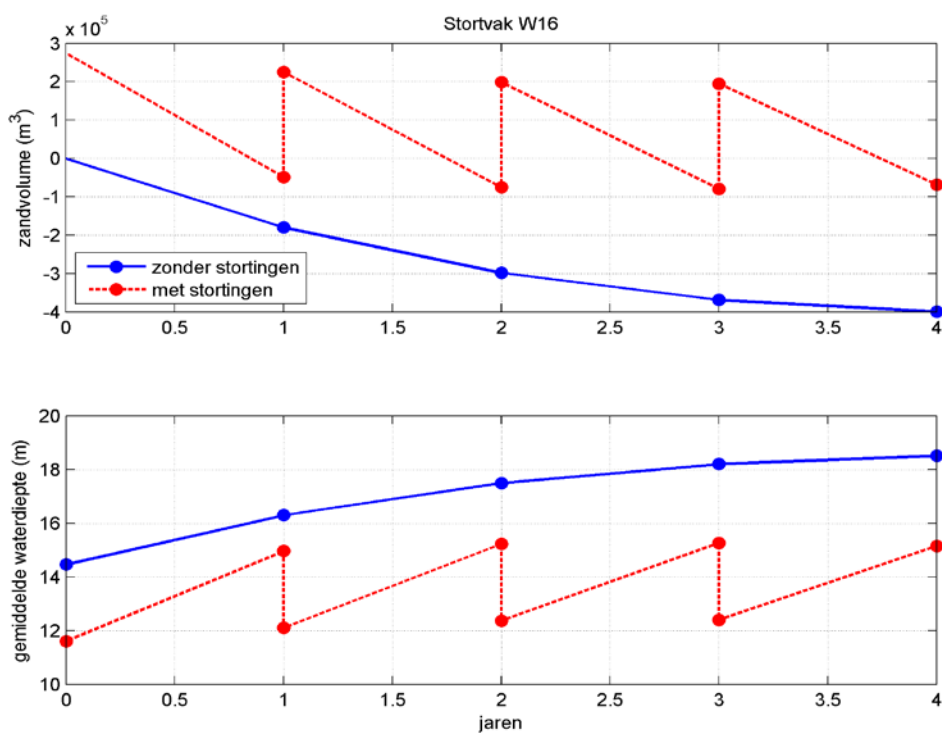
Berekende ontwikkeling van het zandvolume (bovenste figuur) en de gemiddelde waterdiepte (onderste figuur) ter plekke van stortvak W24 met en zonder jaarlijkse stortingen.



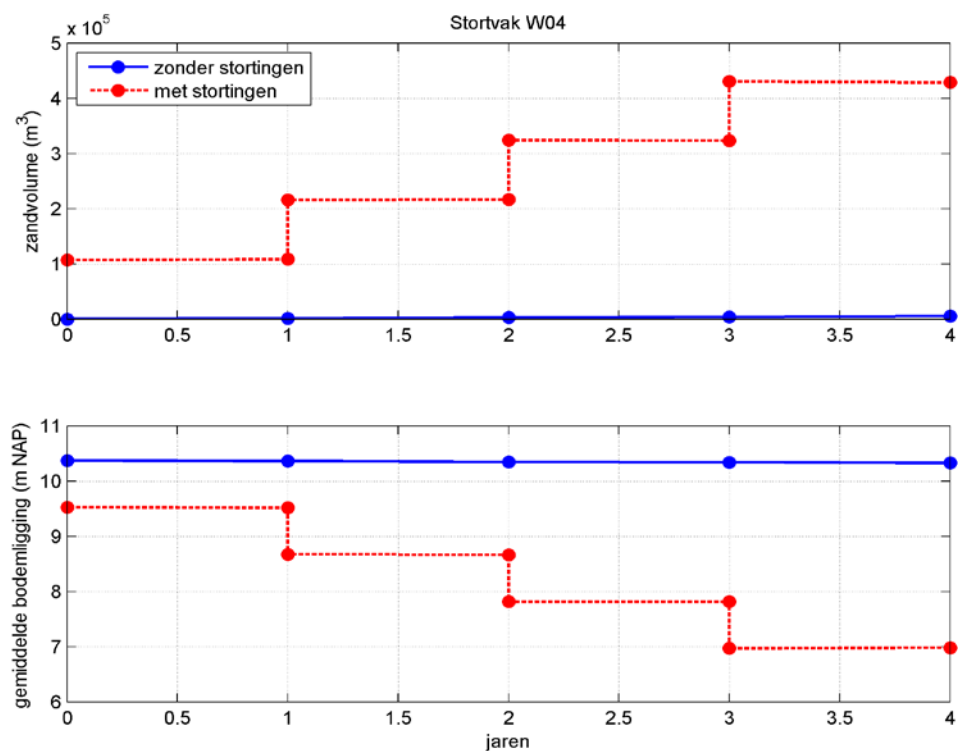
Berekende ontwikkeling van het zandvolume (bovenste figuur) en de gemiddelde waterdiepte (onderste figuur) ter plekke van stortvak W13 met en zonder jaarlijkse stortingen.



Berekende ontwikkeling van het zandvolume (bovenste figuur) en de gemiddelde waterdiepte (onderste figuur) ter plekke van stortvak W14 met en zonder jaarlijkse stortingen.

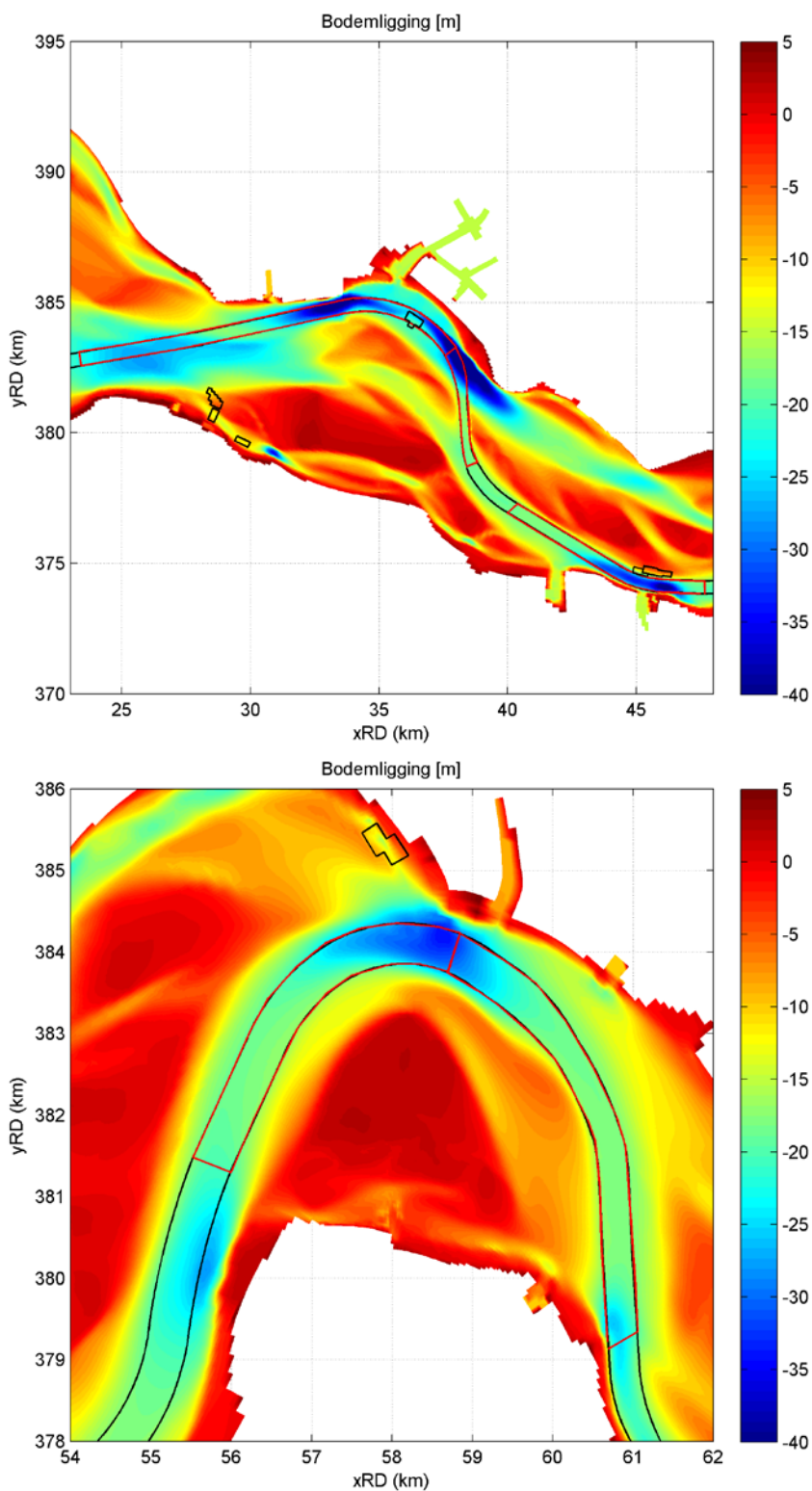


Berekende ontwikkeling van het zandvolume (bovenste figuur) en de gemiddelde waterdiepte (onderste figuur) ter plekke van stortvak W16 met en zonder jaarlijkse stortingen.

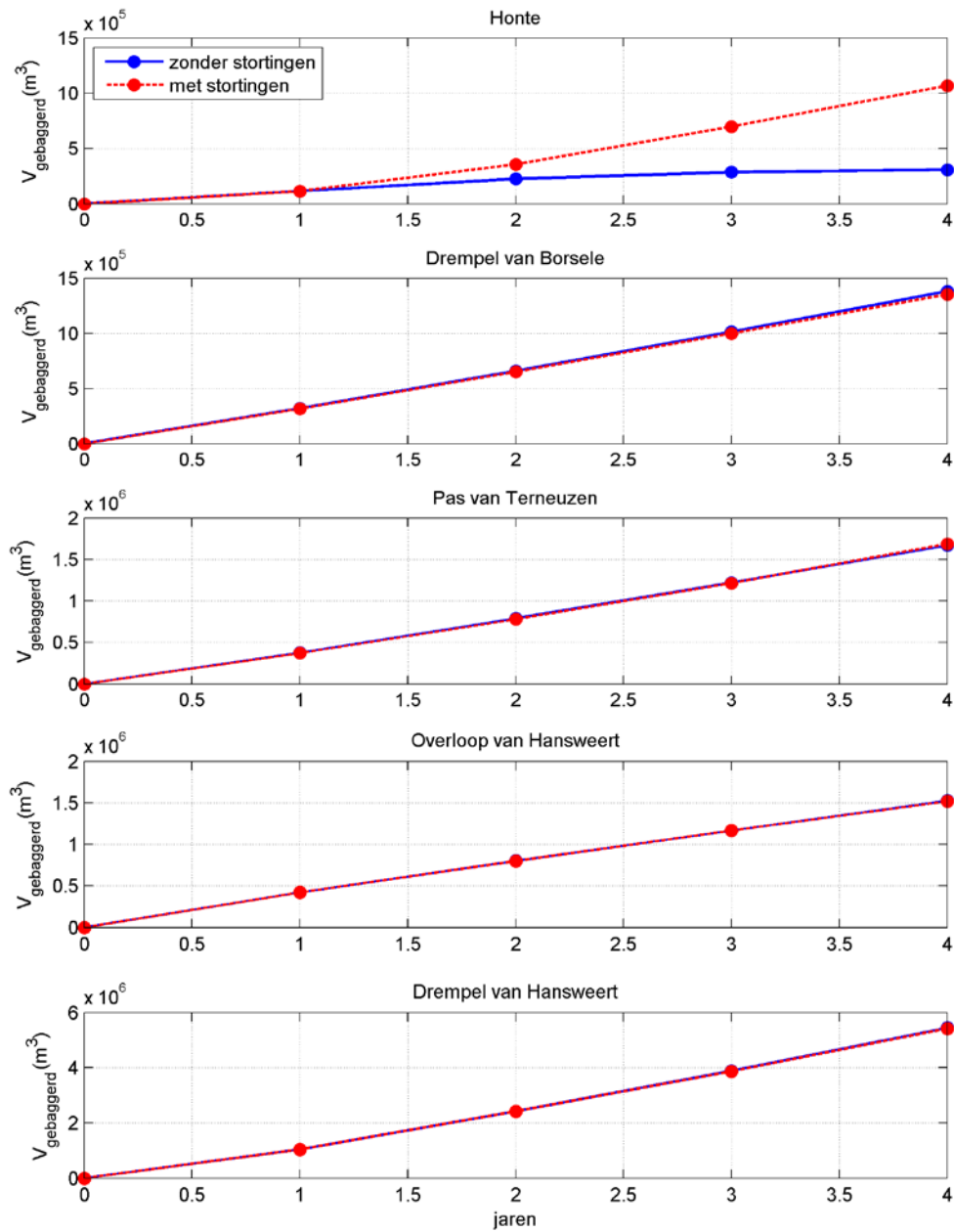


Berekende ontwikkeling van het zandvolume (bovenste figuur) en de gemiddelde waterdiepte (onderste figuur) ter plekke van stortvak W04 met en zonder jaarlijkse stortingen.

A.4 Vaargeulonderhoud huidige locaties

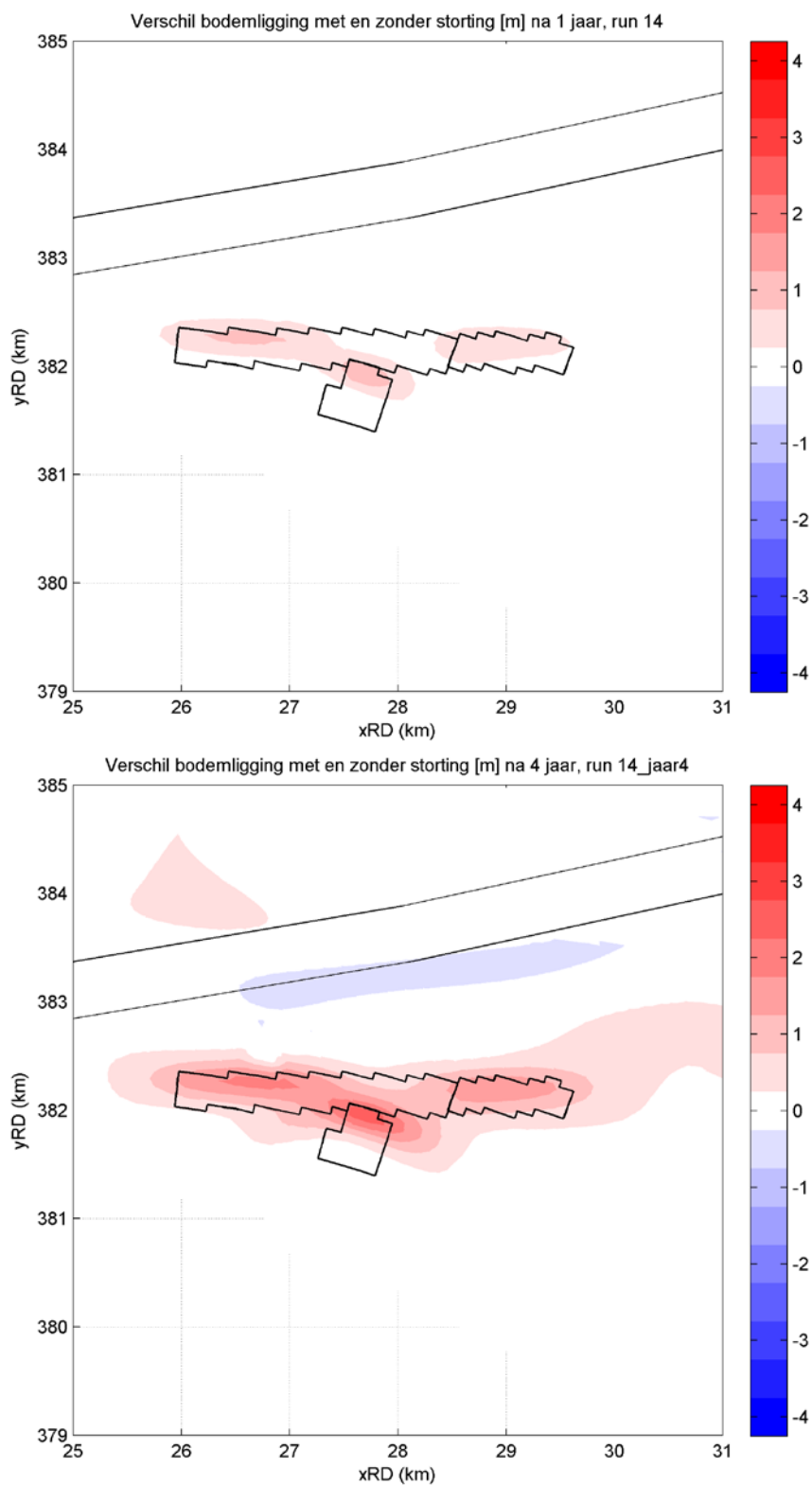


Ligging van de delen van de vaargeul waarvoor onderzocht is hoe de stortingen het vaargeulonderhoud beïnvloeden.

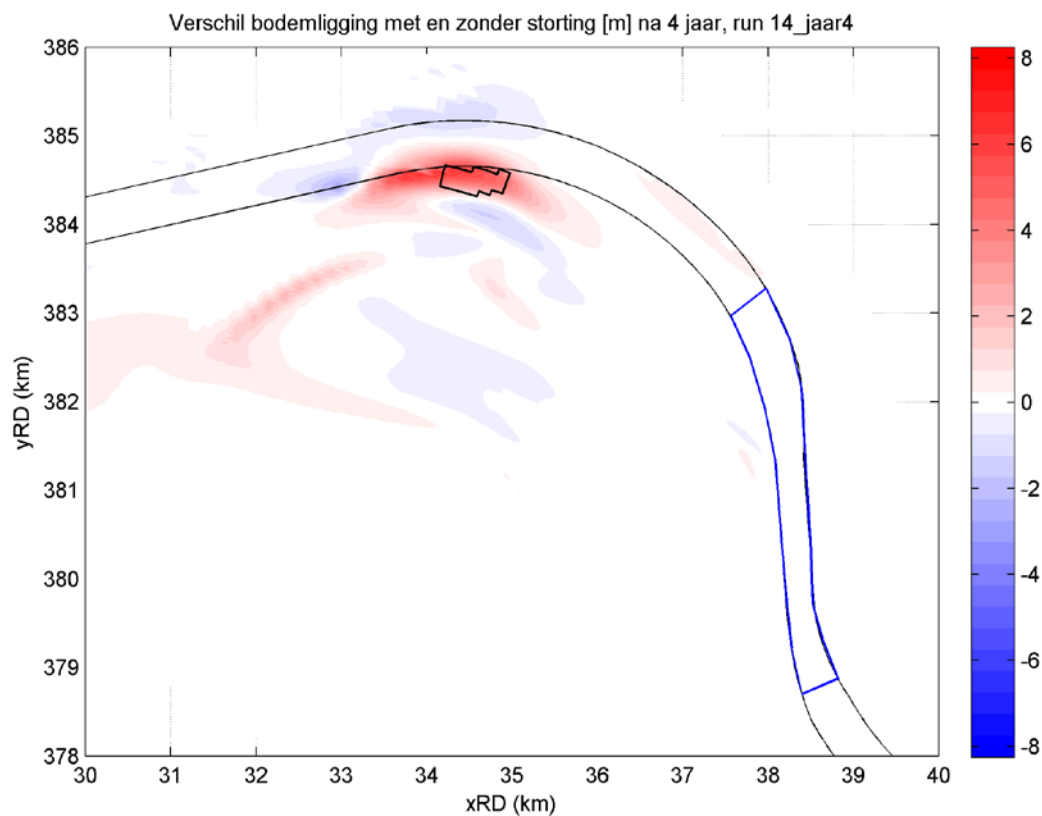
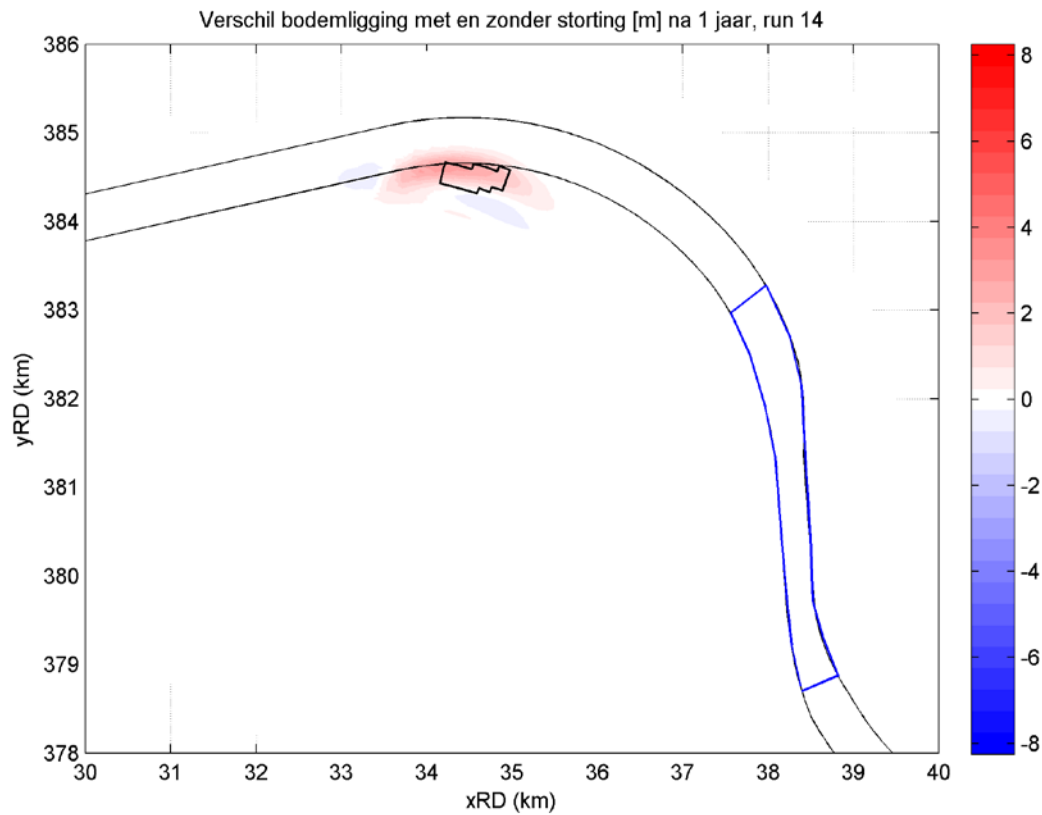


Cumulatief vaargeulonderhoud in vijf deelgebieden volgens modelsimulaties zonder stortingen en met stortingen op de huidige locaties.

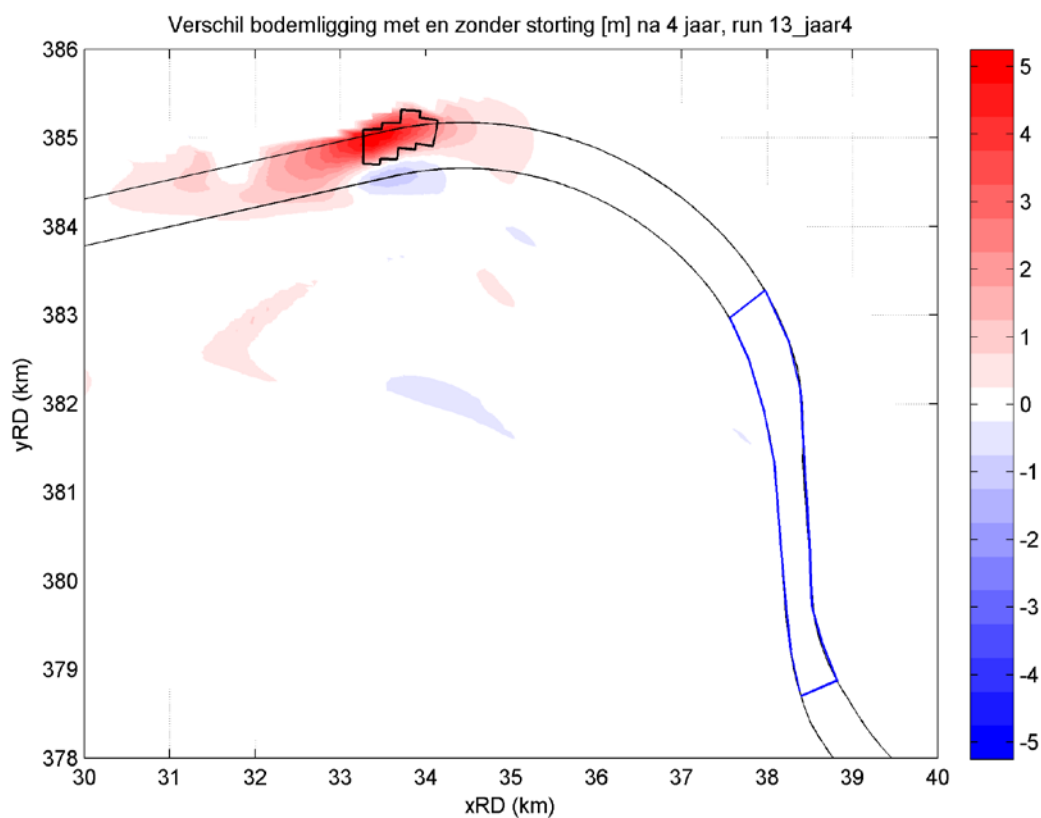
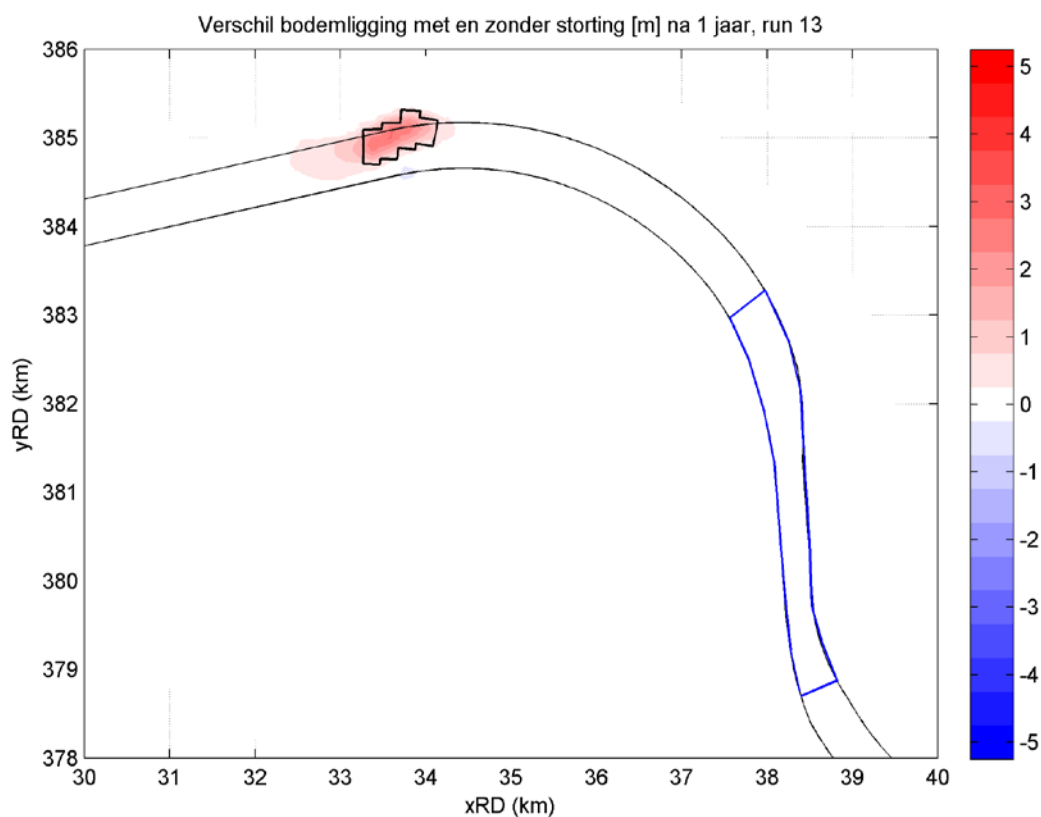
A.5 Sedimentatie en erosie alternatieve stortlocaties



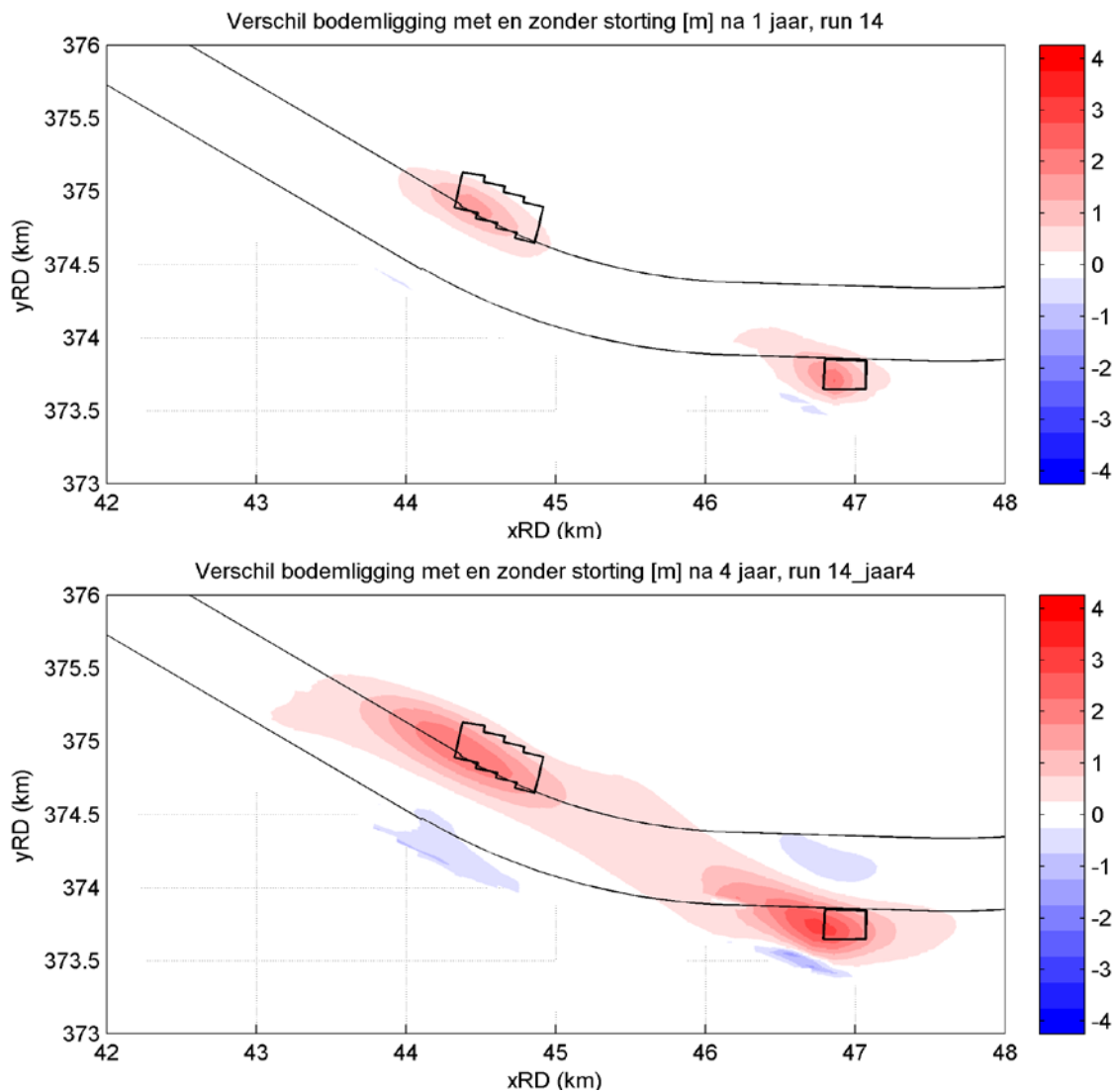
Berekende relatieve sedimentatie/erosie ter plekke van stortvakken W05, W06, W17 na 1 jaar (boven) en 4 jaar (onder).



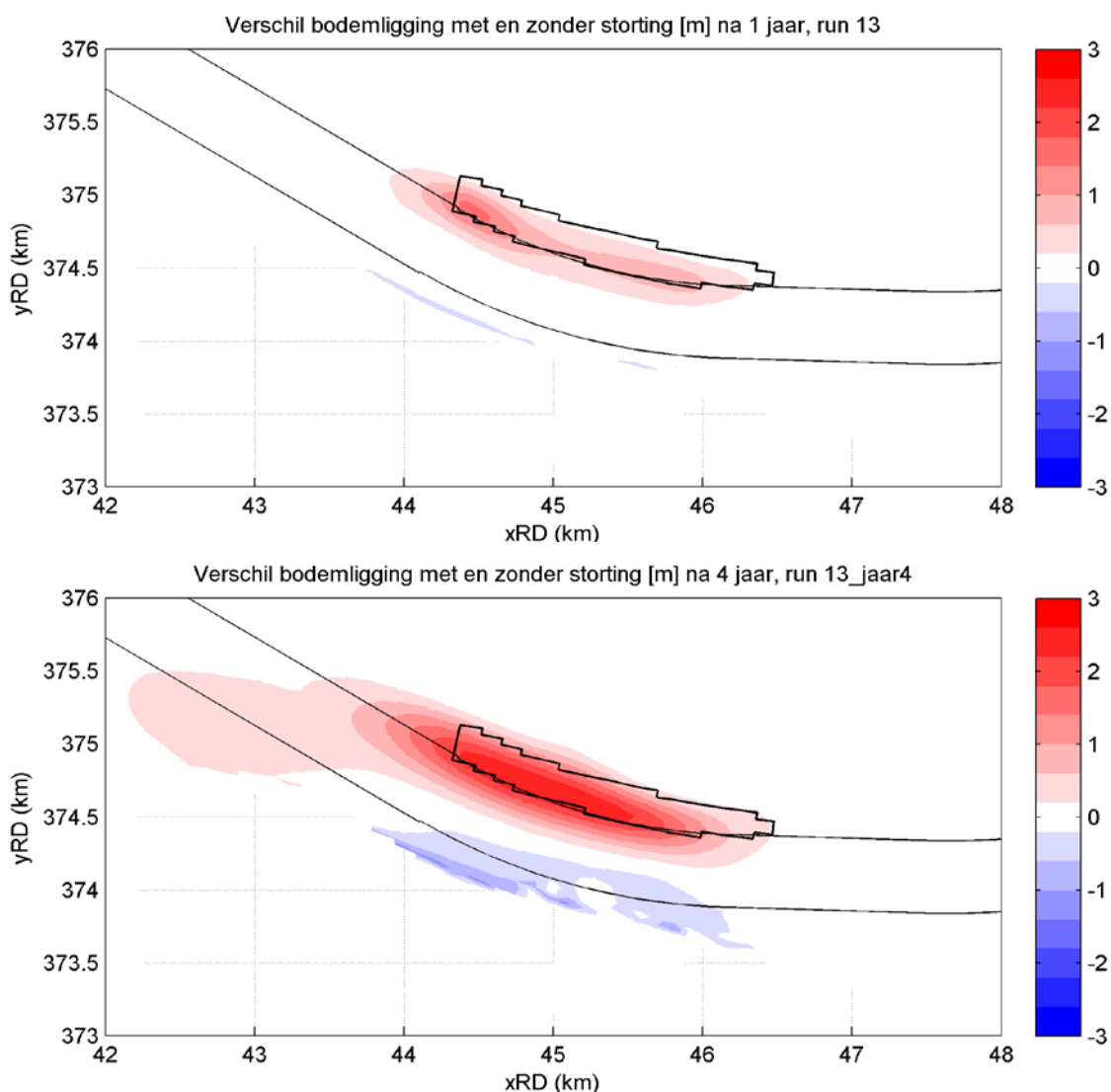
Berekende relatieve sedimentatie/erosie ter plekke van stortvak W13_alt1 na 1 jaar (boven) en 4 jaar (onder). De Drempel van Borssele ligt in het gebied aangegeven met de blauwe polygoon.



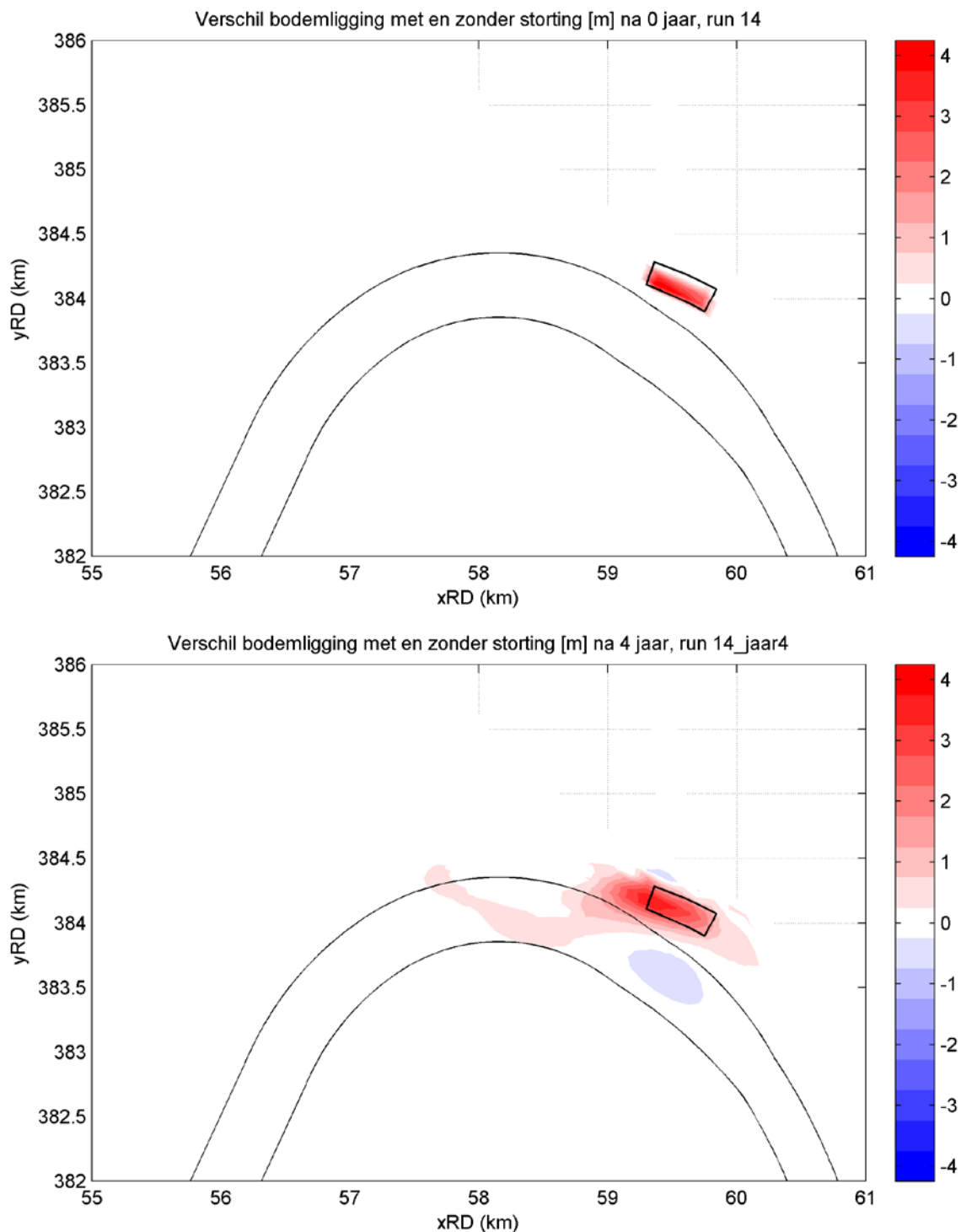
Berekende relatieve sedimentatie/erosie ter plekke van stortvak W03_alt2 na 1 jaar (boven) en 4 jaar (onder). De Drempel van Borssele ligt in het gebied aangegeven met de blauwe polygoon.

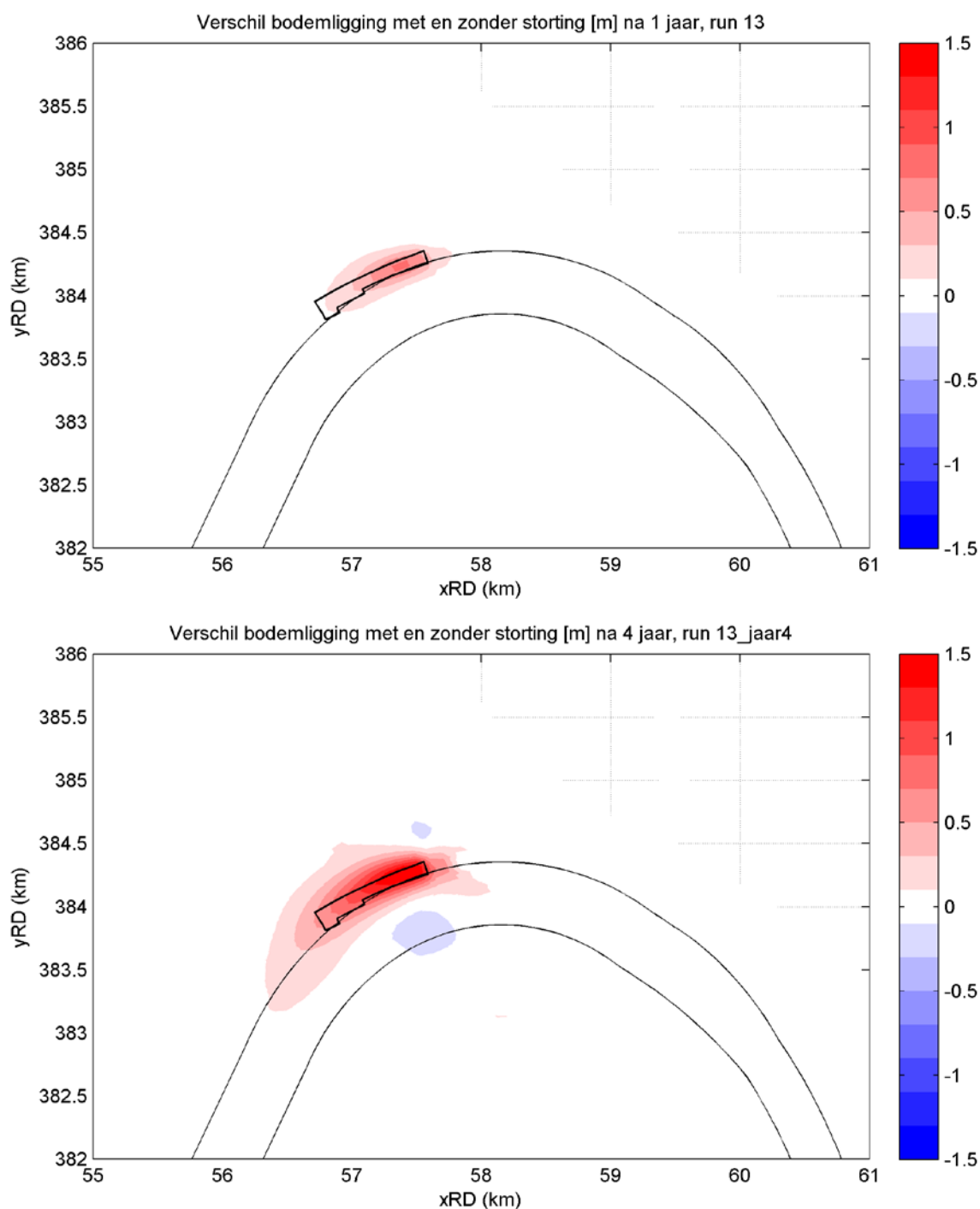


Berekende relatieve sedimentatie/erosie ter plekke van stortvakken W14_alt1, W16_alt1 na 1 jaar (boven) en 4 jaar (onder).



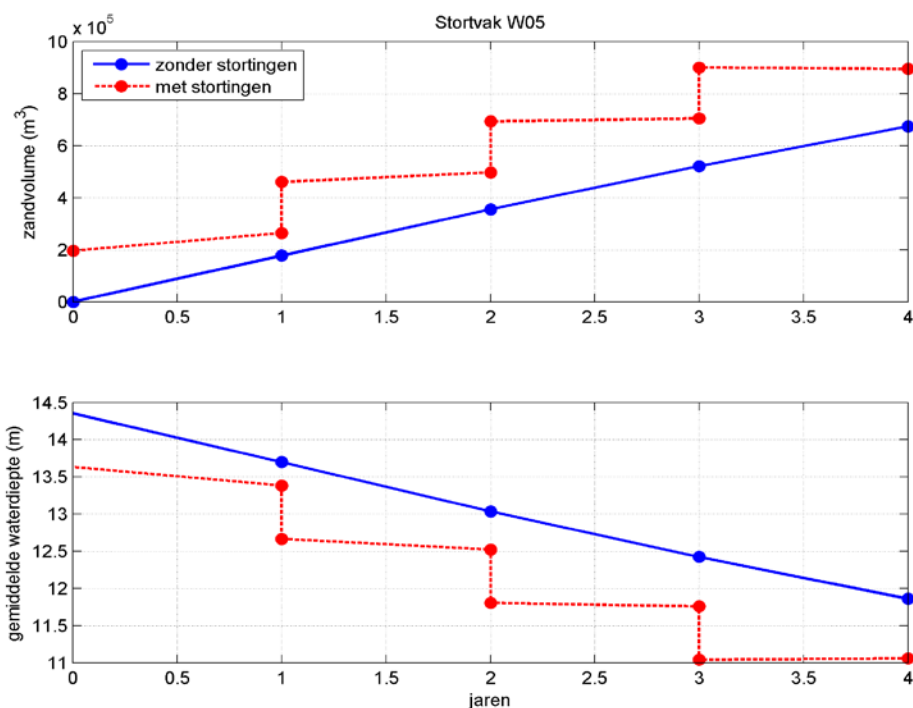
Berekende relatieve sedimentatie/erosie ter plekke van stortvak W14W16 na 1 jaar (boven) en 4 jaar (onder).



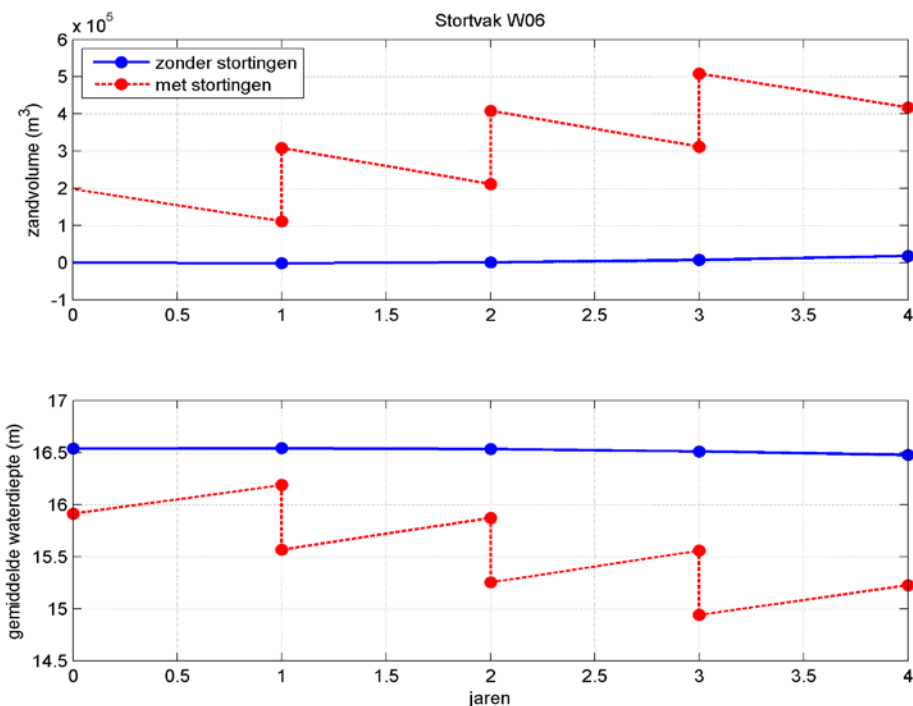


Berekende relatieve sedimentatie/erosie ter plekke van stortvak W04_alt1 na 1 jaar (boven) en 4 jaar (onder).

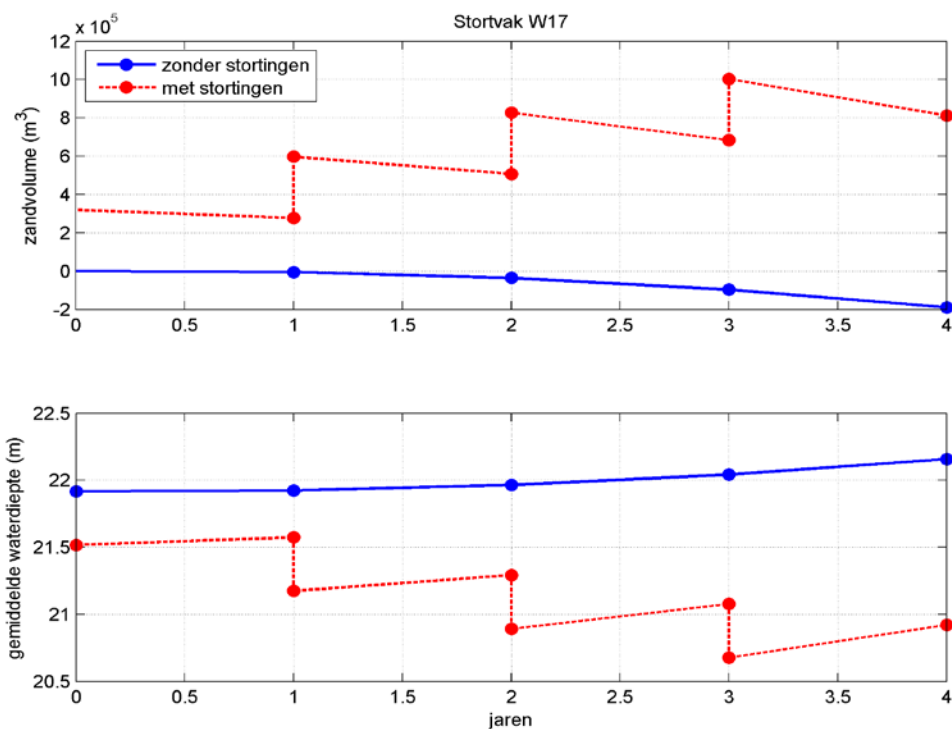
A.6 Volumes en dieptes alternatieve stortlocaties



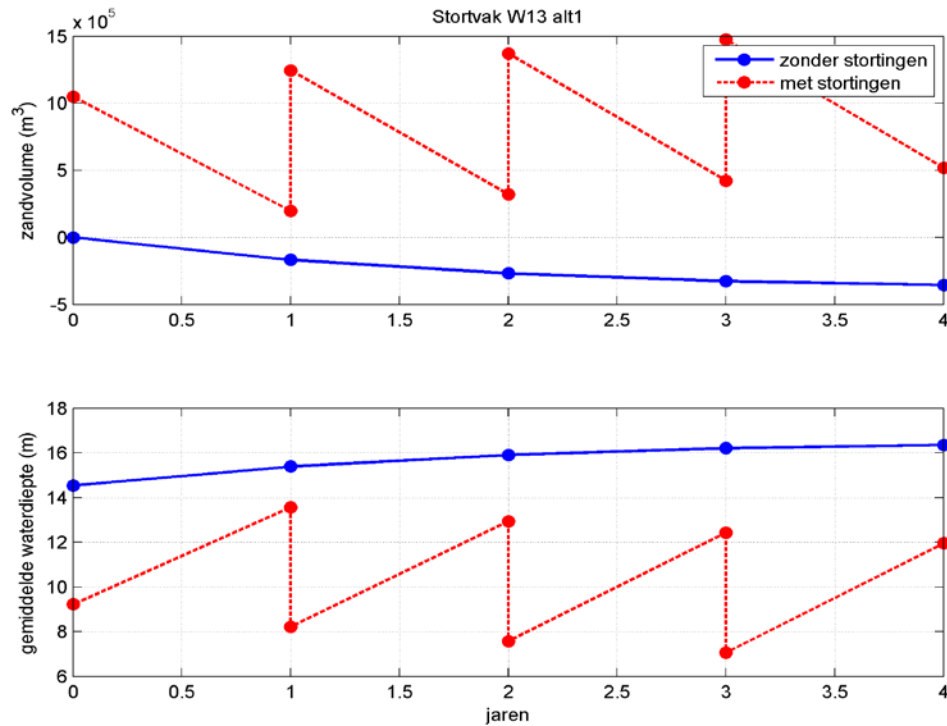
Berekende ontwikkeling van het zandvolume (bovenste figuur) en de gemiddelde waterdiepte (onderste figuur) ter plekke van stortvak W05 met en zonder jaarlijkse stortingen.



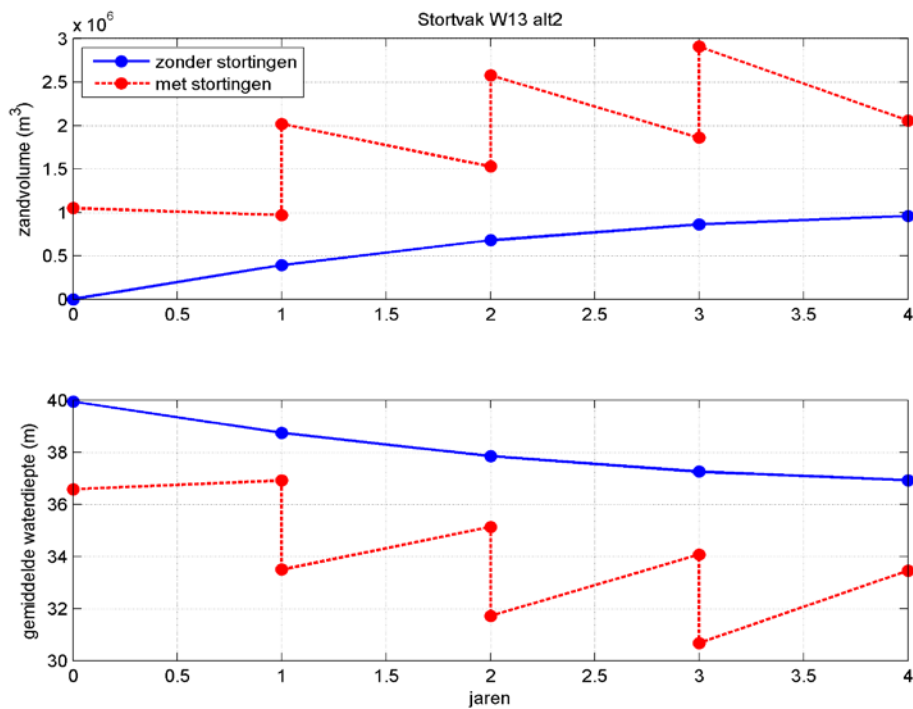
Berekende ontwikkeling van het zandvolume (bovenste figuur) en de gemiddelde waterdiepte (onderste figuur) ter plekke van stortvak W06 met en zonder jaarlijkse stortingen.



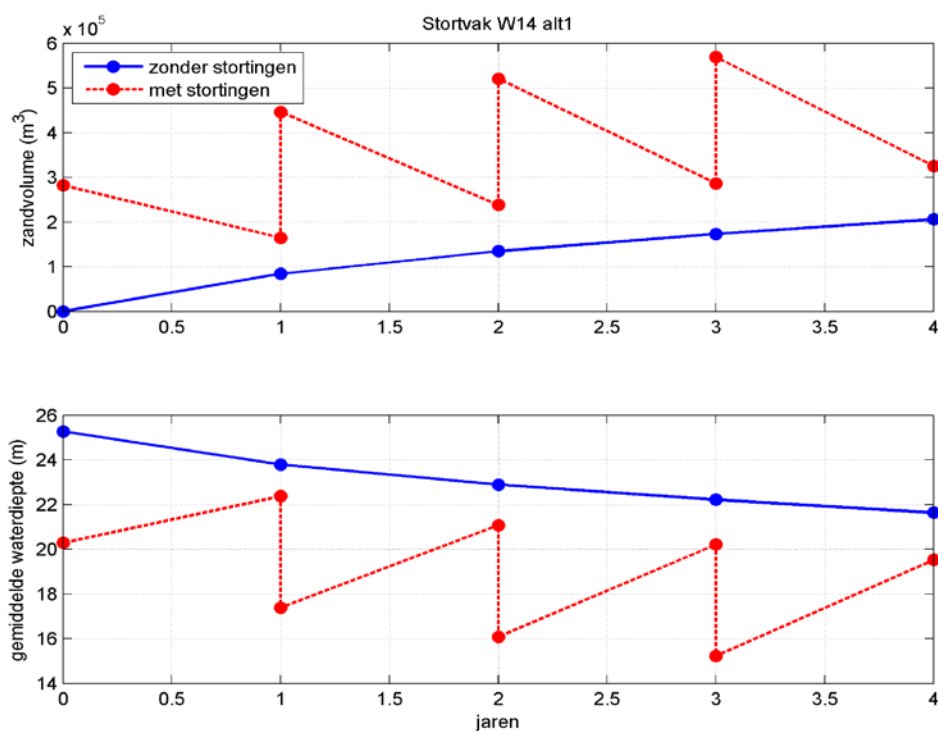
Berekende ontwikkeling van het zandvolume (bovenste figuur) en de gemiddelde waterdiepte (onderste figuur) ter plekke van stortvak W17 met en zonder jaarlijkse stortingen.



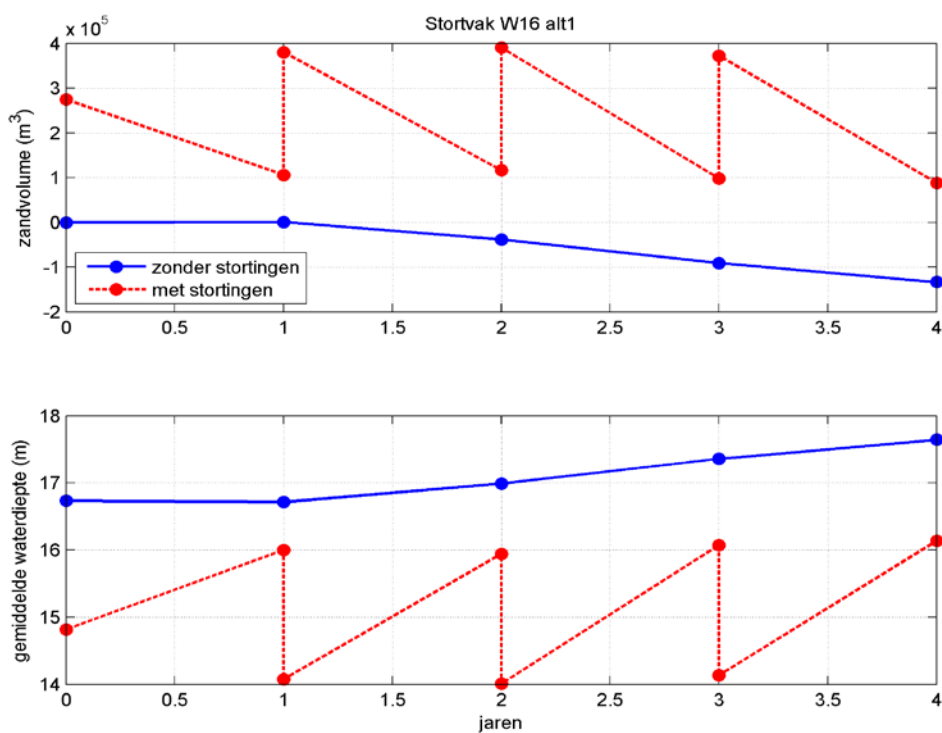
Berekende ontwikkeling van het zandvolume (bovenste figuur) en de gemiddelde waterdiepte (onderste figuur) ter plekke van stortvak W13_alt1 met en zonder jaarlijkse stortingen.



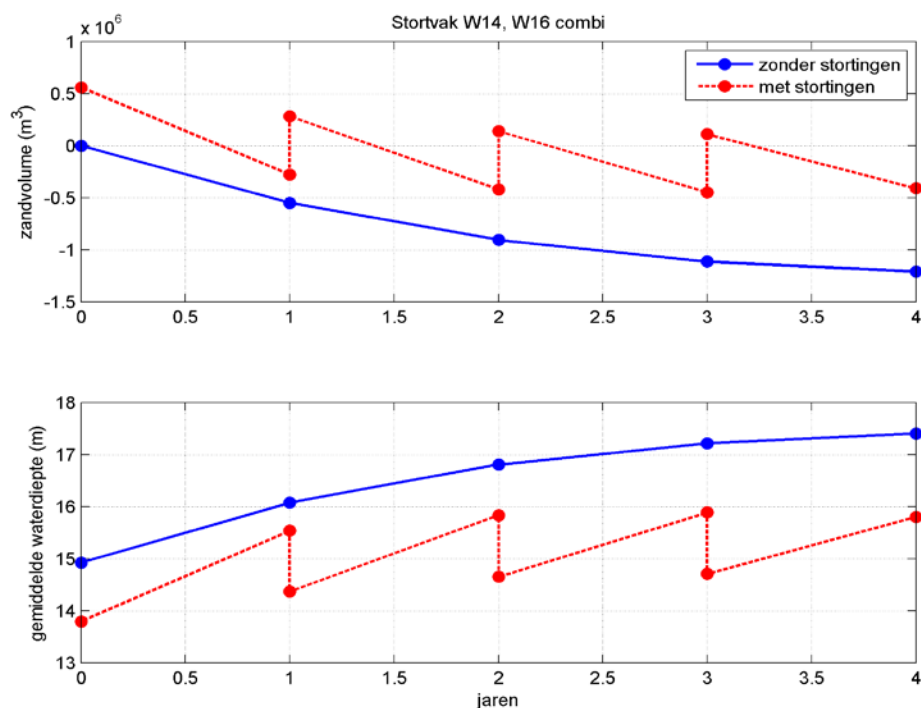
Berekende ontwikkeling van het zandvolume (bovenste figuur) en de gemiddelde waterdiepte (onderste figuur) ter plekke van stortvak W13_alt2 met en zonder jaarlijkse stortingen



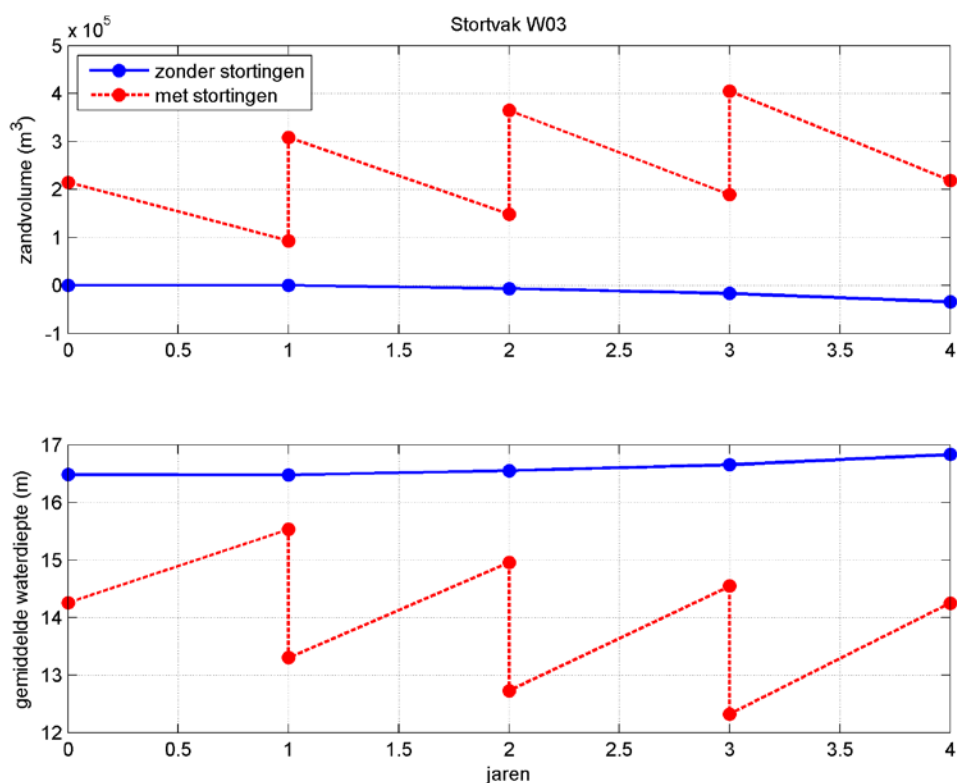
Berekende ontwikkeling van het zandvolume (bovenste figuur) en de gemiddelde waterdiepte (onderste figuur) ter plekke van stortvak W14_alt1 met en zonder jaarlijkse stortingen.



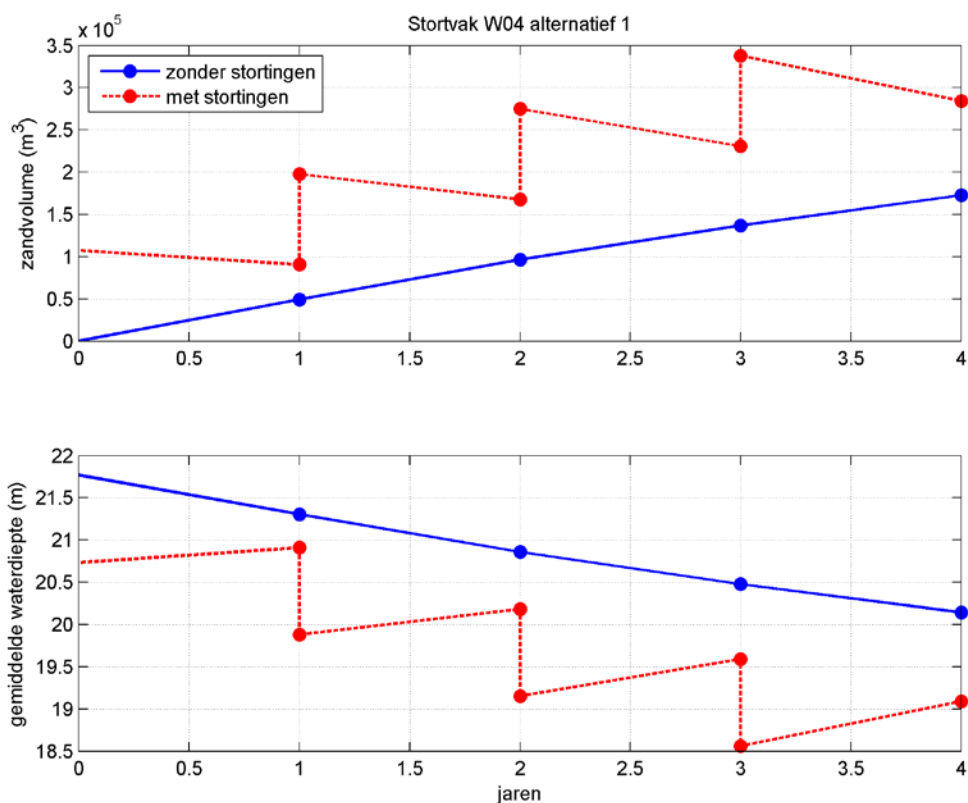
Berekende ontwikkeling van het zandvolume (bovenste figuur) en de gemiddelde waterdiepte (onderste figuur) ter plekke van stortvak W16_alt1 met en zonder jaarlijkse stortingen.



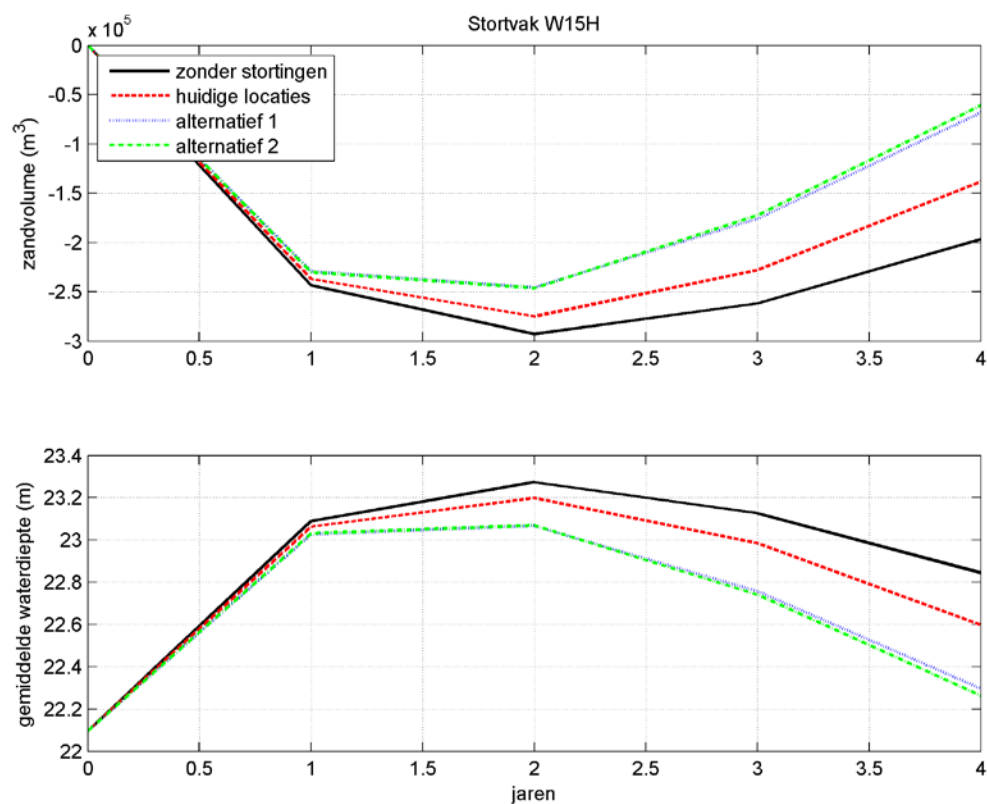
Berekende ontwikkeling van het zandvolume (bovenste figuur) en de gemiddelde waterdiepte (onderste figuur) ter plekke van stortvak W14W16 met en zonder jaarlijkse stortingen.



Berekende ontwikkeling van het zandvolume (bovenste figuur) en de gemiddelde waterdiepte (onderste figuur) ter plekke van stortvak W03 met en zonder jaarlijkse stortingen.

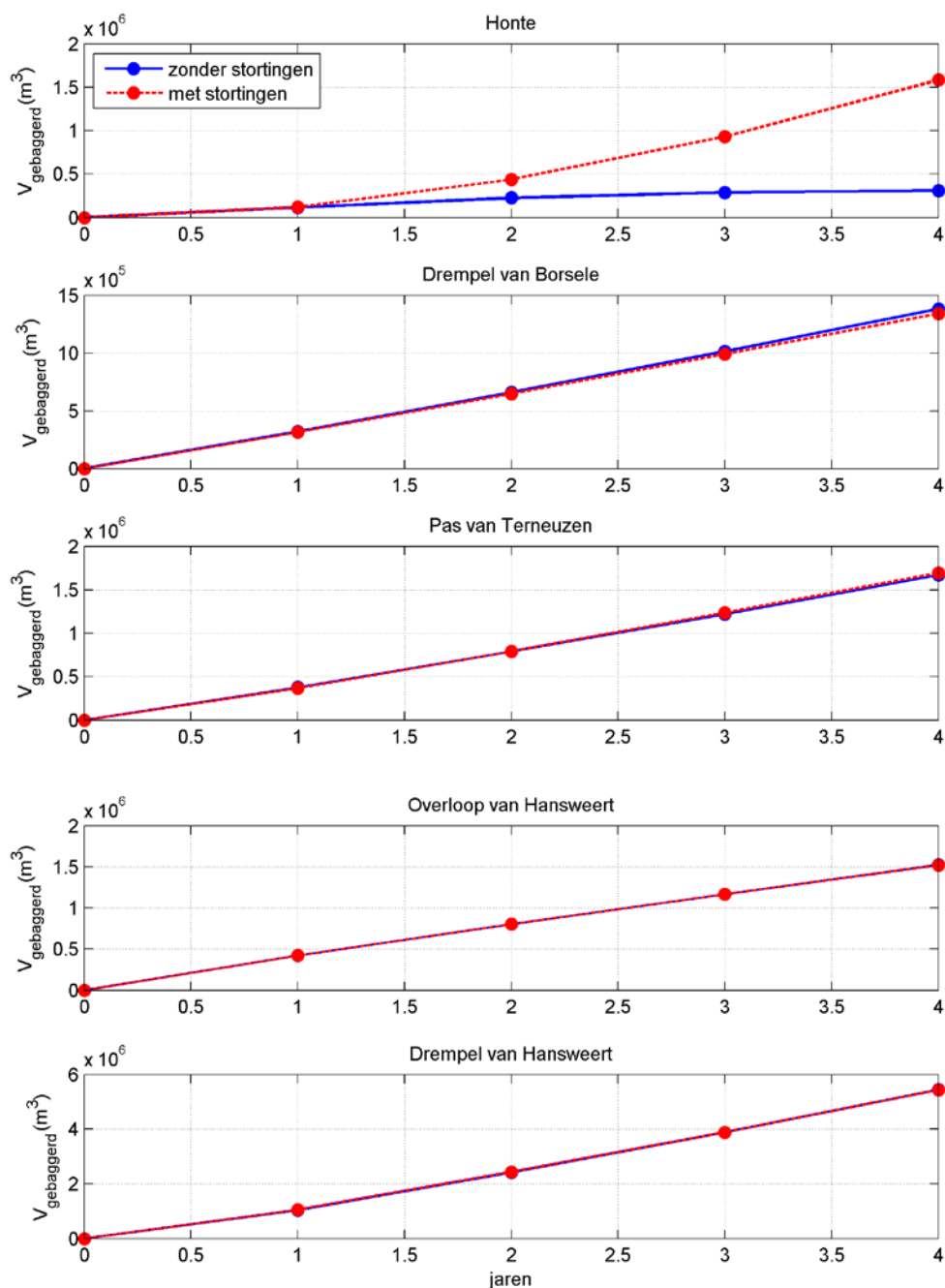


Berekende ontwikkeling van het zandvolume (bovenste figuur) en de gemiddelde waterdiepte (onderste figuur) ter plekke van stortvak W04_alt1 met en zonder jaarlijkse stortingen.

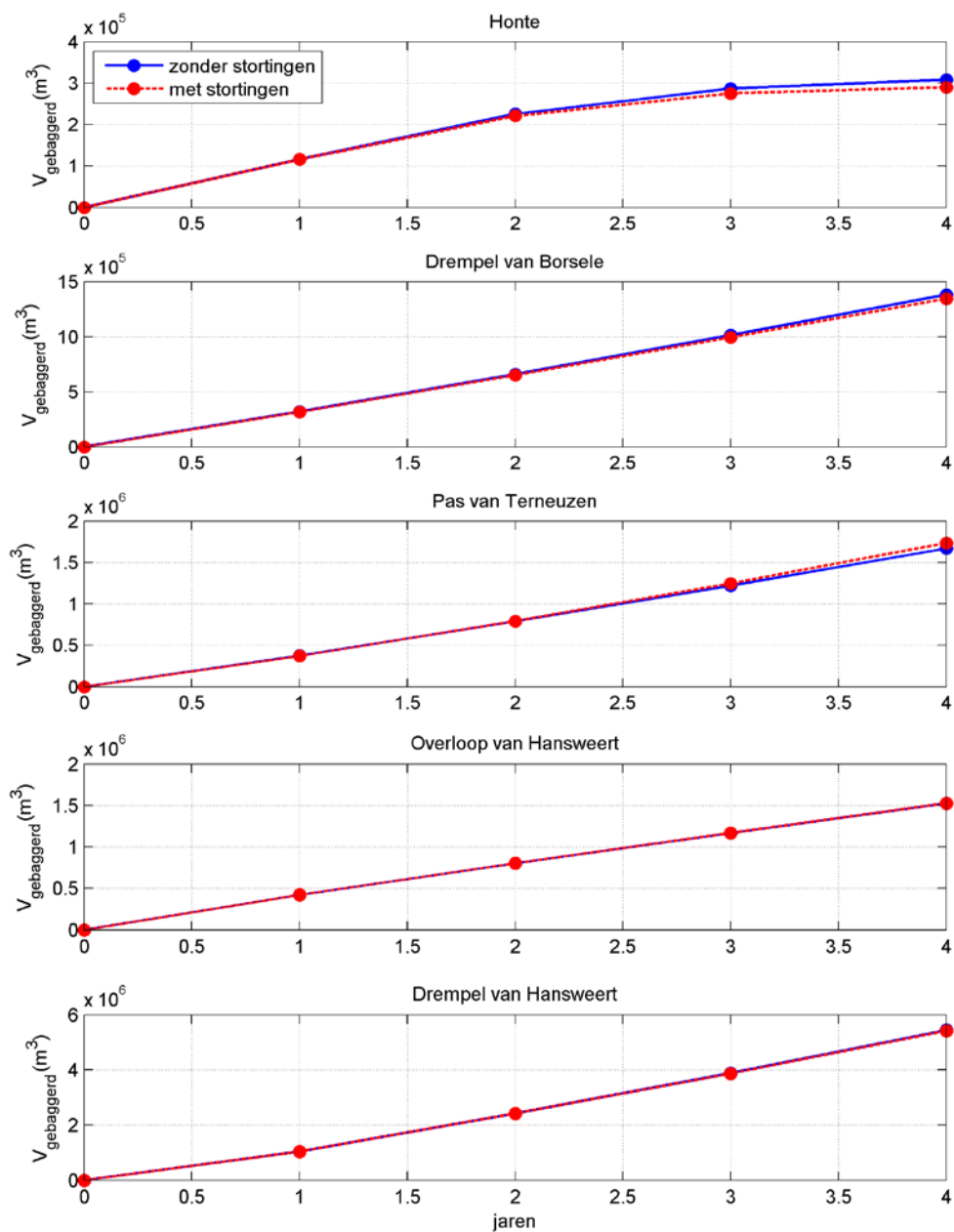


Berekende ontwikkeling van het zandvolume (bovenste figuur) en de gemiddelde waterdiepte (onderste figuur) ter plekke van stortvak W15H met en zonder jaarlijkse stortingen.

A.7 Vaargeulonderhoud alternatieve locaties



Cumulatief vaargeulonderhoud in vijf deelgebieden volgens modelsimulaties zonder stortingen en met stortingen op alternatieve locaties (alternatief 1).

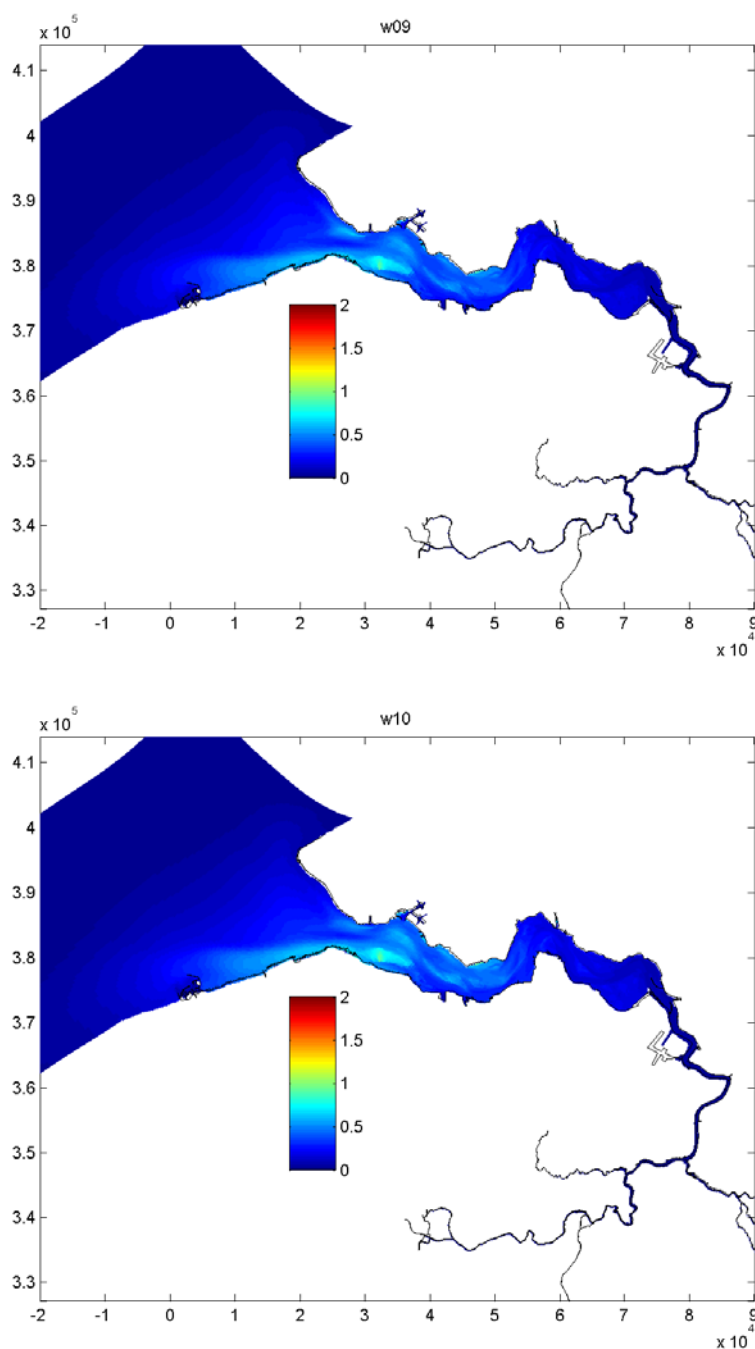


Cumulatief vaargeulonderhoud in vijf deelgebieden volgens modelsimulaties zonder stortingen en met stortingen op alternatieve locaties (alternatief 2).

B Resultaten slibverspreiding

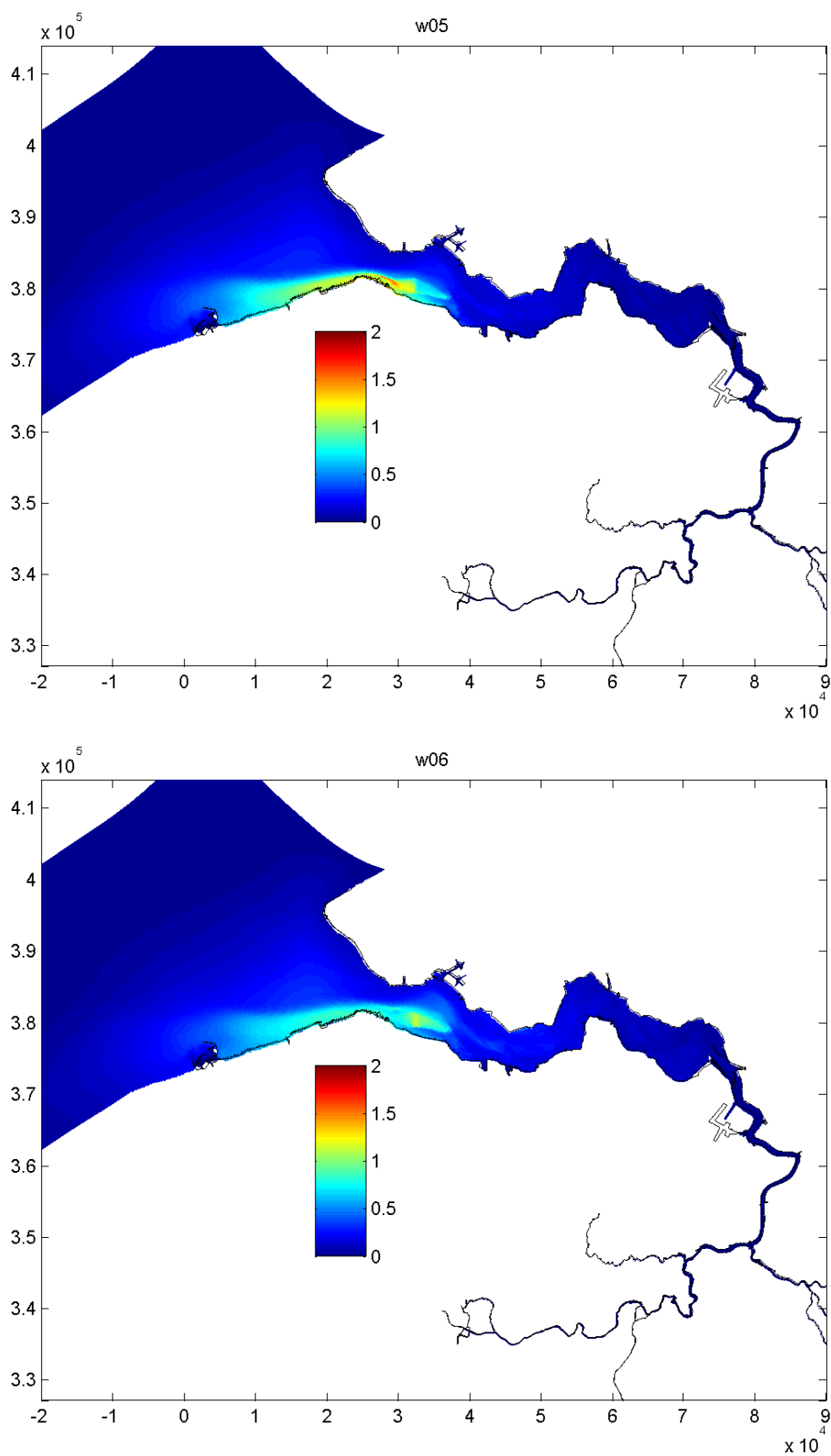
B.1 Eenheidslozingen

B.1.1 Vlissingen

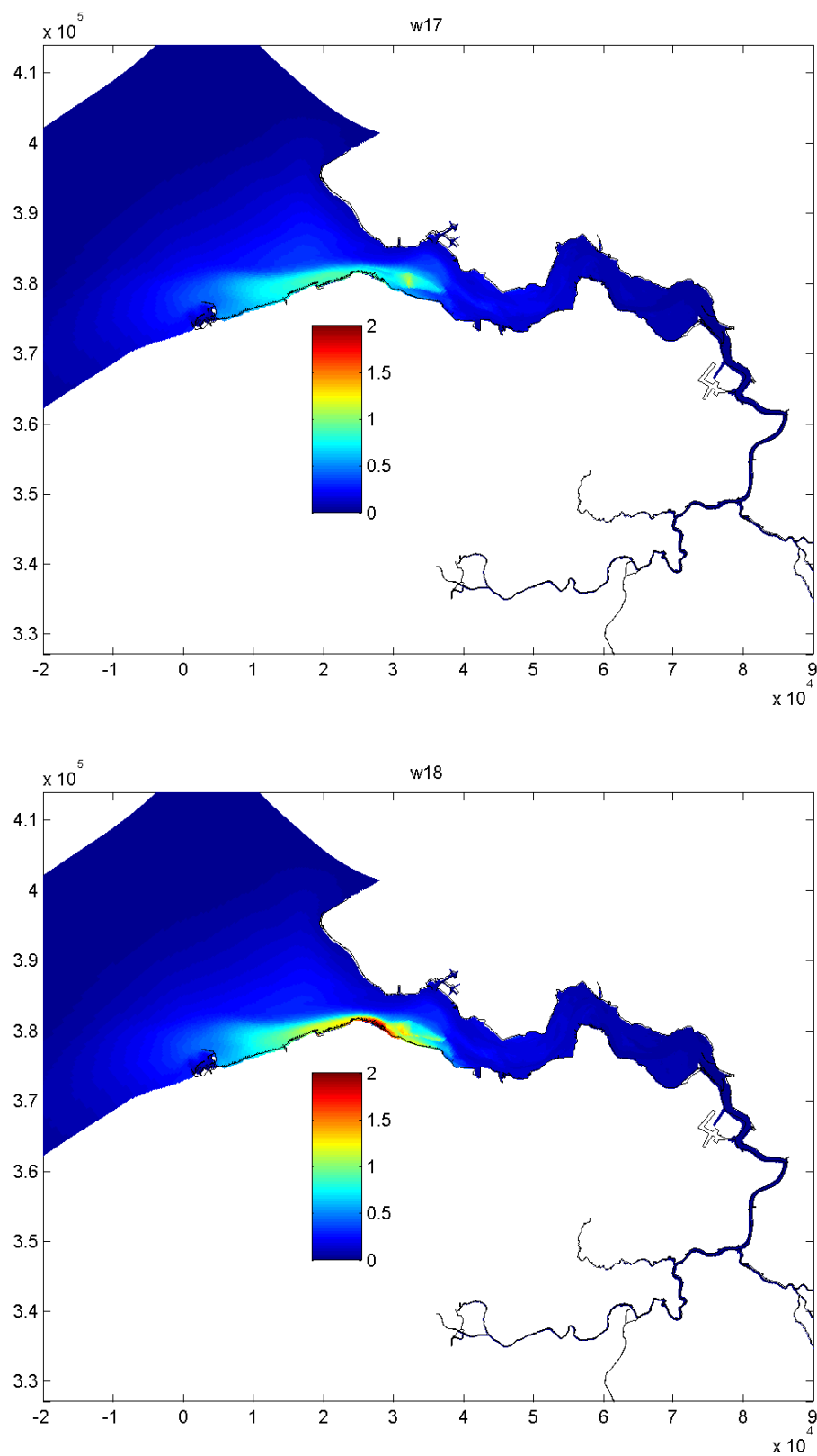


Figuur B.1 Verhoging van slibconcentratie (mg/L) t.g.v. de continue verspreiding van 100 kton/jaar slib vanaf vak W09 (boven) en W10 (onder)

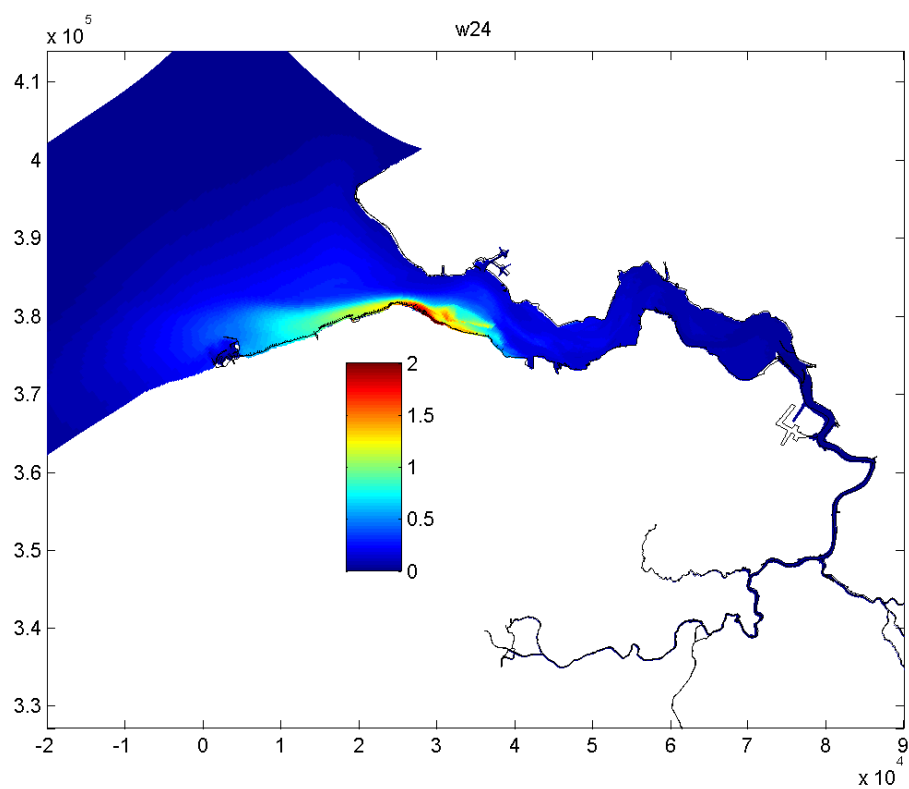
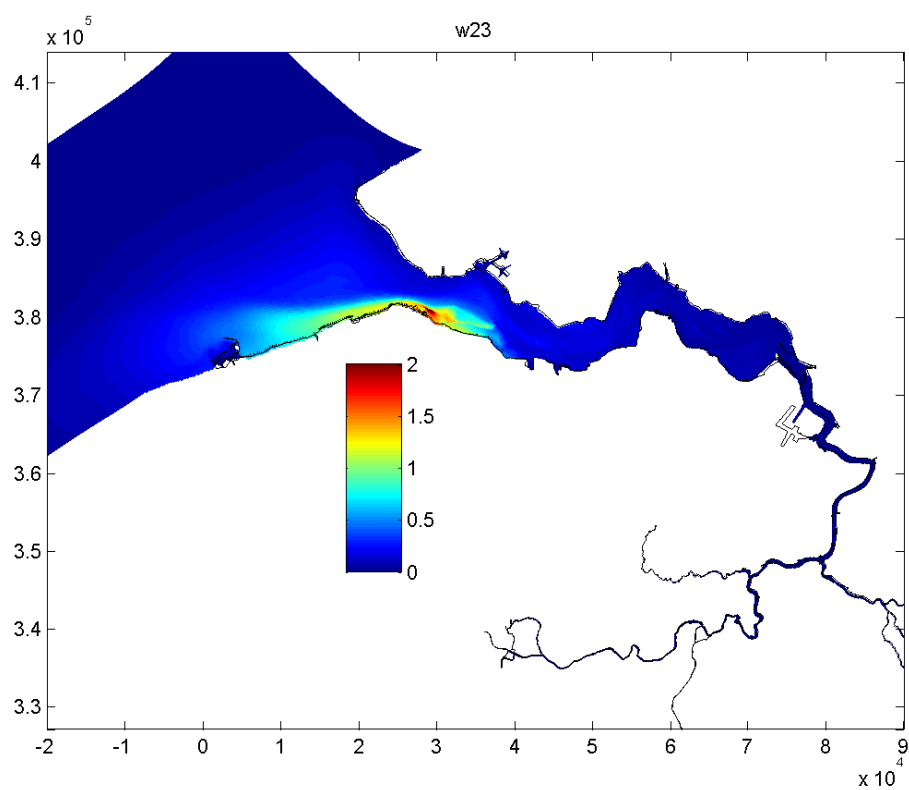
B.1.2 Breskens



Figuur B.2 Verhoging van slibconcentratie (mg/L) t.g.v. de continue verspreiding van 100 kton/jaar slib vanaf vak W05 (boven) en W06 (onder)

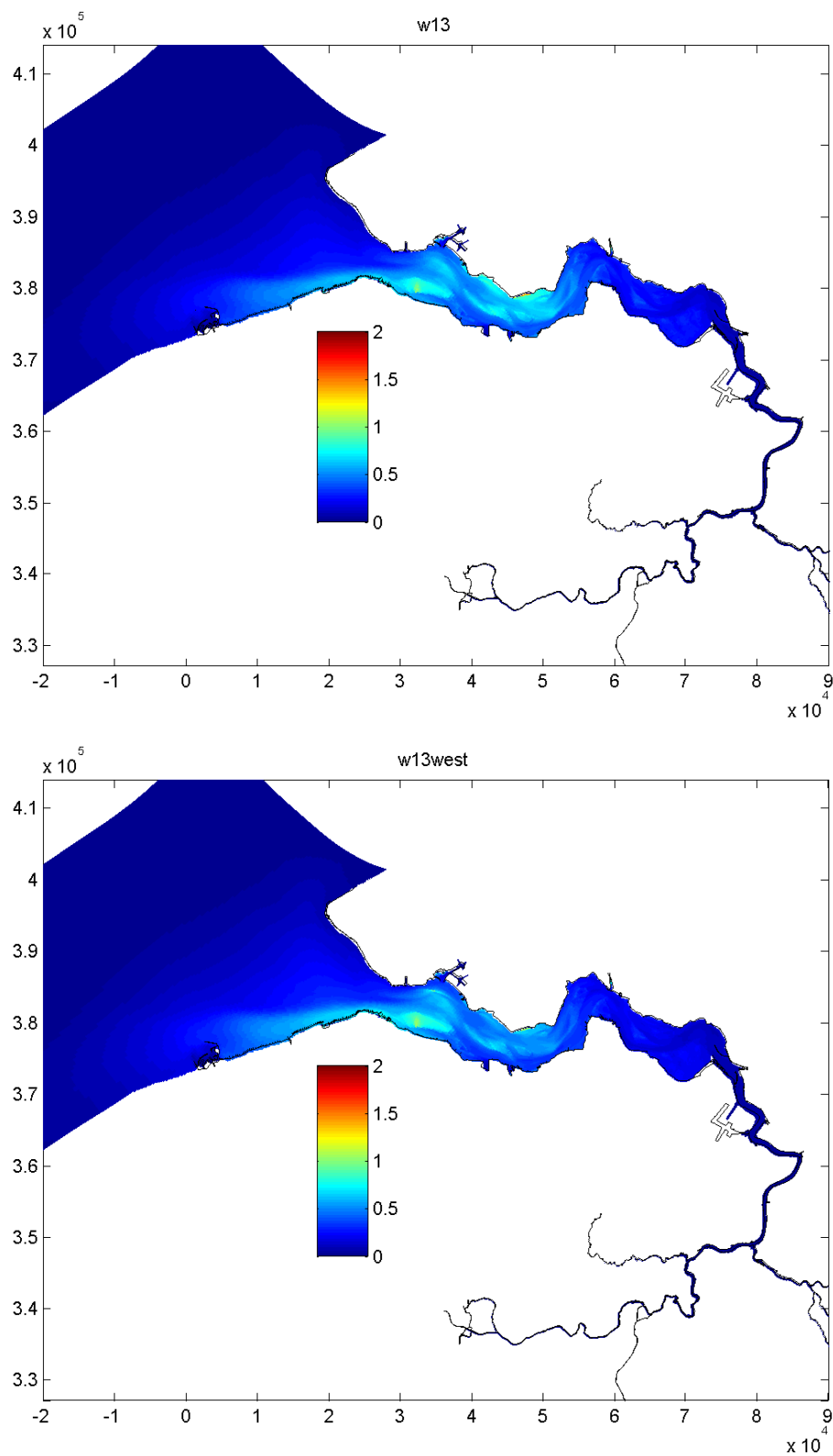


Figuur B.3 Verhoging van slibconcentratie (mg/L) t.g.v. de continue verspreiding van 100 kton/jaar slib vanaf vak W17 (boven) en W18 (onder)

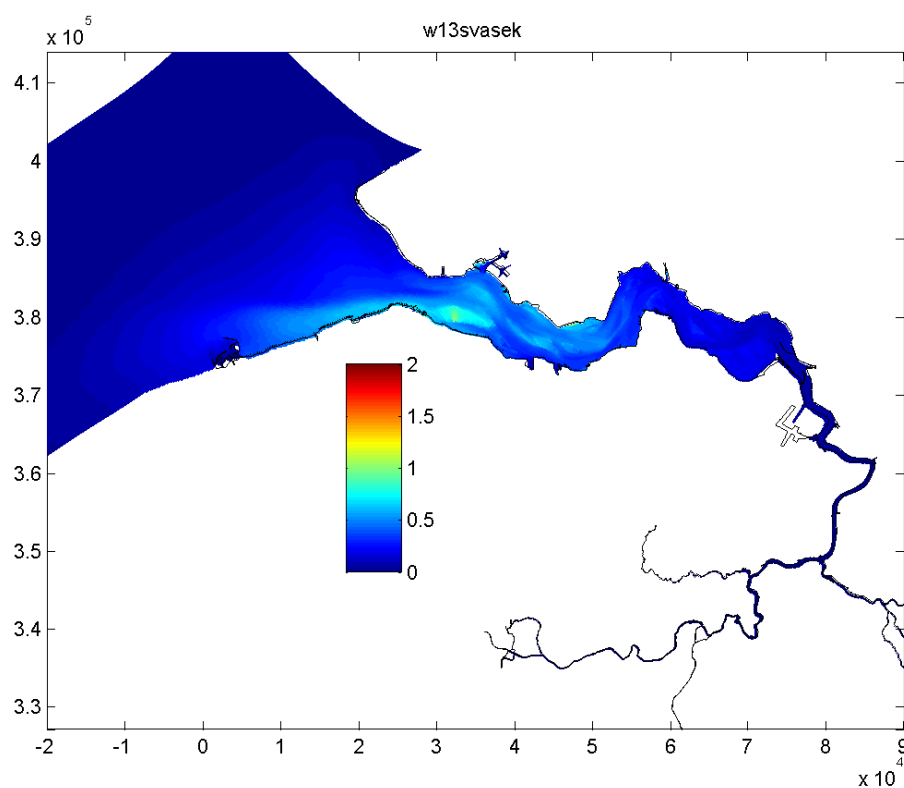


Figuur B.4 Verhoging van slibconcentratie (mg/L) t.g.v. de continue verspreiding van 100 kton/jaar slib vanaf vak W23 (boven) en W24 (onder)

B.1.3 Sloehaven

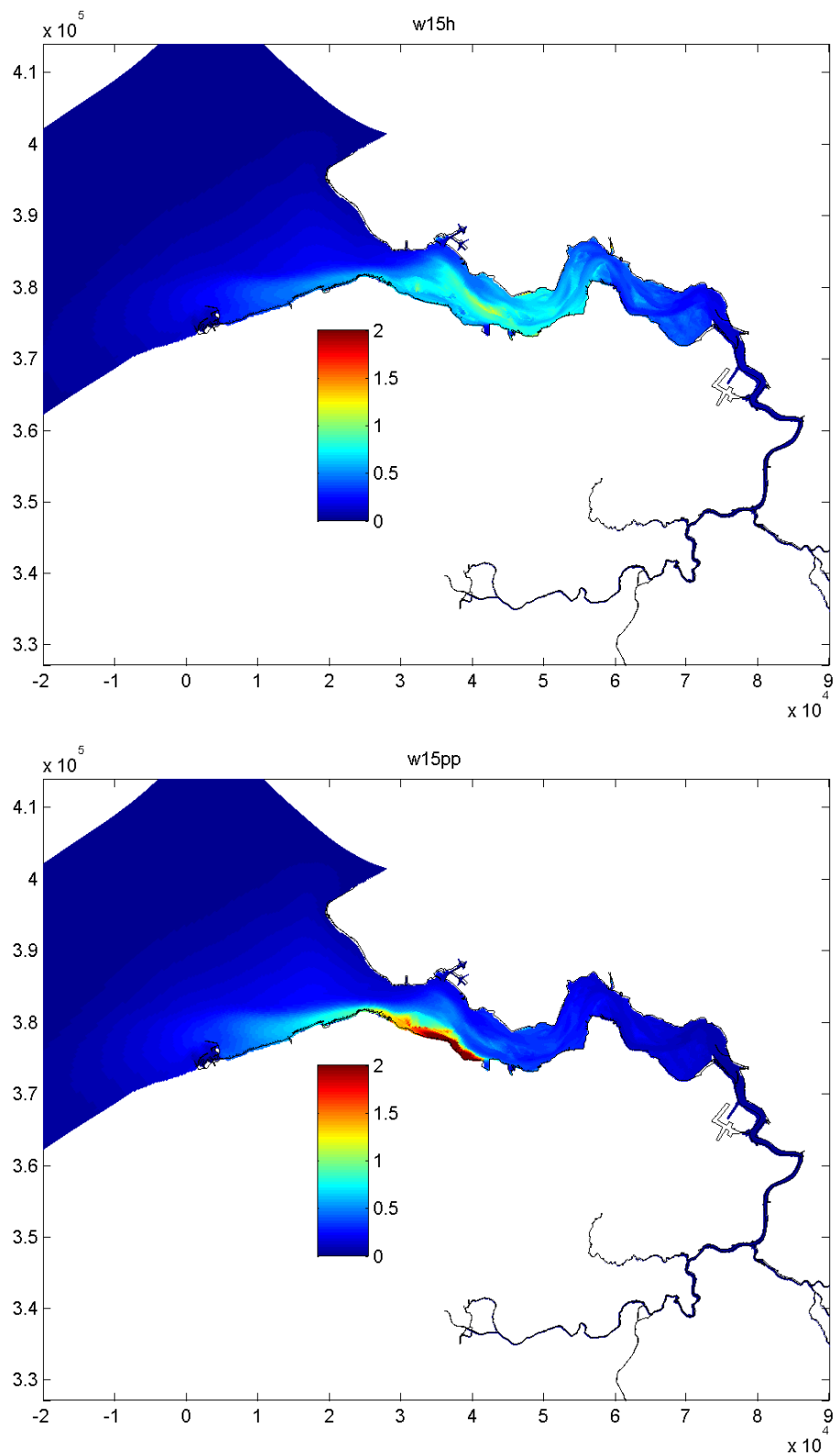


Figuur B.5 Verhoging van slibconcentratie (mg/L) t.g.v. de continue verspreiding van 100 kton/jaar slib vanaf vak W13 (boven) en W13_alt1 (onder)



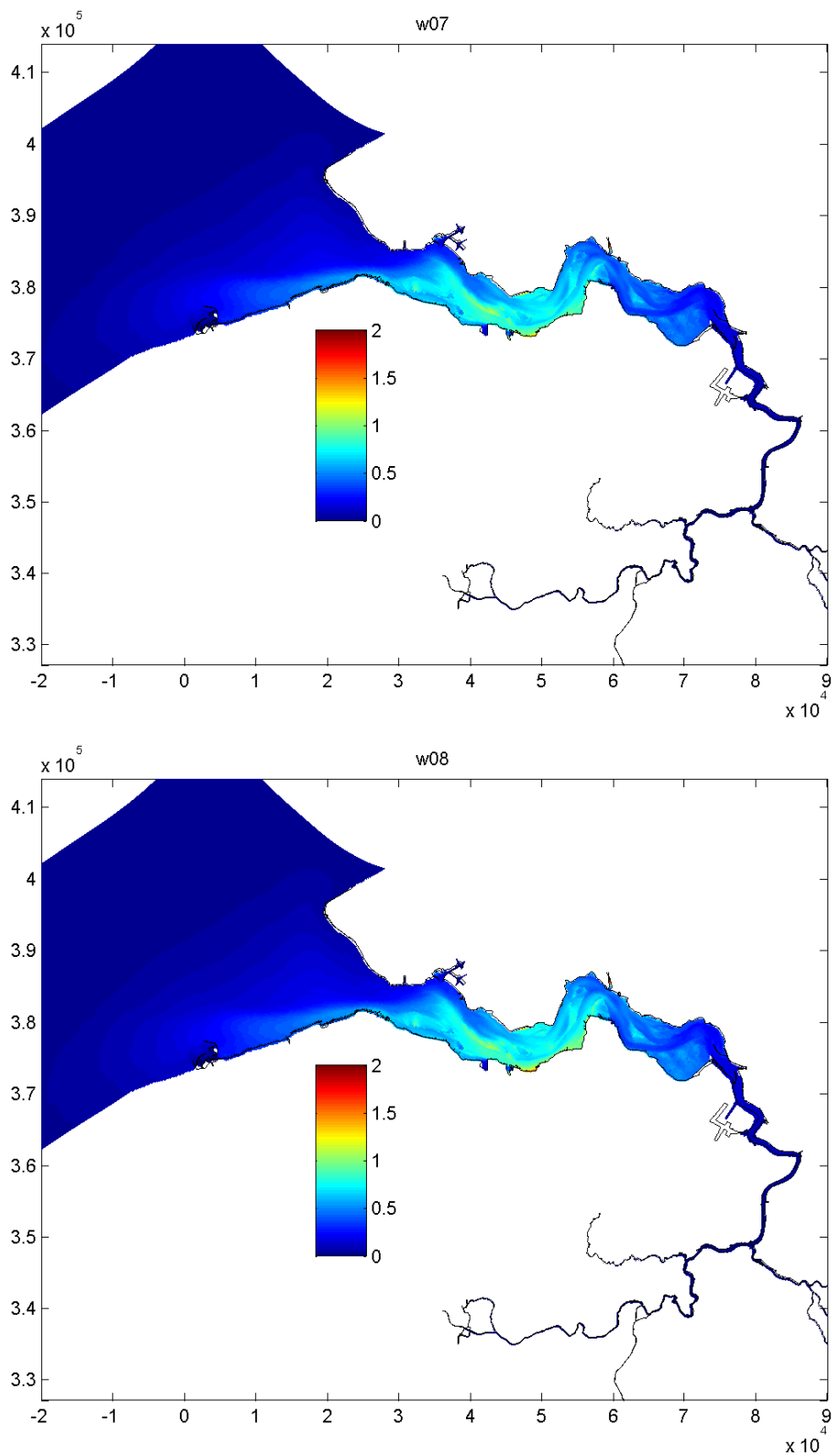
Figuur B.6 Verhoging van slibconcentratie (mg/L) t.g.v. de continue verspreiding van 100 kton/jaar slib vanaf vak W13_alt2

B.1.4 Braakman

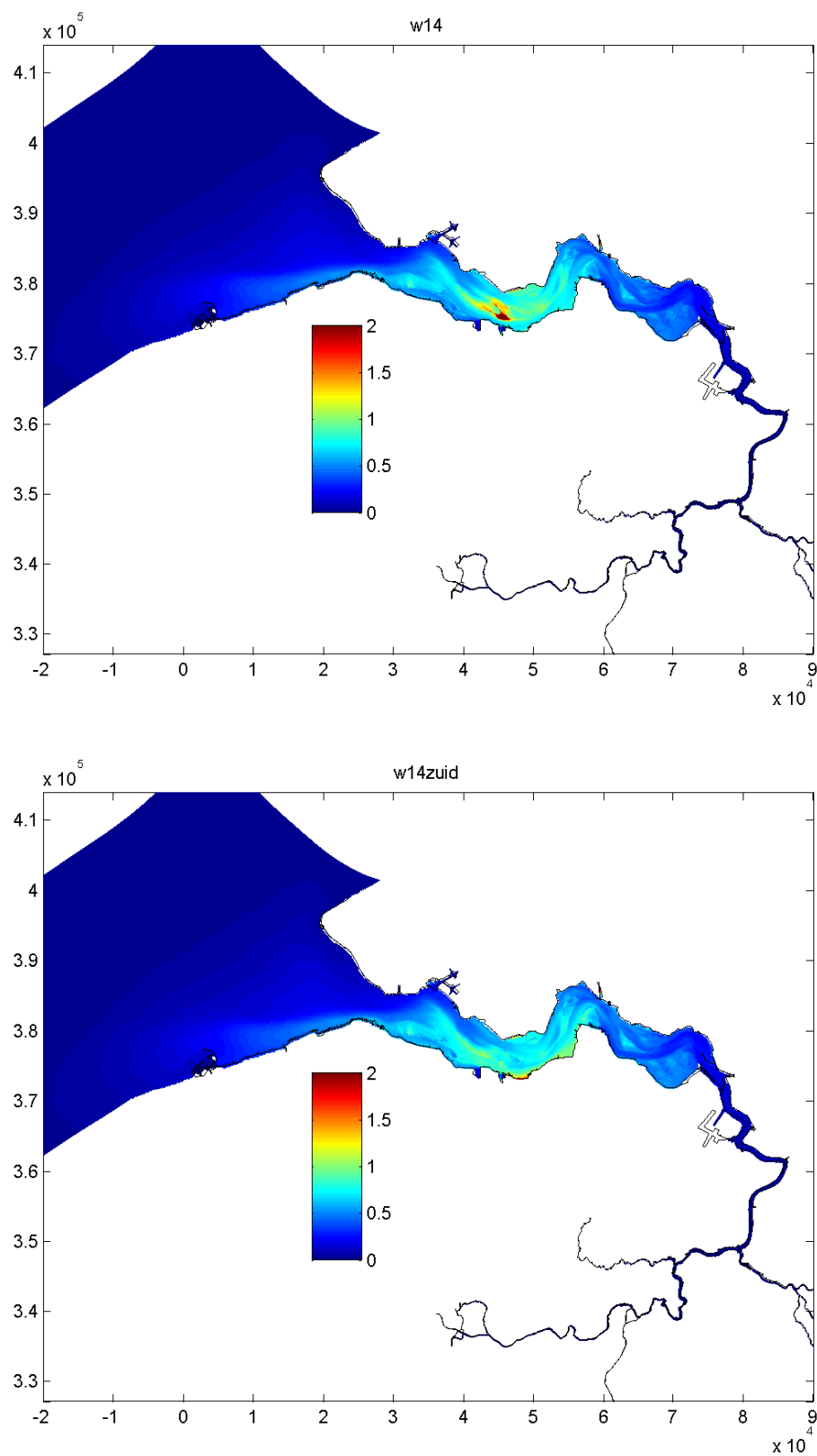


Figuur B.7 Verhoging van slibconcentratie (mg/L) t.g.v. de continue verspreiding van 100 kton/jaar slib vanaf vak W15H (boven) en W15PP (onder)

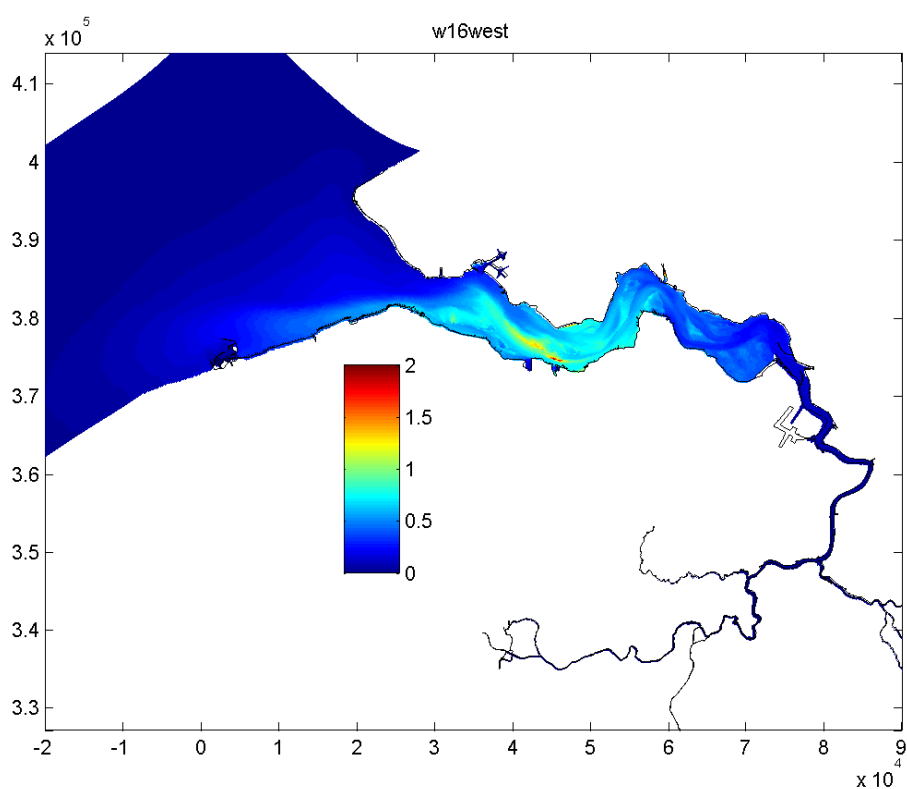
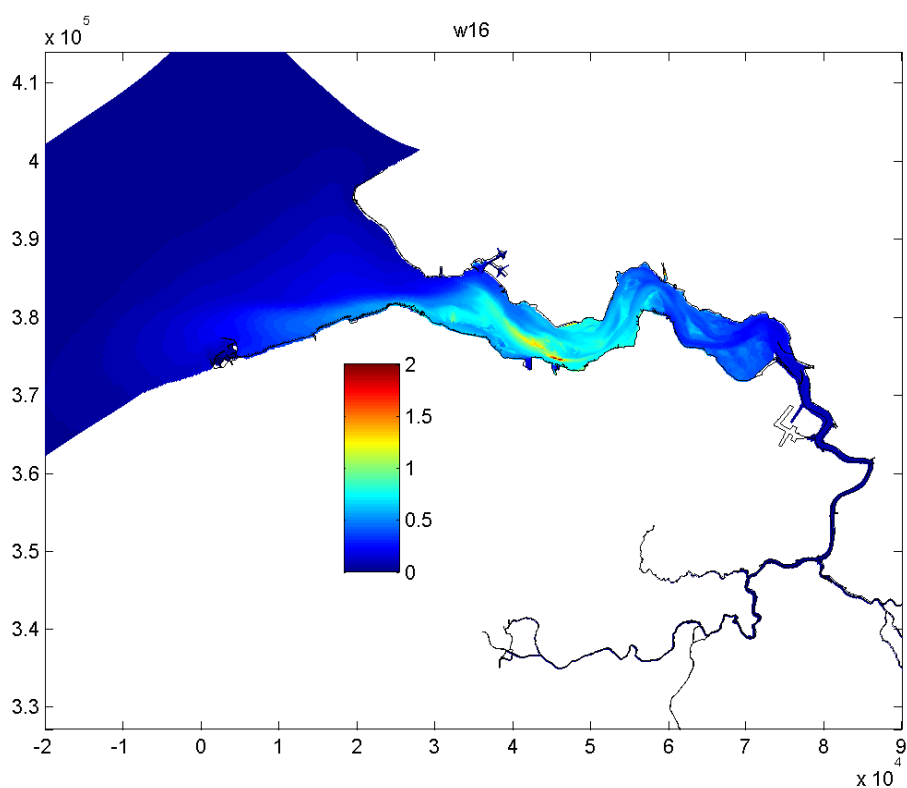
B.1.5 Terneuzen



Figuur B.8 Verhoging van slibconcentratie (mg/L) t.g.v. de continue verspreiding van 100 kton/jaar slib vanaf vak W07 (boven) en W08 (onder)

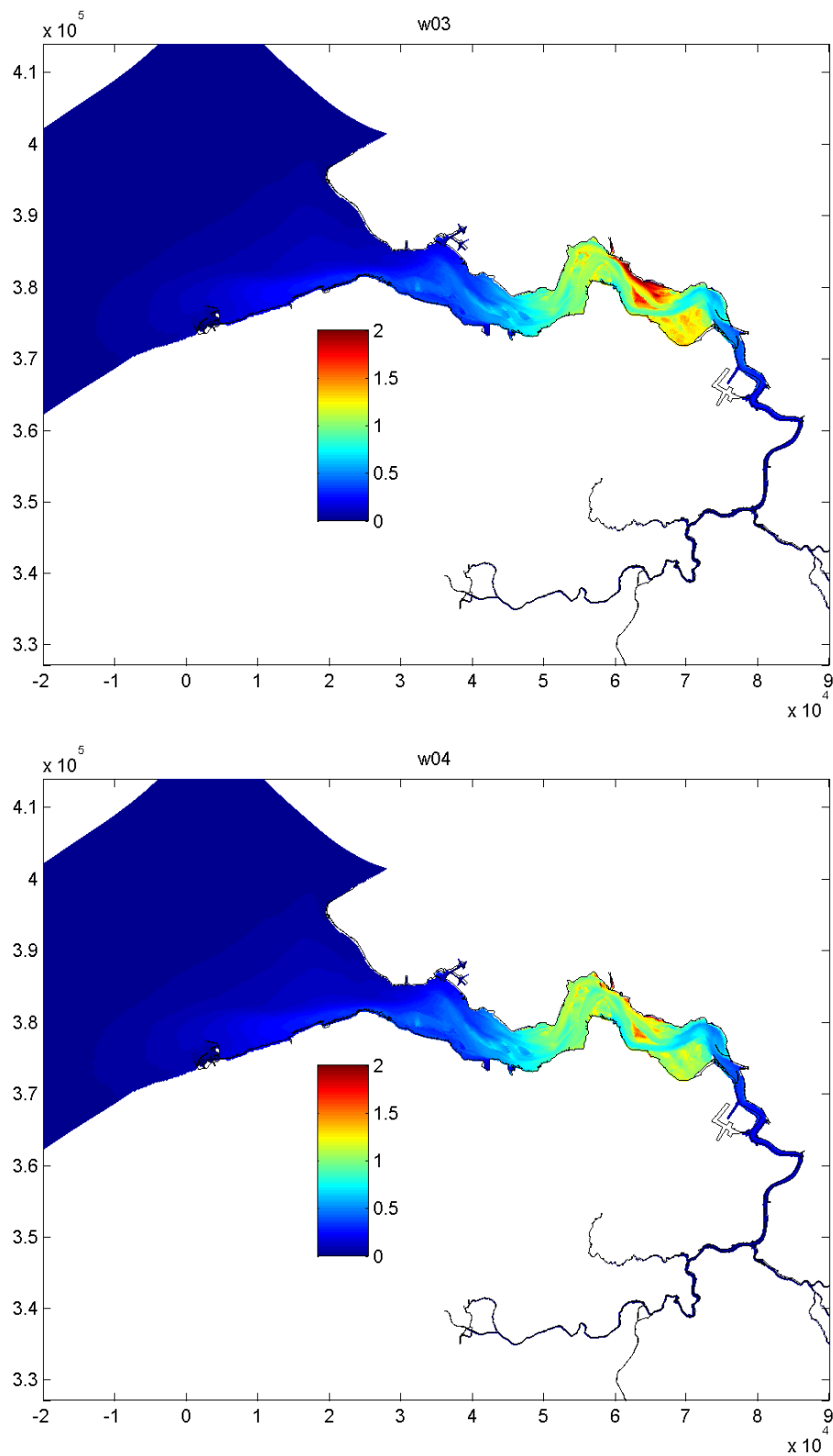


Figuur B.9 Verhoging van slibconcentratie (mg/L) t.g.v. de continue verspreiding van 100 kton/jaar slib vanaf vak W14 (boven) en W14_alt1 (onder)

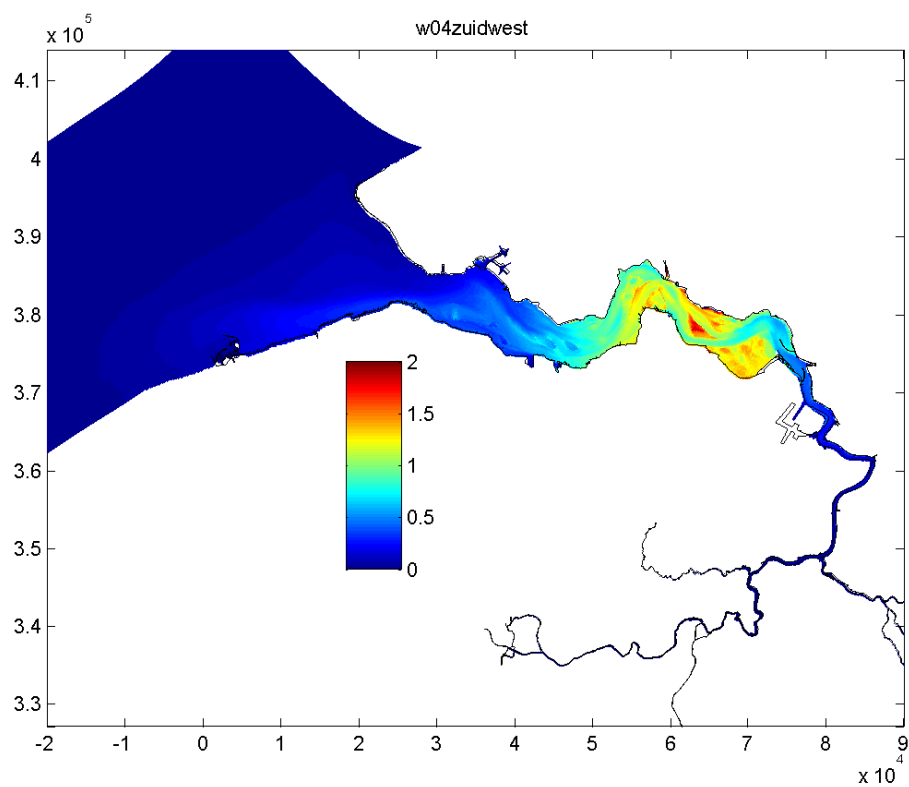


Figuur B.10 Verhoging van slibconcentratie (mg/L) t.g.v. de continue verspreiding van 100 kton/jaar slib vanaf vak W16 (boven) en W16_alt1 (onder)

B.1.6 Hansweert



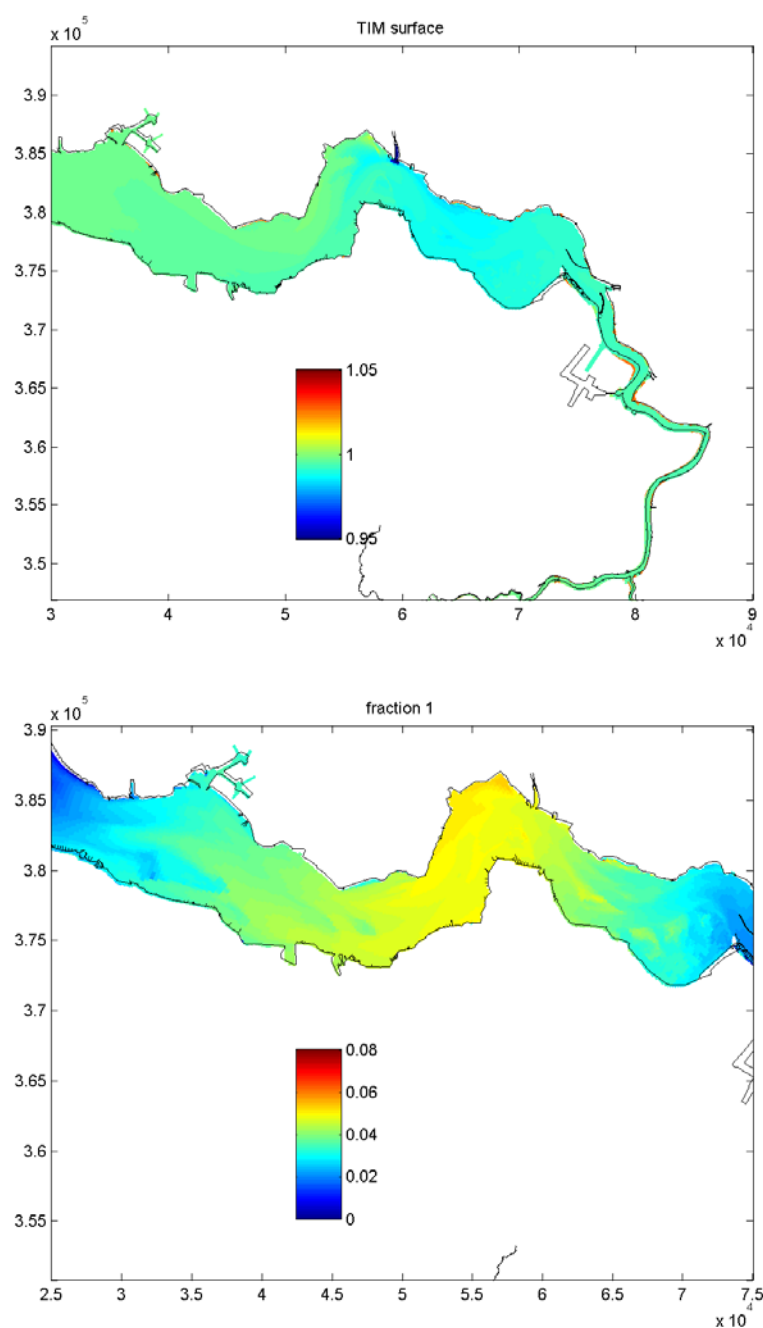
Figuur B.11 Verhoging van slibconcentratie (mg/L) t.g.v. de continue verspreiding van 100 kton/jaar slib vanaf vak W03 (boven) en W04 (onder)



Figuur B.12 Verhoging van slibconcentratie (mg/L) t.g.v. de continue verspreiding van 100 kton/jaar slib vanaf vak W04_alt1

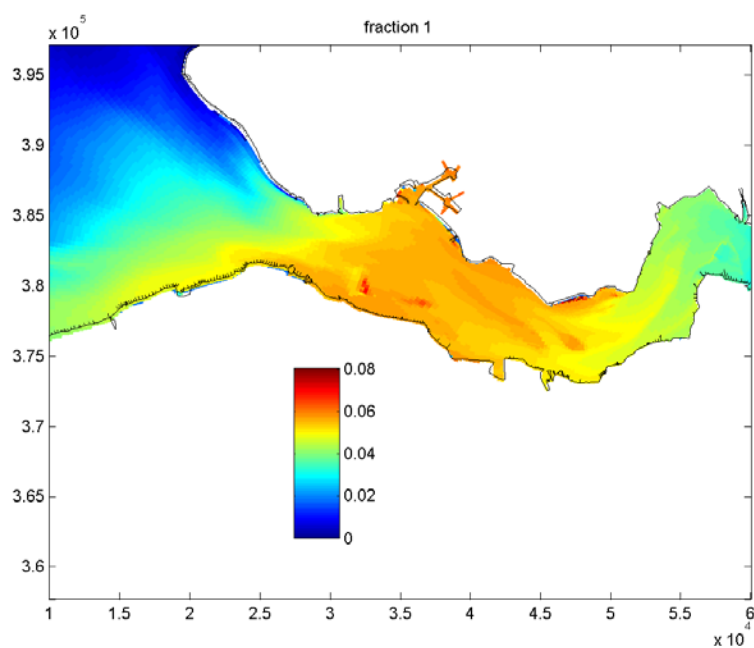
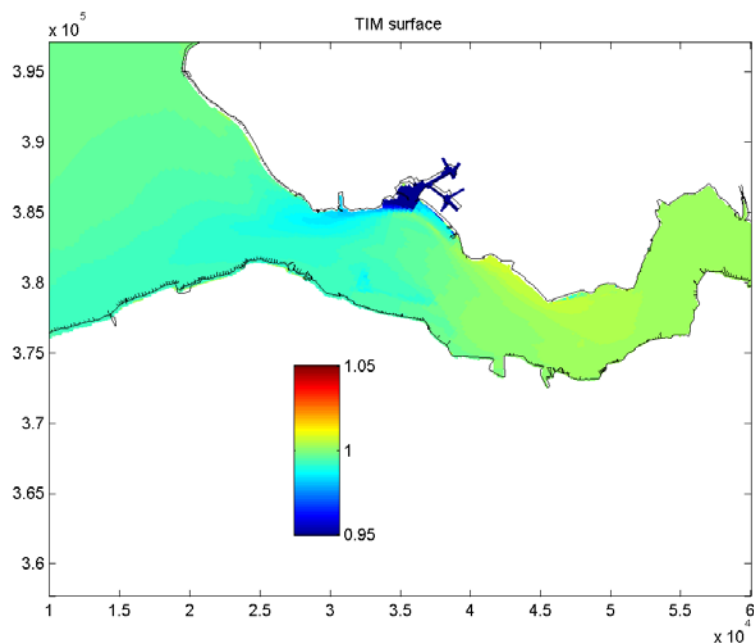
B.2 Effect havens

B.2.1 Vak W04



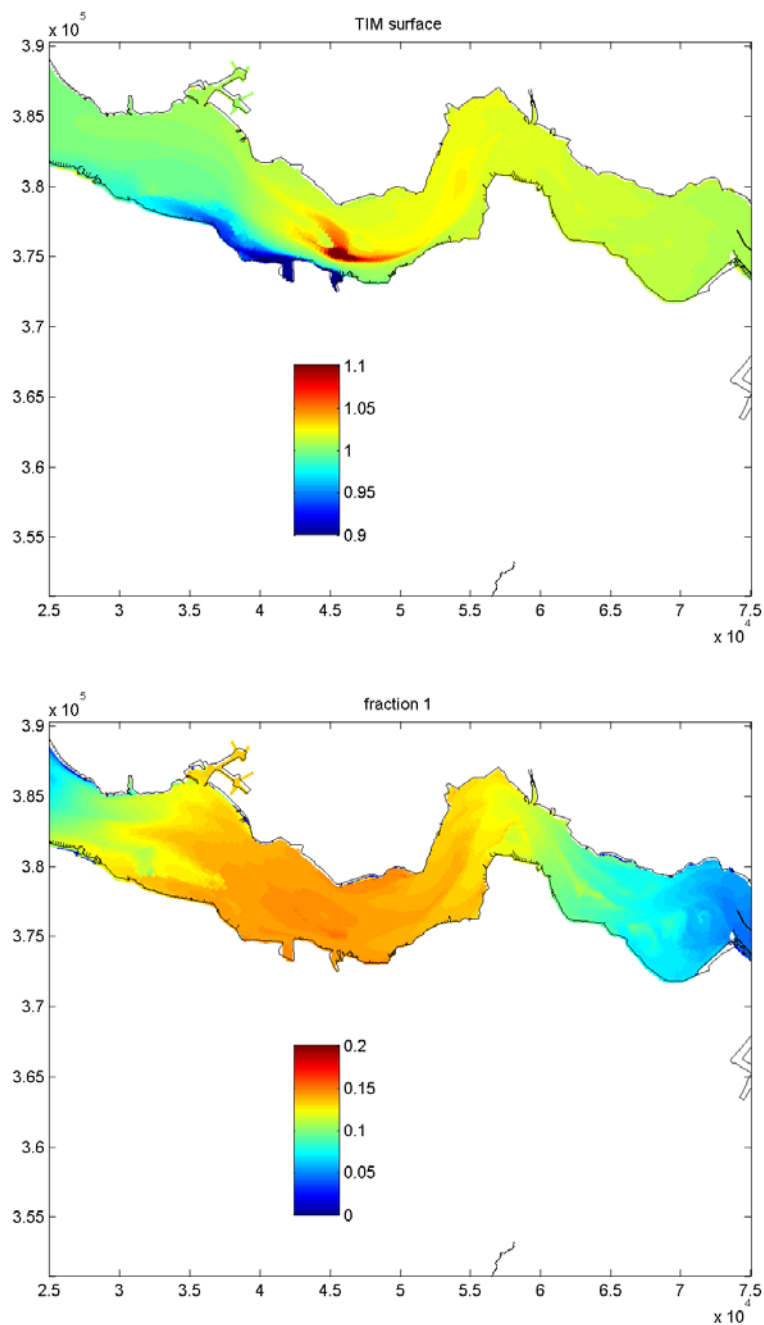
Relatief effect met/zonder haven Hansweert. Bovenzijde: slibconcentratie (-), onderzijde fractie baggerspecie uit haven t.o.v. totale slibconcentratie. Stort in vak W04.

B.2.2 Vak W13



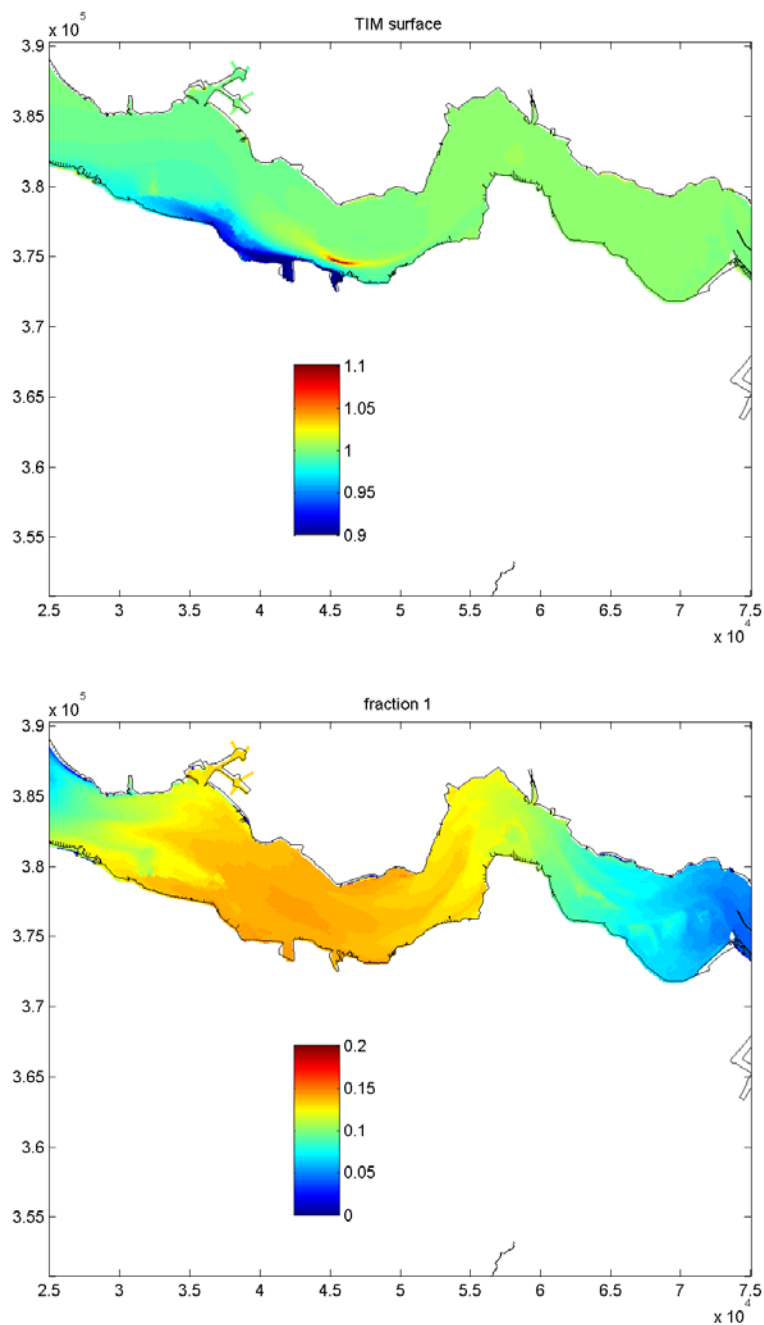
Relatief effect met/zonder Sloehaven. Bovenzijde: slibconcentratie (-), onderzijde fractie baggerspecie uit haven t.o.v. totale slibconcentratie. Start in vak W13.

B.2.3 Vak W14



Relatief effect met/zonder haven Terneuzen. Bovenzijde: slibconcentratie (-), onderzijde fractie baggerspecie uit haven t.o.v. totale slibconcentratie. Stort in vak W14.

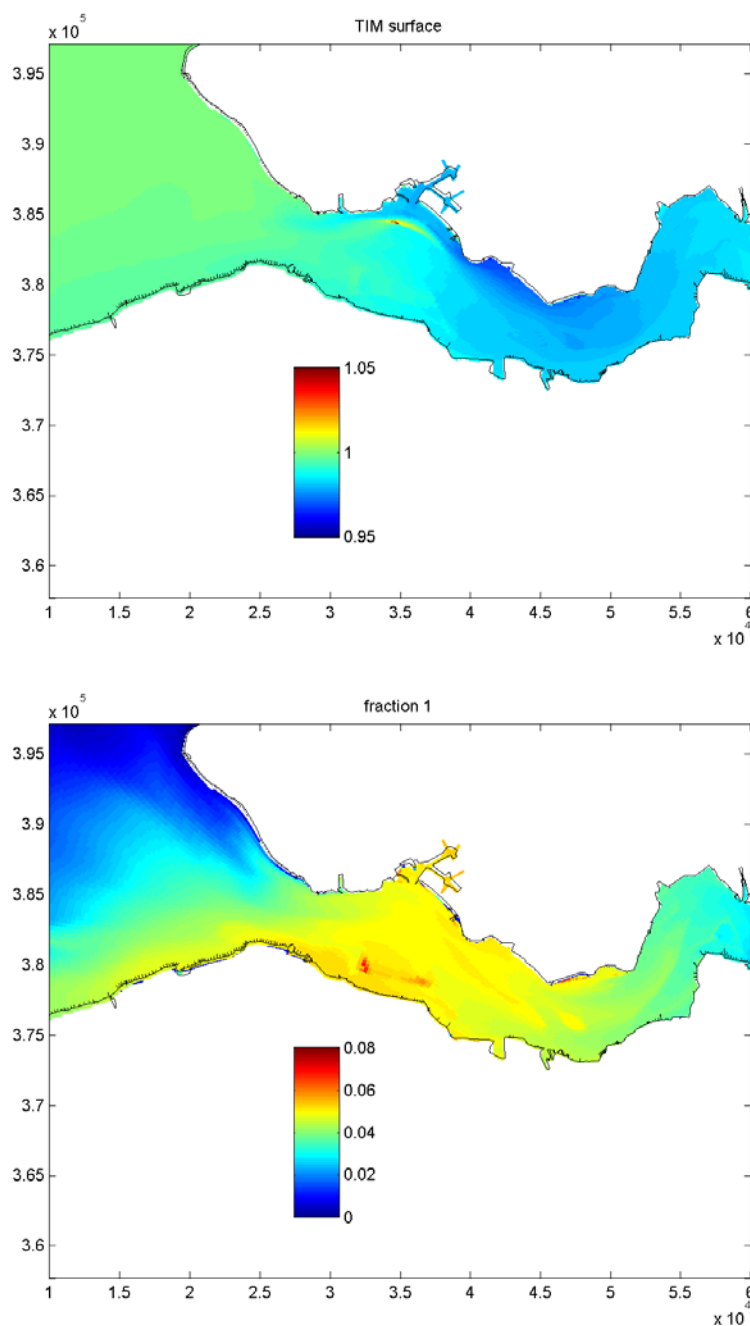
B.2.4 Vak W16



Relatief effect met/zonder haven Terneuzen. Bovenzijde: slibconcentratie (-), onderzijde fractie baggerspecie uit haven t.o.v. totale slibconcentratie. Stort in vak W16.

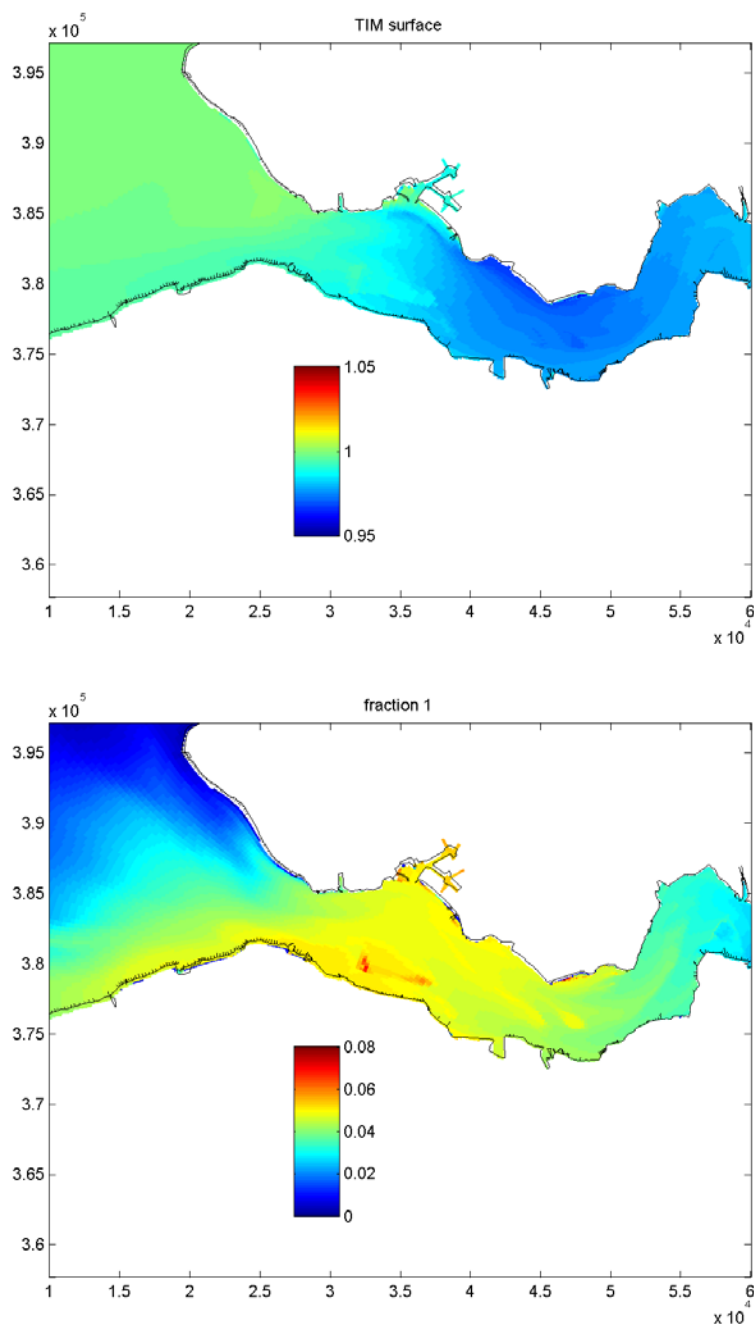
B.3 Effect verschuiving stortvakken

B.3.1 W13_alt1 t.o.v. W13



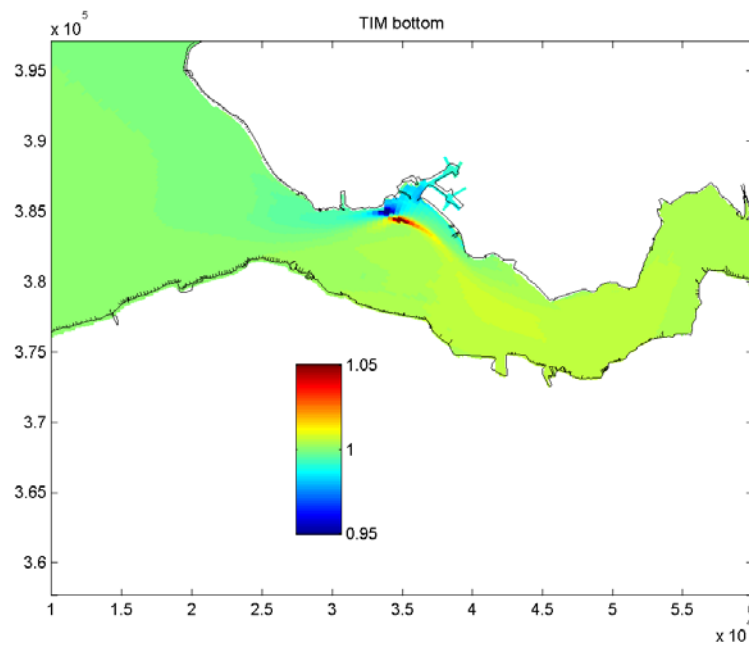
Relatief effect verschoven/huidige locatie stortvak W13_alt1/W13. Bovenzijde: slibconcentratie (-), onderzijde fractie baggerspecie uit haven t.o.v. totale slibconcentratie.

B.3.2 W13_alt2 t.o.v. W13



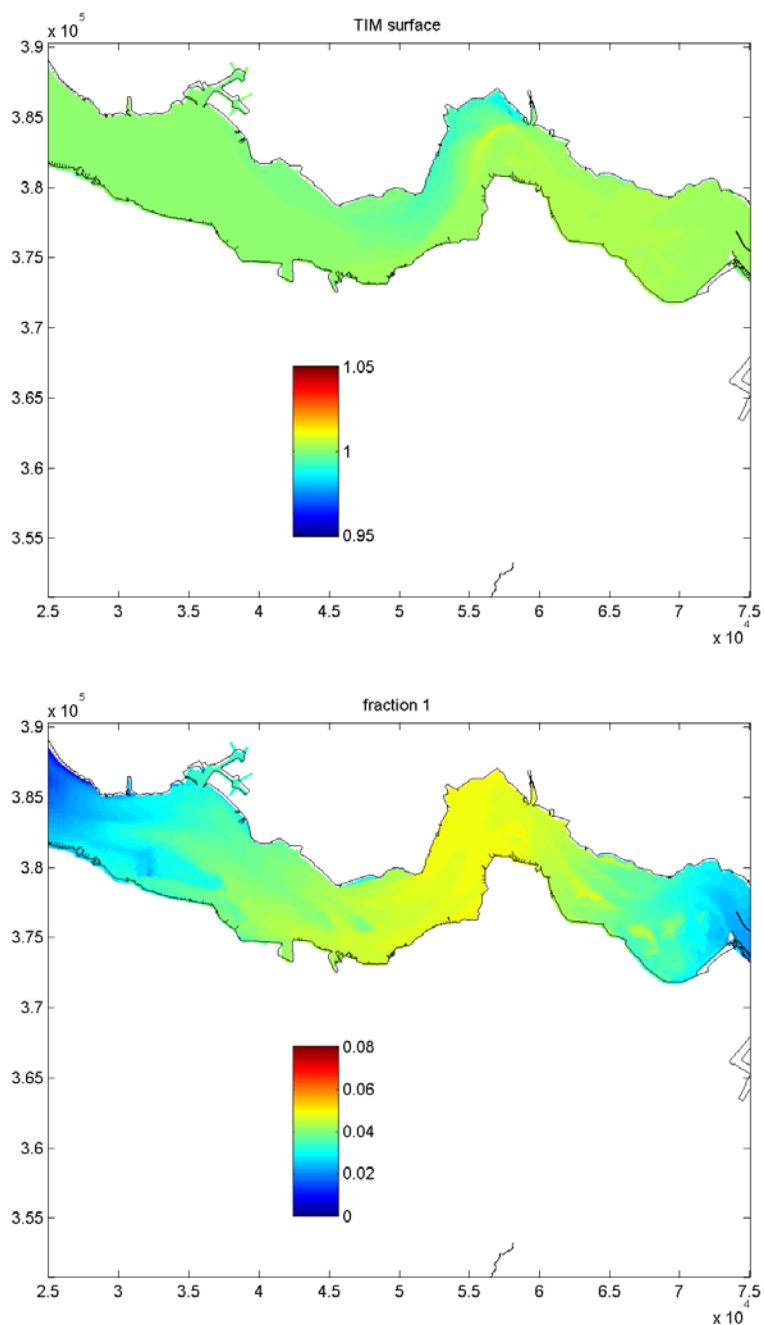
Relatief effect verschoven/huidige locatie stortvak W13_alt2/W13. Bovenzijde: slibconcentratie (-), onderzijde fractie baggerspecie uit haven t.o.v. totale slibconcentratie.

B.3.3 W13_alt1 t.o.v. W13_alt2



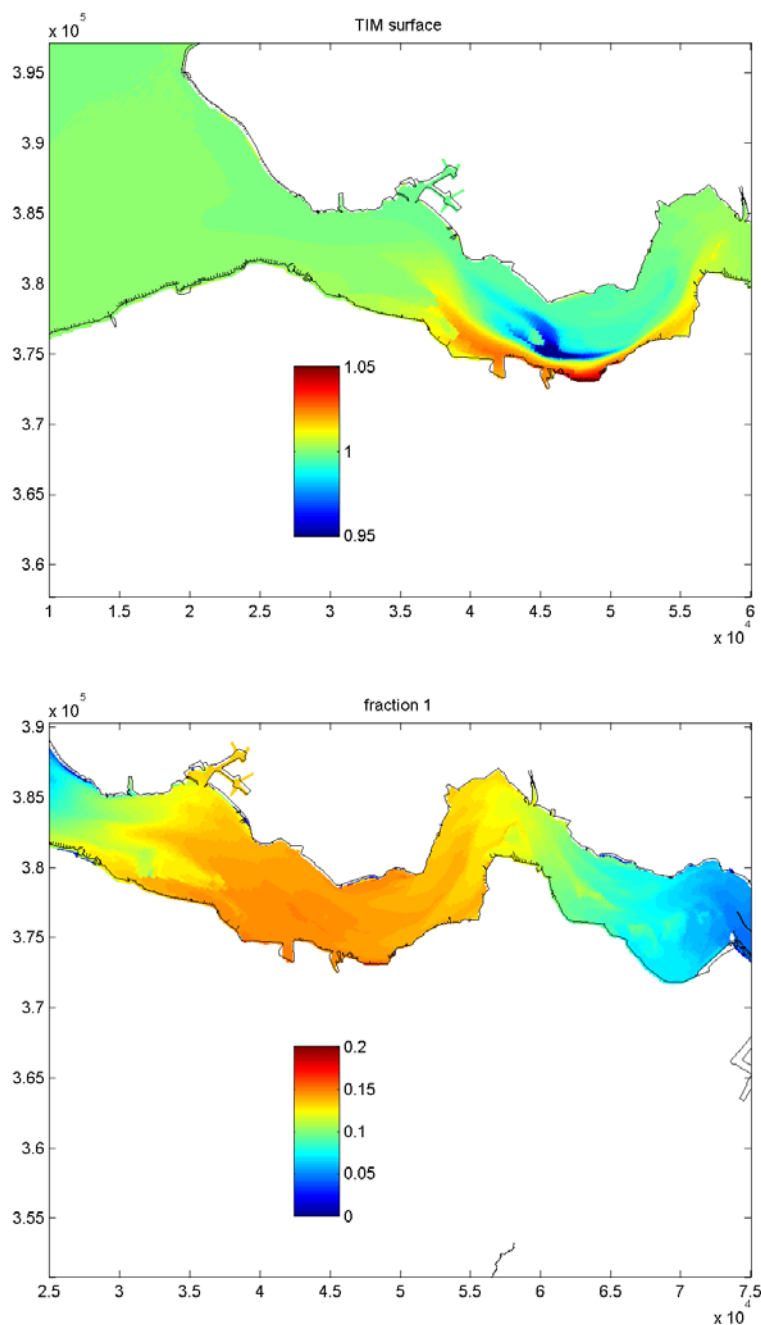
Relatief effect verschoven/huidige locatie stortvak W13_alt1/W13_alt2. Bovenzijde: slibconcentratie (-)

B.3.4 W04_alt1 t.o.v. W04



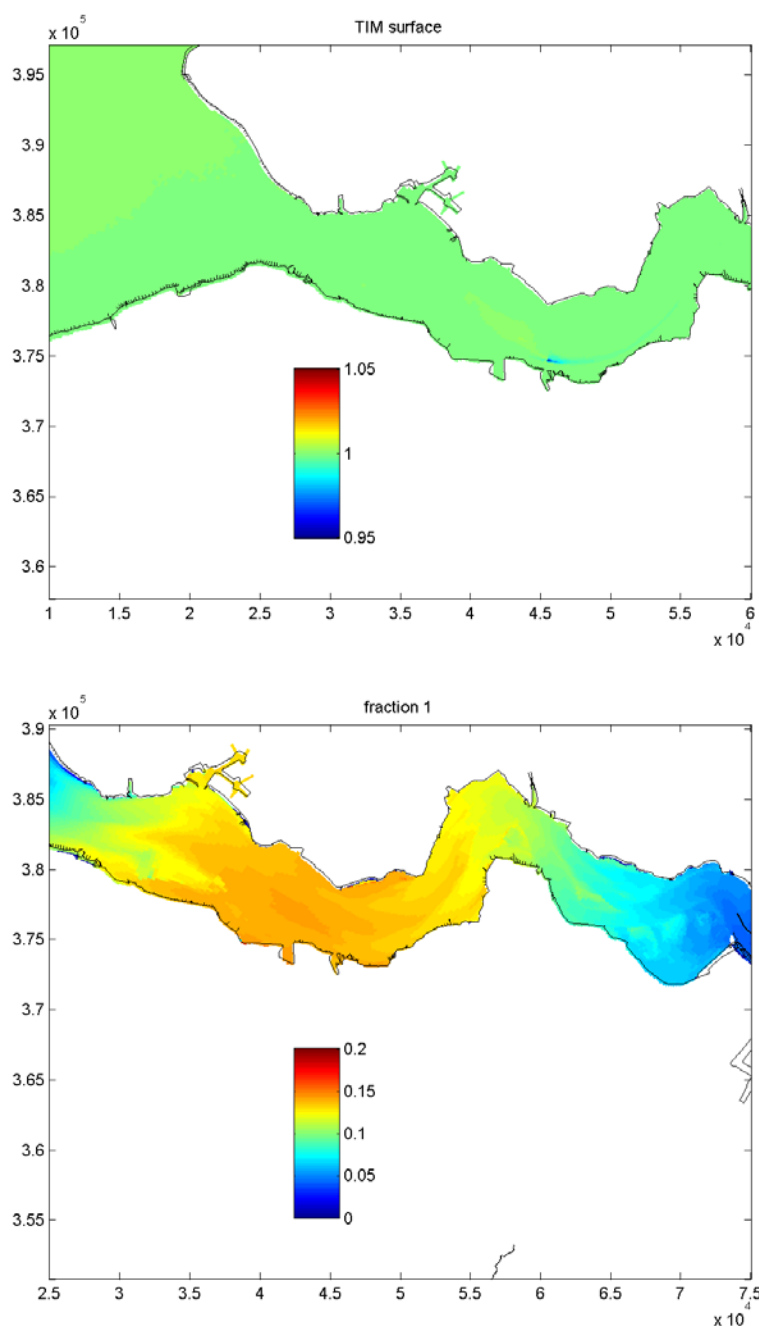
Relatief effect verschoven/huidige locatie stortvak W04_alt1/W04. Bovenzijde: slibconcentratie (-), onderzijde fractie baggerspecie uit haven t.o.v. totale slibconcentratie.

B.3.5 W14_alt1 t.o.v. W14



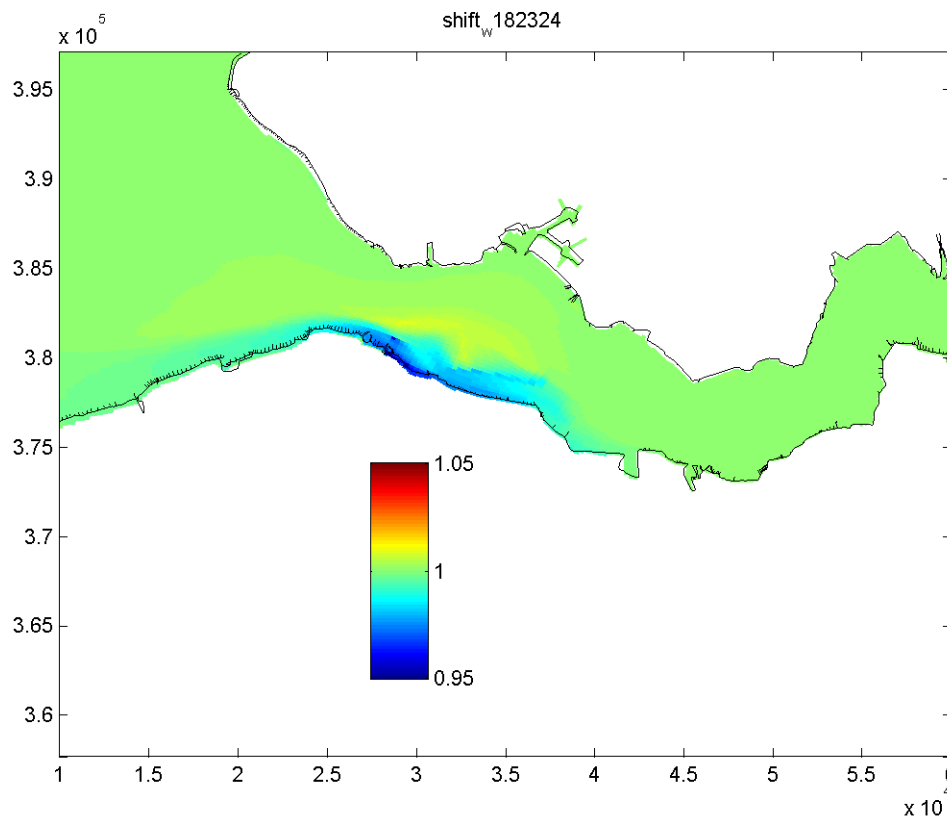
Relatief effect verschoven/huidige locatie stortvak W14_alt1/W14. Bovenzijde: slibconcentratie (-), onderzijde fractie baggerspecie uit haven t.o.v. totale slibconcentratie.

B.3.6 W16_alt1 t.o.v. W16



Relatief effect verschoven/huidige locatie stortvak W16_alt1/W16. Bovenzijde: slibconcentratie (-), onderzijde fractie baggerspecie uit haven t.o.v. totale slibconcentratie.

B.3.7 W5, W6 en W17 t.o.v. W18, W23 en W24



Relatief effect verschoven/huidige locatie stortvakken W18, W23 en W24 naar W5, W6 en W17 op de tijdgemiddelde slibconcentratie bovenin de waterkolom.