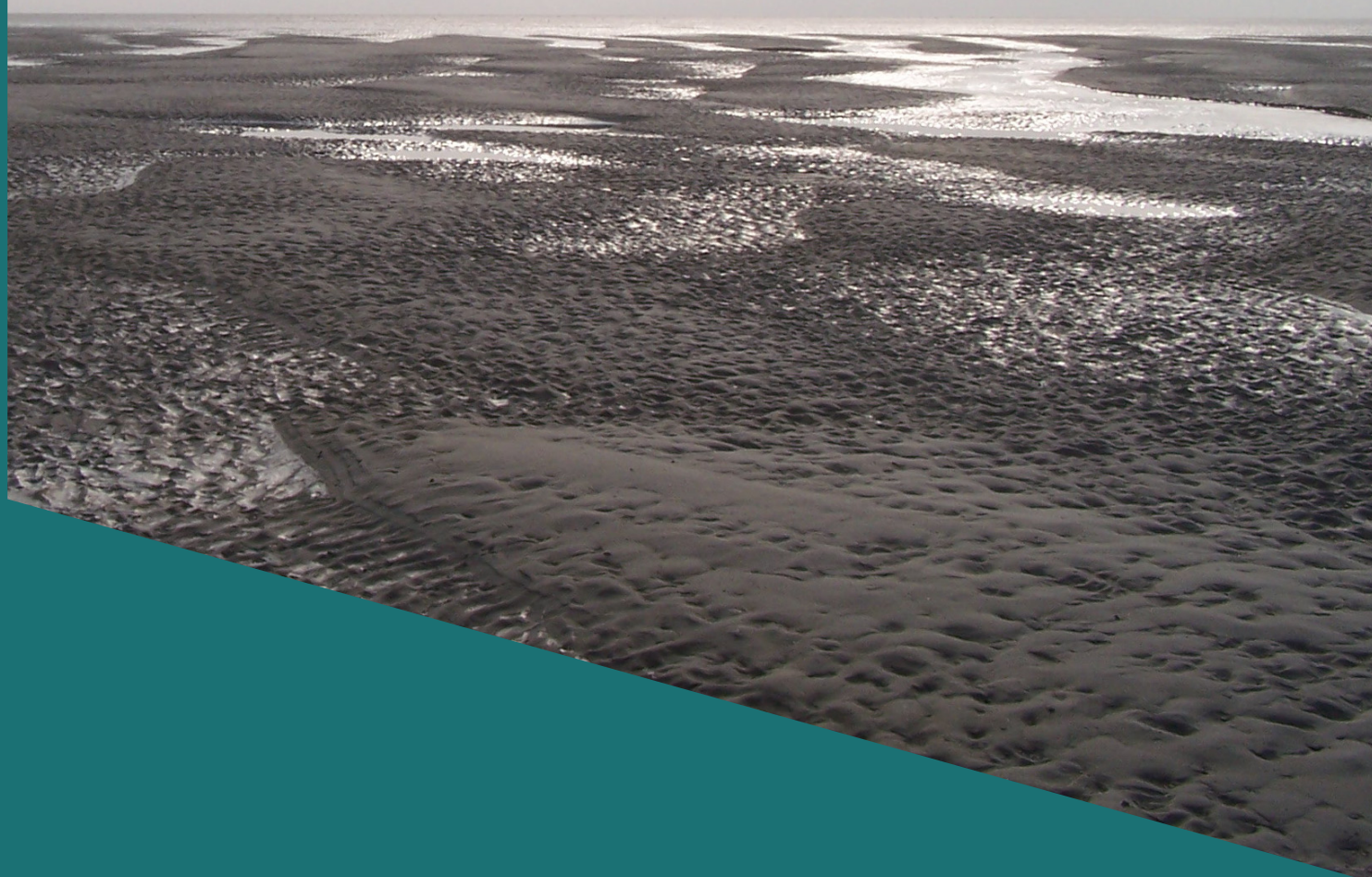




Vlaanderen
is wetenschap



14_024_5
WL rapporten

Morfologie mesoschaal – data-analyse stortingen

Deelrapport 5
Data-analyse sedimentdynamica ter hoogte van stortingen

DEPARTEMENT
MOBILITEIT &
OPENBARE
WERKEN

waterbouwkundiglaboratorium.be

Morfologie mesoschaal - data-analyse stortingen

Deelrapport 5 – Data-analyse sedimentdynamica ter hoogte van stortingen

Plancke, Y.; Wouters, K.; Meire, D.; Mostaert, F.

Juridische kennisgeving

Het Waterbouwkundig Laboratorium is van mening dat de informatie en standpunten in dit rapport onderbouwd worden door de op het moment van schrijven beschikbare gegevens en kennis.

De standpunten in deze publicatie zijn deze van het Waterbouwkundig Laboratorium en geven niet noodzakelijk de mening weer van de Vlaamse overheid of één van haar instellingen.

Het Waterbouwkundig Laboratorium noch iedere persoon of bedrijf optredend namens het Waterbouwkundig Laboratorium is aansprakelijk voor het gebruik dat gemaakt wordt van de informatie uit dit rapport of voor verlies of schade die eruit voortvloeit.

Copyright en wijze van citeren

© Vlaamse overheid, Departement Mobiliteit en Openbare Werken, Waterbouwkundig Laboratorium 2019
D/2019/3241/125

Deze publicatie dient als volgt geciteerd te worden:

Plancke, Y.; Wouters, K.; Meire, D.; Mostaert, F. (2016). Morfologie mesoschaal - data-analyse stortingen: Deelrapport 5 – Data-analyse sedimentdynamica ter hoogte van stortingen. Versie 4.0. WL Rapporten, 14_024_5. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen.

Overname uit en verwijzingen naar deze publicatie worden aangemoedigd, mits correcte bronvermelding.

Documentidentificatie

Opdrachtgever:	Waterbouwkundig Laboratorium	Ref.:	WL2019R14_024_5
Keywords (3-5):	Sediment, storing, Schelde-estuarium, GIS-analyse		
Tekst (p.):	38	Bijlagen (p.):	14
Vertrouwelijk:	☒ Nee	☒ Online beschikbaar	

Auteur(s):	Plancke, Y.; Wouters, K.
------------	--------------------------

Controle

	Naam	Handtekening
Revisor(en):	Meire, D.	Getekend door: Dieter Meire (Signature) Getekend op: 2019-10-11 14:39:24 +01:00 Reden: Ik keur dit document goed <i>Dieter Meire</i>
Projectleider:	Plancke, Y.	Getekend door: Yves Plancke (Signature) Getekend op: 2019-10-01 12:28:57 +01:00 Reden: Ik keur dit document goed <i>Yves Plancke</i>

Goedkeuring

Afdelingshoofd:	Mostaert, F.	Getekend door: Frank Mostaert (Signature) Getekend op: 2019-09-16 11:46:19 +01:00 Reden: Ik keur dit document goed <i>Frank Mostaert</i>
-----------------	--------------	--



Abstract

Vlaanderen en Nederland voeren in de periode 2014-2017 onderzoek uit binnen het kader van de Agenda voor de Toekomst. Binnen dit kader worden prioritaire kennislacunes opgepakt die moeten toelaten een verbeterd inzicht te krijgen in de belangrijkste topics rond het beheer en beleid van het Schelde-estuarium.

Voorliggend rapport past in het onderzoek naar de hydro- en sedimentdynamische en morfologische processen op mesoschaal, dat onderdeel is van thema 7 uit de Agenda voor de toekomst, i.e. “Morfologische en ecologische effecten sedimentstrategie”. De te verwerven inzichten binnen deze studie zullen toelaten een bijdrage te leveren aan de toekomstige bagger- en stortstrategie.

In dit rapport wordt een data-analyse uitgevoerd om het gedrag van stortingen in diepe delen in de Westerschelde te bestuderen. De analyse richt op twee gebieden, SH41 en SH51, waar sinds 2010 aanzienlijke sedimenthoeveelheden werden gestort. Op basis van beschikbare multibeam echo-sounding peilingen werden morfologische veranderingen in beeld gebracht en werd getracht het sedimenttransport aan de hand van 1D-sedimentbalansen te berekenen.

Slechts in een beperkt aantal deelgebieden werd een “consistent” (i.e. hoofdzakelijk erosie of sedimentatie) beeld teruggevonden inzake morfologische ontwikkeling. Over het grootste deel van de studiegebieden wisselen sedimentatie en erosie elkaar af. De sedimentbalansen gaven een zeer grote variatie in de tijd weer, van nu eb-gericht, dan weer vloed-gericht sedimenttransport. Een mogelijke oorzaak hiervan is de aanwezigheid van grote bodemvormen (duinen) en complexe stromingen (helicoïdale stroming in de bochten) waardoor het principe van een 1D-sedimentbalans moeilijk toe te passen is.

Inhoudstafel

Abstract	III
Inhoudstafel.....	V
Lijst van de tabellen.....	VII
Lijst van de figuren	VIII
1 Inleiding	1
1.1 Doelstelling	1
1.2 Plan van aanpak.....	1
2 Situering.....	2
2.1 Stortzones.....	2
2.2 Stortzones in diepe delen	3
3 Voorgaande studies.....	4
3.1 Morfologische analyse van de bagger- en stortintensiteitsdata van de Beneden Zee- en Westerschelde van 2000 tot en met 2005. (Ides et al., 2007)	4
3.2 Monitoringprogramma Flexibel Storten – Analyse van de stortingen in de diepe delen van de hoofdgeul (IMDC, 2012-2016).....	5
3.2.1 Monitoringprogramma Flexibel Storten – Analyse van de stortingen in de diepe delen van de hoofdgeul (IMDC, 2012)	5
3.2.2 Monitoringprogramma Flexibel Storten – Analyse van de stortingen in de diepe delen van de hoofdgeul – fase 2 (IMDC, 2014).....	6
3.2.3 Monitoringprogramma Flexibel Storten (periode 2) – Analyse van de stortingen in de diepe delen van de hoofdgeul – fase 3 (IMDC, 2015a)	8
3.2.4 Monitoringprogramma Flexibel Storten – Analyse van de stortingen in de diepe delen van de hoofdgeul – jaarrapport 2014 (IMDC, 2015b).....	9
4 Methodologie	11
4.1 Gebruikte data.....	11
4.1.1 Topo-bathymetrische gegevens	11
4.1.2 Bagger- en stortgegevens.....	11
4.2 Methode	11
4.2.1 Morfologische ontwikkeling en stabiliteit gestorte specie	11
4.2.2 Stortvrije periodes.....	11
4.2.3 Verschilkaarten en erosie/sedimentatiesnelheden	12
4.2.4 Consistentiekaarten.....	12
4.2.5 Sedimentbalans	12

5	Resultaten.....	14
5.1	Diepe delen SH41	14
5.1.1	Morfologische ontwikkeling en stabiliteit gestorte specie	14
5.1.2	Stortvrije periodes	14
5.1.3	Erosie – sedimentatiepatronen	16
5.1.4	Consistentiekaarten.....	17
5.1.5	Sedimentbalans	18
5.2	Diepe delen SH51	26
5.2.1	Morfologische ontwikkeling en stabiliteit gestorte specie	26
5.2.2	Stortvrije periodes	27
5.2.3	Erosie – sedimentatiepatronen	28
5.2.4	Consistentiekaarten.....	29
5.2.5	Sedimentbalans	30
6	Conclusies en aanbevelingen	36
6.1	Conclusies	36
6.2	Aanbevelingen	37
7	Referenties	38
	Bijlage A – stortzone SH41.....	B1
	Bijlage B – stortzone SH51.....	B8

Lijst van de tabellen

Tabel 1 – Overzicht van de start- en einddata van de geselecteerde stortvrije periodes voor stortzone SH41	
.....	15
Tabel 2 – Overzicht van de start- en einddata van de geselecteerde stortvrije periodes voor stortzone SH51	
.....	27

Lijst van de figuren

Figuur 1 – Ligging van de stortzones SH41 en SH51 in het Schelde-estuarium.	3
Figuur 2 – Overzicht menselijke ingrepen (links) en natuurlijke erosie-sedimentatie nabij Hansweert	4
Figuur 3 – Opdeling van studiegebied SH41 (links) en SH51 (rechts) in deelgebieden met aanduiding van hoofdgeulstortvak (rood)	7
Figuur 4 – Overzicht van gestorte hoeveelheden en gepeilde volumes in stortzone SH41 (boven) en stabiliteit gestorte specie (onder)	9
Figuur 5 – Overzicht van gestorte hoeveelheden en gepeilde volumes in stortzone SH51, vak C.02 (diepe put) (boven) en stabiliteit gestorte specie (onder)	10
Figuur 6 – Principe van sedimentbalans Sedimenttransport V_i : + eb-gedomineerd - vloed-gedomineerd Ingrepen $V_{ingreep\ i}$: + sedimentonttrekking - storting	13
Figuur 7 – Overzicht van gestorte hoeveelheden, gepeilde volumes en stabiliteit gestorte specie in stortzone SH41	14
Figuur 8 – Overzicht van volumeontwikkelingen op de lange termijn voor stortzone SH41	15
Figuur 9 – Overzicht van de uitgevoerde stortingen ter hoogte van stortzone SH41	16
Figuur 10 – Overzicht van de erosie-sedimentatiepatronen ter hoogte van stortzone SH41	17
Figuur 11 –Consistentiekaart oor erosie en sedimentatie ter hoogte van stortzone SH41	18
Figuur 12 – Ligging punten (SH41_XXX) in het stortvak SH41 waarvoor stromingsrichting is geanalyseerd .	19
Figuur 13 –Diepte-gemiddelde stromingsrichting bij eb (links) en vloed (rechts) voor 3 punten in het stortvak SH41	19
Figuur 14 –Overzicht vakken sedimentbalans ter hoogte van stortzone SH41	20
Figuur 15 – Overzicht beschikbaarheid data (%) voor verschillende vakken sedimentbalans ter hoogte van stortzone SH41	20
Figuur 16 – Storthoeveelheden voor verschillende vakken van rij 2 (links) en rij 3 (rechts) ter hoogte van stortzone SH41	21
Figuur 17 –Jaargemiddelde sedimenttransporten tussen verschillende vakken van rij 2 ter hoogte van stortzone SH41	22
Figuur 18 –Jaargemiddelde sedimenttransporten tussen verschillende vakken van rij 3 ter hoogte van stortzone SH41	22
Figuur 19 –Sedimenttransporten tussen verschillende vakken van rij 2 voor stortzone SH41	23
Figuur 20 –Sedimenttransporten tussen verschillende vakken van rij 3 voor stortzone SH41	24
Figuur 21 – Verandering in gemiddelde diepte voor enkele vakken in rij 2 van stortzone SH41	25
Figuur 22 – Overzicht van gestorte hoeveelheden, gepeilde volumes en stabiliteit gestorte specie in stortzone SH51	26
Figuur 23 – Overzicht van volumeontwikkelingen op de lange termijn voor stortzone SH51	27
Figuur 24 – Overzicht van de uitgevoerde stortingen ter hoogte van stortzone SH51	28

Figuur 25 –Overzicht van de erosie-sedimentatiepatronen ter hoogte van stortzone SH51 voor 2 verschillende periodes.....	29
Figuur 26 – Consistentiekaart ter hoogte van stortzone SH51	30
Figuur 27 – Overzicht vakken sedimentbalans ter hoogte van stortzone SH51	31
Figuur 28 – Overzicht beschikbaarheid data voor verschillende vakken sedimentbalans ter hoogte van stortzone SH51	31
Figuur 29 – Storthoeveelheden voor verschillende vakken (x-as = vaknummer) van rij 5 (links) en rij 6 (rechts) ter hoogte van stortzone SH51	32
Figuur 30 – Jaargemiddelde sedimenttransporten tussen verschillende vakken van rij 5 ter hoogte van stortzone SH51	33
Figuur 31 – Jaargemiddelde sedimenttransporten tussen verschillende vakken van rij 6 ter hoogte van stortzone SH51	33
Figuur 32 –Sedimenttransporten tussen verschillende vakken van rij 5 voor stortzone SH51	34
Figuur 33 –Sedimenttransporten tussen verschillende vakken van rij 6 voor stortzone SH51	35

1 Inleiding

In de periode 2014-2017 zal het vier jaar durend onderzoeksprogramma “Agenda voor de Toekomst” van het Schelde-estuarium uitgevoerd worden. Deze Agenda voor de Toekomst kwam tot stand in het kader van de eerste evaluatie van het Verdrag gemeenschappelijk Beleid en Beheer. De Vlaams-Nederlandse Scheldecommissie heeft met deze Agenda ingestemd op de najaarsvergadering van 2013.

Hierop volgend werd een Plan van Aanpak (Beirinckx *et al.*, 2014) opgemaakt, dat de leidraad is voor het onderzoek 2014-2017. Op basis hiervan zullen deelopdrachten gedefinieerd worden met gedetailleerdere onderzoeksvragen. Voorliggend rapport past in het onderzoek naar de hydro- en sedimentdynamische en morfologische processen op mesoschaal, dat onderdeel is van thema 7 uit de Agenda “Morfologische en ecologische effecten sedimentstrategie”.

1.1 Doelstelling

Voorliggend rapport kadert in het onderzoek dat het doel heeft de kennis inzake sedimentdynamische en morfologische processen op mesoschaal te verbeteren, en daardoor een bijdrage te leveren aan de toekomstige bagger- en stortstrategie. In dit rapport zal met behulp van data-analyse de sedimentdynamica ter hoogte van stortzones bestudeerd worden.

1.2 Plan van aanpak

Om de dynamica van gestorte sedimenten te bestuderen zal gebruik gemaakt worden van de beschikbare peilingen die door Vlaamse Hydrografie worden uitgevoerd. Hierbij wordt gefocust op de stortzones in de diepe delen van de vaargeul (SH41 en SH51).

Voor elke stortzone zal volgende aanpak gevolgd worden:

- Analyse van beschikbare peilingen in periodes zonder stortwerkzaamheden => “natuurlijke morfologische ontwikkelingen”
- Berekenen van het sedimenttransport op basis van sedimentbalansen in de stortzones
- Doorrekenen van vergelijkbare periode met numerieke detailmodel van drempelgebied
- Vergelijking van sedimentdynamica gesimuleerd in numeriek model en gemeten patronen (gebaseerd op sedimenttransporten en initiële morfologische veranderingen)

Dit rapport beschrijft de data-analyse van de peilingen en berekening van de sedimenttransporten. De modellering en vergelijking tussen gemodelleerde en gemeten patronen zal in een later rapport (Stark *et al.*, 2017) beschreven worden.

2 Situering

De Westerschelde is onderdeel van het Schelde-estuarium. In de monding, kunnen er 3 geulen onderscheiden worden, terwijl opwaarts vanaf de Belgisch-Nederlandse grens slechts 1 geul aanwezig is. De Westerschelde bestaat uit een aaneenschakeling van meanderende ebgeulen en parallel lopende rechte vloedscharen, met daartussen plaatcomplexen (van Veen, 1950). Ter hoogte van de samenvloeiing/splitsing van 2 geulen ontstaan lokale ondiepten, de drempels. Het sediment in de Westerschelde bestaat voornamelijk uit zand, terwijl meer opwaarts, in de Zeeschelde, ook fijnere fracties voorkomen.

Dit meergeulensysteem is zeer dynamisch vanuit morfologisch standpunt, waarbij geulen kunnen migreren onder invloed van de uitbochting van kromme geulen en tussenliggende platen enerzijds geërodeerd worden door de geulen en anderzijds elders opnieuw kunnen opbouwen in stroomluwe zones. Deze dynamiek is echter sterk gereduceerd door inpolderingen, dijken en oeverbekledingen die de dijken beschermen. Hierdoor is de laterale migratie van geulen sterk gereduceerd, aangezien de geulen tegen de harde grenzen van het estuarium aan liggen.

2.1 Stortzones

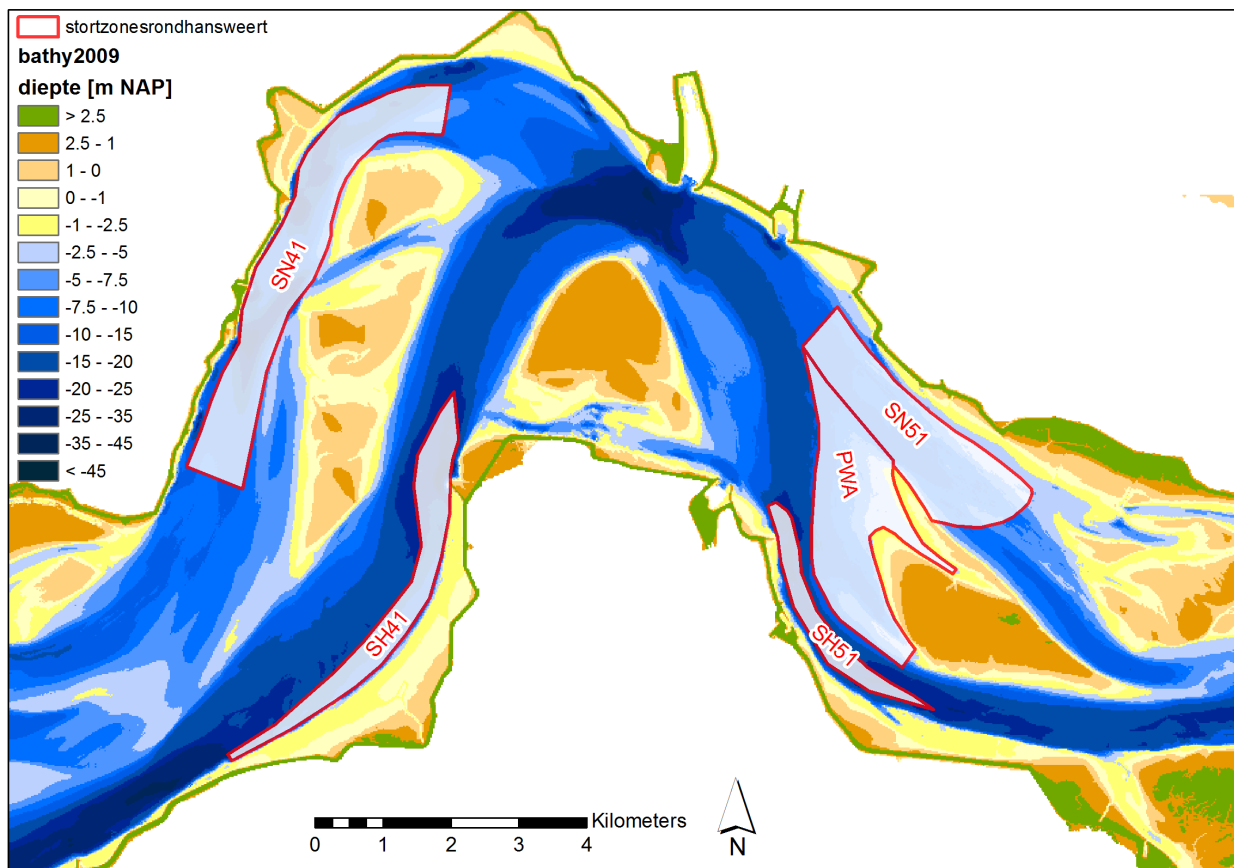
Door de geringere diepte ter hoogte van drempels in de vaargeul wordt de scheepvaart belemmerd. Om de toegankelijkheid van de Scheldehavens te garanderen, wordt sinds eind 19e eeuw onderhoudsbaggerwerk op de natuurlijke drempels in het Schelde-estuarium uitgevoerd. Wegens de beperkte uitwisseling van sediment tussen de Westerschelde en de monding (IMDC *et al.*, 2013) en het uitgangspunt om de sedimentbalans minimaal te verstoren door het sedimentbeheer, wordt het gebaggerde sediment teruggestort in het estuarium. Tot de 2^e verruiming eind jaren '90 werd het merendeel van de gebaggerde specie in nabij gelegen stortzones teruggestort, gelegen in naastliggende nevengeulen. Aangezien dat deze strategie het meergeulensysteem in gevaar kon brengen, werd door WL | Delft Hydraulics een concept ontwikkeld waarbij maximale storthoeveelheden werden bepaald voor de nevengeulen om het meergeulensysteem in stand te houden, het zogenaamde “cellenconcept” (Jeuken, 2001). Mede hierdoor werd in het kader van de studies ten behoeve van de 2^e verruiming van de vaargeul (Rijkswaterstaat Directie Zeeland, 1998) een nieuwe stortstrategie toegepast (zgn. “Oost-West” strategie) waarbij gebaggerde specie uit het oostelijk deel van het Westerschelde teruggestort werd in het westelijke deel van de Westerschelde. Ondanks deze nieuwe strategie, bleef het behoud van het meergeulensysteem een belangrijk zorgpunt.

In de LTV Schelde-estuarium (Rijkswaterstaat Directoraat-generaal & Vlaamse Gemeenschap, 2001) werd dan ook het behoud van de fysieke systeemkenmerken expliciet als doelstelling opgenomen. Parallel aan dit onderzoek, stelde een onafhankelijk expert team onder leiding van Jean Jacques Peters aangesteld door het Gemeentelijk Havenbedrijf Antwerpen – het Port of Antwerp Expert Team (PAET) – een nieuwe stortstrategie voor waarbij baggerspecie gebruik zou kunnen worden om veranderingen in de morfologie te realiseren die positieve effecten (o.a. creëren ecologisch waardevol areaal) zouden hebben (Peters *et al.*, 2001). Deze nieuwe ideeën leidden uiteindelijk tot de implementatie van een nieuwe stortstrategie in het kader van de 3^e vaargeulverruiming in 2010 (Plancke *et al.*, 2010). Naast 4 stortzones nabij plaatranden, wordt de gebaggerde specie ook teruggestort in de nevengeulen (zones “SN XX”) en in diepe delen in de hoofdgeul (zones “SH XX”). Om een beter inzicht te krijgen in de dynamiek van de gestorte sedimenten in deze stortzones, wordt in het kader van deze studie een analyse uitgevoerd van het morfodynamisch gedrag van de stortingen in de diepe delen (SH51 en SH41). De ligging van deze stortzones wordt weergegeven in Figuur 1.

2.2 Stortzones in diepe delen

In de vergunning voor het terugstorten van baggerspecie in de Westerschelde (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2010) zijn 4 stortzones vergund gelegen in de hoofdgeul van macrocellen 4 t.e.m. 7. Met name stortzone SH41 (gelegen in macrocel 4, nabij de Nol van Ossenisse) en SH51 (gelegen in macrocel 5, nabij het Oude Hoofd van Walsoorden) werden intensief gebruikt voor het terugstorten van onderhoudsbaggerspecie. Volgens de vergunning mag er resp. 15,5 Mm³ en 3,5 Mm³ specie teruggestort worden over een periode van 5 jaar (aanvang op 12 februari 2010). Binnen voorliggende studie wordt dan ook gefocust op deze 2 stortgebieden die gelegen zijn in de diepe delen in de hoofdgeul. Het bestaan van de diepe delen is te wijten aan een aantal oeverbeschermingsmaatregelen die ervoor zorgen dat de geul gestopt wordt in haar natuurlijke zijwaartse migratie en daardoor eerder verdiept.

Figuur 1 – Ligging van de stortzones SH41 en SH51 in het Schelde-estuarium.

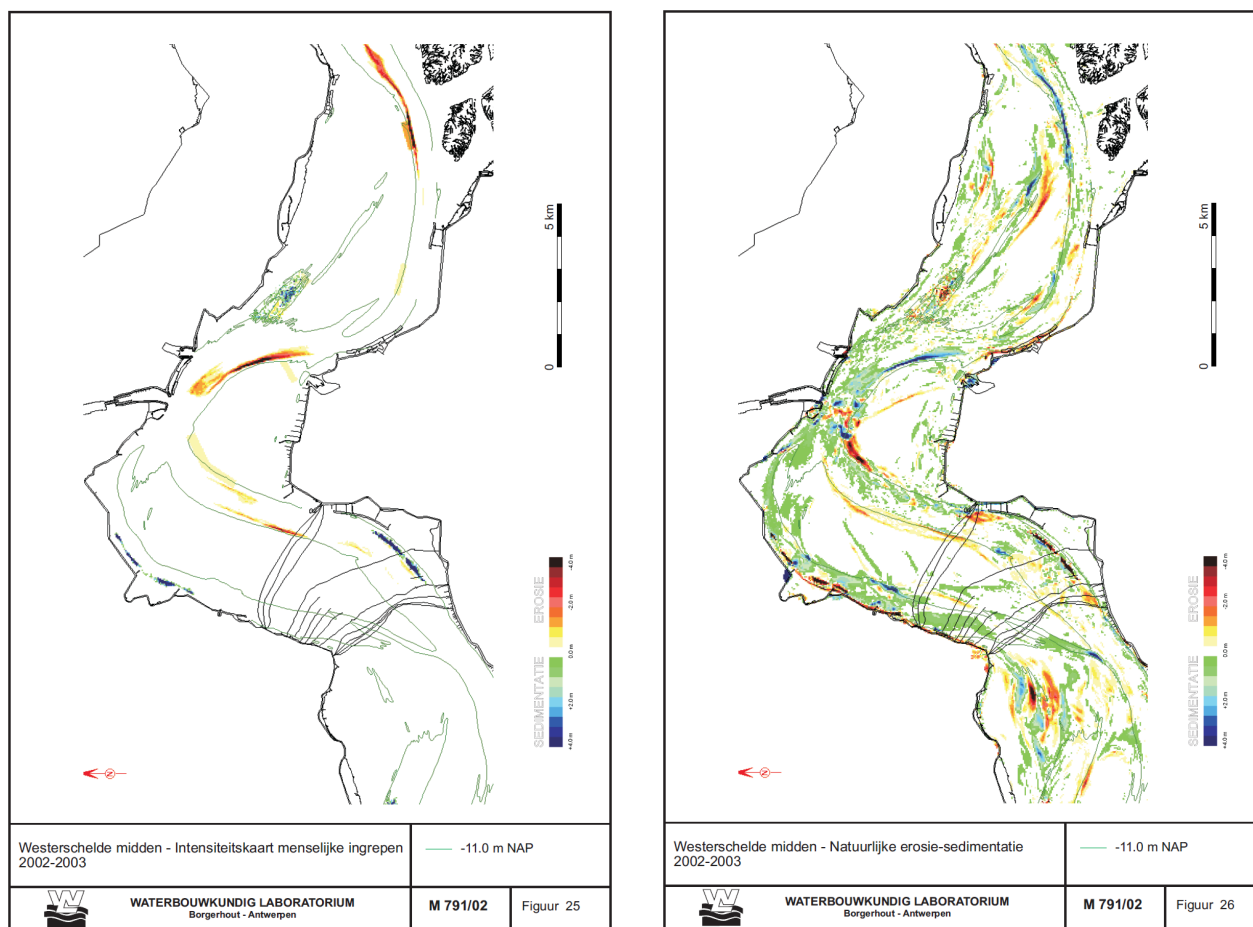


3 Voorgaande studies

3.1 Morfologische analyse van de bagger- en stortintensiteitsdata van de Beneden Zee- en Westerschelde van 2000 tot en met 2005. (Ides et al., 2007)

In de studie “Analyse bagger- en stortdata in de Westerschelde en de Beneden Zeeschelde” (Ides *et al.*, 2007) worden de erosie-sedimentatie patronen in de Beneden-Zeeschelde en Westerschelde in beeld gebracht voor de periode 2000-2005. Op basis van de ruimtelijke en temporele bagger- en stortgegevens (uit het BaggerInformatieSysteem, i.e. BIS-data) wordt een beeld gegeven van de sedimentatie ter hoogte van drempels alsook de verspreiding van gestorte sedimenten. Figuur 2 geeft een voorbeeld van deze ruimtelijke patronen ter hoogte van het Gat van Ossenisse, de huidige stortzone SH41. Hieruit is duidelijk te zien dat de stortingen in dit diepe deel van de vaargeul grotendeels geërodeerd worden.

Figuur 2 – Overzicht menselijke ingrepen (links) en natuurlijke erosie-sedimentatie nabij Hansweert
bron: Ides *et al.*, 2007



3.2 Monitoringprogramma Flexibel Storten – Analyse van de stortingen in de diepe delen van de hoofdgeul (IMDC, 2012-2016)

Sinds de start van de verruiming van de vaargeul in 2010 wordt een deel van de onderhoudsspecie in de diepe delen van de vaargeul gestort. De stabiliteit van de gestorte specie wordt door middel van multibeam echo sounding (MBES) peilingen opgevolgd. Deze worden verwerkt en gerapporteerd in jaarlijkse opvolgingsrapporten (IMDC, 2012, 2014, 2015b). Naast het maken van verschilkaarten, worden de verschillende stortzones ook onderverdeeld in deelgebieden waarvoor de sedimentatie-erosievolumes worden berekend.

3.2.1 Monitoringprogramma Flexibel Storten – Analyse van de stortingen in de diepe delen van de hoofdgeul (IMDC, 2012)

In het eerste rapport (IMDC, 2012) is een historische analyse uitgevoerd voor de verschillende stortzones. Deze analyse stelt voor de geulen waarin stortzones SH41 en SH51 zijn gelegen dat:

“Voor de hoofdgeul in macrocel 4 wordt er voor het Gat van Ossensisse ten opzichte van 1959 een afname van het sedimentvolume waargenomen van 10 Mm³. De sterkste afnames vinden plaats begin jaren 1960 en tussen 1995 en 2000. Voor de Overloop van Hansweert wordt een afname van het sedimentvolume waargenomen met meer dan 50 Mm³. De afname gebeurde in 2 stappen: enerzijds van 1959 tot 1977, anderzijds van 1992 tot 2004.”

Deze eerste periode valt ongeveer samen met functiewisseling die in deze macrocel plaatsvond: tot 197X liep de vaargeul doorheen de ebgeul Middelgat, terwijl nadien de vaargeul via de vloedgeul Gat van Ossensisse – Overloop van Hansweert liep. Daarnaast stelt het rapport dat:

“Gemiddeld genomen bestaat er een netto opwaarts sedimenttransport van macrocel 3 naar macrocel 4, alhoewel er korte periodes van lichte afwaartse transporten bestaan. Vanuit macrocel 4 is er sinds ongeveer 1980 een vrij constante en sterke opwaarts transport naar de Plaat van Ossensisse en de Put van Hansweert. Tegelijkertijd is vanuit het gebied rond de Put van Hansweert een ongeveer even sterke opwaartse verplaatsing van sediment naar macrocel 5.

Macrocel 5 kent initieel een periode van sedimentatie als gevolg van natuurlijke sedimentatie (in de vloedgeul) en stortactiviteiten. Vanaf 1970 begint de macrocel van nature te eroderen, tot rond 1990. Op dat ogenblik stopt ook het netto storten en wordt netto gebaggerd met een toenemende intensiteit vanaf 1996 die leidt tot een sterke verdieping van de hoofdgeul.”

In dit rapport worden met betrekking tot de stabiliteit van de gestorte specie volgende conclusies gerapporteerd:

- *“De stortingen in het diepste deel van stortvak SH41 (hoofdgeul ‘Gat van Ossensisse’) blijken weinig stabiel te zijn (-74% na 160 dagen), terwijl de stortingen in iets ondiepere delen stabiel zijn (-50% na 160 dagen). De erosie in het diepste deel wordt toegeschreven aan specifieke hydrodynamische condities veroorzaakt door de strekdam ‘Nol van Ossensisse’. Net buiten de stortlocatie is sedimentatie opgetreden; vermoedelijk is een deel van het gestorte sediment hier afgezet (na remobilisatie). In de bredere perimeter rond de put is echter geen sedimentatie waargenomen, in tegendeel zelfs. Op de Overloop van Hansweert (drempel stroomopwaarts van de stortzone) is gebaggerd, terwijl ook belangrijke sedimentatie opgetreden is. Het is niet uit te sluiten dat een deel van het gestorte sediment uiteindelijk hier is terecht gekomen. Er kan echter niet uitgemaakt worden of dit wijst op een effectieve versterking van de sedimentatie. Tenslotte blijkt ook dat een belangrijk deel van het gestorte volume niet binnen het peilgebied aanwezig blijft.”*
- *“In stortvak SH51 (hoofdgeul ‘Bocht van Walsoorden’) is hoofdzakelijk gestort op één locatie, waarbij in de vaargeul, maar niet in het diepste deel, een soort drempel werd aangelegd. Een eerst gestorte hoeveelheid blijkt vrij snel te eroderen, maar na een tweede stortperiode, is het totale*

volume stabiel. Baggerspecie die op verspreide plaatsen gestort is, is evenmin stabiel. De aanliggende gebieden worden intensief gebaggerd, wat de vaststelling van een mogelijke invloed op de morfologie onmogelijk maakt.”

Voor de volledige stortzone SH41 is er in het eerste jaar (januari – augustus 2011) ca. 1,3 Mm³ specie gestort, waarvan ca. 0,7 Mm³ in de peilingen terug te vinden is (stabiliteit van 53 % op 160 dagen).

Voor de volledige stortzone SH51 is er in het eerste jaar (oktober 2010 – juli 2011) ca. 0,6 Mm³ specie gestort, waarvan ca. 0,3 Mm³ in de peilingen terug te vinden is (stabiliteit van 50 % op 284 dagen).

3.2.2 Monitoringprogramma Flexibel Storten – Analyse van de stortingen in de diepe delen van de hoofdgeul – fase 2 (IMDC, 2014)

Het tweede rapport (IMDC, 2014) focust zich op de stabiliteit van de gestorte specie in de verschillende stortzones gelegen in de hoofdgeul over de periode najaar 2011 – najaar 2012. In dit rapport worden met betrekking tot de stabiliteit van de gestorte specie volgende conclusies gerapporteerd:

- “In de periode tussen 28/01/2011 en 26/10/2012 of ongeveer 21 maanden, is 6 miljoen m³ baggerspecie gestort ter hoogte van de diepe delen aan de Nol van Ossensisse. Hiervan is ongeveer 5,56 miljoen m³ terecht gekomen in stortvakken die in de peilgegevens meegenomen worden. Het stortregime was vrij continu in dit gebied: vanaf medio maart werd geregeld gestort, met twee periodes met verhoogde intensiteit: juni-juli 2011 en mei-juni 2012.*

De stortspecie kwam voor ongeveer de helft (2,86 miljoen m³) terecht in het diepste deel van de put voor de Nol van Ossensisse (deelgebied A1 - Figuur 3). Een groot deel, bijna 2,53 miljoen m³ werd gestort langs de rand van het diepste deel (deelgebied A2 - Figuur 3). Een kleiner deel (177 500 m³) kwam terecht in de perimeter rond de put en een ander deel (439 000 m³) werd gestort in zones ten oosten van de put die niet gepeild worden.

De baggerspecie in deelgebied A1 blijkt aan erosie onderhevig te zijn. De maximale totale stabiliteit van de specie bedroeg maximaal 45% en na bijna een jaar iets minder dan 25%. Aan de rand van de diepe put (deelgebied A2) is de stabiliteit initieel hoog (70-80%) maar neemt geleidelijk af tot 23%. In deelgebied A3 (Figuur 3) zijn de fluctuaties groot en steeds groter dan 100%. Dit is het gevolg van de lage absolute stortvolumes in deze deelzone en de bijkomende sedimentatie bovenop het stortvolume (met aanvoer uit A1 en A2).

Voor de gehele stortzone geldt dat de initiële stabiliteit hoog is. De stabiliteit neemt geleidelijk af (ondanks quasi continu bijstorten) tot 30%. Dit heeft tot gevolg dat van de 5,56 miljoen m³ gestorte specie (binnen de gepeilde gebieden), 3,9 miljoen m³ specie geërodeerd en uit de stortzone gemigreerd is. In de deelgebieden A1 en A2 samen is dus ca. 1,6 miljoen m³ sediment blijven liggen.

...

Over waar het overige ‘ontbrekende’ sediment naar toe is, kan nu enkel gespeculeerd worden. Ofwel is het sediment verder stroomopwaarts bewogen, voorbij de Overloop van Hansweert, ofwel is een zeer groot volume in de luwte achter de Nol van Ossensisse terecht gekomen, buiten de peilzones. Met de ebstroom kan een deel van het sediment naar het zuiden (Gat van Ossensisse) bewogen zijn, maar dit gebeurt in elk geval niet onder de vorm van duintransport.”
- “In een periode van ruim 2 jaar (tussen 22/10/2010 en 31/10/2012) werd 1,59 miljoen m³ baggerspecie gestort in het hoofdgeulstortvak SH51. Hiervan werd 568 000 m³ gestort tussen 22/10/2010 en 19/06/2011 in een relatief ondiep deel van de vaargeul vlakbij de haven van Walsoorden (deelgebied C.06 - Figuur 3). Dit gebeurde in twee campagnes, waarbij de hoogste intensiteit in de periode april - mei 2011 lag. Morfologisch gezien werd als het ware een drempel in de vaargeul aangelegd.*

Het grootste deel van het stortvolume, ruim 900 000 m³, werd gestort in het diepste deel van de vaargeul, aan de strekdam “Oude Hoofd” ten noorden van Walsoorden (deelgebied C.02 - Figuur 3). De stortingen startten in juni 2011 maar waren meest intensief in het voorjaar van 2012 en in

augustus 2012. Een beperkt volume ($114\ 000\ m^3$) werd gestort in andere deelvakken (C.05, C.08, C.09 - Figuur 3), voornamelijk in het begin van 2012.

De stabiliteit van de specie in het diepe deel van de vaargeul (deelgebied C.02) varieert initieel vrij sterk, maar komt na verloop van tijd (met toenemend stortvolume) rond 60% te liggen. In periodes tussen stortingen (bv. mei-juli 2012) blijkt de stabiliteit maar beperkt af te nemen. De stabiliteit van de sedimenten in dit diepe deel van de vaargeul is veel hoger dan de stabiliteit in de diepe put aan de Nol van Ossenis (SH41, Macrocel 4). Dit wijst vermoedelijk op een verschil in hydrodynamische context (turbulentie, stroomsnelheden).

De stabiliteit van de geconcentreerde stortingen in een ondieper deel de vaargeul (deelgebied C.06) vertoont een heel ander beeld. Na het einde van de stortingen (19/06/2011) bedraagt de stabiliteit bijna 55% en deze neemt vervolgens af tot 17.5% eind 2012. De erosiesnelheid neemt echter ook af gedurende deze tijd (wat waarschijnlijk een gevolg van de afname van de hoogte van het sedimentlichaam) met een halfwaardetijd van 269 dagen.

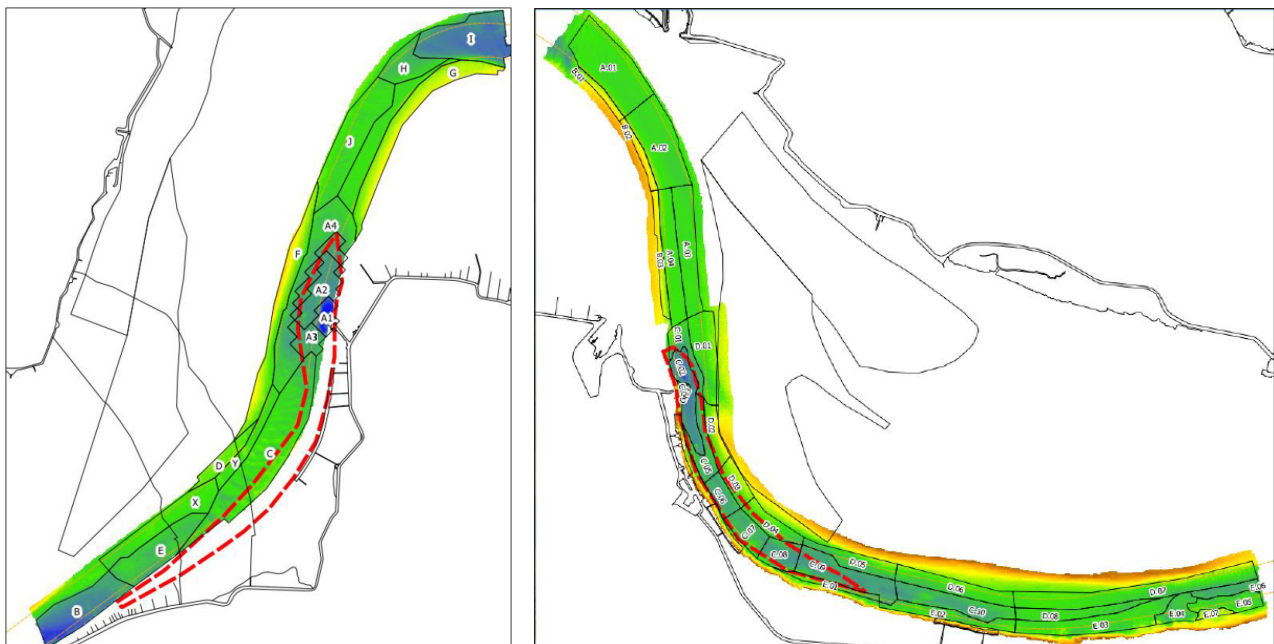
Rekening houdend met de algemene transportrichting (zandbalans) en met de migratierichting van duinen, kan gesteld worden dat de overheersende sedimenttransportrichting op de drempels opwaarts is."

- "Op de Drempel van Hansweert wordt een aanvoer van 4 miljoen m^3 waargenomen. Dit volume is vele malen groter dan de in de stortgebieden (SH41, SH51) ontbrekende volumes. De sedimentatie in op de Drempel van Hansweert wordt tot nu toe hoofdzakelijk door andere processen dan het storten in SH51 of SH41 gestuurd."

Voor de volledige stortzone SH41 is er in de eerste 2 jaar (januari 2011 – oktober 2012) ca. $5,6\ Mm^3$ specie gestort, waarvan ca. $1,6\ Mm^3$ in de peilingen terug te vinden is (stabiliteit van 29 % op 592 dagen).

Voor de volledige stortzone SH51 is er in de eerste 2 jaar (oktober 2010 – oktober 2012) ca. $1,5\ Mm^3$ specie gestort, waarvan ca. $0,6\ Mm^3$ in de peilingen terug te vinden is (stabiliteit van 40 % op 592 dagen).

Figuur 3 – Opdeling van studiegebied SH41 (links) en SH51 (rechts) in deelgebieden met aanduiding van hoofdgeulstortvak (rood)
bron: IMDC (2014)



3.2.3 Monitoringprogramma Flexibel Storten (periode 2) – Analyse van de stortingen in de diepe delen van de hoofdgeul – fase 3 (IMDC, 2015a)

Het derde rapport (IMDC, 2015a) focust zich op de stabiliteit van de gestorte specie in de verschillende stortzones gelegen in de hoofdgeul over de periode najaar 2012 – najaar 2013. In dit rapport worden met betrekking tot de stabiliteit van de gestorte specie volgende conclusies gerapporteerd:

- *“Tussen eind oktober 2012 en begin november 2013 is ruim 4,1 miljoen m³ sediment gestort in hoofdgeulstortvak SH41. Van maart tot juli 2013 werd relatief intensief gestort (ca. 2.7 miljoen m³). In de voorafgaande periode van bijna 2 jaar (januari 2011 tot oktober 2012) werd bijna 6,1 miljoen m³ gestort. De gemiddelde stortactiviteit was in 2013 dus bijna anderhalf keer de stortintensiteit ervoor.*

...

Binnen de analyseperiode werd 1,4 miljoen m³ sediment gestort ten zuiden en zuidwesten van de Nol van Ossensisse (strekdam) met als doel de retoursnelheid van sediment naar de Overloop van Hansweert (en eventueel de Drempel van Hansweert) te verlagen. In voorgaande jaren werd hier veel minder gestort. In die jaren lag het zwaartepunt van de stortingen in de diepe put aan de Nol, en het gebied ten noorden ervan (voor het slik van Knuitershoek). In de diepe put werd in 2013 iets minder intensief gestort, maar nog steeds 1,1 miljoen m³. Ten noorden van de put werd effectief minder gestort (460 000 m³) omdat een meetpaal in de nabijheid last ondervond van verzanding. Hierdoor is het afgelopen jaar effectief terug een verdieping opgetreden in dit gebied.

De stabiliteit van de gestorte sedimenten is ruimtelijk variabel, en blijkt ook gewijzigd ten opzichte van de periode 2011-2012. De stortingen ten zuiden van de strekdam zijn meest stabiel. Het gebied ten westen en noordwesten van de strekdam vertonen een zeer lage sedimentstabiliteit, er treedt een verdieping op ondanks de uitgevoerde stortingen. In 2011-2012 werd hier een vrij hoge sedimentstabiliteit waargenomen (20 %). In de diepe put voor de strekdam is de stabiliteit van de recente stortingen (8 %) sterk afgenomen ten opzichte van de eerdere stortingen (25 %). Dit is volgens de verwachtingen aangezien de diepe put in sterke mate werd eerder verondiept en vanuit hydro- en sedimentdynamisch perspectief dus sterk afwijkt van de oorspronkelijke evenwichtssituatie. Bijkomende stortactiviteiten zullen dit effect enkel versterken en de recent aangebrachte sedimenten zullen dan ook snel geërodeerd worden. De omgeving rond de nol wordt gekenmerkt door sterk turbulente stromingen: deze bevorderen het gesuspendeerd sedimenttransport vanuit de stortzone.”

- *In de bestudeerde periode (tussen 31/10/2012 en 21/11/2013) werd ca. 670 000 m³ baggerspecie gestort in hoofdgeulstortvak SH51. 85 % van de stortingen gebeurden in een aansluitende campagne in het voorjaar van 2013 (eind februari – begin juni) gestort. De overige stortingen vonden verspreid in de zomer en het najaar van 2013 plaats. Meer dan 90 % van het volume werd gestort in het diepste deel van de vaargeul, de Put van Walsoorden. De andere 10 % werd gestort in deelzone C.03.*

De stabiliteit van het gestorte materiaal ligt initieel rond de 30 %, wat er op wijst dat het belangrijkste deel van de gestorte specie reeds verloren gaat bij de storting zelf. Dit blijkt ook na analyse van de peilvolumes, die slechts licht afnemen in periodes zonder stortactiviteiten. De stabiliteit op het einde van de gerapporteerde periode haalt nog 25 %. Op langere termijn, ten opzichte van de referentiesituatie T0, blijft de stabiliteit meer dan 40 %.

Voor de volledige stortzone SH41 is er in de eerste 3 jaar (januari 2011 – november 2013) ca. 10,0 Mm³ specie gestort, waarvan ca. 1,9 Mm³ in de peilingen terug te vinden is (stabiliteit van 19 % op 969 dagen).

Voor de volledige stortzone SH51 is er in de eerste 3 jaar (oktober 2010 – november 2013) ca. 2,3 Mm³ specie gestort, waarvan ca. 0,6 Mm³ in de peilingen terug te vinden is (stabiliteit van 26 % op 1126 dagen).

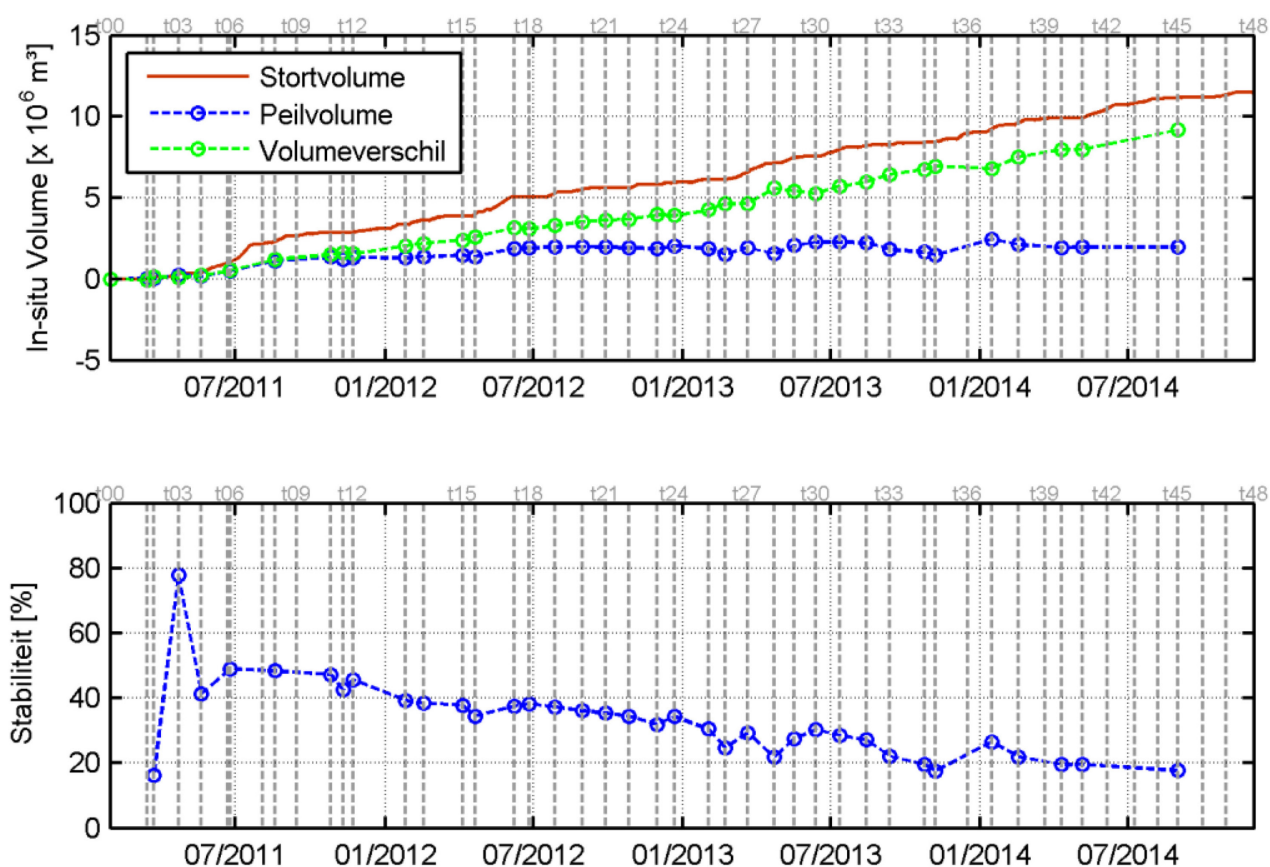
3.2.4 Monitoringprogramma Flexibel Storten – Analyse van de stortingen in de diepe delen van de hoofdgeul – jaarrapport 2014 (IMDC, 2015b)

Het vierde rapport (IMDC, 2015b) focust zich op de stabiliteit van de gestorte specie in de verschillende stortzones gelegen in de hoofdgeul over het jaar 2014. In dit rapport worden met betrekking tot de stabiliteit van de gestorte specie volgende conclusies gerapporteerd:

- “In het hoofdgeulstortvak SH41 is in 2014 (t.e.m. 03/12/2014) ca. 3 000 000 m³ sediment gestort, wat in lijn ligt met de stortintensiteit van de voorbije jaren. Het peilvolume in de zone is afgenomen met ca. 200 000 m³, en de stabiliteit van het gestorte sediment is afgenomen van 18 % naar 15 %. Van de drie deelstortvakken heeft vak S1 (ten noorden van de diepe put) de hoogste stabiliteit (22 %). De diepe put zelf (vak S2) heeft een stabiliteit van 13 %. Het gestorte sediment heeft de laagste stabiliteit in de zone ten zuiden van de put (S3): 10 %.”
- In de stortzone SH51 is in totaal ca. 678 000 m³ gestort in 2014, waarvan 81 % in vak C.02 (zone rond de strekdam). Het noordelijk deel van vak C.02 is in de eerste helft van 2014 ondieper geworden (door stortingen), daarna is het gebied terug verdiept omdat er minder werd gestort.

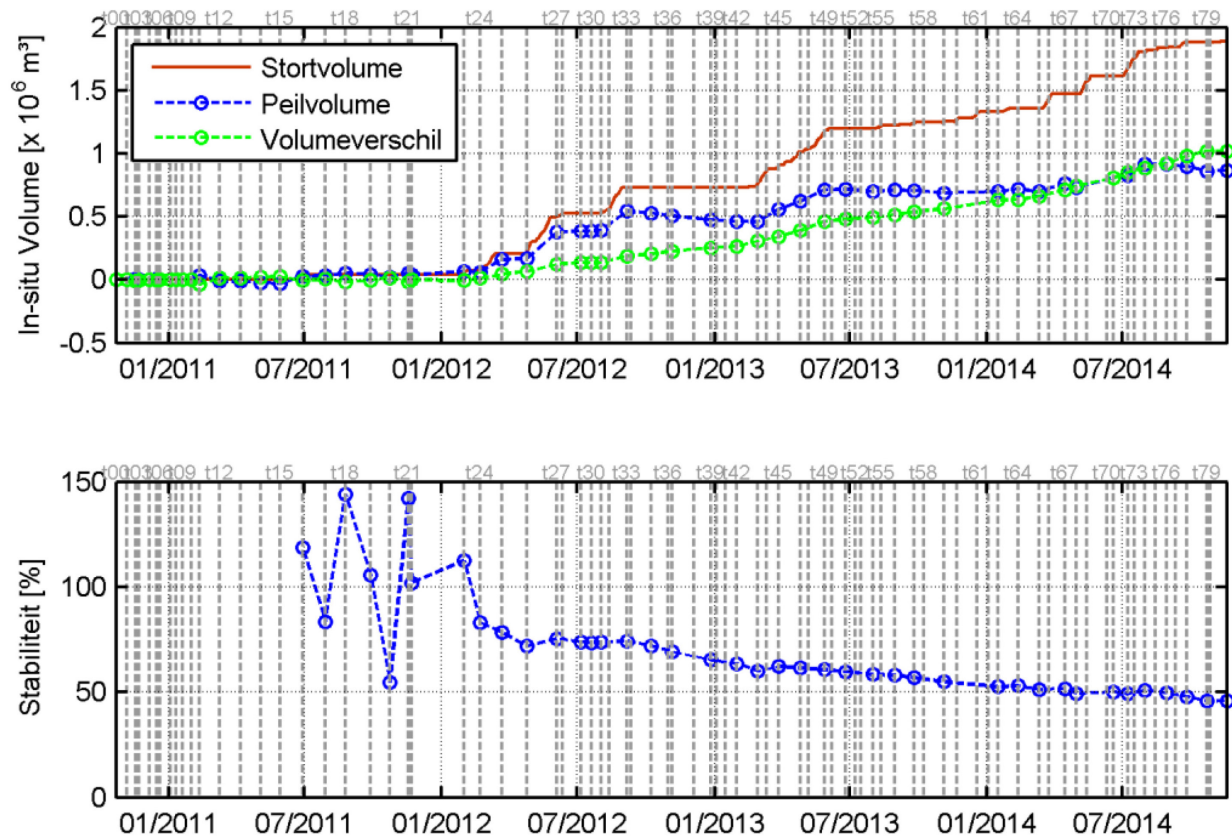
Voor de stortzone SH41 is er in de eerste 4 jaar (januari 2011 – december 2014) ca. 13,7 Mm³ specie gestort, waarvan ca. 2,0 Mm³ in de peilingen terug te vinden is (stabiliteit van 15 % op 1360 dagen). In de loop van 2014 werd tevens ca. 1,2 Mm³ gestort ter hoogte van de geulwand Gat van Ossenissee, een stortzone die nabij de stortzone SH41 is gelegen. Interferentie tussen beide zones met betrekking tot de stabiliteit van de gestorte is zeer waarschijnlijk maar kan niet gekwantificeerd worden.

Figuur 4 – Overzicht van gestorte hoeveelheden en gepeilde volumes in stortzone SH41 (boven) en stabiliteit gestorte specie (onder) [uit (IMDC, 2015)]



Voor de stortzone SH51 is er in de eerste 4 jaar (oktober 2010 – december 2014) ca. 3,0 Mm³ specie gestort. Het rapport vermeldt geen volume teruggevonden in de peilingen voor de totale stortzone, enkel voor deelgebied C.02 (diepe put). Voor dit deel wordt een stabiliteit afgeleid van ca. 48 % op 1503 dagen.

Figuur 5 – Overzicht van gestorte hoeveelheden en gepeilde volumes in stortzone SH51, vak C.02 (diepe put) (boven) en stabiliteit gestorte specie (onder) [uit (IMDC, 2015)]



4 Methodologie

4.1 Gebruikte data

4.1.1 Topo-bathymetrische gegevens

Voor het uitvoeren van dit onderzoek zal gebruik gemaakt worden van de beschikbare topo-bathymetrische gegevens. Deze dataset bestaat uit recente multibeam echo-sounding (MBES) gegevens opgemeten in het kader van de opvolging van het project “verruiming vaargeul” (resolutie van 1x1m). Deze gegevens zullen in een GIS-omgeving verder geanalyseerd worden (verschilkaarten, sedimentatiesnelheden, trendanalyse...).

4.1.2 Bagger- en stortgegevens

In het BIS van afdeling Maritieme Toegang worden de bagger- en stortdata opgeslagen. Deze informatie (geaggregeerd tot op week-niveau) zal in eerste instantie gebruikt worden voor het afbakenen van stortvrije periodes om op deze manier periodes te kunnen selecteren waarbinnen een ‘natuurlijke’ ontwikkeling van de stortzone opgevolgd kan worden. Daarnaast worden deze gegevens ook gebruikt voor het berekenen van de sedimenttransport op basis van de sedimentbalansen op vakniveau.

4.2 Methode

4.2.1 Morfologische ontwikkeling en stabiliteit gestorte specie

In § 3.2.4 wordt de stabiliteit van de gestorte specie gepresenteerd tot 2014. Ten behoeve van dit onderzoek werd de stabiliteit van de gestorte specie in de diepe delen aangevuld met de meeste recente data. In tegenstelling tot de berekeningen uitgevoerd door IMDC, werd voor onderstaande berekening gebruik gemaakt van de stortpolygoon zonder extra buffer van 100 m. Hierdoor kunnen de volumes en stabiliteit afwijken van bovenstaande getallen.

Daarnaast wordt de morfologische ontwikkelingen op de langere termijn in beeld gebracht. Hiervoor worden de ontwikkelingen in het volume binnen de stortpolygoon in beeld gebracht op basis van de vaklodingen (Single Beam peilingen, uitgevoerd door Rijkswaterstaat). Deze analyse laat toe een beeld te scheppen van de ontwikkeling in periodes dat er ook niet gestort werd binnen de polygoon.

In het vervolgonderzoek (modellering), zal de stabiliteit getoetst worden binnen de stortpolygoon, dus zullen onderstaande getallen gebruikt worden.

4.2.2 Stortvrije periodes

Om het morfologisch gedrag van gestorte specie in beeld te brengen is het belangrijk dat de invloed van menselijke activiteiten minimaal is. Hiervoor wordt in een eerste stap op basis van de BIS-gegevens voor de te bestuderen stortzones periodes geselecteerd waarin minstens 6 weken niet gestort werd.

Zulke periode geeft een onverstoord beeld van de natuurlijke morfodynamica ter hoogte van de stortzone. Vervolgens worden uit de beschikbare MBES-gegevens die opnames geselecteerd die binnen de in de eerste stap gedefinieerde ‘stortvrije periodes’ vallen. Hierbij wordt een buffer van een week in acht genomen. Hierdoor wordt een peiling, uitgevoerd in de week dat de stortactiviteiten gestart zijn of gestopt

zijn, alsnog mee in beschouwing genomen. Gelet op de beperkte beschikbaarheid van peilingen zorgt dit voor extra gegevens in de analyse. De eventuele storthoeveelheden in de periode tussen het uitvoeren van de peiling (bv. op donderdag) en het beginnen (bv. op dinsdag), resp. eindigen (bv. op zaterdag) van de stortwerken, zijn voldoende klein om als niet bepalend te mogen worden beschouwd (zie Tabel 1 en Tabel 2).

4.2.3 Verschilkaarten en erosie/sedimentatiesnelheden

De geselecteerde MBES-gegevens worden vervolgens gebruikt voor het aanmaken van verschilkaarten. Bij het aanmaken van de verschilkaarten wordt telkens een verschil gemaakt tussen de eerste en de laatste peiling van de periode. Om de verschillen vergelijkbaar te maken wordt het verschil teruggebracht naar een erosie-/sedimentatiehoeveelheid per week (tijdsduur tussen twee opeenvolgende peilingen wordt gedeeld door aantal tussenliggende dagen en vermenigvuldigd met 7).

4.2.4 Consistentiekaarten

Om een beeld te krijgen van de representativiteit van de erosie-sedimentatiepatronen afgeleid uit de verschilkaarten, worden ook consistentiekaarten opgemaakt. Dergelijke kaart geeft weer of een punt/gebied systematisch onderhevig is aan sedimentatie of erosie, of eerder gekenmerkt wordt door een afwisseling van erosie en sedimentatie. Een consistentiekaart wordt opgemaakt door de verschillende verschilkaarten onderling te vergelijken: per verschilkaart wordt een afgeleide kaart gemaakt waarbij de punten met erosie de waarde +1 toegekend wordt, die met sedimentatie -1. Door de som te maken van de verschillende afgeleide kaart ontstaat een consistentiekaart waarbij een punt dat “consistent” erodeert, resp. sedimenteert, een waarde +1 x aantal kaarten, dan wel -1 x aantal kaarten krijgt. Door de waarde te delen door het totaal aantal kaarten krijgt men een relatief beeld:

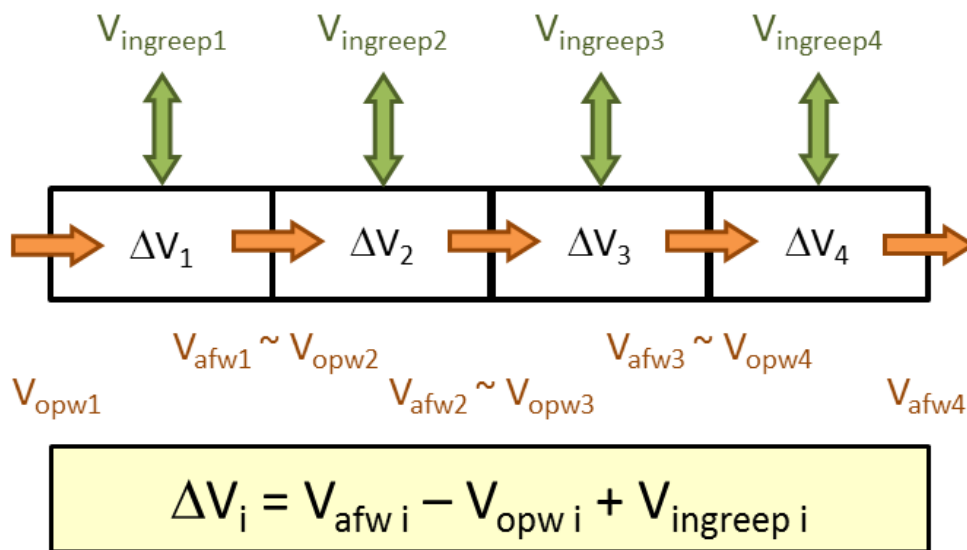
- +1: steeds erosie
-]+1, 0[: meer erosie dan sedimentatie
- 0: evenveel erosie dan sedimentatie
-]0, -1[: meer sedimentatie dan erosie
- -1: steeds sedimentatie

4.2.5 Sedimentbalans

Bovenstaande analyses geven een beeld van de morfologische veranderingen die optreden in een bepaald gebied over een bepaalde periode. Deze veranderingen treden op doordat sediment getransporteerd wordt. De sedimenttransporten zelf zijn echter moeilijk te meten, daarom wordt gekozen voor een benadering waarbij op basis van de beschikbare peilingen sedimenttransporten worden afgeleid.

Vooreerst wordt een rooster van vakken (ca. 250 x 150 m per vak, met enige variatie omwille van de gekromde vorm) gedefinieerd ter hoogte van de stortzone. Voor elk vak wordt vervolgens voor elke beschikbare peiling het watervolume onder het referentievlak berekend. Tussen 2 opeenvolgende tijdstappen zal er een bepaalde verandering in volume (ΔV_i) optreden die te wijten is aan een netto-transport (afwaarts $V_{afw\ i}$ en opwaarts $V_{op\ i}$) en menselijke ingrepen (stortingen, sediment-onttrekkingen $V_{ingreep\ i}$) (zie Figuur 6).

Figuur 6 – Principe van sedimentbalans
 Sedimenttransport V_i : + eb-gedomineerd | - vloed-gedomineerd
 Ingrepen $V_{ingreep\ i}$: + sedimentonttrekking | - storting



Uitgangspunt bij de sedimentbalans is dat de transporten uni-directioneel plaatsvinden, waarbij de vakken gedefinieerd zijn in de richting van de stroming en het sedimenttransport (zie § 4.2.5 en § 5.2.5). Aangezien de oriëntatie van de (nieuwe) sedimentbalansvakken verschilt van de onderverdeling van de stortvakken, moesten de stortgegevens herberekend worden voor de nieuwe vakindeling. Hiervoor werd per stortvak (150 x 100 m) afgeleid hoeveel overlap er bestond met de nieuwe vakken (250 x 200 m), en werden de storthoeveelheden a rato van deze overlap herverdeeld. Ter illustratie: stortvak 125 overlap met volgende stortvakken: 13 (11%), 14 (19%), 15 (1%), 18 (61%), 19 (92%), 22 (32%) en 23 (32%). Merk op dat door het verschil in grootte van de vakken (3,75 ha tegenover 1,5 ha) de nieuwe vakken kunnen overlappen met verschillende stortvakken.

Om een sedimentbalans op te maken, dient aan de opwaartse zijde van elke rij een randvoorwaarde opgelegd te worden. Aangezien voor de stortzones nauwelijks metingen van sedimenttransport beschikbaar zijn, wordt dan ook gekozen de randvoorwaarde gelijk aan 0 m³/dag te stellen. Dit impliceert dat de afgeleide sedimenttransport niet absoluut mogen geïnterpreteerd worden aangezien een andere randvoorwaarde kan aanleiding geven een verschuiving van de transporten. Relatief kunnen de wijzigingen in de tijd van de transporten wel gebruikt worden, op voorwaarde dat de randvoorwaarde over de beschouwde periode niet wijzigt.

5 Resultaten

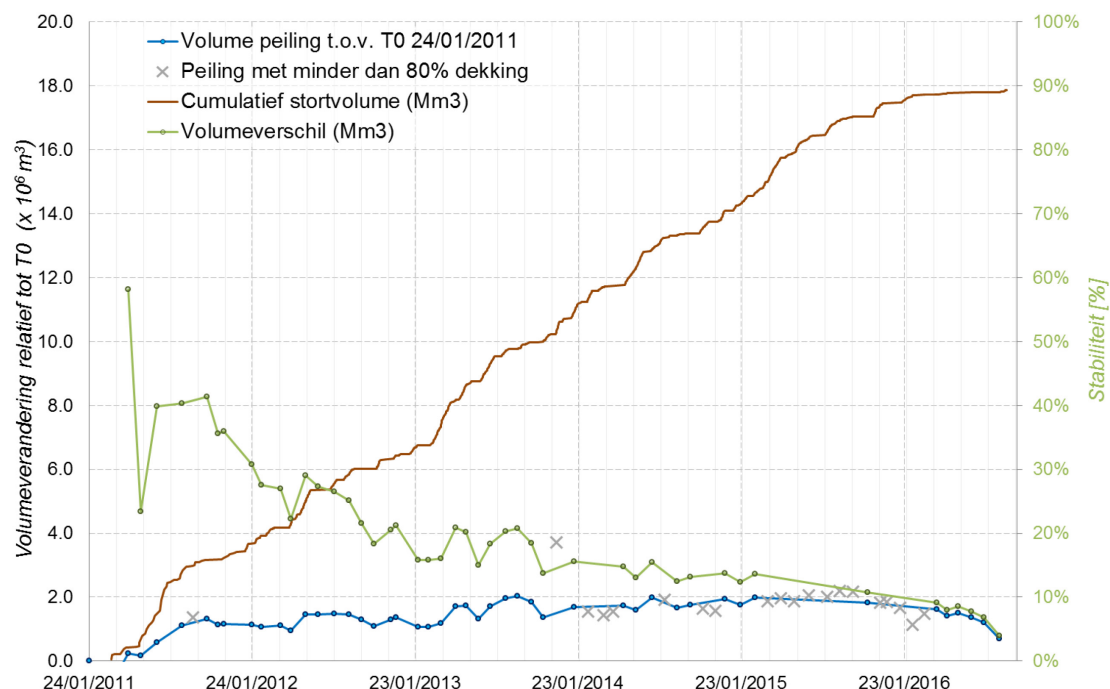
5.1 Diepe delen SH41

5.1.1 Morfologische ontwikkeling en stabiliteit gestorte specie

In § 3.2.4 wordt de stabiliteit van de gestorte specie gepresenteerd tot 2014. Figuur 7 geeft de stabiliteit van de gestorte specie weer tot 2016. Eén jaar na aanvang van de stortingen bedroeg de stabiliteit voor SH41 nog 30%, in 2016, of ca. 5 jaar na aanvang van de stortingen, bedraagt de stabiliteit nog amper 10%. In het laatste jaar (2016), waarin quasi geen stortingen plaatsvonden, daalt de stabiliteit naar ca. 5%. Het gebied blijft dus uitruimen.

Figuur 8 geeft de morfologische ontwikkelingen weer op de langere termijn, i.e. vanaf 1990. Hierop is te zien dat het watervolume toeneemt (10 Mm^3 over 25 jaar) in het stortgebied, ondanks aanzienlijke stortingen in de onmiddellijke omgeving (pas vanaf 2010 werd de afbakening van SH41 gebruikt, hiervoor werd echter ook in deze omgeving, met name vak “Gat van Ossenisse”, specie teruggestort). Het is dan ook duidelijk dat dit gebied gekenmerkt wordt door een erosieve trend, die kan toegeschreven worden aan de migratie van de geul, die lateraal wordt verhinderd door de oeververdediging en zich dus in de diepte manifesteert.

Figuur 7 – Overzicht van gestorte hoeveelheden, gepeilde volumes en stabiliteit gestorte specie in stortzone SH41

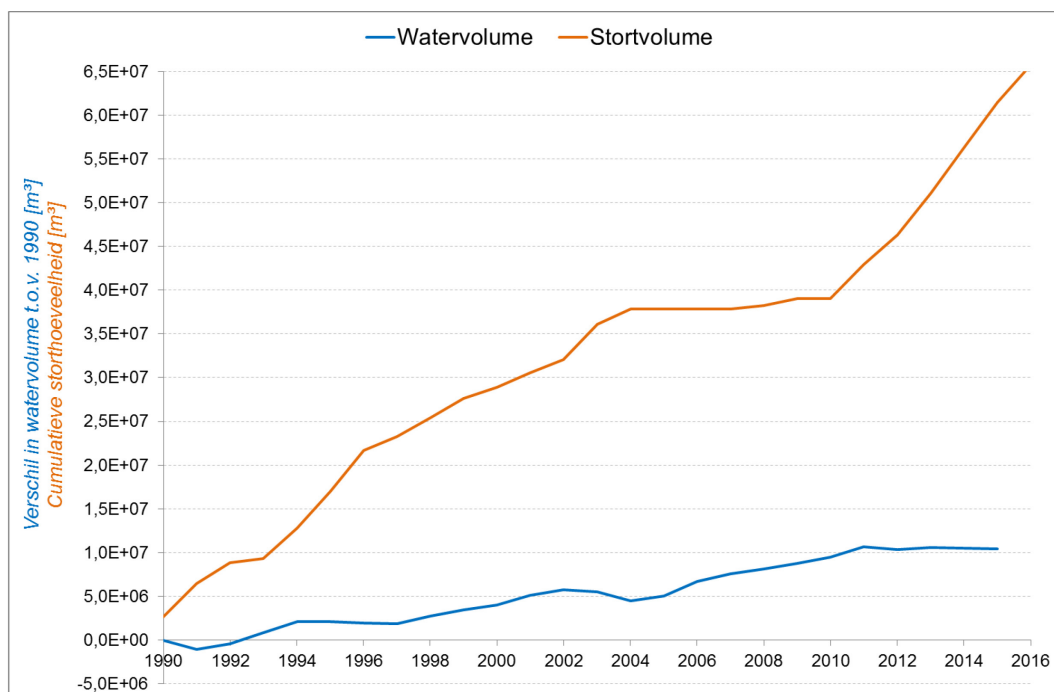


5.1.2 Stortvrije periodes

Sinds de start van de verruiming van de vaargeul in 2010 zijn er slechts 3 periodes waarin er geen stortingen plaatsvonden in de stortzone SH41 én er in de betreffende minstens 2 peilingen beschikbaar zijn. Daarnaast zijn er nog 4 periodes waarin slechts zeer beperkt gestort is en waarvoor minstens 2 peilingen

beschikbaar zijn (Tabel 1 en Figuur 9). Om te beschikken over een grotere dataset voor de analyse, werden deze periodes ook weerhouden.

Figuur 8 – Overzicht van volumeontwikkelingen op de lange termijn voor stortzone SH41



Het merendeel van deze stortvrije periodes ligt in 2012, nadien zijn de stortvrije periodes eerder sporadisch. Gemiddeld zijn er 4 weken gelegen tussen de eerste en de laatste peiling van de stortvrije periode. Het betreft ook telkens slechts 2 peilingen, zodat er geen tussenliggende peilingen beschikbaar zijn voor deze stortzone.

Tabel 1 – Overzicht van de start- en einddata van de geselecteerde stortvrije periodes voor stortzone SH41

Startdatum Stortvrije periode	Einddatum Stortvrije periode	Aantal stortvrije weken	Datum eerste peiling	Datum laatste peiling	Aantal weken tussen uiterste peilingen
10/10/2011	17/11/2011	5,4	14/10/2011	09/11/2011	3,7
13/03/2012	16/04/2012 ¹	4,9	27/03/2012	20/04/2012	3,4
03/06/2012	17/07/2012 ²	6,3	19/06/2012	26/07/2012	5,3
20/09/2012	27/10/2012	5,3	25/09/2012	23/10/2012	4,0
25/03/2014	05/05/2014 ³	5,9	11/04/2014	06/05/2014	3,6
30/09/2015	15/11/2015	6,6	02/10/2015	04/11/2015	4,7
29/04/2016	25/08/2016 ⁴	16,9	28/04/2016	24/08/2016	16,9

¹ Tussen 16 en 20 april 2012 werd 0,15 Mm³ gestort in SH41

² Tussen 17 en 26 juli 2012 werd 0,15 Mm³ gestort in SH41

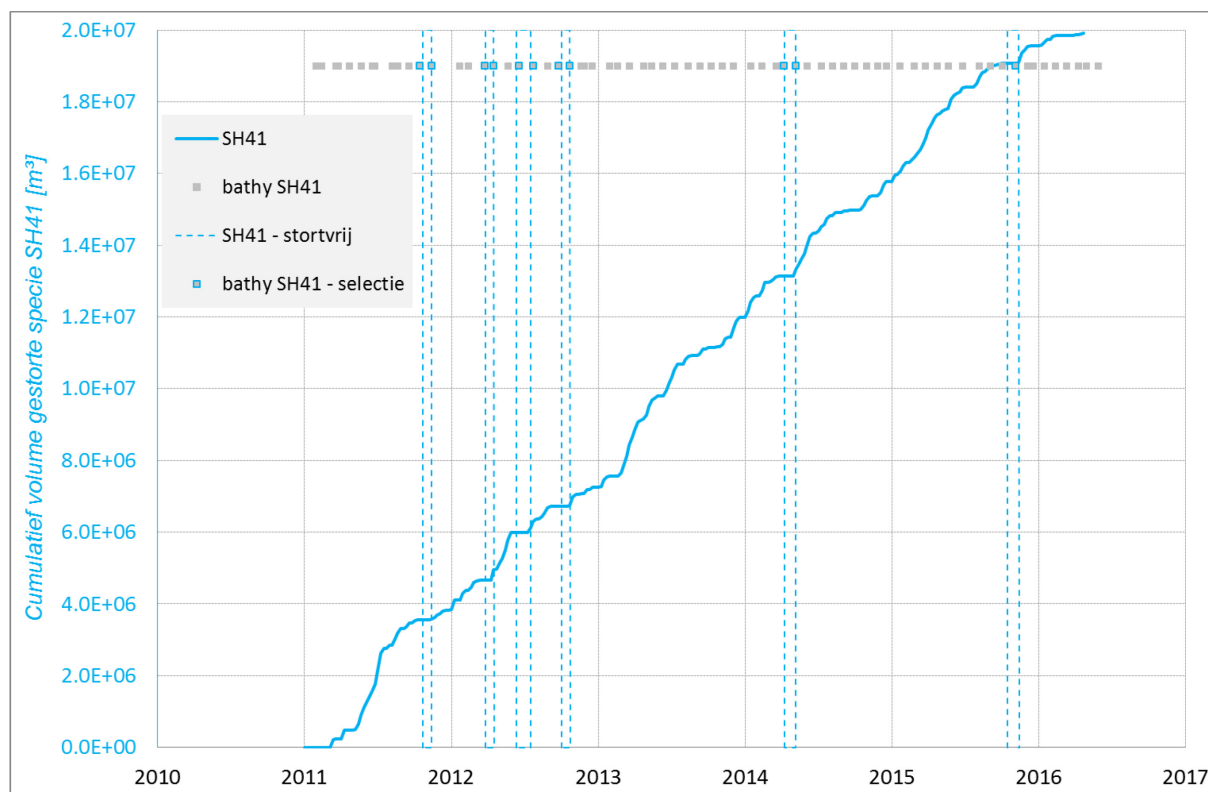
³ Tussen 5 en 6 mei 2014 werd 0,04 Mm³ gestort in SH41

⁴ Tussen 28 en 29 april 2016 werd 0,03 Mm³ gestort in SH41. Tussen 20 en 23 juni 2016 werd 0,02 Mm³ gestort in SH41.

Figuur 9 – Overzicht van de uitgevoerde stortingen ter hoogte van stortzone SH41

Symbool bovenaan figuur geeft telkens weer wanneer peiling beschikbaar is.

Verticale markering geeft aan wanneer er een periode is waarin niet gestort werd én er één of meerdere peilingen beschikbaar zijn.



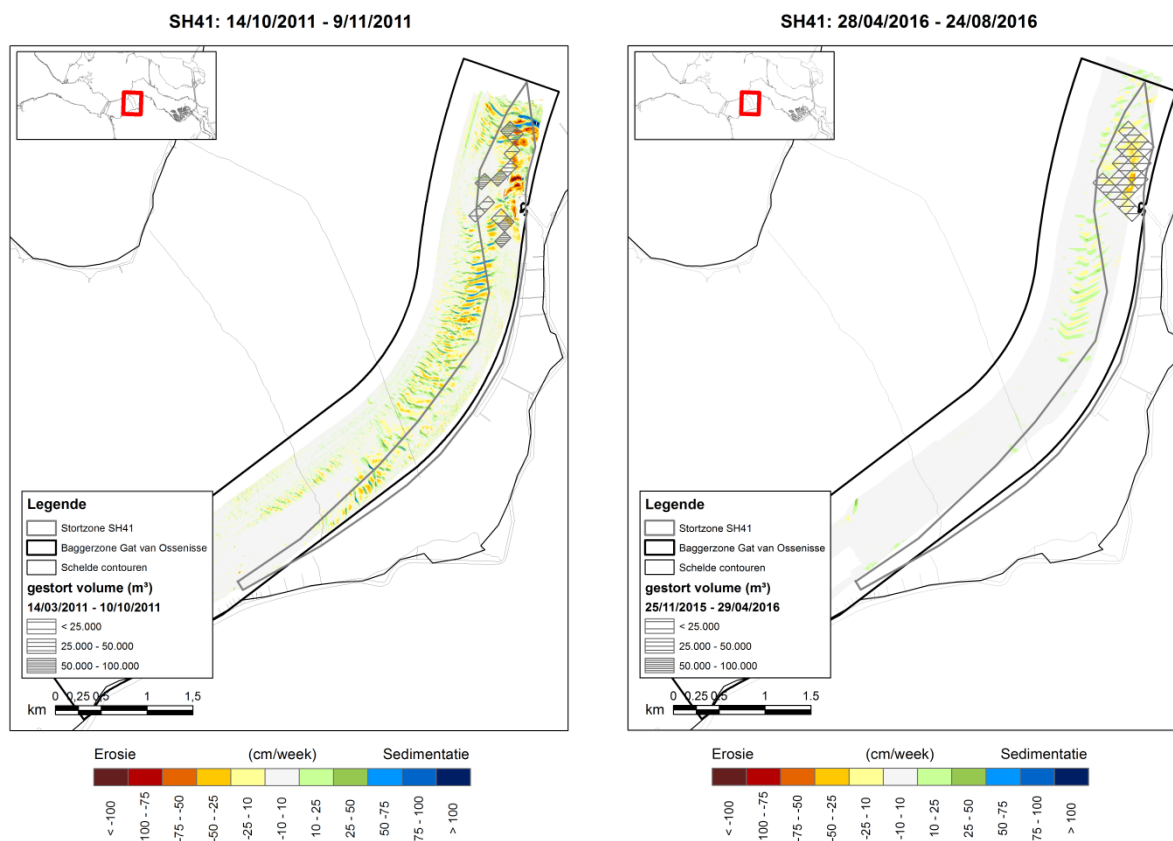
5.1.3 Erosie – sedimentatiepatronen

Figuur 10 geeft een beeld van de erosie-sedimentatiepatronen ter hoogte van stortzone SH41 voor de eerste (2011) en laatste (2016) periode. Bijlage A – stortzone SH41 bevat de verschilkaarten voor alle periodes. Voor beide periodes zijn duidelijk de migratie van bodemvormen in de vaargeul waar te nemen. Daarnaast valt het op dat de patronen in de kortere periode (~ 1 maand: 14 oktober – 9 november 2011) meer uitgesproken zijn dan in de langere periode (~ 4 maanden: 28 april – 24 augustus 2016). Dit is toe te schrijven aan de uitmiddeling (veranderingen gereduceerd naar cm/week) die plaatsvindt wanneer over een langere periode worden gekeken.

In de eerste periode werd eerder intensief gestort in een beperkt aantal vakken (50.000 tot 100.000 m³ in vijftal vakken). Er treedt ook sterke erosie op, die weliswaar niet samenvalt met de vakken waarin gestort werd. De sterkste erosie (ca. 100 cm/week) treedt op net ten noorden van de Nol van Ossenissee. Mogelijks is een groot deel van het gestorte sediment reeds getransporteerd in de periode van de stortingen (ca. 6 maanden voorafgaand aan stortvrije periode). Op basis van de verschilkaart lijkt het gestorte sediment eerder in de opwaartse richting (i.e. vloed-gedomineerd) getransporteerd te zijn.

In de laatste periode vonden de stortingen gespreid over een groter gebied plaats, met storthoeveelheden kleiner dan 25.000 m³ per vak. De erosie vindt plaats verspreid over het gebied waar gestort werd, waarbij ook hier de sterkste erosie (ca. 50 cm/week) optreedt net ten noorden van de Nol van Ossenissee. Ook hier dient opgemerkt te worden dat mogelijks een groot deel van het gestorte sediment reeds getransporteerd is in de periode van de stortingen (ca. 6 maanden voorafgaand aan stortvrije periode).

Figuur 10 – Overzicht van de erosie-sedimentatiepatronen ter hoogte van stortzone SH41

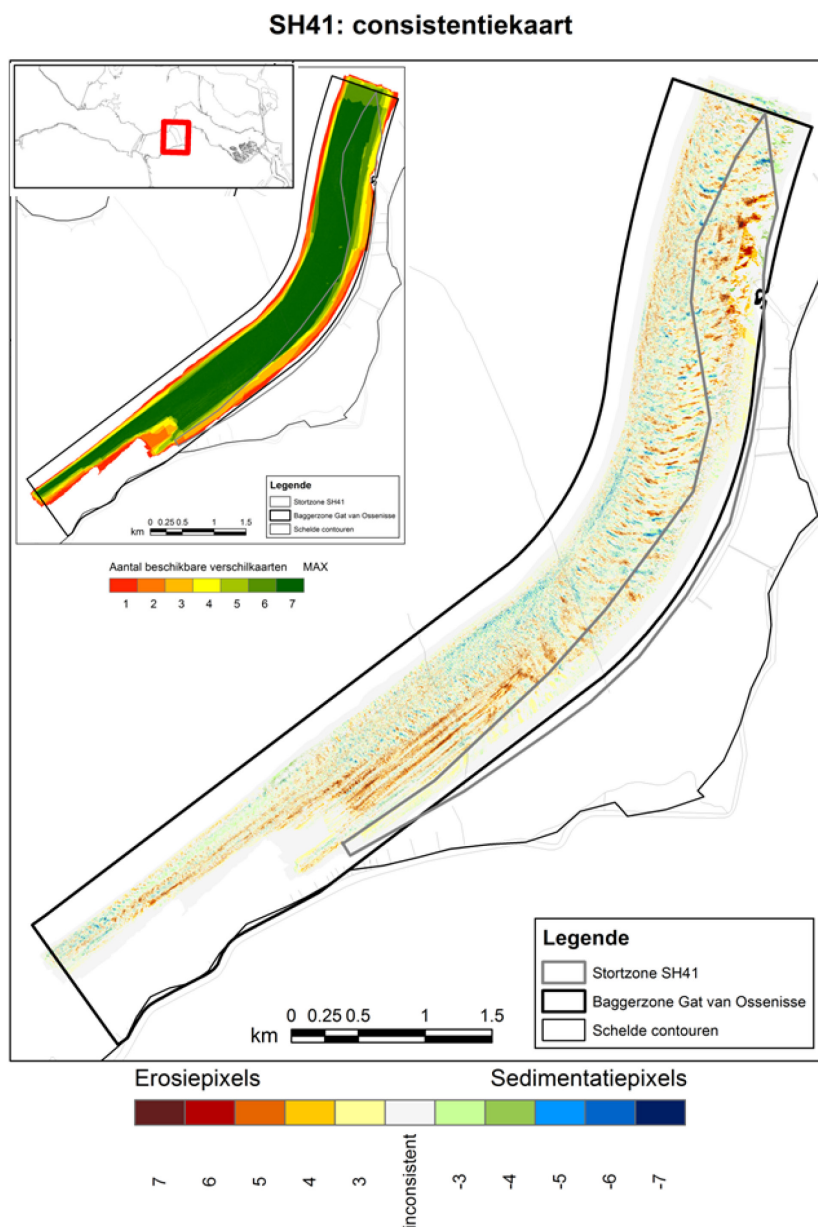


5.1.4 Consistentiekaarten

Om een beeld te krijgen van de representativiteit van de sedimentatie-erosiekaarten werden consistentiekaarten gemaakt. Aangezien de peilingen niet systematisch hetzelfde gebied bestreken, zijn er voor bepaalde zones meer verschilkaarten beschikbaar dan voor andere zones.

Uit de consistentiekaart (Figuur 11) blijkt dat het merendeel van de stortzone SH41 niet gekenmerkt wordt door een grote consistentie: de meeste gebieden zijn zowel aan erosie als sedimentatie onderhevig. Enkel nabij de Nol van Ossenisse en de afwaartse deel van de stortzone nabij de oever worden gekarakteriseerd door hoofdzakelijk erosie. In dit eerste gebied vindt het merendeel van de stortingen plaats. Gelet op de beperkte stabiliteit (10 à 20%) van de gestorte specie is de systematische erosie in overeenstemming met deze vaststelling. In het tweede gebied heeft de erosie een gestreept patroon. Dit kan toe te schrijven zijn aan de multibeam-correcties voor de scheepsbewegingen aan de randen van de gemeten bundels. Langs de zuidrand van de Rug van Baarland is er een zone terug te vinden met hoofdzakelijk sedimentatie.

Figuur 11 –Consistentiekaart oor erosie en sedimentatie ter hoogte van stortzone SH41



5.1.5 Sedimentbalans

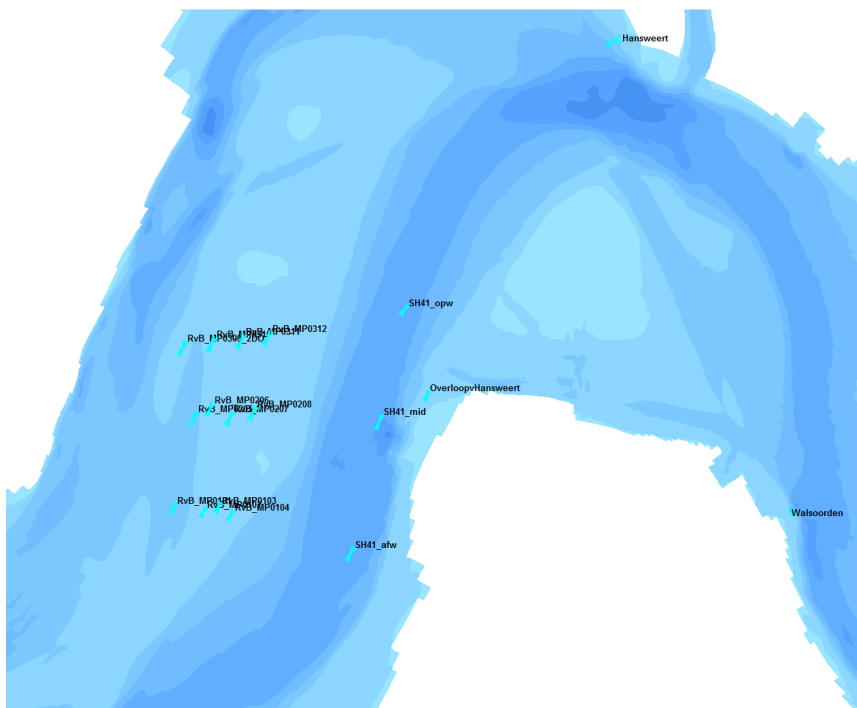
De grote hoeveelheid bathymetrische gegevens ter hoogte van stortzone SH41 laat toe sedimentbalansen af te leiden waaruit sedimenttransporten kunnen afgeleid worden. Aangezien de hier gekozen sedimentbalans uitgaan van een uni-directionele benadering, is het cruciaal dat de ketting van vakken zo goed mogelijk volgens de transpaden gelegen is. Op basis van beschikbare numerieke modelsimulaties met het 2D-NeVla-model (o.a. Vos *et al.*, 2016), werd de stromingsrichting ter hoogte van 3 punten (afwaarts, midden en opwaarts) in het stortvak SH41 geanalyseerd (Figuur 12). In Figuur 13 wordt de richting (dieptegemiddeld) van de stroming gepresenteerd bij eb en vloed. Voor de beschouwde punten blijkt de variatie gedurende eb en vloed beperkt te blijven tot ca. 5°, terwijl het verschil tussen eb en vloed ca. 180° bedraagt. De aanname om een 1D- sedimentbalans uit te voeren, lijkt hier mee voldaan.

Figuur 14 geeft de ligging weer van de verschillende vakken, waarbij 6 rijen (“kettingen”) kunnen onderscheiden worden, gaande van rij 1 nabij de Rug van Baarland tot rij 6 nabij de oever. De oriëntatie van de rijen is gekozen volgens de stroming. Hierbij dient opgemerkt te worden dat de gekozen oriëntatie de eb- en vloedstroming goed volgt, doch dat helicoïdale effecten in de bocht in het Gat van Ossensisse

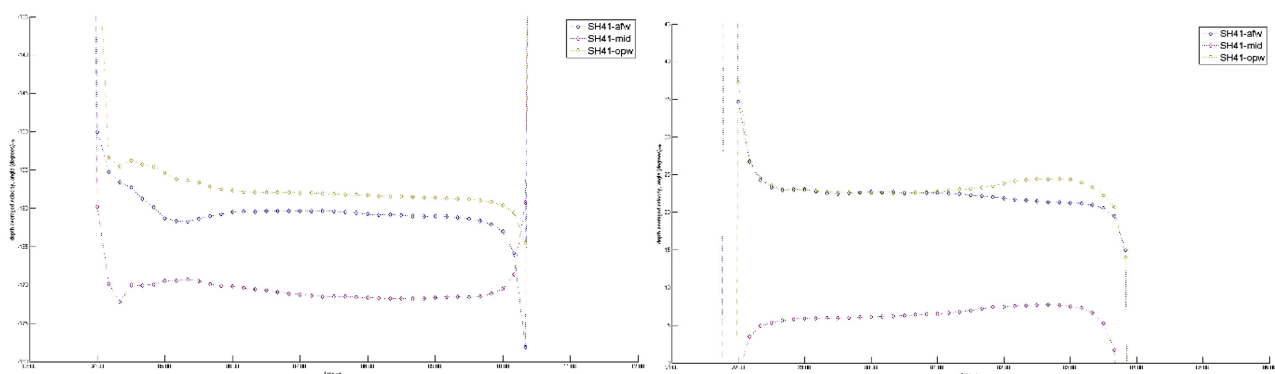
aanleiding kunnen geven tot een dwars transport dat niet meegenomen wordt in de 1D-benadering voor de sedimentbalans.

Per rij kan er een sedimentbalans opgemaakt worden. Figuur 15 geeft een overzicht van de beschikbaarheid van bathymetrische gegevens over de volledige periode. Hieruit kan afgeleid worden dat dat voor rij 2 en 3 (gelegen in het centrale deel van de geul) de meeste peilingen beschikbaar zijn. Er wordt dan ook binnen voorliggend rapport gekozen om de enkel van deze rijen een sedimentbalans op te maken. Aangezien de uiterste cellen niet systematisch opgemeten werden, zal de balans opgemaakt worden vanaf vak 8, resp. 9 tot vak 164, resp. 165.

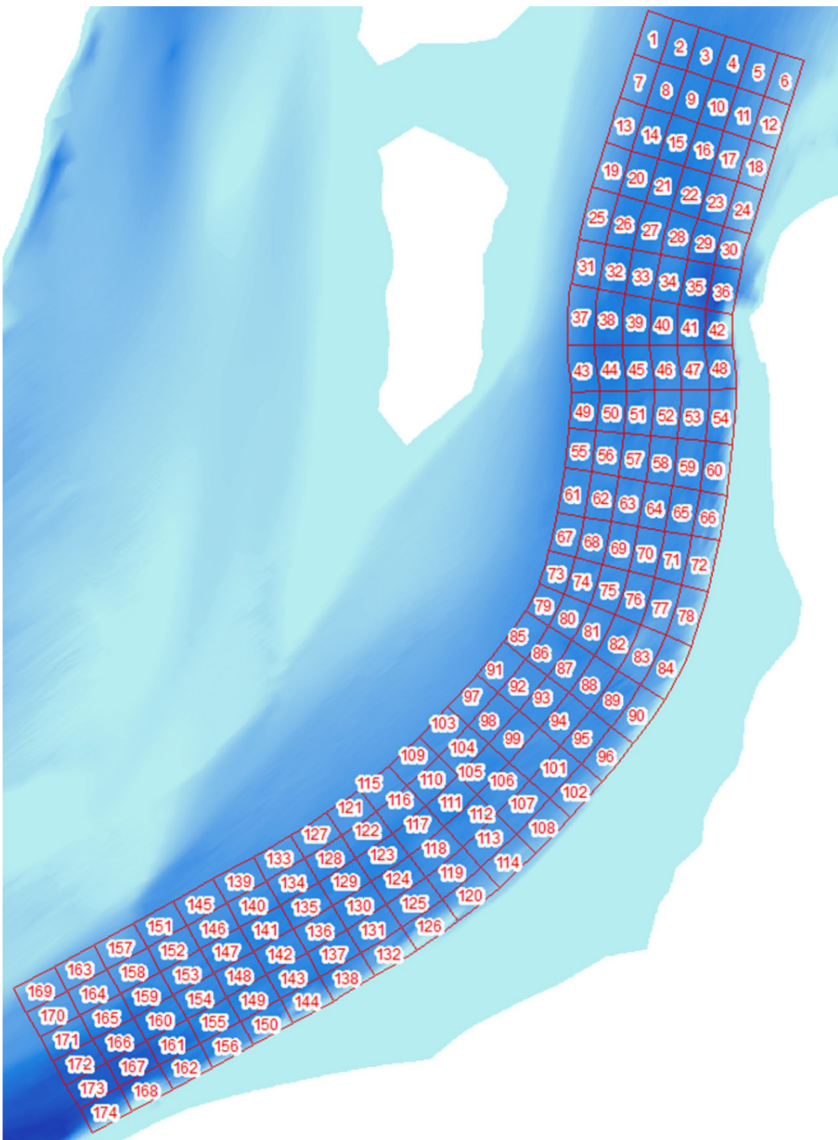
Figuur 12 – Ligging punten (SH41_XXX) in het stortvak SH41 waarvoor stromingsrichting is geanalyseerd



Figuur 13 – Diepte-gemiddelde stromingsrichting bij eb (links) en vloed (rechts) voor 3 punten in het stortvak SH41



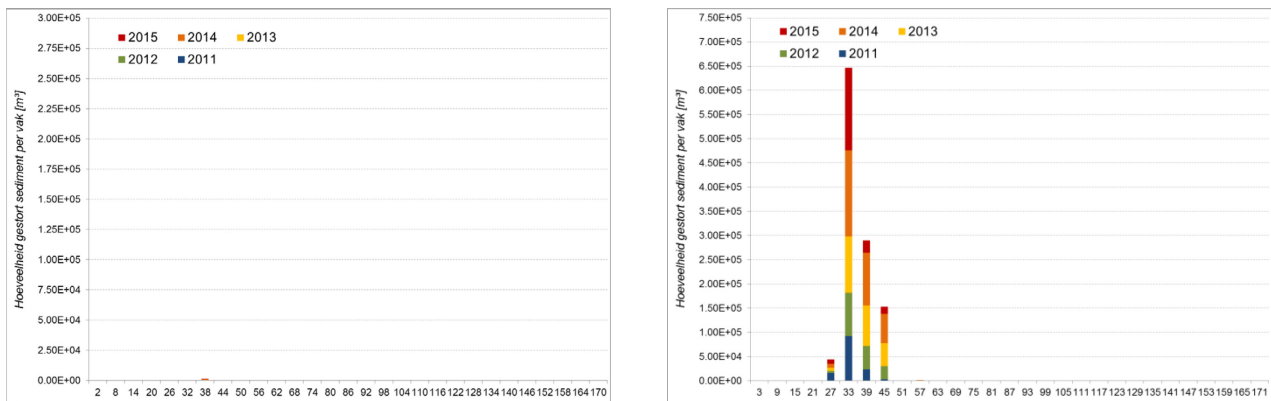
Figuur 14 –Overzicht vakken sedimentbalans ter hoogte van stortzone SH41



Figuur 15 – Overzicht beschikbaarheid data (%) voor verschillende vakken sedimentbalans ter hoogte van stortzone SH41
Verticaal: verschillende rijen (1-6) van Rug van Baarland tot linkeroever | Horizontaal: verschillende vakken volgens stroomrichting (links = afwaarts, rechts = opwaarts)

RJ 1	0%	0%	9%	48%	87%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	99%	100%	100%	100%	100%	100%	99%	99%	99%	72%	15%	12%	9%	12%	16%	9%	0%	
RJ 2	69%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	99%	99%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	97%	1%	
RJ 3	61%	67%	79%	100%	100%	100%	100%	100%	99%	99%	99%	99%	100%	100%	100%	99%	99%	100%	97%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	97%	3%	
RJ 4	18%	33%	55%	97%	97%	87%	70%	52%	46%	42%	48%	51%	60%	58%	49%	42%	63%	75%	87%	88%	88%	94%	100%	99%	100%	100%	97%	4%	
RJ 5	16%	27%	48%	57%	34%	21%	16%	13%	10%	10%	9%	9%	9%	10%	9%	9%	10%	13%	18%	22%	27%	30%	75%	81%	82%	79%	73%	67%	0%
RJ 6	1%	0%	1%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	3%	7%	0%	0%	12%	6%	6%	7%	0%	

Figuur 16 – Storthoeveelheden voor verschillende vakken van rij 2 (links) en rij 3 (rechts) ter hoogte van stortzone SH41



Figuur 17 en Figuur 18 geeft langsheen de volledige rij (resp. rij 2 en rij 3) het afgeleid jaargemiddeld sedimenttransport weer voor de verschillende jaren. In rij 2 vinden quasi geen stortingen plaats, terwijl in het opwaartse deel van rij 3 redelijk gestort wordt (Figuur 16). Deze figuren geven een zeer chaotisch verloop (“zaagtand”) in het sedimenttransport voor beide rijen.

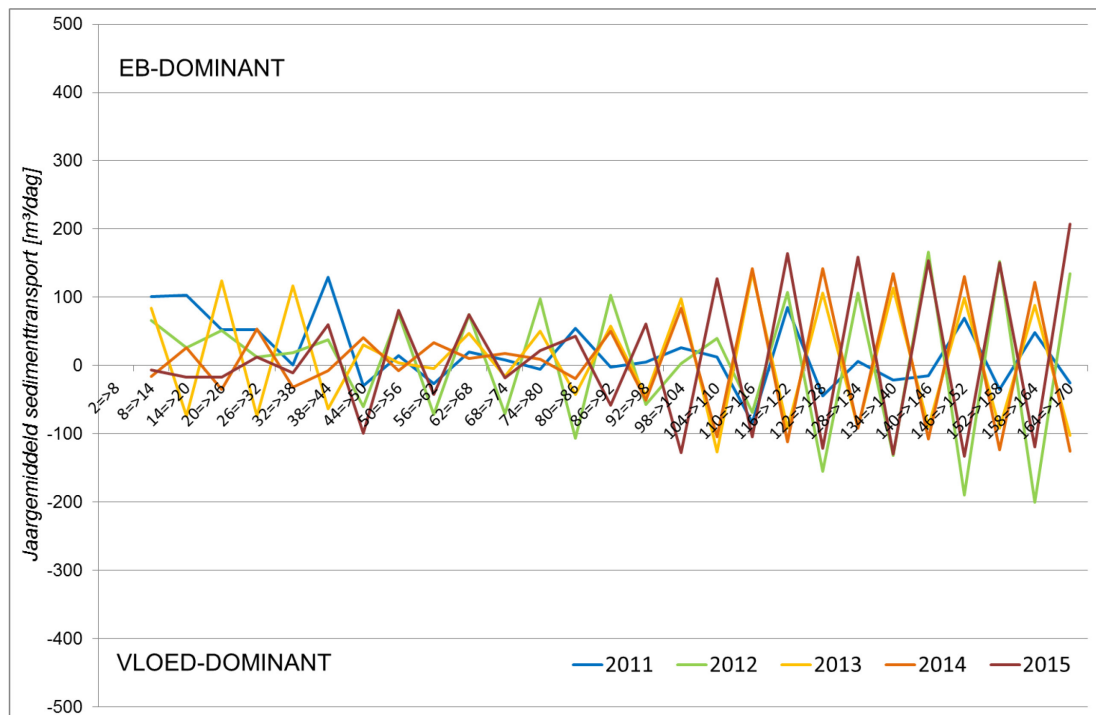
Figuur 19 en Figuur 20 geeft het verloop in de tijd weer van de sedimenttransporten tussen 2 vakken in de opwaartse, centrale en afwaartse deel van resp. rij 2 en rij 3.

Opmerkelijk is wel dat voor rij 2 (Figuur 17) er een variatie optreedt over de jaren voor elk vak: aan de overgang tussen vak 80 en vak 86 is het transport meer eb-gedomineerd in de jaren 2011 en 2015, terwijl de jaren 2012, 2013 en 2014 minder eb-gedomineerd (of meer vloed-gedomineerd). Voor de naastliggende grens tussen vak 86 en vak 92 is het omgekeerd: het transport is minder eb-gedomineerd in de jaren 2011 en 2015, terwijl de jaren 2012, 2013 en 2014 meer eb-gedomineerd zijn. Voor rij 3 (Figuur 18) daarentegen treedt er een variatie op langsheen de vakken: aan de overgang tussen vak 81 en vak 87 is het transport voor alle jaren steeds meer eb-gedomineerd, aan de overgang tussen vak 87 en vak 97 het transport voor alle jaren steeds minder eb-gedomineerd (of vloed-gedomineerd) is.

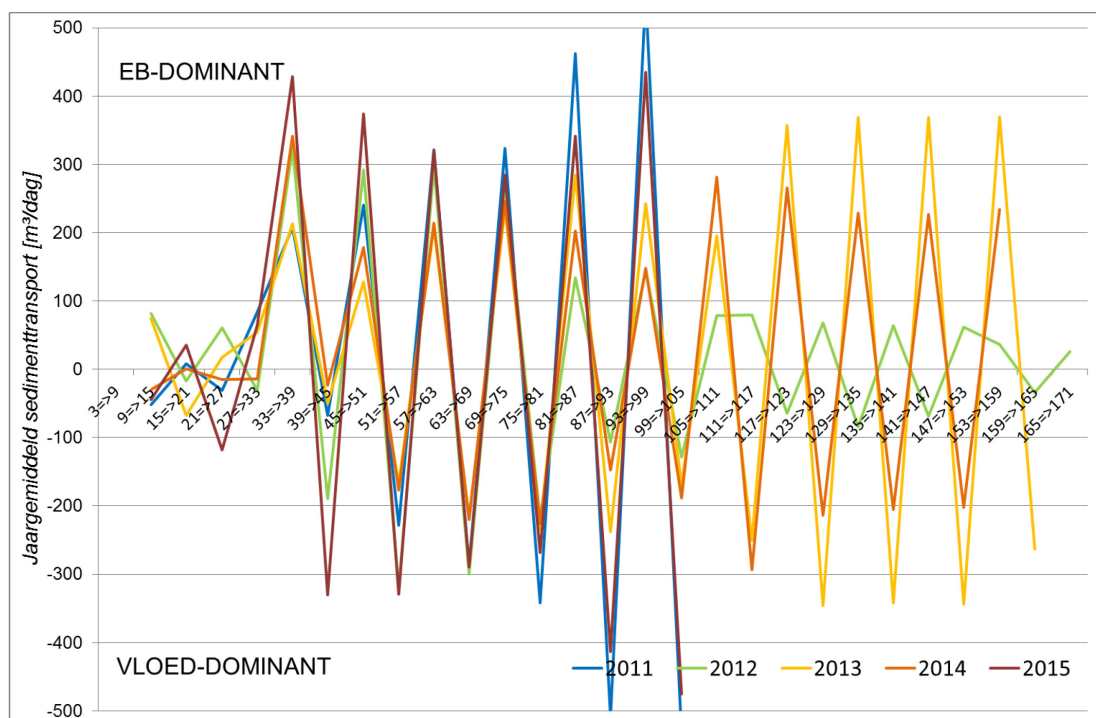
Dit patroon lijkt onrealistisch en kan waarschijnlijk toegeschreven worden aan de volume- of diepteveranderingen (Figuur 21) in de vakken die nu weer eroderen, dan weer sedimenteren. Als dergelijke veranderingen (erosie dan wel sedimentatie) optreden in een vak en niet in het voorgaande vak, zal de sedimentbalans een transport (afvoer dan wel aanvoer) moeten geven om deze volumeverandering toe te laten. Als dit in opeenvolgende vakken plaatsvindt, kan dit signaal versterkt worden en resulteren in dergelijk “zaagtand” patroon. Een mogelijke oorzaak van deze variaties kunnen migrerende bodemvormen en/of complexe stroompatronen (helicoïdale stroming) in de bochten zijn.

Omwille van bovenstaande bedenkingen, dienen deze resultaten met de nodige voorzichtigheid beschouwd te worden en is verder onderzoek nodig om deze patronen te verklaren.

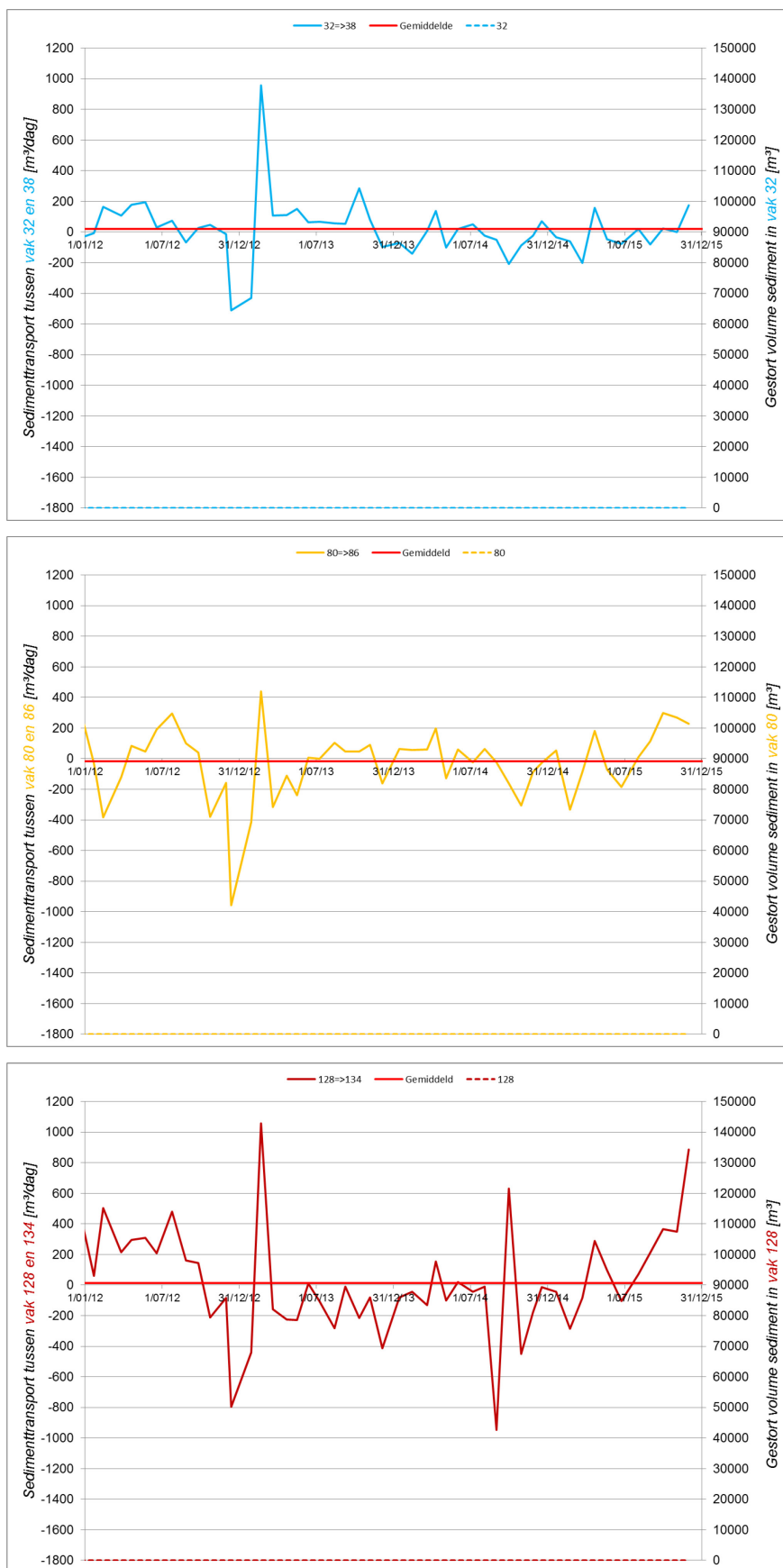
Figuur 17 –Jaargemiddelde sedimenttransporten tussen verschillende vakken van rij 2 ter hoogte van stortzone SH41



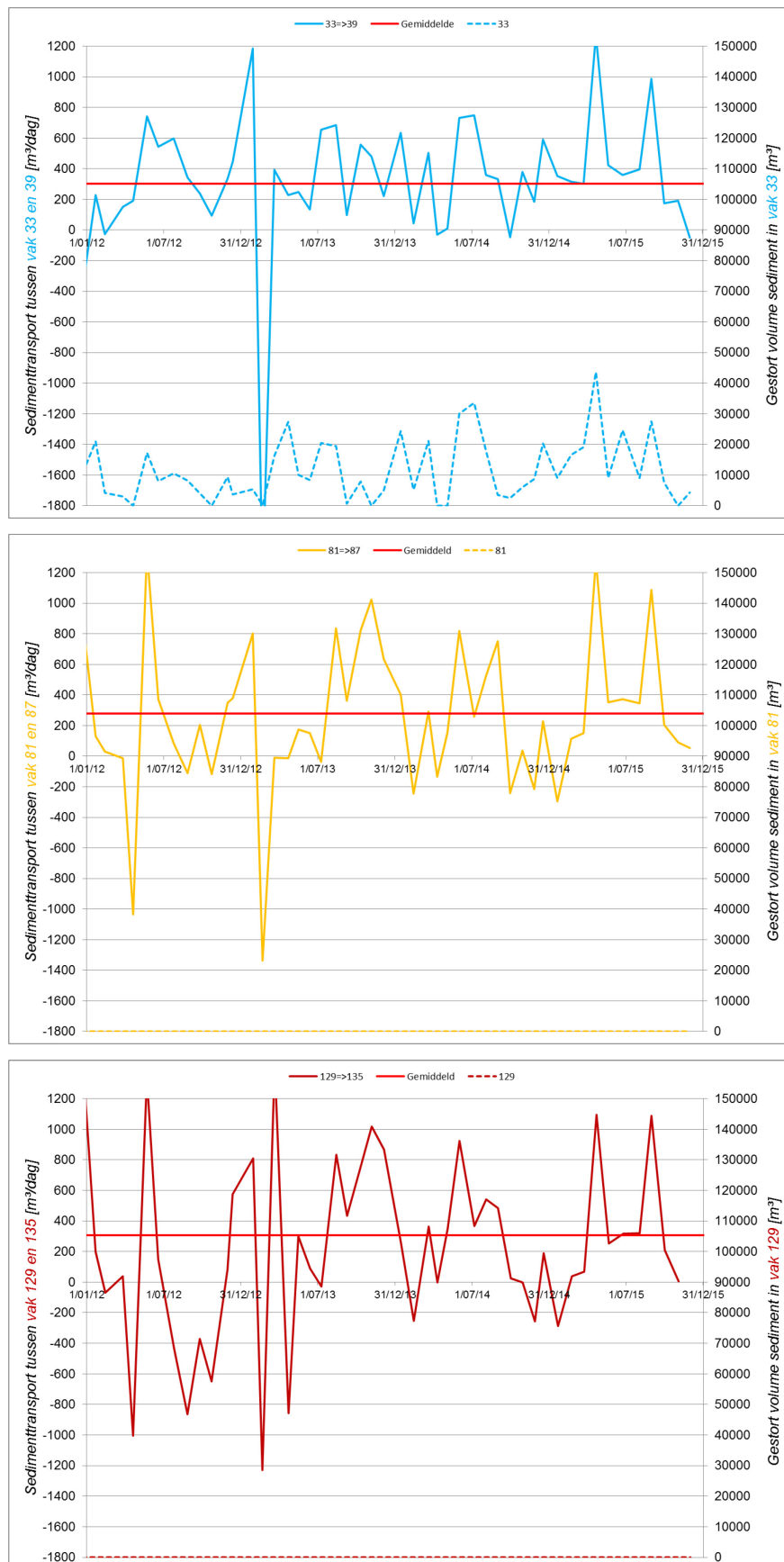
Figuur 18 –Jaargemiddelde sedimenttransporten tussen verschillende vakken van rij 3 ter hoogte van stortzone SH41



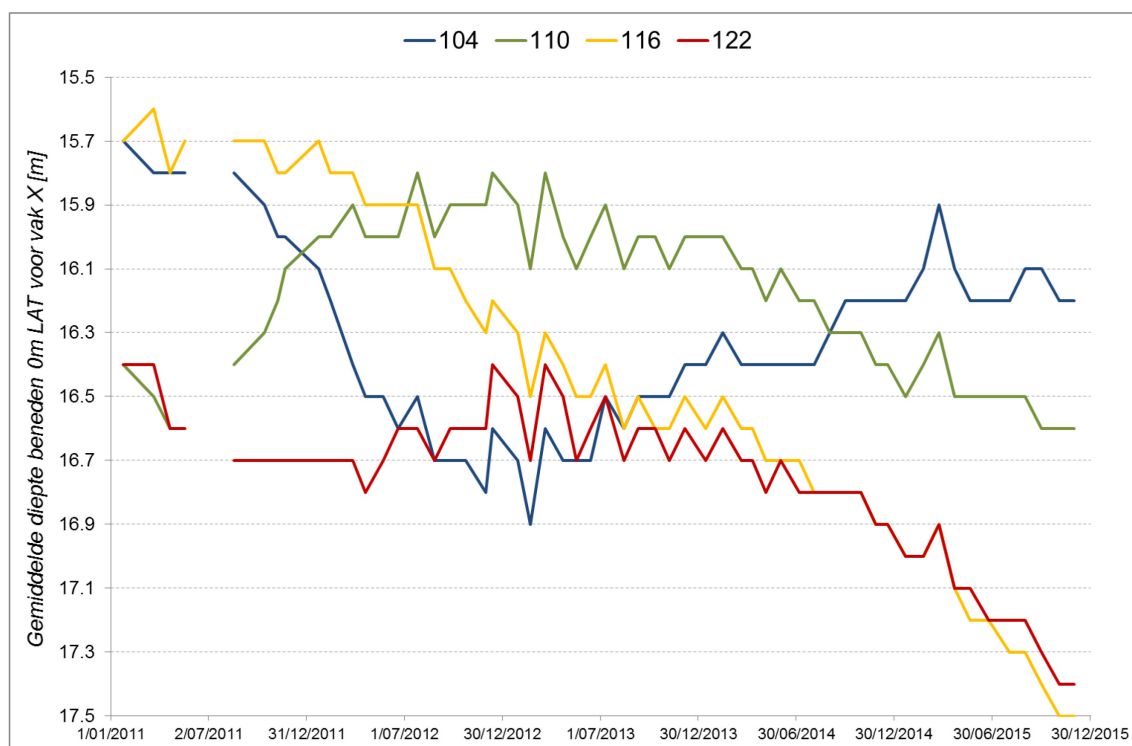
Figuur 19 –Sedimenttransporten tussen verschillende vakken van rij 2 voor stortzone SH41
Opwaarts deel (boven) – centrale deel (midden) – afwaarts deel (onder)



Figuur 20 –Sedimenttransporten tussen verschillende vakken van rij 3 voor stortzone SH41
Opwaarts deel (boven) – centrale deel (midden) – afwaarts deel (onder)



Figuur 21 – Verandering in gemiddelde diepte voor enkele vakken in rij 2 van stortzone SH41



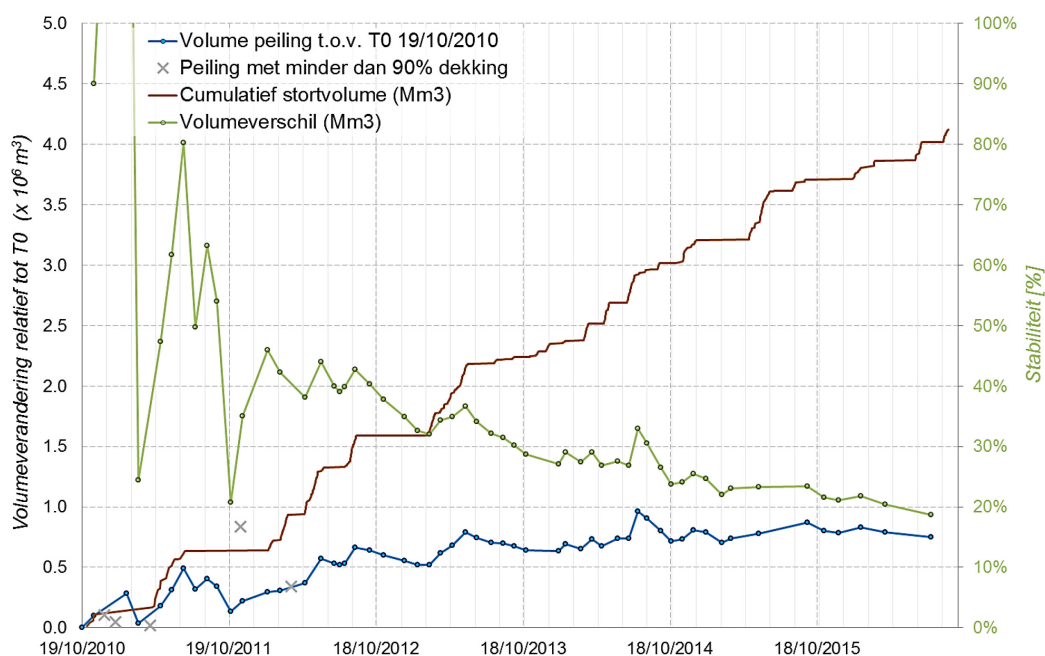
5.2 Diepe delen SH51

5.2.1 Morfologische ontwikkeling en stabiliteit gestorte specie

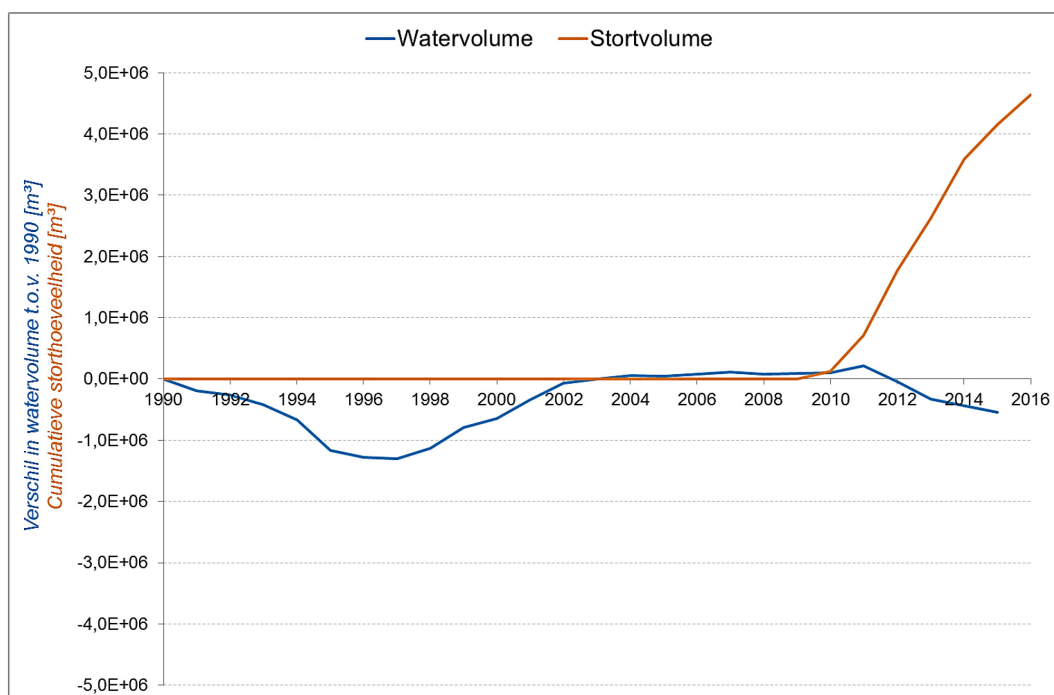
In § 3.2.4 wordt de stabiliteit van de gestorte specie gepresenteerd tot 2014. Figuur 22 geeft de stabiliteit van de gestorte specie weer tot 2016. Eén jaar na aanvang van de stortingen bedroeg de stabiliteit voor SH41 nog 40%, in 2016, of ca. 5 jaar na aanvang van de stortingen, bedraagt de stabiliteit nog amper 20%.

Figuur 23 geeft de morfologische ontwikkelingen weer op de langere termijn, i.e. vanaf 1990. Hierop is te zien dat het watervolume stabiel is in het stortgebied. In de jaren 1990 is er een lichte afname van het watervolume. In deze periode vonden ook stortingen van sediment plaats in het opwaarts gelegen stortvak “Konijnenschor”. Er kan gesteld worden dat het gebied vrij stabiel is.

Figuur 22 – Overzicht van gestorte hoeveelheden, gepeilde volumes en stabiliteit gestorte specie in stortzone SH51



Figuur 23 – Overzicht van volumeontwikkelingen op de lange termijn voor stortzone SH51



5.2.2 Stortvrije periodes

Sinds de start van de verruiming van de vaargeul in 2010 zijn er 7 periodes waarin er geen stortingen plaatsvonden in de stortzone SH51 én er in de betreffende minstens 2 peilingen beschikbaar zijn (Tabel 2 en Figuur 24). De stortvrije periodes in 2011 en 2012 omvatten telkens meerdere maanden, in 2013 en 2014 zijn de stortvrije periodes aanzienlijk korter, om in 2015 en 2016 terug langer te zijn. In de eerste 3 periodes zijn er dan ook tussenliggende peilingen beschikbaar die toelaten de ontwikkelingen op kortere termijn te analyseren.

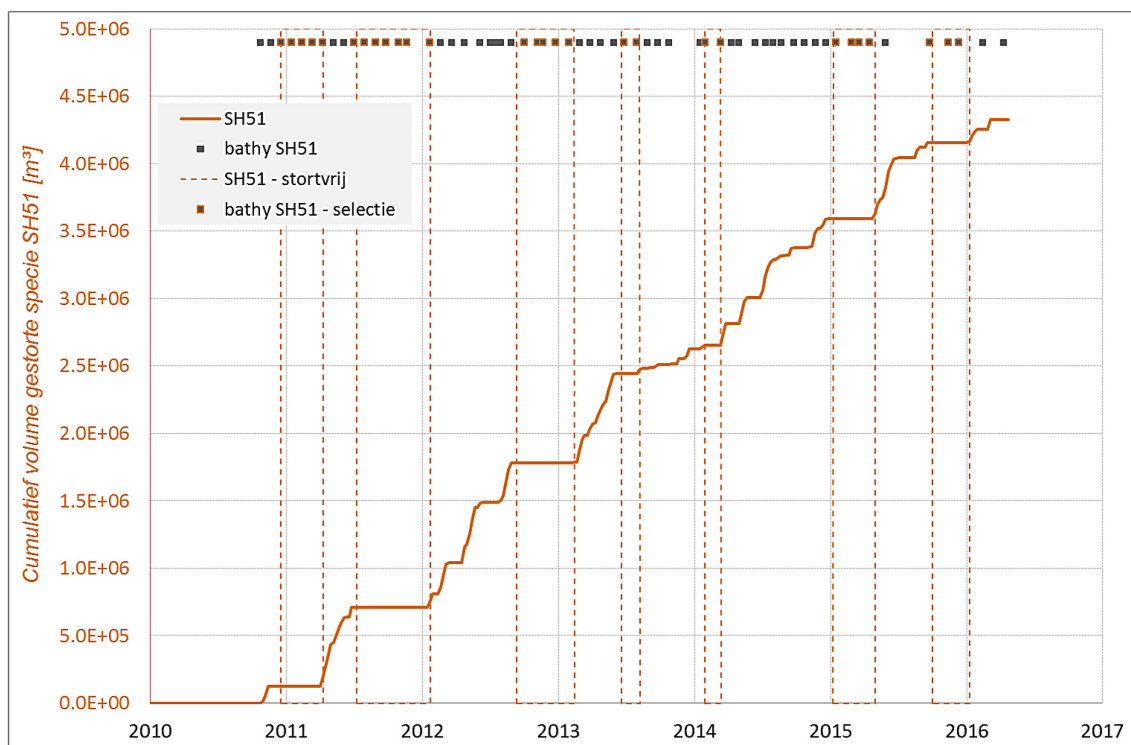
Tabel 2 – Overzicht van de start- en einddata van de geselecteerde stortvrije periodes voor stortzone SH51

Startdatum Stortvrije periode	Einddatum Stortvrije periode	Aantal stortvrije weken	Datum eerste peiling	Datum laatste peiling	Aantal weken tussen uiterste peilingen
22/11/2010	11/04/2011	20,0	14/12/2010	06/04/2011	16,1
01/07/2011	24/01/2012	29,6	27/07/2011	23/01/2012	25,7
30/08/2012	15/02/2013	24,1	02/10/2012	30/01/2013	17,1
03/06/2013	06/08/2013	9,1	25/06/2013	31/07/2013	5,1
30/01/2014	17/03/2014	6,6	01/02/2014	10/03/2014	5,3
22/12/2014	01/05/2015	18,6	15/01/2015	18/03/2015	8,9
18/09/2015	14/01/2016	16,9	25/09/2015	10/12/2015	10,9

Figuur 24 – Overzicht van de uitgevoerde stortingen ter hoogte van stortzone SH51

Symbool bovenaan figuur geeft telkens weer wanneer peiling beschikbaar is.

Verticale markering geeft aan wanneer er een periode is waarin niet gestort werd én er één of meerdere peilingen beschikbaar zijn.



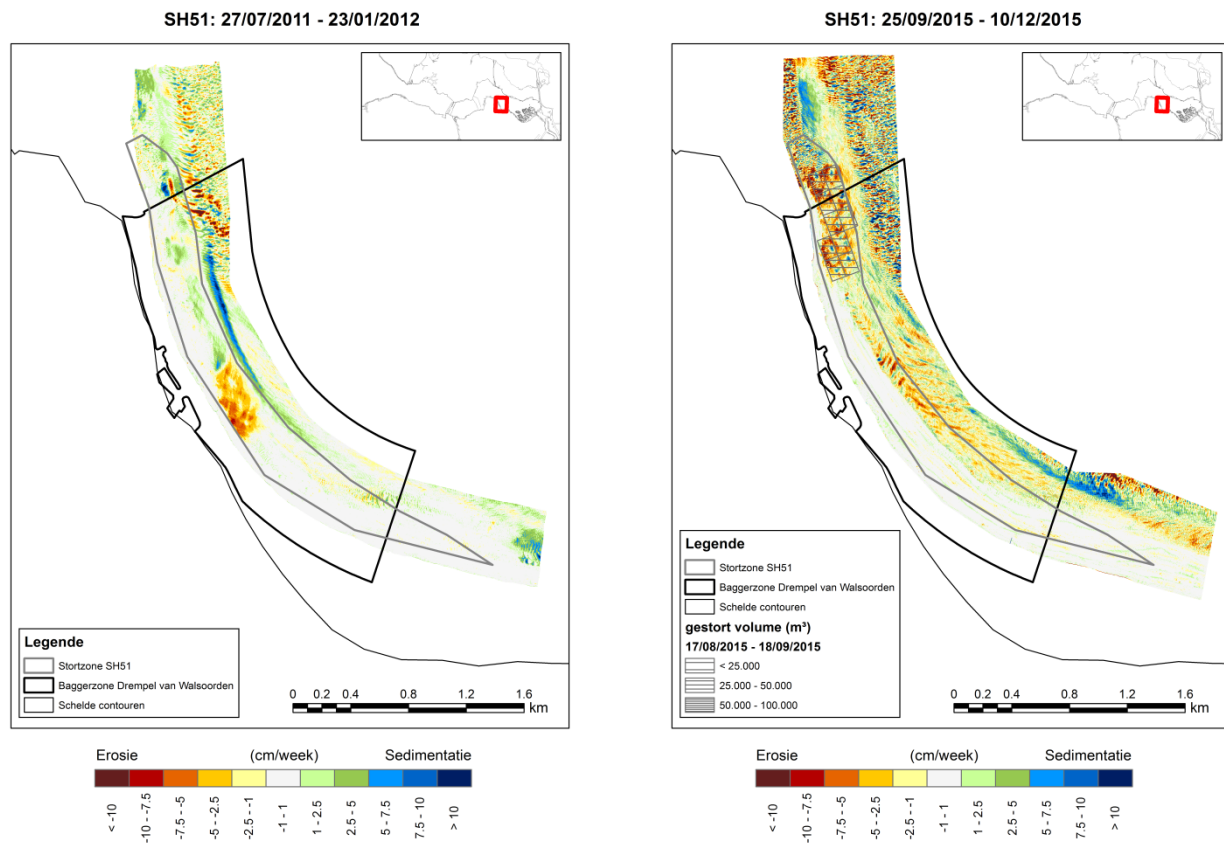
5.2.3 Erosie – sedimentatiepatronen

Figuur 25 geeft een beeld van de erosie-sedimentatiepatronen ter hoogte van stortzone SH51 voor een oudere (2011) en recentere (2015) periode. Bijlage B – stortzone SH51 bevat de verschilkaarten voor alle periodes. In vergelijking met stortzone SH41 zijn de erosie-sedimentatie snelheden hier aanzienlijk lager (verschil in schaal met factor 10!). In het afwaartse deel van de zone zijn voor beide periodes duidelijk migrerende bodemvormen in en langs de vaargeul zichtbaar.

In de eerste periode (2011) werd voornamelijk gestort ter hoogte van de haven van Walsoorden, in het centrale deel van het stortvak. De exacte stortintensiteit is echter niet beschikbaar. Over een relatief groot gebied ter hoogte van de haven van Walsoorden treedt erosie op (tot 10 cm/week), terwijl vooral langs de afwaartse zijde (eb-gedomineerd transport) in en aan de rand van de vaargeul sedimentatie kan teruggevonden worden. De sterkste sedimentatie treedt op aan de rand van de vaargeul, al dient hierbij opgemerkt te worden dat hier mogelijk sedimentaanvoer vanuit het stortvak Plaat van Walsoorden optreedt.

In de recente periode (2015) vonden de stortingen plaats in het afwaartse deel van de stortzone, in de put nabij het Oude Hoofd van Walsoorden. Het gestort sedimentvolume in de verschillende vakken is hier kleiner dan 25.000 m³. De erosie vindt plaats verspreid over het gebied waar gestort werd, waarbij de sterkste erosie (ca. 10 cm/week) optreedt zowel net ten noorden als ten zuiden van het Oude Hoofd van Walsoorden. Afwaarts van het stortgebied is een zone met sedimentatie terug te vinden, die waarschijnlijk, omwille van het eb-dominante transport (Plancke *et al.*, s.d.), kan gerelateerd worden aan de erosie van gestort sediment. Ook in het opwaarts deel van de stortzone SH51 is een zone met sedimentatie terug te vinden. Deze ontwikkeling is waarschijnlijk, omwille van het vloed-dominante transport (Plancke *et al.*, s.d.), eerder toe te schrijven aan morfologische ontwikkelingen ter hoogte van de zuidelijke zand tong van de Plaat van Walsoorden dan aan de stortingen in de stortzone SH51.

Figuur 25 –Overzicht van de erosie-sedimentatiepatronen ter hoogte van stortzone SH51 voor 2 verschillende periodes

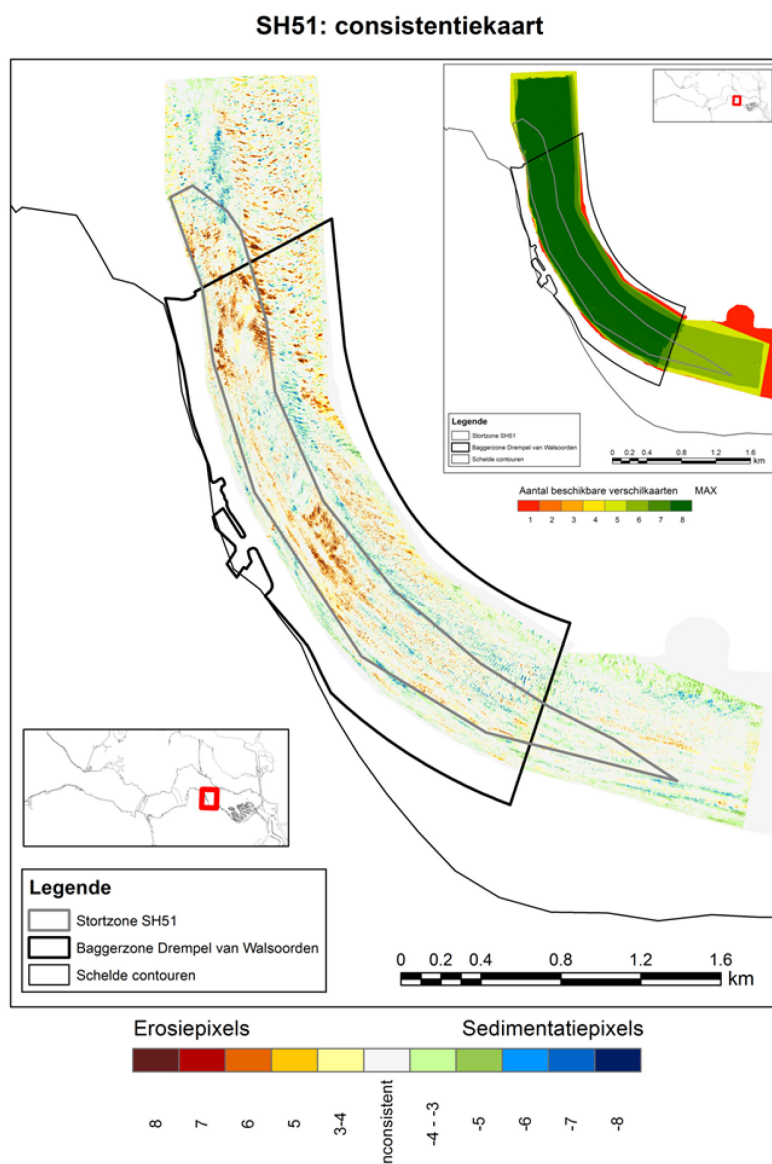


Wanneer de verschillende vershikaarten vergeleken worden, zijn de erosie-sedimentatie snelheden hoger wanneer de beschouwde periode korter is. Dit is toe te schrijven aan de migratie van bodemvormen die expliciet zichtbaar is wanneer de periode kort (1 tot 3 maanden) is, terwijl deze migratie uitgemiddeld (veranderingen gereduceerd naar cm/week) wordt bij langere periodes (> 3 maanden).

5.2.4 Consistentiekaarten

Figuur 26 geeft de consistentie kaart weer voor de stortzone SH51. De deelgebieden rond de diepe delen nabij de haven van Walsoorden en het Oude Hoofd van Walsoorden worden grotendeels gekenmerkt door erosie, wat overeenkomt met de bevinding dat de stabiliteit van de gestorte specie eerder beperkt (20 à 40%) is. Net afwaarts van het Oude Hoofd van Walsoorden en langs de rode boeizijde (kant Plaat van Walsoorden) treedt er eerder sedimentatie op. In dit eerste gebied komt vermoedelijk sediment terecht dat gestort is nabij het Oude Hoofd van Walsoorden. Het tweede gebied wordt vermoedelijk gevoed door enerzijds sediment uit stortzone SH51, maar anderzijds vooral door sediment gestort nabij de Plaat van Walsoorden dat via de zuidelijke vloedchaar onder invloed van de sterke vloedstroming in de geul terecht komt. Verder onderzoek moet uitwijzen of deze hypothese bevestigd wordt of niet.

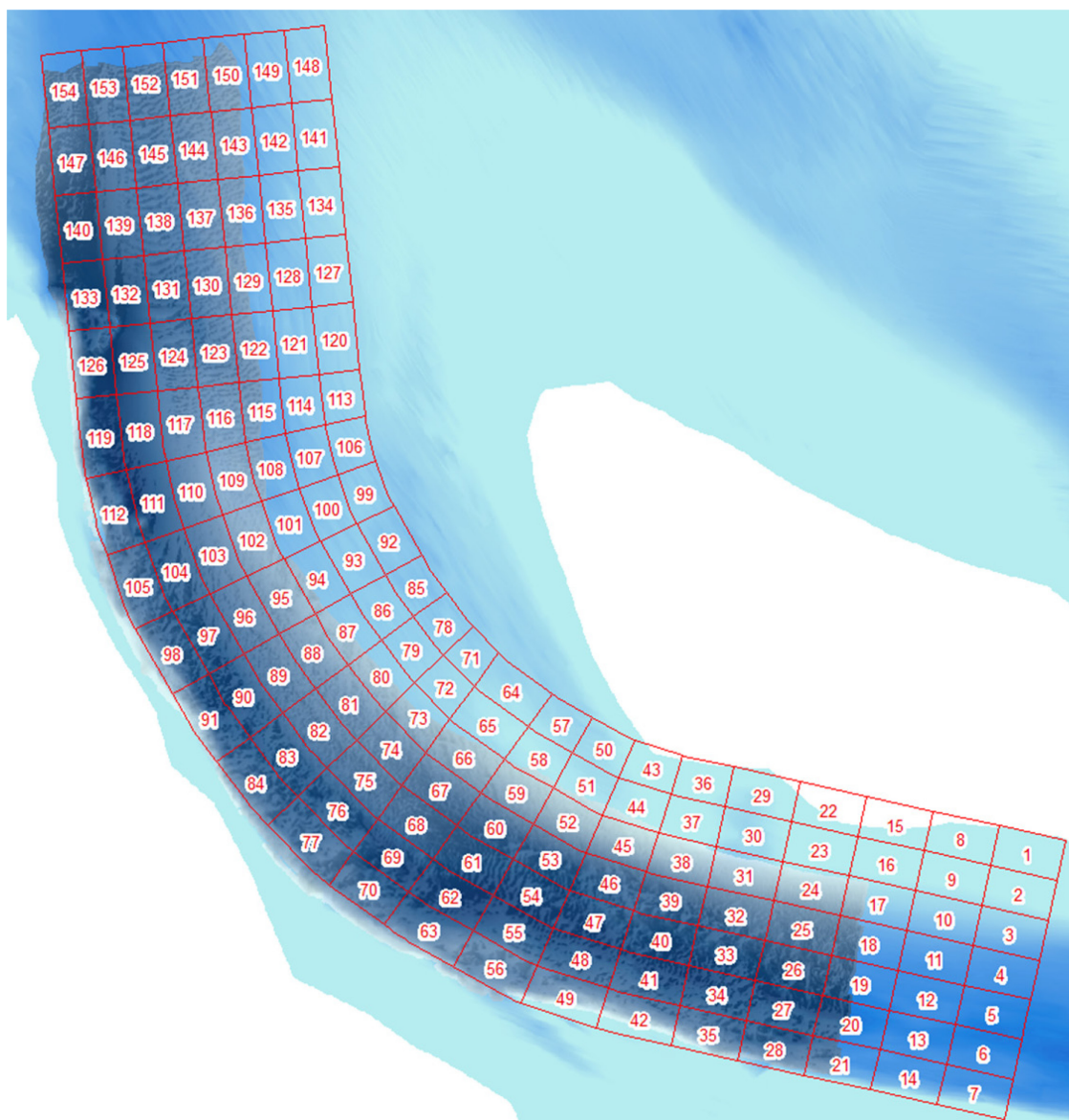
Figuur 26 – Consistentiekaart ter hoogte van stortzone SH51



5.2.5 Sedimentbalans

De grote hoeveelheid bathymetrische gegevens ter hoogte van stortzone SH51 laat toe sedimentbalansen af te leiden waaruit dan sedimenttransporten kunnen afgeleid worden. Aangezien de hier gekozen sedimentbalans uitgaat van een uni-directionele benadering, is het cruciaal dat de ketting van vakken zo goed mogelijk volgens de transportpaden gelegen is. Figuur 27 geeft de ligging weer van de verschillende vakken, waarbij 7 rijen (“kettingen”) kunnen onderscheiden worden, gaande van rij 1 nabij de plaat van Walsoorden tot rij 7 nabij de oever. De oriëntatie van de rijen is gekozen volgens de stroming. Hierbij dient opgemerkt te worden dat de gekozen oriëntatie de ebstroming (met uitzondering van helicoïdale effecten in de bocht van Walsoorden) goed volgt, doch dat bij de vloedstroming waarschijnlijk ook een dwars transport zal optreden dat hier niet meegenomen wordt. Per rij kan er een sedimentbalans opgemaakt worden. Figuur 28 geeft een overzicht van de beschikbaarheid van bathymetrische gegevens over de volledige periode. Hieruit kan afgeleid worden dat dat voor rij 5 en 6 (gelegen in de diepste delen van de geul) de meeste peilingen beschikbaar zijn. Er wordt dan ook binnen voorliggend rapport gekozen om de enkel van deze rijen een sedimentbalans op te maken. Aangezien de opwaartse cellen niet systematisch opgemeten werden, zal de balans opgemaakt worden vanaf vak 61, resp. 62 tot vak 145, resp. 146 (zie Figuur 29).

Figuur 27 – Overzicht vakken sedimentbalans ter hoogte van stortzone SH51



Figuur 28 – Overzicht beschikbaarheid data voor verschillende vakken sedimentbalans ter hoogte van stortzone SH51
Verticaal: verschillende rijen (1-7) met rij 1 kant PvW en rij 7 de linkeroever | Horizontaal: verschillende vakken volgens
stroomrichting (links = afwaarts, rechts = opwaarts)

RIJ 1	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	13%	0%	0%	0%
	0%	0%	2%	2%	2%	2%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	2%	2%	5%	8%	15%	15%	15%	11%
RIJ 4	5%	93%	92%	90%	92%	79%	15%	23%	87%	87%	82%	85%	95%	95%	79%	79%	79%	79%	72%	16%	13%
RIJ 5	66%	98%	98%	98%	98%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	98%	98%	98%	82%	79%	79%	79%	72%	16%	13%
RIJ 6	67%	98%	98%	98%	98%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	98%	98%	98%	82%	79%	79%	79%	74%	16%	13%
RIJ 7	69%	97%	98%	98%	84%	87%	72%	87%	77%	67%	92%	98%	93%	84%	7%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
0% 10% 20% 30% 40% 50% 60% 70% 80% 90% 100%																					

Figuur 29 – Storthoeveelheden voor verschillende vakken (x-as = vaknummer) van rij 5 (links) en rij 6 (rechts) ter hoogte van stortzone SH51



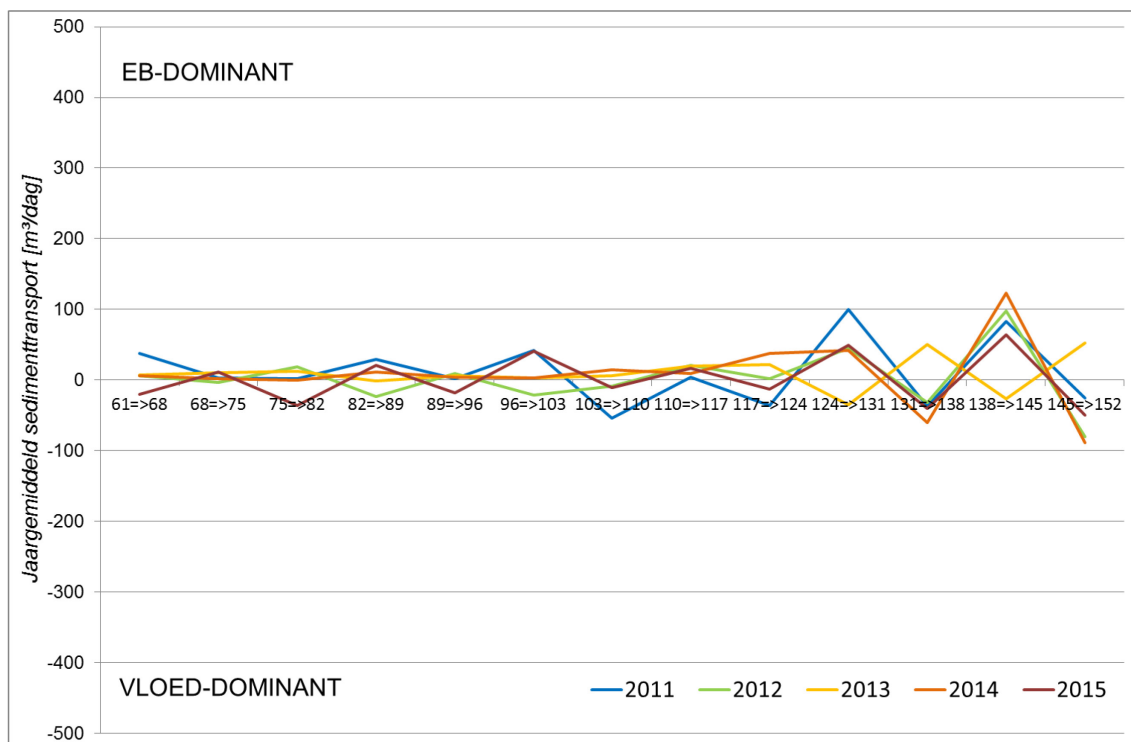
Figuur 30 en Figuur 31 geeft langsheen de volledige rij (resp. rij 5 en rij 6) het afgeleid jaargemiddeld sedimenttransport weer voor de verschillende jaren. In het opwaartse deel (vak 62 – 104), waar quasi geen stortingen plaatsvinden, blijven de transporten beperkt. Voor rij 5 treden in het afwaartse deel (vak 110 - 152) grotere transporten op die fluctueren tussen de verschillende jaren. Voor rij 6, waar het zwaartepunt van de stortingen ligt, treden in het afwaartse deel (vak 111 – 153) de grootste transporten op. Sinds 2012 is het sedimenttransport in de centrale vakken (111 – 139) hoofdzakelijk eb-gedomineerd. Dit zijn tevens de vakken waarin de grootste stortingen plaatsvonden (Figuur 29).

Figuur 32 en Figuur 33 geeft het verloop in de tijd weer van de sedimenttransporten tussen enerzijds 2 vakken in het centrale deel waar geen stortingen plaatsvonden (vak 89/90 en 96/97), een vak in het afwaartse deel waar niet gestort werd (vak 124 en 131) en anderzijds een vak in het afwaartse deel waar veel gestort werd (vak 125 en 132). Beide afgeleide sedimenttransporten geven een zeer chaotisch verloop weer in de tijd.

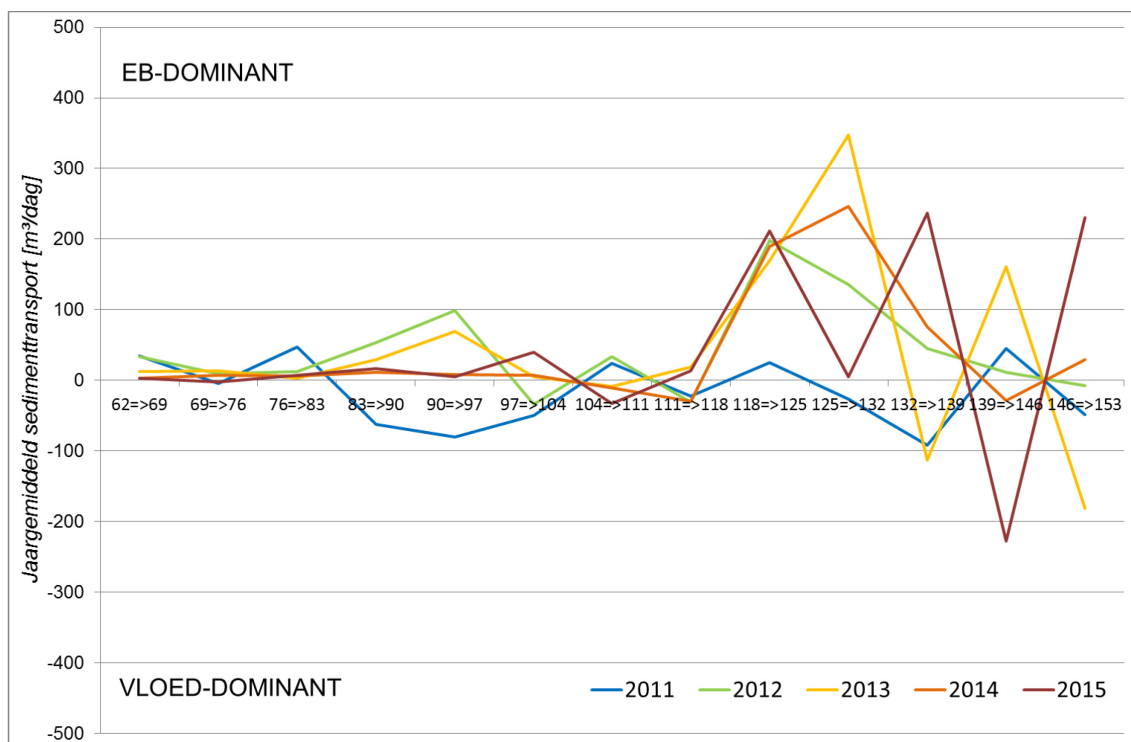
Voor het afgeleide sedimenttransport tussen vak 90 en 97 lijkt er enige seizoenale variatie op te treden: in de lente/zomer (april-juli) zijn er veelal waarden die boven het gemiddelde liggen (minder vloed-gedomineerd / meer eb-gedomineerd), terwijl in de winter (januari – maart) de transporten onder het gemiddelde liggen (minder eb-gedomineerd / meer vloed-gedomineerd).

Voor het afgeleide sedimenttransport tussen vak 125 en 132 lijkt er enige invloed van de stortingen op te treden: in periodes waarin gestort wordt liggen de transporten boven het gemiddelde (minder vloed-gedomineerd / meer eb-gedomineerd), terwijl in periodes zonder stortingen liggen de transporten onder het gemiddelde (minder eb-gedomineerd / meer vloed-gedomineerd). De uitzondering hierop is de laatste storting (rond juli 2015), waar een duidelijke hoeveelheid gestort volume geen aanleiding meer geeft tot eb-gedomineerd transport.

Figuur 30 – Jaargemiddelde sedimenttransporten tussen verschillende vakken van rij 5 ter hoogte van stortzone SH51



Figuur 31 – Jaargemiddelde sedimenttransporten tussen verschillende vakken van rij 6 ter hoogte van stortzone SH51



Figuur 32 –Sedimenttransporten tussen verschillende vakken van rij 5 voor stortzone SH51
Centrale deel (boven) – afwaartse deel (onder)



Figuur 33 –Sedimenttransporten tussen verschillende vakken van rij 6 voor stortzone SH51
Centrale deel (boven) – afwaartse deel (onder)



6 Conclusies en aanbevelingen

6.1 Conclusies

In het kader van het project “Stroming en sedimenttransport op de mesoschaal in het Schelde-estuarium” binnen de Agenda voor de toekomst, werd binnen voorliggend rapport een analyse uitgevoerd van het morfologisch gedrag van stortingen in diepe delen in de Westerschelde. De analyse richt op twee gebieden, SH41 en SH51, waar sinds 2010 aanzienlijke sedimenthoeveelheden werden gestort.

Aangezien de stortingen op deze stortzones frequent (quasi continu) plaatsvinden, werd eerst een selectie gemaakt van periodes waarin enerzijds niet gestort werd en anderzijds ook peilingen voor beschikbaar waren. Door het beperkte aantal weerhouden periodes (telkens 3), werden bijkomende periodes beschouwd waarin slechts beperkte hoeveelheden sediment ($< 150000 \text{ m}^3$) werden gestort om de analyse uit te voeren op een grotere dataset (telkens 7 periodes).

Voor beide interessegebieden is getracht om op basis van alle beschikbare MBES-peilingen sedimenttransporten te bepalen op basis van sedimentbalansen. Zowel voor SH41 als SH51 bleken de resultaten een grote variabiliteit te tonen, waardoor deze zeer moeilijk te interpreteren zijn. De bruikbaarheid van deze techniek was voor deze gebieden te beperkt om zinvolle conclusies te trekken. Dit kan toe te schrijven zijn aan bv. de invloed van de migrerende bodemvormen die de volumeveranderingen beïnvloeden, of de aanname dat het transport één-dimensionaal plaatsvindt volgens de rekenrij, die onterecht is in deze stortzones (helicoïdale stroming en/of verschillende oriëntatie van eb- en vloedstroming).

De stortzone SH41 wordt gekenmerkt door sterke sedimenttransport door migratie van de aanwezige bodemvormen, in casu duinen van 2 à 3 m hoog en 100 m lang. Daarnaast wordt een sterke erosie (tot 100 cm/week) vastgesteld onmiddellijk na een periode van intensief storten. Het geërodeerd materiaal verplaatst zich in stroomopwaartse richting (vloed-gedomineerd).

Op de consistentiekaart zijn er quasi geen gebieden die een “consistent” verloop tonen, het merendeel van het gebied wordt gekenmerkt door een afwisseling van erosie en sedimentatie. Dit is in bepaalde zones toe te schrijven aan de migratie van bodemvormen, waardoor er afwisselend erosie en sedimentatie optreedt.

De stortzone SH51 wordt in het afwaartse deel gekenmerkt door migratie van de aanwezige bodemvormen, in casu duinen van 2 à 3 m hoog en 100 m lang. In vergelijking met SH41 zijn de erosie-sedimentatie snelheden aanzienlijk lager (factor 10). In de periode onmiddellijk na het storten vindt er erosie (tot 10 cm/week) plaats ter hoogte van de stortingen, terwijl afwaarts van de stortingen sedimentatie terug te vinden is. Dit wijst op een hoofdzakelijk eb-dominant sedimenttransport.

Op de consistentiekaart zijn er in tegenstelling tot de SH41 enkele deelgebieden terug te vinden die een consistent verloop tonen. De deelgebieden rond de diepe delen nabij de haven van Walsoorden en het Oude Hoofd van Walsoorden worden grotendeels gekenmerkt door erosie. Net afwaarts van het Oude Hoofd van Walsoorden en langs de rode boeierzijde (kant Plaat van Walsoorden) treedt er eerder sedimentatie op. De sedimentatie langs de rode boeierzijde is vermoedelijk toe te schrijven aan de morfologische veranderingen ter hoogte van de zuidelijke zandtong van de Plaat van Walsoorden, tevens beïnvloed door de stortingen alhier.

6.2 Aanbevelingen

Binnen voorliggend rapport werd gefocust op het morfologisch gedrag van stortingen in diepe delen in de Westerschelde. Waar de morfologische veranderingen kwalitatief kunnen vastgesteld op basis van de MBES-peilingen, bleek het onmogelijk om de sedimentbalans sluitend te maken. Een deel van het sediment verdwijnt buiten het gepeilde gebied waardoor er geen uitspraken kunnen worden gedaan over waar het sediment exact naar toe gaat. Het verdient de aanbeveling een op te meten zone uit te breiden indien de verspreiding in beeld moet gebracht worden.

Daarnaast bleken de berekende sedimenttransporten op basis van de één-dimensionale sedimentbalansen niet bruikbaar te zijn. Indien de sedimenttransporten in beeld moeten worden gebracht, zullen bijkomende acties ondernomen moeten worden. Hiervoor wordt gedacht aan:

- Uitvoeren van sedimenttransportmetingen over een langere periode (minstens 2 weken, volledige springtij-doodtij-cyclus) bij verschillende condities (periode met/zonder stortingen in de omgeving)
- Opzetten van een gedetailleerd numeriek model om de stroming en sedimenttransportpatronen nabij de stortzones in beeld te brengen (voorzien in de 2^e fase van de studie)

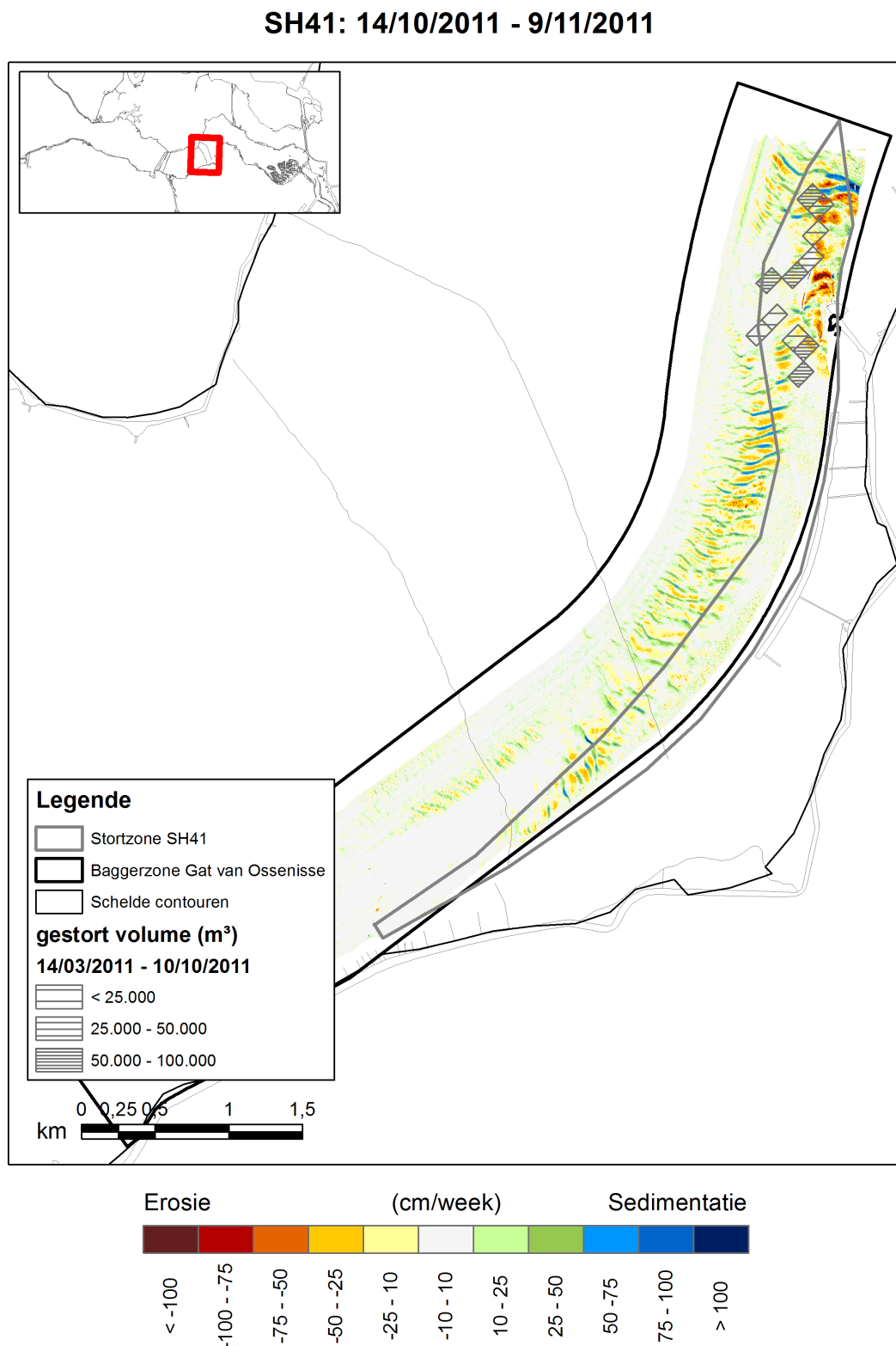
In (IMDC, 2015b) wordt een conceptueel model opgemaakt om de erosie ter hoogte van de stortzones in te schatten. Het verdient de aanbeveling dit model verder uit te breiden (bv. nieuwe stortzones Inloop Ossensisse en diepe put Hansweert) en te valideren (langere tijdreeksen die ondertussen beschikbaar zijn) zodat dit in staat een betere inschatting te maken van de verwachte erosie ter hoogte van de verschillende stortzones.

7 Referenties

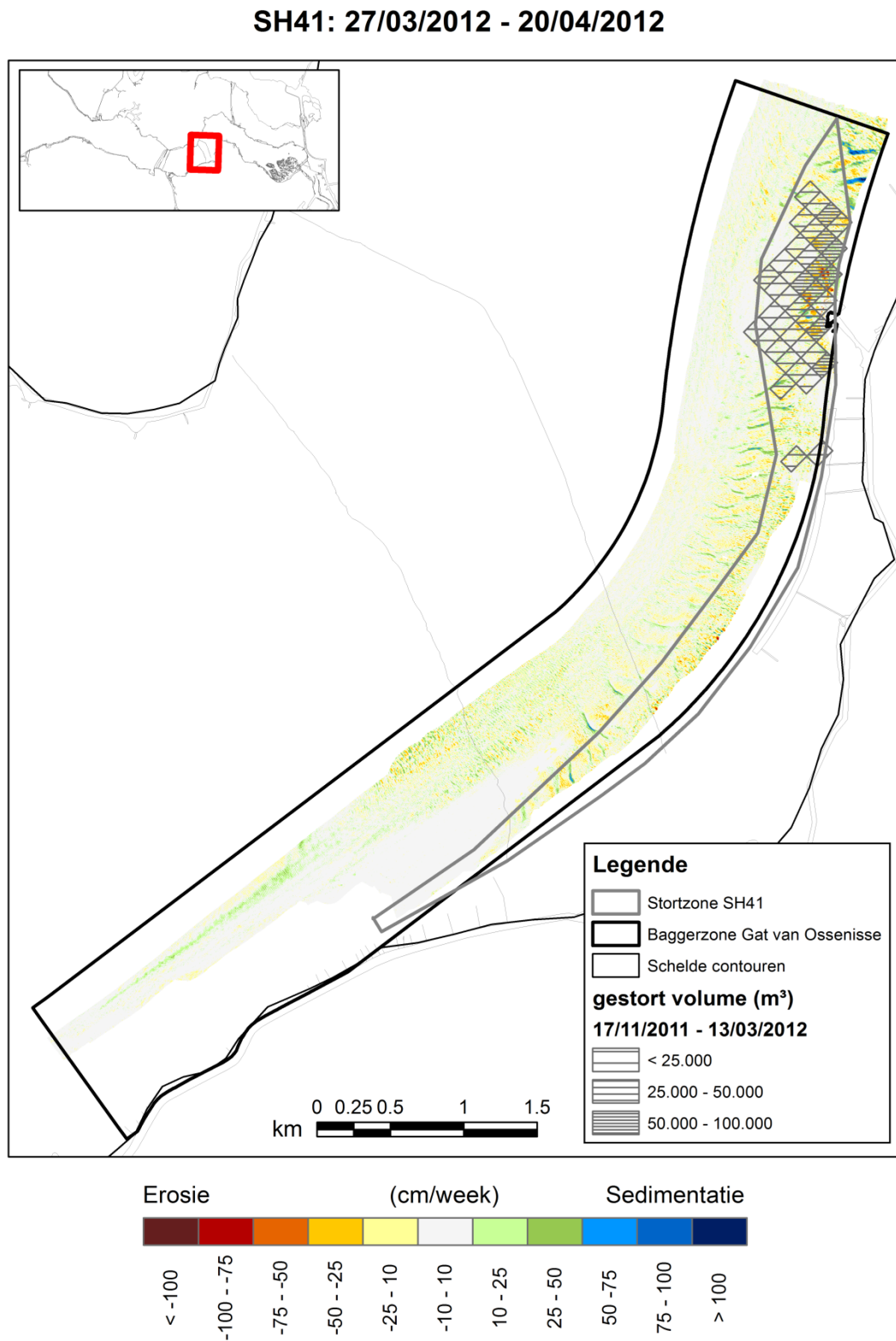
- Ides, S.; Plancke, Y.; De Mulder, T.; Mostaert, F.** (2007). Morfologische analyse van de bagger- en stortintensiteitsdata van de Beneden Zee- en Westerschelde van 2000 tot en met 2005. *RPRT. WL Rapporten*, 791/02. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen
- IMDC.** (2012). Monitoringprogramma Flexibel Storten - Analyse van stortingen in de diepe delen van de hoofdgeul - fase 1
- IMDC.** (2014). Monitoringprogramma Flexibel Storten - Analyse van stortingen in de diepe delen van de hoofdgeul - fase 2
- IMDC.** (2015a). Monitoringprogramma Flexibel Storten - Analyse van stortingen in de diepe delen van de hoofdgeul - fase 3
- IMDC.** (2015b). Monitoringprogramma Flexibel Storten - Analyse van stortingen in de diepe delen van de hoofdgeul - jaarrapport 2014
- IMDC; Deltares; Svasek; Arcadis.** (2013). LTV – Veiligheid en Toegankelijkheid: Grootschalige sedimentbalans van de Westerschelde - Basisrapport grootschalige ontwikkeling G-2
- Jeuken, C.** (2001). Verificatie van het cellenconcept Westerschelde op basis van historische gegevens
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat.** (2010). Vergunning voor het storten van bodemmateriaal - Westerschelde
- Peters, J.J.; Meade, R.H.; Parker, W.R.; Stevens, M.A.** (2001). Improving navigation conditions in the Westerschelde and managing its estuarine environment: how to harmonize accessibility, safety and naturalness?
- Plancke, Y.; Ides, S.; Roose, F.; Peters, J.J.** (2010). A new disposal strategy for the Western Scheldt, conciliating port accessibility and nature preservation, *in*: (2010). *32nd PIANC Congress, 125th anniversary PIANC - setting the course, Liverpool, UK, Liverpool Arena and Convention Centre, 10 - 14 May 2010: PIANC MMX papers*. PIANC. UK section. pp. [1-11]
- Plancke, Y.; Schrijver, M.; Meire, D.; Mostaert, F.** (s.d.). Overleg Flexibel Storten: Deelrapport 22 – Analyse van de waterbeweging, het sedimenttransport en de morfologie nabij de Plaat van Walsoorden
- Rijkswaterstaat Directie Zeeland.** (1998). Milieuaspectenstudie baggerspeciëstort Westerschelde: Middelburg
- Rijkswaterstaat Directoraat-generaal; Vlaamse Gemeenschap.** (2001). Langetermijnvisie Schelde-estuarium
- Stark, J.; Vandenbruwaene, W.; De Maerschalck, B.; Plancke, Y.; Mostaert, F.** (2017). Morfologie mesoschaal: Deelrapport 7 – Sedimentatie ter hoogte van drempels: validatie numeriek model.
- van Veen, J.** (1950). Eb- en Vloedschaar Systemen in de Nederlandse Getijwateren. *Tijdschr. K. Nederlansch Aardrijkskd. Genoot.* 67(2): 303–325
- Vos, G.; Plancke, Y.; Vanlede, J.; Verwaest, T.; Mostaert, F.** (2016). Overleg flexibel storten: opvolgingsrapport 12. Periode juli 2014 - januari 2015. *RPRT. WL Rapporten*, 00_031. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen

Bijlage A – stortzone SH41

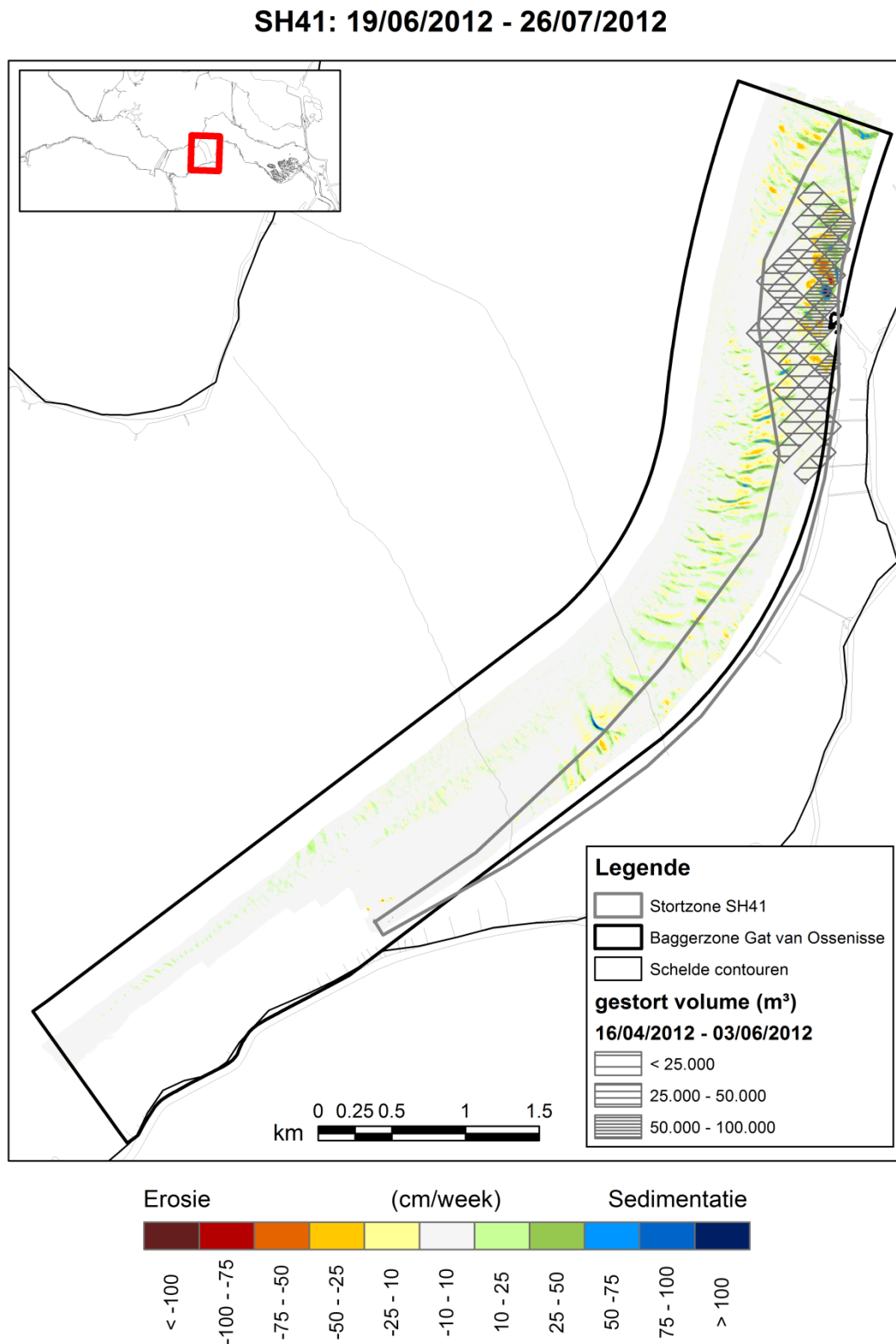
Figuur A 1 – Erosie-sedimentatiekaart voor stortzone SH41 – periode 14/10/2011 – 09/11/2011



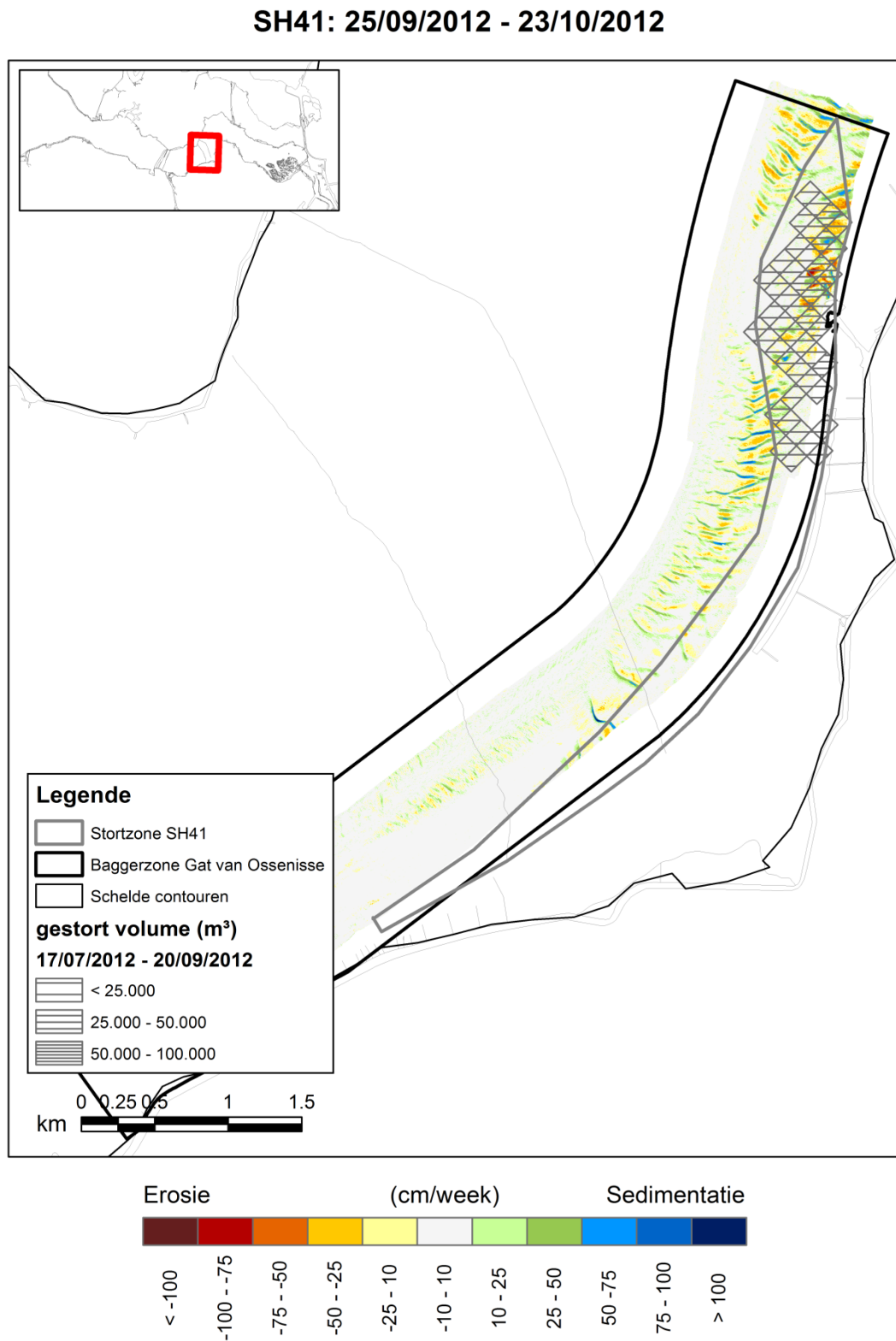
Figuur A 2 – Erosie-sedimentatiekaart voor stortzone SH41 – periode 27/03/2012 – 20/04/2012



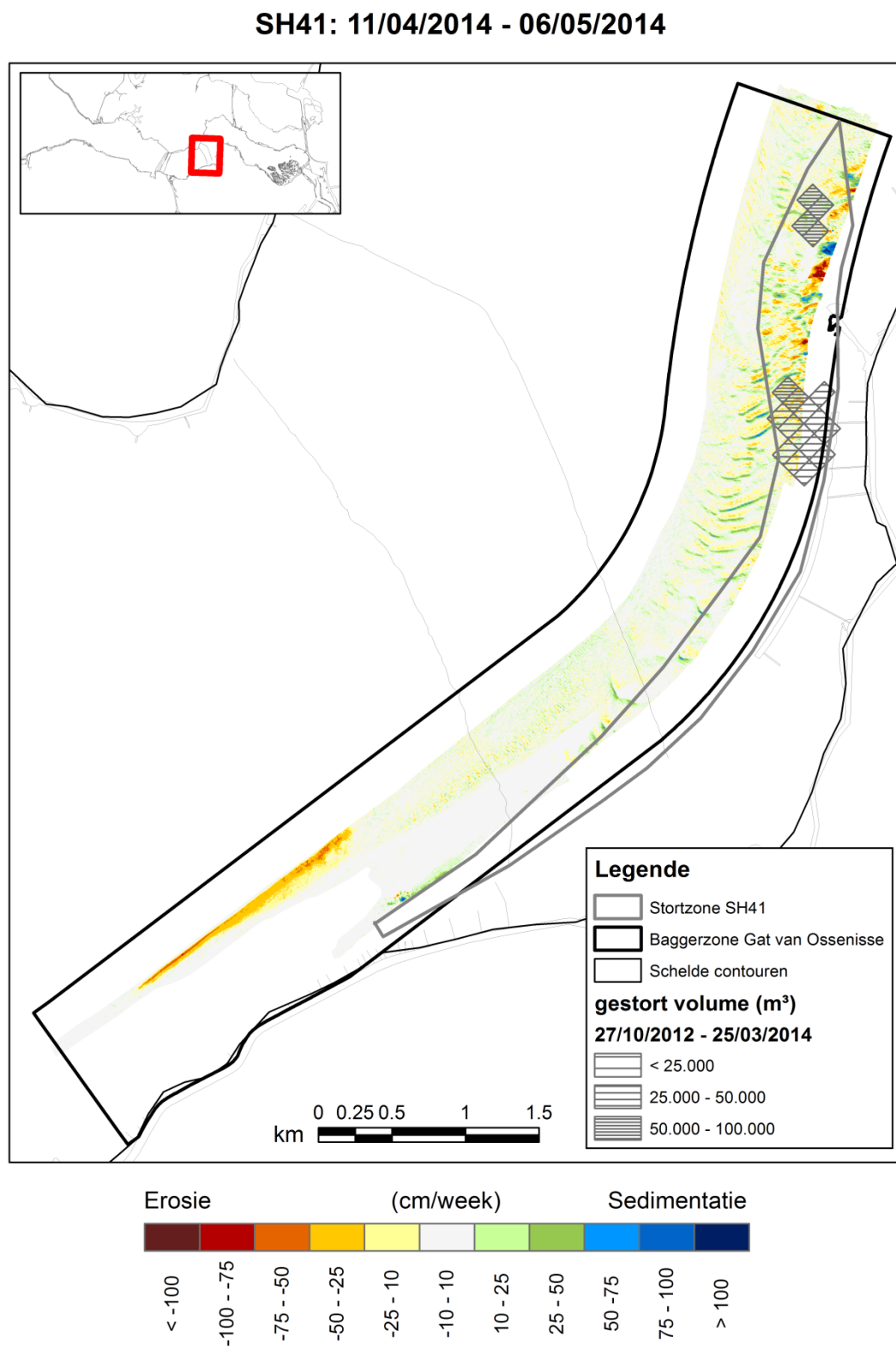
Figuur A 3 – Erosie-sedimentatiekaart voor stortzone SH41 – periode 19/06/2012 – 26/07/2012



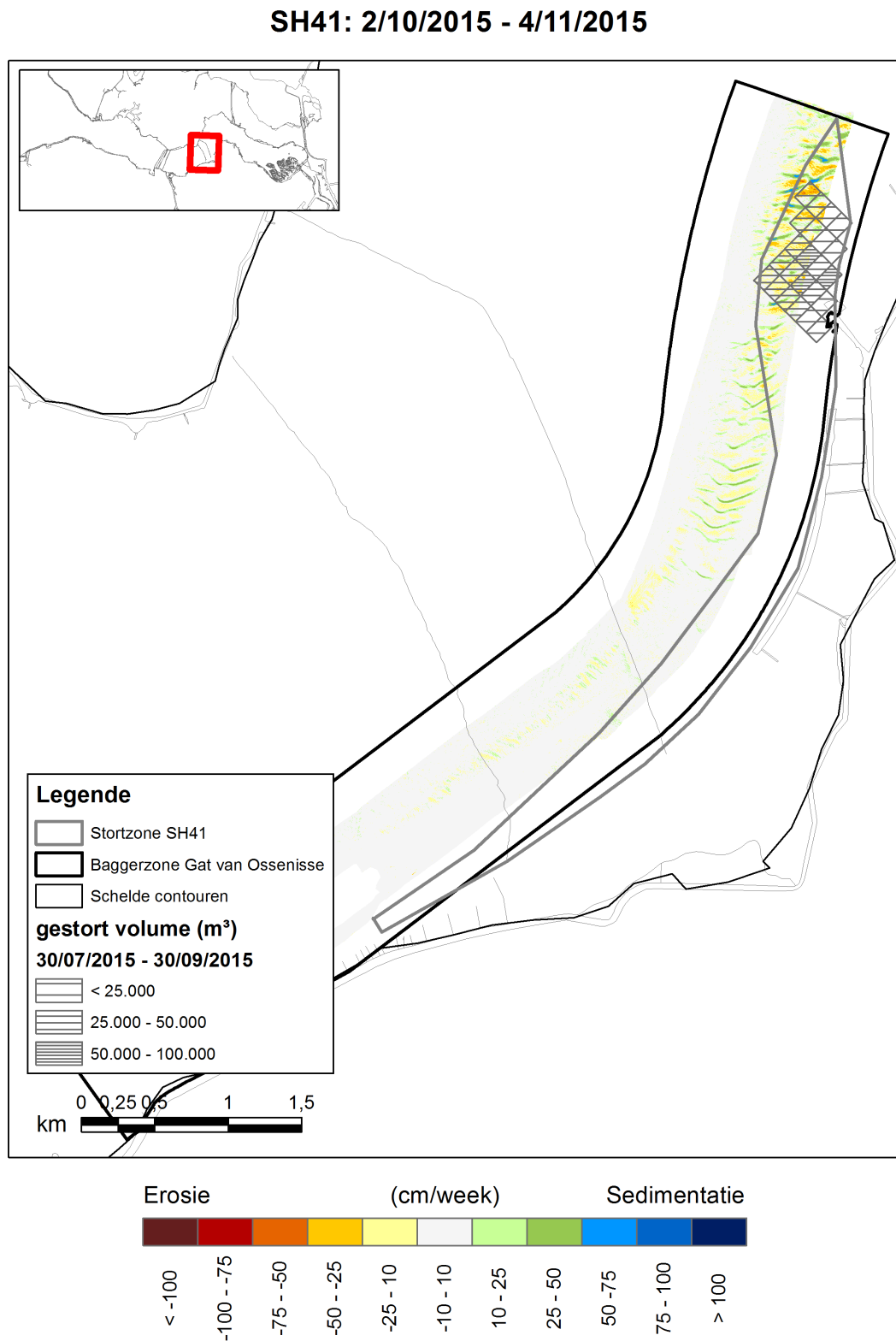
Figuur A 4 – Erosie-sedimentatiekaart voor stortzone SH41 – periode 25/09/2012 – 23/10/2012



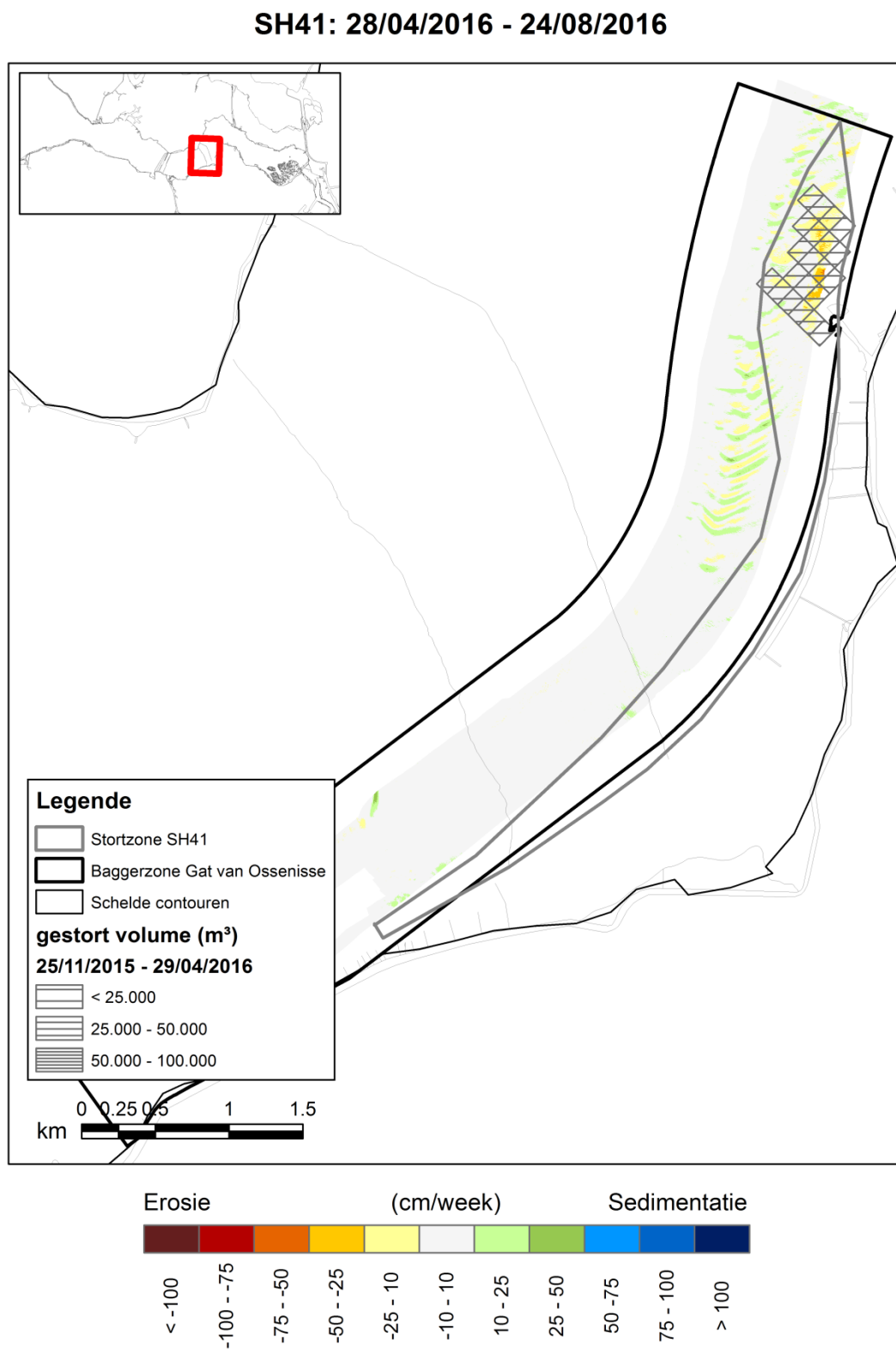
Figuur A 5 – Erosie-sedimentatiekaart voor stortzone SH41 – periode 11/04/2014 – 06/05/2014



Figuur A 6 – Erosie-sedimentatiekaart voor stortzone SH41 – periode 02/10/2015 – 04/11/2015

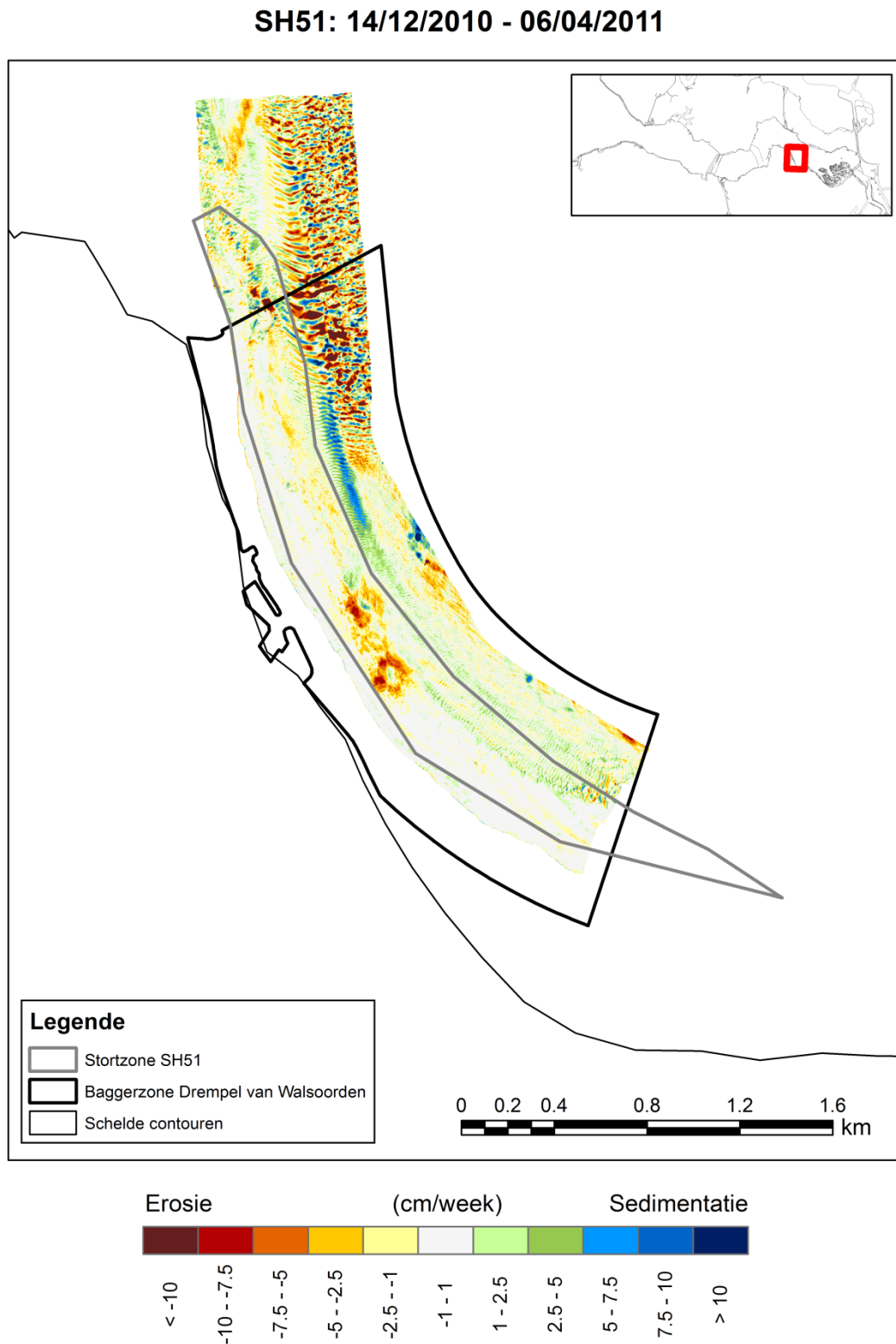


Figuur A 7 – Erosie-sedimentatiekaart voor stortzone SH41 – periode 28/04/2016 – 24/08/2016

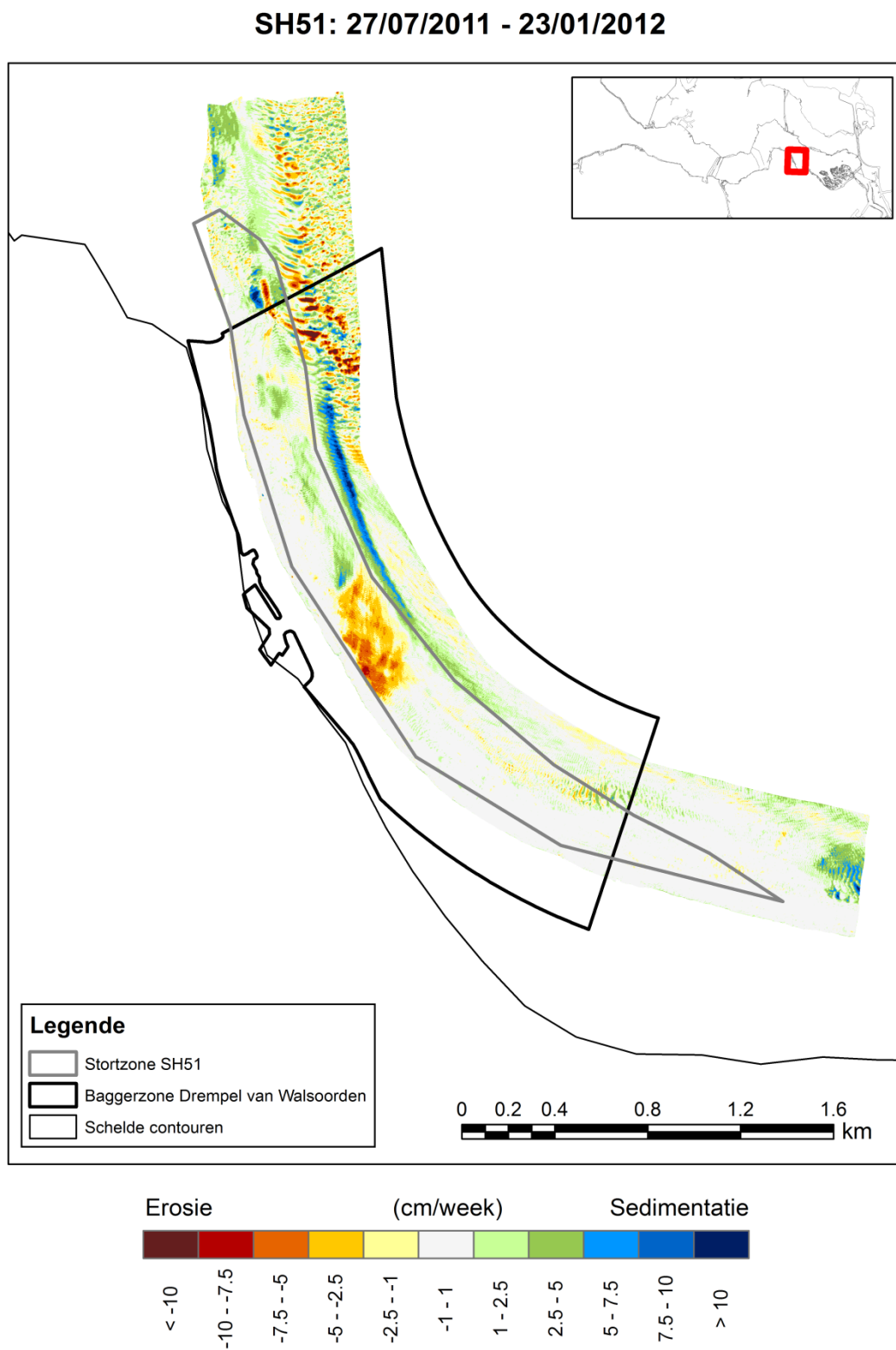


Bijlage B – stortzone SH51

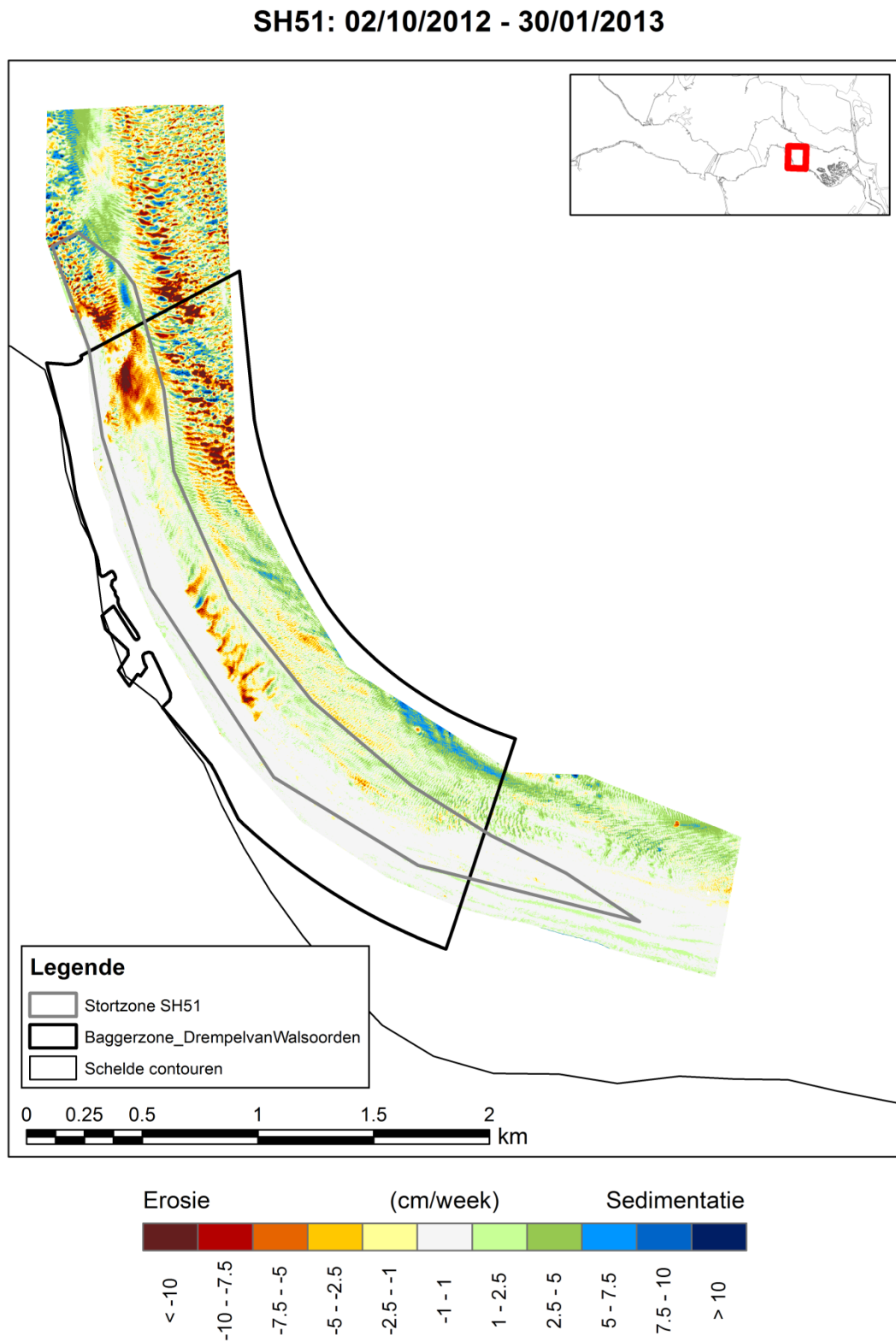
Figuur B 1 – Erosie-sedimentatiekaart voor stortzone SH51 – periode 14/12/2010 – 06/04/2011



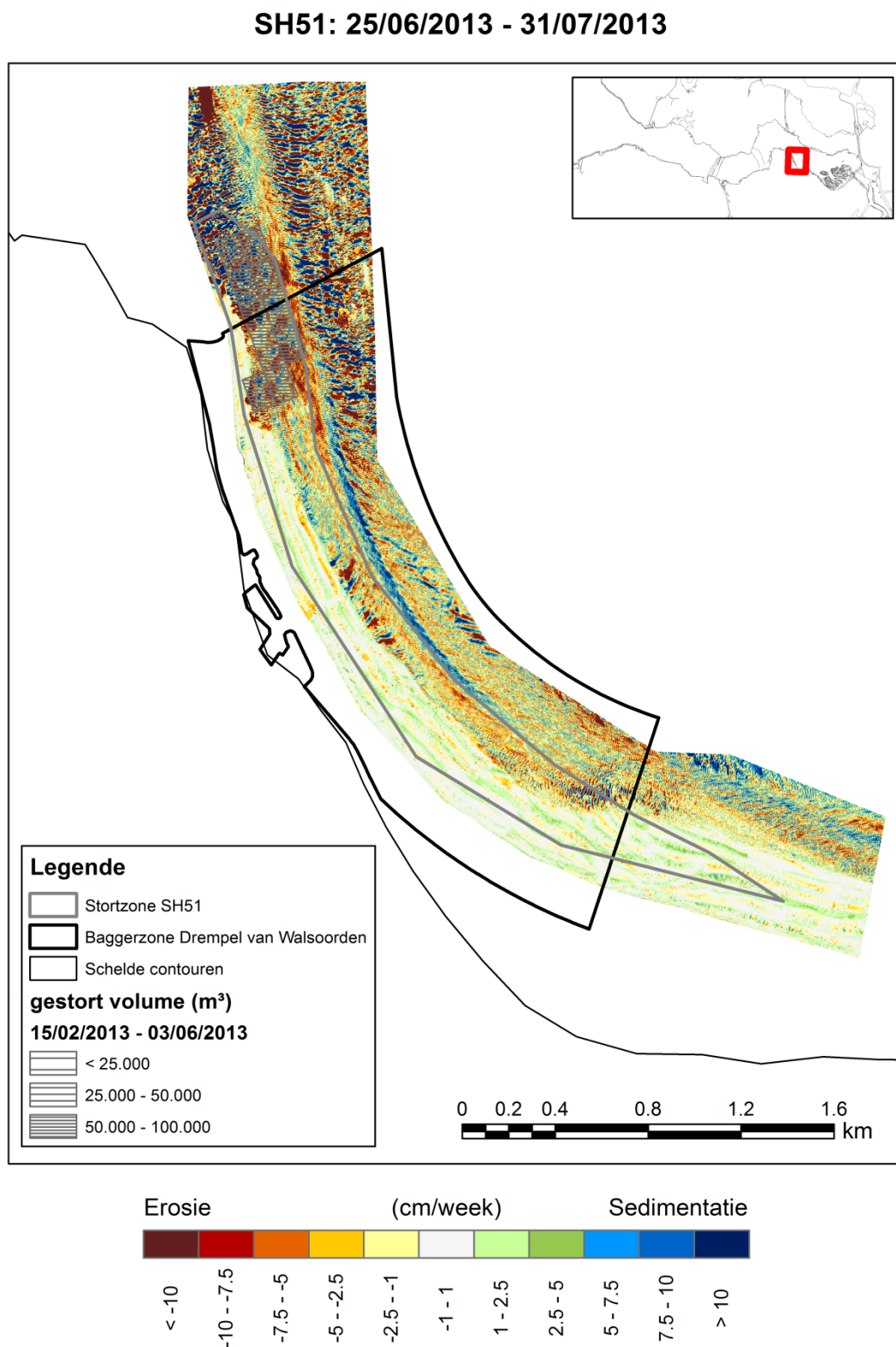
Figuur B 2 – Erosie-sedimentatiekaart voor stortzone SH51 – periode 27/07/2011 – 23/01/2012



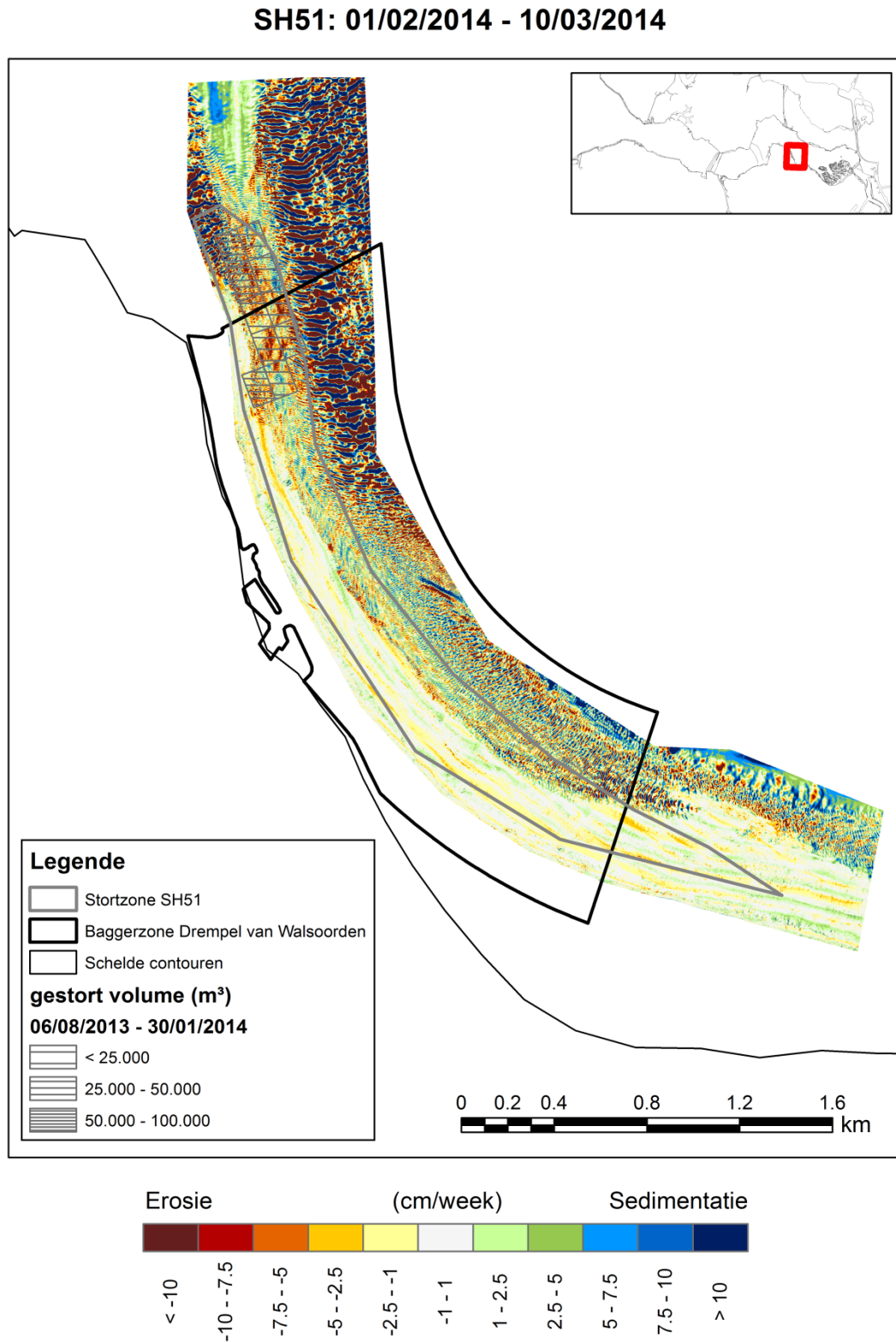
Figuur B 3 – Erosie-sedimentatiekaart voor stortzone SH51 – periode 02/10/2012 – 30/01/2013



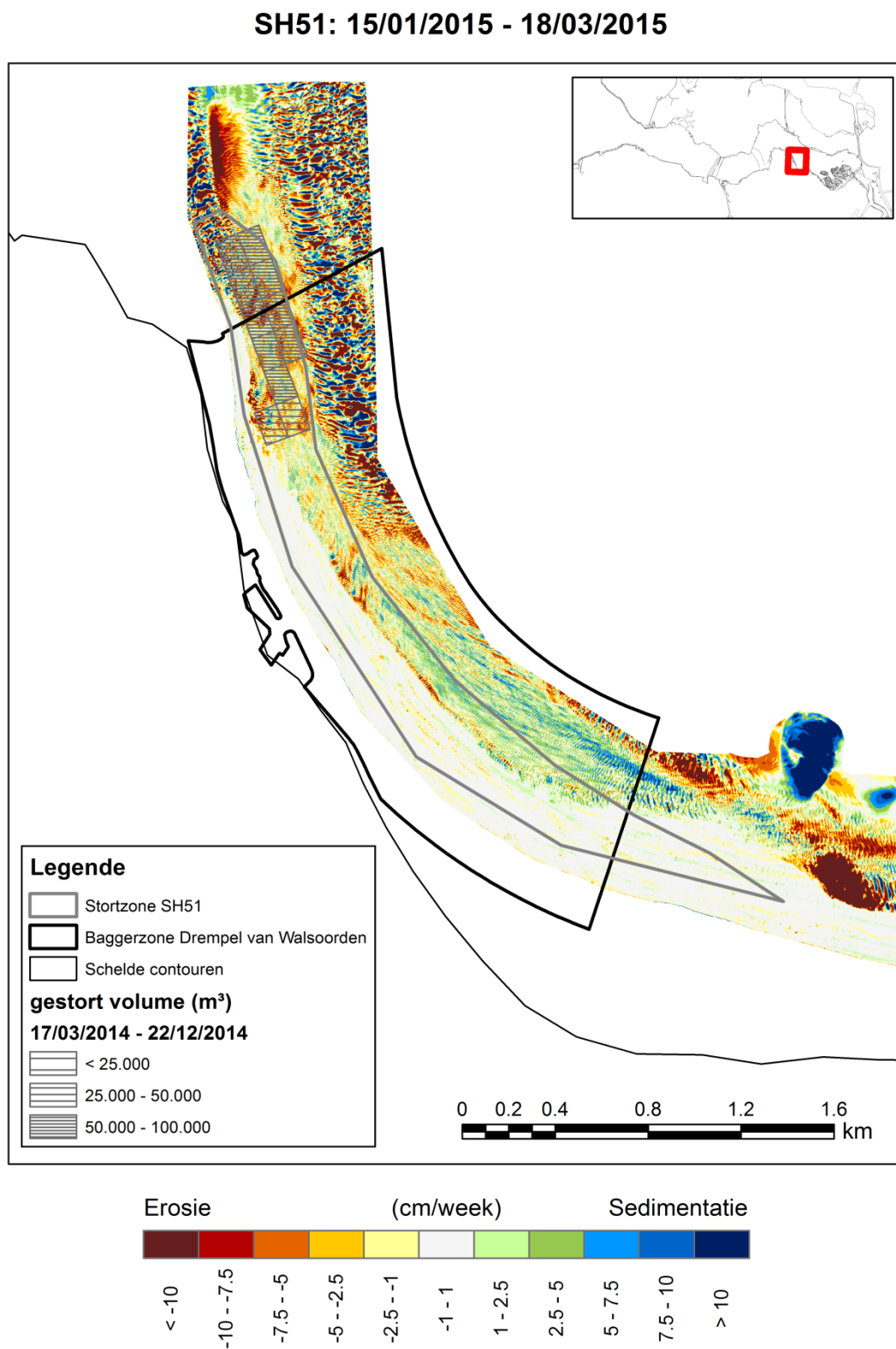
Figuur B 4 – Erosie-sedimentatiekaart voor stortzone SH51 – periode 25/06/2013 – 31/07/2013



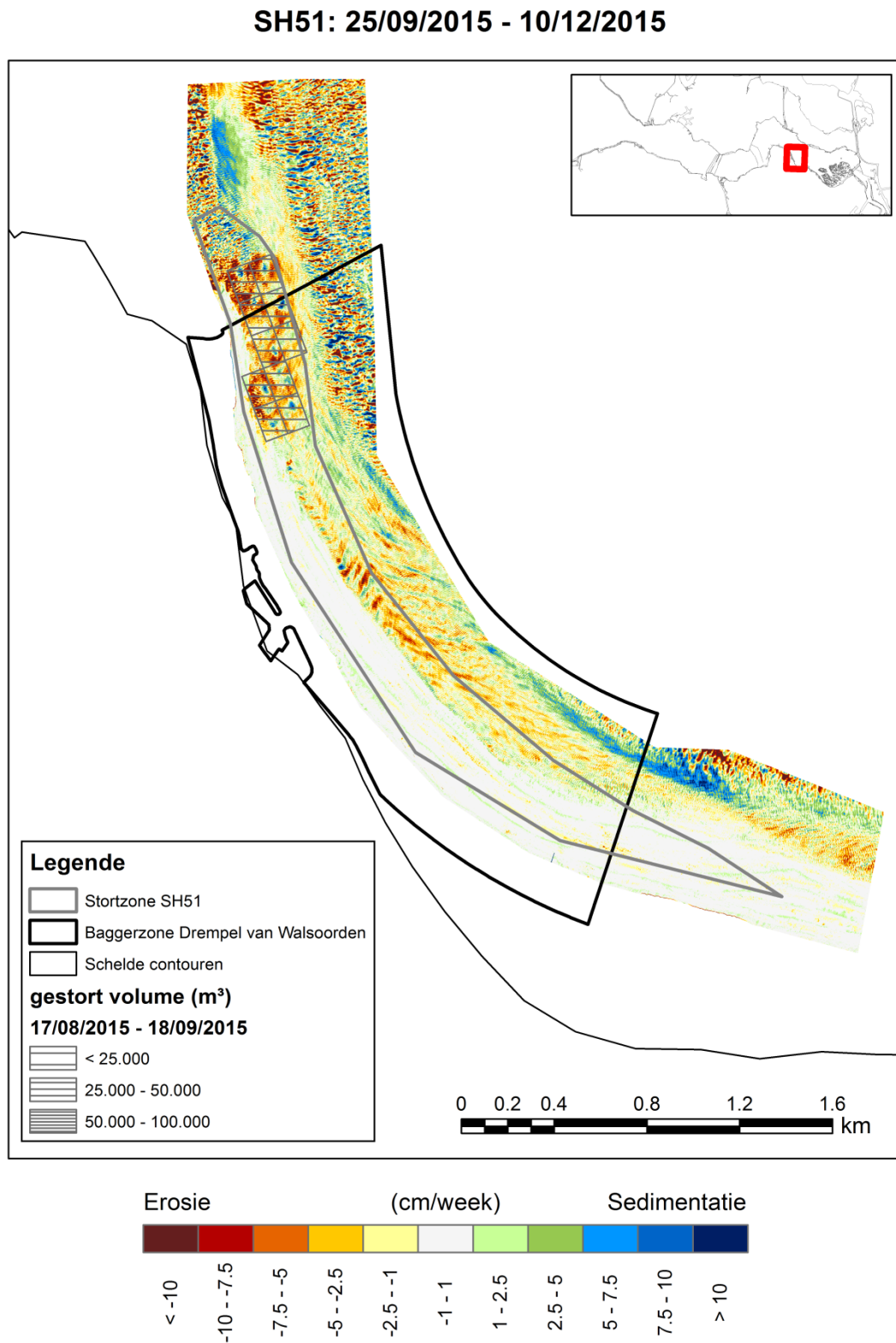
Figuur B 5 – Erosie-sedimentatiekaart voor stortzone SH51 – periode 01/02/2014 – 10/03/2014



Figuur B 6 – Erosie-sedimentatiekaart voor stortzone SH51 – periode 15/01/2015 – 18/03/2015



Figuur B 7 – Erosie-sedimentatiekaart voor stortzone SH51 – periode 25/09/2015 – 10/12/2015



DEPARTEMENT **MOBILITEIT & OPENBARE WERKEN**
Waterbouwkundig Laboratorium

Berchemlei 115, 2140 Antwerpen

T +32 (0)3 224 60 35

F +32 (0)3 224 60 36

waterbouwkundiglabo@vlaanderen.be

www.waterbouwkundiglaboratorium.be