



Vlaanderen
is wetenschap

00_031_20
WL rapporten

Overleg flexibel storten

Deelrapport 20
Analyse van de waterbeweging, het sedimenttransport en
de morfologie nabij de Hooge Platen

DEPARTEMENT
MOBILITEIT &
OPENBARE
WERKEN

waterbouwkundiglaboratorium.be

Overleg Flexibel Storten

Deelrapport 20 – Analyse van de waterbeweging,
het sedimenttransport en de morfologie nabij de Hooge Platen

Plancke, Y.; Schrijver, M.; 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 2017
D/2017/3241/284

Deze publicatie dient als volgt geciteerd te worden:

Plancke, Y.; Schrijver, M.; Meire, D.; Mostaert, F. (2017). Overleg Flexibel Storten: Deelrapport 20 – Analyse van de waterbeweging, het sedimenttransport en de morfologie nabij de Hooge Platen. Versie 1.0. WL Rapporten, 00_031_20. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen & Rijkswaterstaat Zee & Delta: Middelburg.

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

Documentidentificatie

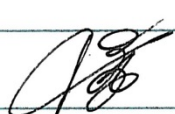
Opdrachtgever:	Overleg Flexibel Storten	Ref.:	WL2017R00_031_20
Keywords (3-5):	Schelde, waterbeweging, sedimenttransport, morfologie		
Tekst (p.):	53	Bijlagen (p.):	8
Vertrouwelijk:	<input checked="" type="checkbox"/> Nee	<input checked="" type="checkbox"/> Online beschikbaar	

Auteur(s):	Plancke, Y.; Schrijver, M.
------------	----------------------------

Controle

	Naam	Handtekening
Revisor(en):	Meire, D.	
Projectleider:	Plancke, Y.	

Goedkeuring

Afdelingshoofd:	Mostaert, F.	
-----------------	--------------	---

Abstract

In het kader van de onderhoudsbaggerwerken van de vaargeul in de Westerschelde wordt het sediment teruggestort deels in de hoofdgeulen, deels in de nevengeulen en deels langs een aantal plaatranden. Bij de opvolging van deze stortstrategie worden jaarlijks een aantal kwaliteitsparameters getoetst. In macrocel 1 werd er bezorgdheid geuit rond de mogelijke invloed van de plaatrandstortingen op de ophoging van de Hooge Platen.

Om deze bezorgdheden te onderzoeken, wordt in dit rapport een analyse uitgevoerd van de waterbeweging, het sedimenttransport en de morfologie in macrocel 1. Deze analyse onderzoekt de invloed van de stortstrategie op deze kwaliteitsparameters. Uiteindelijk wordt er een voorstel geformuleerd voor de toekomstige stortstrategie in macrocel 1, rekening houdend met de randvoorwaarden uit de vigerende vergunning.

Inhoudstafel

Abstract	III
Inhoudstafel.....	V
Lijst van de tabellen.....	VII
Lijst van de figuren	VIII
1 Inleiding	1
1.1 Onderzoeksvragen.....	1
1.2 Leeswijzer	1
2 Systeembeschrijving.....	2
3 Ingrepen.....	3
3.1 Baggeren.....	3
3.2 Storten.....	4
4 Waterbeweging	6
4.1 Getij	6
4.2 Debieten en watervolumes	6
4.2.1 Debietraai 11	8
4.2.2 Debietraai 9	9
4.2.3 Debietraai 7	10
4.3 Stromingen	11
4.3.1 Metingen	11
4.3.2 Modelling	14
4.3.3 Eb-vloed dominantie op basis van stroming	20
5 Sedimenttransport	22
5.1 Metingen	22
5.2 Modelling	25
5.2.1 Methode	25
5.2.2 Resultaten.....	25
5.3 Zandbalans.....	27
5.3.1 Methode	27
5.3.2 Resultaten.....	28
6 Morfologie	31
6.1 Morfologische ontwikkeling op de lange termijn.....	31

6.1.1	Algemeen.....	31
6.1.2	Monding.....	33
6.1.3	Hooge Platen	33
6.1.4	Schaar van Spijkerplaat.....	37
6.1.5	Vaarwater langs Hoofdplaat & Vaarwater langs de Paulinapolder.....	38
6.1.6	Springergeul en Thomaesgeul	38
6.2	Watervolumes geulen	38
6.2.1	Macrocel 1	38
6.2.2	Mesocel 2.....	40
6.3	Hoogteontwikkelingen platen	40
6.3.1	Methode	40
6.3.2	Resultaten.....	41
6.3.3	Overige studies	43
7	Ecologie.....	46
7.1	Doelstellingen.....	46
7.2	Resultaten.....	47
7.2.1	Ecotopenkaarten	47
7.2.2	Kwalitatieve ecologische bemonstering.....	48
8	Voorstel stortstrategie	50
8.1	Probleembeschrijving.....	50
8.2	Voorstel stortstrategie	50
8.2.1	Hooge Platen West.....	50
8.2.2	Hooge Platen Noord	50
8.2.3	Nevengeul SN11	51
8.2.4	Overige zones	51
8.3	Aanbevelingen	51
9	Referenties	52
	Bijlage A – Topo-bathymetrie macrocel 1	B1
	Bijlage B – Ontwikkelingen Hooge Platen	B4
	Bijlage C –Ontwikkeling profielen MC1	B5

Lijst van de tabellen

Tabel 1 – Overzicht gebaggerde hoeveelheden [m ³ in beun]	3
Tabel 2 – Overzicht gestorte hoeveelheden [m ³ in beun].....	5
Tabel 3 – Overzicht uitgevoerd stroommetingen in macrocel 1	12
Tabel 4 – Overzicht van de evolutie maximale snelheid bij gemiddeld tij volgens modelresultaten (verschillen in snelheid weergegeven in m/s)	18
Tabel 5 – Overzicht voorspelde toename oppervlakte laagdynamisch areaal na 5 jaar.....	46
Tabel 6 – Overzicht voorspelde toename oppervlakte laagdynamisch areaal na 5 jaar, inclusief bandbreedte	46
Tabel 7 – Overzicht waargenomen verandering in oppervlakte laagdynamisch areaal na 5 jaar	47

Lijst van de figuren

Figuur 1 – Overzicht geulen en platen in macrocel 1	2
Figuur 2 – Overzicht stortlocaties in macrocel 1	4
Figuur 3 – Ligging debietraaien in macrocel 1.....	6
Figuur 4 – Gemiddeld hoogwater (boven), laagwater (midden) en getijverschil (onder) voor periode 1950 - 2015	7
Figuur 5 – Gemeten eb- en vloedvolumes (boven) en bijbehorende relatieve verdeling over de raaien (onder) voor meetraai 11	8
Figuur 6 – Gemeten eb- en vloedvolumes (boven) en bijbehorende relatieve verdeling over de raaien (onder) voor meetraai 9	9
Figuur 7 – Gemeten eb- en vloedvolumes (boven) en bijbehorende relatieve verdeling over de raaien (onder) voor meetraai 7	10
Figuur 8 – Ligging meetraaien waarop stroommetingen werden uitgevoerd, HPW (links) en HPN (rechts) .	11
Figuur 9 – Voorbeeld stroomsnelheden op punt HPW-MP 0102 gedurende 2 getijcycli	13
Figuur 10 – Relatie tussen maximale stroomsnelheid en getijverschil bij vloed (links) en bij eb (rechts) voor HPW-MP0102	13
Figuur 11 - Overzicht van de tijdstip waarop de vlotter werden losgelaten in het model bij vloed	14
Figuur 12 - Overzicht van de maximale stroomsnelheden bij vloed	15
Figuur 13 - Overzicht van de stroomsnelheden bij vloed (grootte [0–2 m/s] en vectoren)	16
Figuur 14 - Overzicht van de maximale stroomsnelheden bij eb.....	17
Figuur 15 - Overzicht van de stroomsnelheden bij eb (grootte [0–2 m/s] en vectoren)	17
Figuur 16 - Overzicht van de stroombanen tijdens vloed voor Hooge Platen West (tijdstip in legende is moment van loslaten)	19
Figuur 17 - Overzicht van de stroombanen tijdens vloed voor Hooge Platen Noord (tijdstip in legende is moment van loslaten)	20
Figuur 18 - Overzicht van de residuele stroming voor macrocel 1 op basis van bodem 2010 (boven) en 2016 (onder).....	21
Figuur 19 - Overzicht van het meetlocaties nabij Hooge Platen	22
Figuur 20 - Overzicht van het sedimenttransport t.h.v. Hooge Platen Noord (MP01)	23
Figuur 21 - Overzicht van het sedimenttransport t.h.v. Hooge Platen West (MP01)	24
Figuur 22 – Netto sedimenttransport [m ³ /m/s] op basis van hydrodynamische simulatie en offline sediment transport.....	26
Figuur 23 – Concept zandbalans over rekenrij met 11 cellen	27
Figuur 24 – Ligging rekenrijen ter hoogte van de westpunt van de Hooge Platen, met aanduiding rij 14.....	28
Figuur 25 – Storthoeveelheden voor rekenrij 14	29
Figuur 26 – Temporele variatie van de op- en afwaartse randvoorwaarden voor rij 14	29
Figuur 27 – Sedimenttransport op basis van sedimentbalans voor rij 14.....	30

Figuur 28 – Verschilkaart laseraltimetrie 2015 - 2009	31
Figuur 29 – Dieptecontouren voor macrocel 1: 1980 (stippellijn) en 2016 (volle lijn).....	32
Figuur 30 – Dieptecontouren voor macrocel 1: 2000 (stippellijn) en 2016 (volle lijn).....	32
Figuur 31 – Afbakening geulen macrocel 1 en mesocel 2	34
Figuur 32 – Ontwikkeling van de plaat-hoogte in macrocel 1.....	34
Figuur 33 – Volumeveranderingen nabij de Hooge Platen west (boven) en noord (onder).....	35
Figuur 34 – Ontwikkeling van plaat-hoogte (in m NAP) voor profiel 2080 (boven) en profiel 2090 (onder) op de Hooge Platen	36
Figuur 35 – Morfologische ontwikkelingen Schaar van de Spijkerplaat.....	37
Figuur 36 – Ontwikkeling van geul-oppervlakte (links) en geul-volume (rechts) in de hoofdgeul van macrocel 1	39
Figuur 37 – Ontwikkeling van geul-oppervlakte (links) en geul-volume (rechts) in de nevengeul van macrocel 1	39
Figuur 38 – Ontwikkeling van geul-oppervlakte (links) en geul-volume (rechts) in mesocel 2.....	40
Figuur 39 – Ligging sed-ero-plots ter hoogte van Hooge Platen en Hooge Springer	41
Figuur 40 – Hoogte-ontwikkelingen met trendanalyse voor punten 922 (boven), 923 (midden) en 924 (onder).....	42
Figuur 41 – Areaal-ontwikkelingen per droogvalduurklasse in het centrale (boven) en westelijke (onder) deel van de Hooge Platen.....	44
Figuur 42 – Hoogte-ontwikkelingen met trendanalyse voor punten 906 (boven-links), 907 (boven-rechts), 908 (onder-links) en 909 (onder-rechts)	45
Figuur 43 – Verandering in ecotopen rond Hooge Platen tussen 2010 en 2015	47
Figuur 44 – Indeling volgens ecotopen (boven) en voorkomen bodemleven (onder) volgens kwalitatieve bodembemonstering HPN.....	48
Figuur 45 – Voorkomen van verschillende soorten per hoogtezone op Hooge Platen Noord	49
Figuur 46 – Bodemligging (in m NAP) macrocel 1 voor 1980 (boven) en 1990 (onder).....	B1
Figuur 47 – Bodemligging (in m NAP) macrocel 1 voor 2000 (boven) en 2010 (onder).....	B2
Figuur 48 – Bodemligging (in m NAP) macrocel 1 voor 2016.....	B3
Figuur 49 – Ontwikkeling plaatoppervlakte macrocel 1.....	B4
Figuur 50 – Ontwikkeling plaatvolume macrocel 1	B4
Figuur 51 – Diepte-ontwikkeling profiel HP.0001	B5
Figuur 52 – Diepte-ontwikkeling profiel HP.0002	B5
Figuur 53 – Diepte-ontwikkeling profiel HP.0003	B6
Figuur 54 – Diepte-ontwikkeling profiel HP.0004	B6
Figuur 55 – Diepte-ontwikkeling profiel HP.0005	B7
Figuur 56 – Diepte-ontwikkeling profiel HP.0006	B7
Figuur 57 – Diepte-ontwikkeling profiel HP.0007	B8
Figuur 58 – Diepte-ontwikkeling profiel HP.0008	B8

1 Inleiding

In het kader van de verruiming van de vaargeul in de Westerschelde en de Beneden Zeeschelde werd een stortstrategie ontwikkeld waarbij de onderhoudsspecie deels in de hoofdgeulen, deels in de nevengeulen en deels langs een aantal plaatranden wordt teruggestort. Deze strategie werd ook na het aflopen van de vergunningstermijn van 5 jaar verdergezet in de vigerende vergunning. Een intensief monitoringprogramma “MONEOS-T” (Schrijver & Plancke, 2008) levert de benodigde informatie om de effecten van de stortstrategie te beoordelen. Dit gebeurt aan de hand van een aantal kwaliteitsparameters, die in het zgn. “Protocol voorwaarden flexibel storten – kwaliteitsparameters” (Rijkswaterstaat Zeeland *et al.*, 2008) zijn vastgelegd. Jaarlijks worden deze kwaliteitsparameters getoetst binnen het overleg Flexibel Storten. De stortstrategie kan (uit voorzorg) worden aangepast wanneer bepaalde criteria (dreigen) overschreden (te) worden.

1.1 Onderzoeksvragen

In de afgelopen jaren werden er een aantal bezorgdheden geuit rond de duurzaamheid van stortingen nabij plaatranden. Ook de verspreiding van sediment dat gestort wordt in de nevengeulen en hoofdgeulen, heeft aanleiding gegeven tot een aantal onderzoeksvragen. Volgende vragen zijn hierbij aan de orde:

- Hoe verspreid de gestorte specie zich ter hoogte van de plaatranden?
- Naar waar verspreid het sediment zich dat in een bepaald stortvak in de hoofd- of nevengeul gestort wordt?
- Wat is de optimale invulling van de toekomstige stortstrategie (binnen vigerende vergunning).

Voorliggend rapport tracht een antwoord te geven op deze vragen voor het gebied rond de Hooge Platen, gelegen in macrocel 1. Naast dit rapport, wordt in (Plancke *et al.*, s.d.) getracht een antwoord te geven op dezelfde onderzoeksvragen voor het gebied rond de Plaat van Walsoorden, gelegen in macrocel 5.

1.2 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 wordt een beschrijving geven van het studiegebied. Hierbij wordt ingegaan op de langjarige morfologische ontwikkelingen. In hoofdstuk 3 wordt een overzicht gegeven van de ingrepen die in het gebied plaatsvinden. Hoofdstuk 4 richt zich op de waterbeweging in macrocel 1, hoofdstuk 5 op het sedimenttransport en hoofdstuk 6 op de morfologie. In hoofdstuk 7 wordt ingegaan op de ecologische aspecten van de plaatrandstortingen. In hoofdstuk 8 focust tenslotte op de bezorgdheden en geeft een suggestie voor de optimale stortstrategie voor de volgende jaren.

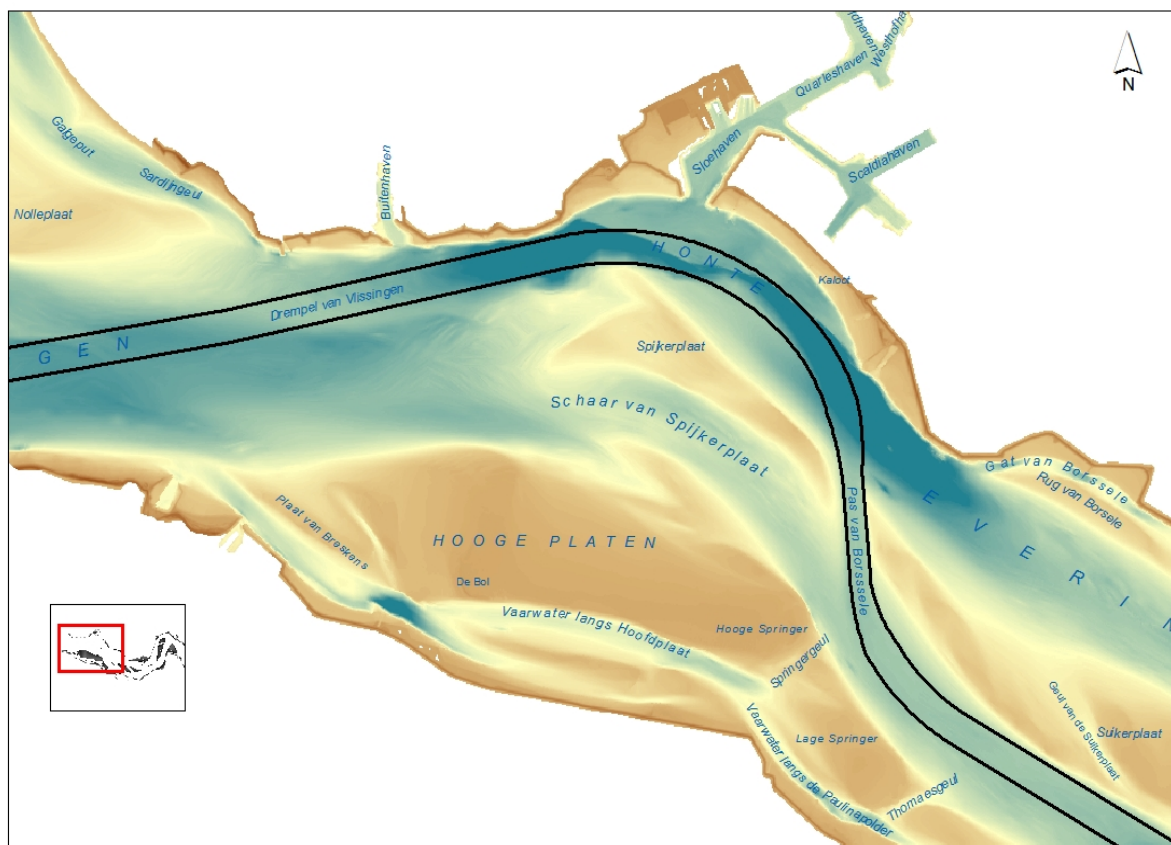
2 Systeembeschrijving

Macrocel 1 wordt gekenmerkt door 2 grote geulen en 2 platencomplexen (Figuur 1). In het zuidelijke deel liggen de Hooge Platen, een plaatcomplex opgebouwd uit de Plaat van Breskens, de Hooge Platen, de Hooge en de Lage Springer. De laatste zijn gescheiden door de Springergeul. De Lage Springer is ook doorsneden door de Thomaesgeul. Het Vaarwater langs de Paulinapolder is door deze twee geulen verbonden met het hoofdvaarwater Overloop van Terneuzen. Aan de zuidwestzijde op de Hooge Platen bevindt zich de Bol. Dit gebied staat enkel bij springvloed onder water en is een broedgebied van dwergsterns, visdiefjes en grote sterns. Daarnaast worden de Hooge Platen gebruikt als foerageergebied, de kokkel en het wadslakje zijn veel voorkomende soorten.

Tussen Zeeuws-Vlaanderen en de Hooge Platen ligt het Vaarwater langs Hoofdplaat, dat oostelijk overgaat in het Vaarwater langs de Paulinapolder. Dit vaarwater wordt gebruikt door recreatie- en binnenvaart en er is een overslagplaats voor de zandwinning. Feitelijk behoort deze geul niet tot macrocel 1, maar de interactie met de Hooge Platen is belangrijk.

Aan de noordzijde van de Hooge Platen bevinden zich de vloedgeul Schaar van Spijkerplaat en de ebgeul Honte. Tussen deze geulen ligt de Spijkerplaat ingeklemd. Deze plaat is oostelijk begrensd door het hoofdvaarwater Pas van Borssele. De Spijkerplaat is een relatief lage plaat die zeer dynamisch is door haar interactie met de migrerende Schaar van de Spijkerplaat.

Figuur 1 – Overzicht geulen en platen in macrocel 1



3 Ingrepen

3.1 Baggeren

Op 12 februari 2010 is gestart met de 3^e verruiming van de vaarweg. Hierbij de is vaarweg verdiept tot een diepte van 14,50 m LAT (i.e. 13,1 m + 12,5% kielspeling), hetgeen de diepte is waarop de vaarweg wordt gehouden middels baggerwerkzaamheden. In macrocel 1 zijn drie locaties waar wordt gebaggerd: de drempel van Vlissingen, de drempel bij de Honte en de drempel van Borssele (op de grens met macrocel 3). In Tabel 1 zijn de gebaggerde hoeveelheden ten behoeve van het onderhoud weergegeven. Wat opvalt is de variatie op de Drempel van Vlissingen: 2013 en 2014 liggen een factor 3 – 5 lager ten opzichte van de jaren 2012 en 2015. In 2015 werden er ook 5 baggercampagnes uitgevoerd, terwijl dit in de andere jaren slechts 1 campagne per jaar was. Reden voor deze toename in 2015 is de extra baggerinspanning op de Honte ter grootte van 522.452 m³ (in situ). Deze verondieping op de Honte wordt veroorzaakt door de noordelijke migratie van de Spijkerplaat die “botst” tegen de hoofdvaargeul.

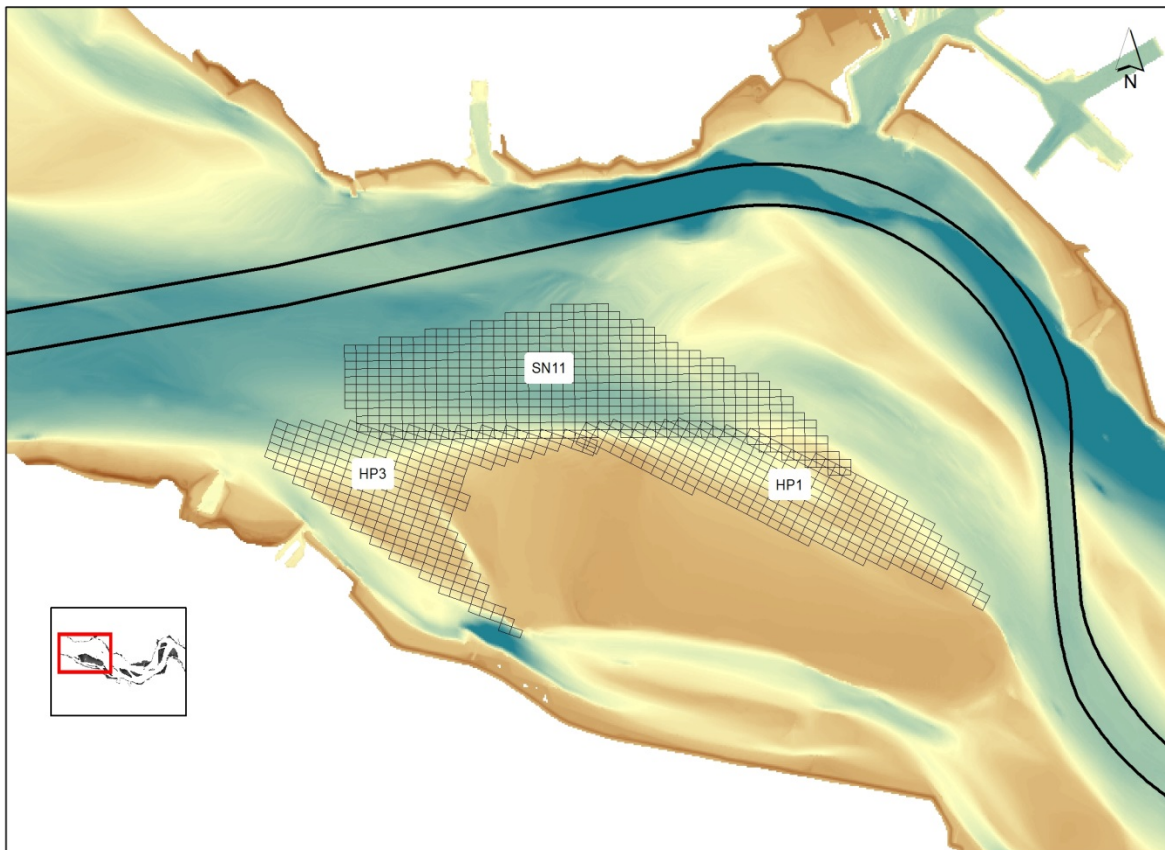
Tabel 1 – Overzicht gebaggerde hoeveelheden [m³ in beun]

	Drempel van Vlissingen	Drempel van Borssele	Totaal
2010	670.911	1.425.741	2.096.652
2011	-	1.429.189	1.429.189
2012	438.988	1.248.251	1.687.239
2013	143.017	1.444.524	1.587.541
2014	124.444	1.410.313	1.534.757
2015	633.609	1.316.474	1.950.083
Totaal	2.010.969	8.274.492	10.285.461

3.2 Storten

In macrocel 1 zijn er drie stortlocaties in gebruik: twee langs plaatranden (HP3 (HP-west) en HP1 (HP-noord)) en een stortgebied in de nevengeul (SN11). De locaties zijn weergegeven in Figuur 2.

Figuur 2 – Overzicht stortlocaties in macrocel 1



In Tabel 2 zijn de gestorte hoeveelheden in de periode februari 2010 – 31 december 2015 weergegeven. De grote hoeveelheden in 2010 op de locaties HP3 en HP1 zijn te wijten aan de bijdrage van de aanleghoeveelheden, waarbij een onderwaterduin aangelegd werd ter hoogte van HP3 en twee zandtongen nabij HP1. Vanaf 2011 dalen de hoeveelheden aangezien hier nog enkel een deel van de onderhoudsspecie werd teruggestort. Voor HP1 werd in 2012 de bezorgdheid geuit dat de stortingen zouden bijdragen tot een versnelde ophoging van de Hooge Platen. Hierdoor zijn sinds 2013 de gestorte hoeveelheden aanzienlijk lager.

De gestorte hoeveelheden zijn conform de vergunning afkomstig uit de macrocel waarin het gewonnen is, of de naastgelegen stroomopwaartse macrocel. Voor de stortlocaties rond de Hooge Platen betekent dit dat het materiaal afkomstig is uit macrocel 1 of macrocel 3. Over de periode 2010-2015 werd ca. 50% meer sediment gestort in macrocel 1 dan er gebaggerd werd, waarbij deze extra specie afkomstig is uit macrocel 3.

Tabel 2 – Overzicht gestorte hoeveelheden [m³ in beun]

	HP3 (West)	HP1 (Noord)	SN11	Totaal
2010	2.186.877	3.813.840	353.809	6.354.526
2011	649.359	672.622	800.122	2.122.103
2012	-	201.382	1.479.064	1.680.446
2013	143.017	-	1.602.679	1.745.696
2014	-	97.235	1.656.489	1.753.724
2015	632.344	20.533	1.382.071	2.034.948
Totaal	3.611.597	4.805.612	7.274.234	15.691.443

4 Waterbeweging

4.1 Getij

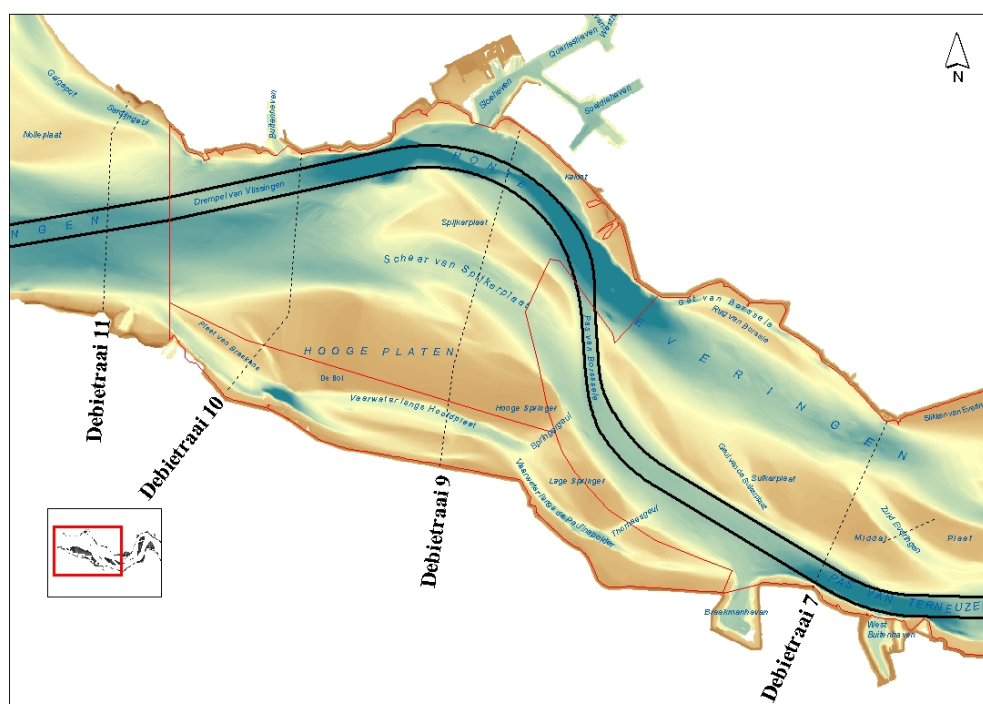
Figuur 4 geeft de ontwikkeling van het getij in het gebied weer. Als vergelijk is hierin het station Westkapelle meegenomen, gelegen in het mondingsgebied van het Schelde-estuarium. Dit ondervindt vanwege zijn ligging geen invloed van ingrepen op de Westerschelde, waardoor een beeld van de verandering van de zeepiegel worden verkregen.

Uit de figuren is af te lezen dat het hoogwater (Figuur 4 – boven) toeneemt voor zowel Westkapelle, Vlissingen als Terneuzen. De gemiddelde laagwaters (Figuur 4 – midden) nemen sinds 1950 ook toe voor de 3 stations, al dit voor Westkapelle (18 cm/eeuw) sterker dan voor de andere stations (resp. 13 en 11 cm/eeuw). Dit vertaalt zich door in het getijverschil: dit vertoont een stijgende trend, die sterker is voor Terneuzen (22 cm/eeuw) dan voor Vlissingen (11 cm/eeuw); voor Westkapelle is de toename in het getijverschil zeer beperkt (2 cm/eeuw), al kan wel duidelijk de 18,6 jarige nodale variatie vastgesteld worden.

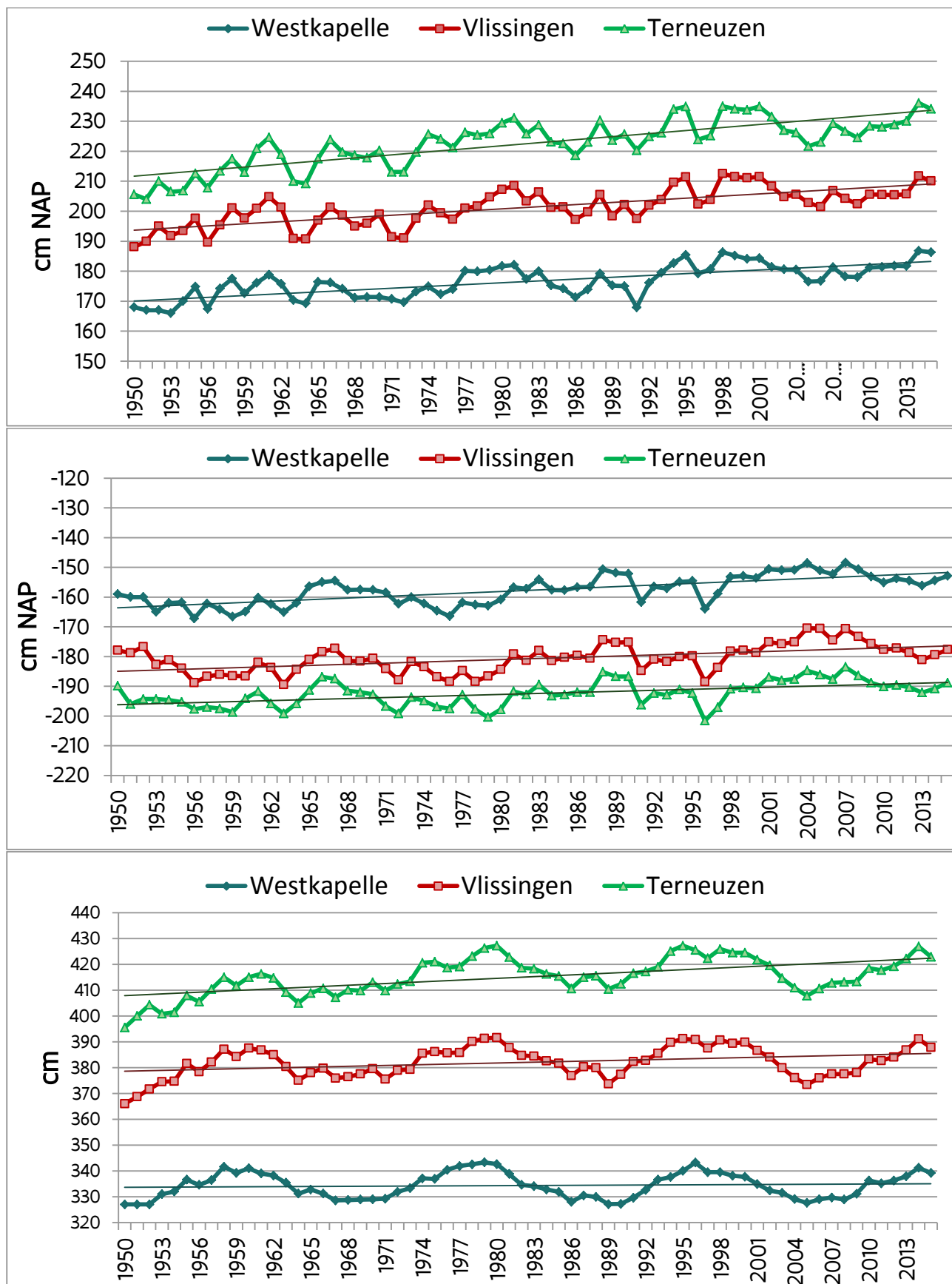
4.2 Debieten en watervolumes

Het debiet wordt op meerdere raaien, lopende vanaf de monding tot de Nederlands-Belgische grens, gemeten. De debietraaien die rond macrocel 1 en mesocel 2 liggen zijn weergegeven in Figuur 3. Om een indruk te krijgen van het totale volume tijdens vloed en eb (getijprisma) en de verdeling over de verschillende geulen zijn de meetgegevens van de debietraaien 11, 9 en 7 weergegeven in de volgende paragrafen.

Figuur 3 – Ligging debietraaien in macrocel 1



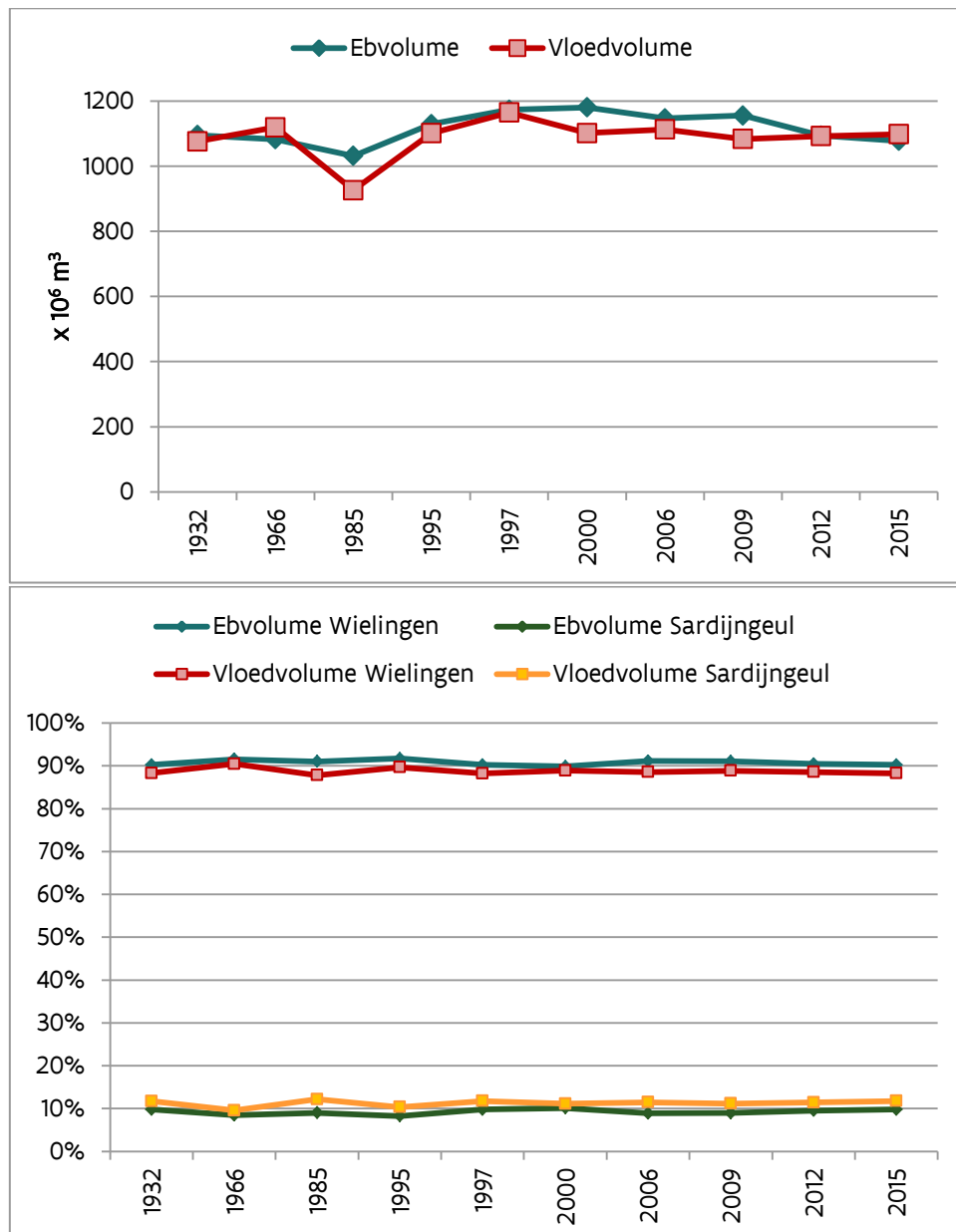
Figuur 4 – Gemiddeld hoogwater (boven), laagwater (midden) en getijverschil (onder) voor periode 1950 - 2015



4.2.1 Debietraai 11

Debietraai 11 is gelegen aan de overgang tussen de Westerschelde en het mondingsgebied en bestaat uit twee secties: de geul Wielingen en de Sardijngeul. In Figuur 5 (boven) zijn de gemeten getijvolumes op de raai weergegeven. Het totale debiet dat de Westerschelde per getij in- en uitstroomt is sinds 2009 nagenoeg constant, en bedraagt in 2015 1.077 Mm³ (ebvolume) en 1.098 Mm³ (vloedvolume). Ook de debietverdeling over de twee geulen is constant in de tijd (Figuur 5 - onder).

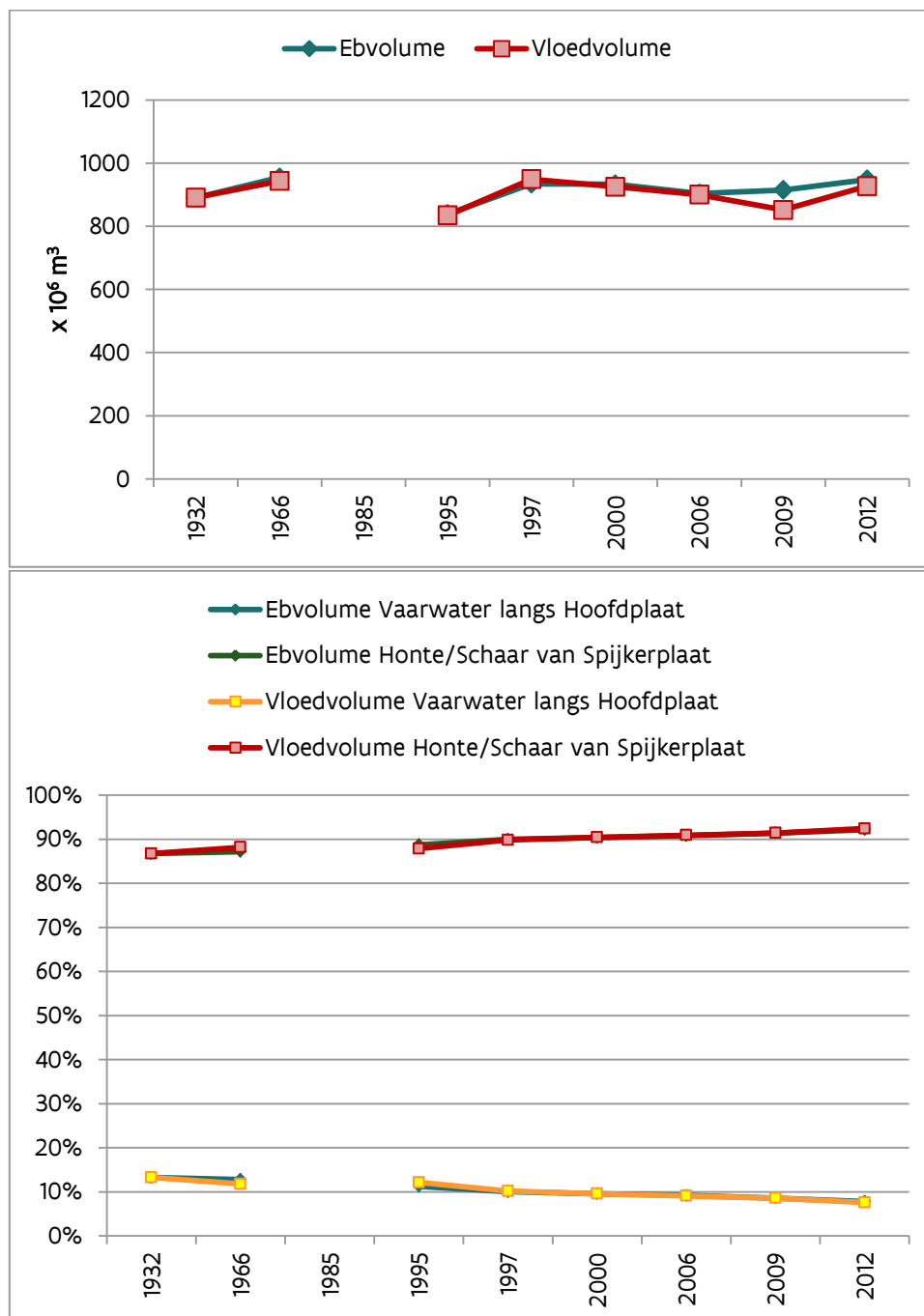
Figuur 5 – Gemeten eb- en vloedvolumes (boven) en bijbehorende relatieve verdeling over de raaien (onder) voor meetraai 11



4.2.2 Debietraai 9

Debietraai 9 ligt centraal in macrocel 1 en is verdeeld in twee secties: de geulen Honte en Schaar van Spijkerplaat en het Vaarwater langs Hoofdplaat. In Figuur 6 (boven) zijn de gemeten getijvolumes op de raai weergegeven. Uit Figuur 6 (onder) is af te leiden dat het getijvolume in de geulen Honte en Schaar van Spijkerplaat toeneemt, ten koste van de getijvolume in het Vaarwater langs Hoofdplaat.

Figuur 6 – Gemeten eb- en vloedvolumes (boven) en bijbehorende relatieve verdeling over de raaien (onder) voor meetraai 9

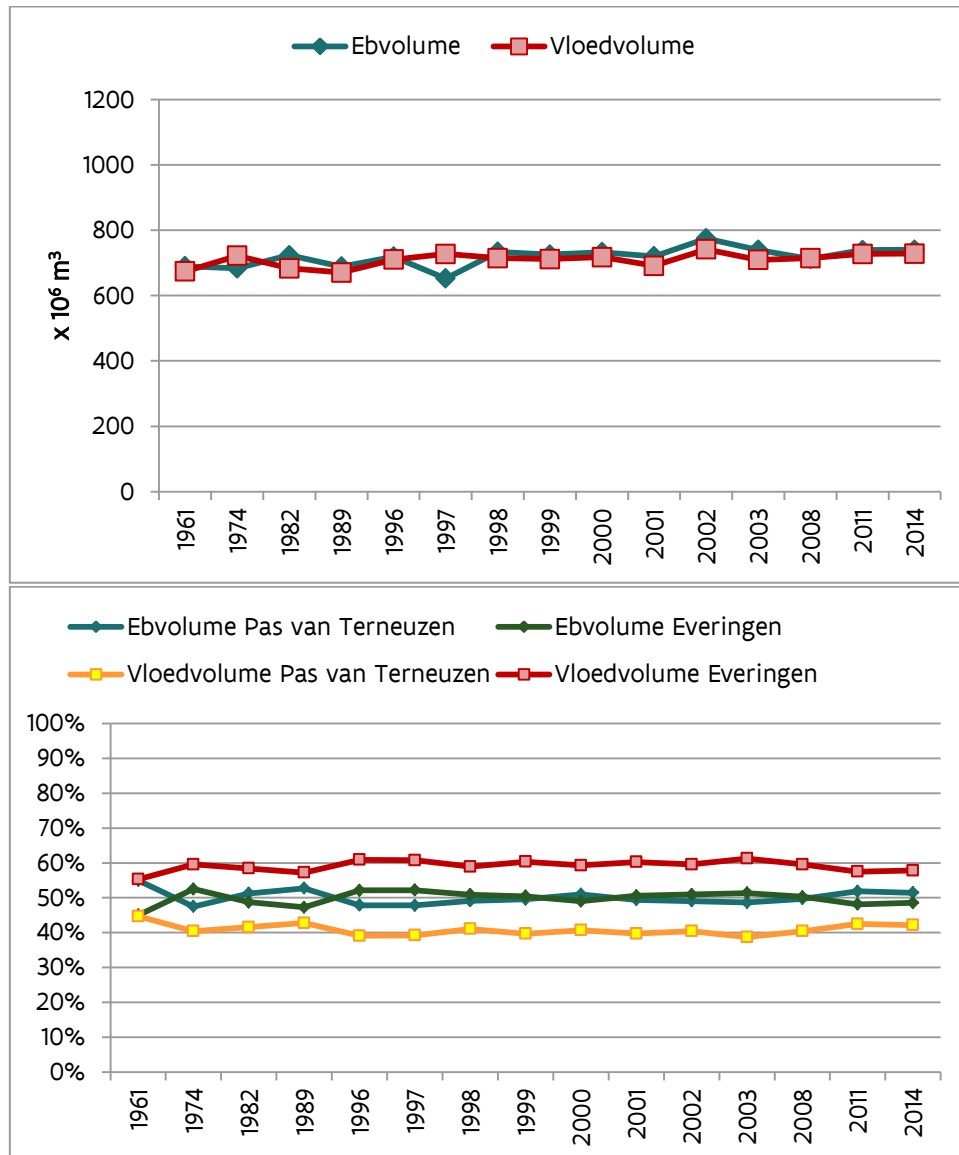


4.2.3 Debietraai 7

Debietraai 7 ligt in de opwaartse macrocel 3 en is verdeeld in twee secties: de ebgeul Pas van Terneuzen en de vloedschaar Everingen. In Figuur 7 (boven) zijn de gemeten getijvolumes op de raai weergegeven.

In Figuur 7 (onder) is te zien het er een verschil in vloedvolume is tussen de twee geulen: het vloedvolume in de Everingen is dominant. Het ebvolume van beide geulen is ongeveer gelijk.

Figuur 7 – Gemeten eb- en vloedvolumes (boven) en bijbehorende relatieve verdeling over de raaien (onder) voor meetraai 7



4.3 Stromingen

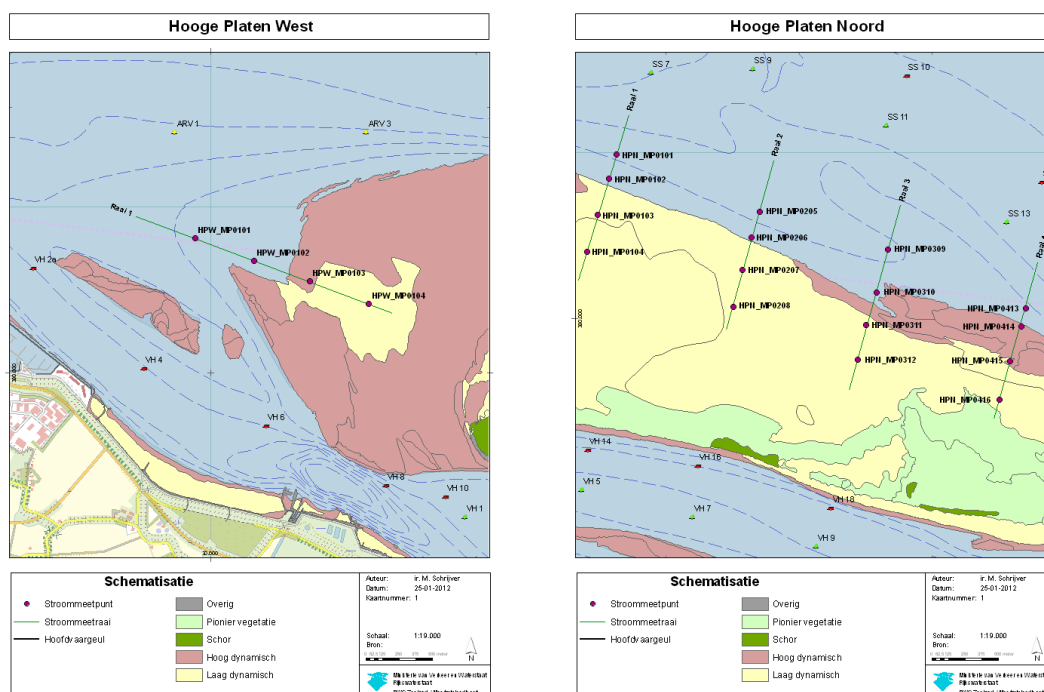
4.3.1 Metingen

Sinds 2009 worden er door Rijkswaterstaat systematisch (minstens 1 keer per jaar) stroommetingen uitgevoerd met behulp van Acoustic Doppler Profiler toestellen (Nortek AquaDopp en RDI Workhorse). Deze metingen focussen op het in beeld brengen van de wijzigingen in stroomsnelheid nabij de plaatranden. Gaandeweg werden ook extra metingen uitgevoerd op interessante gebieden op en langs platen in de Westerschelde. In macrocel 1 werden metingen uitgevoerd op 5 verschillende raaien (Figuur 8). Elke raai bestaat uit één punt in het ondiep sublitoraal en 3 punten op het intertidaal. Tabel 3 geeft een overzicht van wanneer op welke raaien werden gemeten.

Deze metingen, waarbij continu gedurende telkens ca. 4 weken gemeten wordt, laten toe de stromingen in beeld te brengen bij verschillende getijcondities (i.e. 2 springtij-doottij-cycli). Figuur 9 toont de stroomsnelheden over het verticale profiel voor punt HPW-MP0102, gelegen op de westpunt van de Hooge Platen (meetraai 1) ter hoogte van de laagwaterlijn. Dit punt wordt hier gekozen omdat dit in de schaduwzone gelegen is van de megaduin die door middel van stortingen van sediment is aangelegd. Echter, dit punt wordt eveneens beïnvloed door de migratie van de vloedgeul tussen de Plaat van Breskens en de Hooge Platen. Van zodra het punt onbereikbaar wordt door een veranderende bodem (i.e. subtidaal wordt in plaats van intertidaal), wordt een nieuwe locatie gekozen voor het punt.

Figuur 10 toont het resultaat van de analyse die telkens uitgevoerd wordt, i.e. het opstellen van de relatie tussen de maximale stroomsnelheid bij resp. vloed en eb in functie van resp. de stijging en de daling van de waterstanden. Deze analyse laat toe vast te stellen of de maximale stroomsnelheden gewijzigd zijn bij gelijkaardige getijcondities. Voor dit meetpunt kan vastgesteld worden dat de maximale stroomsnelheden bij eb na de stortingen toegenomen zijn, om nadien terug af te nemen tot de waarden in de referentietoestand. Bij vloed zijn de wijziging klein.

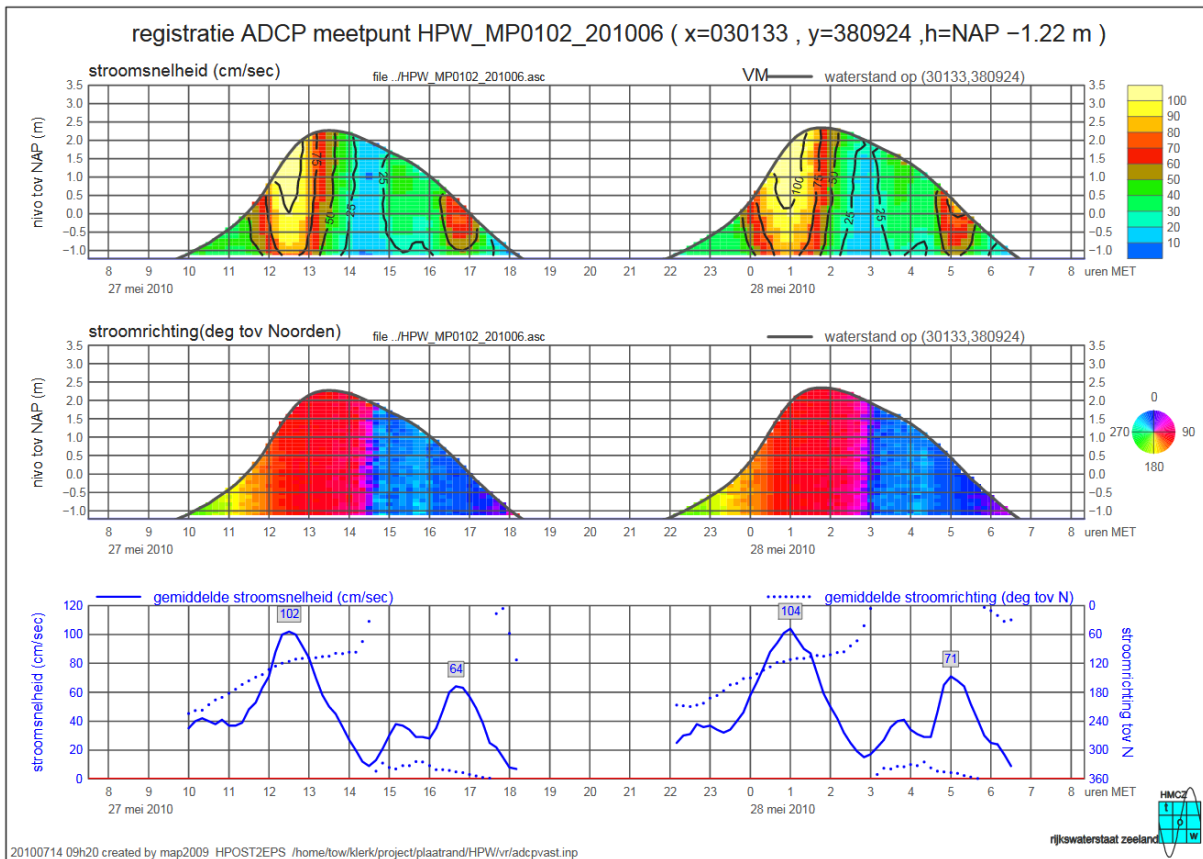
Figuur 8 – Ligging meetraaien waarop stroommetingen werden uitgevoerd, HPW (links) en HPN (rechts)



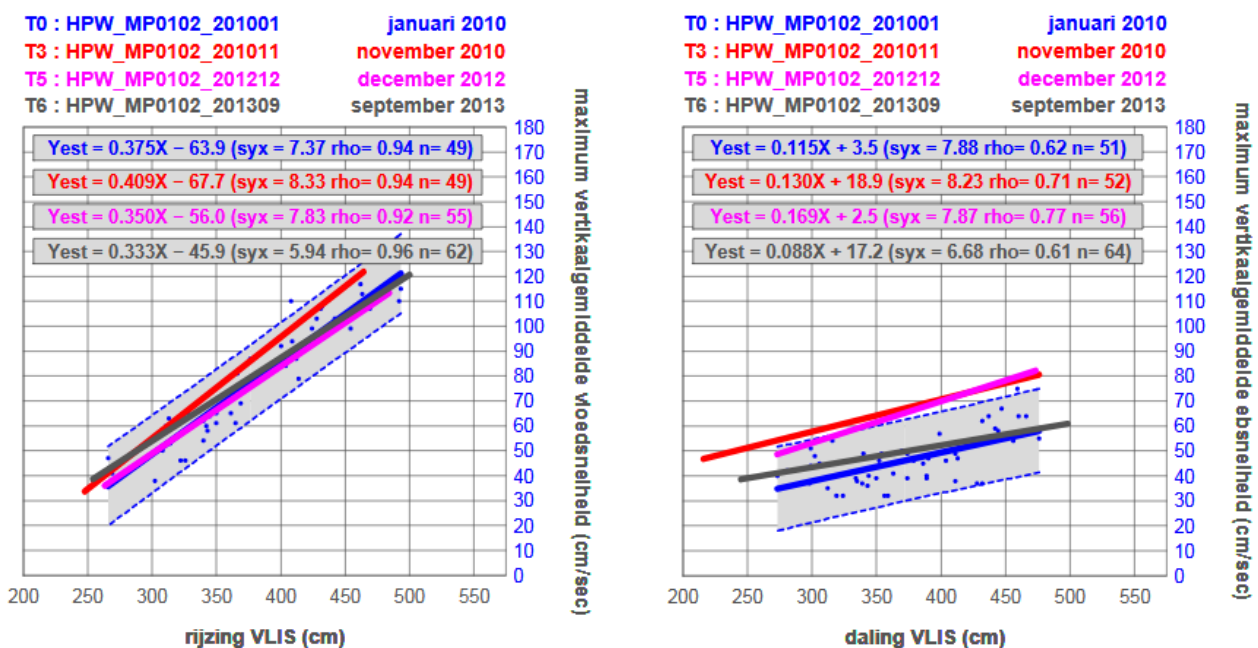
Tabel 3 – Overzicht uitgevoerd stroommetingen in macrocel 1

<i>Van</i>	<i>Tot</i>	<i>Raainummer</i>
22/12/2009	19/01/2010	HPW
04/02/2010	09/03/2010	HPN1, HPN3
16/03/2010	22/04/2010	HPN2, HPN4
18/05/2010	23/06/2010	HPW
28/07/2010	26/08/2010	HPW
11/10/2010	09/11/2010	HPW
15/04/2011	10/05/2011	HPN1, HPN2
23/06/2011	20/07/2011	HPN4
20/07/2011	18/08/2011	HPN2, HPN3
01/11/2011	01/12/2011	HPW
13/08/2012	17/09/2012	HPN1, HPN2, HPN3, HPN4
03/12/2012	14/01/2013	HPW
05/03/2013	02/04/2013	HPN1, HPN2, HPN3, HPN4
18/08/2013	23/09/2013	HPW
04/03/2014	17/04/2014	HPN1, HPN2, HPN3, HPN4
08/01/2015	05/02/2015	HPN1, HPN2, HPN3, HPN4

Figuur 9 – Voorbeeld stroomsnelheden op punt HPW-MP 0102 gedurende 2 getijcycli grootte (boven), richting (midden) en diepte-gemiddelde snelheid (onder)



Figuur 10 – Relatie tussen maximale stroomsnelheid en getijverschil bij vloed (links) en bij eb (rechts) voor HPW-MP0102



4.3.2 Modelling

Methodologie

In het kader van het Overleg Flexibel Storten worden (half)jaarlijks de veranderingen in de stroompatronen nabij de plaatranden in beeld gebracht op basis van numerieke modellen. Voor een uitgebreide beschrijving van de gebruikte numerieke modellen wordt verwezen naar (Vos *et al.*, 2012) en (Vos *et al.*, 2016). In het kader van deze studie, werden deze modellen ingezet om de stroombeelden in beeld te brengen. Hierbij wordt enerzijds gekeken naar de maximale stroomsnelheden bij vloed en eb, en anderzijds naar de stroompatronen op basis van vlotters in de verschillende fasen van het getij. Hierna wordt een korte beschrijving gegeven van hoe deze resultaten bekomen worden.

Ruimtelijke stroombeelden

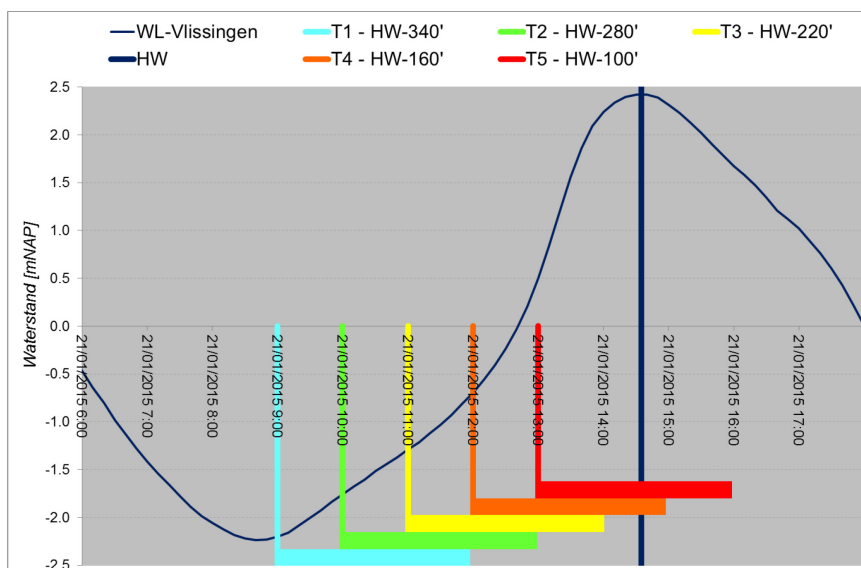
Bij een simulatie worden met een bepaald tijdsinterval ruimtelijke stroombeelden opgeslagen. Voor deze studie is ervoor gekozen elke 10 minuten een ruimtelijk beeld van de stroming (grootte en richting) op te slaan. Op basis van deze gegevens werd over een volledige vloed- en ebfase gezocht naar de maximale snelheid. Dit levert de maximale vloed- en ebsnelheid op. Naast deze extreme waarden, worden ook op een aantal karakteristieke moment de stromingen getoond aan de hand van vectoren, zodat ook de stroomrichting zichtbaar is.

Stroombanen

In het numerieke model kunnen op gekozen tijdstippen “vlotters” losgelaten worden die door de stroming worden meegevoerd. Binnen voorliggende studie werden voor zowel de Hooge Platen West als de Hooge Platen Noord 3 punten gedefinieerd waar gedurende de vloedperiode elk uur vlotters werden losgelaten. De vlotters werden 3 uur gevolgd zodat deze telkens een beeld geven van de stroming gedurende een venster van 3 uur in de vloed.

Figuur 11 geeft het moment weer dat de vlotters werden losgelaten alsook de periode waarover de vlotter gevolgd werden in het model. Per tijdstip van loslaten is een bepaalde kleur gekozen die eveneens in Figuur 16 (HP west) en Figuur 17 (HP noord) gebruikt wordt om de stroombanen weer te geven.

Figuur 11 - Overzicht van de tijdstip waarop de vlotters werden losgelaten in het model bij vloed (kleuren overeenkomstig aan kleur van de stroombaan)



Ruimtelijke stroombeelden

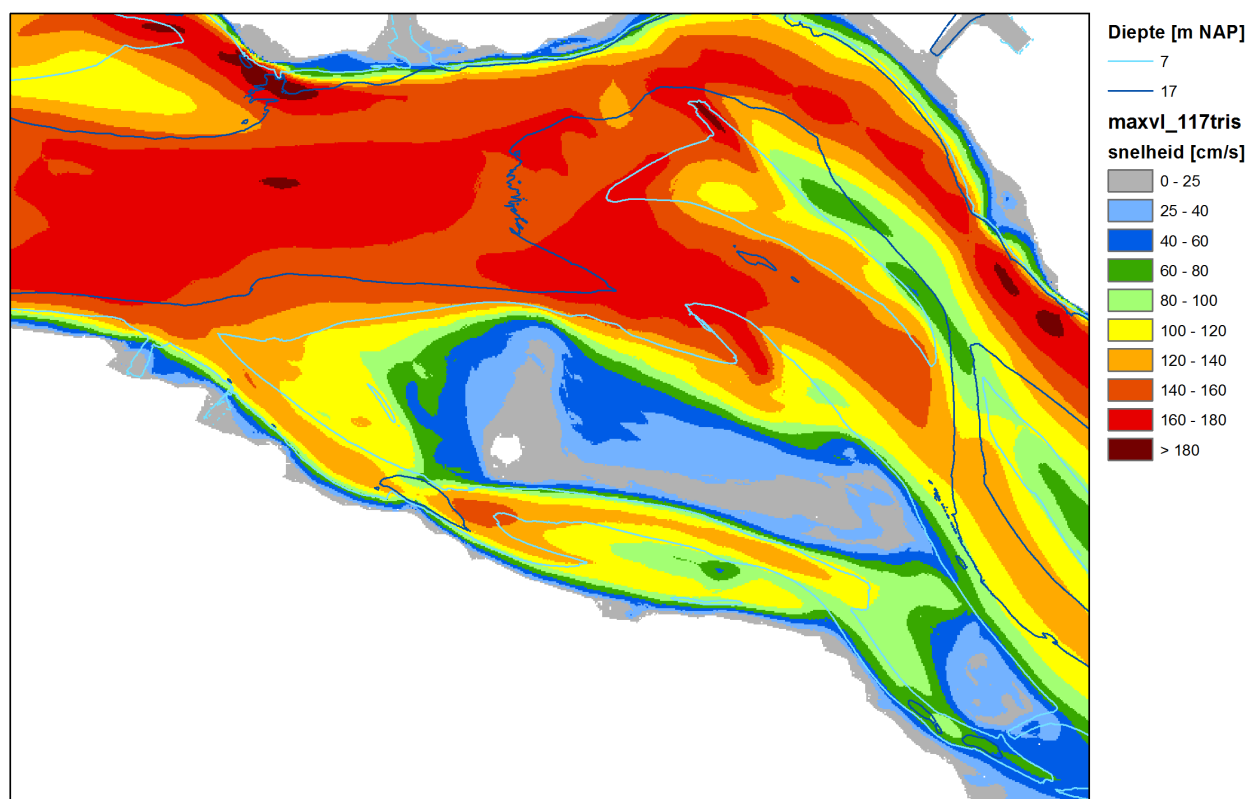
Vloed

Figuur 12 geeft een overzicht van de maximale stroomsnelheden bij vloed. De grootste snelheden worden waargenomen in de diepere delen van de geulen, waar de maxima oplopen tot meer dan 160 cm/s. De hoogste waarden worden teruggevonden in het westelijke deel van de Schaar van de Spijkerplaat en ter hoogte van de vernauwing Vlissingen-Breskens (over quasi volledige breedte).

Zowel nabij de westpunt van de Hooge Platen als nabij de noordrand liggen de maximale stroomsnelheden lager: op de westpunt worden waarden bereikt tot 100 cm/s op het litoraal, tot 120 cm/s in het subtidaal. Langs de noordrand zijn de stroomsnelheden vergelijkbaar, waarbij dient opgemerkt te worden dat op de plaat de maximale stroomsnelheden aanzienlijk lager zijn (< 60 cm/s) ten gevolge van het beschuttende effect van de Bol en de zandrug ten noorden van de Bol. Opwaarts van de Spijkerplaat ontstaat tevens een stroomluwe zone met maximale stroomsnelheden lager dan 100 cm/s.

Figuur 13 geeft de stroomvectoren weer op het moment van maximale vloedstroming. Hieruit kan afgeleid worden dat ter hoogte van de Hooge Platen west de Bol optreedt als splitsingspunt: een deel van de stroming wordt in noordelijke afgebogen richting Schaar van de Spijkerplaat, een deel wordt afgebogen in zuidelijke richting naar het Vaarwater langs de Hoofdplaat. Voor Hooge Platen noord loopt de stroming grotendeels parallel aan de plaatrand, behalve in het westelijke deel waar het water ook “op de plaat stroomt”.

Figuur 12 - Overzicht van de maximale stroomsnelheden bij vloed

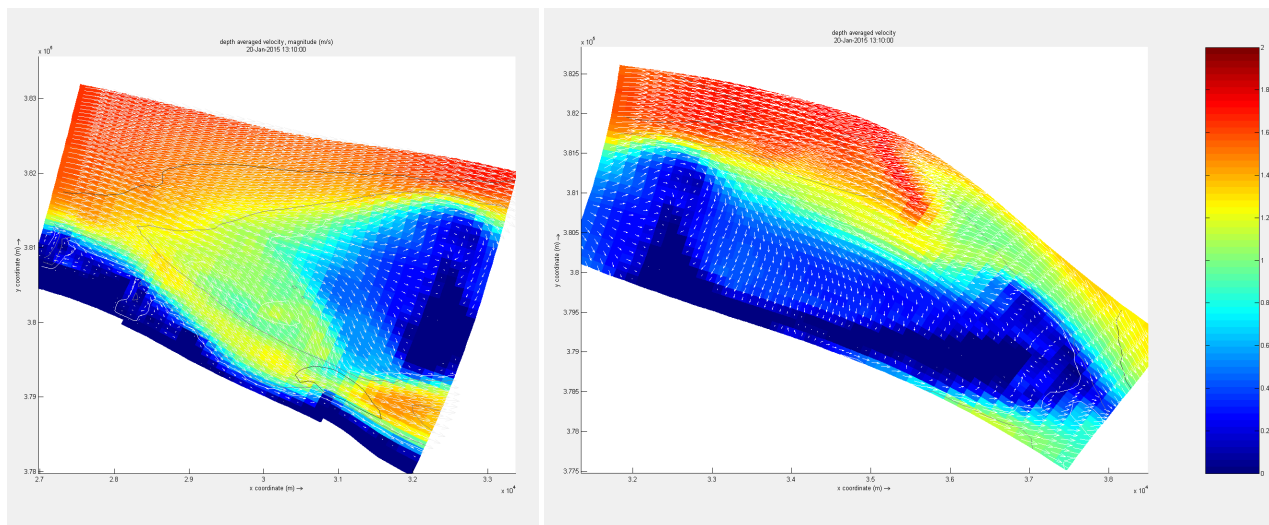


Project: 00_031 O&M Flexibel Storten
Auteur: Vos G.
Revisor: Plancke Y.
Datum van opmaak: 8/04/2016



0 0,75 1,5 3 Km

Figuur 13 - Overzicht van de stroomsnelheden bij vloed (grootte [0–2 m/s] en vectoren)



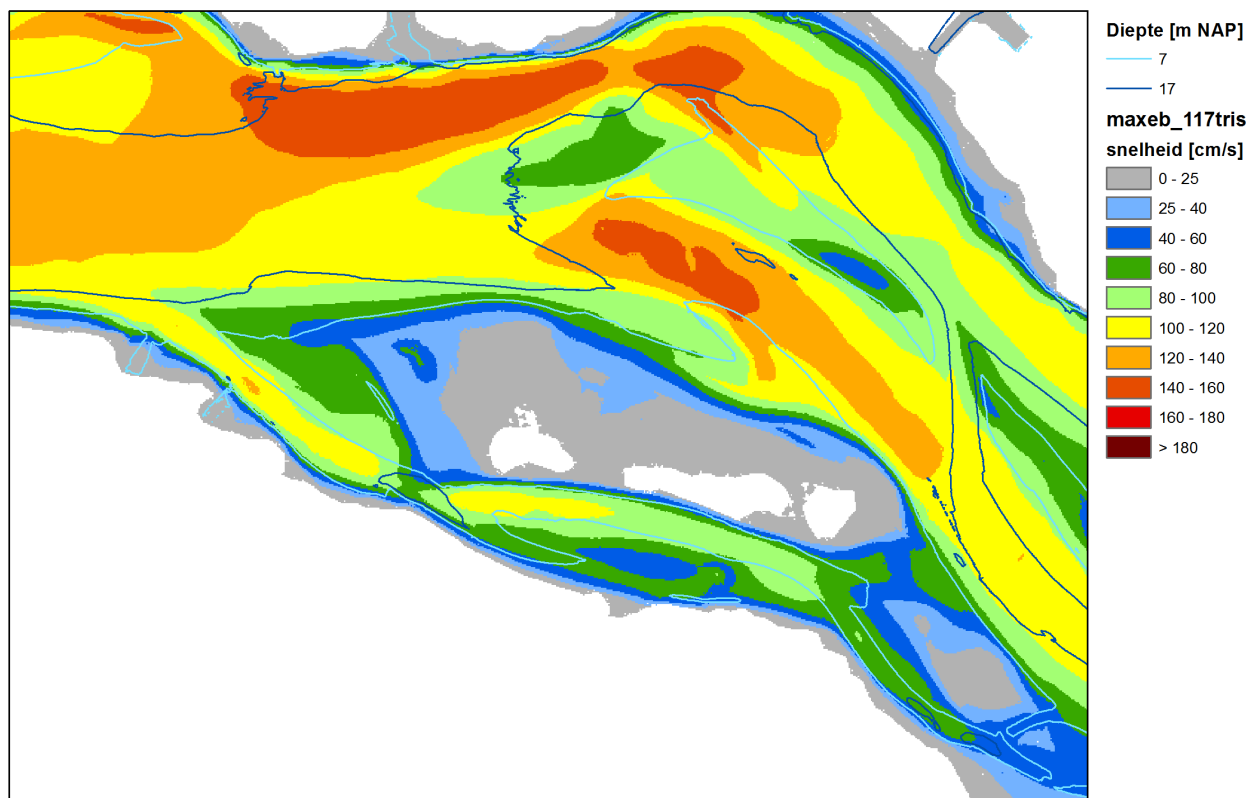
Eb

Figuur 14 geeft een overzicht van de maximale stroomsnelheden bij eb. Ook hier worden de grootste snelheden waargenomen in de diepere delen van de geulen. Maxima blijven beperkt tot 140 cm/s en doen zich voor in het oostelijke deel van de Schaar van de Spijkerplaat en ter hoogte van de Honte.

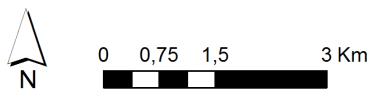
Zowel nabij de westpunt van de Hooge Platen als nabij de noordrand liggen de maximale stroomsnelheden lager: op de westpunt worden waarden bereikt tot 60 cm/s op het litoraal, tot 80 cm/s in het subtidaal. Langs de noordrand zijn de stroomsnelheden ietwat hoger, met een verhoging (tot 120 cm/s) nabij de aansluiting van de oostelijke zand tong aan de plaat. Op de plaat zijn de maximale stroomsnelheden aanzienlijk lager (< 40 cm/s). Afwaarts van de Spijkerplaat ontstaat tevens een stroomluwe zone met maximale stroomsnelheden lager dan 80 cm/s.

Figuur 15 geeft de stroomvectoren weer op het moment van maximale ebstroming. Hieruit kan afgeleid worden dat ter hoogte van de Hooge Platen west er een stroming ontstaat vanuit het Vaarwater langs de Hoofdplaat tussen de Plaat van Breskens en de Hooge Platen. Het water op de westpunt van de Hooge Platen stroomt eerder in noordelijke richting naar de Schaar van de Spijkerplaat, geleid door de zandrug die aanwezig nabij de laagwaterlijn van de plaat. Voor Hooge Platen noord loopt de stroming grotendeels parallel aan de plaatrand. Uitzondering hierop zijn het noordwaarts “afstromen” van het water vanaf de plaat in het westelijke deel en de afbuiging van de stroming nabij de aansluiting van de oostelijke zand tong met de plaat: het water vanuit de Pas van Terneuzen neemt hier als het ware een “shortcut”.

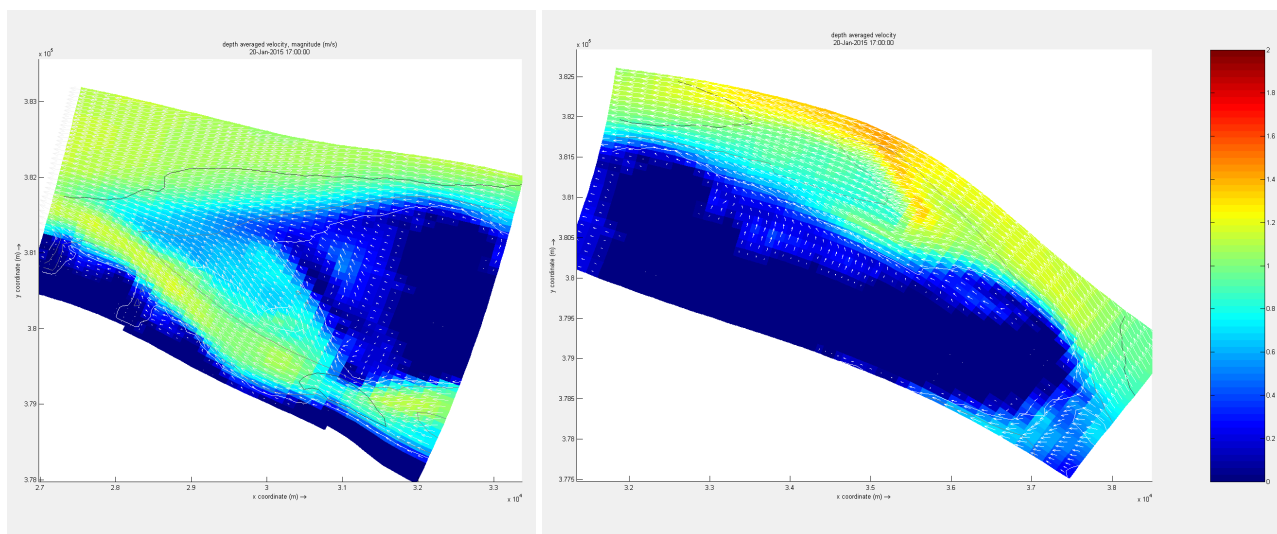
Figuur 14 - Overzicht van de maximale stroomsnelheden bij eb



Project: 00_031 O&M Flexibel Storten
 Auteur: Vos G.
 Revisor: Plancke Y.
 Datum van opmaak: 8/04/2016



Figuur 15 - Overzicht van de stroomsnelheden bij eb (grootte [0–2 m/s] en vectoren)



Ontwikkeling in de tijd

Aangezien de stroompatronen nabij de platen (half-)jaarlijks worden gesimuleerd, is het mogelijk de ontwikkelingen in de tijd te visualiseren. Tabel 4 geeft de ontwikkeling in de tijd van de maximale stroomsnelheid bij gemiddeld getij nabij de Hooge Platen.

Op raai 1 van HPW is er initieel een afname in maximale vloodsnelheid te zien in punten 1, 2 en 3. Deze afname verdwijnt geleidelijk, al blijft deze aanwezig in punt 2 en 3. Voor punt 4 is er in 2017 een toename van de maximale vloodsnelheid te zien. De maximale ebsnelheden geven een veel variabelere beeld (zoals ook in de meting is vastgesteld, zie § 4.3.1), waarbij in punt 2 en 4 er een toename te zien is, terwijl er in punt 3 een afname is. Dit kan waarschijnlijk toegeschreven worden aan de vorm van de zandrug op de plaatpunt waardoor er een luwte ontstaat ter hoogte van punt 3.

Voor de Hooge Platen Noord treedt er een sterke daling van maximale snelheden op ter hoogte van raai 1 (bij vloed en eb) en raai 4 (bij vloed). Ook op punt 1 en 2 van raai 2 is een daling te zien in vloodsnelheden. Daar waar de ontwikkeling in raai 1 en 2 samenhangen met de uitgevoerde stortingen (westelijke zandtong), is dit voor raai 4 minder waarschijnlijk en zijn deze eerder toe te schrijven aan de natuurlijke ontwikkelingen van de oostelijke zandtong.

Tabel 4 – Overzicht van de evolutie maximale snelheid bij gemiddeld tij volgens modelresultaten (verschillen in snelheid weergegeven in m/s)

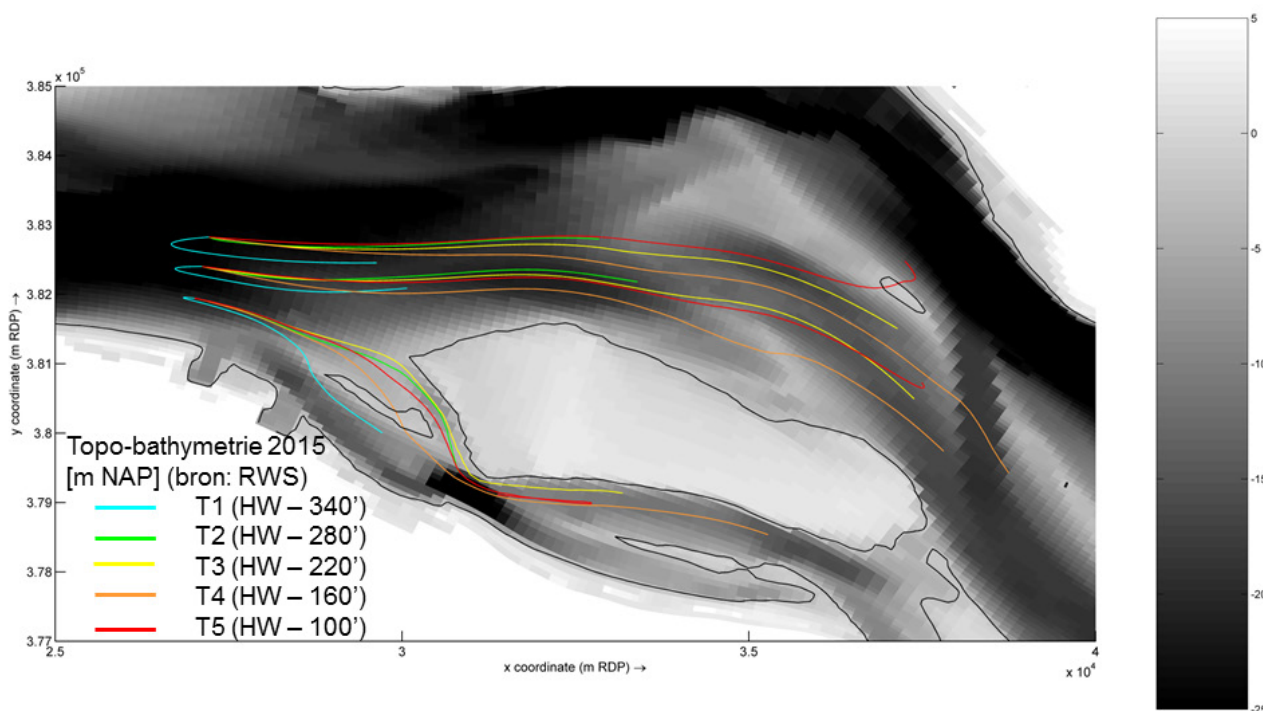
		Hooge Platen West				Hooge Platen Noord															
		raai 1				raai 1				raai 2				raai 3				raai 4			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Vloed	jun/2010 t.o.v. ref	0,04	-0,06	0,01	0,02	0,02	0,01	-0,01	-0,01	-0,06	-0,04	-0,01	0,00	0,02	-0,01	-0,01	0,00	0,00	0,04	0,02	0,00
	dec/2010 t.o.v. ref	-0,01	-0,10	-0,02	0,00	-0,14	-0,16	-0,09	-0,03	-0,07	-0,07	-0,01	0,00	0,01	-0,02	-0,02	0,00	-0,04	0,05	0,01	0,01
	maa/2011 t.o.v. ref	-0,03	-0,10	-0,03	0,00	-0,10	-0,12	-0,07	-0,02	-0,06	-0,05	0,00	0,00	0,00	-0,03	-0,03	-0,01	-0,06	0,05	0,01	0,00
	jun/2011 t.o.v. ref	-0,05	-0,07	-0,08	-0,01	-0,10	-0,12	-0,07	-0,02	-0,06	-0,04	-0,01	0,00	-0,02	-0,05	-0,02	-0,01	-0,09	0,01	0,03	0,04
	sep/2011 t.o.v. ref	-0,06	-0,08	-0,09	-0,02	-0,10	-0,10	-0,06	-0,02	-0,06	-0,05	-0,01	0,00	-0,05	-0,06	-0,02	-0,01	-0,12	0,00	0,01	0,03
	jan/2012 t.o.v. ref	-0,05	-0,09	-0,11	-0,03	-0,12	-0,11	-0,06	-0,02	-0,04	-0,03	0,00	0,00	-0,05	-0,06	-0,03	-0,01	-0,15	-0,02	-0,01	0,00
	aug/2012 t.o.v. ref	-0,03	-0,04	-0,10	-0,03	-0,12	-0,11	-0,06	-0,02	-0,04	-0,03	0,00	0,01	-0,09	-0,06	-0,02	-0,01	-0,19	0,00	-0,03	-0,01
	feb/2013 t.o.v. ref	0,01	-0,02	-0,04	0,01	-0,09	-0,09	-0,09	-0,04	-0,05	-0,06	-0,01	-0,01	-0,03	0,06	-0,01	-0,02	-0,20	-0,01	-0,09	0,10
	jun/2013 t.o.v. ref	0,00	-0,02	-0,04	0,01	-0,09	-0,09	-0,08	-0,03	-0,05	-0,05	-0,02	-0,01	0,01	0,03	0,01	-0,02	-0,21	-0,03	-0,09	0,10
	jan/2014 t.o.v. ref	0,02	-0,02	-0,03	0,02	-0,08	-0,10	-0,08	-0,03	-0,07	-0,06	-0,01	-0,01	0,04	0,01	0,01	-0,01	-0,25	-0,08	-0,11	0,10
	jul/2014 t.o.v. ref	0,02	0,01	-0,03	0,01	-0,05	-0,07	-0,06	-0,02	-0,07	-0,05	0,00	-0,01	0,01	0,01	0,00	-0,01	-0,21	-0,08	-0,11	0,10
	jan/2015 t.o.v. ref	-0,02	-0,04	-0,10	-0,03	-0,07	-0,10	-0,07	-0,04	-0,10	-0,07	-0,02	0,00	0,02	-0,02	-0,02	-0,03	-0,21	-0,11	-0,16	0,01
	jan/2016 t.o.v. ref	-0,02	-0,09	-0,10	0,02	-0,13	-0,17	-0,10	-0,05	-0,10	-0,09	-0,05	-0,04	-0,08	-0,05	-0,07	-0,01	-0,19	-0,18	-0,17	-0,04
	jan/2017 t.o.v. ref	-0,02	-0,06	-0,08	0,10	-0,13	-0,18	-0,12	-0,05	-0,12	-0,10	-0,05	-0,04	-0,09	-0,06	-0,07	-0,01	-0,15	-0,20	-0,17	-0,04
jan/2017 t.o.v. jan/2016	0,00	0,03	0,01	0,08	-0,01	-0,02	-0,02	0,00	-0,02	-0,01	0,00	0,00	-0,01	-0,01	0,00	0,00	0,04	-0,03	0,00	0,00	
Eb	jun/2010 t.o.v. ref	0,07	-0,02	-0,01	0,00	0,04	0,03	0,01	0,00	-0,04	-0,03	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,01	0,05	0,02	0,00
	dec/2010 t.o.v. ref	0,00	0,10	0,00	-0,01	-0,05	-0,05	0,01	0,00	-0,03	0,00	0,00	0,00	-0,02	0,03	-0,01	0,00	0,00	0,05	0,01	0,01
	maa/2011 t.o.v. ref	-0,02	0,05	0,00	-0,01	-0,03	-0,03	0,01	0,00	-0,03	0,02	0,00	0,00	-0,03	0,01	-0,01	0,00	-0,01	0,07	0,03	0,00
	jun/2011 t.o.v. ref	-0,05	0,09	0,00	-0,01	-0,03	-0,05	0,01	0,00	-0,03	0,03	0,00	0,00	-0,05	-0,01	0,01	0,00	-0,02	0,07	0,03	0,01
	sep/2011 t.o.v. ref	-0,05	0,03	-0,01	-0,01	-0,05	-0,05	0,01	0,00	-0,02	0,04	0,00	0,00	-0,08	-0,02	0,01	0,00	-0,03	0,06	0,03	0,01
	jan/2012 t.o.v. ref	-0,05	-0,07	-0,01	0,00	-0,09	-0,07	0,01	0,00	-0,02	0,05	0,01	0,00	-0,08	-0,02	0,01	0,00	-0,05	0,04	0,02	0,00
	aug/2012 t.o.v. ref	-0,04	0,00	-0,02	-0,01	-0,09	-0,07	0,01	0,00	-0,04	0,07	0,01	0,00	-0,14	0,03	0,01	0,00	-0,06	0,04	0,01	0,00
	feb/2013 t.o.v. ref	-0,03	0,04	-0,04	0,05	-0,08	-0,05	0,00	-0,03	-0,09	0,02	0,00	-0,02	-0,06	0,20	0,04	0,01	-0,03	0,01	0,02	0,03
	jun/2013 t.o.v. ref	-0,04	0,05	-0,03	0,05	-0,09	-0,06	0,00	-0,03	-0,09	0,04	0,00	-0,02	0,00	0,18	0,03	0,01	-0,03	-0,01	0,01	0,03
	jan/2014 t.o.v. ref	-0,03	0,06	-0,03	0,06	-0,11	-0,07	0,00	-0,03	-0,12	0,06	0,01	-0,02	0,03	0,16	0,01	0,01	-0,03	-0,03	0,02	0,03
	jul/2014 t.o.v. ref	-0,02	0,09	-0,03	0,04	-0,11	-0,08	0,00	-0,03	-0,15	0,10	0,01	-0,02	-0,06	0,19	0,01	0,01	-0,03	-0,01	0,02	0,03
	jan/2015 t.o.v. ref	-0,04	0,06	-0,07	0,11	-0,14	-0,11	-0,01	-0,05	-0,19	0,10	-0,02	-0,03	0,05	0,16	-0,02	-0,02	-0,06	-0,04	-0,08	0,00
	jan/2016 t.o.v. ref	-0,01	0,02	-0,09	0,08	-0,16	-0,12	-0,03	-0,03	-0,18	0,11	-0,01	-0,03	0,02	0,08	-0,03	-0,03	-0,02	-0,06	-0,07	-0,01
	jan/2017 t.o.v. ref	-0,03	0,09	-0,09	0,16	-0,22	-0,15	-0,03	-0,05	-0,22	0,06	-0,02	-0,04	-0,02	0,08	-0,05	-0,03	-0,04	-0,07	-0,06	-0,01
jan/2017 t.o.v. jan/2016	-0,03	0,08	0,00	0,08	-0,06	-0,03	0,00	-0,01	-0,04	-0,05	-0,01	-0,02	-0,04	0,00	-0,02	-0,01	-0,02	-0,01	0,01	-0,01	

DALINGEN > 5 CM/S = LICHTGROEN, DALINGEN > 10 CM/S = DONKERGROEN
 STIJINGEN > 5 CM/S = LICHTROOD, STIJINGEN > 10 CM/S = DONKERROOD

Stroombanen

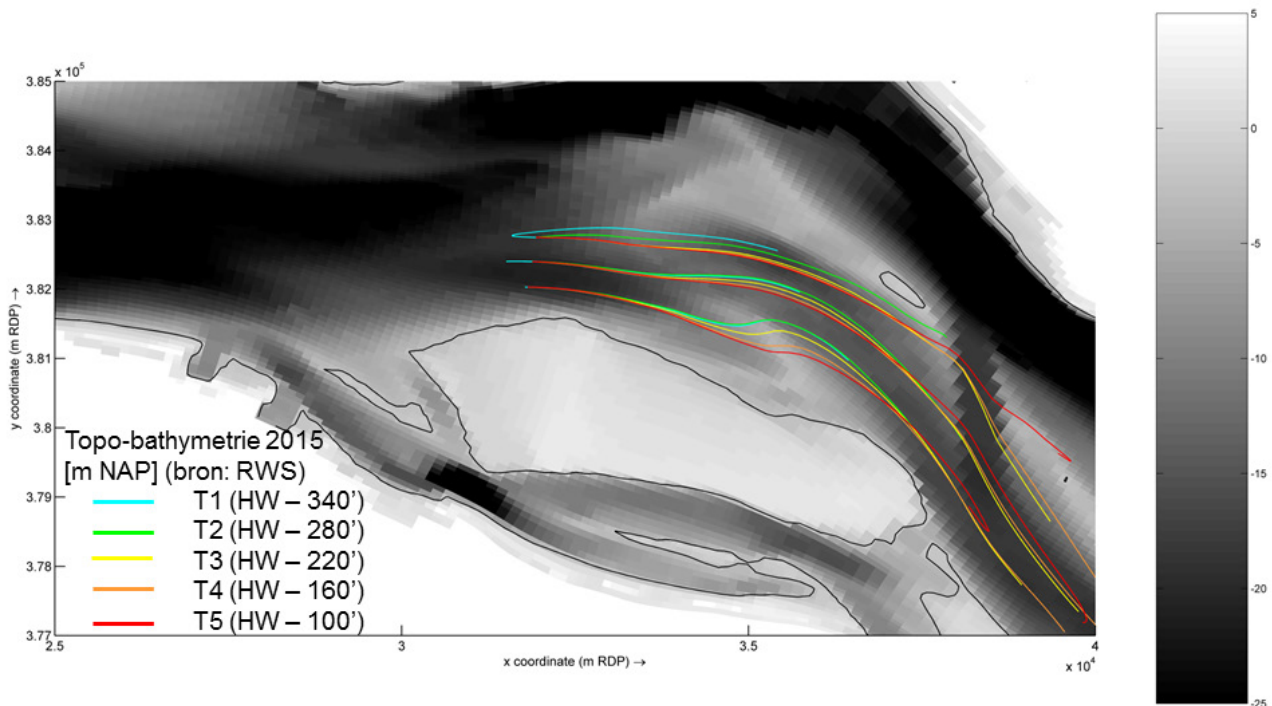
Voor de Hooge Platen west (Figuur 16) is duidelijk het splitsend effect van de plaat te zien: vlotters losgelaten ter hoogte van het zuidelijke punt gaan via de vloodschaar tussen de plaat en de Plaat van Breskens richting Vaarwater langs de Hoofdplaat. Vanop de overige 2 loslaatpunten gaan de vlotter naar de Schaar van de Spijkerplaat.

Figuur 16 - Overzicht van de stroombanen tijdens vloed voor Hooge Platen West (tijdstip in legende is moment van loslaten)



Voor de Hooge Platen noord (Figuur 17) worden voor alle 3 punten de vlotters via de Schaar van de Spijkerplaat naar opwaarts getransporteerd. Voor het zuidelijke loslaatpunt gaan de vlotters (met name op het einde van de voed) parallel met de plaat in de vloodschaar, om daar over de oostelijke zandtong terug naar de Schaar van de Spijkerplaat te stromen.

Figuur 17 - Overzicht van de stroombanen tijdens vloed voor Hooge Platen Noord (tijdstip in legende is moment van loslaten)

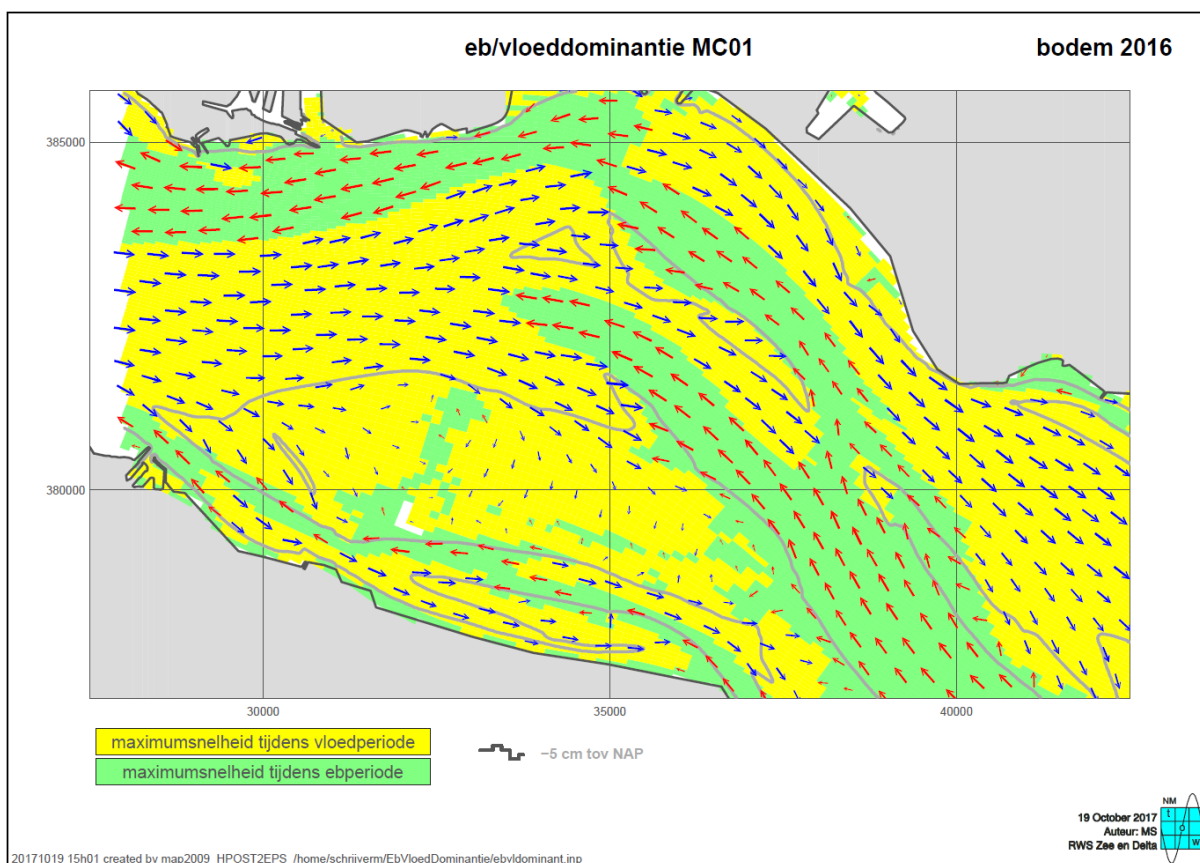
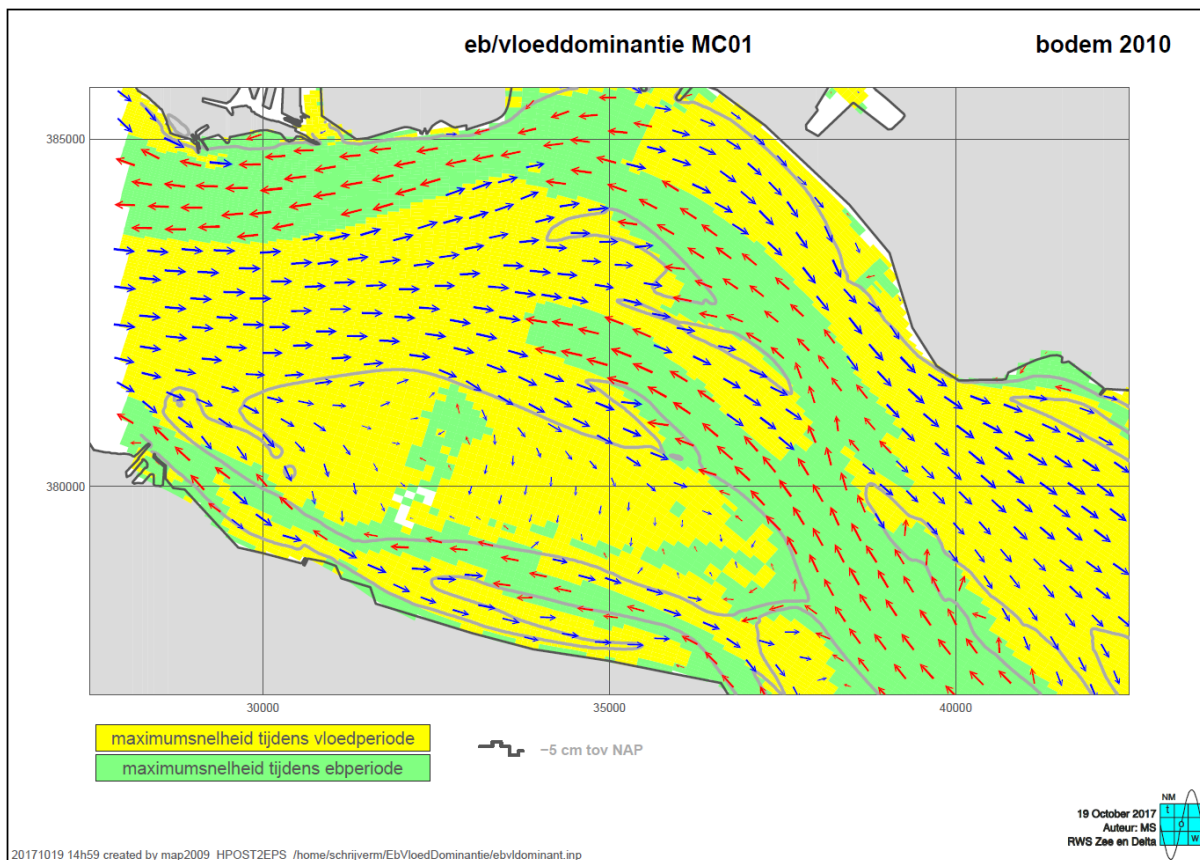


4.3.3 Eb-vloed dominantie op basis van stroming

Op basis van de maximale stroomsnelheden kan de eb-vloed-dominantie bepaald worden. Figuur 18 geeft de dominantie weer bepaald voor zowel de bodem van 2010 als deze van 2016. De onderlinge verschillen tussen beide momenten blijven beperkt. Wel is er een duidelijk onderscheid waar te nemen tussen de verschillende geulen.

In de Honte is er een duidelijk onderscheid tussen het op- en afwaartse deel: in het afwaartse deel is er eb-dominantie langs de oever en vloed-dominantie in het zuiden; in het opwaartse deel is dit omgekeerd, met vloed-dominantie langs de oever en eb-dominantie langs de noordelijke rand van de Spijkerplaat. In de Schaar van de Spijkerplaat is het afwaartse deel volledig vloed-dominant. Het opwaartse deel is vloed-dominant ten zuiden van de Spijkerplaat en eb-dominant ten noorden van de Hooge Platen en Hooge Springer. Het Vaarwater langs de Hoofdplat tenslotte vertoont een gelijkaardig patroon als de Honte.

Figuur 18 - Overzicht van de residuele stroming voor macrocel 1 op basis van bodem 2010 (boven) en 2016 (onder)



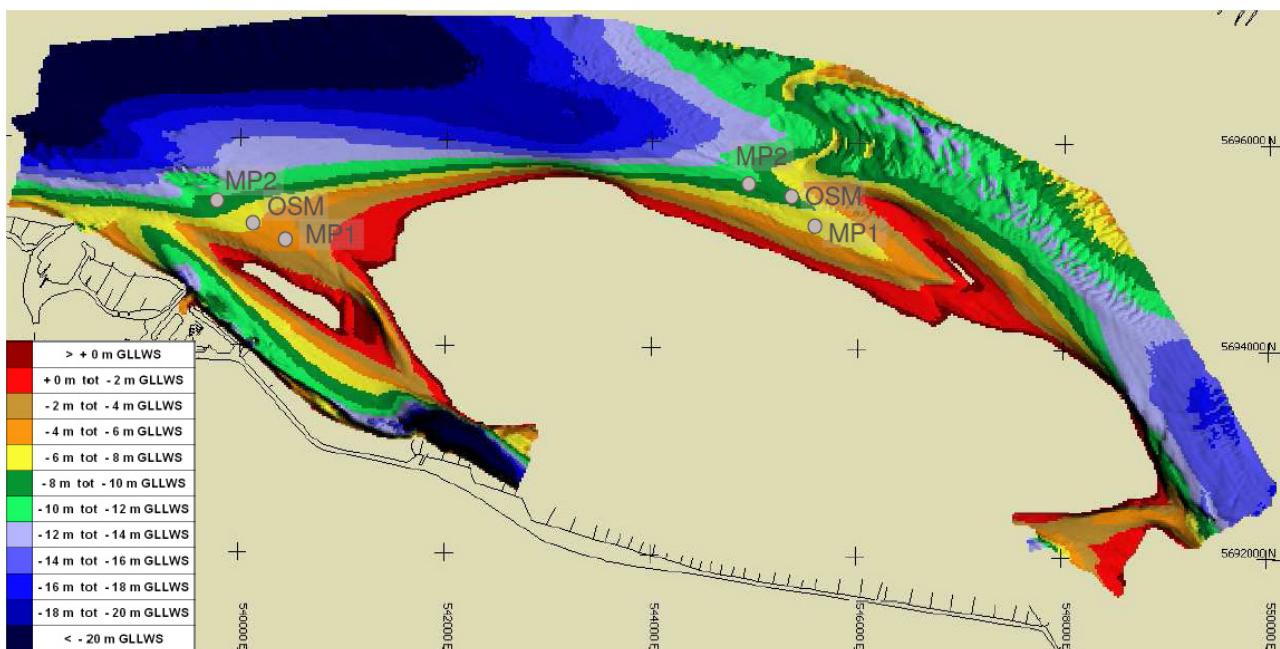
5 Sedimenttransport

5.1 Metingen

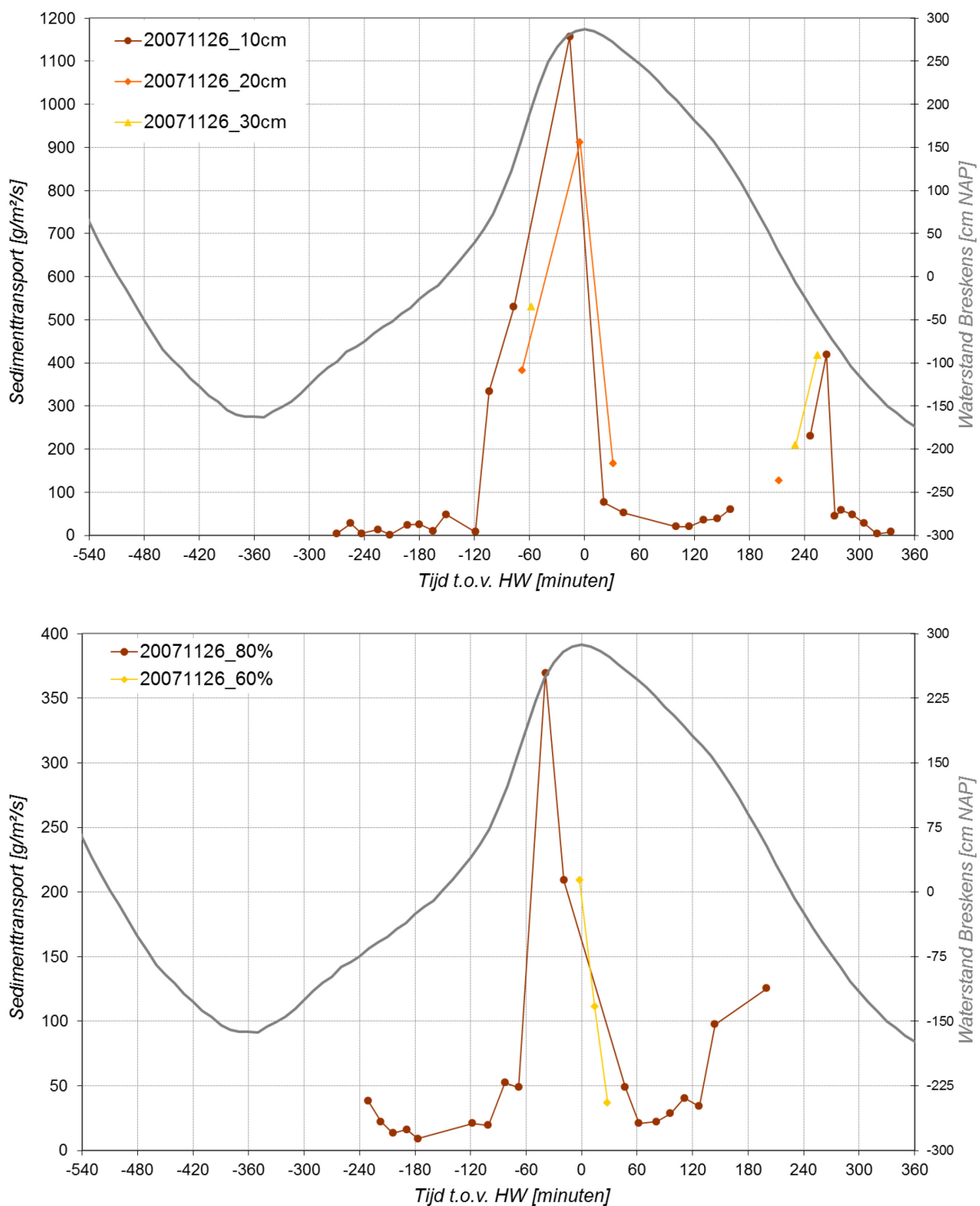
In het kader van het “Determinatieonderzoek plaatrandstortingen” werden er op verschillende plaatsen langs de plaatranden stromings- en sedimenttransportmetingen uitgevoerd. Figuur 19 geeft de ligging van de verschillende meetpunten nabij de Hooge Platen weer. De stroming werd gemeten met o.a. Onderwater SnelheidsMeters (OSM), terwijl het sedimenttransport werd gemeten met o.a. Delftse flessen. Voor een uitgebreide beschrijving van de metingen wordt verwezen naar (Plancke, Ides *et al.*, 2008).

Beide locaties (Hooge platen west - Figuur 21 en Hooge Platen noord - Figuur 20) vertonen een vergelijkbaar patroon: quasi geen transport in het begin van de vloedfase, gevolgd door de sterke piek in het transport ca. 1 uur voor hoogwater; in het begin van de eb fase is het transport beperkt om dan toe te nemen tot waarden die de helft zijn van deze tijdens de vloedfase. Hoewel de staalnames sequentieel op verschillende hoogten ((nabij-)bodemtransport op 10, 20 en 30 cm boven de bodem en suspensie transport op 20, 60 en 80% van de waterkolom) gebeurden en er dus geen metingen op identieke momenten beschikbaar zijn, is er een duidelijke verticale gradiënt in sedimenttransport aanwezig. Hierbij worden de hoogste transporten gemeten op 10 cm boven de bodem, terwijl het suspensietransport (bv. op 80% van de waterkolom t.o.v. het oppervlak) een factor 2 à 3 kleiner is.

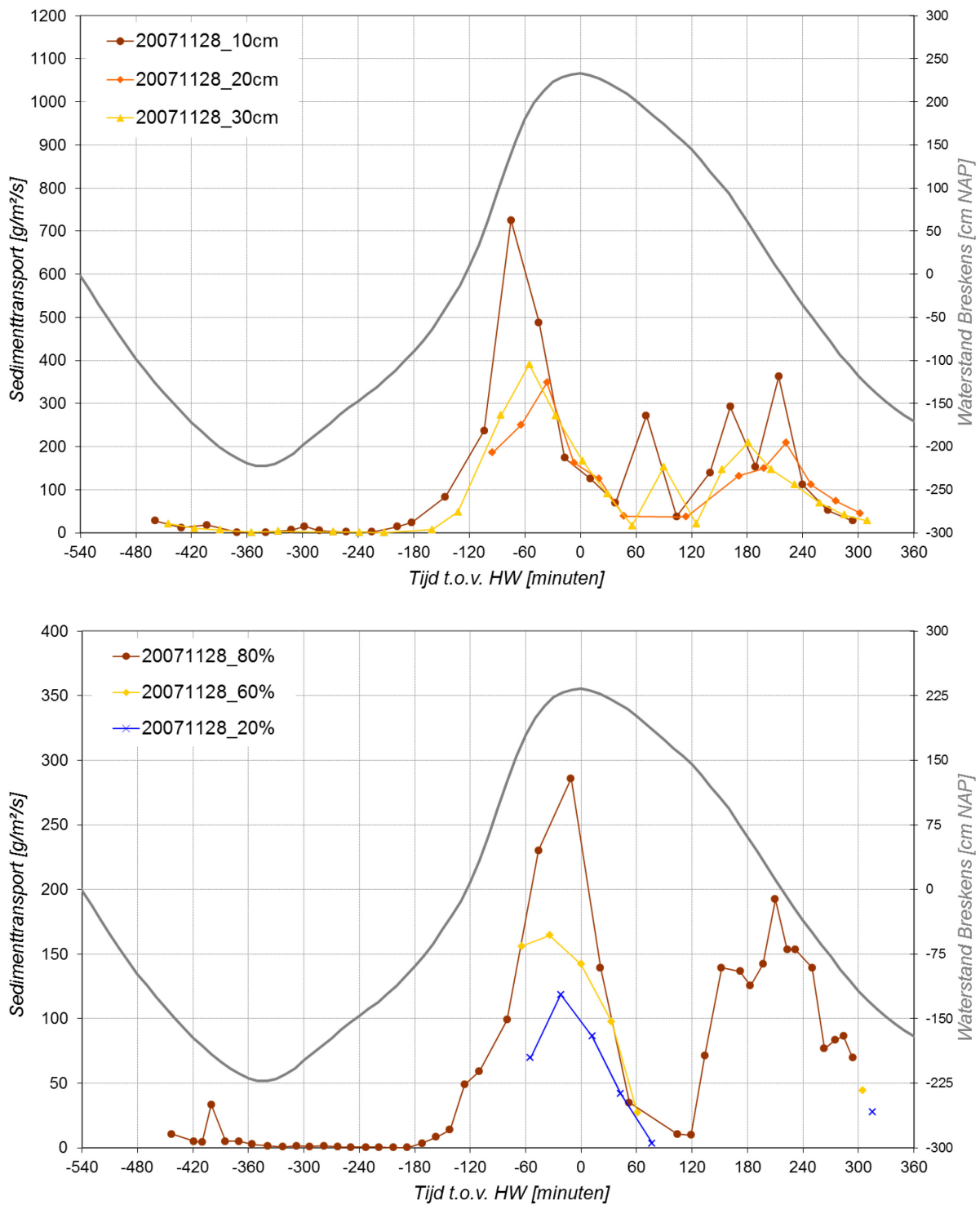
Figuur 19 - Overzicht van het meetlocaties nabij Hooge Platen
OSM = stromingsmetingen | MP1 en MP2 = stroming- en sedimenttransportmeting



Figuur 20 - Overzicht van het sedimenttransport t.h.v. Hooge Platen Noord (MP01) nabij bodem (boven) en in suspensie (onder)



Figuur 21 - Overzicht van het sedimenttransport t.h.v. Hooge Platen West (MP01) nabij bodem (boven) en in suspensie (onder)



5.2 Modelling

5.2.1 Methode

Op basis van de berekende stroomsnelheden uit het numerieke model wordt offline het sedimenttransport berekend. Hierbij wordt gebruik gemaakt van de formulering van Engelund – Hansen (Engelund & Hansen, 1967):

$$q_T = \Phi \cdot \sqrt{(s-1) \cdot g \cdot d_{50}^3} \text{ in [m}^3\text{/m/s]}$$

Met:

$$\Phi = \frac{0,1 \cdot \theta^2}{f} [-] \quad \text{en} \quad \theta = \frac{\tau_0}{\gamma \cdot (s-1) \cdot d_{50}} [-] \quad \text{en} \quad f = \frac{2 \cdot g \cdot D \cdot l}{u^2} [-]$$

waarbij:

$$\tau_0 = \rho \cdot u_*^2 \text{ [N/m}^2] \quad \text{en} \quad u_* = \frac{u}{2,5 \cdot \log\left(\frac{12,27 \cdot D}{1,5 \cdot d_{50}}\right)} \text{ [m/s]}$$

Bovenstaande formules maken gebruik van volgende parameters uit de numerieke modelsimulaties:

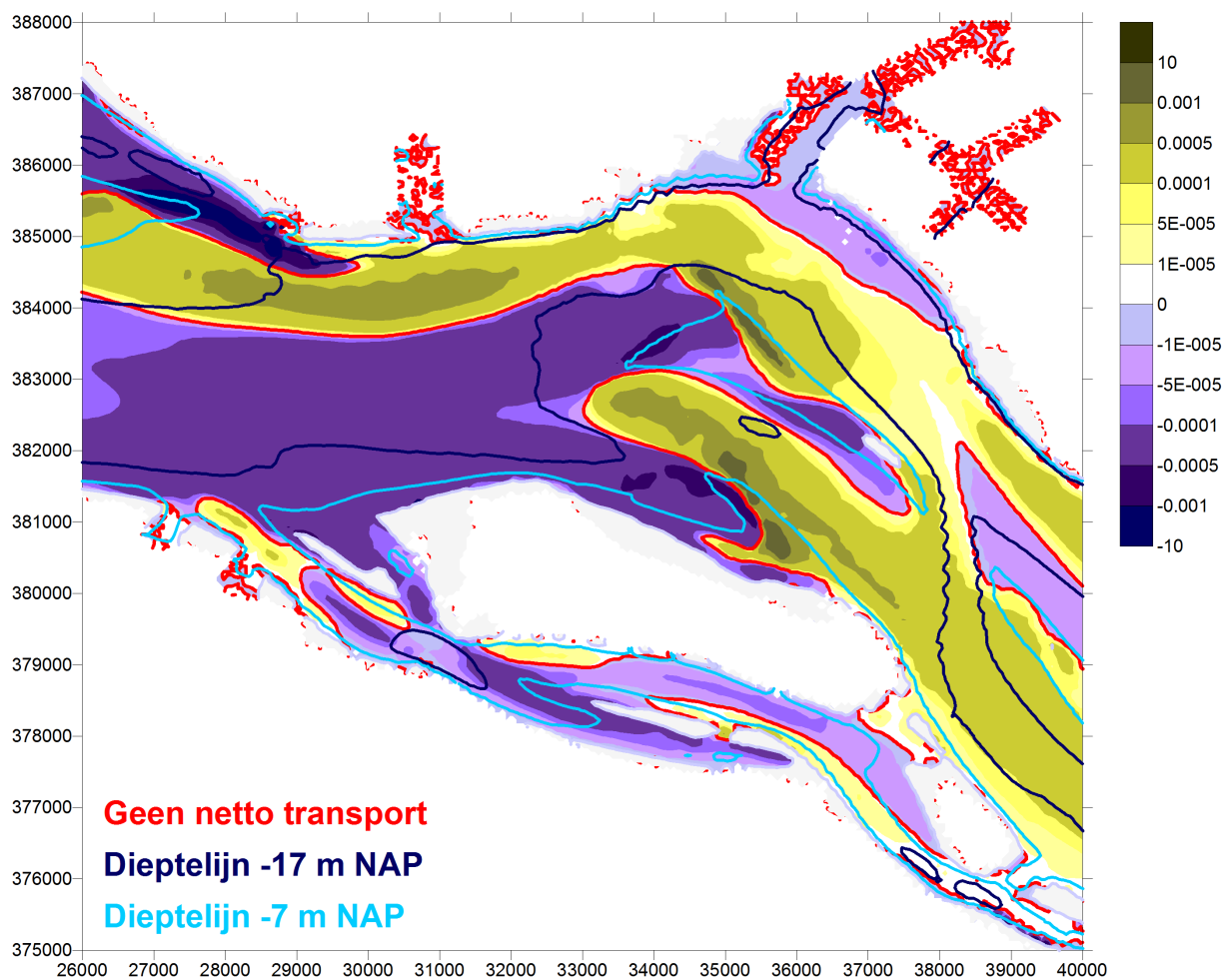
- u : diepte gemiddelde snelheid [m/s]
- D : waterdiepte [m]
- l : verhang [m/m] berekend voor het interessegebied rond de Hooge Platen als het verhang van het wateroppervlak tussen de posten Vlissingen en Terneuzen
- D_{50} : mediane korrelgrootte [m] berekend op basis van de maximale stroomsnelheid om een ruimtelijk variërende waarde te verkrijgen: $d_{50} = 192,1 \cdot v_{\max} - 59,53$ (relatie bepaald op basis van beschikbare gegevens van d_{50} en gemodelleerde stroomsnelheden), met minimum van 63 μm .

5.2.2 Resultaten

Figuur 22 geeft het resultaat weer van de netto-sedimenttransporten in macrocel 1. Er is een duidelijk onderscheid waar te nemen tussen de verschillende geulen. De ebgeul Honte wordt gekarakteriseerd door eb-dominant transport, het Vaarwater langs de Hoofdplaat is hoofdzakelijk vloed-gedomineerd en de vloedgeul Schaar van de Spijkerplaat kent meer variatie: het westelijk deel vloed-gedomineerd, maar het oostelijk deel wordt gekarakteriseerd door zowel eb- als vloed-gedomineerde zones. Zo zorgt de ebstroming vanuit de Pas van Terneuzen voor een eb-dominant transport net ten zuiden van de Spijkerplaat (de ebstroming concentreert zich tegen de plaat aan, “uitbochten”). Langs de Hooge Platen en over de Spijkerplaat is het transport vloed-gedomineerd.

Dit beeld komt goed overeen met bovenstaande bevindingen op basis van metingen van sedimenttransport op een beperkt aantal punten (§ 5.1) en op basis van de verhouding van de maximale stroomsnelheden (§ 4.3.3).

Figuur 22 – Netto sedimenttransport [$m^3/m/s$] op basis van hydrodynamische simulatie en offline sediment transport (positief = eb-gedomineerd | negatief = vloed-gedomineerd)



5.3 Zandbalans

In het kader van het onderzoeksprogramma Veiligheid & Toegankelijkheid, werd door het Waterbouwkundig Laboratorium een analyse uitgevoerd van de morfodynamica op de mesoschaal, gericht op enkele stortlocaties. Binnen deze studie (Vandenbruwaene *et al.*, 2012) werden ook zandbalansen berekend voor een aantal stortzones. Deze methodiek wordt ook binnen voorliggend rapport toegepast.

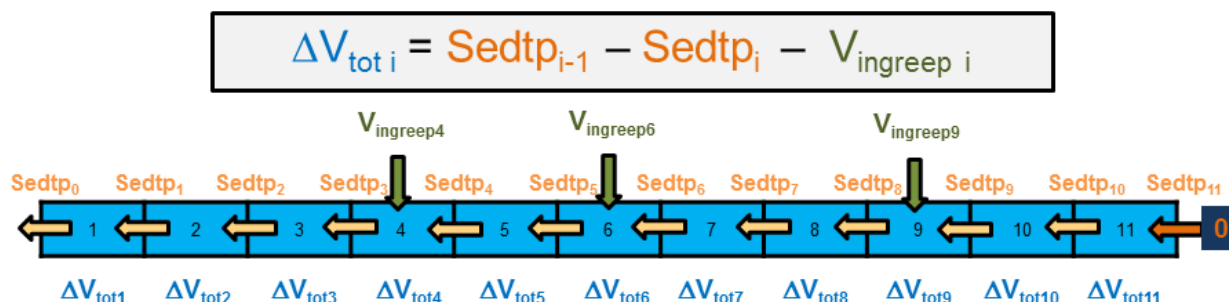
5.3.1 Methode

Hier volgt slechts een beknopte beschrijving van de toegepaste methodologie. Voor een uitgebreide beschrijving wordt verwezen naar (Vandenbruwaene *et al.*, 2012) en (Goossens *et al.*, s.d.).

Bij het berekenen van zandbalansen wordt gebruik gemaakt van topo-bathymetrische opnames waarop volumeberekeningen worden uitgevoerd. Binnen deze studie worden de beschikbare multibeam peilingen gebruikt met een tussentijd van ca. 12 maanden.

Hiervoor wordt een rekenrooster (150 x 100 m) gedefinieerd dat gelegen is volgens de dominante stromingsrichting. Vervolgens wordt per rekenrij van het rekenrooster het sedimenttransport berekend (Figuur 23). De keuze van de rekenrijen impliceert de veronderstelling dat het sedimenttransport volgens deze rijen plaatsvindt. Deze aanname is geldig voor een groot deel van het studiegebied, echter ter hoogte van de plaatpunt (Hooge Platen West) zal er in realiteit ook sedimenttransport tussen verschillende rijen plaatsvinden (zie ook afbuiging van stroombanen). Dit wordt hier niet meegenomen.

Figuur 23 – Concept zandbalans over rekenrij met 11 cellen



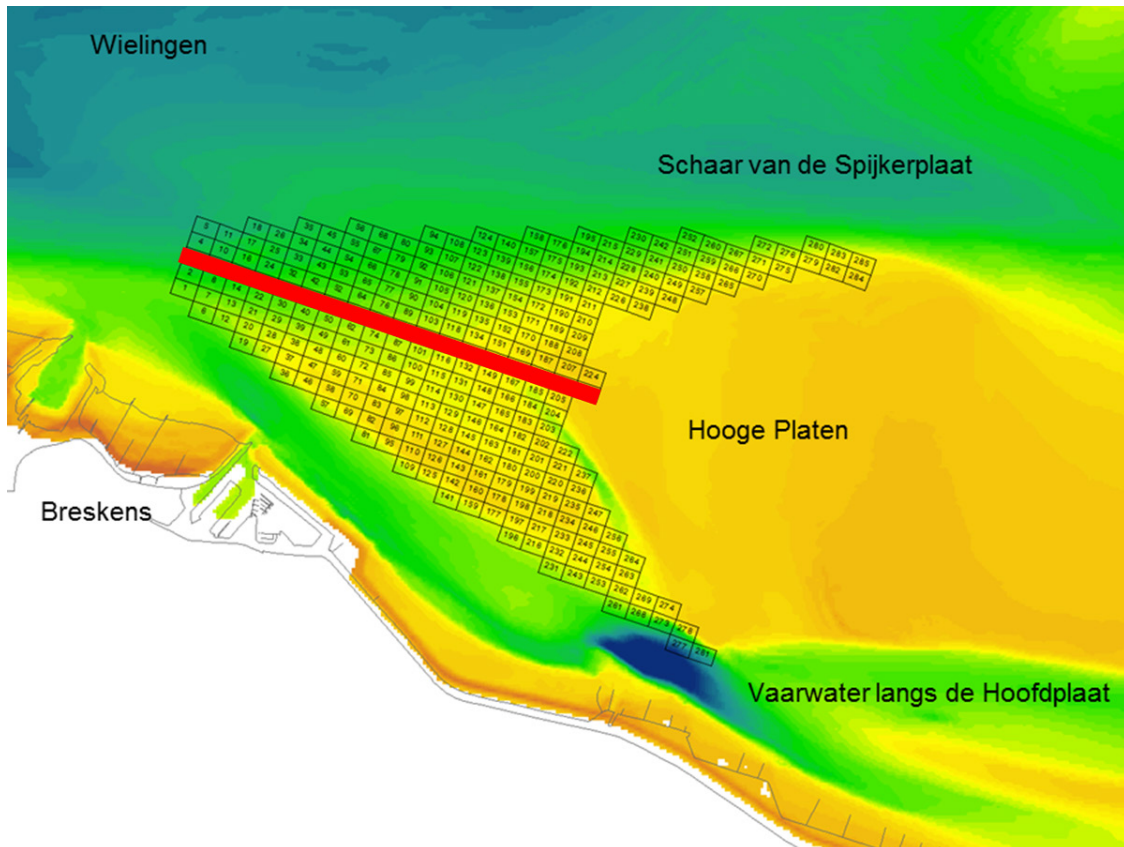
Voor elke rekenrij moet op een bepaalde locatie een randvoorwaarde opgelegd worden. Binnen deze studie is ervoor geopteerd om de randvoorwaarde af te leiden uit een numerieke modelsimulatie. Voor elk moment werd de bathymetrie in het studiegebied aangepast en werd een periode van 2 karakteristieke springtij-doodtij-cycli (29 dagen) doorgerekend. Voor 2 getijdencycli (24u50) werden elke 10 minuten de stroomsnelheden opgeslagen (map-files) die als input werden gebruikt voor de berekening van het sedimenttransport ten behoeve van de randvoorwaarden. Aangezien deze 2 getijdencycli zich situeren rond het springtij, werd voor de situatie 2017 op een beperkt aantal punten (op- en afwaartse randen van rekenrijen) eveneens het sedimenttransport berekend over de volledige periode van 29 dagen. De verhouding tussen het sedimenttransport over 29 dagen en 2 getijden levert een correctiefactor op die toegepast werd op de eerdere momenten waarvoor de randvoorwaarde werd berekend op basis van de 2 getijdencycli.

In de volgende paragrafen worden de resultaten gepresenteerd. De “afwaartse” rand wordt hier steeds als de zeewaartse rand beschouwd, terwijl de “opwaartse” rand ter hoogte van de plaatrand is gelegen.

5.3.2 Resultaten

In dit rapport is ervoor geopteerd om één karakteristieke rij (rij 14, beginnend met cel 3) te presenteren, gelegen in het verlengde van de westpunt van de Hooge Platen. Voor de andere rijen wordt verwezen naar (Goossens *et al.*, in voorbereiding). Bij deze rekenrij dient opgemerkt te worden dat de stroming en het sedimenttransport niet steeds volgens de oriëntatie van de rekencellen plaatsvindt, waardoor de werkelijke sedimenttransporten zullen afwijken van deze hier berekend op basis van de sedimentbalansen.

Figuur 24 – Ligging rekenrijen ter hoogte van de westpunt van de Hooge Platen, met aanduiding rij 14



Storringen

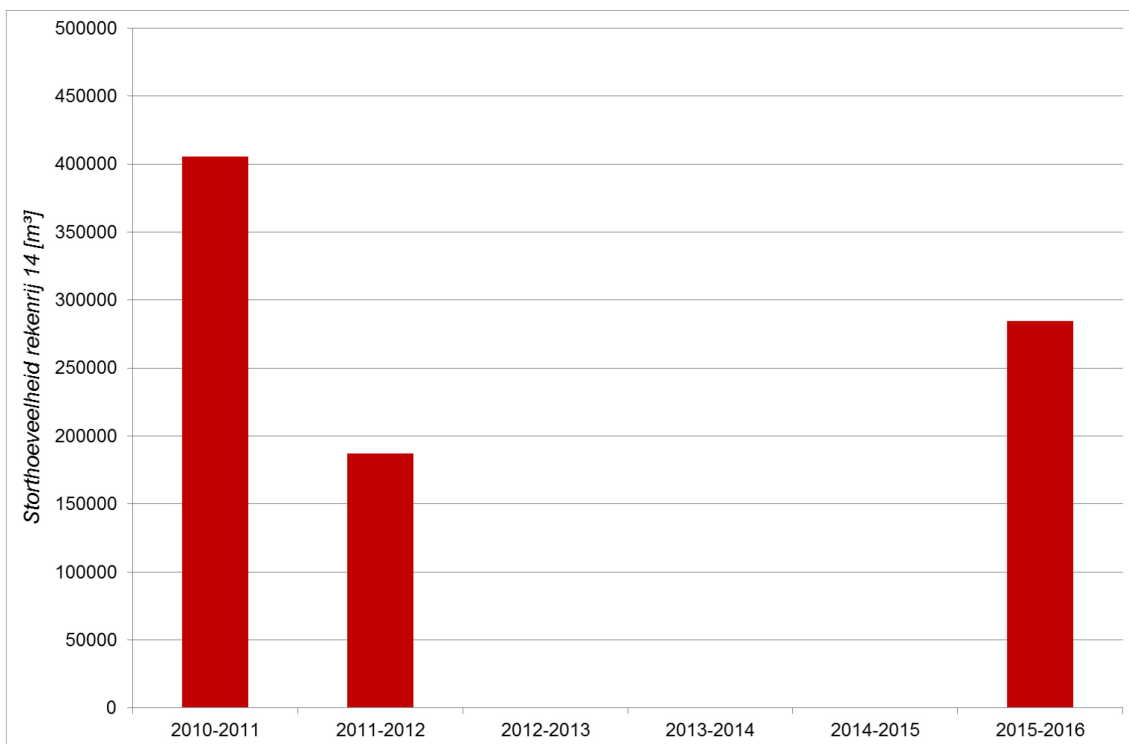
Figuur 25 geeft de storthoeveelheden weer voor de beschouwde rekenrij. In rij 14 is ca. 880.000 m³ gestort in de periode 2010-2016. In de periode 2010-2011 werd het grootste deel gestort (ca. 400.000 m³), terwijl ook in 2011-2012 (ca. 200.000 m³) en 2015-2016 (ca. 300.000 m³) gestort werd. In de andere periodes vonden er geen storringen plaats in deze rekenrij.

Randvoorwaarden

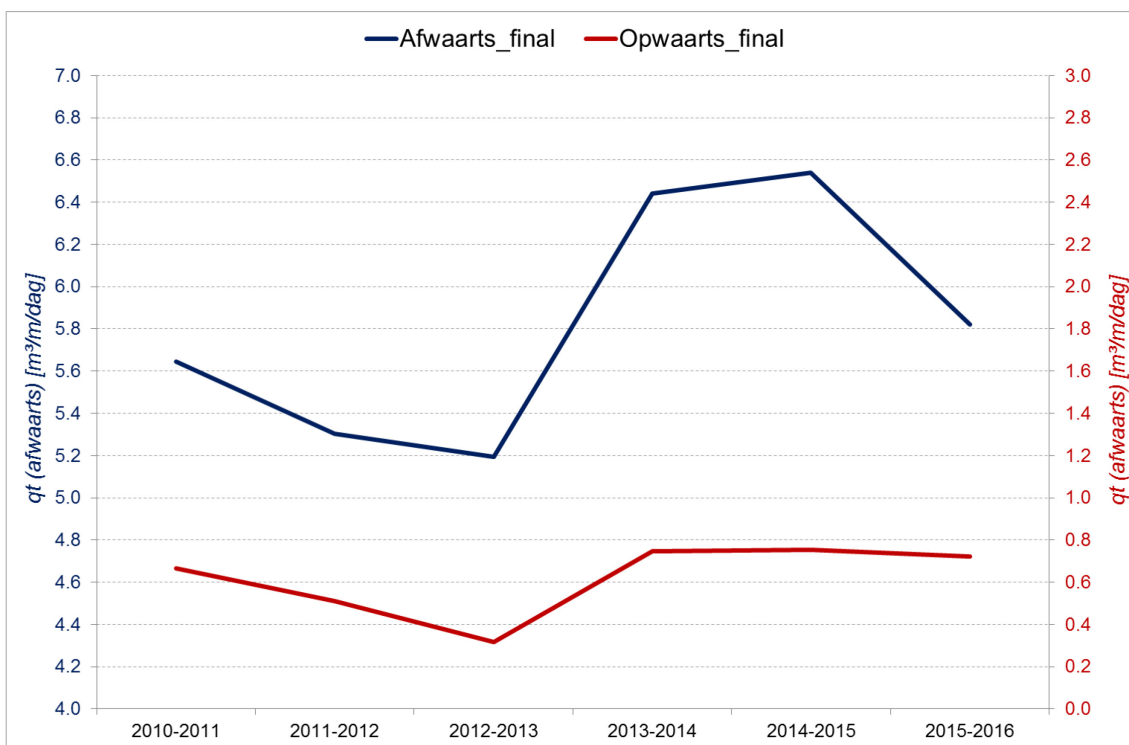
De randvoorwaarden werden voor de verschillende momenten berekend met de formule van Engelund-Hansen, gebruik makend van de snelheden uit de hydrodynamische modelsimulaties. Figuur 26 toont de variatie van zowel de opwaartse als de afwaartse randvoorwaarde.

Voor rij 14 blijft de variatie in het sedimenttransport voor zowel de afwaartse (variatie van 1,5 m³/m/dag) als de opwaartse (variatie van 0,5 m³/m/dag) rand beperkt (1 m³/m/dag). De variatie in de tijd vertoont een gelijkaardig patroon voor de af- en opwaartse rand, met de hoogste waarden in 2013-2015. De kleinere variatie ter hoogte van de opwaartse rand is toe te schrijven aan de nabijheid van de plaatrand, met lagere stroomsnelheden en kleinere sedimenttransporten.

Figuur 25 – Storthoeveelheden voor rekenrij 14



Figuur 26 – Temporele variatie van de op- en afwaartse randvoorwaarden voor rij 14

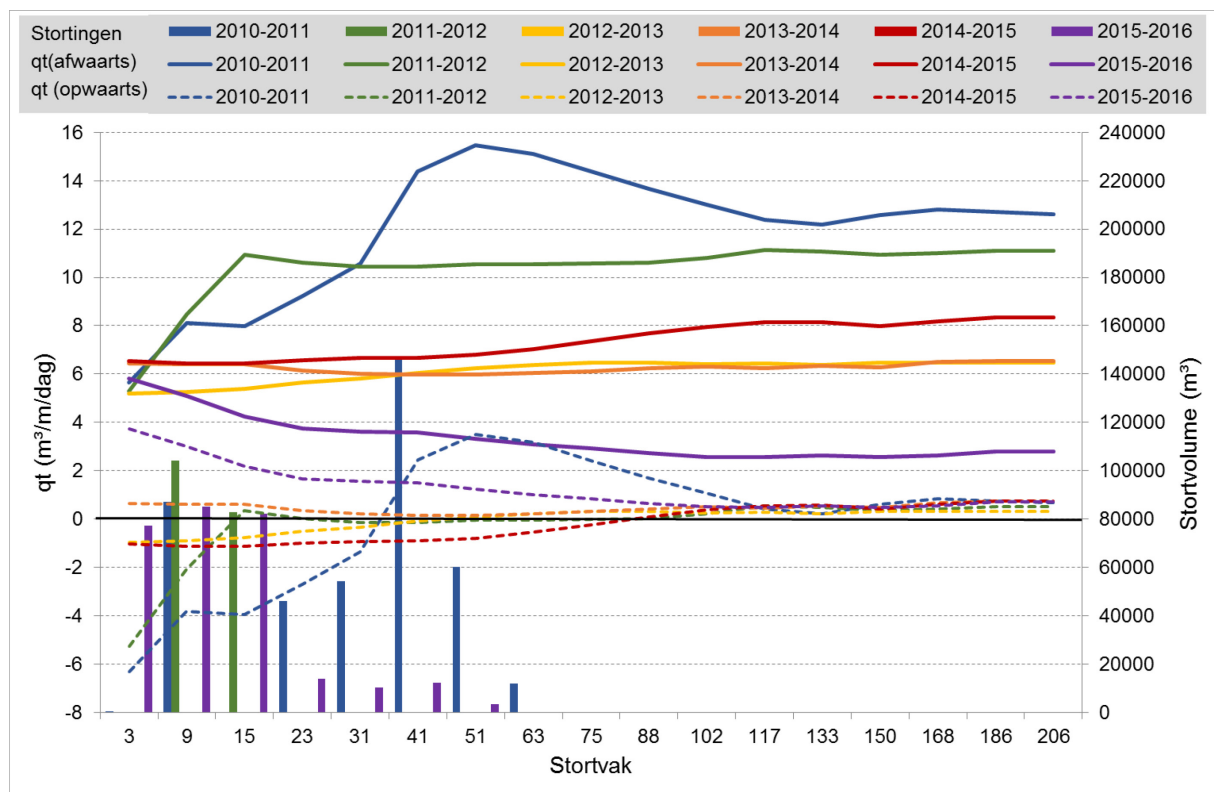


Sedimenttransporten op basis van sedimentbalans

Figuur 27 toont het sedimenttransport afgeleid uit de sedimentbalans voor rij 14. Hierin wordt zowel het sedimenttransport getoond wanneer de balans opgemaakt vertrekkend van de op- als afwaartse randvoorwaarde. Bij het berekenen van de sedimenttransporten vertrekkende van de afwaartse rand zijn de transporten steeds vloed-gedomineerd (positief). Wanneer uitgegaan wordt van de opwaartse randvoorwaarde kan er in de meest afwaartse cellen eb-gedomineerd (negatief) transport optreden.

In de periode 2010-2011 valt het sterkere vloed-gedomineerd transport ($\sim 16 \text{ m}^3/\text{m}/\text{dag}$) op ter hoogte van de meest intensieve stortingen in cel 31, 41 en 51. Ook in de periode 2011-2012 is het vloed-gedomineerd sedimenttransport ($\sim 11 \text{ m}^3/\text{m}/\text{dag}$) sterker dan in de volgende jaren ($\sim 6 \text{ m}^3/\text{m}/\text{dag}$). In de periode 2015-2016 vonden er stortingen plaats in de meest afwaarts gelegen cellen (vooral 3, 9, 15), en is er ook een toename in het vloed-gedomineerd transport in de zone.

Figuur 27 – Sedimenttransport op basis van sedimentbalans voor rij 14



Conclusies

Op basis van de sedimenttransporten afgeleid uit de sedimentbalans is een invloed van de stortingen zichtbaar op de sedimenttransport langsheen de rekenrijen. Onmiddellijk na de stortingen is er een toename in het vloed-gedomineerd sedimenttransport. Deze toename zorgt ervoor dat het gestorte sediment wordt verspreid, waarna het sedimenttransport afneemt, vermoedelijk naar een soort van referentietoestand voor deze locatie. Deze bevindingen stemmen overeen met de analyses uitgevoerd in (Vandenbruwaene *et al.*, 2012).

6 Morfologie

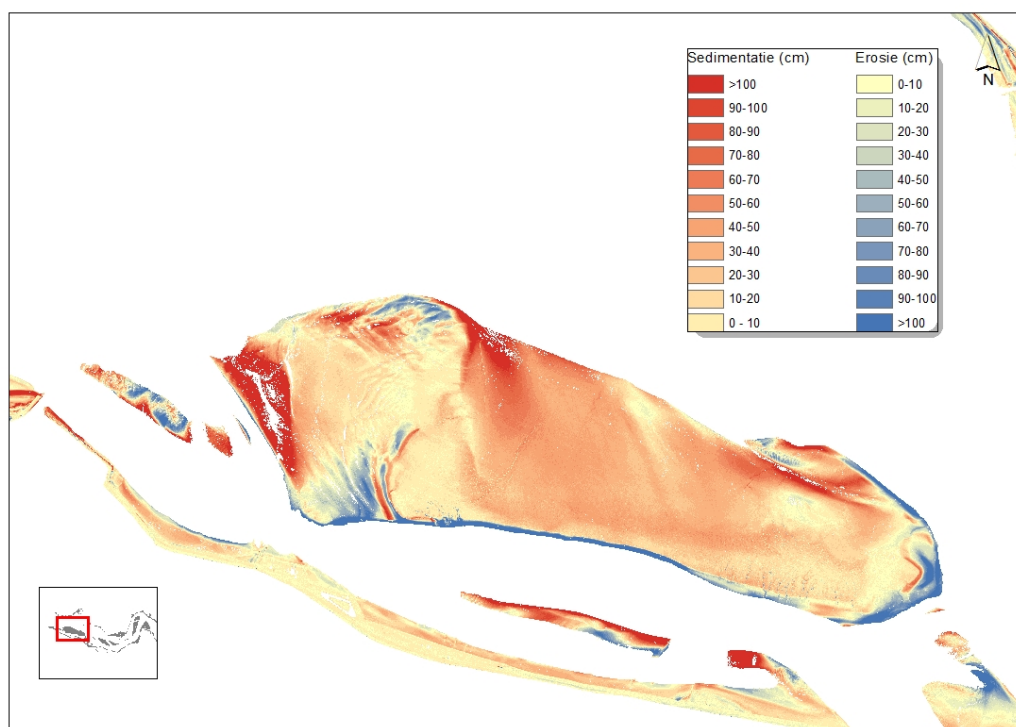
6.1 Morfologische ontwikkeling op de lange termijn

6.1.1 Algemeen

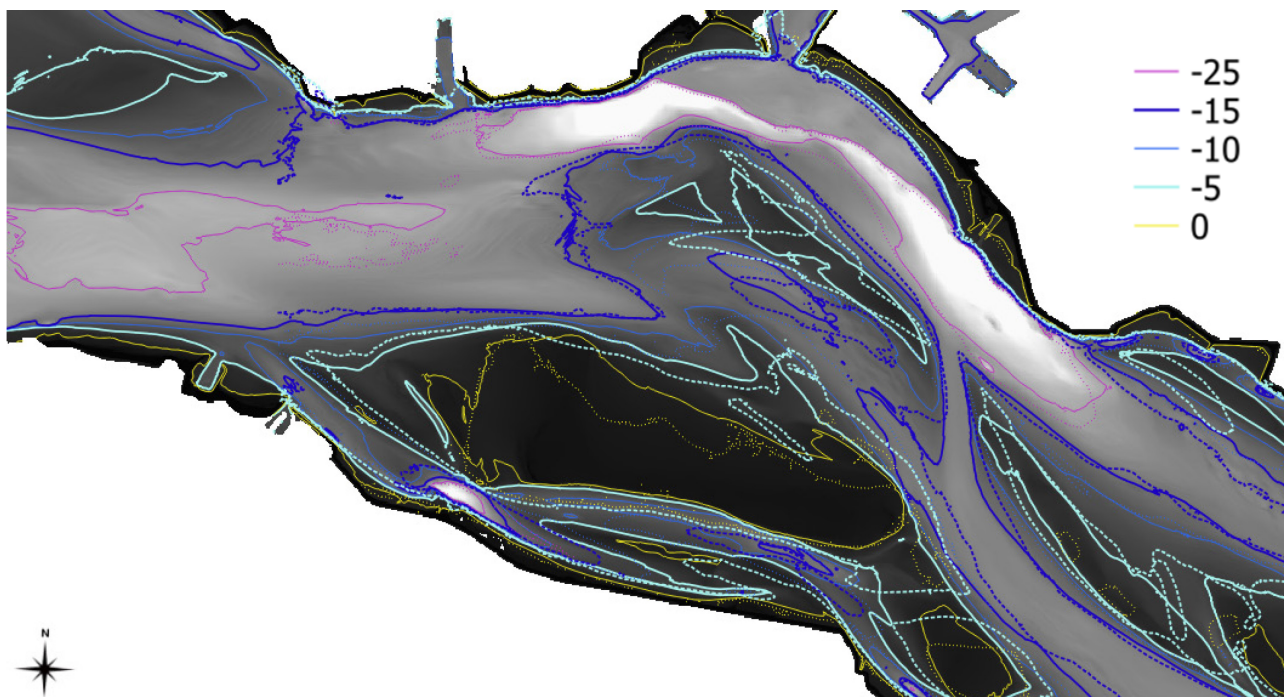
Figuur 28 toont de hoogteontwikkelingen op de intergetijdengebieden op basis van laseraltimetrie tussen 2009 en 2015. Bijlage A – Topo-bathymetrie macrocel 1 toont de volledige bodemligging van macrocel 1 voor 1980, 1990, 2000, 2010 en 2016. Op deze figuren worden telkens ook de contourlijnen getoond met 5m interval. Figuur 29 toont de verschillende contouren voor de jaren 1980 en 2016. Figuur 30 doet dit voor de jaren 2000 en 2016.

Macrocel 1 wordt gekenmerkt door een aantal stabiele en dynamische elementen. De ebgeul Honte ligt vast tegen de oever is over de periode 1980-2016 stabiel. De Hooge Platen vertonen weliswaar veranderingen in hoogteligging, maar in het algemeen is de ligging eerder stabiel. Enkel de oostelijke rand erodeert geleidelijk onder invloed van de migratie van de Pas van Terneuzen en de drempel van Borssele. Het Vaarwater langs de Hoofdplaat ligt ingesloten tussen de Hooge Platen en de oever en sedimenteert sinds het afsluiten van de Braakman. De grootste dynamiek in dit gebied is toe te schrijven aan de Schaar van Spijkerplaat: deze vloedgeul vertoont een cyclisch gedrag met een periodiciteit van ca. 25 jaar. Hierbij ontstaat een aanzet van nieuwe geul ten noorden van de Hooge Platen die zich ontwikkelt en de rol van vloedgeul overneemt. Onder invloed van de ebstroming migreert deze geleidelijk naar het noorden, waardoor de Spijkerplaat zich mee verplaatst naar het noorden. Uiteindelijk migreert de geul in de Spijkerplaat en loopt ze uit in de Honte. Op dit moment ontstaat meestal al een nieuwe geul ter hoogte van de Hooge Platen. In onderstaande paragrafen wordt dieper ingegaan op deze morfologische veranderingen.

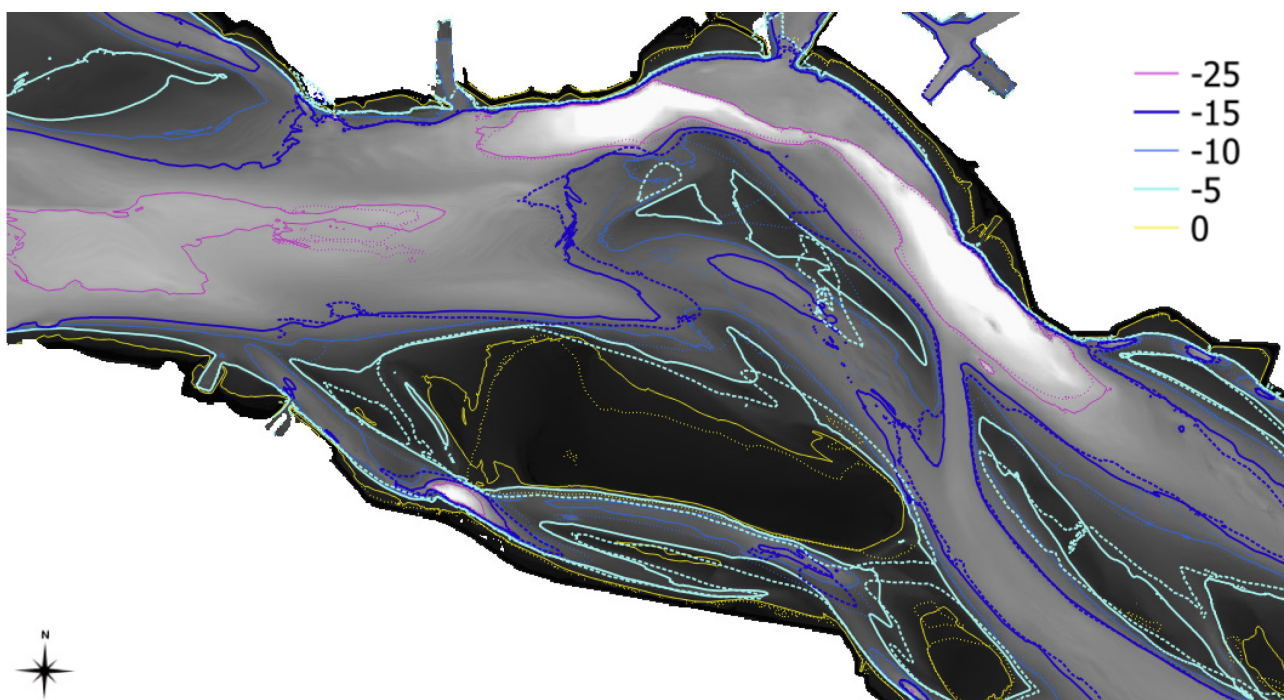
Figuur 28 – Verschilkaart laseraltimetrie 2015 - 2009



Figuur 29 – Dieptecontouren voor macrocel 1: 1980 (stippellijn) en 2016 (volle lijn)



Figuur 30 – Dieptecontouren voor macrocel 1: 2000 (stippellijn) en 2016 (volle lijn)



6.1.2 Monding

In Bijlage C –Ontwikkeling profielen MC1 is het profiel HP.0001 opgenomen (Figuur 51). Dit profiel ligt over de debietraai 11 en geeft de hoogteontwikkeling weer op deze raai. Zoals uit de figuur is af te lezen, zijn de verandering in hoogte gering. Enkel bij de Sardijngeul (Nolleplaat) is een toename te zien rond de NAP -500 cm.

6.1.3 Hooge Platen

Het areaal aan platen in macrocel 1 wordt berekend op basis van de rekenvakken 3 en 300 uit de plaatbalans van Rijkswaterstaat (Figuur 31). Het volume en oppervlak wordt in deze vakken berekend t.o.v. het referentievlak -200 cm NAP. In Bijlage B – Ontwikkelingen zijn deze reeksen weergegeven. Uit het volume en het oppervlak is eenvoudig de hoogteontwikkeling te bepalen, deze is weergegeven in Figuur 32. In deze figuur is te zien dat het totale platencomplex in de periode 1955 – 2010 aan het ophogen was, met zowel in de jaren 1960 als 1990 een stagnerende periode. De laatste jaren lijkt de ophoging sneller te gaan dan in de periode ervoor.

Plancke et al. (2011) geeft een beschrijving van de referentiesituatie van de morfologie ter hoogte van de 4 stortzones langs de plaatranden. Hierbij is ingegaan op de volumeveranderingen binnen de polygonen van de stortvakken langs plaatranden, die tevens binnen de opvolging van de stortingen plaatsvinden, alsook op de morfologische ontwikkelingen binnen deze gebieden in de periode 1990 – 2009. De belangrijkste bevindingen worden hier overgenomen.

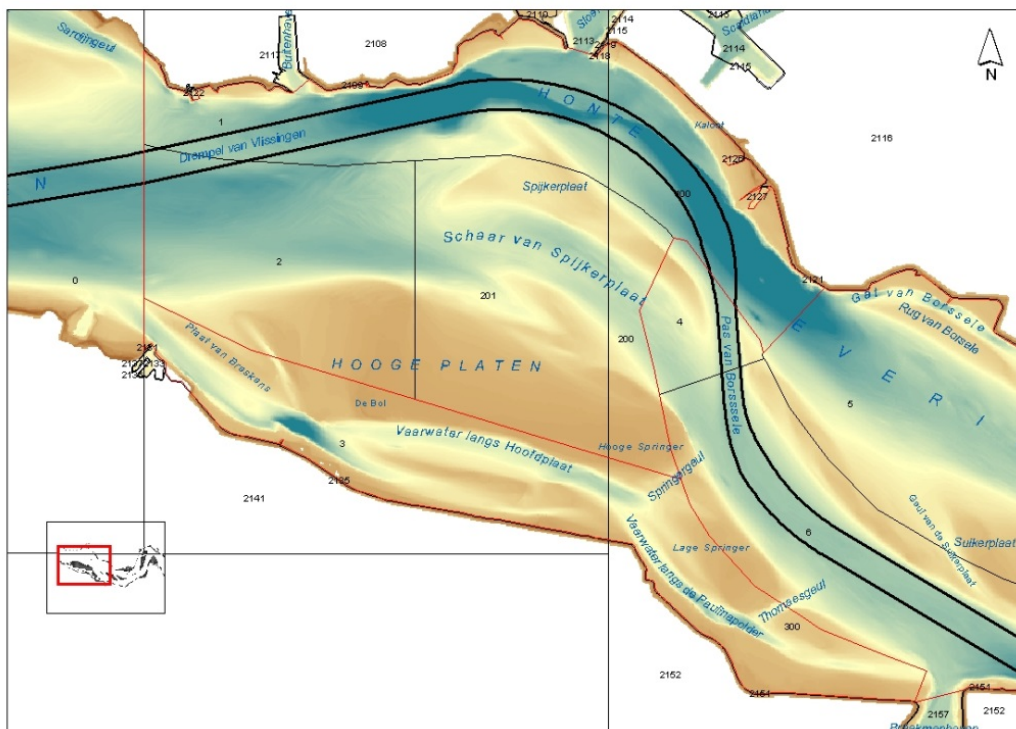
Hooge Platen West

Voor de Hooge Platen West (Figuur 33 – links) vond er tussen 1990 en 2000 een erosie van de plaatpunt plaats, terwijl sinds 2000 de volumeveranderingen een sedimenterende trend geven te wijten aan het vormen en groeien van een zandtong. In het noordelijk deel van het stortvak vindt nog steeds een (beperkte) erosie plaats.

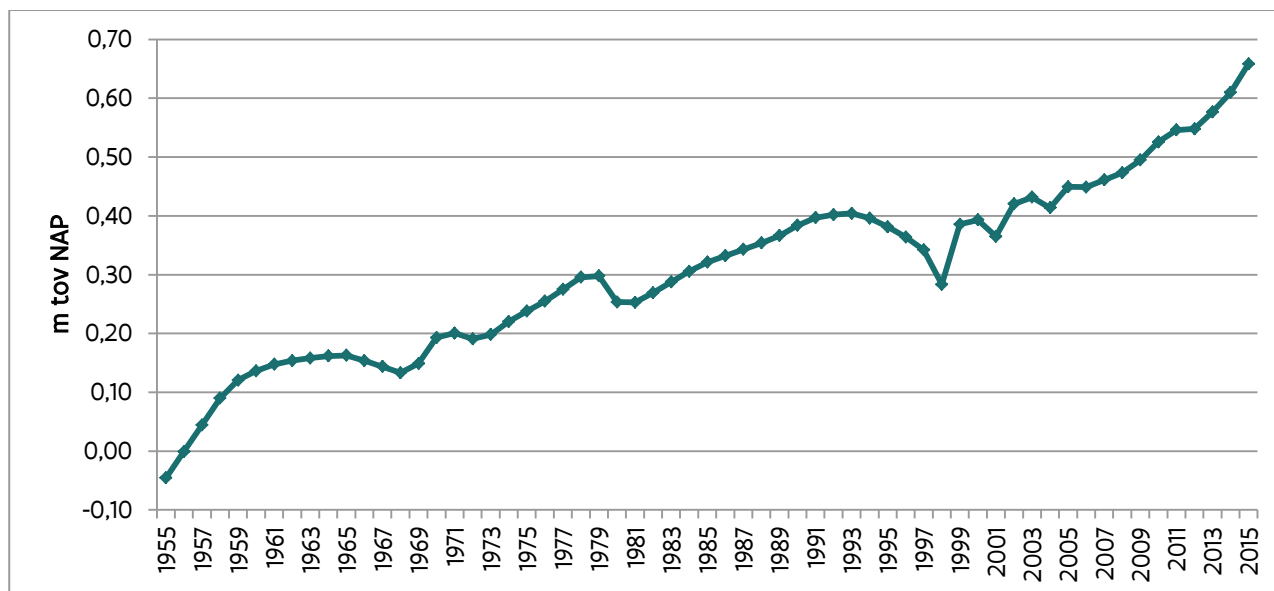
Hooge Platen Noord

Voor de Hooge Platen Noord (Figuur 33 – rechts) worden de volumeveranderingen bepaald door de grootschalige morfologische verandering van de Schaar van de Spijkerplaat. Over de periode 1990 – 2009 heeft een beperkte erosie plaatsgevonden, die kan toegeschreven worden aan het doorbreken van de Schaar van de Spijkerplaat door de Spijkerplaat.

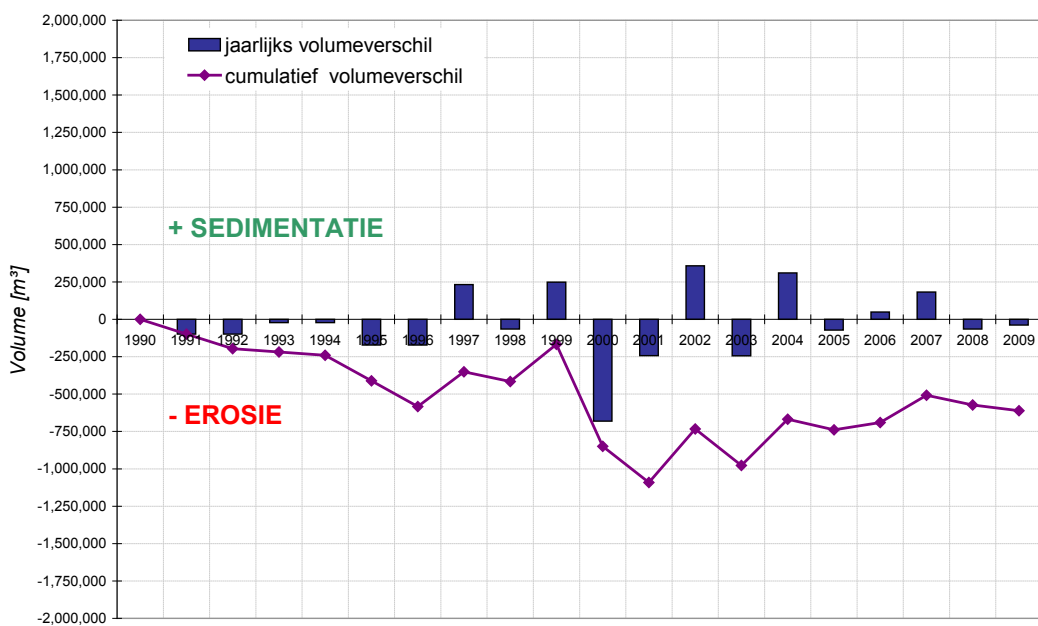
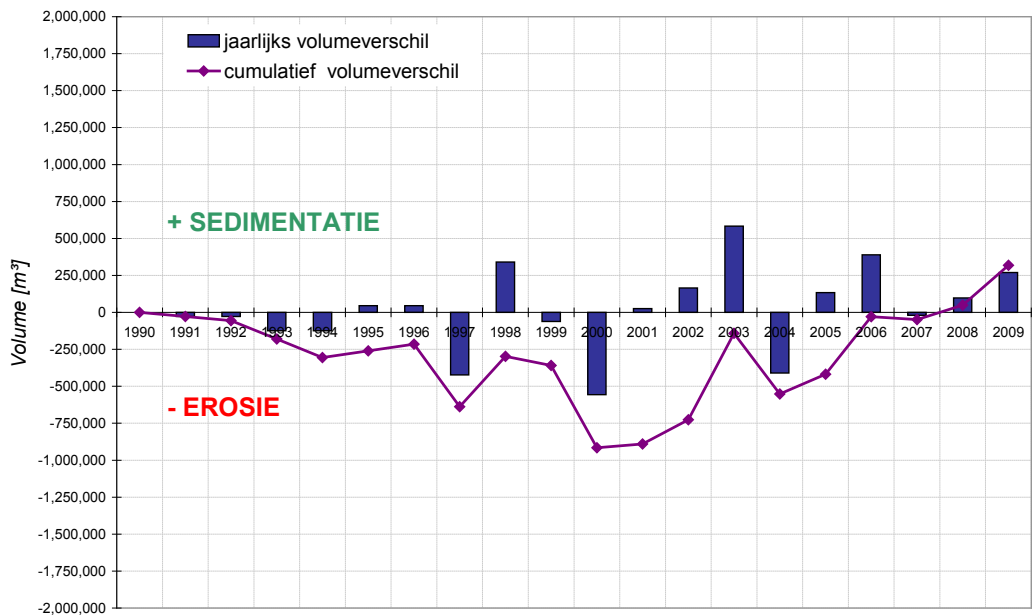
Figuur 31 – Afbakening geulen macrocel 1 en mesocel 2



Figuur 32 – Ontwikkeling van de plaat-hoogte in macrocel 1



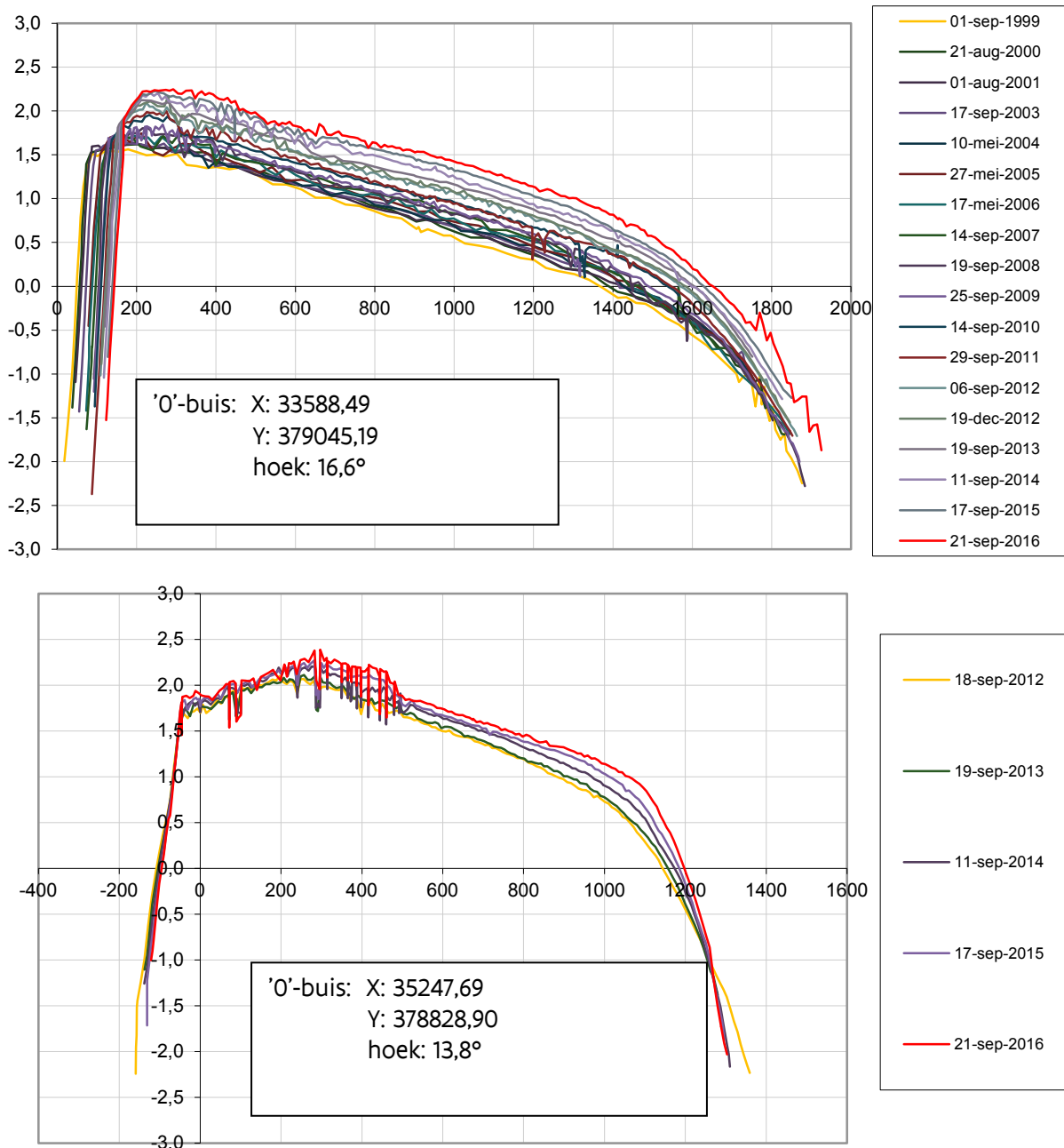
Figuur 33 – Volumeveranderingen nabij de Hooge Platen west (boven) en noord (onder)



RTK-raai

Op de Hooge Platen liggen twee RTK-raaien (2080 en 2090, zie Figuur 39) waarover jaarlijks de hoogte wordt gemeten. In onderstaande figuren is de hoogteontwikkeling op beide raaien weergegeven.

Figuur 34 – Ontwikkeling van plaat-hoogte (in m NAP) voor profiel 2080 (boven) en profiel 2090 (onder) op de Hooge Platen

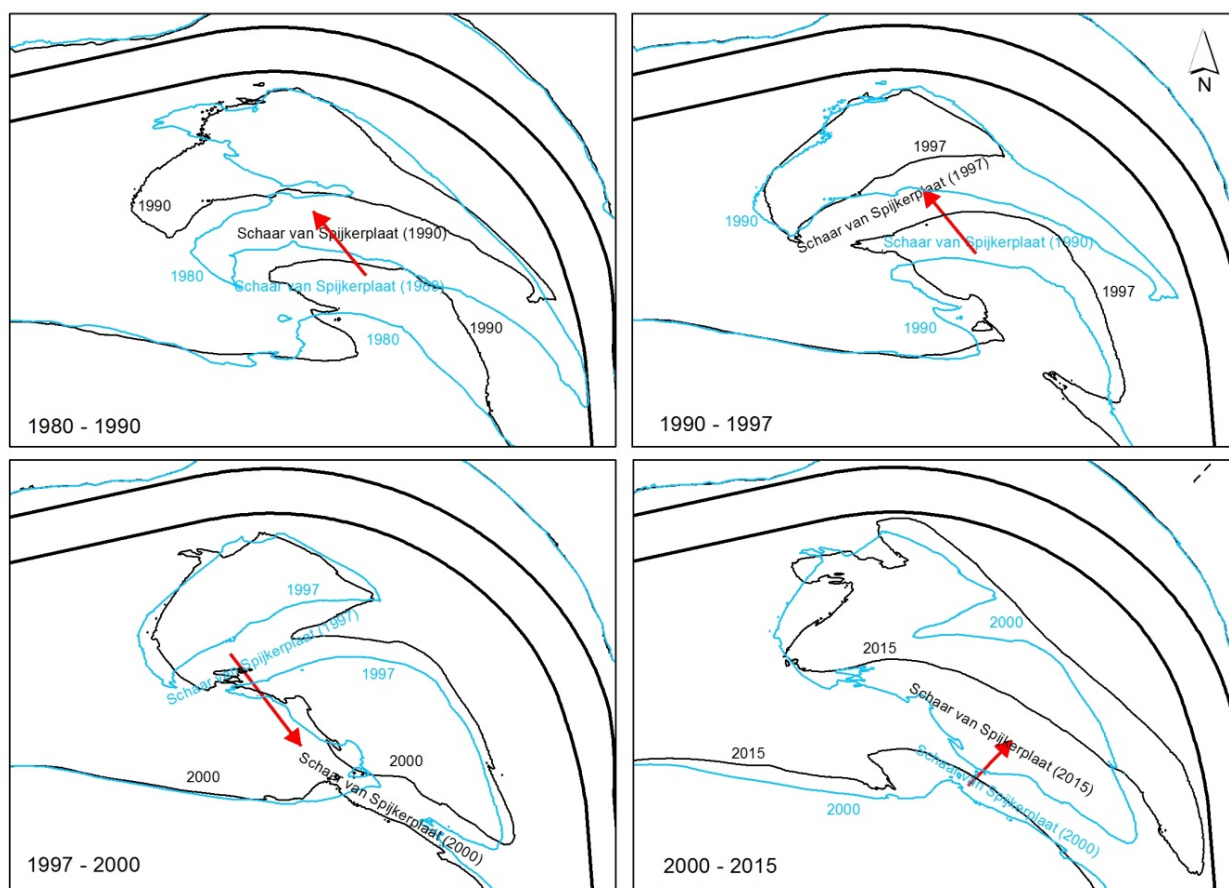


6.1.4 Schaar van Spijkerplaat

De ontwikkeling van de vloed- en ebgel in combinatie met de Hooge Platen vanaf 1980 toont (Figuur 35) dat de Schaar van Spijkerplaat zich binnen de harde begrenzingen (dijken) van de Westerschelde in de loop van de tijd verplaatst. Door de vaste oever en de onderhoudswerkzaamheden aan de hoofdvaargeul blijft de Honte op zijn positie liggen.

Vanaf 1980 verplaatst de Schaar van de Spijkerplaat zich naar het noorden, waardoor de Hooge Platen aan de noordzijde uitbouwen. De Spijkerplaat neemt als gevolg van deze verplaatsing en de begrenzing (de op diepte gehouden hoofdvaargeul) af in oppervlak. Ook vindt een draaiing van de Schaar van Spijkerplaat tegenwijzerzin plaats. Dit naar het noorden opschuiven en roteren van de Schaar van de Spijkerplaat gaat door tot 1999. In dat jaar breekt aan de noordzijde van de Hooge Platen een vloedschaar door. Deze vloedschaar neemt de rol van de Schaar van Spijkerplaat over, en gaat zich in de loop van de jaren weer noordwaarts bewegen. Anno 2015 bevinden we ons nog steeds in deze trend.

Figuur 35 – Morfologische ontwikkelingen Schaar van de Spijkerplaat



6.1.5 Vaarwater langs Hoofdplaat & Vaarwater langs de Paulinapolder

Het Vaarwater langs Hoofdplaat ligt tussen Zeeuws-Vlaanderen en de Hooge Platen en is verbonden met de monding. In de oostelijke richting gaat het Vaarwater langs Hoofdplaat over in het Vaarwater langs de Paulinapolder. Het vormde tot de inpoldering van de Braakman in het midden van de 20^e eeuw de belangrijkste toevoergeul naar deze zijarm van de Westerschelde.

In Bijlage C –Ontwikkeling profielen MC1 zijn diverse profielen te vinden die zijn bepaald op basis van de vaklodingen in de periode van 1980 tot 2015. In de profielen HP.0002 tot en met HP.0005 (Figuur 52 t.e.m. Figuur 55) is te zien dat het Vaarwater langs Hoofdplaat behalve smaller ook veel ondieper is geworden. Het Vaarwater langs de Paulinapolder is daarentegen niet in diepte en nauwelijks in breedte veranderd. In raai HP.0007 (Figuur 57) is te zien dat de verbinding tussen het Vaarwater langs de Paulinapolder en de hoofdvaargeul stabiel is.

6.1.6 Springergeul en Thomaesgeul

De Springergeul is sinds 1980 naar het noordwesten opgeschoven en sterk verondiept. In Bijlage C –Ontwikkeling profielen MC1 is op raai HP.0008 (Figuur 58) te zien dat deze beweging al sinds 1980 aan de gang is, waarbij sinds 1997 de breedte van de geul ook afneemt. De sterke verondieping van de geul begint pas na 2009. De Thomaesgeul beweegt ook in noordwestelijke richting, zij het veel langzamer dan de Springergeul. De geul is t.o.v. 1980 echter niet verondiept.

6.2 Watervolumes geulen

De berekende watervolumes uit de zandbalans van Rijkswaterstaat kunnen worden getotaliseerd tot volumes per eb- en vloedgeul per macrocel. In de zandbalans zijn de watervolumes en oppervlaktes bepaald ten opzichte van de referenties van -500 cm NAP en -200 cm NAP. In de volgende paragrafen zijn deze gegevens grafisch weergegeven voor macrocel 1 en mesocel 2. Figuur 31 geeft de exacte polygoon weer van de verschillende geulen.

6.2.1 Macrocel 1

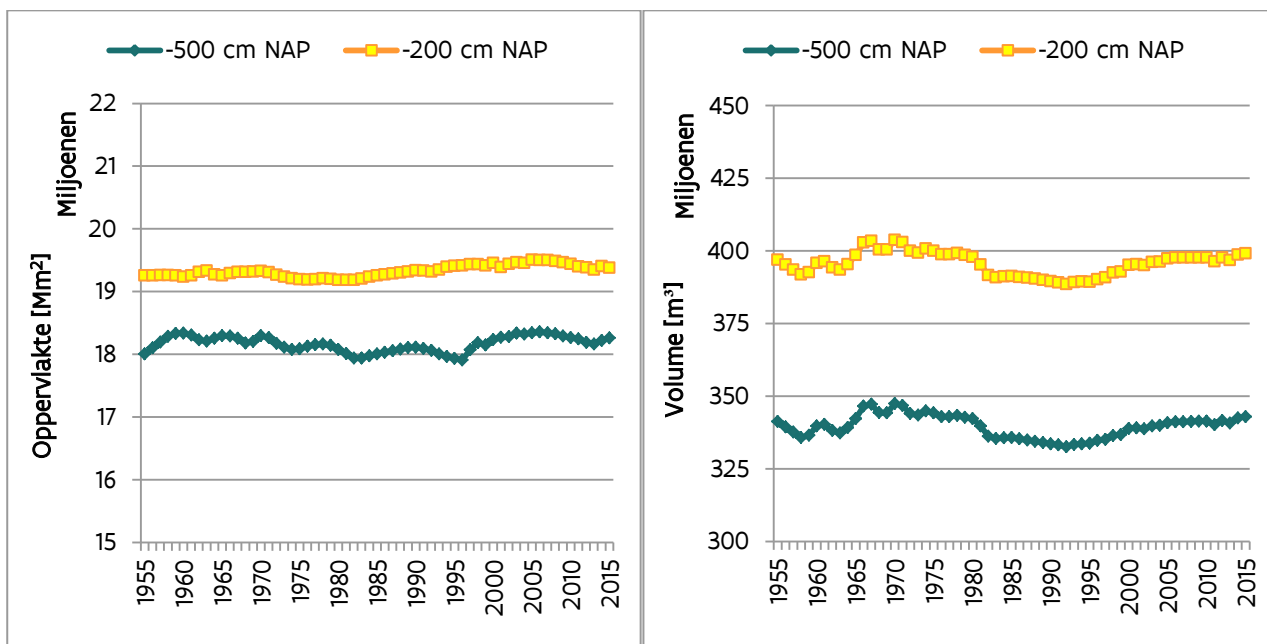
Hoofdgeul

De hoofdgeul (ebgeul) in macrocel 1 bestaat uit de rekenvakken 1 en 100. In Figuur 36 is te zien dat de oppervlakte sinds 1955 (voor beide referentievlakken) vrij stabiel is. Het watervolume vertoont wel enige fluctuaties. Begin jaren 60 is er een lichte stijging, die in de jaren 70 en 80 langzaam teniet wordt gedaan. In de jaren 90 is er dan opnieuw een toename, die sinds 2000 terug stabiliseert.

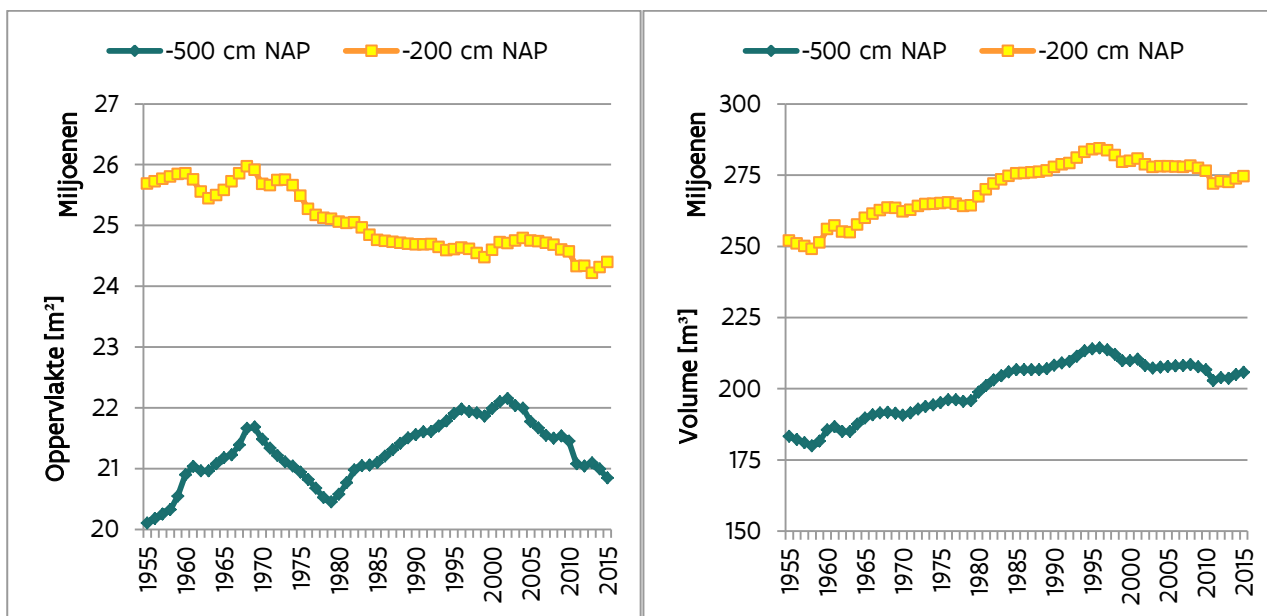
Nevengeul

De nevengeul (vloedgeul) in macrocel 1 bestaat uit de rekenvakken 2, 200 en 201. In Figuur 37 is te zien dat de oppervlakte onder -200 cm NAP geleidelijk afneemt, terwijl de oppervlakte onder -500 cm NAP een sterkere variatie vertoont. Dit kan toegeschreven worden aan het cyclisch gedrag van de Schaar van de Spijkerplaat die met een periodiciteit van 20 à 30 jaar (1) ontstaat ten noorden van de Hooge Platen, (2) naar het noorden migreert en (3) uitsterft in de Spijkerplaat of de Honte. Het watervolume vertoont wel een gelijkaardig patroon voor beide referentievlakken. Tot eind jaren 90 is er een geleidelijke toename die de laatste 15 jaar gestabiliseerd is.

Figuur 36 – Ontwikkeling van geul-oppervlakte (links) en geul-volume (rechts) in de hoofdgeul van macrocel 1



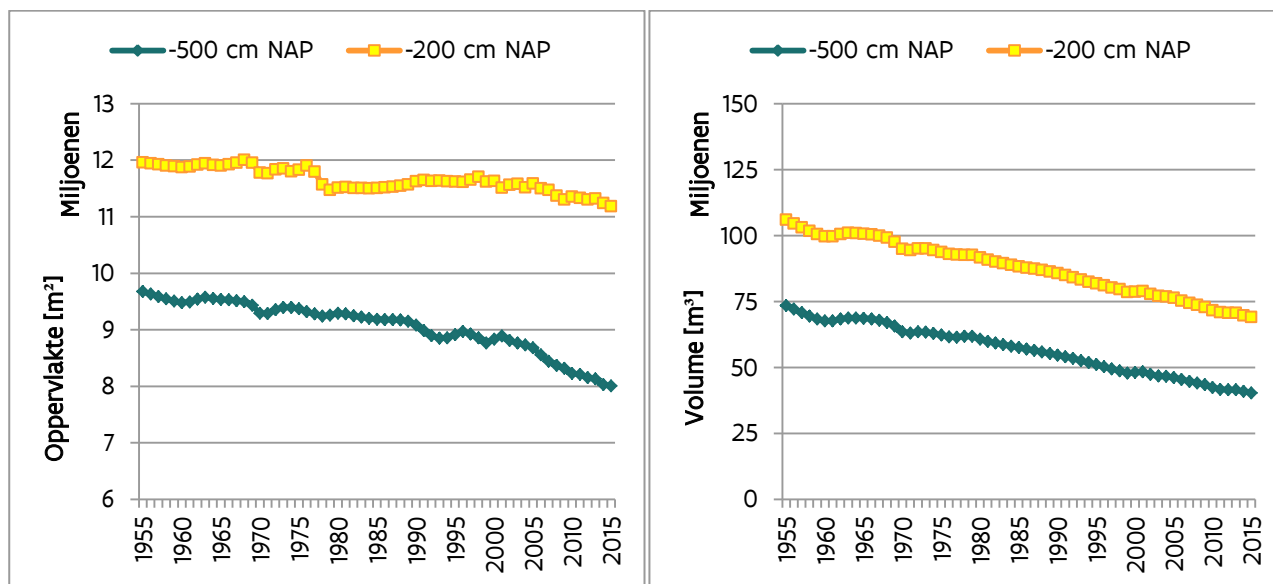
Figuur 37 – Ontwikkeling van geul-oppervlakte (links) en geul-volume (rechts) in de nevengeul van macrocel 1



6.2.2 Mesocel 2

De geul in mesocel 2 bestaat uit de rekenvakken 3 en 300. In Figuur 38 is te zien dat het oppervlakte op beide referentievlakken afneemt, met rond het jaar 2000 een knikpunt (versnelling) voor het referentievlak -500 cm NAP. Het watervolume op beide referentievlakken is sinds 1955 nagenoeg lineair aan het afnemen.

Figuur 38 – Ontwikkeling van geul-oppervlakte (links) en geul-volume (rechts) in mesocel 2



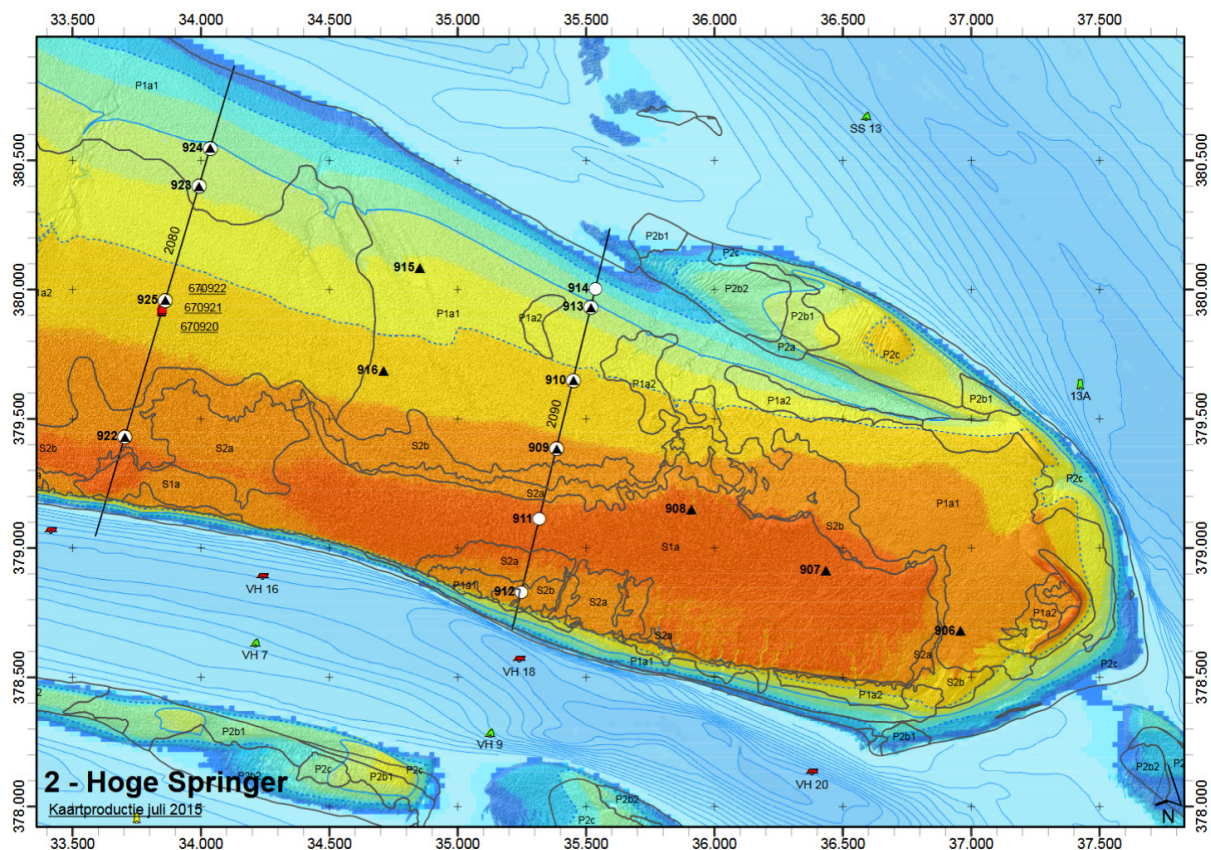
6.3 Hoogteontwikkelingen platen

Rijkswaterstaat voert diverse soorten metingen uit om de hoogteontwikkelingen van de platen in beeld te brengen. Naast de jaarlijkse LIDAR-metingen (ruimtelijk dekkend beeld (resolutie $\sim 1\text{ m} \times 1\text{ m}$) van de hoogteligging van de platen, zie § 6.1.1) en RTK-metingen (aantal vaste profielen op de plaat, zie § 6.1.3), worden er op een aantal vaste punten (Figuur 39) sedimentatie-erosie-plots gemaakt (vanaf 2000, eerst maandelijks, dan 3-maandelijks en sinds 2015 6-maandelijks). Deze metingen laten toe de lange termijn hoogteontwikkelingen te bestuderen. Voor een aantal punten zijn er gegevens beschikbaar sinds 2000, voor andere sinds 2002, terwijl een reeks punten pas sinds 2008 beschikbaar is.

6.3.1 Methode

Voor de analyse is gekozen enkel de punten te weerhouden die voldoende lang ingemeten worden (sinds 2000 of 2002). Aangezien de frequentie van inmeten van de hoogteligging gewijzigd is doorheen de jaren, werden de beschikbare meetgegevens eerste herleidt (via lineaire interpolatie) naar een equidistante tijdreeks (tijdstep gekozen op 90 dagen ~ 3 maanden). Op basis van deze reeks werden trendbreuken gezocht op basis van een lineaire fit. Om dit objectief uit te voeren, werd gebruik gemaakt van de “breakpoints” functie binnen R. De minimale lengte van een segment werd op 8 (i.e. 2 jaar) gekozen. Zowel het optimaal aantal breakpoints (op basis van RSS en BIC) als een vast (2) aantal breakpoints werden bepaald. Per segment werd vervolgens een lineaire fit gemaakt.

Figuur 39 – Ligging sed-ero-plots ter hoogte van Hooge Platen en Hooge Springer

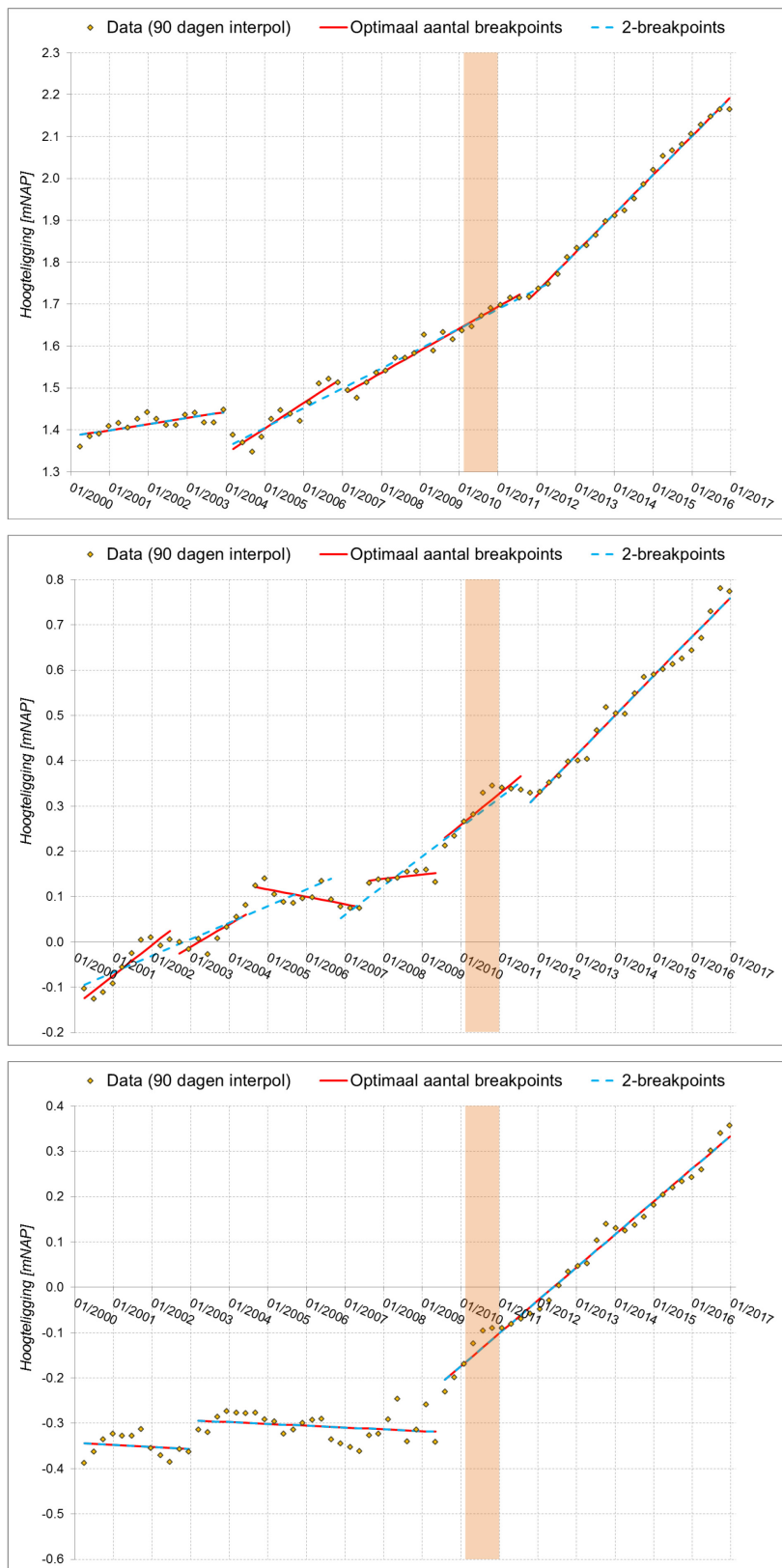


6.3.2 Resultaten

De punten 922, 923, 924 worden ingemeten sinds 2000 en zijn centraal op het Hooge Platen gelegen. Uit de trendanalyse (Figuur 40) blijkt dat verschillende knikpunten kunnen teruggevonden worden, waarbij het aantal en het moment verschilt tussen deze 3 meetpunten. Het laagst gelegen punt (924) vertoont 2 knikpunten: een eerste eind 2002, een tweede begin 2009. Er vindt geen verandering plaats in de ophogingssnelheid sinds de uitvoering van de stortingen nabij de Hooge Platen West en Noord in 2010. Het ietwat hoger gelegen punt (923) geeft maar liefst 5 knikpunten (2002, 2004, 2007, 2009, 2011). Wanneer de ophogingssnelheid van het laatste segment (vanaf 2011) vergeleken wordt met het voorlaatste (2009-2011) is er een lichte toename te zien (8,7 cm/jaar \leftrightarrow 6,9 cm/jaar). Het hoogst gelegen punt (922) kent 3 knikpunten (2003, 2006, 2011). Wanneer de ophogingssnelheid van het laatste segment (vanaf 2011) vergeleken wordt met het voorlaatste (2006-2011) is er een aanzienlijke toename te zien (9,3 cm/jaar \leftrightarrow 5,2 cm/jaar).

Het is moeilijk om de invloed van de stortingen op de wijzigingen in ophogingssnelheid éénduidig vast te stellen: aangezien de verwachting is dat de gestorte specie eerst op de lagere delen van de plaat terecht zou komen, terwijl het laagste punt geen trendbreuk geeft na 2010, kan hier geen effect vastgesteld worden. Voor de hogere punten is er wel een trendbreuk na 2010 die zou kunnen toegeschreven worden aan de stortingen (verhoogde sedimentbeschikbaarheid), maar ook de verhoogde trapping van sediment door de uitbreidende vegetatie op het hoogste deel van de Hooge Platen zijn hier een mogelijke oorzaak voor de veranderingen in ophogingssnelheid.

Figuur 40 – Hoogte-ontwikkelingen met trendanalyse voor punten 922 (boven), 923 (midden) en 924 (onder) (oranje balk geeft periode weer van aanlegbaggerwerken tijdens de verruiming)



De punten 906, 907, 908, 909 worden ingemeten sinds 2002 en liggen op ongeveer dezelfde hoogte in het oostelijke deel van de Hooge Platen en de Hooge Springer. Uit de trendanalyse (Figuur 42) blijkt dat verschillende knikpunten kunnen teruggevonden worden, waarbij het aantal en het moment verschilt tussen deze 4 meetpunten. Het meest westelijke gelegen punt (909) vertoont 4 knikpunten (2003, 2006, 2009, 2013), het punt 908 geeft 3 knikpunten (2004, 2009, 2011), punt 907 geeft 2 knikpunten (2007, 2010) en het meest oostelijke punt (906) geeft maar liefst 5 knikpunten (2004, 2006, 2009, 2011, 2013). Hoewel deze momenten verschillen tussen de verschillende punten, treedt er in 3 punten een trendbreuk op eind 2009, waarbij er een plotse (i.e. sprong in één of twee tijdstep(pen) van 3 maanden) ophoging ter hoogte van deze punten te zien is. Aangezien de stortingen ter hoogte van Hooge Platen Noord pas in mei 2010 gestart zijn, kan deze versterkte ophoging hier niet aan toe te schrijven zijn.

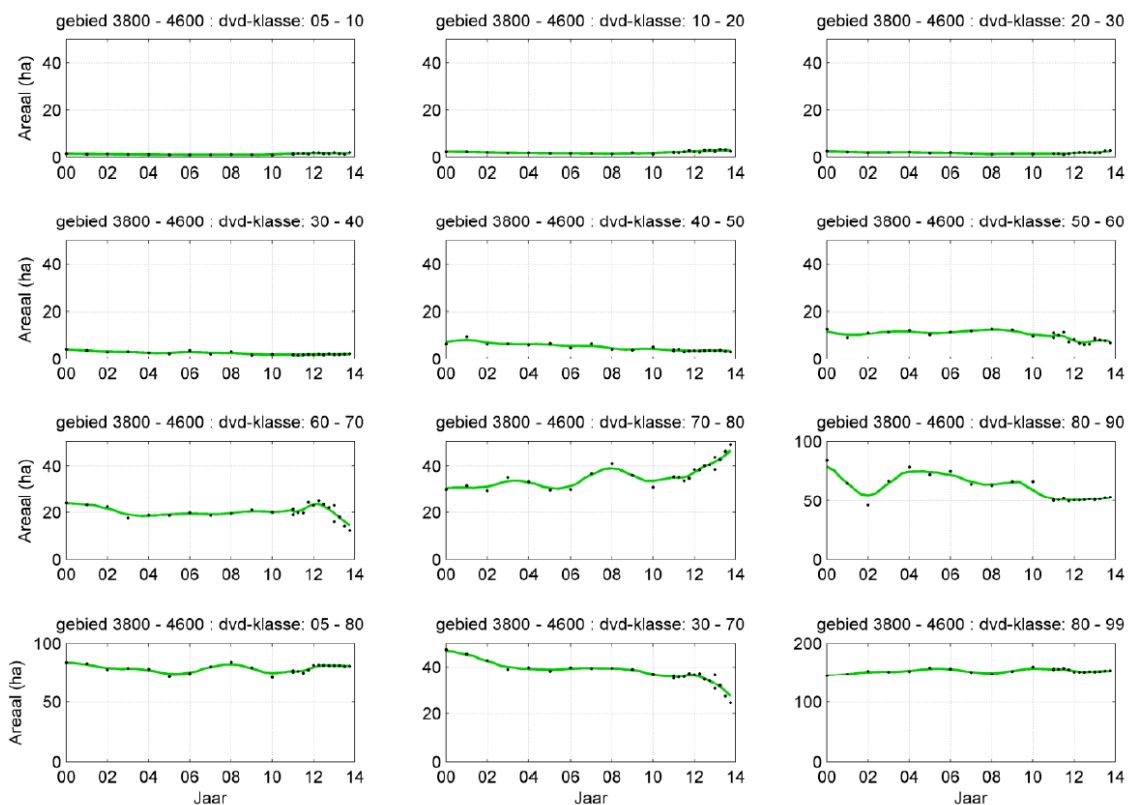
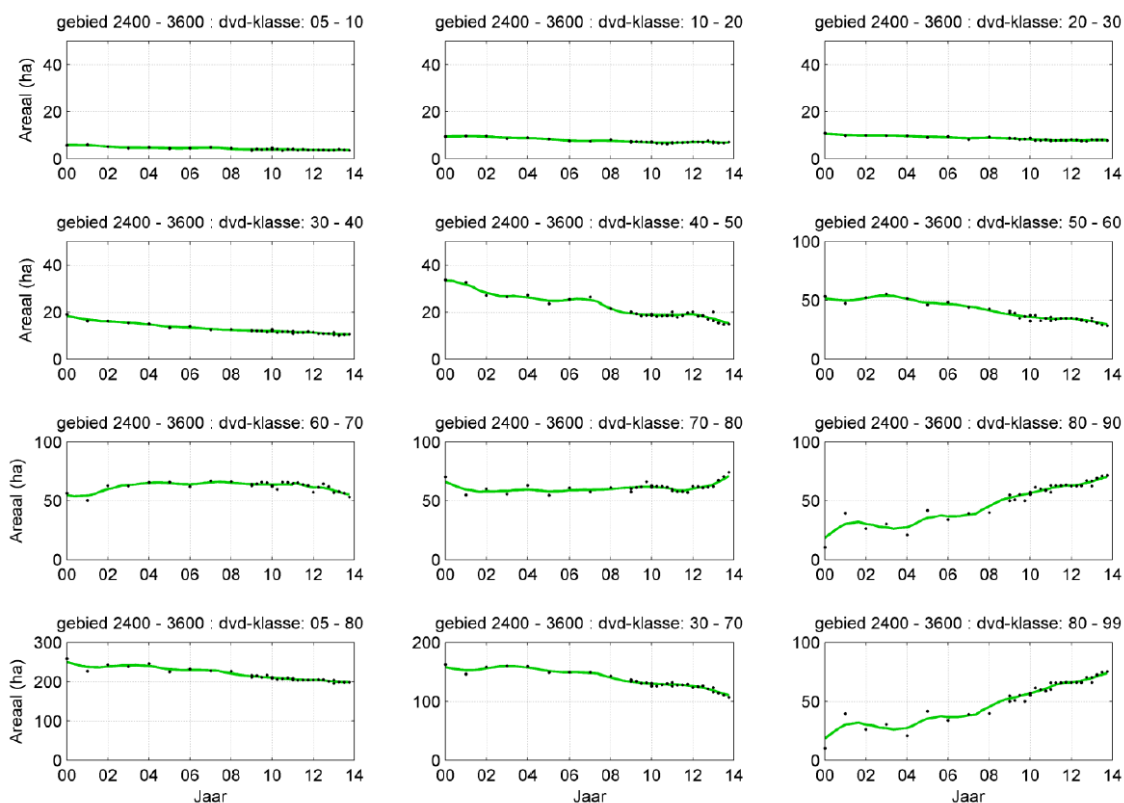
Wanneer de ophogingssnelheid voor (2010) en na (vanaf 2011) de aanvang van de stortingen ter hoogte van Hooge Platen Noord vergeleken worden, is er voor de 2 meest westelijke punten (906, 907) een afname (resp. 3,2 cm/jaar ⇔ 1,1 cm/jaar en 3,9 cm/jaar ⇔ 2,6 cm/jaar) vast te stellen, en voor de 2 meest oostelijke punten (908, 909) een toename (resp. 3,1 cm/jaar ⇔ 6,7 cm/jaar en 2,5 cm/jaar ⇔ 5,1 cm/jaar).

Voor de meest westelijke punten is de ophoging na 2010 afgenomen. Een invloed van de stortingen op de wijzigingen (i.e. versterking) in ophogingssnelheid is hier dan ook niet vast te stellen. De oostelijke punten vertonen wel een versnelde ophoging na 2010, maar aangezien deze punten ver van de stortlocatie Hooge Platen Noord gelegen en de westelijke punten geen toename in ophogingssnelheid vertonen, kan deze ontwikkeling niet toegeschreven worden aan de stortingen.

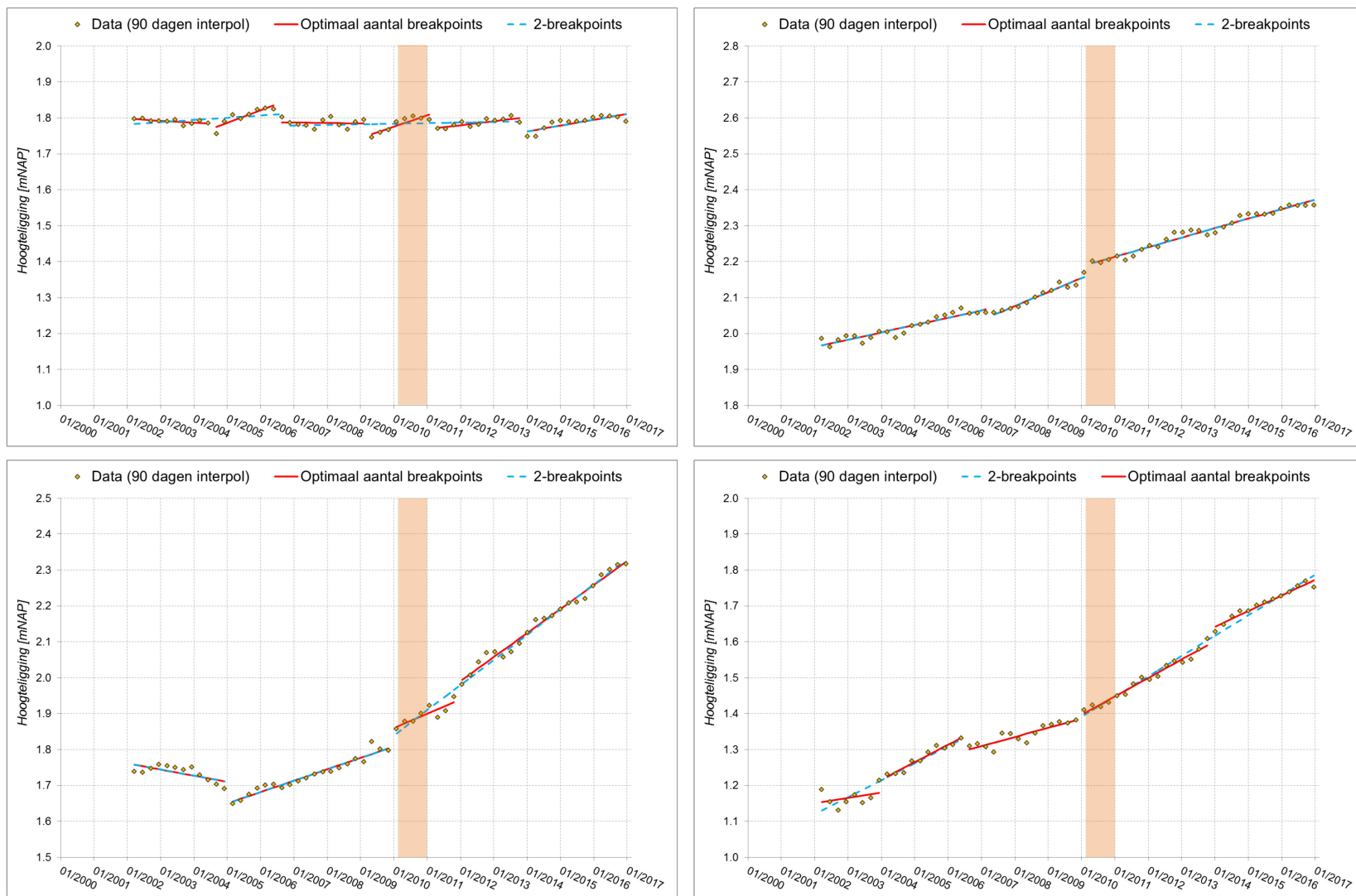
6.3.3 Overige studies

In (IMDC, 2013) werd op basis van de vaklodingen, LIDAR-data en single beam raaien (alles ter beschikking gesteld door Rijkswaterstaat) eveneens de hoogte-ontwikkeling ter hoogte van Hooge Platen Noord in kaart gebracht. Deze analyse richtte zich op de ontwikkelingen in de lengte en arealen van gebieden binnen een bepaalde droogvalduurklasse (o.a. 30-70% droogvalduur ("dvd"), die belangrijk is voor foeragerende vogels). De nota concludeert dat *"hoger en op het centrale deel (Figuur 41 - boven) van de plaat is het areaal tussen 30% en 70% dvd iets sneller afgenomen vanaf midden 2012, maar de trendwijzigingen blijken niet significant te zijn. Op basis van de waarnemingen en gekende langjarige trends (inclusief het vermoeden dat de Bol oostwaarts migreert) was het areaalverlies een te verwachten proces. Het is echter niet uit te sluiten dat de versnelling van een aantal areaalafnames in het westen (aangrenzend aan de Bol - Figuur 41 - onder) versterkt kan zijn door de stortingen die in de nabijheid zijn uitgevoerd. De invloed van de stortingen is indirect: aan de westzijde wordt mogelijkwijs de verplaatsing van de Bol naar het oosten beïnvloed en aan de oostzijde de ontwikkeling van de zandtong."*

Figuur 41 – Areaal-ontwikkelingen per droogvalduurklasse in het centrale (boven) en westelijke (onder) deel van de Hooge Platen
Bron: (IMDC, 2013)



Figuur 42 – Hoogte-ontwikkelingen met trendanalyse voor punten 906 (boven-links), 907 (boven-rechts), 908 (onder-links) en 909 (onder-rechts) (oranje balk geeft periode weer van aanlegbaggerwerken tijdens de verruiming)



7 Ecologie

In het kader van het MER verruiming vaargeul (Consortium Arcadis & Technum, 2007) werd de plaatrand-variant als meest wenselijk alternatief genoemd. Om invulling te geven aan deze plaatrandstortingen volgde het zogeheten Determinatieonderzoek plaatrandstortingen (Ides *et al.*, 2008; Ides & Plancke, 2008; Plancke, Ides *et al.*, 2008) waarin een voorstel werd ontwikkeld voor de stortstrategie nabij de verschillende plaatranden. Hierop volgend werden ook inschattingen gemaakt van de potentiële effecten, die na de uitvoering ook werden getoetst op basis van de ecotopenkaarten.

7.1 Doelstellingen

Aansluitend aan het Determinatieonderzoek plaatrandstortingen, werd in de Nota plaatrandstortingen (Plancke, Sas *et al.*, 2008) een inschatting gemaakt van de te verwachte toename in laagdynamisch areaal nabij de verschillende plaatranden. Deze voorspellingen zijn overgenomen in Tabel 5.

Tabel 5 – Overzicht voorspelde toename oppervlakte laagdynamisch areaal na 5 jaar

Locatie	Litoraal [ha]	Sublitoraal (ondiep) [ha]	Totaal [ha]
Plaat van Walsoorden	9	2	11
Rug van Baarland	48	16	64
Hooge Platen	39	< 0,5	39
TOTAAL	96	18	114

In (Plancke *et al.*, 2009) wordt eveneens een voorspelling gepresenteerd waarbij een bandbreedte wordt meegegeven. Deze waarden zijn terug te vinden in Tabel 6. Voor de Hooge Platen wordt ook gesteld dat voor het sublitoraal de verwachting eerder nabij de ondergrens zal liggen omwille van de hoge dynamiek op deze locatie.

Tabel 6 – Overzicht voorspelde toename oppervlakte laagdynamisch areaal na 5 jaar, inclusief bandbreedte

Locatie	Litoraal [ha]	Sublitoraal (ondiep) [ha]
Plaat van Walsoorden	0-30	20-50
Rug van Baarland	25-45	30-75
Hooge Platen	0-35	0-70

7.2 Resultaten

7.2.1 Ecotopenkaarten

Rijkswaterstaat publiceert elke 2 jaar een ecotopenkaart van de Westerschelde. In het kader van het Overleg Flexibel Storten, wordt ten behoeve van het protocol flexibel storten de verandering van het laagdynamisch areaal getoetst. Hiervoor werden langs de plaatranden invloedsgebieden afgebakend. Dit gebeurde op basis van de voorspelde veranderingen in stroomsnelheden in de numerieke modelsimulaties.

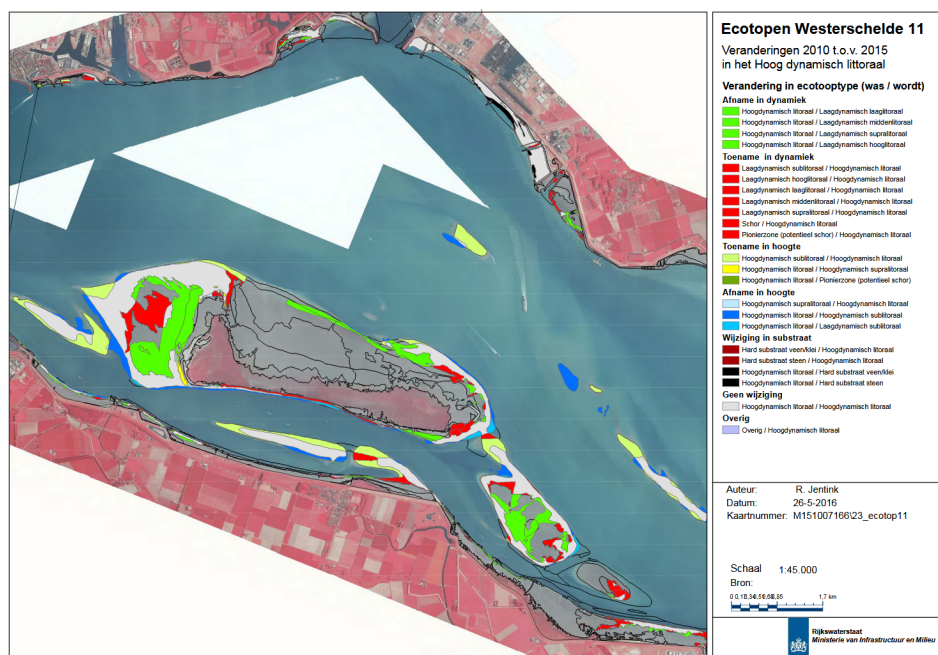
De resultaten worden elke 2 jaar gerapporteerd in de voortgangsrapporten. Het meest recente voortgangsrapport bestrijkt de periode 2014-2015 (IMDC, 2017b) en geeft voor de Hooge Platen geen verandering voor het laagdynamisch sublitoraal, en een toename van bijna 50 ha voor het laagdynamisch litoraal, dit binnen de vooraf afgebakende invloedsgebieden (Tabel 7).

In Figuur 43 wordt de verandering weergegeven van de verschillende ecotopen (bron: (Rijkswaterstaat, 2016). Hierop is duidelijk dat de toename nabij Hooge Platen Noord toe te schrijven is aan een omzetting van hoogdynamisch gebied langs de laagwaterlijn. Voor Hooge Platen West verandert er netto gezien weinig, maar is er wel een grote omzetting van zowel hoog- naar laagdynamisch (achter de nieuw gevormd zandrug langs de laagwaterlijn) als van laag- naar hoogdynamisch (centraal op de punt).

Tabel 7 – Overzicht waargenomen verandering in oppervlakte laagdynamisch areaal na 5 jaar

Locatie	Litoraal [ha]	Sublitoraal (ondiep) [ha]
Hooge Platen West	-1	0
Hooge Platen Noord	+50	0

Figuur 43 – Verandering in ecotopen rond Hooge Platen tussen 2010 en 2015

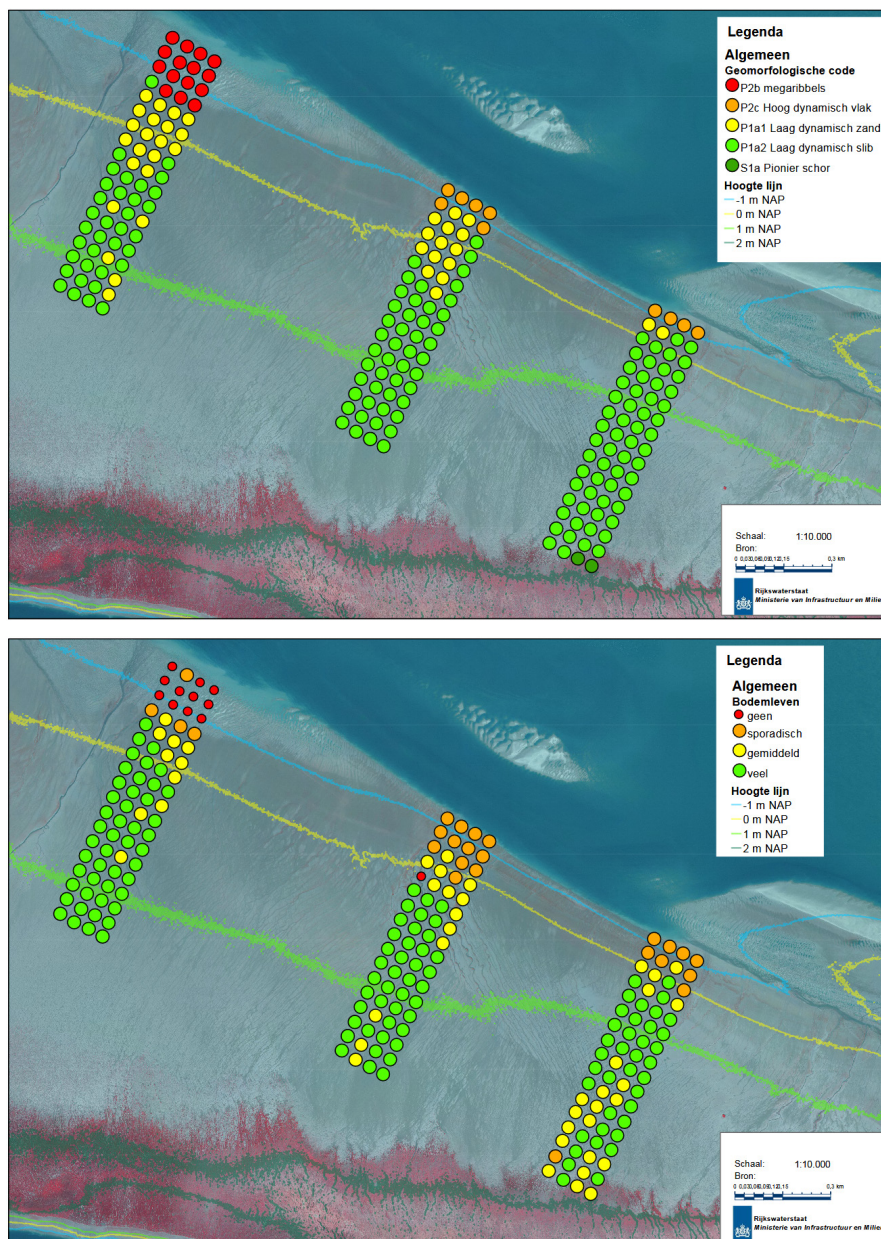


7.2.2 Kwalitatieve ecologische bemonstering

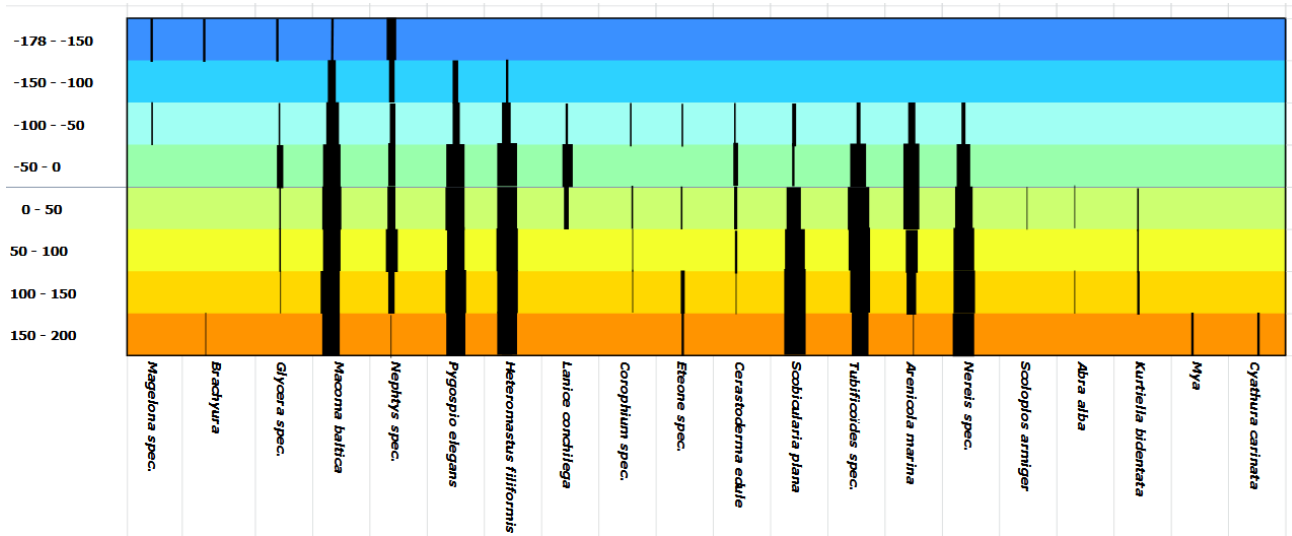
Sinds 2016 voert Rijkswaterstaat regelmatig een kwalitatieve bemonstering uit op een aantal platen in de Westerschelde. Hierbij wordt volgens een regelmatig patroon een analyse uitgevoerd van de bodem. Met een spade wordt de bodem opengemaakt (één spade diep) en worden alle zichtbare voorkomende bodemdieren genoteerd. Op deze manier ontstaat het beeld een soort voorkomt of niet en wordt een gebiedsdekkend beeld verkregen van de verspreiding van bodemdiersoorten in het gebied. Voor een uitgebreide beschrijving wordt verwezen naar (Rijkswaterstaat, 2017).

Figuur 44 geeft het ruimtelijke beeld ter hoogte van de monsternamepunten inzake de indeling volgens de ecotopen, alsook het voorkomen van bodemdieren. Hieruit blijkt dat over een groot deel van de Hooge Platen bodemdieren aanwezig zijn. Figuur 45 geeft daarnaast een overzicht van het voorkomen per soort in de verschillende hoogteklassen. Een aantal soorten komen voor in het laag litoraal, doch het merendeel van de soorten bevindt zich op de hoger gelegen delen van de plaat.

Figuur 44 – Indeling volgens ecotopen (boven) en voorkomen bodemleven (onder) volgens kwalitatieve bodembemonstering HPN



Figuur 45 – Voorkomen van verschillende soorten per hoogtezone op Hooge Platen Noord



8 Voorstel stortstrategie

8.1 Probleembeschrijving

In macrocel 1 zijn 3 stortzones gelegen. Twee van de stortzones zijn gelegen langs plaatranden (HPW en HPN) en werden gekozen vanuit de potentiële ecologische winst. In de afgelopen jaren werden er echter bezorgdheden geuit omtrent de versnelde ophoging van de Hooge Platen die gerelateerd werd aan de stortingen aldaar. In volgende paragrafen wordt er een voorstel van stortstrategie gedaan op basis van bovenstaande analyses.

8.2 Voorstel stortstrategie

8.2.1 Hooge Platen West

De stortingen ter plaatse van Hooge Platen West hadden tot doel een onderwater megaduin aan te leggen om een stroomluwe zone te creëren. Uit de opvolging van de stortingen is gebleken dat de gestorte specie op een termijn van enkele maanden getransporteerd wordt, doch dat deze specie zich grotendeels binnen de controlepolygoon bevindt. Een deel van de specie is terecht gekomen rond de Plaat van Breskens (uitbreiding van deze plaat), terwijl een ander deel terecht is gekomen op de zuid-westrand van de Hooge Platen waar zich een oeverwal van ca. 1m hoog heeft gevormd. Achter deze wal heeft zich een slibrijke gebied gevormd dat potentiële ecologisch waardevol is.

De bezorgdheid dat gestorte specie terecht komt op de Hooge Platen (ten oosten van de Bol), kan grotendeels weggenomen worden, aangezien het merendeel van de gestorte specie binnen de controlepolygoon aanwezig blijft. Daarnaast wordt door het Zeeuwse Landschap (Het Zeeuwse Landschap & Delta Project Management, 2016) aangegeven dat de Bol de belangrijkste broedlocatie is in de Westerschelde en wordt voorgesteld om de hoogste locatie verder op te hogen met baggerspecie.

Op basis van deze vaststellingen, wordt dan ook geadviseerd de stortingen ter hoogte van de stortlocatie Hooge Platen West voort te zetten, conform de vergunde hoeveelheden en volgens de principes van de stortstrategie (storten binnen zelfde macrocel of macrocel afwaarts). Het verdient de aanbeveling om de stortingen te concentreren in het zuidelijk deel van het vergunde stortgebied, om het verlies richting Schaar van de Spijkerplaat en potentiële aanvoer naar de Hooge Platen Noord te minimaliseren.

8.2.2 Hooge Platen Noord

De stortingen ter plaatse van Hooge Platen Noord hadden tot doel een onderwater zand tong aan te leggen om een stroomluwe zone te creëren. Uit de opvolging van de stortingen (IMDC, 2017a) is gebleken dat de gestorte specie grotendeels stabiel is en zich na 7 jaar quasi volledig binnen de controlepolygoon bevindt. De bezorgdheid dat gestorte specie terecht komt op de Hooge Platen (ten oosten van de Bol), is terecht in de onmiddellijke omgeving van de stortingen (westelijk deel van Hooge Platen Noord), maar op basis van de uitgevoerde trendanalyse voor de meetpunten op de Hooge Platen en Hooge Springer werd voor het centrale en oostelijke deel geen trendbreuk vastgesteld die gerelateerd kan worden aan de stortingen.

Op basis van deze vaststellingen, wordt geconcludeerd dat het “on hold” zetten van de stortingen een zeer voorzichtige conclusie is. Indien de noodzaak of de wens (met het oog op het creëren van waardevol areaal) zich voordoet om deze stortlocatie opnieuw te gebruiken, wordt gesteld dat het risico op een

versnelde ophoging van de plaat beperkt blijft, op voorwaarde dan niet onmiddellijk tegen de plaat gestort wordt en dat de specie bestaat uit middelgrof zand ($d_{50} > 200-250 \mu\text{m}$).

8.2.3 Nevengeul SN11

De stortingen in de nevengeul Schaar van de Spijkerplaat (SN11) hebben geen aanleiding gegeven tot specifieke bezorgdheden. Deze stortingen kunnen verdergezet worden conform de vergunde hoeveelheden en volgens de principes van de stortstrategie (storten binnen zelfde macrocel of macrocel afwaarts). Om de mogelijke export naar het mondingsgebied te beperken, wordt de aanbeveling gegeven om in de mate van het mogelijke te storten het vloed-dominante deel van het stortvak, i.e. de zuidelijke helft.

8.2.4 Overige zones

Vertrekkende van de principes van de huidige vergunde stortvakken, biedt macrocel 1 ook de mogelijkheid om een stortzone in de hoofdgeul te definiëren (conform de huidige nomenclatuur zou dit SH11 zijn). Op basis van de uitgevoerde analyses, en met name de dominantie van de stroming en het transport, zou het noordelijke deel van het opwaartse deel van de Honte een geschikte bijkomende stortzone zijn. Deze stortzone zou zich kunnen uitstrekken van net opwaarts de toegang tot de Sloehaven tot en met de diepe put van Borssele, aangezien dit volledige gebied een vloed-dominant karakter kent.

8.3 Aanbevelingen

Op basis van de uitgevoerde analyse blijkt dat het sedimenttransport, dat aan de basis ligt van de morfologische veranderingen, slechts beperkt gekend is. Hiervoor wordt de aanbeveling gemaakt om enerzijds aanvullende metingen (stroming én sedimenttransport) uit te voeren op verschillende locaties op verschillende momenten in de tijd. Deze gegevens kunnen gebruikt worden om de numerieke modellen uitgebreid te valideren. Dit moet leiden tot een modelinstrumentarium dat met meer vertrouwen kan ingezet worden in het doorrekenen van verschillende scenario's, zowel naar optimalisatie van het gebruik van de huidige stortzones als potentiële nieuwe stortlocaties.

9 Referenties

Consortium Arcadis & Technum. (2007). Hoofdrapport Milieueffectrapport: verruiming vaargeul Beneden Zeeschelde en Westerschelde

Engelund, F.; Hansen, E. (1967). A monograph on sediment transport in alluvial streams: Copenhagen, Denmark. Available at: <https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid:81101b08-04b5-4082-9121-861949c336c9?collection=research>

Goossens, M.; Depreiter, D.; Plancke, Y.; Mostaert, F. (S.d.). Overleg Flexibel Storten: Deelrapport 25 – Sedimentbalans ter hoogte van de Hooge Platen

Het Zeeuwse Landschap; Delta Project Management. (2016). 7-Eilandenplan Duurzame en korte termijn maatregelen voor het behoud van kustbroedvogels in de Zuidwestelijke Delta.

Ides, S.; Plancke, Y. (2008). Determinatieonderzoek plaatrandstortingen: deelrapport 2. Numerieke modellering. *RPRT. WL Rapporten, 791/06*. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen

Ides, S.; Plancke, Y.; Peters, J.J. (2008). Determinatieonderzoek plaatrandstortingen: deelrapport 3. Voorstel stortstrategie. *RPRT. WL Rapporten, 791/06*. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen

IMDC. (2013). Aanvulling hoogteontwikkeling Hooge Platen Noord – data 2013

IMDC. (2017a). Maandrapport Flexibel Storten april-mei 2017

IMDC. (2017b). Voortgangsrapportage 2014-2015: syntheserapport: Antwerpen, België

Plancke, Y.; Ides, S.; Peters, J.J. (2008). Determinatieonderzoek plaatrandstortingen: deelrapport 1. Historische morfologische analyse en interpretatie terreinmetingen. *RPRT. WL Rapporten, 791/06*. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen

Plancke, Y.; Sas, M.; Heinis, F.; Ides, S. (2008). Nota plaatrandstortingen: verruiming vaargeul Westerschelde. *RPRT. WL Rapporten, 791_06*. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen

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

Plancke, Y.; Vos, G.; Ides, S.; Mostaert, F. (2009). Determinatieonderzoek plaatrandstortingen: ontwikkelingen van arealen op de korte termijn. *RPRT. WL Rapporten, 791_06*. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen

Plancke, Y.; Vos, G.; Taverniers, E.; Mostaert, F. (2011). Overleg flexibel storten: T0 morfologie plaatranden. *RPRT. WL Rapporten, 791_08*. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen

Rijkswaterstaat. (2016). ontwikkeling ecotopen Westerschelde

Rijkswaterstaat. (2017). Kwalitatieve benthos opname Hooge platen Noord

Rijkswaterstaat Zeeland; Departement Mobiliteit en Openbare Werken, afdeling M.; Toegang. (2008). Protocol voorwaarden voor flexibel storten – Kwaliteitsparameters

Schrijver, M.; Plancke, Y. (2008). Uitvoeringsplan MONEOS-T 2008 - 2018. *RPRT*. Rijkswaterstaat Zeeland/Vlaamse Overheid. Departement voor Mobiliteit en Openbare Werken: Middelburg

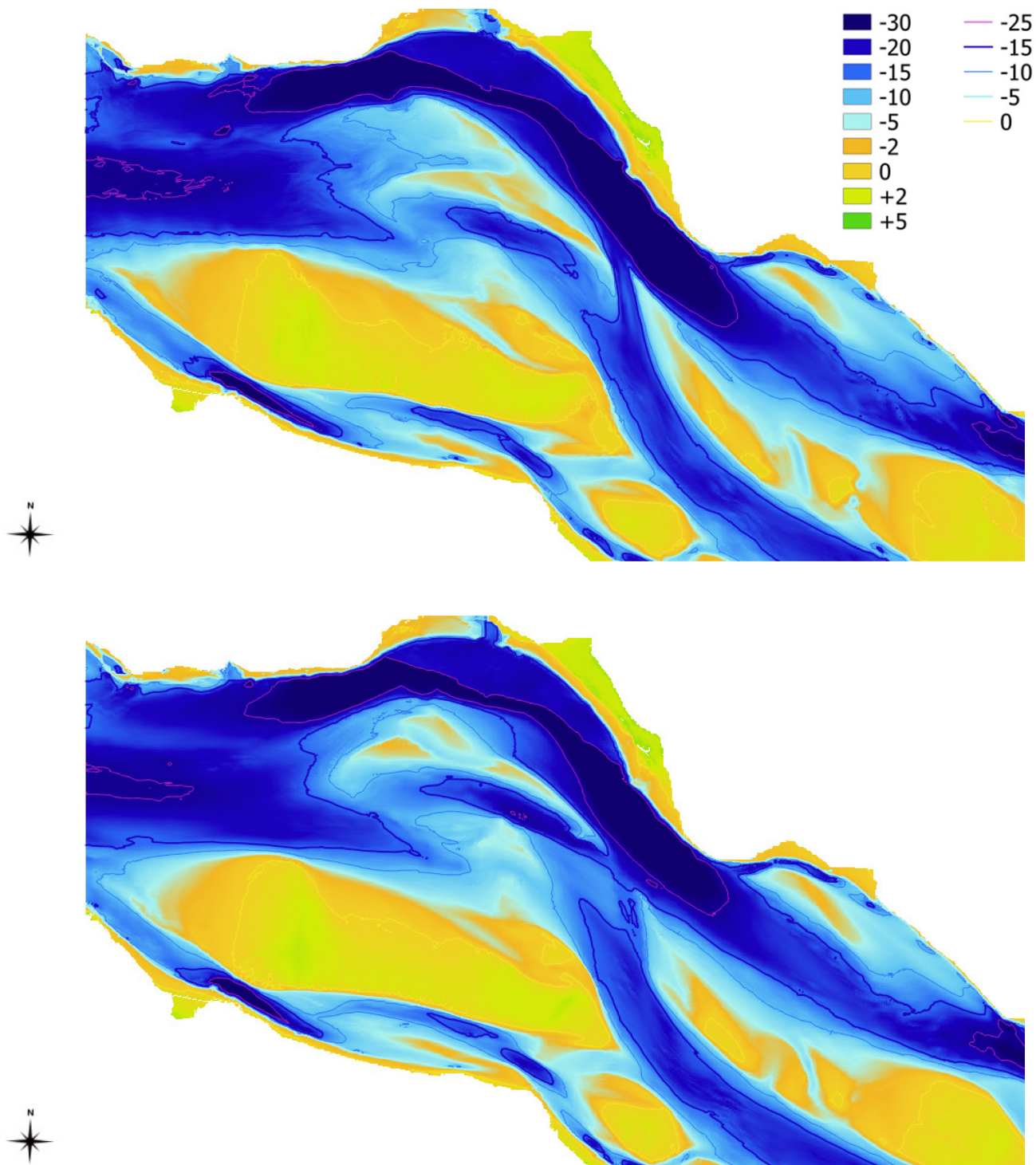
Vandenbruwaene, W.; Vos, G.; Plancke, Y.; Mostaert, F. (2012). Werkgroep O&M - Projectgroep Veiligheid en Toegankelijkheid: onderzoek naar de morfologie op meso-schaal ter hoogte van stortlocaties. *RPRT. WL Rapporten, 791_10a*. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen

Vos, G.; Plancke, Y.; Mostaert, F. (2012). Overleg flexibel storten: methodologie opvolging plaatrandstortingen. *RPRT. WL Rapporten, 00_031*. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen

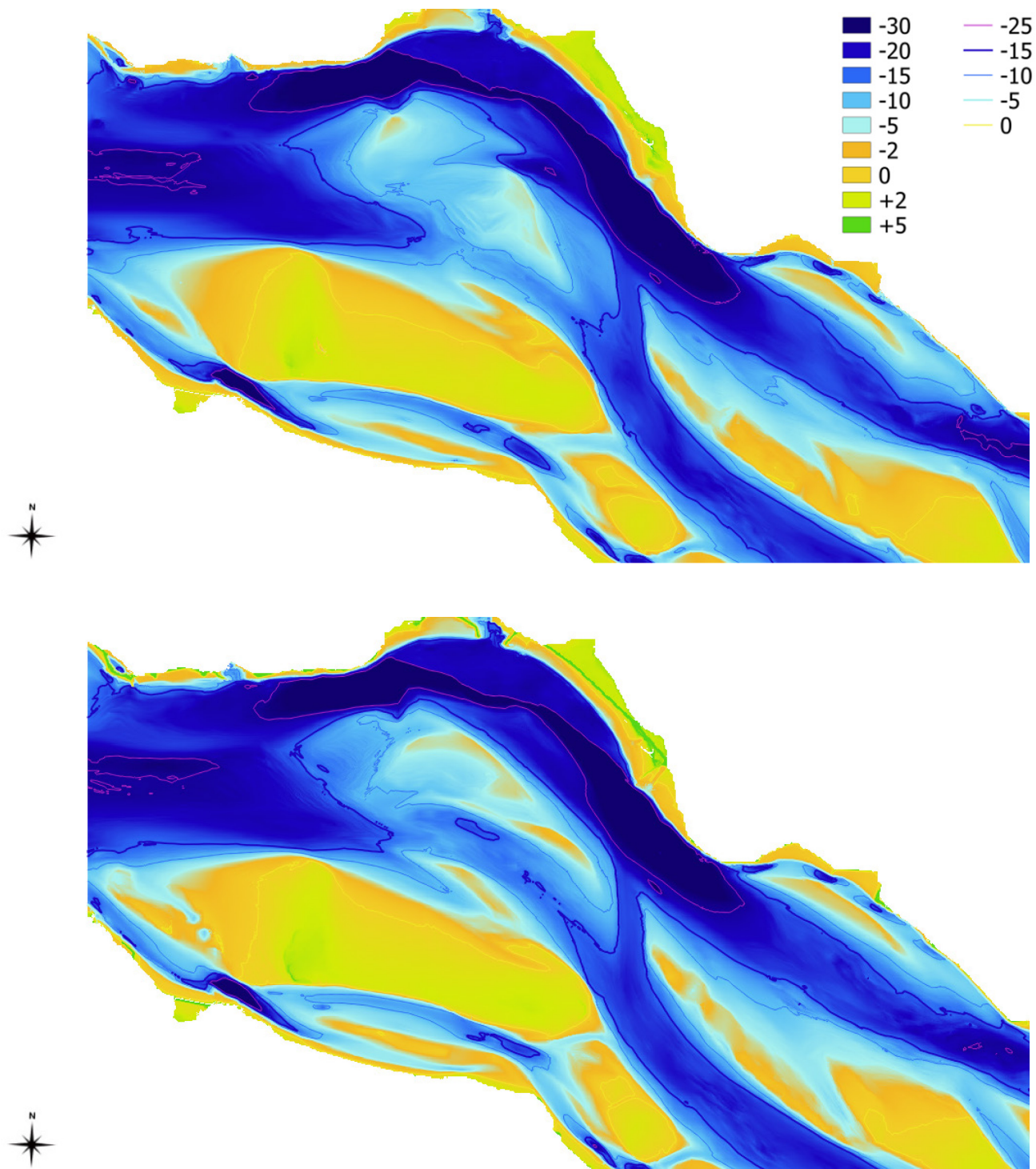
Vos, G.; Plancke, Y.; Vanlede, J.; Verwaest, T.; Mostaert, F. (2016). Overleg flexibel storten: opvolgingsrapport 12. Periode juli 2014 - januari 2015. *RPRT. WL Rapporten, 00_031*. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen

Bijlage A – Topo-bathymetrie macrocel 1

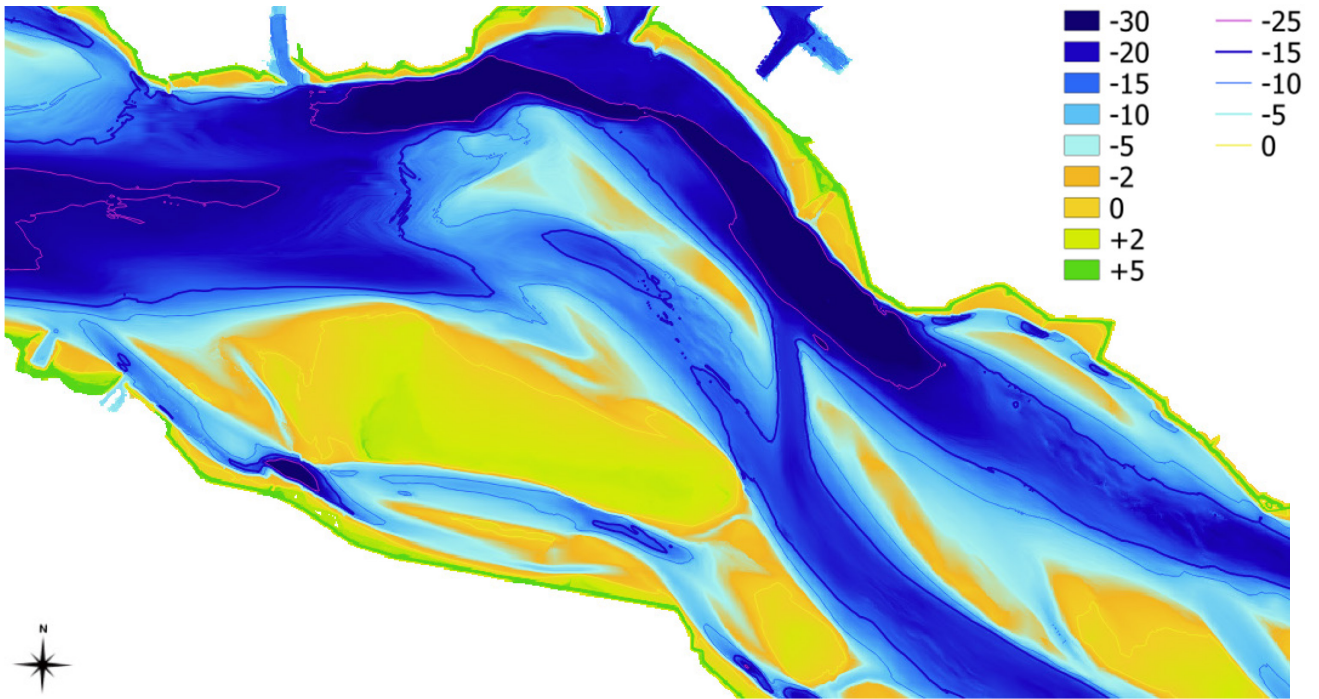
Figuur 46 – Bodemligging (in m NAP) macrocel 1 voor 1980 (boven) en 1990 (onder)



Figuur 47 – Bodemligging (in m NAP) macrocel 1 voor 2000 (boven) en 2010 (onder)

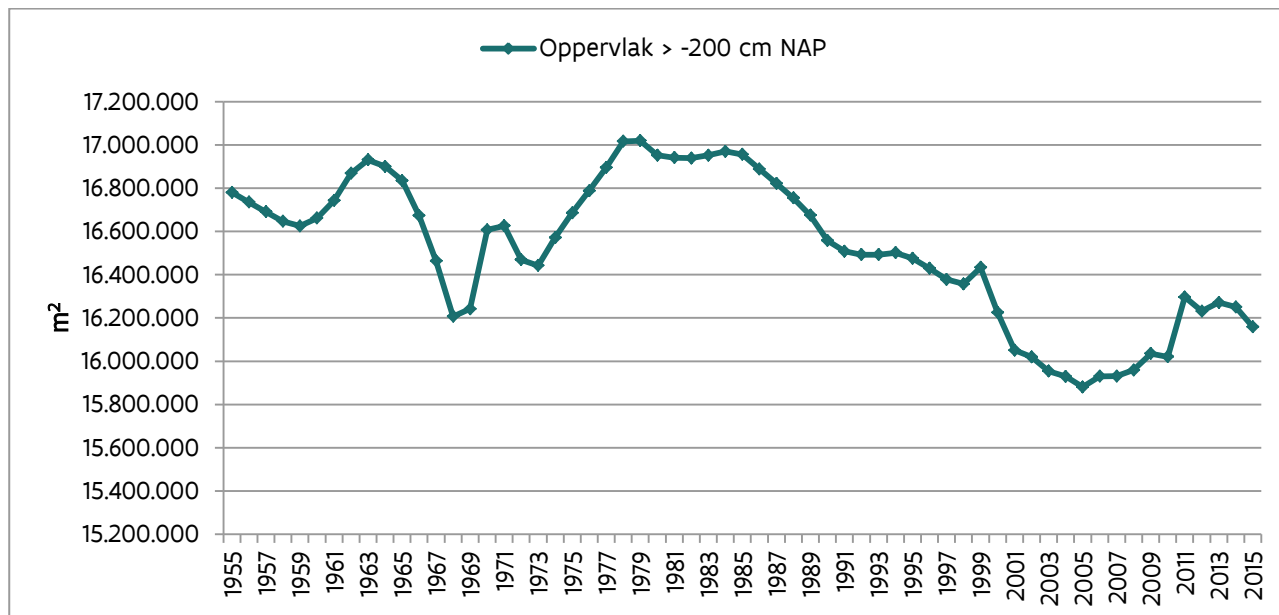


Figuur 48 – Bodemligging (in m NAP) macrocel 1 voor 2016

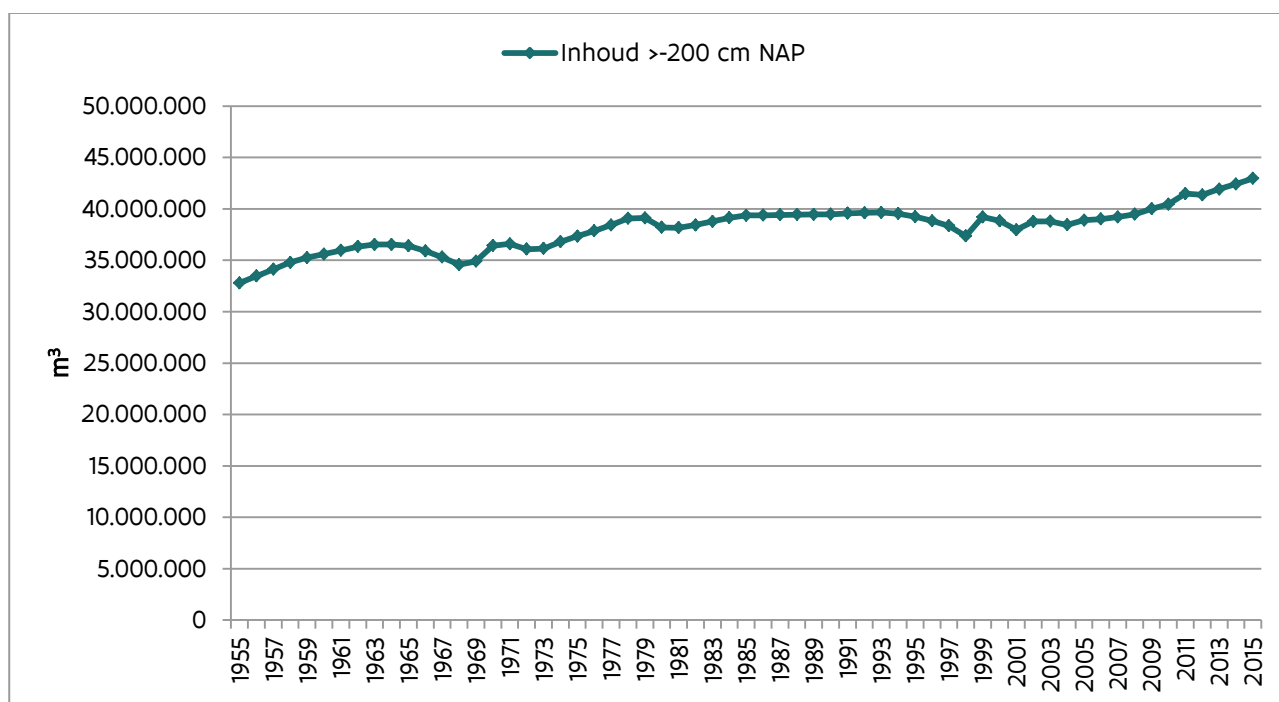


Bijlage B – Ontwikkelingen Hooge Platen

Figuur 49 – Ontwikkeling plaatoppervlakte macrocel 1

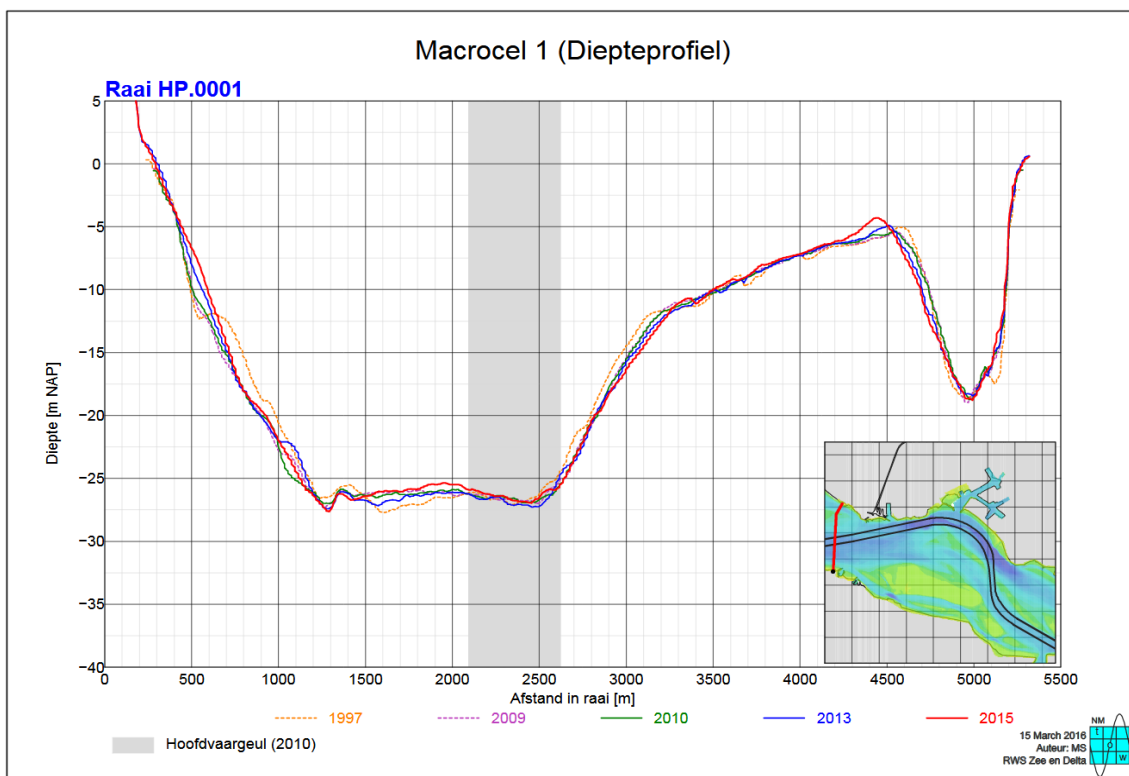


Figuur 50 – Ontwikkeling plaatvolume macrocel 1

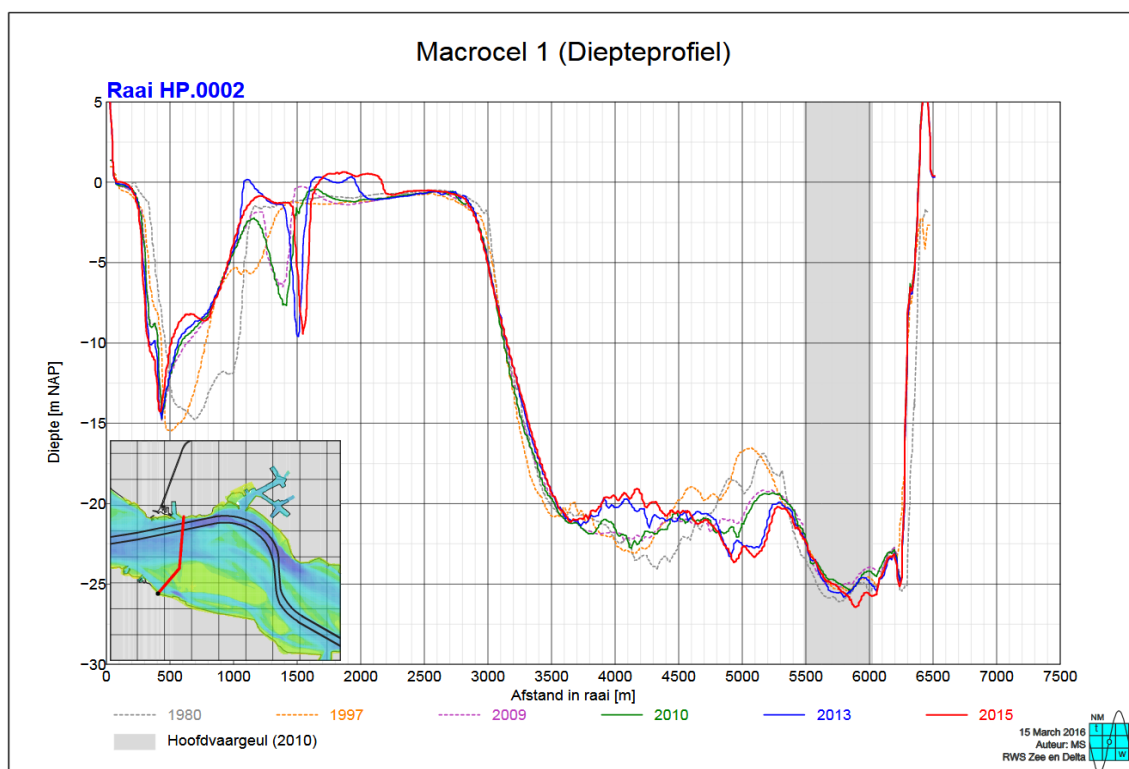


Bijlage C – Ontwikkeling profielen MC1

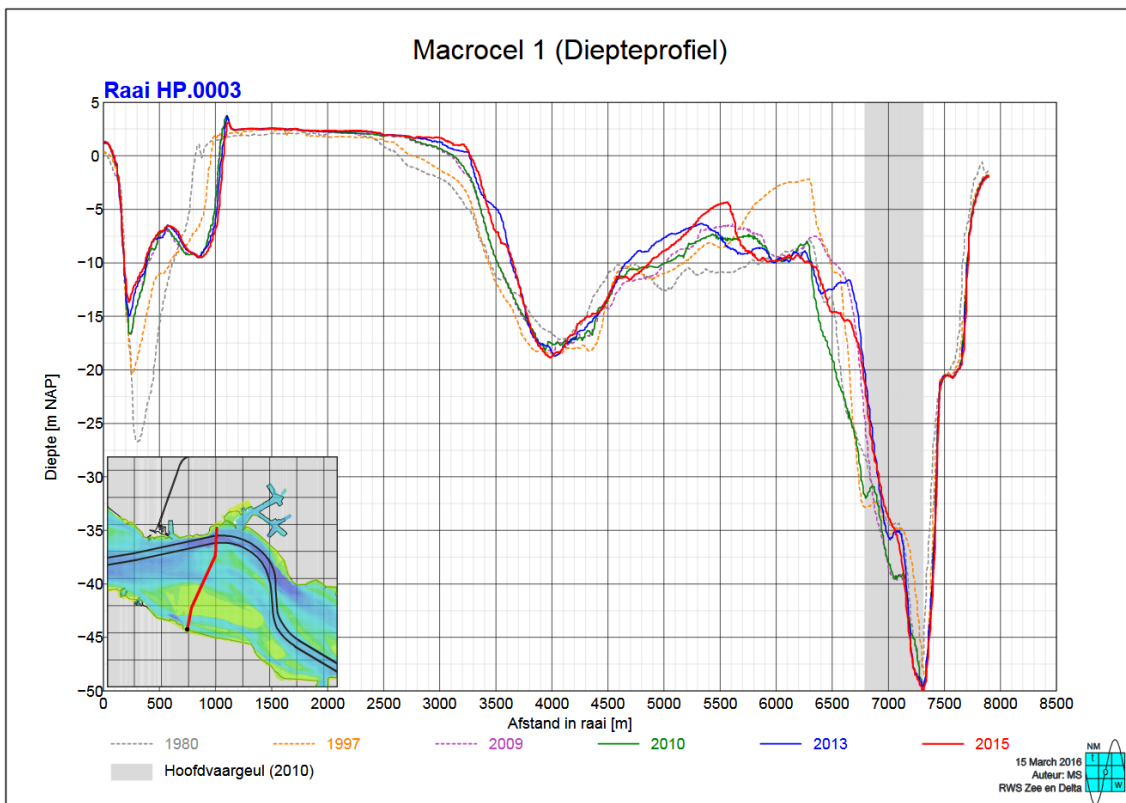
Figuur 51 – Diepte-ontwikkeling profiel HP.0001



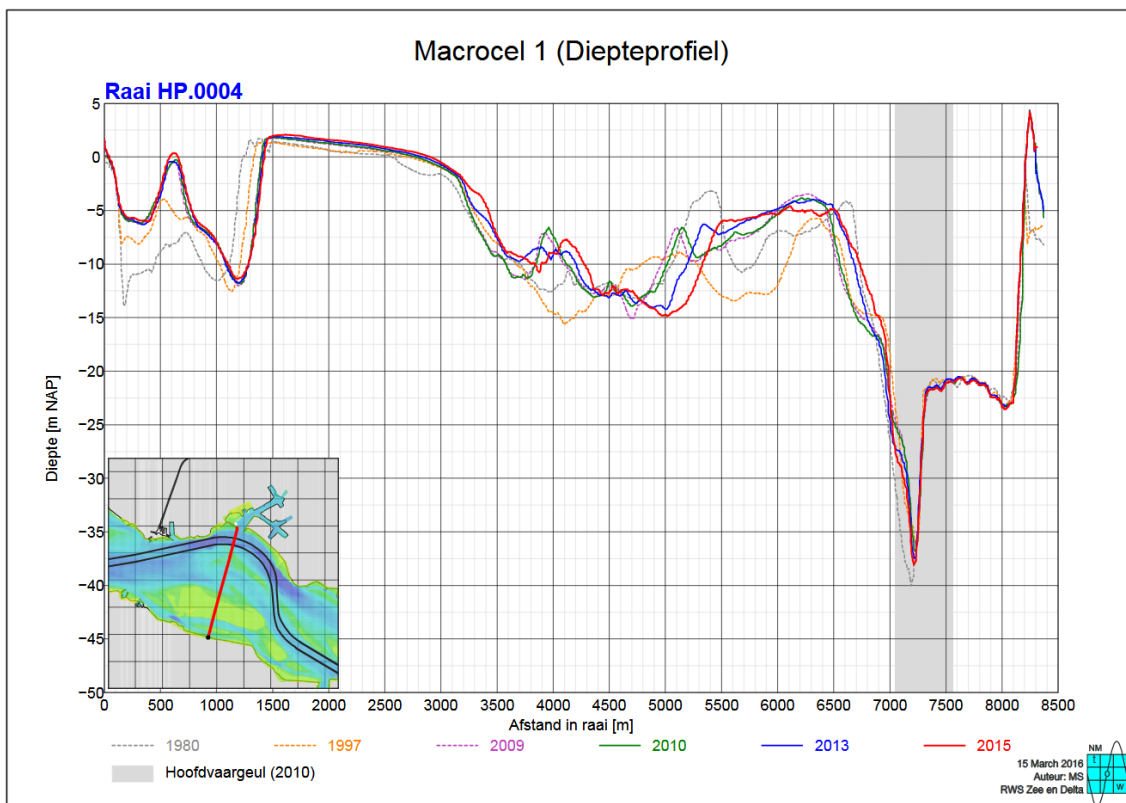
Figuur 52 – Diepte-ontwikkeling profiel HP.0002



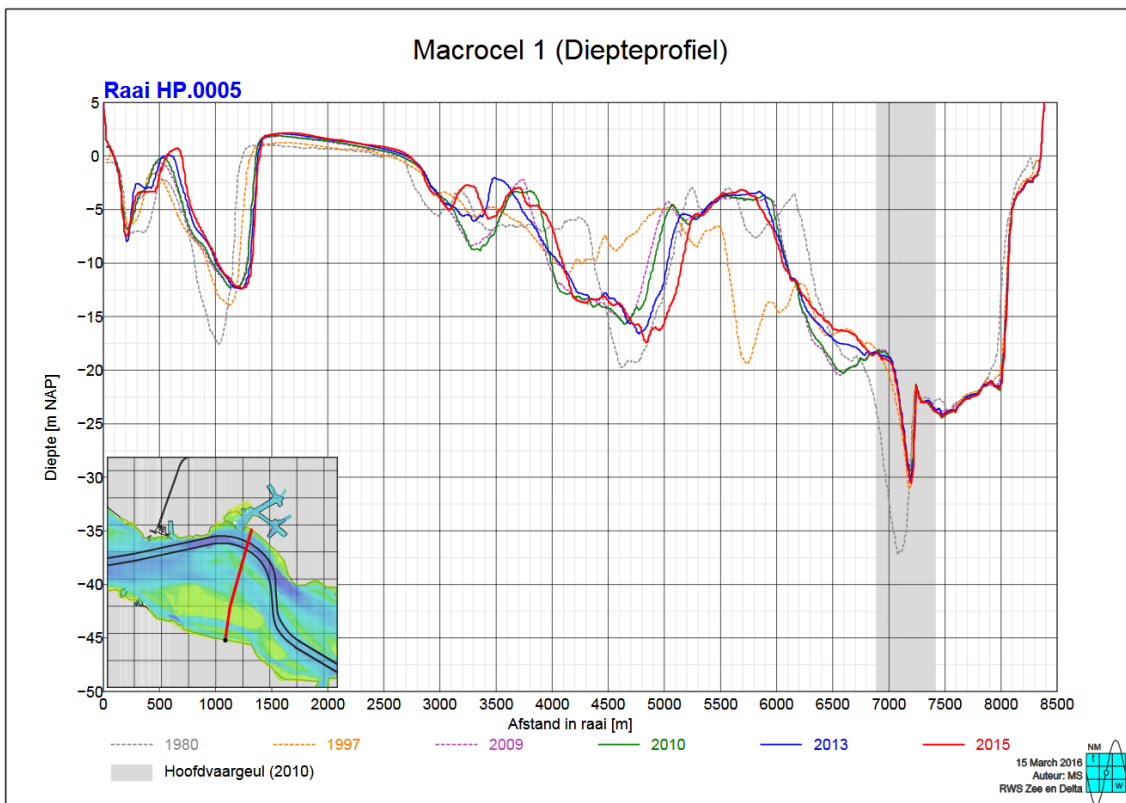
Figuur 53 – Diepte-ontwikkeling profiel HP.0003



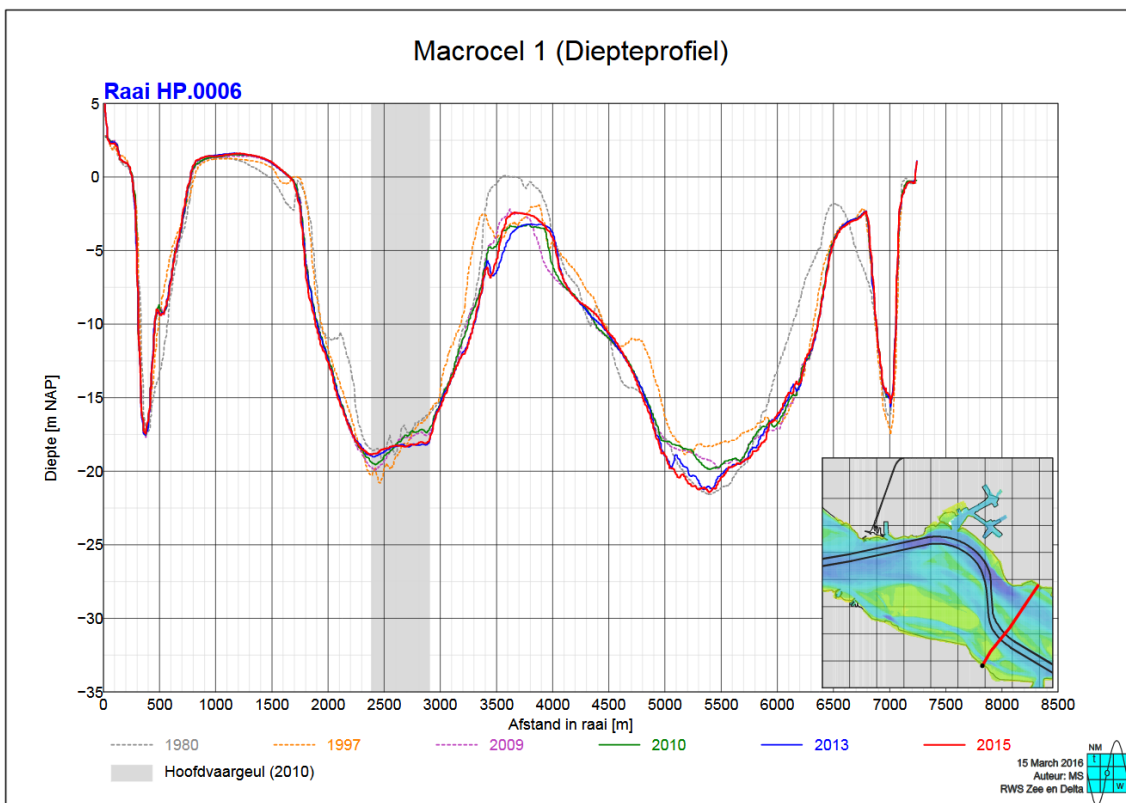
Figuur 54 – Diepte-ontwikkeling profiel HP.0004



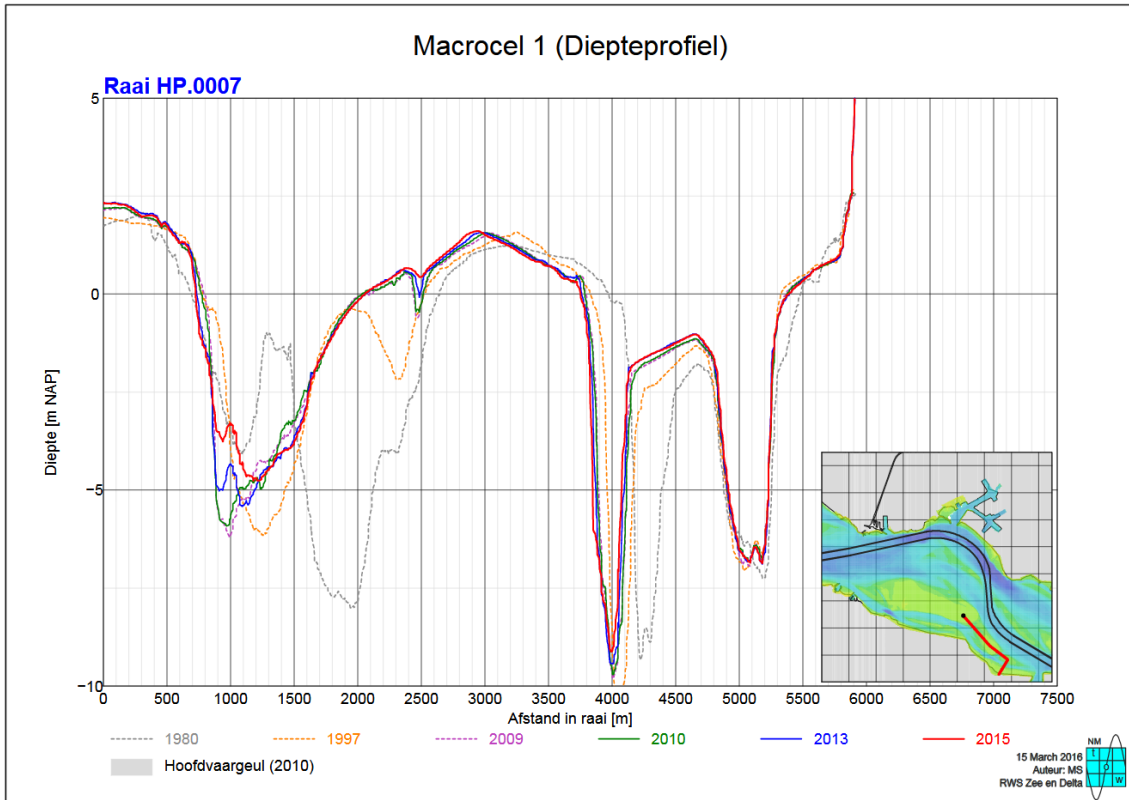
Figuur 55 – Diepte-ontwikkeling profiel HP.0005



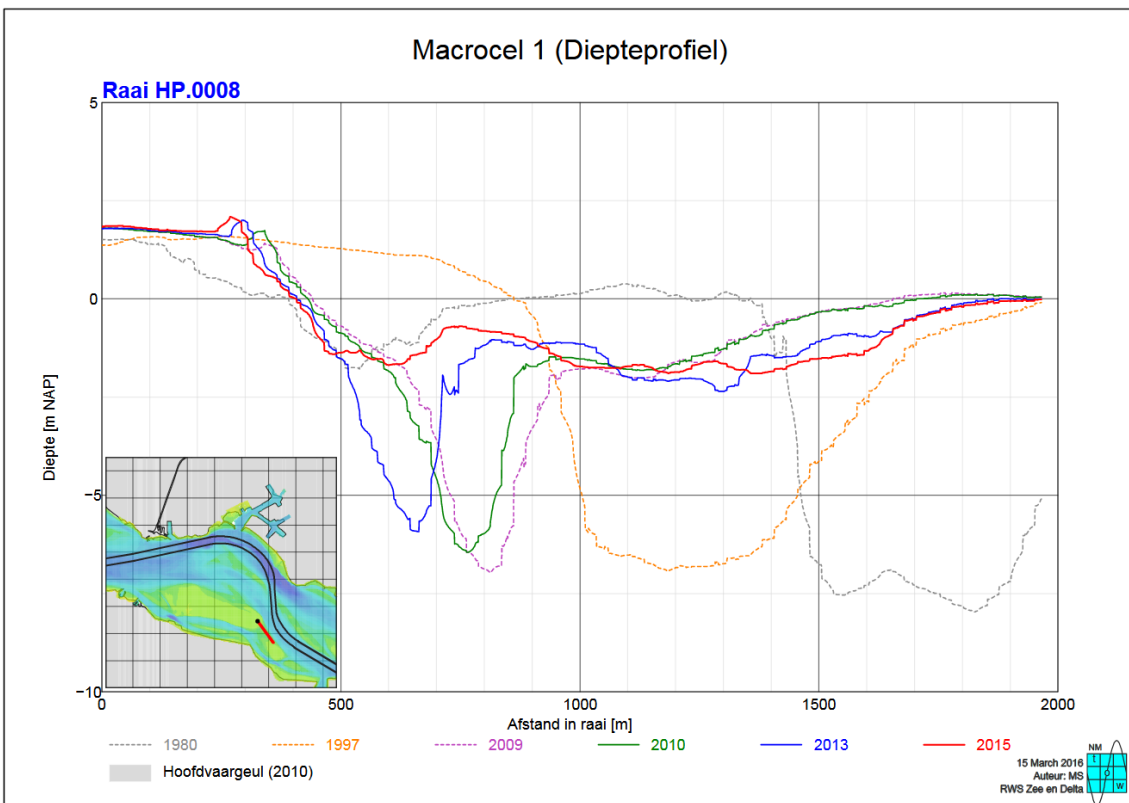
Figuur 56 – Diepte-ontwikkeling profiel HP.0006



Figuur 57 – Diepte-ontwikkeling profiel HP.0007



Figuur 58 – Diepte-ontwikkeling profiel HP.0008



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