



Vlaanderen
is wetenschap

00_031_22
WL rapporten

Overleg flexibel storten

Deelrapport 22
Analyse van de waterbeweging, het sedimenttransport en
de morfologie nabij de Plaat van Walsoorden

DEPARTEMENT
MOBILITEIT &
OPENBARE
WERKEN

waterbouwkundiglaboratorium.be

Overleg Flexibel Storten

Deelrapport 22 – Analyse van de waterbeweging, het sedimenttransport en de morfologie nabij de Plaat van Walsoorden

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/2017/3241/285

Deze publicatie dient als volgt geciteerd te worden:

Plancke, Y.; Schrijver, M.; Meire, D.; Mostaert, F. (2017). Overleg Flexibel Storten: Deelrapport 22 – Analyse van de waterbeweging, het sedimenttransport en de morfologie nabij de Plaat van Walsoorden. Versie 3.0. WL Rapporten, 00_031_22. 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_22
Keywords (3-5):	Schelde, waterbeweging, sedimenttransport, morfologie		
Tekst (p.):	45	Bijlagen (p.):	13
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 5 werd de waarschuwingsgrens van één van de criteria (watervolume nevengeul) overschreden en werd tevens de bezorgdheid geuit rond de stortingen nabij de plaatrand.

Om deze bezorgdheden te onderzoeken, wordt in dit rapport een analyse uitgevoerd van de waterbeweging, het sedimenttransport en de morfologie in macrocel 5. Deze analyse onderzoekt de invloed van de stortstrategie op deze kwaliteitsparameters. Uiteindelijk wordt er een voorstel geformuleerd voor de toekomstige stortstrategie in macrocel 5, 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 Zandwinning	3
3.2 Baggeren.....	3
3.3 Storten	4
3.4 Strekdammen	6
4 Waterbeweging	7
4.1 Getij	7
4.2 Debieten en watervolumes	7
4.2.1 Debietraai 5A.....	9
4.2.2 Debietraai 3	10
4.3 Stromingen	11
4.3.1 Metingen	11
4.3.2 Modelling	13
4.3.3 Eb-vloed dominantie op basis van stroming	18
5 Sedimenttransport	20
5.1 Metingen	20
5.2 Modelling	23
5.2.1 Methode	23
5.2.2 Resultaten.....	23
5.3 Zandbalans.....	25
5.3.1 Methode	25
5.3.2 Resultaten.....	26
6 Morfologie	30

6.1	Morfologische ontwikkeling op de lange termijn.....	30
6.1.1	Algemeen.....	30
6.1.2	Plaatcomplex van Valkenisse.....	33
6.1.3	Plaatpunt Plaat van Walsoorden.....	35
6.1.4	Drempel van Hansweert en Plaat van Ossenissee	35
6.1.5	Schaar van Waarde.....	35
6.1.6	Schaar van Valkenisse.....	36
6.1.7	Zuidergat.....	36
6.1.8	Geul Zimmerman.....	36
6.2	Watervolumes geulen	37
6.2.1	Hoofdgeul.....	37
6.2.2	Nevengeul.....	37
7	Ecologie.....	39
7.1	Doelstellingen.....	39
7.2	Resultaten.....	40
7.2.1	Ecotopenkaarten	40
7.2.2	Kwalitatieve ecologische bemonstering.....	41
8	Voorstel stortstrategie	42
8.1	Probleembeschrijving.....	42
8.2	Voorstel stortstrategie	42
8.2.1	Plaat van Walsoorden.....	42
8.2.2	Nevengeul SN51	43
8.2.3	Hoofdgeul SH51.....	43
8.2.4	Overige zones	43
8.3	Aanbevelingen	43
9	Referenties	44
	Bijlage A – Topo-bathymetrie macrocel 5	B1
	Bijlage B – Ontwikkelingen Plaatcomplex van Valkenisse.....	B4
	Bijlage C – RTK-raaien.....	B5
	Bijlage D – Diepte-ontwikkeling bathymetrische profielen macrocel 5.....	B7

Lijst van de tabellen

Tabel 1 – Overzicht gebaggerde hoeveelheden [m ³ in beun]	4
Tabel 2 – Overzicht gestorte hoeveelheden [m ³ in beun].....	5
Tabel 3 – Overzicht uitgevoerd stroommetingen in macrocel 5	12
Tabel 4 – Overzicht van de evolutie maximale snelheid bij gemiddeld tij volgens modelresultaten	17
Tabel 5 – Overzicht voorspelde toename oppervlakte laagdynamisch areaal na 5 jaar.....	39
Tabel 6 – Overzicht voorspelde toename oppervlakte laagdynamisch areaal na 5 jaar, inclusief bandbreedte	39
Tabel 7 – Overzicht waargenomen verandering in oppervlakte laagdynamisch areaal na 5 jaar	40

Lijst van de figuren

Figuur 1 – Overzicht geulen en platen in macrocel 5	2
Figuur 2 – Overzicht zandwinning in macrocel 5.....	3
Figuur 3 – Overzicht stortlocaties in macrocel 5	4
Figuur 4 – Luchtfoto slik- en schorgebied van Waarde met 2 strekdammen	6
Figuur 5 – Ligging debietraaien in macrocel 5.....	7
Figuur 6 – Gemiddeld hoogwater (boven), laagwater (midden) en getijverschil (onder) voor periode 1950 - 2015.....	8
Figuur 7 – Gemeten eb- en vloedvolumes (boven) en bijbehorende relatieve verdeling over de raaien (onder) voor meetraai 5A.....	9
Figuur 8 – Gemeten eb- en vloedvolumes (boven) en bijbehorende relatieve verdeling over de raaien (onder) voor meetraai 3	10
Figuur 9 – Ligging meetraaien waarop stroommetingen werden uitgevoerd	11
Figuur 10 – Voorbeeld stroomsnelheden op punt PVW-MP 0102 gedurende 2 getijcycli	12
Figuur 11 – Relatie tussen maximale stroomsnelheid en getijverschil bij vloed (links) en bij eb (rechts) voor PVW-MP0102	13
Figuur 12 - Overzicht van de tijdstip waarop de vlotter werden losgelaten in het model bij vloed (links) en eb (rechts).....	14
Figuur 13 - Overzicht van de maximale stroomsnelheden bij vloed	15
Figuur 14 - Overzicht van de stroomsnelheden bij vloed (vectoren)	15
Figuur 15 - Overzicht van de maximale stroomsnelheden bij eb.....	16
Figuur 16 - Overzicht van de stroomsnelheden bij eb (vectoren).....	16
Figuur 17 - Overzicht van de stroombanen tijdens vloed (links) en eb (rechts) voor macrocel 5	18
Figuur 18 - Overzicht van de residuele stroming voor macrocel 5 op basis van bodem 2010 (boven) en 2016 (onder).....	19
Figuur 19 - Overzicht van het meetlocaties nabij Plaat van Walsoorden	20
Figuur 20 - Overzicht van het sedimenttransport t.h.v. Plaat van Wlasoorden (MP02).....	21
Figuur 21 - Overzicht van het nabij-bodem sedimenttransport t.h.v. de zuidelijke vloodschaar (MP04)	22
Figuur 22 - Overzicht van het nabij-bodem sedimenttransport t.h.v. Schaar van Valkenisse (MP05)	22
Figuur 23 – Netto sedimenttransport [$m^3/m/s$] op basis van hydrodynamische simulatie en offline sediment transport (positief = vloed-gedomineerd negatief = eb-gedomineerd).....	24
Figuur 24 – Concept zandbalans over rekenrij met 11 cellen	25
Figuur 25 – Ligging rekenrijen met gepresenteerde rijen 06 en 14	26
Figuur 26 – Storthoeveelheden voor rekenrijen 06 en 14	27
Figuur 27 – Temporele variatie van de op- en afwaartse randvoorwaarden voor rij 06 (links) en rij 14 (rechts).....	27

Figuur 28 – Sedimenttransport op basis van sedimentbalans voor rij 06.....	28
Figuur 29 – Sedimenttransport op basis van sedimentbalans voor rij 14.....	29
Figuur 30 – Verschilkaart laseraltimetrie 2015 - 2009	30
Figuur 31 – Dieptecontouren voor macrocel 5: 1980 (stippenlijn) en 2016 (volle lijn)	31
Figuur 32 – Dieptecontouren voor macrocel 5: 2000 (stippenlijn) en 2016 (volle lijn)	31
Figuur 33 – Detail van de morfologische ontwikkeling van de geulen op basis -10 m NAP contour in macrocel 5	32
Figuur 34 – Afbakening vakken plaatbalans macrocel 5	33
Figuur 35 – Gemiddelde hoogte-ontwikkeling voor Plaat van Valkenisse en Plaat van Walsoorden.....	33
Figuur 36 – Ligging RTK-raaien macrocel 5.....	34
Figuur 37 – Volumeveranderingen nabij de Plaat van Walsoorden.....	35
Figuur 38 – Afbakening geulen macrocel 5	37
Figuur 39 – Ontwikkeling van geul-oppervlakte (links) en geul-volume (rechts) in de hoofdgeul van macrocel 5	38
Figuur 40 – Ontwikkeling van geul-oppervlakte (links) en geul-volume (rechts) in de nevengeul van macrocel 5	38
Figuur 41 – Verandering in ecotopen rond de Plaat van Walsoorden	40
Figuur 42 – Indeling volgens ecotopen (links) en voorkomen bodemleven (rechts) volgens kwalitatieve bodembemonstering PWA	41
Figuur 43 – Bodemligging (in m NAP) macrocel 5 voor 1980 (boven) en 1990 (onder).....	B1
Figuur 44 – Bodemligging (in m NAP) macrocel 5 voor 2000 (boven) en 2010 (onder).....	B2
Figuur 45 – Bodemligging (in m NAP) macrocel 5 voor 2016.....	B3
Figuur 46 – Ontwikkeling plaatoppervlakte macrocel 5.....	B4
Figuur 47 – Ontwikkeling plaatvolume macrocel 5	B4
Figuur 48 – Hoogte-ontwikkeling RTK-profiel HOP_2555	B5
Figuur 49 – Hoogte-ontwikkeling RTK-profiel HOP_2560	B5
Figuur 50 – Hoogte-ontwikkeling RTK-profiel HOP_2590	B6
Figuur 51 – Hoogte-ontwikkeling RTK-profiel HOP_2670	B6
Figuur 52 – Diepte-ontwikkeling profiel PWA.0001	B7
Figuur 53 – Diepte-ontwikkeling profiel PWA.0002	B7
Figuur 54 – Diepte-ontwikkeling profiel PWA.0003	B8
Figuur 55 – Diepte-ontwikkeling profiel PWA.0004	B8
Figuur 56 – Diepte-ontwikkeling profiel PWA.0005	B9
Figuur 57 – Diepte-ontwikkeling profiel PWA.0006	B9
Figuur 58 – Diepte-ontwikkeling profiel PWA.0006 (detail).....	B10
Figuur 59 – Diepte-ontwikkeling profiel PWA.0007	B10
Figuur 60 – Diepte-ontwikkeling profiel PWA.0007 (detail).....	B11

Figuur 61 – Diepte-ontwikkeling profiel PWA.0008	B11
Figuur 62 – Diepte-ontwikkeling profiel PWA.0008 (detail).....	B12
Figuur 63 – Diepte-ontwikkeling profiel PWA.0009	B12
Figuur 64 – Diepte-ontwikkeling profiel PWA.0010	B13
Figuur 65 – Diepte-ontwikkeling profiel PWA.0011	B13

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 “Protocol voorwaarden flexibel storten – kwaliteitsparameters” (Rijkswaterstaat Zeeland *et al.*, 2008) zijn vastgelegd. Jaarlijks worden deze kwaliteitsparameters getoetst door het overleg Flexibel Storten. De stortstrategie kan (uit voorzorg) worden aangepast wanneer bepaalde criteria (dreigen) overschreden¹ (te) worden.

1.1 Onderzoeksvragen

In de afgelopen jaren werden 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 verspreidt de gestorte specie zich ter hoogte van de plaatranden?
- Naar waar verspreidt het sediment zich dat in een bepaald stortvak in de hoofd- of nevengeul gestort wordt?
- Zorgen de stortingen aan een plaatrand voor een versnelling waarmee een plaatrand ophooft?
- 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 Plaat van Walsoorden, gelegen in macrocel 5. Naast dit rapport, wordt in (Yves Plancke *et al.*, 2017) getracht een antwoord te geven op dezelfde onderzoeksvragen voor het gebied rond de Hooge Platen, gelegen in macrocel 1.

1.2 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 wordt een beschrijving gegeven 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 5, hoofdstuk 5 op het sedimenttransport en hoofdstuk 6 op de morfologie. In hoofdstuk 7 wordt ingegaan op de ecologische aspecten (abiotiek) van de plaatrandstortingen. Hoofdstuk 8 focust tenslotte op de bezorgdheden en geeft een suggestie voor de optimale stortstrategie voor de volgende jaren.

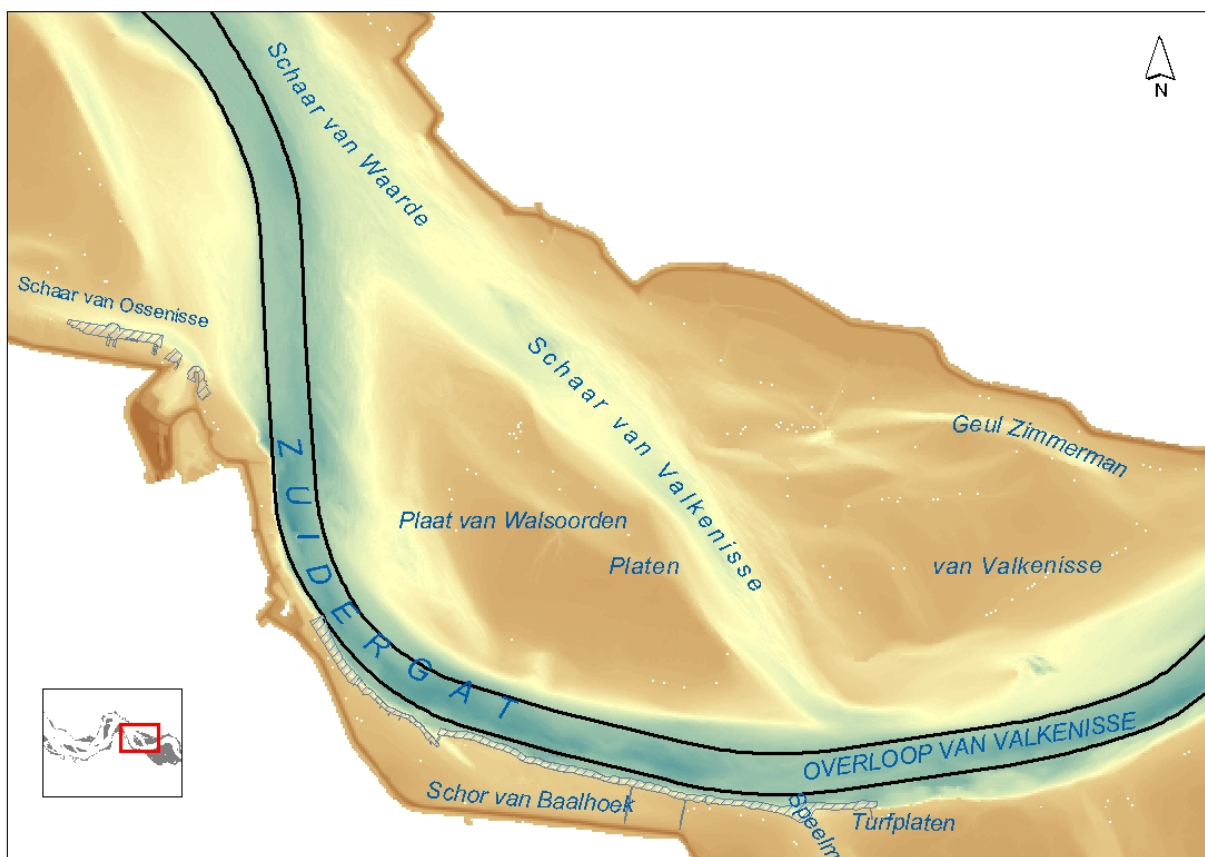
¹ Voor bepaalde criteria zou de term “onderschreden” beter zijn. Dit is het geval voor het watervolume in de nevengeul dat groter moet zijn dan een bepaalde waarde. Wanneer het volume te klein wordt, wordt het criteria dus feitelijk “onderschreden”, maar er is in dit rapport toch gekozen om systematisch “overschreden” te gebruiken in relatie tot de criteria.

2 Systeembeschrijving

Macrocel 5 wordt gekenmerkt door 2 grote geulen en één platencomplex (Figuur 1). Deze macrocel wordt begrensd door de Drempel van Hansweert in het westen en de Drempel van Valkenisse in het oosten. Het geulensysteem in macrocel 5 is een tweegeulensysteem: de ebgeul ligt het meest zuidelijk en wordt gevormd door het Zuidergat in het westen, welke overgaat in oostelijke richting in de Overloop van Valkenisse. De noordelijk gelegen vloodschaar, in het westen is dit de Schaar van Waarde, splitst in de Geul Zimmerman en de Schaar van Valkenisse. Beide geulen zijn verbonden met de ebgeul, al is de Geul Zimmerman de laatste jaren sterk gereduceerd door sedimentatie en is deze enkel bij hoogwater nog verbonden met de ebgeul.

De platen in deze macrocel zijn onderdeel van het platencomplex van Valkenisse. In het westelijke deel van de macrocel ligt de Plaat van Walsoorden², begrensd tussen de Schaar van Waarde en de Schaar van Valkenisse in het noorden en het Zuidergat in het zuiden. In het oostelijke deel ligt de Plaat van Valkenisse, begrensd door de Schaar van Valkenisse en de Overloop van Valkenisse in het zuiden en de Geul Zimmerman in het noorden.

Figuur 1 – Overzicht geulen en platen in macrocel 5



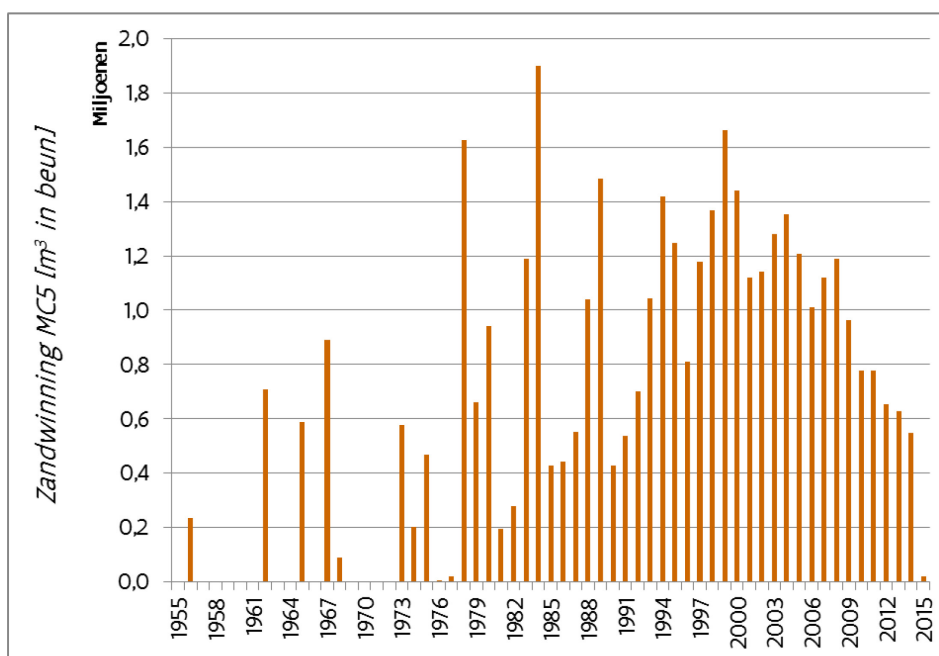
² Historisch gezien behoorde de huidige oostelijke punt van de Plaat van Walsoorden tot de Plaat van Valkenisse. Deze splitste door inscharing van de Schaar van Valkenisse af en vond aansluiting bij de toenmalige Plaat van Walsoorden. Gemakshalve wordt de westelijke plaat hier Plaat van Walsoorden genoemd.

3 Ingrepen

3.1 Zandwinning

Tot eind 2014 vond in dit gebied zandwinning plaats, waarbij over de periode 1995 tot 2016 gemiddeld 660.000 m³ (beun) zand per jaar onttrokken werd. Figuur 2 geeft de exacte jaarlijkse hoeveelheden die uit macrocel 5 onttrokken werden. In 2015 is een proef gestart waarbij op drie kavels in de Schaar van Waarde en de Schaar van Valkenisse weer zand wordt gewonnen. Deze proef loopt tot eind 2017.

Figuur 2 – Overzicht zandwinning in macrocel 5



3.2 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 5 zijn drie locaties waar wordt gebaggerd: de drempel van Hansweert, de drempel van Walsoorden en de Overloop van Valkenisse. Daarnaast is er ook de Drempel van Valkenisse die gelegen is in zowel macrocel 5 als 6. In Tabel 1 zijn de gebaggerde hoeveelheden ten behoeve van het onderhoud weergegeven, afkomstig uit de baggerstatistiek die door afdeling Maritieme Toegang wordt gebruikt om de gebaggerde en gestorte hoeveelheden per locatie te registreren. Op de drempel van Walsoorden wordt slechts een beperkte hoeveelheid onderhoudsbaggerwerk uitgevoerd en valt in het verlengde (opwaarts) van de drempel van Hansweert. Voor de Drempel van Hansweert is er een toename van 2,3 Mm³/jaar in de periode 2011-2013 naar 3,8 Mm³ in 2016. Voor de Overloop van Valkenisse kan dan weer een afname van het onderhoudsbaggerwerken vastgesteld worden van ca. 1,4 Mm³/jaar in 2011-2013 naar minder dan 0,9 Mm³ in 2016. Ondanks deze afname is de totale hoeveelheid onderhoudsbaggerwerken in de macrocel toegenomen van ca. 3,8 Mm³/jaar in 2011-2013 naar ca. 4,7 Mm³/jaar in 2015-2016 (+23%).

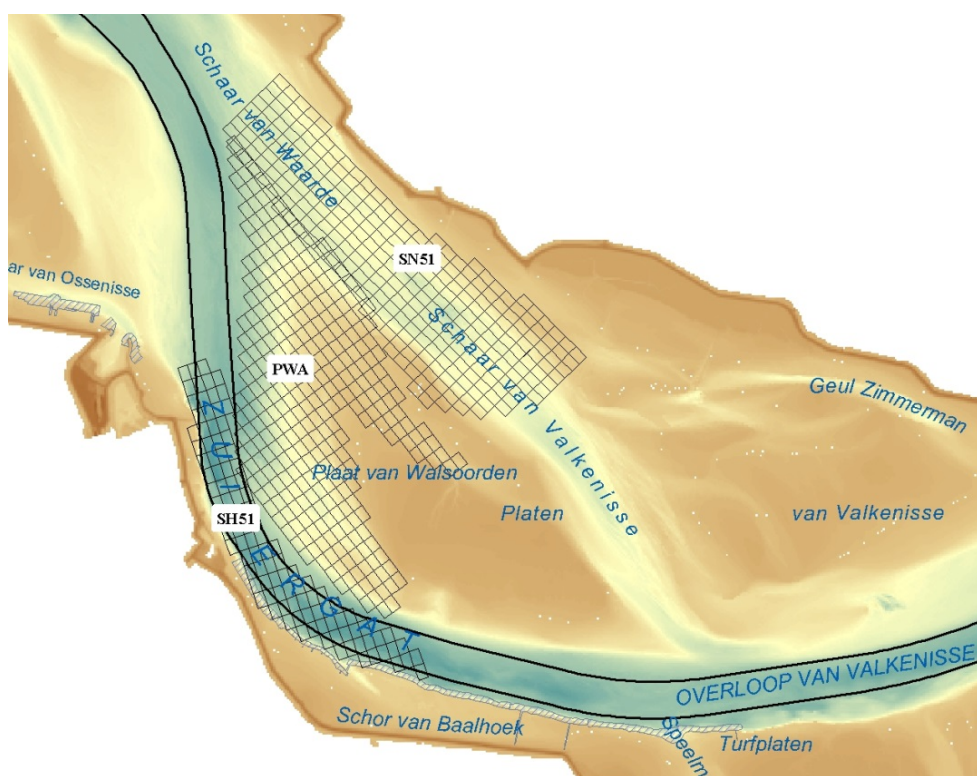
Tabel 1 – Overzicht gebaggerde hoeveelheden [m³ in beun]

	<i>Drempel Hansweert</i>	<i>Drempel Walsoorden</i>	<i>Overloop Valkenisse</i>	Totaal
2010	1406532	136765	599058	2142355
2011	2329194	311215	1104139	3744548
2012	2315503	-	1602328	3917831
2013	2267980	-	1407355	3675335
2014	2673408	83847	1289086	4046341
2015	3099267	207119	1171301	4477687
2016	3778164	190726	880080	4848970
Totaal	17870048	929672	8053347	26853067

3.3 Storten

In macrocel 5 zijn er drie stortlocaties in gebruik: één langs de plaat van Walsoorden (PWA), één stortgebied in de nevengeul (SN51) en één stortgebied in de hoofdgeul (SH51). De locaties zijn weergegeven in Figuur 3.

Figuur 3 – Overzicht stortlocaties in macrocel 5



In Tabel 2 zijn de gestorte hoeveelheden in de periode februari 2010 – 31 december 2016 weergegeven. In 2010 werd met een deel van de aanlegspecie (ca. 3 Mm³) een megaduin aangelegd nabij de Plaat van Walsoorden. Vanaf 2011 wordt hier jaarlijks over een aangesloten periode van ca. 3 maanden een stortcampagne uitgevoerd. De nevengeul (SN51) werd tot en met 2012 gebruikt volgens de vergunde jaarlijkse storthoeveelheid. Aangezien in het toetsoverleg een overschrijding van het criterium (onderschrijding van de signaleringswaarde) voor het watervolume in de nevengeul werd vastgesteld, is besloten de stortingen in deze nevengeul (SN51) te onderbreken. Dit resulteert in een daling van de totale gestorte hoeveelheden in de macrocel, van ca. 2,7 Mm³/jaar in 2010-2012 naar 1,3 Mm³/jaar in 2013-2016.

De gestorte hoeveelheden zijn conform de vergunning afkomstig uit de macrocel waarin het gewonnen is, of de naastgelegen stroomopwaartse macrocel. Voor de stortlocaties in macrocel 5 betekent dit dat het materiaal afkomstig is uit macrocel 5 of macrocel 6.

Tabel 2 – Overzicht gestorte hoeveelheden [m³ in beun]

	<i>Plaat van Walsoorden</i>	<i>SH51</i>	<i>SN51</i>	Totaal
2010	1310904	126571	1281041	2718516
2011	919321	585271	1128469	2633061
2012	798808	1068317	933150	2800275
2013	555379	848426	-	1403805
2014	507737	963343	-	1471080
2015	455217	562329	-	1017546
2016	668883	505584	-	1174467
Totaal	5216249	4659841	3342660	13218750

3.4 Strekdammen

In 2002-2003 werden bij het schor van Waarde (rechteroever) 2 strekdammen aangelegd om het eroderende slik van Waarde met haar archeologische waarde (Verdronken land van Valkenisse) te beschermen (Figuur 4). Na de bouw van deze strekdammen wordt het gebied tussen en naast de strekdammen gekenmerkt door (sterke) sedimentatie (ca. 30 cm/jaar in de periode 2002-2007 (Dam & Blik, 2013)).

Verdere recente ingrepen in het gebied zijn de aanleg van strekdammen door Provincie Zeeland op het Schor van Baalhoek in 2016.

Figuur 4 – Luchtfoto slik- en schorgebied van Waarde met 2 strekdammen



4 Waterbeweging

4.1 Getij

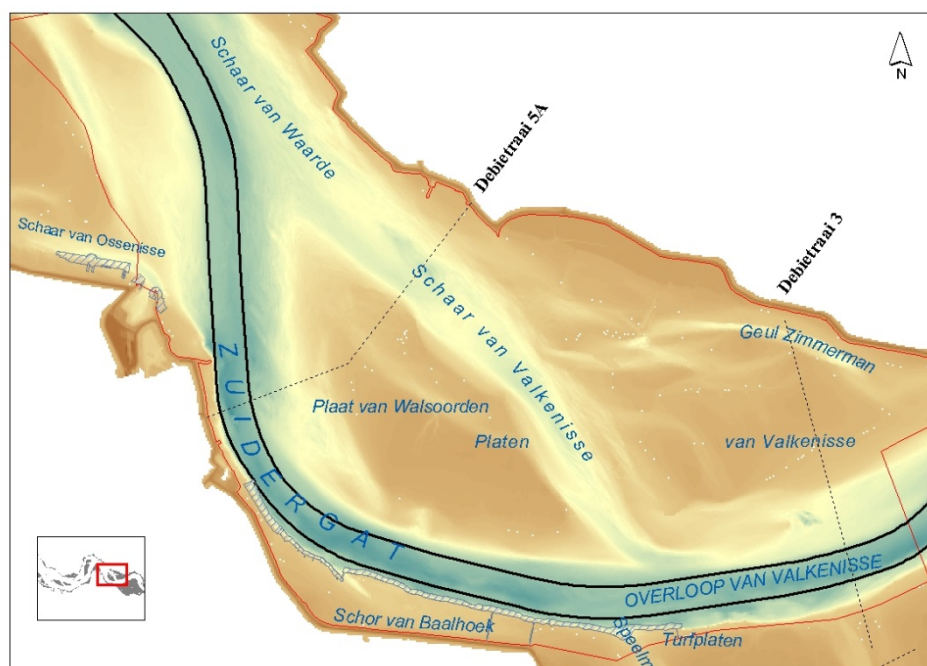
Figuur 6 geeft de ontwikkeling van het getij in het gebied weer. Als vergelijk zijn hierin de stations Westkapelle, gelegen in het mondingsgebied van het Schelde-estuarium en Vlissingen, gelegen aan de zeewaartse rand van de Westerschelde, meegenomen. Westkapelle ondervindt vanwege zijn ligging geen invloed van ingrepen op de Westerschelde, waardoor een beeld van de verandering van de zeepiegel wordt verkregen.

Uit de figuren is af te lezen dat zowel in Vlissingen en Hansweert de gemiddelde hoog- en laagwaters toenemen sinds 1950. In Bath neemt het gemiddelde hoogwater toe, het gemiddelde laagwater neemt echter af. Deze afname is grotendeels toe te schrijven aan een daling in het laagwater in de jaren 1970. Voor 1970 en na 1980 blijft het laagwater quasi ongewijzigd. Het getijverschil in alle locaties vertoont een stijgende trend, die groter is naarmate het station verder oostwaarts ligt van Vlissingen. De toename van het getijverschil in Bath is aanzienlijk groter dan de toename van het getijverschil in de andere locaties. Op de Noordzee (Westkapelle) is geen sprake van een toename van het getijverschil. De toename van het getijverschil is dus te wijten aan verandering in de Westerschelde zelf.

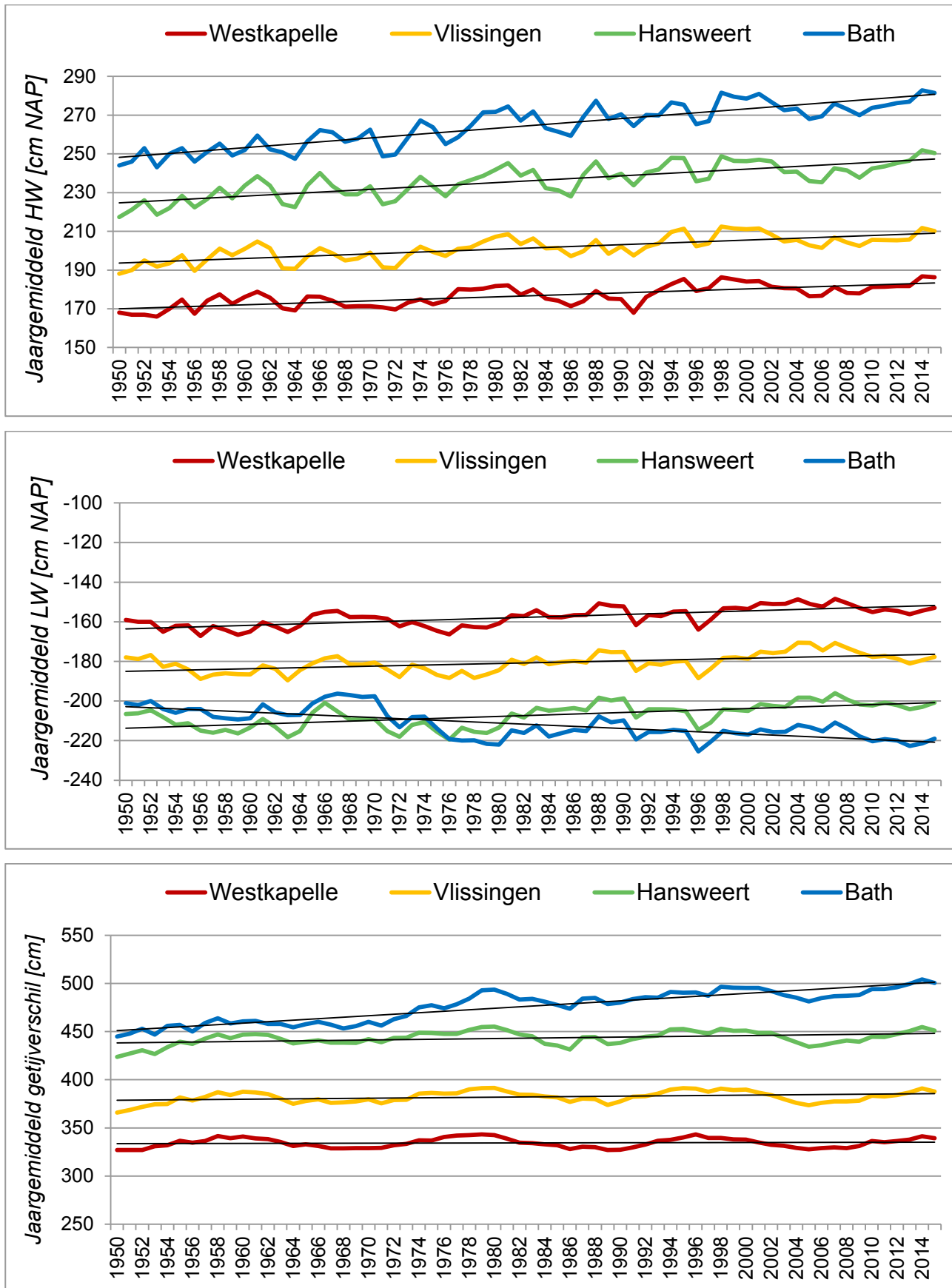
4.2 Debieten en watervolumes

Het debiet wordt op meerdere raaien, lopende vanaf de monding tot de Nederlands-Belgische grens, gemeten. De debietraaien die in macrocel 5 liggen zijn weergegeven in Figuur 5. 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 5A en 3 weergegeven in de volgende paragrafen.

Figuur 5 – Ligging debietraaien in macrocel 5



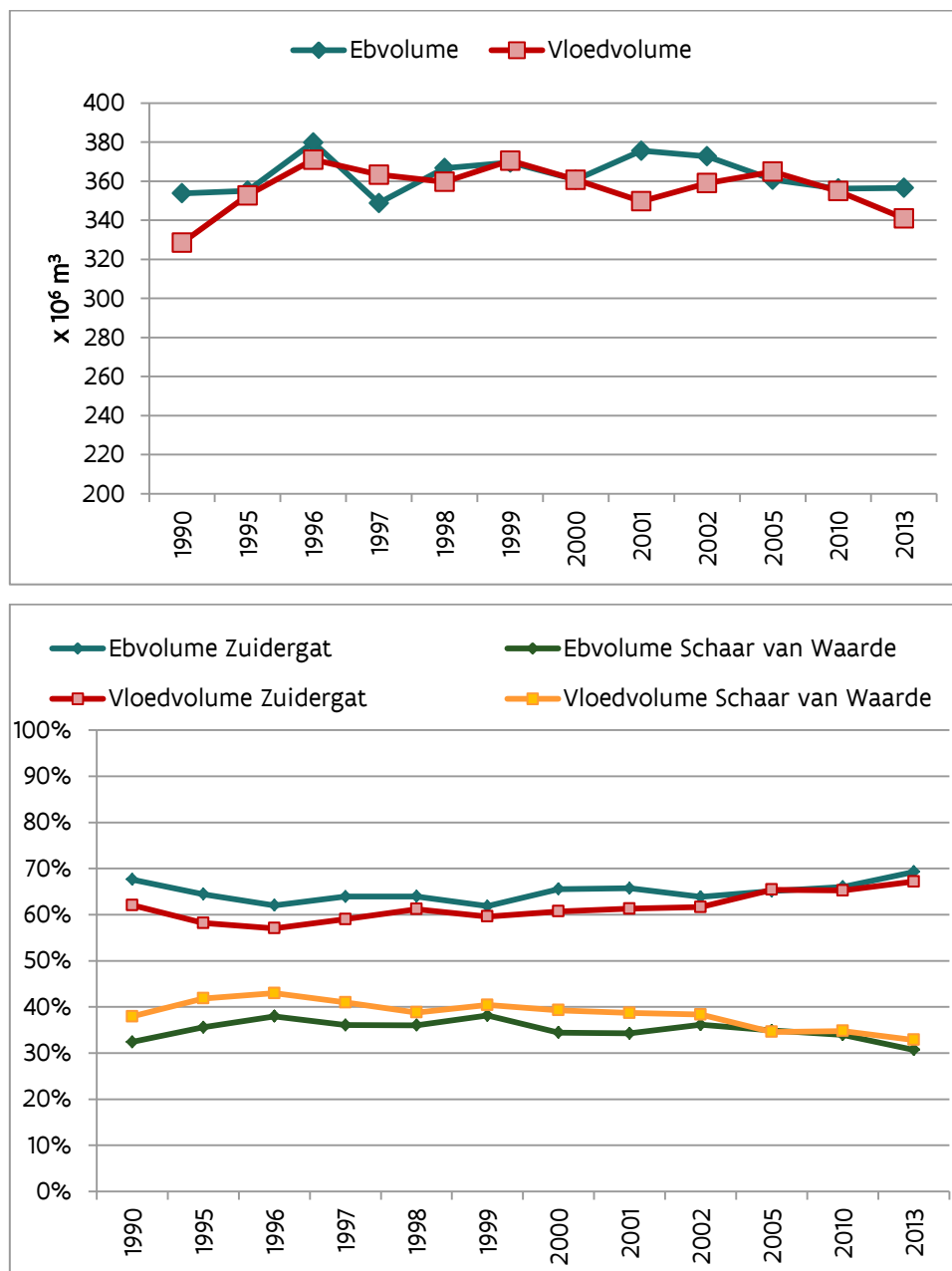
Figuur 6 – Gemiddeld hoogwater (boven), laagwater (midden) en getijverschil (onder) voor periode 1950 - 2015



4.2.1 Debietraai 5A

Debietraai 5A is centraal gelegen in macrocel 5 en is verdeeld in twee secties: het Zuidergat en de Schaar van Waarde. In Figuur 7 (boven) zijn de gemeten getijvolumes op de raai weergegeven. Wanneer we de volumeverdeling over de raai bekijken, dan zien we dat het eb- en vloedvolume in het Zuidergat sinds 1997 toeneemt, ten koste van het volume in de Schaar van Waarde (Figuur 7 - onder).

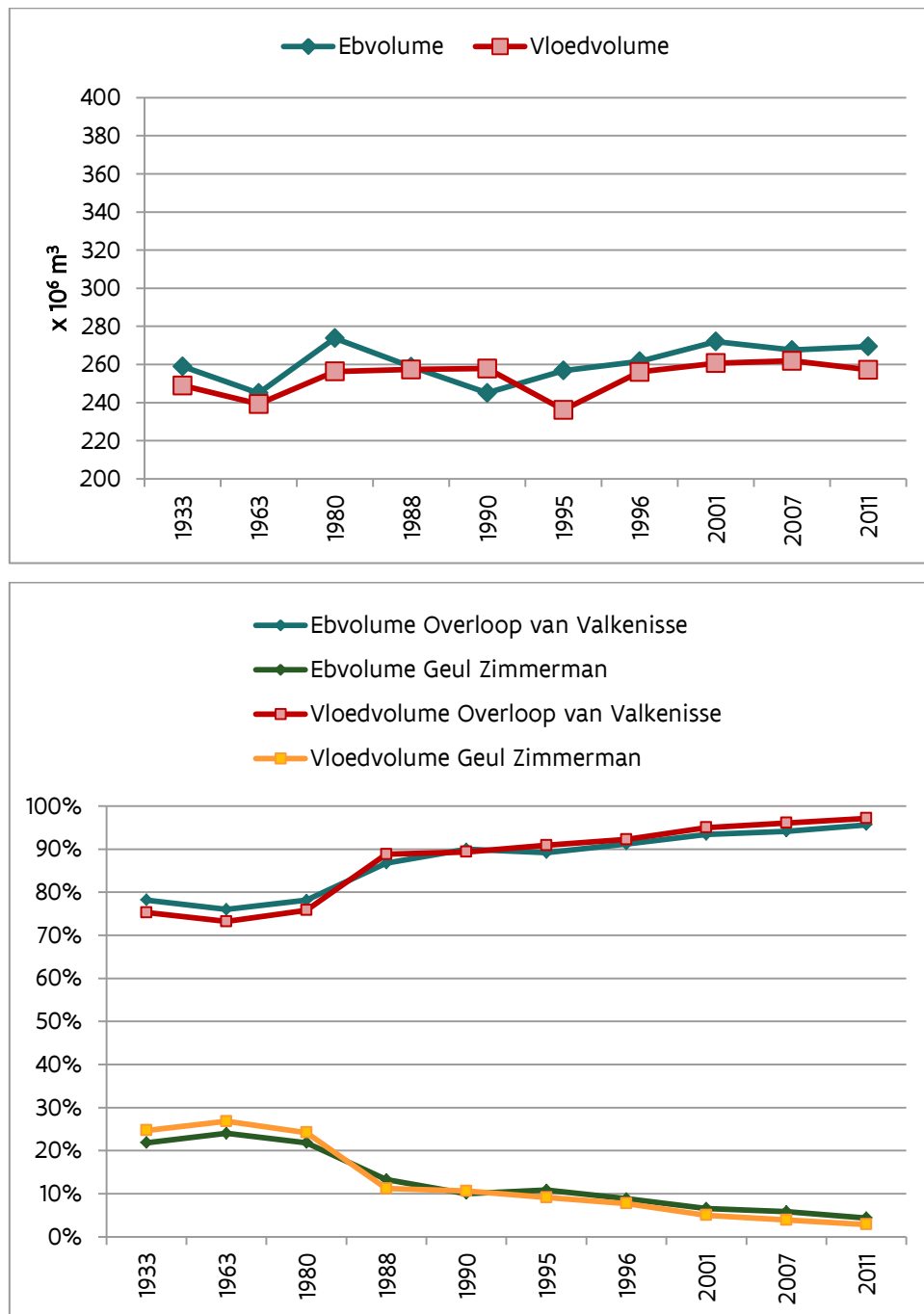
Figuur 7 – Gemeten eb- en vloedvolumes (boven) en bijbehorende relatieve verdeling over de raaien (onder) voor meetraai 5A



4.2.2 Debietraai 3

Debietraai 3 ligt langs de opwaartse rand van macrocel 5, nabij de overgang met macrocel 6. Ze is verdeeld in twee secties: de Overloop van Valkenisse en de Geul Zimmerman. In Figuur 8 (boven) zijn de gemeten getijvolumes op de raai weergegeven. Uit Figuur 8 (onder) is af te lezen dat het getijvolume in de Overloop van Valkenisse toeneemt ten koste van de getijvolume in de Geul van Zimmerman. In te periode 1980 – 1988 is een sterke afname te zien van het eb- en vloedvolume in de Geul van Zimmerman.

Figuur 8 – Gemeten eb- en vloedvolumes (boven) en bijbehorende relatieve verdeling over de raaien (onder) voor meetraai 3



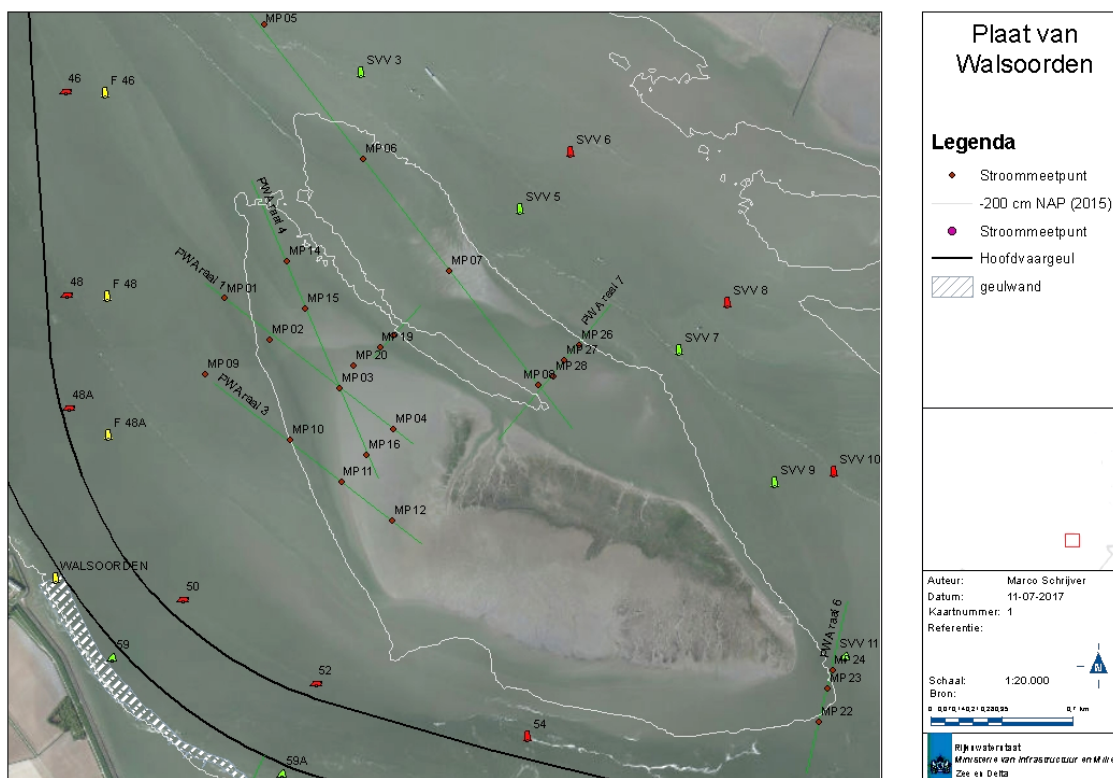
4.3 Stromingen

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 5 werden metingen uitgevoerd op 7 verschillende raaien (Figuur 9). 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-doodtij-cycli). Figuur 10 toont de stroomsnelheden over het verticale profiel voor punt PVW-MP0102, gelegen op de Plaat van Walsoorden op 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. Figuur 11 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 weinig wijzigen, terwijl dit bij vloed wel het geval is. Na de stortingen daalde de maximale vloedsnelheid aanzienlijk (cfr. van ca. 90 cm/s in 2009 naar ca. 75 cm/s in 2011 en 2014 bij een stijging van de waterstand van 5m). In de laatste meetcampagne is opnieuw een toename te zien in de maximale vloedsnelheden.

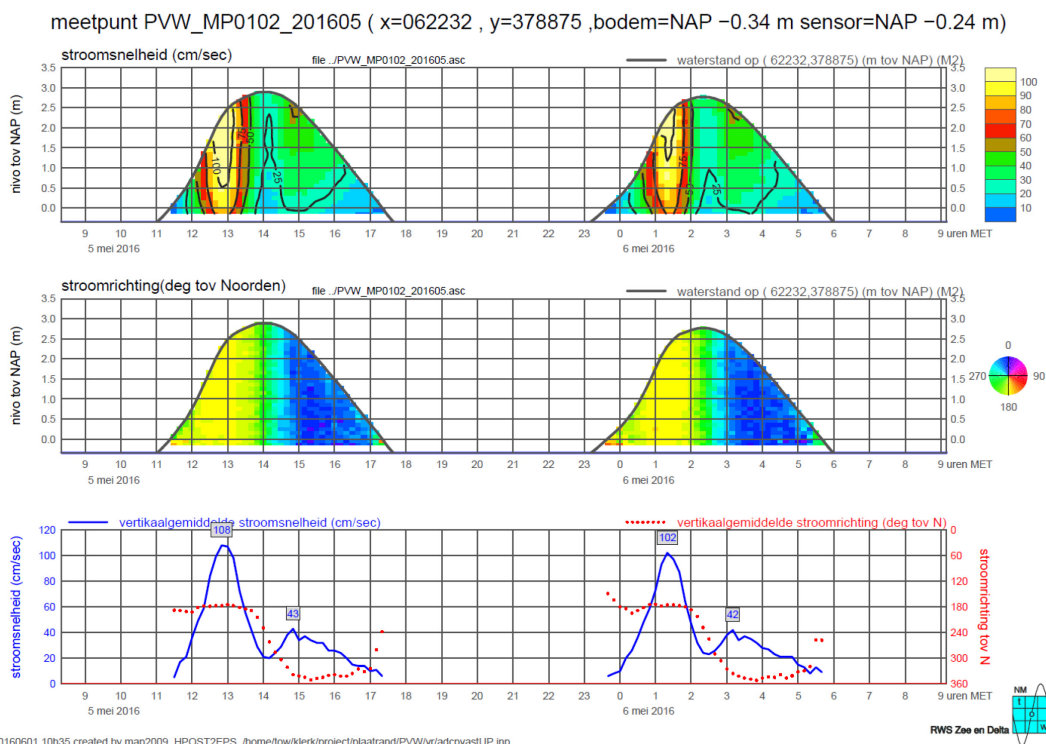
Figuur 9 – Ligging meetraaien waarop stroommetingen werden uitgevoerd



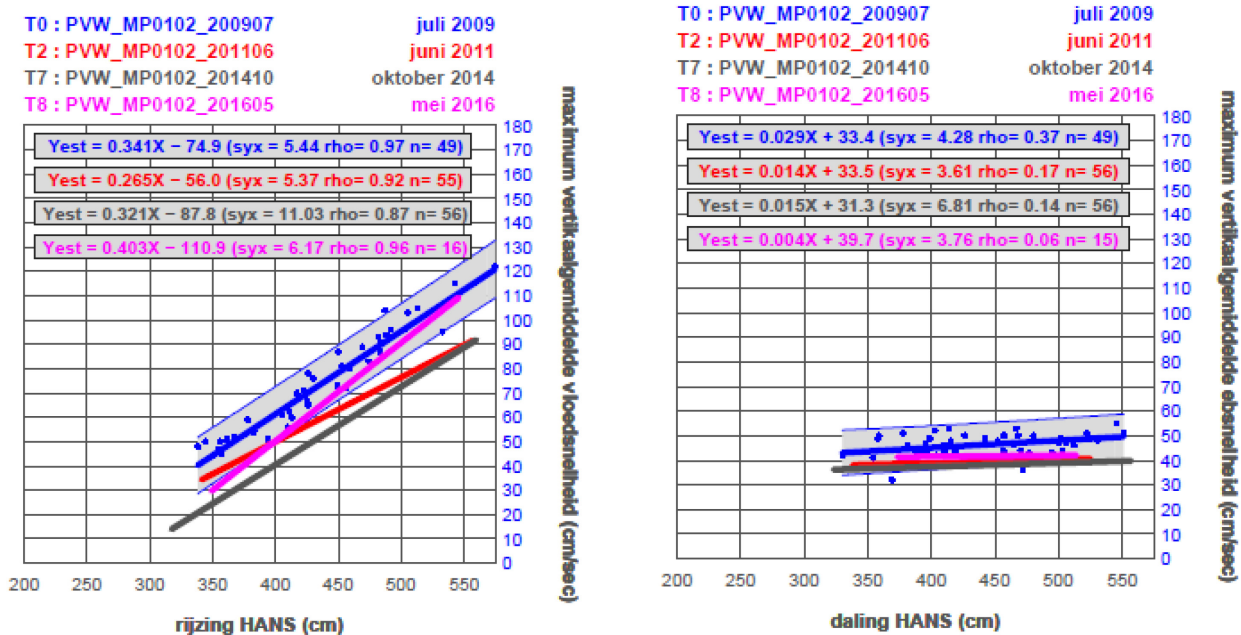
Tabel 3 – Overzicht uitgevoerd stroommetingen in macrocel 5

Van	Tot	Aantal Raaien	Raainummer
08-07-2009	05-08-2009	1	Raai 1
05-08-2009	03-09-2009	1	Raai 2
03-08-2010	16-09-2010	1	Raai 1
16-09-2010	27-10-2010	1	Raai 2
01-06-2011	30-06-2011	1	Raai 1
26-01-2012	01-03-2012	2	Raaien 1 en 2
08-03-2012	12-04-2012	2	Raaien 1 en 2
05-12-2012	17-01-2013	1	Raai 1
08-11-2013	04-12-2014	3	Raaien 1, 3, 4 en 5
08-10-2014	12-11-2014	4	Raaien 1, 3, 6 en 7
28-04-2016	26-05-2016	2	Raaien 1 en 3

Figuur 10 – Voorbeeld stroomsnelheden op punt PVW-MP 0102 gedurende 2 getijcycli
 grootte (boven), richting (midden) en diepte-gemiddelde snelheid (onder)



Figuur 11 – Relatie tussen maximale stroomsnelheid en getijverschil bij vloed (links) en bij eb (rechts) voor PVW-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

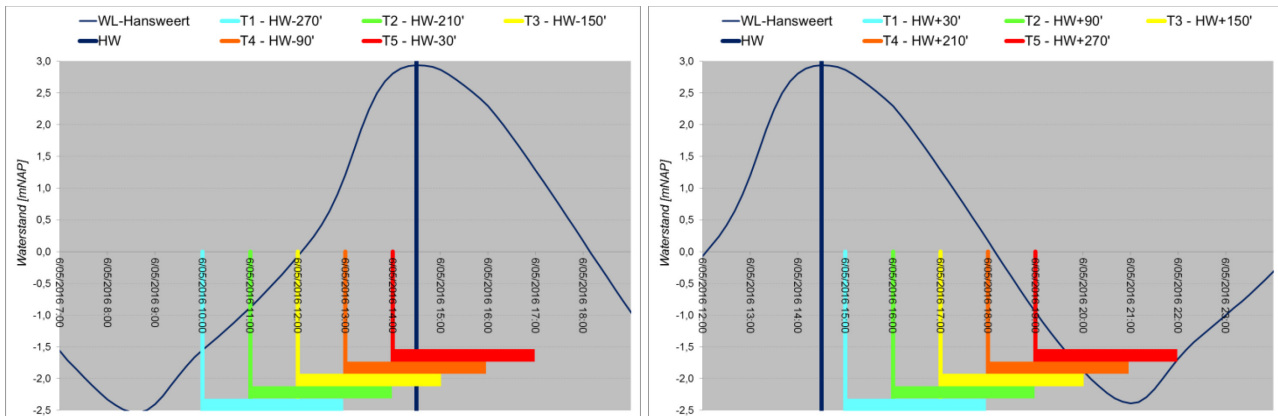
Bij een simulatie worden met een vast tijdsinterval ruimtelijke stroombeelden opgeslagen. Voor deze studie is ervoor gekozen elke 10 minuten een ruimtelijk beeld van de stroming (grootte en richting) op te slaan. Op basis van deze gegevens werd over een volledige vloed- en eb fase gezocht naar de maximale snelheid. Dit levert de maximale vloed- en ebsnelheid op. Naast deze extreme waarden, worden ook op een aantal karakteristieke momenten 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 Plaat van Walsoorden (6 punten bij vloed) als voor de hoofd- en nevengeul (telkens 3 punten bij eb) punten gedefinieerd waar 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 of eb.

Figuur 12 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 17 (links - vloed) en Figuur 17 (rechts - eb) gebruikt wordt om de stroombanen weer te geven.

Figuur 12 - Overzicht van de tijdstip waarop de vlotters werden losgelaten in het model bij vloed (links) en eb (rechts) (kleuren overeenkomstig aan kleur van de stroombaan)



Ruimtelijke stroombeelden

Vloed

Figuur 13 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 de diepe put van Hansweert en in het Zuidergat opwaarts Walsoorden. Ter hoogte van de punt van de Plaat van Walsoorden liggen de maximale stroomsnelheden lager, met waarden tot 120 cm/s in het ondiepwater en waarden kleiner dan 100 cm/s in het laag litoraal en kleiner dan 60 cm/s in het middelhoog litoraal.

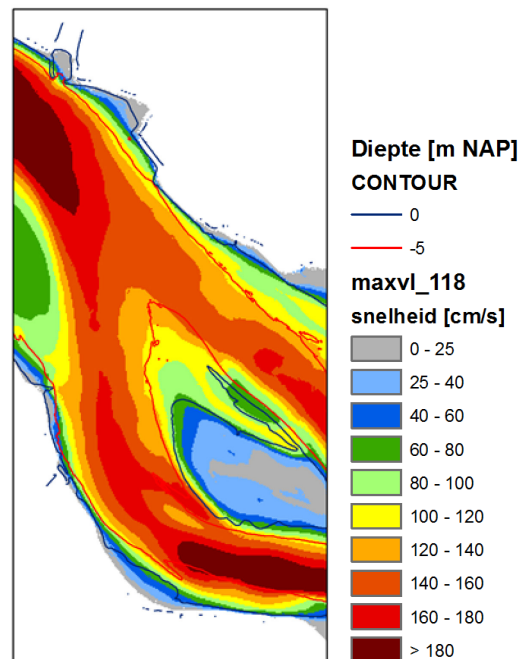
Figuur 14 geeft de stroomvectoren weer op het moment van maximale vloedstroming. Hieruit kan afgeleid worden dat de Plaat van Walsoorden optreedt als splitsingspunt: een deel van de stroming wordt in noordelijke afgebogen richting Schaar van Waarde, een deel wordt afgebogen in zuidelijke richting naar het Zuidergat. Een beperkte hoeveelheid water stroomt net voor hoogwater over de plaat.

Eb

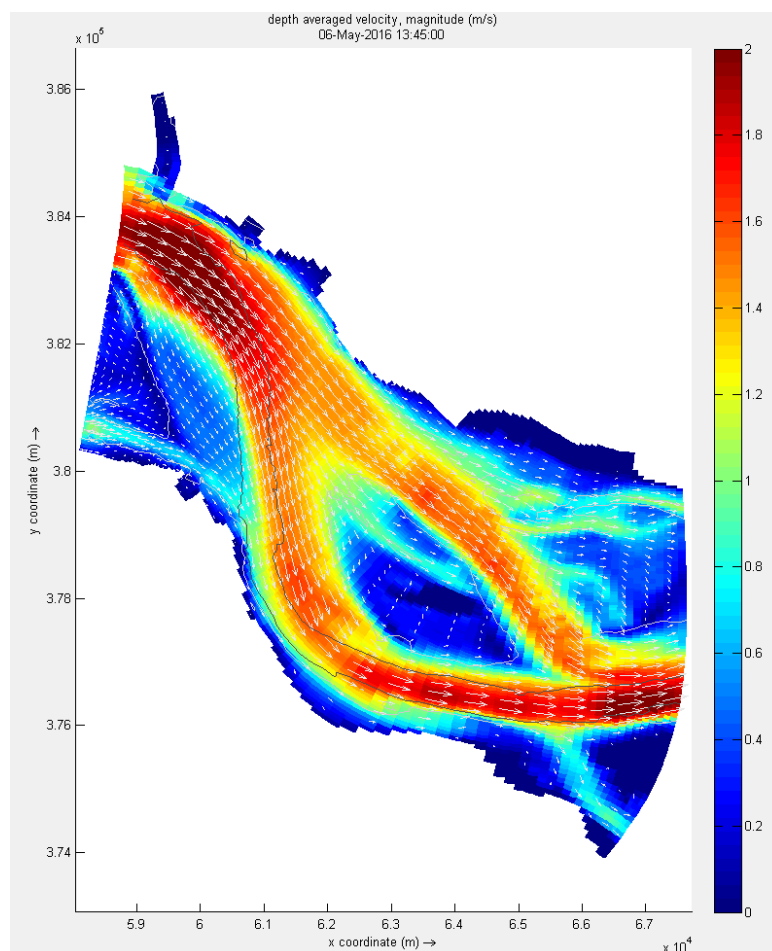
Figuur 15 geeft een overzicht van de maximale stroomsnelheden bij eb. Ook hier worden de grootste snelheden waargenomen in de diepere delen van de geulen. Maxima blijven beperkt tot 140 cm/s en doen zich voor in het Zuidergat opwaarts van Walsoorden. In de Schaar van Waarde liggen de snelheden lager (ca. 100 cm/s). Ter hoogte van de punt van de Plaat van Walsoorden liggen de maximale stroomsnelheden bij eb aanzienlijk lager, met waarden tot 60 cm/s in het ondiepwater en het laag litoraal. Op het middelhoog litoraal zijn de snelheden nog lager.

Figuur 16 geeft de stroomvectoren weer op het moment van maximale ebstroming. Hier is duidelijk het schaduw-effect van de plaat zichtbaar, waardoor er bij eb een stroomluwe zone ter hoogte van de plaatpunt.

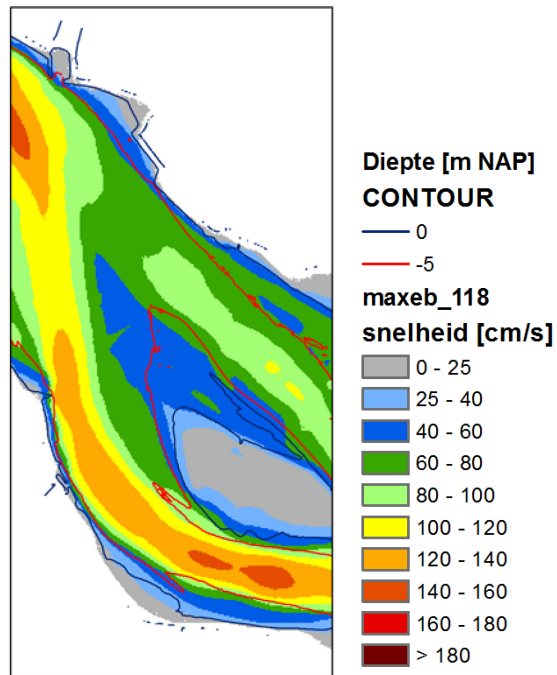
Figuur 13 - Overzicht van de maximale stroomsnelheden bij vloed



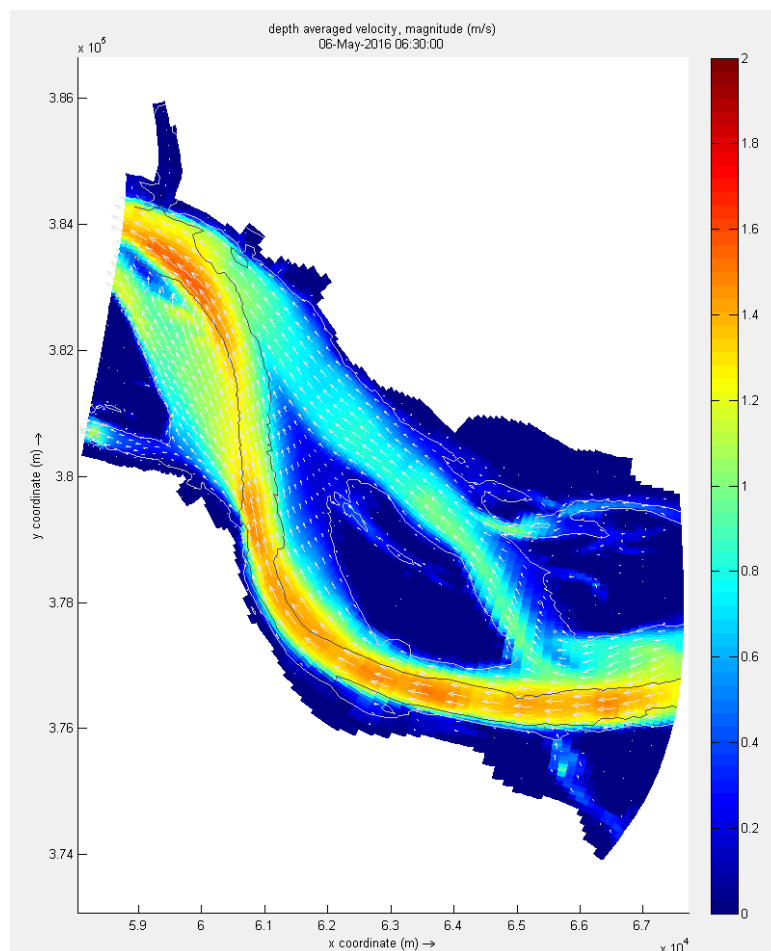
Figuur 14 - Overzicht van de stroomsnelheden bij vloed (vectoren)



Figuur 15 - Overzicht van de maximale stroomsnelheden bij eb



Figuur 16 - Overzicht van de stroomsnelheden bij eb (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 Plaat van Walsoorden. Op raai 1 is er initieel een sterke afname in maximale stroomsnelheid te zien voor de sublitorale punt (punt 1.1) en het punt ter hoogte van laagwaterlijn (punt 1.2). In de loop van de jaren neemt deze afname echter af (van ca. 20 cm/s vlak na de initiële stortingen in 2010 tot enkele cm/s in 2017). Dit is in overeenstemming met de vaststellingen in de metingen (§ 4.3.1). In raai 2 is een afname van de stroomsnelheden te zien voor de hogere gelegen punten (punt 2.3 en 2.4). Deze ontwikkeling is gerelateerd aan de morfologische ontwikkelingen van de noordelijke zandtong.

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

		PWA							
		raai 1				raai 2			
		1	2	3	4	1	2	3	4
Vloed	jun/2010 t.o.v. ref	-0,22	-0,16	-0,05	-0,01	0,01	-0,06	-0,07	-0,06
	dec/2010 t.o.v. ref	-0,22	-0,18	-0,06	-0,01	0,02	-0,02	-0,05	-0,07
	maa/2011 t.o.v. ref	-0,20	-0,17	-0,06	-0,01	0,04	-0,08	-0,09	-0,06
	jun/2011 t.o.v. ref	-0,18	-0,17	-0,05	-0,01	0,03	0,00	-0,02	-0,07
	sep/2011 t.o.v. ref	-0,18	-0,16	-0,06	-0,01	0,03	0,01	-0,02	-0,07
	jan/2012 t.o.v. ref	-0,20	-0,17	-0,06	-0,01	0,04	0,00	-0,04	-0,08
	aug/2012 t.o.v. ref	-0,14	-0,17	-0,05	0,00	0,05	0,01	-0,07	-0,07
	feb/2013 t.o.v. ref	-0,09	-0,14	-0,04	0,00	0,09	0,01	-0,09	-0,07
	jun/2013 t.o.v. ref	-0,05	-0,12	-0,04	-0,01	0,10	0,01	-0,10	-0,08
	jan/2014 t.o.v. ref	-0,05	-0,09	-0,04	-0,01	0,10	-0,05	-0,14	-0,09
	jul/2014 t.o.v. ref	-0,04	-0,09	-0,03	-0,01	0,10	-0,06	-0,14	-0,10
	jan/2015 t.o.v. ref	-0,05	-0,04	-0,02	-0,01	0,09	-0,09	-0,15	-0,13
	jan/2016 t.o.v. ref	-0,03	-0,02	0,00	0,01	0,11	-0,04	-0,17	-0,14
	jan/2017 t.o.v. ref	-0,02	-0,02	-0,01	0,01	0,09	-0,03	-0,16	-0,15
	jan/2017 t.o.v. jan/2016	0,01	-0,01	-0,01	0,00	-0,02	0,01	0,00	-0,01
Eb	jun/2010 t.o.v. ref	-0,04	-0,02	0,00	0,00	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01
	dec/2010 t.o.v. ref	-0,04	-0,03	0,01	0,00	0,00	-0,01	-0,01	-0,01
	maa/2011 t.o.v. ref	-0,04	-0,03	0,00	0,00	0,01	-0,02	-0,02	-0,01
	jun/2011 t.o.v. ref	-0,04	-0,04	0,01	0,00	0,00	-0,01	0,00	-0,01
	sep/2011 t.o.v. ref	-0,04	-0,04	0,01	0,00	0,00	-0,01	0,00	-0,01
	jan/2012 t.o.v. ref	-0,05	-0,04	0,01	0,00	0,01	-0,02	-0,01	-0,01
	aug/2012 t.o.v. ref	-0,03	-0,04	0,01	0,00	0,02	-0,03	-0,03	0,00
	feb/2013 t.o.v. ref	-0,01	-0,02	0,02	0,01	0,02	-0,10	-0,08	-0,02
	jun/2013 t.o.v. ref	0,01	-0,02	0,02	0,01	0,03	-0,10	-0,08	-0,02
	jan/2014 t.o.v. ref	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02	-0,19	-0,12	-0,02
	jul/2014 t.o.v. ref	0,01	0,00	0,02	0,01	0,02	-0,22	-0,12	-0,02
	jan/2015 t.o.v. ref	0,00	0,02	0,01	0,01	-0,01	-0,27	-0,16	-0,08
	jan/2016 t.o.v. ref	0,02	0,03	0,00	0,01	-0,02	-0,27	-0,16	-0,08
	jan/2017 t.o.v. ref	0,01	0,02	0,01	-0,02	-0,03	-0,30	-0,20	-0,10
	jan/2017 t.o.v. jan/2016	0,00	-0,01	0,01	-0,03	-0,01	-0,04	-0,03	-0,02

DALINGEN > 5 CM/S = LICHTGROEN, DALINGEN > 10 CM/S = DONKERGROEN

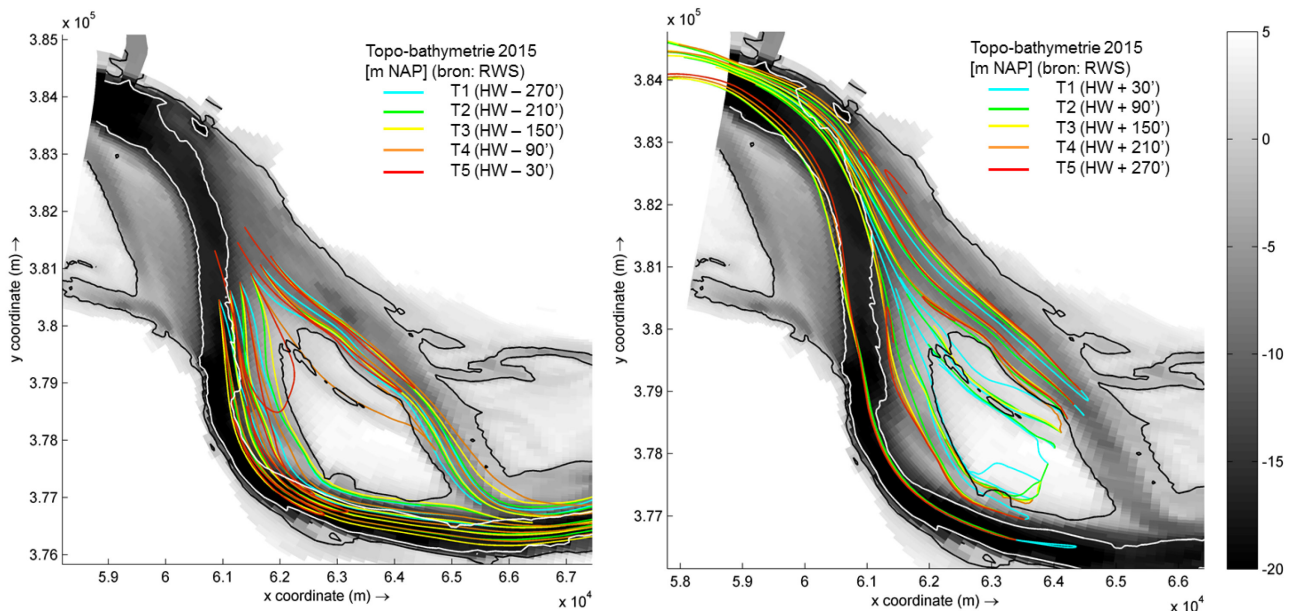
STIJGINGEN > 5 CM/S = LICHTROOD STIJGINGEN > 10 CM/S = DONKERROOD

Stroombanen

Voor de Plaat van Walsoorden (Figuur 17 - links) is duidelijk het splitsend effect van de plaat te zien bij vloed: vlotters losgelaten in het zuidelijke deel gaan richting het Zuidergat, in het noordelijke deel gaan ze richting Schaar van Waarde. Opvallend is het loslaatpunt in het verlengde van de punt van de plaat: bij het begin van de vloedfase gaat deze vlotter in de vloedschaar, daarna in de ebgeul en uiteindelijk, wanneer de waterstand hoog genoeg is om de plaat te overstromen, over de plaat.

Voor de eb fase (Figuur 17 - rechts) blijven de vlotter in de geul waarin ze losgelaten werden. Voor het loslaatpunt op de plaat gaat net na hoogwater de vlotter over de plaat, van zodra de waterstand gedaald is, gaat de vlotter via het Zuidergat naar afwaarts. Daarnaast is ook de invloed van de zuidelijke zand tong zichtbaar: vlotters losgelaten langs de zuidrand van de plaat gaan over de aansluiting van de zand tong via de zuidelijke vloedschaar, terwijl vlotters losgelaten in het Zuidergat in de geul blijven, ten zuiden van de zand tong.

Figuur 17 - Overzicht van de stroombanen tijdens vloed (links) en eb (rechts) voor macrocel 5 (tijdstip in legende is moment van loslaten)

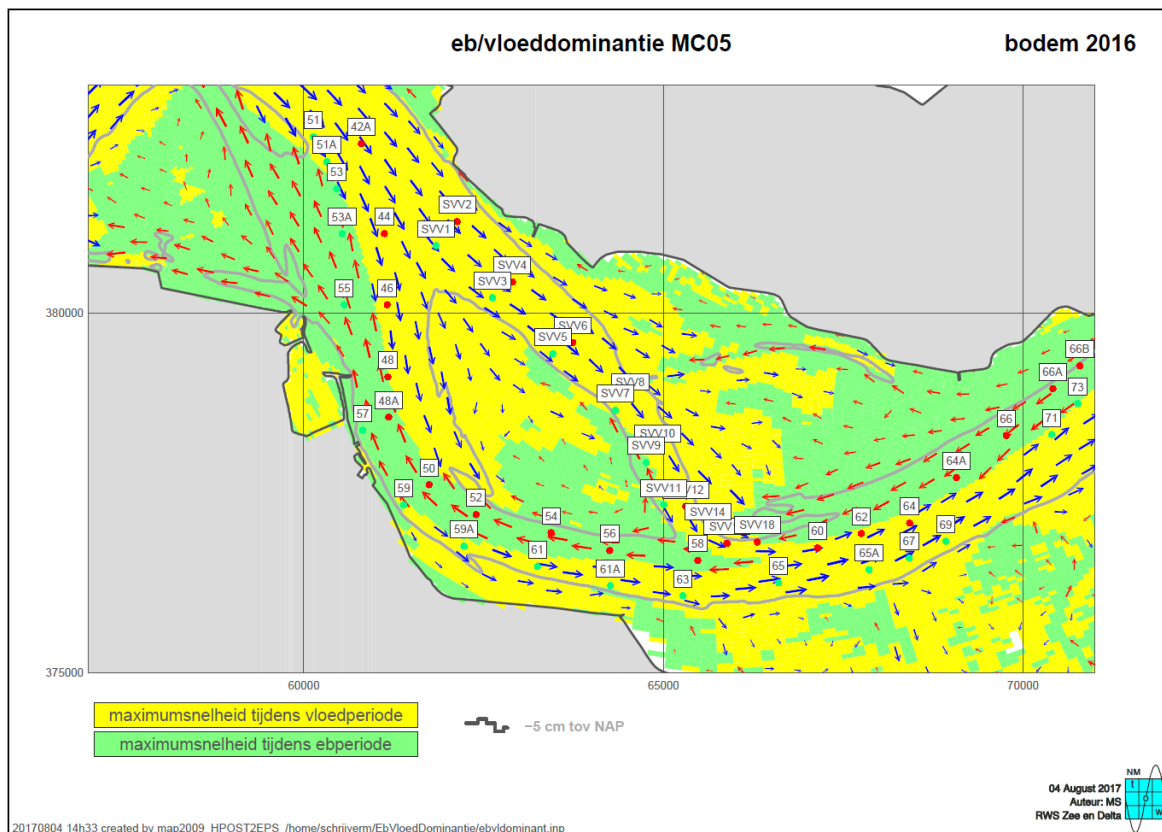
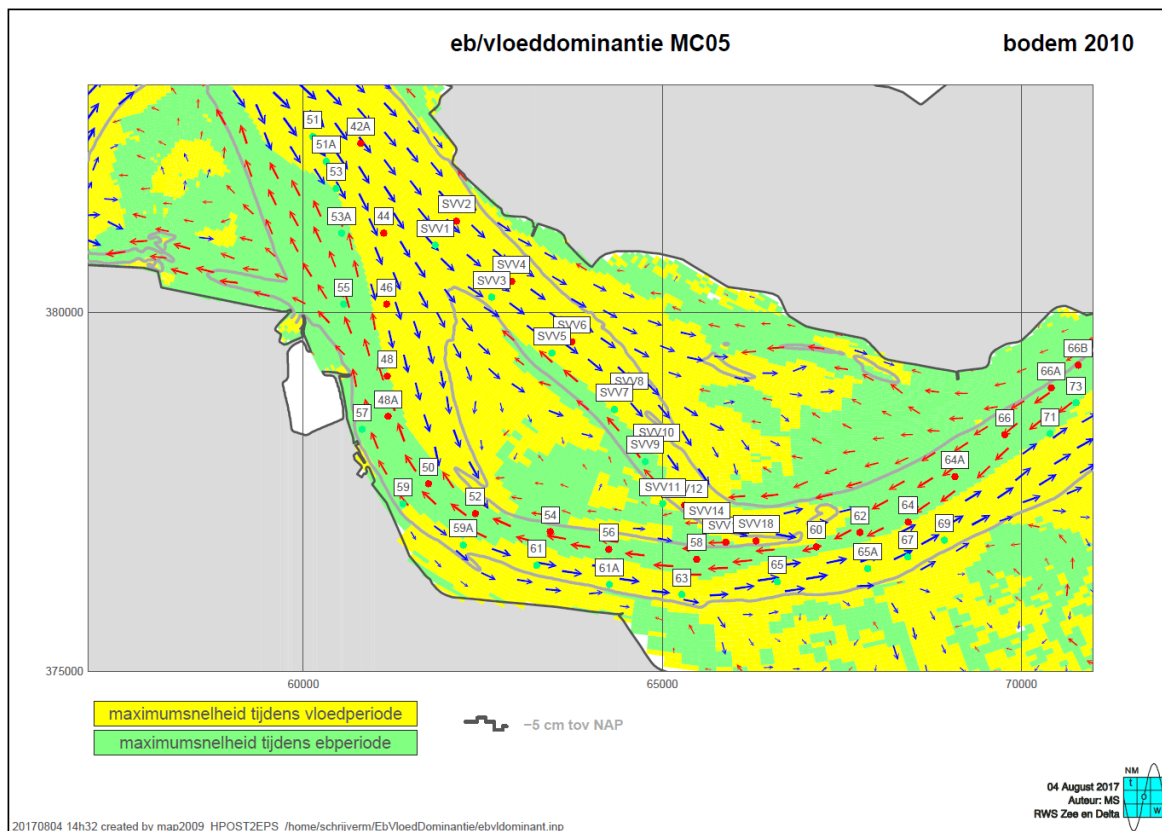


4.3.3 Eb-vloed dominantie op basis van stroming

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. De vloedgeul Schaar van Waarde is volledig vloed-gedomineerd. Ook de Schaar van Valkenisse is grotendeels vloed-gedomineerd, op een zone nabij de oostelijke punt van de Plaat van Walsoorden na. Deze zone is in 2016 wel kleiner dan in 2010, mogelijks te wijten aan de morfologische verandering in dit gebied.

De ebgeul Zuidergat wordt zowel gekenmerkt door eb-gedomineerd transport (langs de oever ter hoogte van Walsoorden) als door vloed-gedomineerd transport (langs de Plaat van Walsoorden). Ook de Overloop van Valkenisse is grotendeels vloed-gedomineerd.

Figuur 18 - Overzicht van de residuele stroming voor macrocel 5 op basis van bodem 2010 (boven) en 2016 (onder)



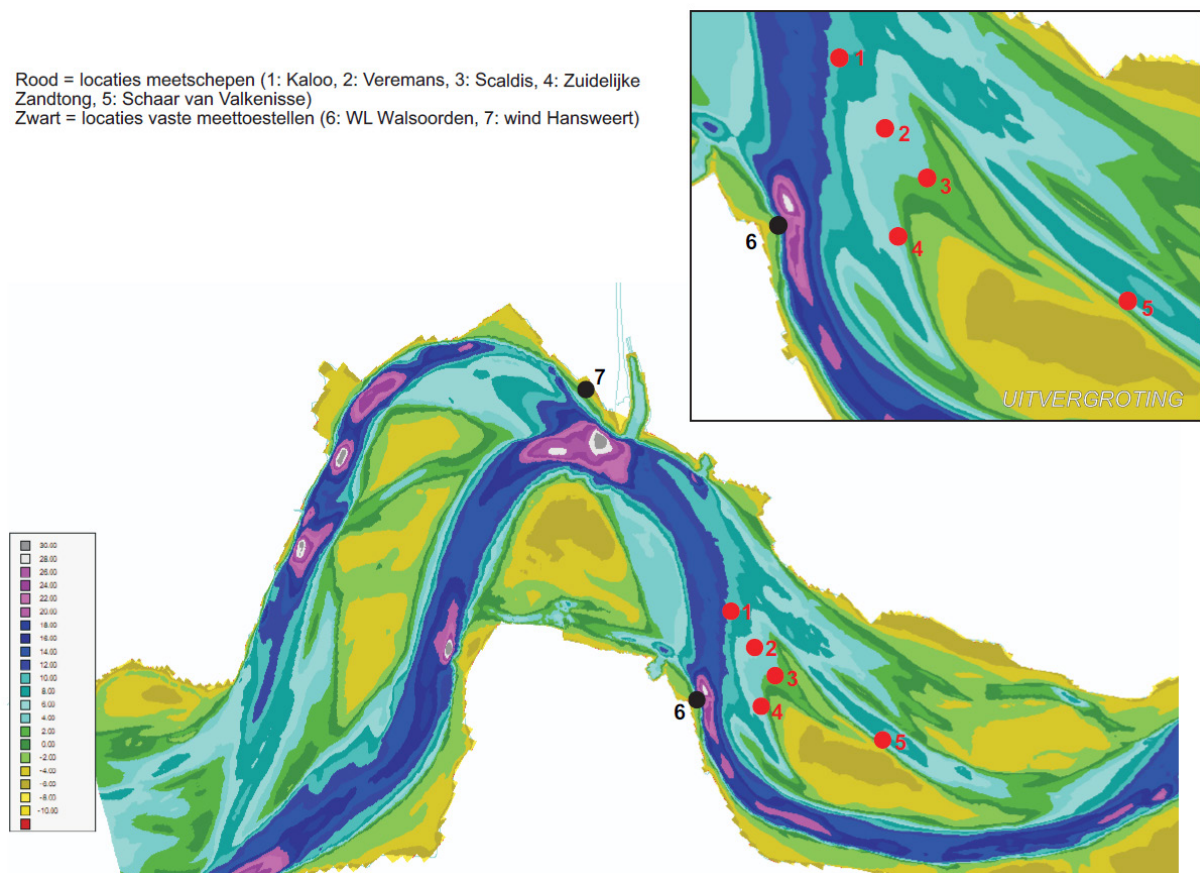
5 Sedimenttransport

5.1 Metingen

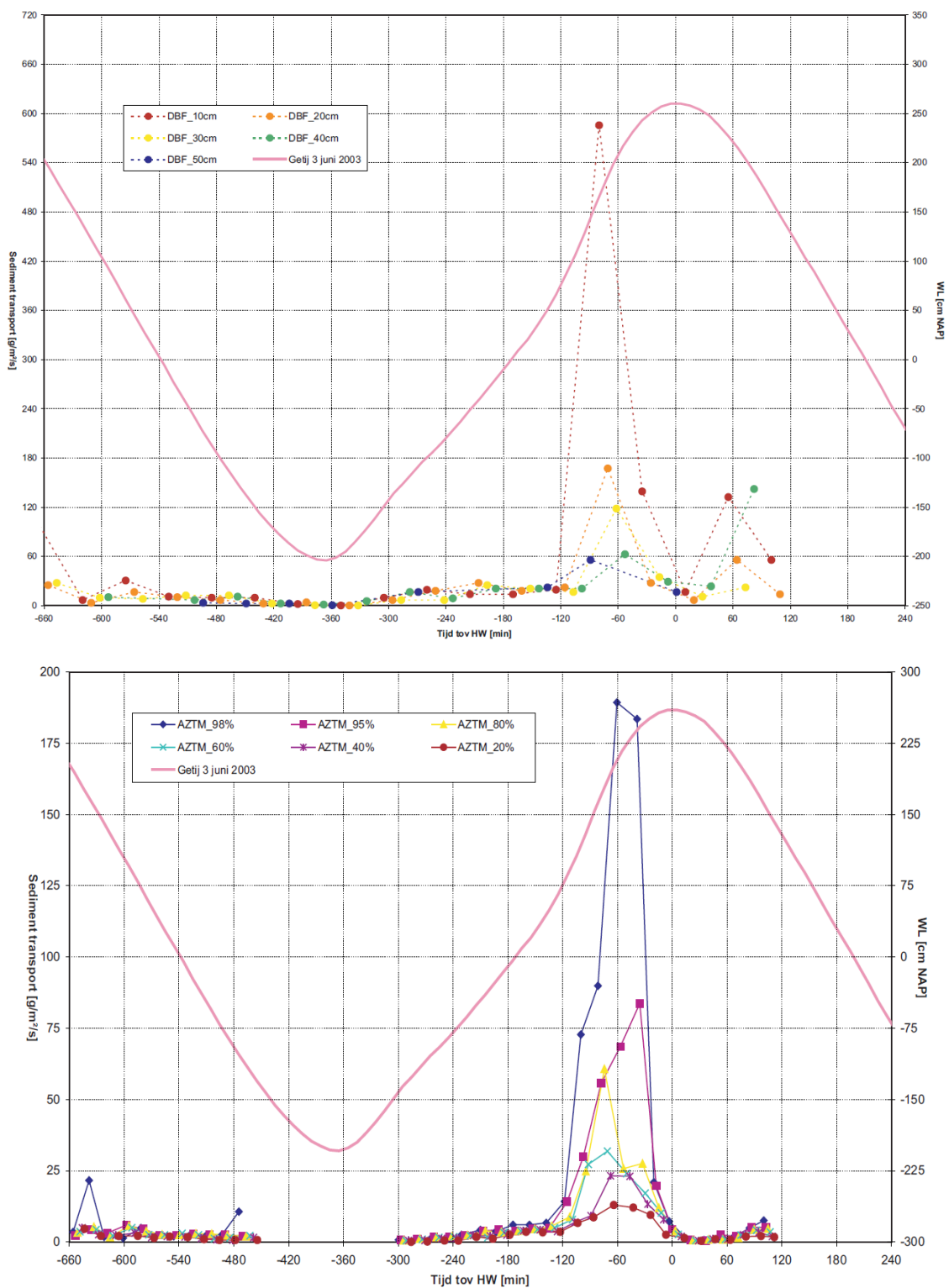
In het kader van het haalbaarheidsonderzoek rond de stortstrategie nabij de Plaat van Walsoorden werden er tussen 2003 en 2006 op verschillende plaatsen langs de plaatrand stromings- en sedimenttransportmetingen uitgevoerd. Figuur 19 geeft de ligging van de verschillende meetpunten nabij de Plaat van Walsoorden weer. De stroming werd gemeten met ADCP's, terwijl het sedimenttransport werd gemeten met o.a. Delftse flessen en de Akoestische ZandTransportMeter (AZTM). Voor een uitgebreide beschrijving van de metingen wordt verwezen naar (Ides *et al.*, 2007) en (Haecon, 2005).

De verschillende locaties (enerzijds plaatpunt MP02 - Figuur 20 en zuidelijke vloedschaar MP04 - Figuur 21, anderzijds Schaar van Valkenisse - Figuur 22) vertonen een verschillend patroon: MP01 – MP04 vertonen quasi geen transport in het begin van de vloedfase, gevolgd door de sterke piek in het transport ca. 1 uur voor hoogwater; in de ebfase is het transport beperkt aangezien deze locaties in de schaduw van de plaat zijn gelegen. MP05 heeft tijdens de vloed een vergelijkbaar patroon, maar vertoont bij het begin van de ebfase een bijkomende transportpiek. Deze is toe te schrijven aan de ebstroming die langs de noordelijke rand van de Plaat van Walsoorden “geleid” wordt van zodra de plaat (gedeeltelijk) droogvalt.

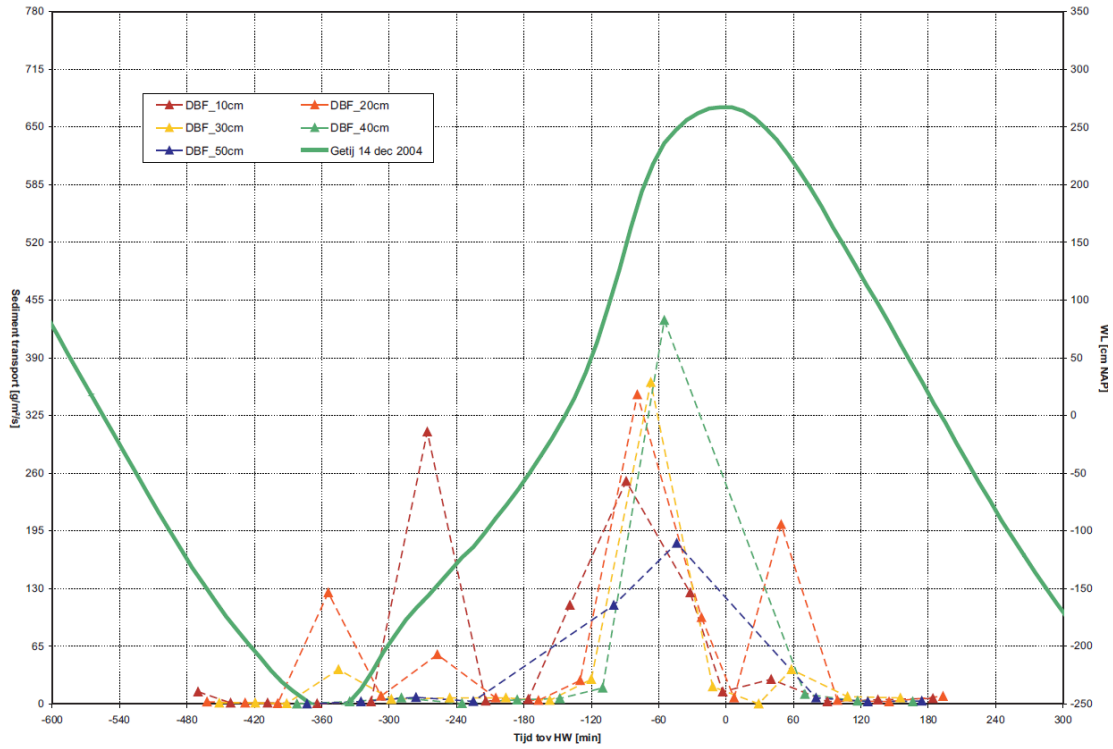
Figuur 19 - Overzicht van het meetlocaties nabij Plaat van Walsoorden



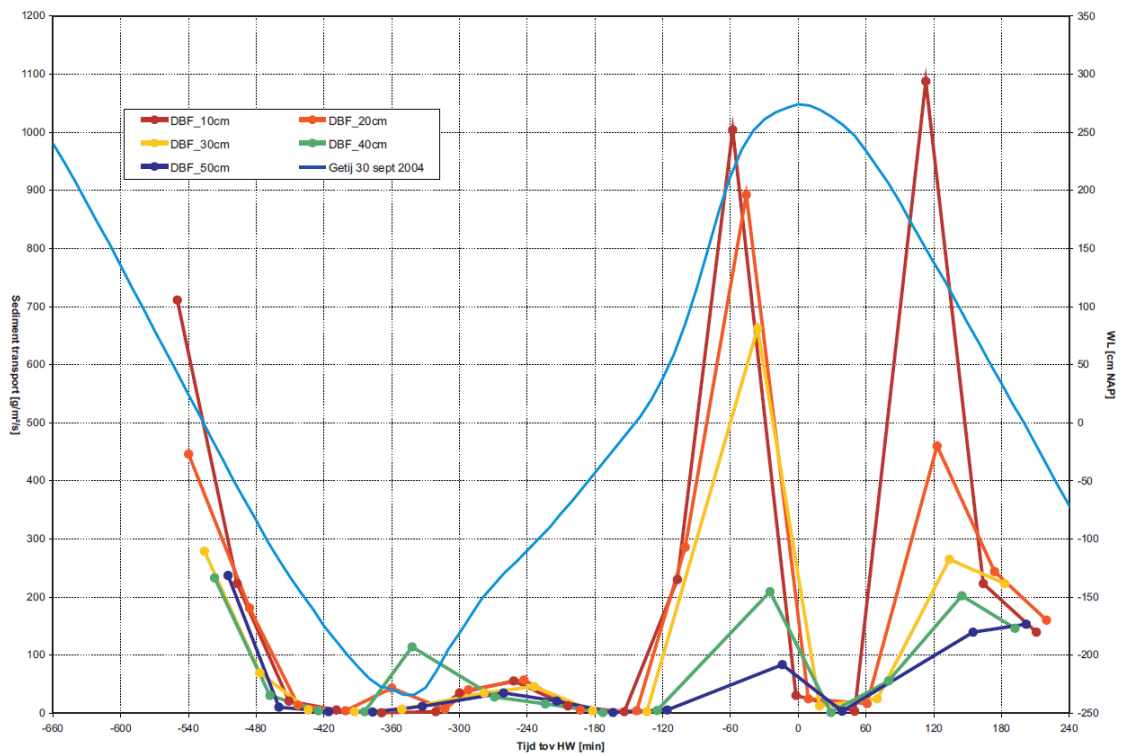
Figuur 20 - Overzicht van het sedimenttransport t.h.v. Plaat van Walsoorden (MP02) nabij bodem m.b.v. Delfse fles (boven) en totale waterkolom m.b.v. AZTM (onder)



Figuur 21 - Overzicht van het nabij-bodem sedimenttransport t.h.v. de zuidelijke vloodschaar (MP04)



Figuur 22 - Overzicht van het nabij-bodem sedimenttransport t.h.v. Schaar van Valkenisse (MP05)



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:

$$\Phi = \frac{0,1 \cdot \theta^{\frac{5}{2}}}{f} [-] \quad \text{en} \quad \theta = \frac{\tau_0}{\gamma \cdot (s-1) \cdot d_{50}} [-] \quad \text{en} \quad f = \frac{2 \cdot g \cdot D \cdot l}{u^2} [-]$$

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 in macrocel 5 als het verhang van het wateroppervlak tussen de posten Hansweert en Bath
- 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)
- s : relatieve densiteit van het sediment [-] = $\rho_{\text{sediment}} / \rho_{\text{water}}$
- γ : specifieke densiteit [$\text{kg/m}^2/\text{s}^2$] = $\rho_{\text{water}} \cdot g$

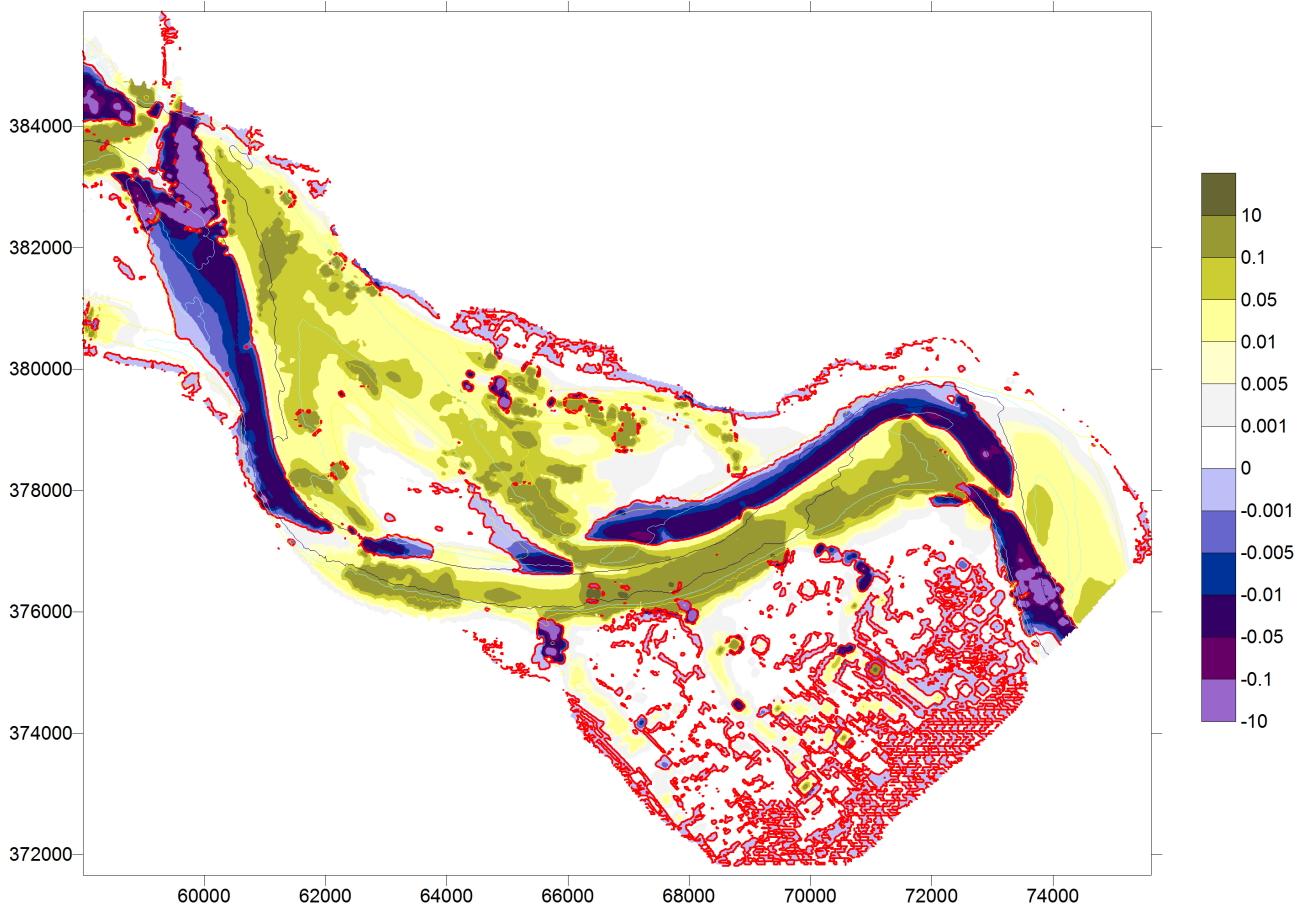
5.2.2 Resultaten

Figuur 23 geeft het resultaat weer van de netto-sedimenttransporten in macrocel 5. Er is een duidelijk onderscheid waar te nemen tussen de verschillende geulen. De vloedgeul Schaar van Waarde is volledig vloed-gedomineerd. Ook de Schaar van Valkenisse is grotendeels vloed-gedomineerd, op een zone nabij de oostelijke punt van de Plaat van Walsoorden/Plaat van Valkenisse (west) na.

De ebgeul Zuidergat wordt zowel gekenmerkt door eb-gedomineerd transport (langs de oever ter hoogte van Walsoorden) als door vloed-gedomineerd transport (langs de Plaat van Walsoorden). Ook de Overloop van Valkenisse is grotendeels vloed-gedomineerd, wat op zich opmerkelijk lijkt aangezien dit de “ebgeul” is.

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 23 – Netto sedimenttransport [$\text{m}^3/\text{m}/\text{s}$] op basis van hydrodynamische simulatie en offline sediment transport (positief = vloed-gedomineerd | negatief = eb-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.

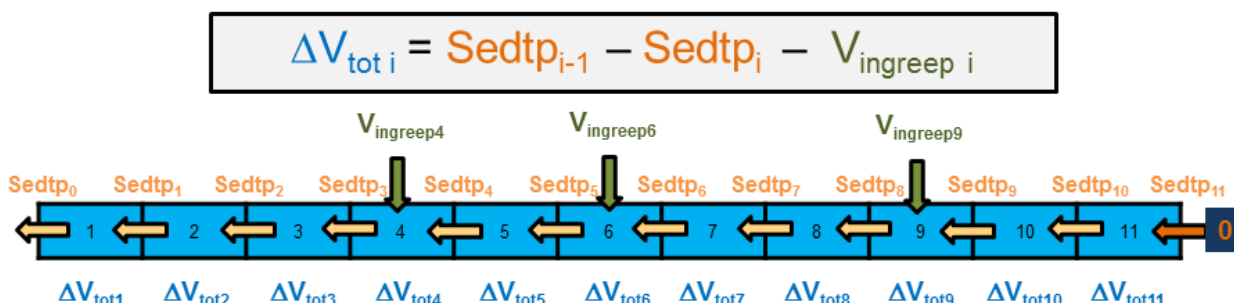
5.3.1 Methode

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 24). De keuze van de rekenrijen impliceert de veronderstelling dat het sedimenttransport volgens deze rijen plaatsvindt. Deze aanname is geldig voor het centrale deel van de plaatpunt, echter ter hoogte van de noordelijke en zuidelijke rand van de plaatpunt zal er in realiteit ook sedimenttransport tussen verschillende rijen plaatsvinden (zie ook afbuiging van stroombanen). Dit wordt niet meegenomen in deze methodiek.

Figuur 24 – Concept zandbalans over rekenrij met 11 cellen



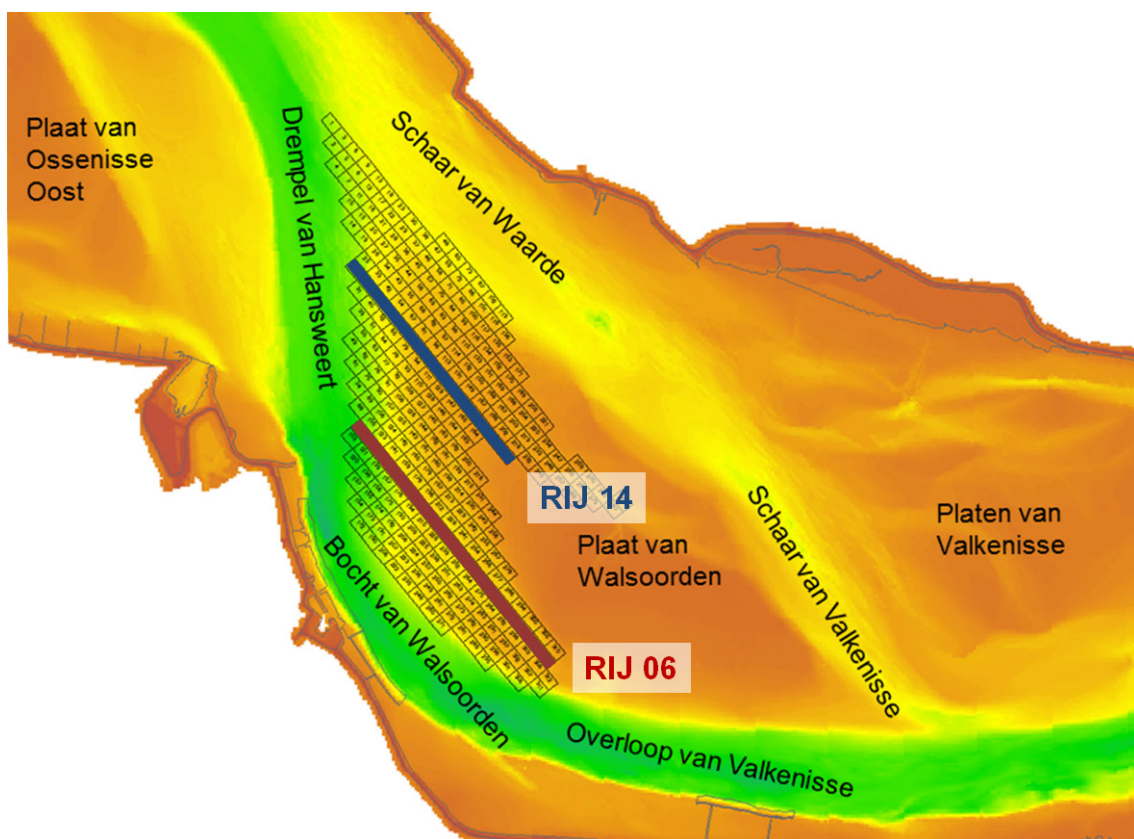
Voor elke rekenrij moet op een bepaalde locatie een randvoorwaarde opgelegd worden. Binnen deze studie is ervoor geopteerd om de randvoorwaarde af te leiden uit een numerieke modelsimulatie. Voor elk moment werd de bathymetrie in het studiegebied aangepast en werd een periode van 2 karakteristieke springtij-doodtij-cycli (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 2 karakteristieke rijen te presenteren. Voor de andere rijen wordt verwezen naar (Goossens *et al.*, in voorbereiding). Rij 14 is gelegen ter hoogte van de punt van de Plaat van Walsoorden. Ter hoogte van de rij werd in 2010 de megaduin aangelegd met behulp van baggerspecie die vrijkwam bij de verruiming van de vaargeul. Rij 06 is gelegen ter hoogte van de zuidelijke vloedschaar. Ter hoogte van de rij in de afgelopen jaren gereld een deel van de onderhoudspecie teruggestort. 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.

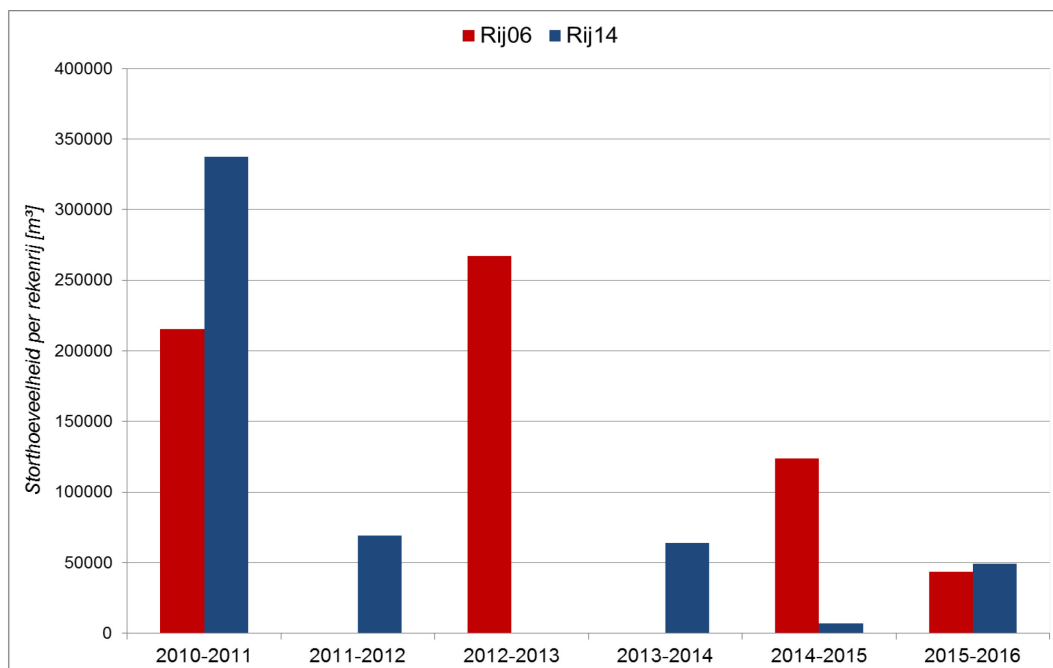
Figuur 25 – Ligging rekenrijen met gepresenteerde rijen 06 en 14



Storringen

Figuur 26 geeft de storthoeveelheden weer voor de 2 beschouwde rekenrijen. In rij 06 is ca. 650.000 m³ gestort in de periode 2010-2016. In de periode 2010-2011 en 2012-2013 werd telkens meer dan 200.000 m³ gestort, terwijl in 2011-2012 en 2013-2014 niets gestort werd. In rij 14 is ca. 525.000 m³ gestort in de periode 2010-2016. De grootste stortintensiteit is terug te vinden tijdens de aanlegbaggerwerken in 2010-2011, terwijl in de daaropvolgende jaren er maar ca. 50.000 m³ per jaar wordt gestort in deze rekenrij.

Figuur 26 – Storthoeveelheden voor rekenrijen 06 en 14

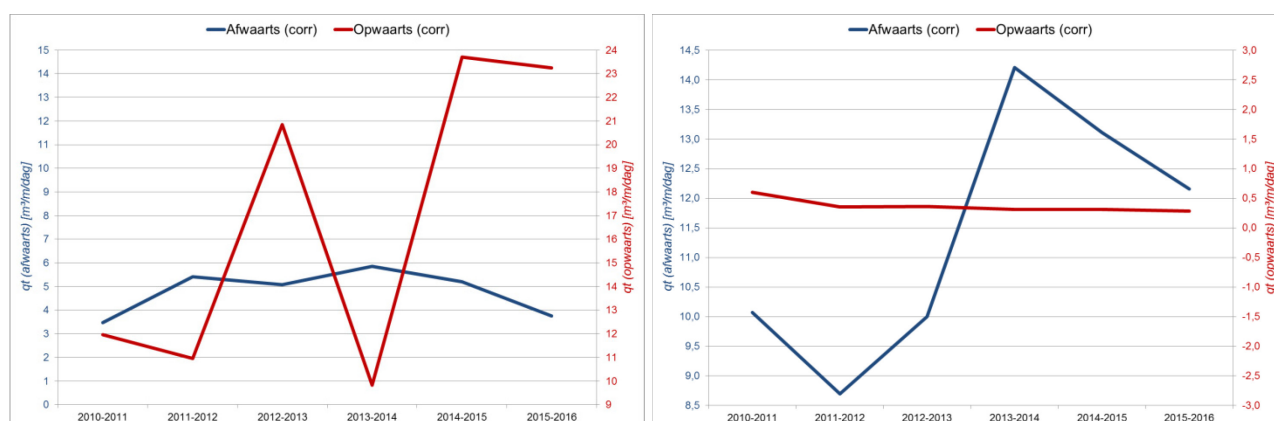


Randvoorwaarden

De randvoorwaarden werden voor de verschillende momenten berekend met de formule van Engelund-Hansen, gebruik makend van de snelheden uit de hydrodynamische modelsimulaties. Figuur 27 toont de variatie van zowel de opwaartse als de afwaartse randvoorwaarde.

Voor rij 06 is de variatie in het sedimenttransport voor de afwaartse rand eerder beperkt (3,5 tot 6 m³/m/dag). Langs de opwaartse rand is de variatie veel groter (10 tot 24 m³/m/dag). Dit kan toegeschreven worden aan de sterkere diepteveranderingen langs de opwaartse zijde waardoor ook de stroompatronen meer variëren. Voor rij 14 is de variatie in het sedimenttransport voor de afwaartse rand aanzienlijk (8,5 tot 14 m³/m/dag). Deze rand is in de onmiddellijke nabijheid van de megaduin gelegen, waardoor hier sterkere veranderingen van de stromingen optreden. Langs de opwaartse rand is de variatie quasi onbestaande (0,3 tot 0,6 m³/m/dag). Deze zijde is gelegen langs de plaatrand, met lagere stroomsnelheden en kleinere sedimenttransporten die quasi constant blijven in de tijd.

Figuur 27 – Temporele variatie van de op- en afwaartse randvoorwaarden voor rij 06 (links) en rij 14 (rechts)

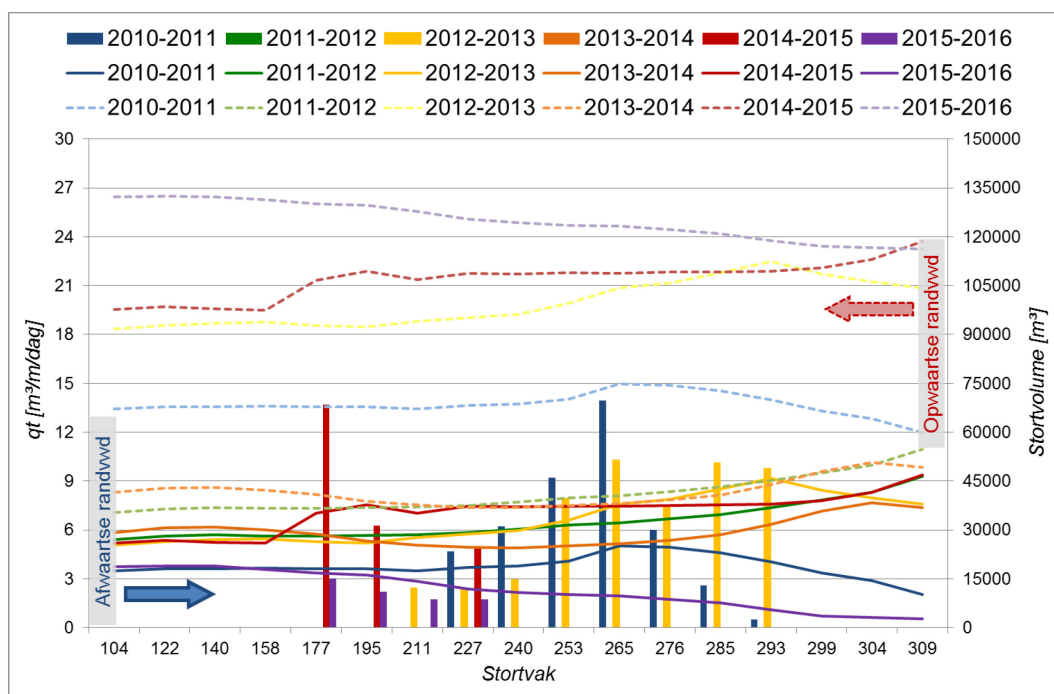


Sedimenttransporten op basis van sedimentbalans

Figuur 28 toont het sedimenttransport afgeleid uit de sedimentbalans voor rij 06. Hierin wordt zowel het sedimenttransport getoond wanneer de balans opgemaakt vertrekkend van de op- als afwaartse randvoorwaarde. De berekende sedimenttransporten zijn steeds vloedgedomineerd (positief).

De belangrijkste variatie in het sedimenttransport kan toegeschreven worden aan de waarde van de randvoorwaarde. Wanneer het sedimenttransport langsheen de rekenrij wordt bekeken, blijft de variatie hier beperkt tot $4 \text{ m}^3/\text{m}/\text{dag}$. Ter vergelijking: de opwaartse randvoorwaarde fluctueert ca. 3 keer zoveel. Uit de variatie van het sedimenttransport langsheen de rekenrij kan afgeleid worden dat wanneer er een storting plaatsvindt, ter hoogte van de rekencel waarin de storting plaatsvond, er een toename is van het vloedgedomineerd transport: dit treedt op in 2010-2011 ter hoogte van rekencel 265, in 2014-2015 ter hoogte van rekencel 177 en in 2012-2013 neemt het transport geleidelijk toe tussen rekencel 240 en 293.

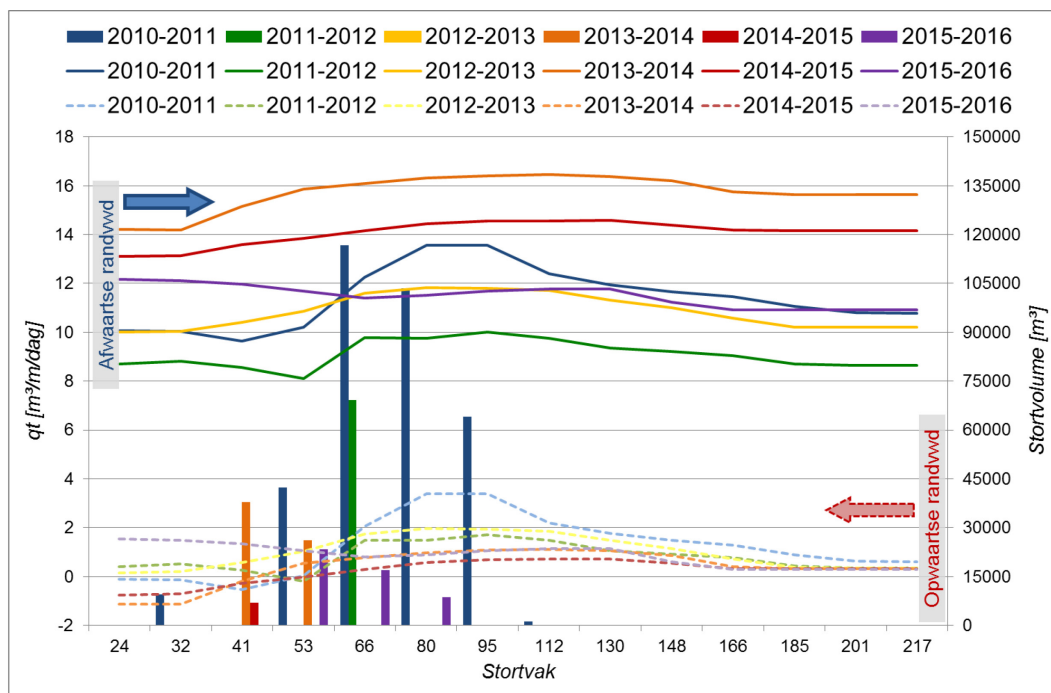
Figuur 28 – Sedimenttransport op basis van sedimentbalans voor rij 06



Figuur 29 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. De berekende sedimenttransporten zijn bijna altijd vloedgedomineerd (positief), behalve langs de afwaartse rand wanneer gestart wordt van de opwaartse randvoorwaarde.

Zowel de randvoorwaarde (bij afwaartse randvoorwaarde) als de temporele variatie geven aanleiding tot gelijkaardige variatie ($2 \text{ à } 4 \text{ m}^3/\text{m}/\text{dag}$) in het sedimenttransport. Ook hier is er een duidelijke toename terug te vinden in het sedimenttransport ter hoogte van de rekencel waarin de storting plaatsvond (rekencel 66 en 80 in periode 2010-2011). Wanneer de opwaartse randvoorwaarde wordt opgelegd, is de toename in vloeddominant transport ook opwaarts van de storting terug te vinden, weliswaar in beperkte mate (ca. $1 \text{ m}^3/\text{m}/\text{dag}$). Wanneer de afwaartse randvoorwaarde wordt opgelegd, is de variatie in de randvoorwaarde dominant.

Figuur 29 – 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. Deze invloed wordt groter naarmate de stortingen groter wordt en de natuurlijke variatie in het sedimenttransport kleiner is. In vergelijking met de natuurlijke variatie van het sedimenttransport (op basis van variatie in stroomsnelheden uit numerieke modelsimulaties), blijft de invloed van de stortingen echter beperkt.

Dit sluit aan bij eerdere bevindingen op basis van sedimenttransportmetingen (Ides *et al.*, 2007), waaruit bleek dat de invloed van de toenmalige proefstorting op het sedimenttransport niet kon worden vastgesteld. Het betrof hier echter 13u-metingen, die echter niet representatief zijn voor een volledige springtij-doodtij-cyclus, die aanleiding geeft tot een aanzienlijke variatie.

6 Morfologie

6.1 Morfologische ontwikkeling op de lange termijn

6.1.1 Algemeen

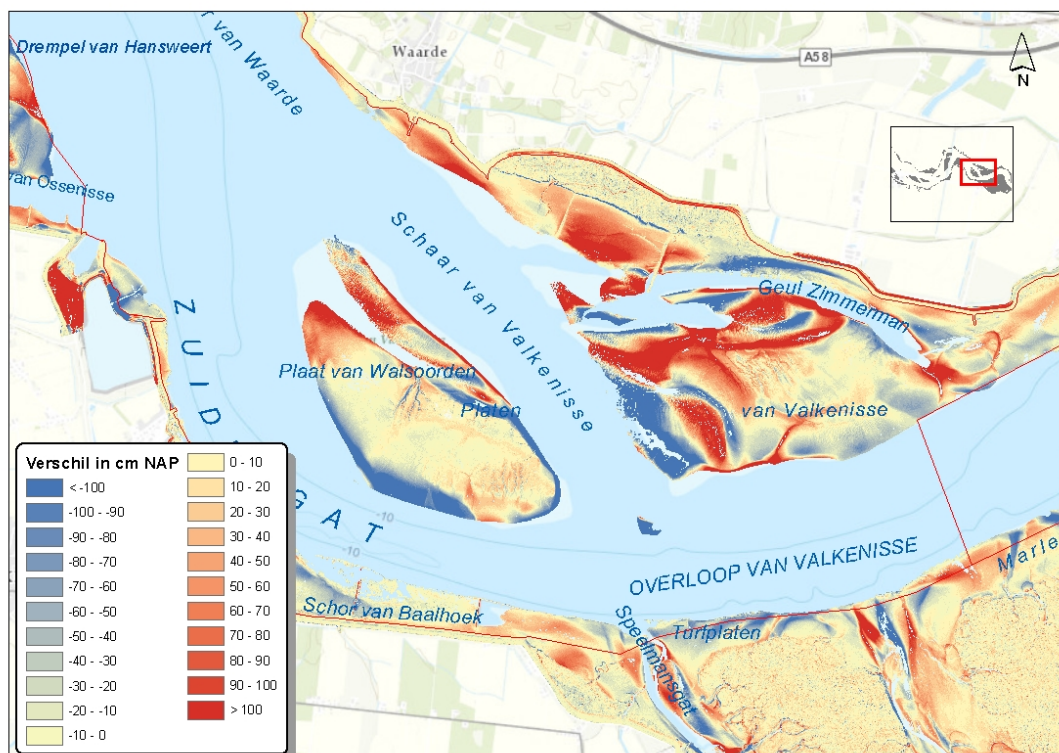
Figuur 30 toont de hoogteontwikkelingen op de intergetijdengebieden op basis van laseraltimetrie tussen 2009 en 2015. Bijlage A toont de volledige bodemligging van macrocel 5 voor 1980, 1990, 2000, 2010 en 2016. Op deze figuren worden telkens ook de contourlijnen getoond met 5m interval. Figuur 31 toont de verschillende contouren voor de jaren 1980 en 2016. Figuur 32 doet dit voor de jaren 2000 en 2016. Hoewel de geulen redelijk stabiel zijn, zijn toch een aantal grootschalige veranderingen te zien.

In het afwaartse deel van de macrocel is er de erosie van de oostrand van de Platen van Ossenisse voor de 0m NAP en -5m NAP contourlijn. De -10m NAP contourlijn erodeert niet en heeft waarschijnlijk de neiging om oostwaarts uit te breiden. Dit wordt echter verhinderd door de aanwezigheid van de vaargeul en de onderhoudsbaggerwerken die hier quasi continu plaatsvinden.

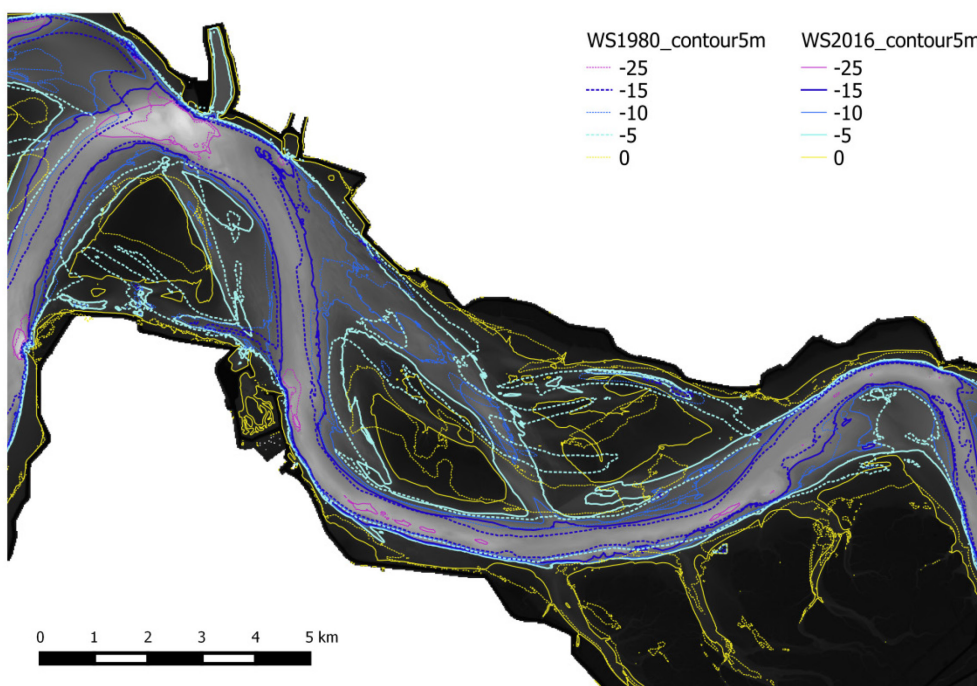
In het opwaartse deel van de macrocel is er de migratie van de aansluiting van de Schaar van Valkenisse met de Overloop van Valkenisse. Deze roteert, met een westelijke migratie nabij de vaargeul, en een oostelijke migratie in de vloedgeul. Daarnaast is er ook de reductie van de Zimmermangeul die in dit deel van de macrocel waar te nemen valt. Figuur 33 geeft deze ontwikkeling in detail weer op basis van de -10 m NAP dieptecontour.

In onderstaande paragrafen wordt dieper ingegaan op deze morfologische veranderingen.

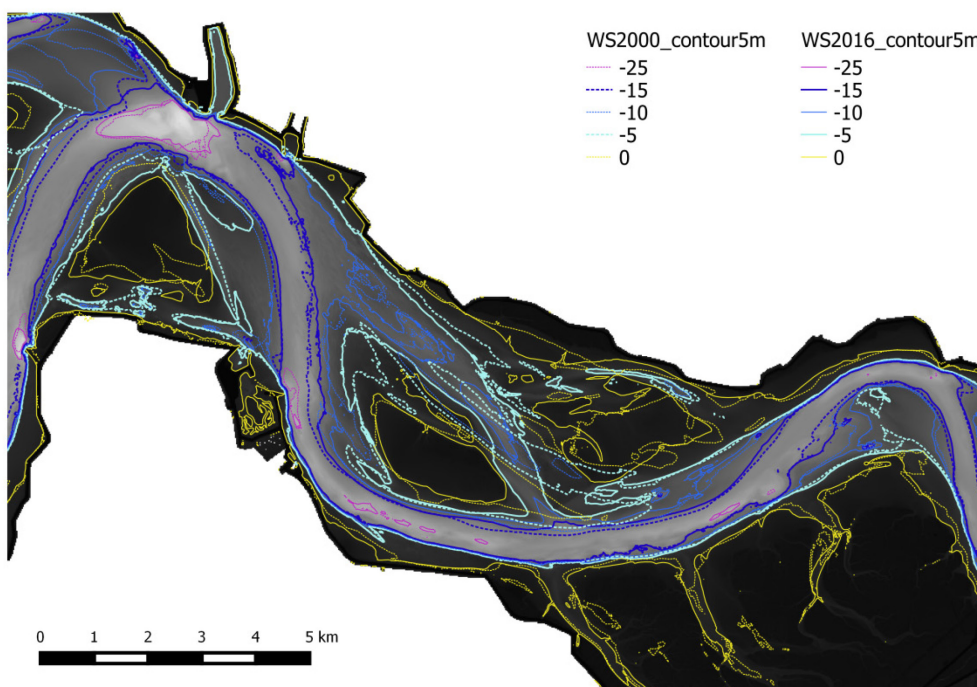
Figuur 30 – Verschilkaart laseraltimetrie 2015 - 2009



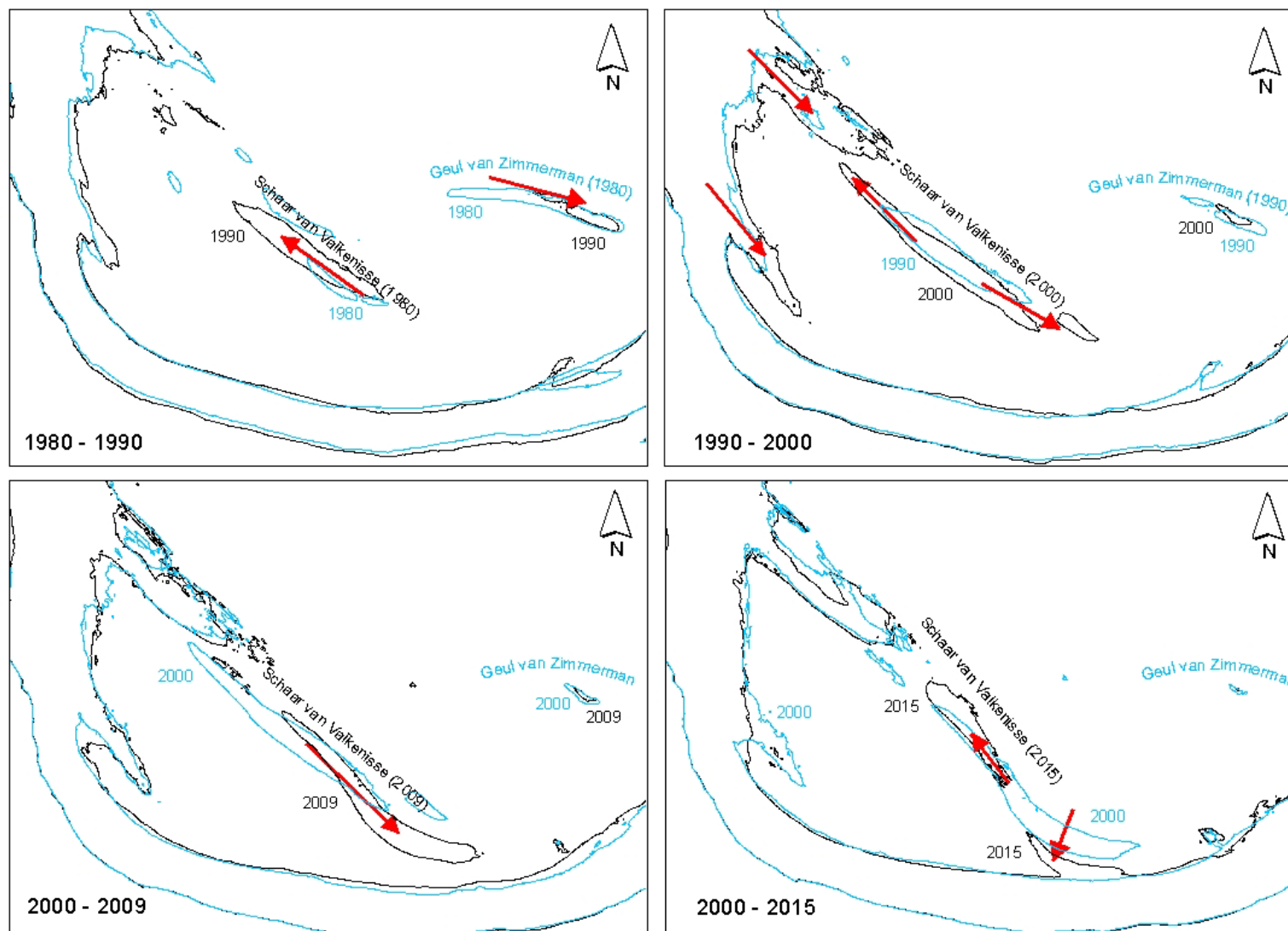
Figuur 31 – Dieptecontouren voor macrocel 5: 1980 (stippenlijn) en 2016 (volle lijn)



Figuur 32 – Dieptecontouren voor macrocel 5: 2000 (stippenlijn) en 2016 (volle lijn)



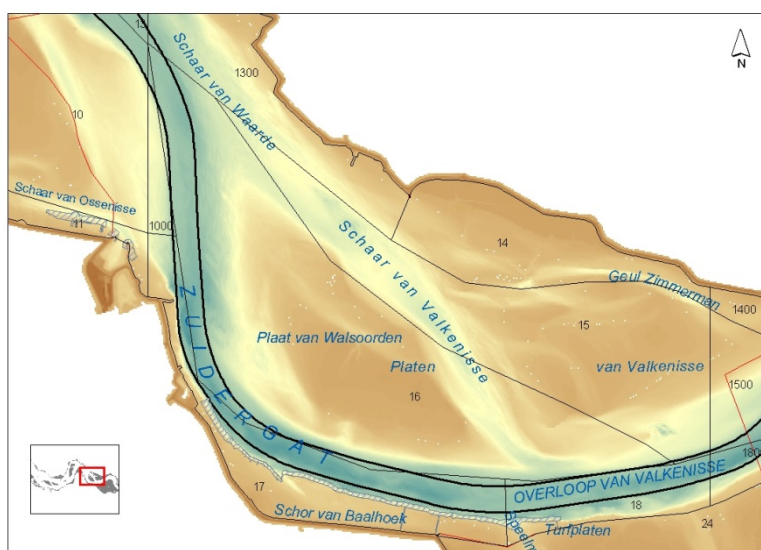
Figuur 33 – Detail van de morfologische ontwikkeling van de geulen op basis -10 m NAP contour in macrocel 5



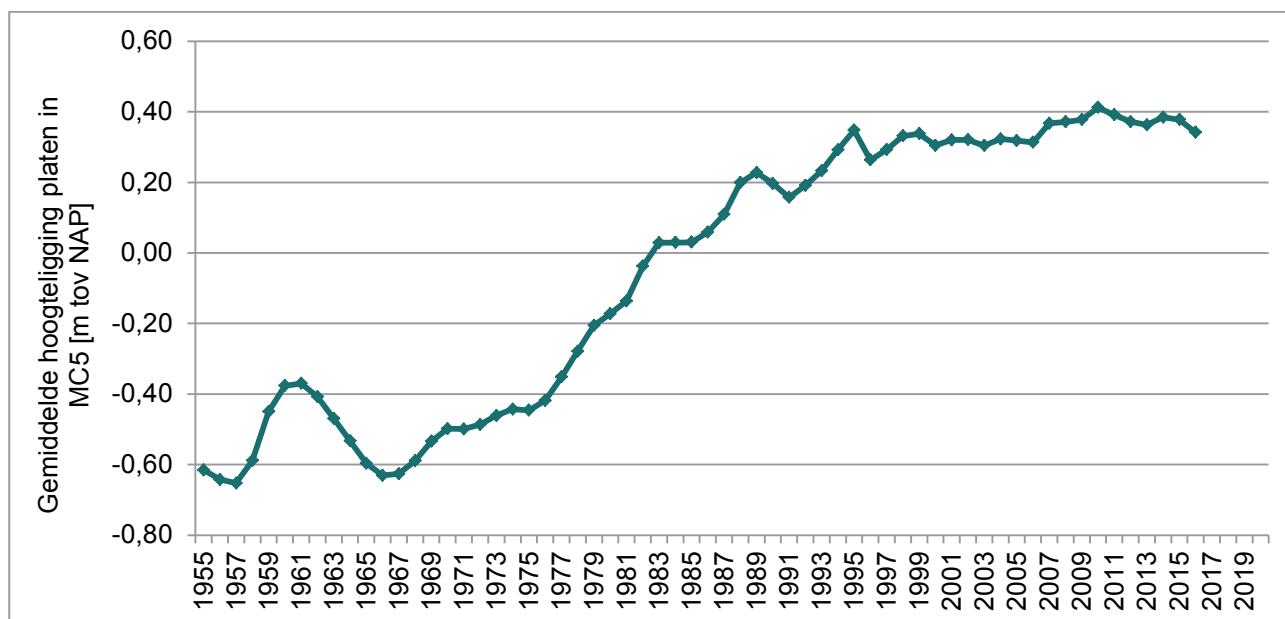
6.1.2 Plaatcomplex van Valkenisse

Het areaal aan platen in macrocel 5 wordt berekend op basis van de rekenvakken 15, 16 en 1500 uit de plaatbalans van Rijkswaterstaat (Figuur 34). Het volume en oppervlak wordt in deze vakken berekend t.o.v. het referentievlak -200 cm NAP. In Bijlage B – Ontwikkelingen Plaatcomplex van Valkenisse zijn deze reeksen weergegeven. Uit het volume en het oppervlak is eenvoudig de hoogteontwikkeling te bepalen, deze is weergegeven in Figuur 35. In deze figuur is te zien dat het totale platencomplex in de periode 1965 – 2010 aan het ophogen was, met de sterkste ophoging in de periode 1965 - 1995. Vanaf 2010 is de plaathoogte aan het afnemen. Dit wordt veroorzaakt door de afname van het plaatvolume terwijl het oppervlak na 2010 licht is toegenomen.

Figuur 34 – Afbakening vakken plaatbalans macrocel 5



Figuur 35 – Gemiddelde hoogte-ontwikkeling voor Plaat van Valkenisse en Plaat van Walsoorden



Op de Plaat van Walsoorden liggen de RTK-raaien HOP_2555, HOP_2560 en HOP_2590 (Figuur 36). De laatste is opgeheven in 2016. Op de Plaat van Valkenisse ligt de RTK-raai HOP_2670. Een weergave van de gemeten profielen is opgenomen in Bijlage C – RTK-raaien.

Figuur 36 – Ligging RTK-raaien macrocel 5



HOP_2555

Figuur 48 geeft de ontwikkeling in de tijd weer van het RTK-profiel. Vanaf 2014 is sedimentatie zichtbaar in het diepe deel van het profiel (onder de 0 m NAP). De hoogte tot waar de sedimentatie plaatsvindt neemt toe met de jaren en heeft in 2016 een hoogte bereikt van 0,5 m NAP. Deze verandering is toe te schrijven aan de vloed-gedomineerde migratie van het gestorte sediment. Hoger op de plaat verandert er weinig.

HOP_2560

Figuur 49 geeft de ontwikkeling in de tijd weer van dit RTK-profiel. De zuidelijke oever van de plaat (-400 m tot -200 m) erodeert sinds 2000. In juli 2014 vond langs deze rand een grote plaatval plaats. De plaat zelf hoogt geleidelijk op in het hoogste gedeelte. De secundaire vloedschaar (rond ca. 1000 m) verplaatst langzaam zuidwaarts en is aan het verondiepen. De noordelijke zandtong bouwt uit naar het noorden.

HOP_2590

Figuur 50 geeft de ontwikkeling in de tijd weer van het RTK-profiel. In dit profiel is de erosie van de zuidoostelijke plaatpunt door het westwaarts bewegen van de Schaar van Valkenisse duidelijk zichtbaar. Tot 2013 was er enkel sprake van het opschuiven van de plaatrand, vanaf 2014 is de erosie doorgedrongen tot in het profiel. De raai is opgeheven per 2016.

HOP_2670

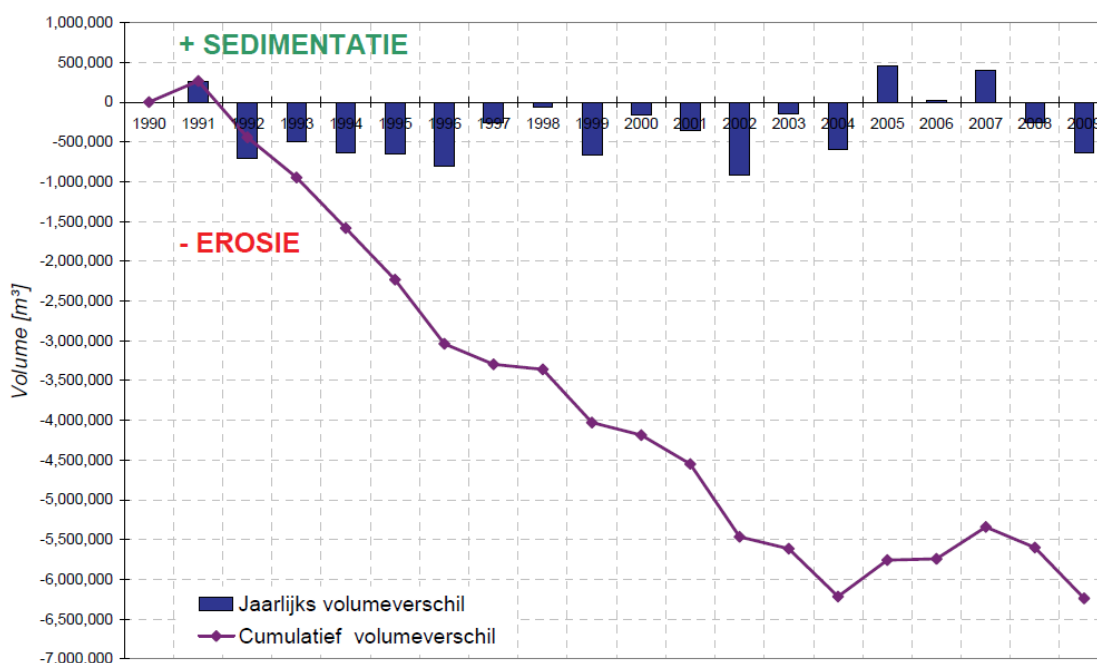
Figuur 51 geeft de ontwikkeling in de tijd weer van dit RTK-profiel. T.o.v. 2000 is het hoge deel van de Plaat van Valkenisse opgehoogd, al lijkt het er op dat na 2013 de hoogte aan het afnemen is. Dit is zeker het geval voor de rand tegen de Geul Zimmerman die zuidwaarts beweegt. Verder is de geul aan de zuidelijke kant van de plaat aan het verondiepen.

6.1.3 Plaatpunt Plaat van Walsoorden

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.

Voor de Plaat van Walsoorden (Figuur 37) vond er over de volledige periode een sterke erosie van de plaatpunt plaats. Uitzondering hierop is het noordelijke deel van het gebied waar, door de uitvoering van twee in situ stortproeven, sedimentatie is opgetreden. Dit manifesteert zich ook de volumeverandering van het volledige gebied, met een toename in het zandvolume tussen 2004 en 2007.

Figuur 37 – Volumeveranderingen nabij de Plaat van Walsoorden



6.1.4 Drempel van Hansweert en Plaat van Ossensisse

In Bijlage D – Diepte-ontwikkeling bathymetrische profiel is het profiel PWA.0001 opgenomen (Figuur 52). Dit profiel ligt over Drempel van Hansweert en geeft de hoogteontwikkeling weer op deze raai. Zoals uit de figuur is af te lezen, zijn de verandering groot. De noordoostelijke rand van de Plaat van Ossensisse is sterk geërodeerd. Sinds 2010 is een rug ontstaan tussen de plaat en de vaargeul.

6.1.5 Schaar van Waarde

In PWA.0003 (Figuur 54) is te zien dat gelijk met het ophogen van de plaatpunt van de Plaat van Walsoorden de Schaar van waarde is verdiept en gemigreerd in zuidwestelijke richting. De profielen PWA.0004 (Figuur 55) en PWA.0005 (Figuur 56) laten zien dat de plaatrand in noordwestelijke richting uitbouwt, terwijl de Schaar van Waarde / Schaar van Valkenisse geleidelijk verdiept.

6.1.6 Schaar van Valkenisse

In PWA.0006 (Figuur 57) is te zien dat het profiel van de geul uit 1980 volledig is verdwenen. Het noordelijke (3000 m tot rechteroever op 4500 m) deel is sterk gesedimenteerd, waarbij de schaar naar het zuidwesten is gemigreerd. Dit laatste ten koste van de Plaat van Walsoorden. Figuur 64 toont een dwarsprofiel over de connectie tussen de Schaar van Valkenisse en de Overloop van Valkenisse. Hierop is duidelijk de westwaartse migratie te zien van deze aansluiting, die tevens leidt tot de erosie van de oostelijke punt van de Plaat van Walsoorden en tot een uitbreiding van de Plaat van Valkenisse.

6.1.7 Zuidergat

Het Zuidergat en de Overloop van Valkenisse vormen de hoofdvaargeul en worden door de onderhoudsbaggerwerken op diepte en op positie gehouden. Verder is de zuidelijke rand van de hoofdvaargeul vastgelegd door de geulwandverdediging dat vanaf het Schor van Baalhoek tot voorbij het Speelmansgat in Saeftinghe loopt. Ondanks of dankzij deze min of meer vaste positionering van de geul zijn er toch diverse grote veranderingen te zien: westelijk van de hoofdvaargeul ter hoogte van de Schaar van Ossensse is een rug ontstaan. Aan de oostzijde van de geul is de plaatpunt aan het ophogen en versmallen (PWA.0003 - Figuur 54). Hetzelfde gedrag is ook te zien in het profiel PWA.0004 (Figuur 55). Hier is echter materiaal verdwenen tussen de -17 m en -12 m NAP, terwijl er een uitbouw is in de zone van -10 m tot -2 m NAP. Dit staat overigens niet in verhouding tot de hoeveelheid die in het profiel zijn verdwenen sinds 1980. Verder oostwaarts is te zien de ondiepe geul ten zuiden van de Plaat van Valkenisse na 2010 is verdwenen (PWA.0007 - Figuur 59). In PWA.0009 (Figuur 63) is verder te zien dat het slik voor Saeftinghe is opgehoogd (zone tot -7 m NAP), in de diepere zone is echter materiaal verloren gegaan.

6.1.8 Geul Zimmerman

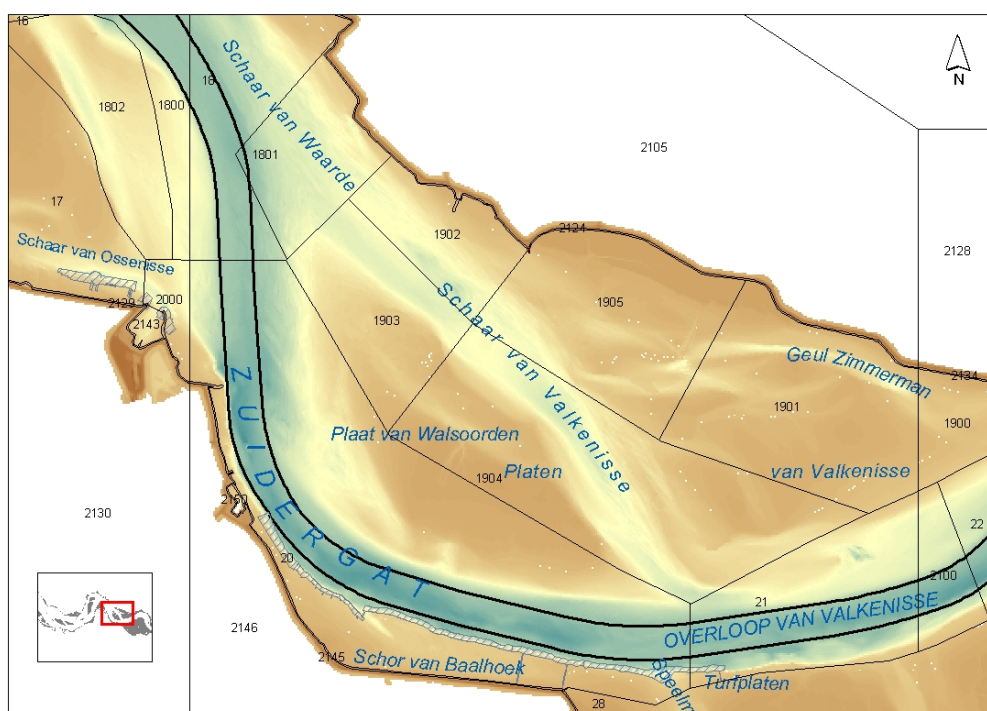
De ontwikkeling van de westelijke zijde van de Geul Zimmerman zijn af te lezen uit het profiel PWA.0006 (Figuur 57). Figuur 65 toont een langsprofiel doorheen de Geul Zimmerman. Van het originele profiel uit 1980 is nagenoeg niets meer over. Wat er nog resteerde aan diepe geul is sinds 2005 afgenomen, tot een diepte van ca. -5 m NAP in 2016.

Om te onderzoeken of de aanleg van de twee strekdammen bij Waarde een effect heeft gehad op het profiel, is het profiel over de periode 2002 t/m 2007 bekeken voor de profielen over de Geul van Zimmerman (Figuur 58, Figuur 60, Figuur 62). Het profiel PWA.0006 dat iets oostelijk van de strekdammen ligt, laat een duidelijke verandering zien na 2003 in de Geul Zimmerman. Na 2003 is de bestaande geul verdiept en is onder de noordelijke over een tweede geul ontstaan. In het profiel PWA.0007 is te zien dat meer oostelijk de geul noordelijk migreert en verondiept. Dit effect is ook na 2003 ingezet, het afvlakken van de rug zuidelijk van de geul is pas in 2006 gestart. Er is dus wel een effect te zien van de aanleg van de strekdammen in het profiel van de Geul Zimmerman, maar die is beperkt in vergelijking met de grote veranderingen die in de jaren 1980 hebben plaatsgevonden.

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 5. Figuur 38 geeft de exacte polygonen weer van de verschillende geulen.

Figuur 38 – Afbakening geulen macrocel 5



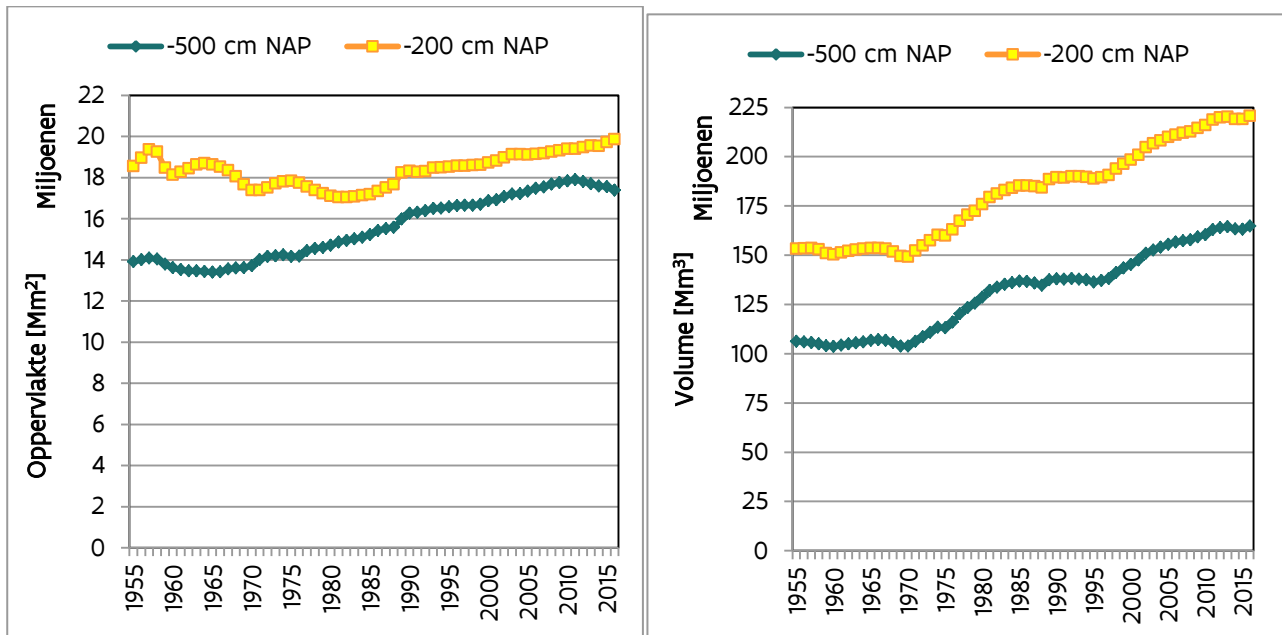
6.2.1 Hoofdgeul

De hoofdgeul (ebgeul) in macrocel 5 bestaat uit de rekenvakken 18, 20, 21, 1802, 2000 en 21000. In Figuur 39 is te zien dat het wateroppervlak sinds 1979 voor beide referentievlakken toeneemt. Na 2010 is het wateroppervlakte onder de -500 cm NAP aan het afnemen. Het watervolume neemt sinds 1971 toe voor beide referentievlakken. De effecten van de verruiming in de vorige eeuw zijn in het watervolume ten opzichte van -500 cm NAP duidelijk terug te zien.

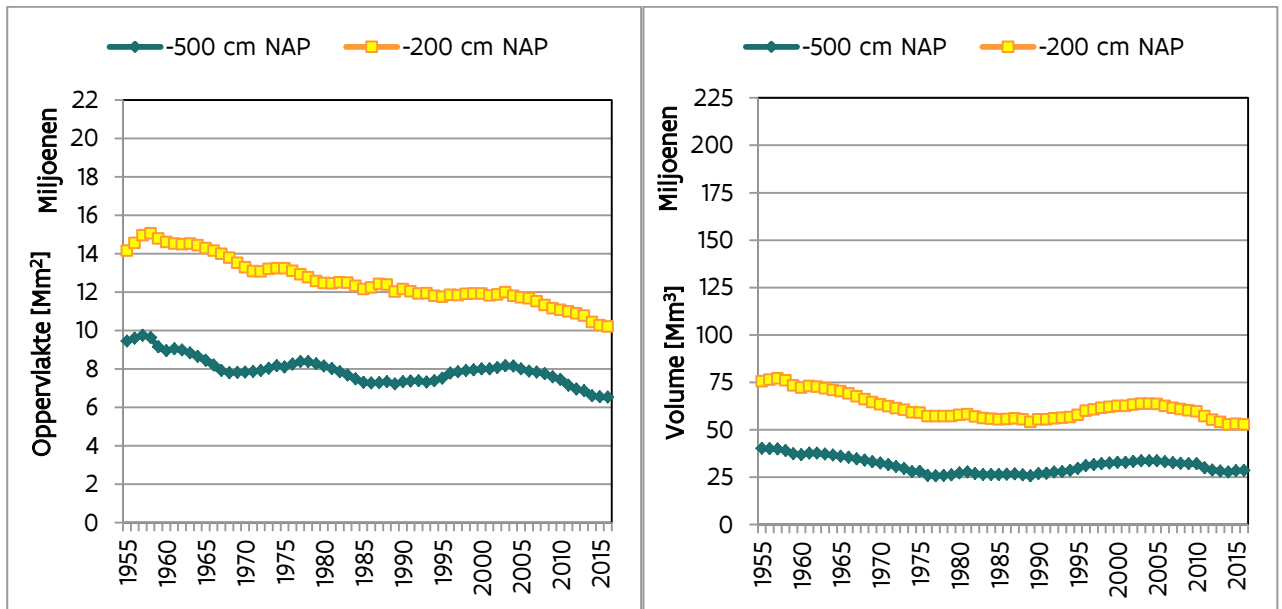
6.2.2 Nevengeul

De nevengeul (vloedgeul) in macrocel 5 bestaat uit de rekenvakken 1801 en 1900 t/m 1905. In Figuur 40 is te zien dat het oppervlak sinds 1959 voor beide referentievlakken afneemt. Het wateroppervlak is in de periode 1959 tot en met 1999 afgenomen, daarna echter tijdelijk toegenomen tot 2004. De laatste twee jaren is het watervolume voor beide referentievlakken nagenoeg constant.

Figuur 39 – Ontwikkeling van geul-oppervlakte (links) en geul-volume (rechts) in de hoofdgeul van macrocel 5



Figuur 40 – Ontwikkeling van geul-oppervlakte (links) en geul-volume (rechts) in de nevengeul van macrocel 5



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; Y 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 (Y Plancke, Sas *et al.*, 2008) een inschatting gemaakt van de te verwachte toename in laagdynamisch areaal nabij de verschillende plaatranden. Deze inschatting was noodzakelijk om een update van de passende beoordeling uit te voeren en gebeurde op een gelijkaardige manier als de oorspronkelijke passende beoordeling. 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 een uitgebreide interpretatie gemaakt van de modelresultaten en is 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 op basis van numerieke modelsimulaties.

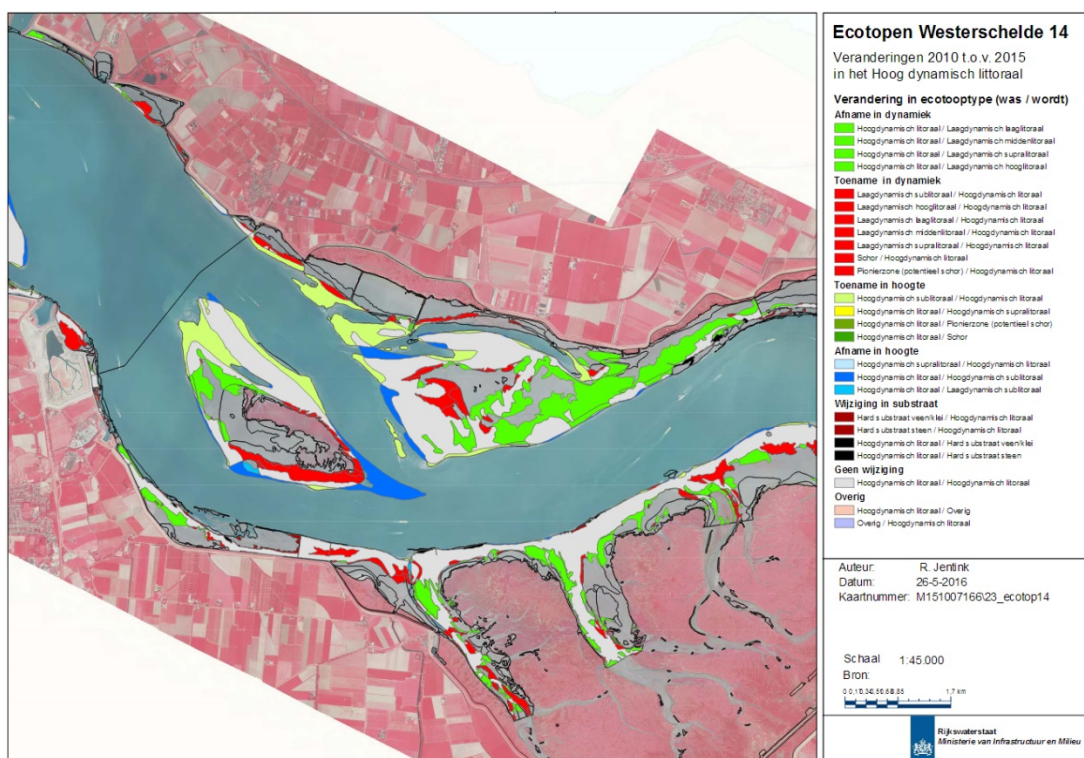
De resultaten worden elke 2 jaar gerapporteerd in de voortgangsrapporten. Het meest recente voortgangsrapport bestrijkt de periode 2014-2015 (IMDC, 2017) en geeft voor de Plaat van Walsoorden een lichte toename voor het laagdynamisch sublitoraal, en een toename van bijna 30 ha voor het laagdynamisch litoraal, dit binnen de vooraf afgebakende invloedsgebieden (Tabel 7).

In Figuur 41 wordt de verandering weergegeven van de verschillende ecotopen (bron: Rijkswaterstaat, 2016). Hierop is duidelijk dat de toename nabij de Plaat van Walsoorden toe te schrijven is aan een omzetting van hoogdynamisch gebied langs de laagwaterlijn, en dit zowel in het sublitorale als het litorale.

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

Locatie	Litoraal [ha]	Sublitoraal (ondiep) [ha]
Plaat van Walsoorden	+29	+6

Figuur 41 – Verandering in ecotopen rond de Plaat van Walsoorden

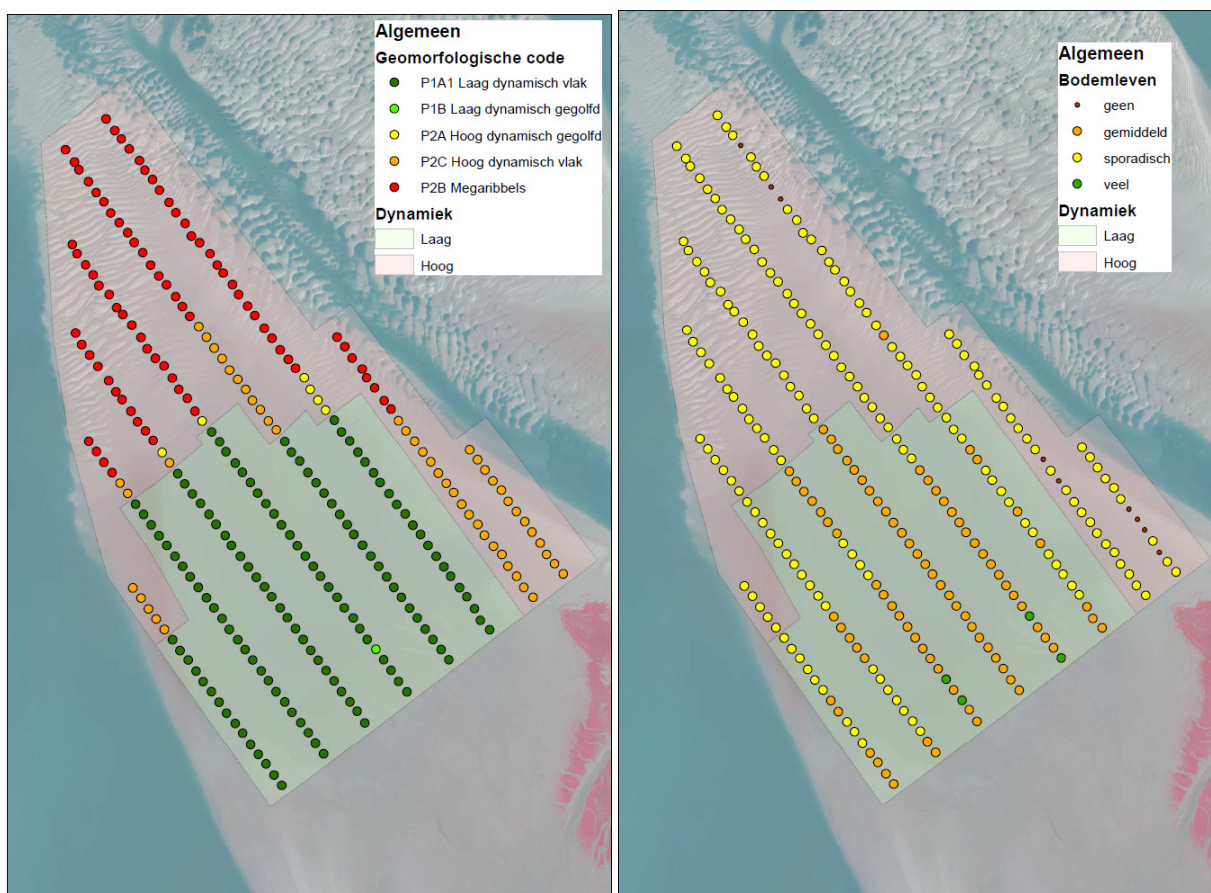


7.2.2 Kwalitatieve ecologische bemonstering

Sinds 2015 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, 2015).

Figuur 42 geeft het ruimtelijke beeld ter hoogte van de monsternamepunten inzake de indeling volgens de ecotopen, alsook het voorkomen van bodemdieren. Hieruit blijkt dat ter hoogte van het laagst gelegen deel van de punt van de Plaat van Walsoorden slechts sporadisch bodemdieren aanwezig zijn, terwijl hogerop meer bodemdieren teruggevonden werden.

Figuur 42 – Indeling volgens ecotopen (links) en voorkomen bodemleven (rechts) volgens kwalitatieve bodembemonstering PWA



8 Voorstel stortstrategie

In macrocel 5 zijn 3 stortzones gelegen. Deze zones zijn van groot belang aangezien ze gelegen zijn in de onmiddellijke omgeving van de belangrijkste baggerzones in de Westerschelde. Door deze stortzones optimaal te gebruiken wordt niet enkel de vaarafstand beperkt, maar wordt de sedimenthuishouding in de Westerschelde minimaal verstoord. In de afgelopen jaren zijn 2 van de 3 stortzones (PWA en SN51) niet naar volle capaciteit gebruikt geweest. In volgende paragrafen wordt er eerst ingegaan op de probleembeschrijving en vervolgens wordt er een voorstel van stortstrategie gedaan op basis van bovenstaande analyse.

8.1 Probleembeschrijving

In macrocel 5 werden 2 van de 3 stortzones in de afgelopen jaren niet of minder gebruikt. Voor de nevengeul (SN51) lag het overschrijden van het criterium (onderschrijden van de drempelwaarde) voor het watervolume alhier aan de basis van het stopzetten van de stortingen. De vraag rijst in welke mate de stortingen hier toe bijdrage en welke stortingen in de toekomst wenselijk zijn.

Voor de stortzone langs de Plaat van Walsoorden (PWA) lag de bezorgdheid over het sneller ophogen van de plaat(punt) aan de grondslag van een eventuele beperking van de stortintensiteit op deze locatie.

8.2 Voorstel stortstrategie

8.2.1 Plaat van Walsoorden

Op basis van de ontwikkelingen in de hoogteligging ter hoogte van de Plaat van Walsoorden, werd geen versnelde ophoging vastgesteld na de aanvang van de verruiming in 2010. Ook het sedimenttransport ter hoogte van de punt van de plaat (in het verlengde van de megaduin) neemt niet significant toe (vergeleken met natuurlijke variatie). Wel is vanaf 2014 zichtbaar dat het gestorte sediment van de megaduin de plaatpunt heeft bereikt. De in 2010 aangelegde megaduin is ook gedeeltelijk verdwenen en zijn beoogde functie (creëren stroomluwe zone) is (grotendeels) verdwenen. Dit wordt bevestigd in de stroommetingen, waar na 2014 een toename van de maximale stroomsnelheden te zien is ten opzichte van de toestand net na de aanleg van de megaduin. Door het wegvallen van de luwtewerking van de megaduin, is het gevormde laagdynamische areaal op de plaatpunt weer deels verdwenen. De sedimentatie ter hoogte van de punt van plaat gaat gecombineerd met een uitbreiding van de plaat in afwaartse richting (laagste litoraal wordt hoger, sublitoraal wordt laagste litoraal). Deze bezorgdheid rond een versnelde ophoging kan dan ook weggenomen worden.

Daarnaast werd ter hoogte van de Plaat van Walsoorden een toename vastgesteld in het laagdynamische ecotoop (+ 35 ha na 5 jaar). Aangezien de natuurlijke trend ter hoogte van de punt van de plaat erosief is, zal de megaduin onderhouden moeten worden, zoniet zal het luwte-creërende effect op korte termijn verdwijnen.

Naast de criteria die in het protocol zijn opgenomen, bestaan er vanuit de ecologie nog andere voorstellen voor de inrichting van platen in de Westerschelde. In Het Zeeuwse Landschap & Delta Project Management (2016) wordt voorgesteld om de Plaat van Walsoorden doelbewust op te hogen om meer broedplaatsen te creëren voor kustbroedvogels.

Gelet op bovenstaande vaststelling, in combinatie met de ideeën die recent gepubliceerd werden in (Het Zeeuwse Landschap & Delta Project Management, 2016), wordt geadviseerd om de **stortingen** nabij de

Plaat van Walsoorden voort te zetten, conform de vergunde hoeveelheden. Hierbij verdient het de voorkeur de stortingen uit te voeren in het verlengde van de plaatpunt, om alzo de megaduin optimaal te onderhouden. Bij stortingen langs de noordelijke rand zal een deel van de specie verloren gaan richting Schaar van Waarde, bij stortingen langs de zuidrand zal een deel van de specie via het Zuidergat terug naar de drempel van Hansweert getransporteerd worden.

Voor de toekomstige stortstrategie dient onderzocht te worden in welke mate de stortingen kunnen **bijdragen** tot het **creëren** van een **grotere ecologische winst** (cfr. broedlocaties kustbroedvogels).

8.2.2 Nevengeul SN51

Het overschrijden van het criterium was een indicatie dat de stortcapaciteit van de nevengeul beperkt is. Het gestorte sediment wordt trager dan verwacht “opgeruimd”. Dit hangt eveneens samen de morfologische ontwikkelingen van de Schaar van Valkenisse. Tot voor 2014 werd ook een deel van specie “opgeruimd” door de zandwinning die hier plaatsvond. Het verdient dan ook de aanbeveling de **stortingen** in deze **nevengeul “on hold”** te houden. Bijkomend onderzoek dient uitgevoerd te worden om na te gaan of er **bepaalde deelgebieden** binnen de nevengeul **geschikt** zijn voor het storten van onderhoudsbaggerspecie, gelet op de morfologische wijzigingen en gewijzigde stroompatronen in deze nevengeul. Voor de toekomstige stortstrategie wordt geadviseerd deze stortzone te behouden, maar rekening te houden met het op te starten onderzoek.

8.2.3 Hoofdgeul SH51

De stortlocatie SH51 heeft tot op heden geen noemenswaardige problemen opgeleverd. Aandachtspunten van deze stortzone is de mogelijks verhoogde aanvoer naar de haven van Walsoorden en de drempel van Hansweert. Deze aandachtspunten hebben er niet toe geleid om de stortstrategie voor deze stortlocatie te wijzigen. Er zijn dan ook geen argumenten om dit in de nabije toekomst te wijzigen en er wordt dan ook geadviseerd om de **stortingen** op deze locatie **te laten doorgaan**, conform de vergunde hoeveelheden.

8.2.4 Overige zones

De belangrijke morfologische wijziging ter hoogte van de **ostrand** van de **Platen van Ossenisse**, in combinatie met de dwarsstroming die hier kan optreden bij sterke springtijden en de naastgelegen drempel van Hansweert, maken deze zone tot één van de belangrijkste in de Westerschelde in relatie tot het onderhouden van de vaargeul. Er wordt dan ook geadviseerd om deze zone met **speciale aandacht** op te volgen, enerzijds om het nautische knelpunt alhier te mitigeren, anderzijds de aanvoer van sediment naar de drempel trachten te reduceren.

Door de rotatie van de Schaar van Valkenisse, mondt deze schaar nu quasi haaks uit in de hoofdvaargeul. Dit is een punt van potentiële dwarsstroming (Schaar van Valkenisse – Overloop van Valkenisse). De ontwikkelingen van de geul (rotatie) in relatie tot de dwarsstroming moet worden opgevolgd.

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

Dam, G.; Blik, A.J. (2013). Using a sand–mud model to hindcast the morphology near Waarde, the Netherlands. *Proc. Inst. Civ. Eng. - Marit. Eng. Volume 166(Issue 2, June 2013):* 63–75

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 26 – Sedimentbalans ter hoogte van de Plaat van Walsoorden

Haecon. (2005). ALTERNATIEVE STORTSTRATEGIE VOOR DE WESTERSCHELDE MONITORINGSPROGRAMMA PROEFSTORTING WALSOORDEN - VERSLAG ADCP METINGEN WALSOORDEN

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.; De Mulder, T.; Mostaert, F. (2007). Alternatieve stortstrategie Westerschelde: verslag 13u meetcampagnes Walsoorden. *RPRT. WL Rapporten, 754/02B.* 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. (2017). 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. (2017). Overleg Flexibel Storten: Deelrapport 20 – Analyse van de waterbeweging, het sedimenttransport en de morfologie nabij de Hooge Platen

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. (2015). Kwalitatieve benthos opname Plaat van Walsoorden

Rijkswaterstaat. (2016). ontwikkeling ecotopen Westerschelde

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

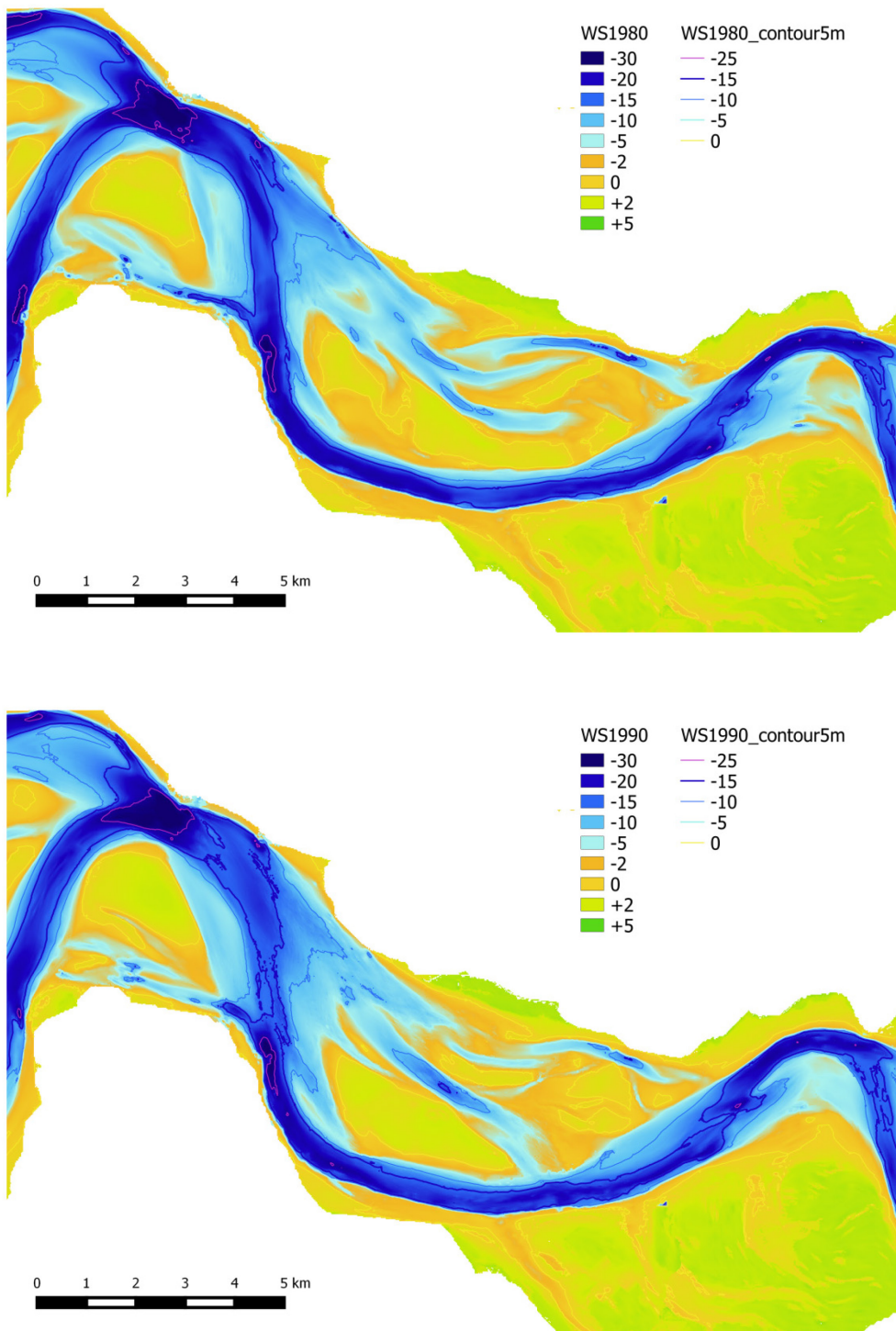
Vandenbruwaene, W.; Vos, G.; Plancke, Y.; Mostaert, F. (2012). Werkgroep O&M - Projectgroep Veiligheid en Toegankelijkheid: onderzoek naar de morfologie op meso-schaal ter hoogte van stortlocaties. *RPRT. WL Rapporten*, 791_10a. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen

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

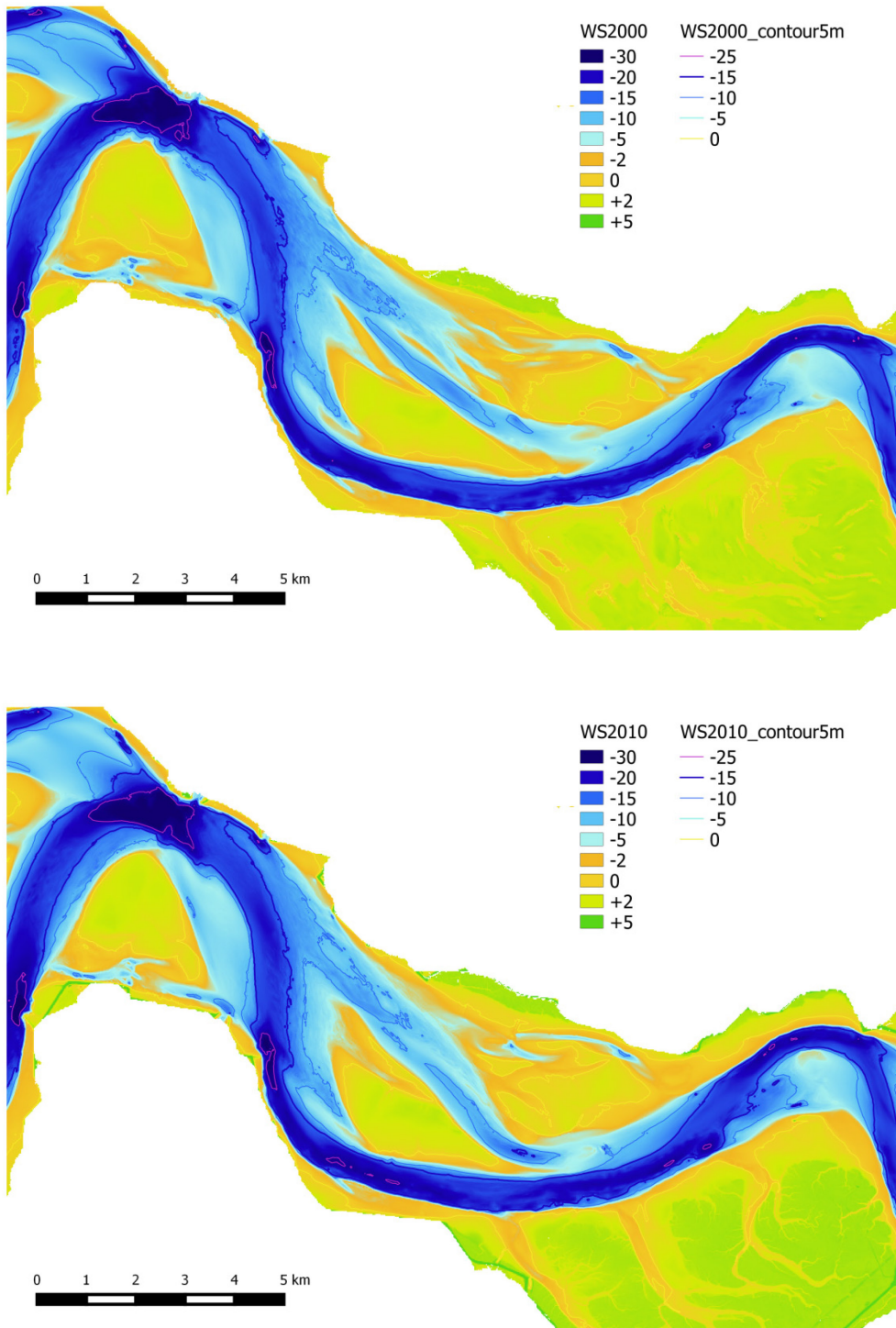
Vos, G.; Plancke, Y.; Vanlede, J.; Verwaest, T.; Mostaert, F. (2016). Overleg flexibel storten: opvolgingsrapport 12. Periode juli 2014 - januari 2015. *RPRT. WL Rapporten*, 00_031. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen

Bijlage A – Topo-bathymetrie macrocel 5

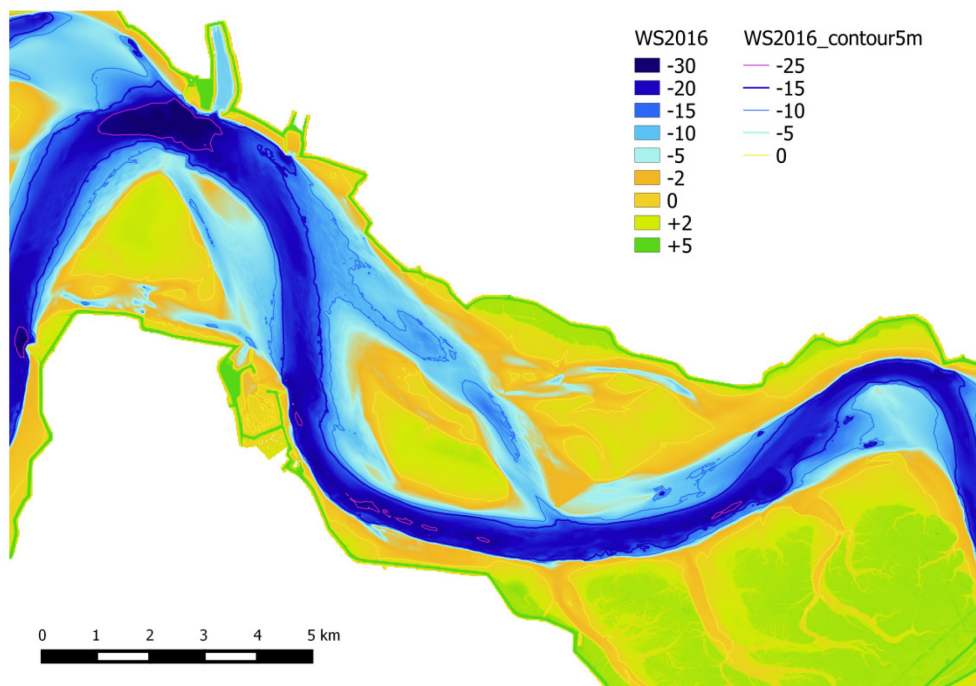
Figuur 43 – Bodemligging (in m NAP) macrocel 5 voor 1980 (boven) en 1990 (onder)



Figuur 44 – Bodemligging (in m NAP) macrocel 5 voor 2000 (boven) en 2010 (onder)

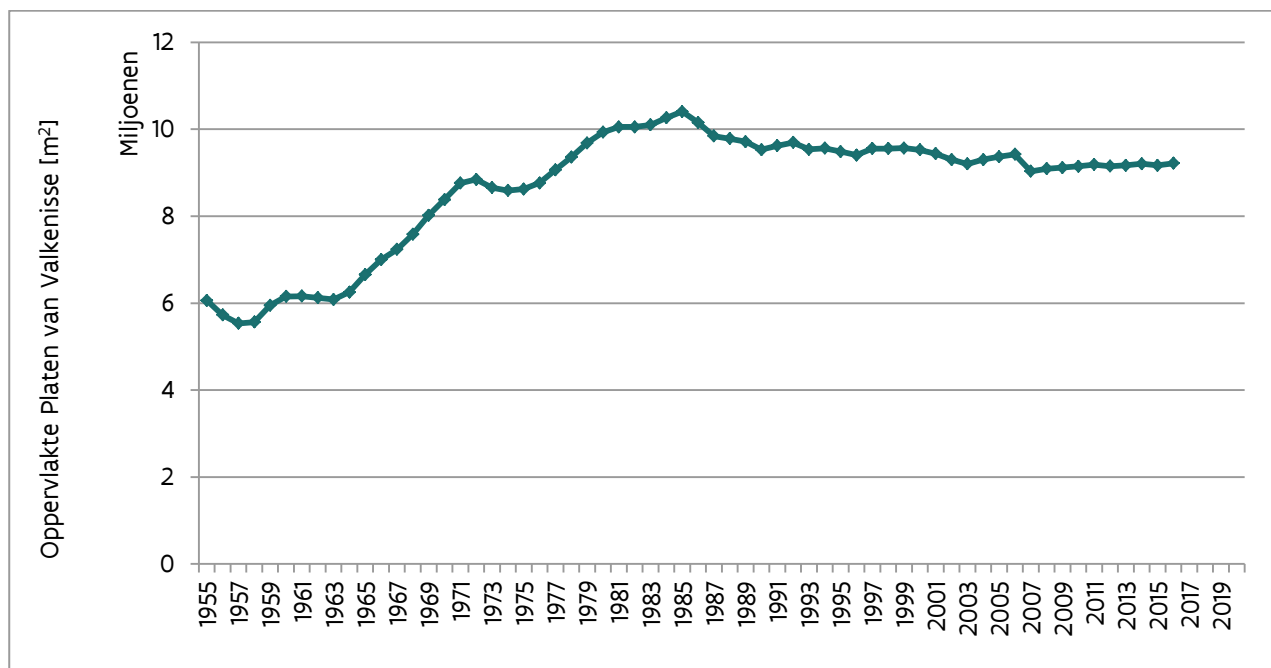


Figuur 45 – Bodemligging (in m NAP) macrocel 5 voor 2016

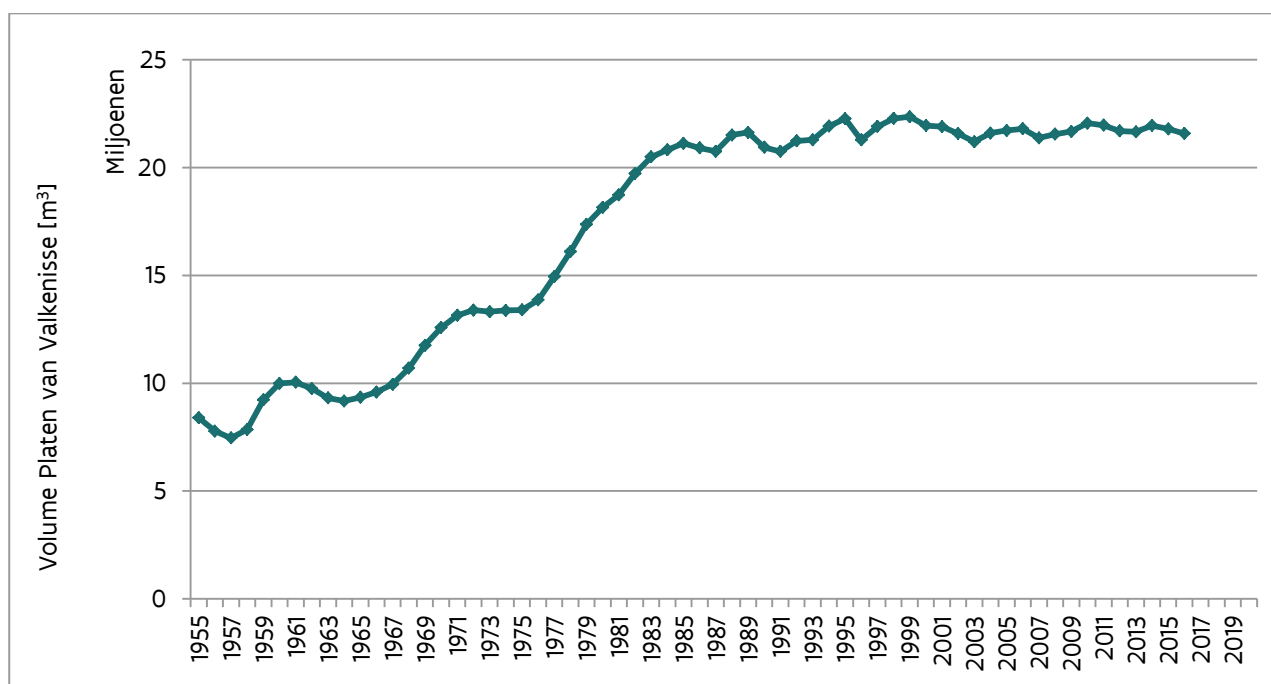


Bijlage B – Ontwikkelingen Plaatcomplex van Valkenisse

Figuur 46 – Ontwikkeling plaatoppervlakte macrocel 5

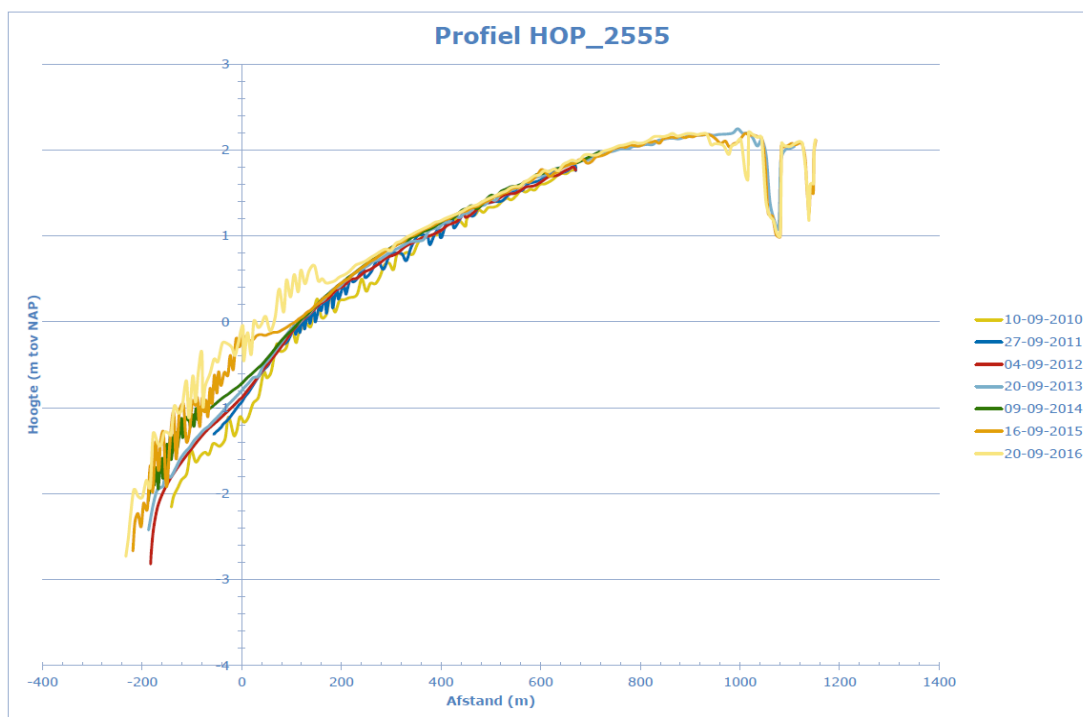


Figuur 47 – Ontwikkeling plaatvolume macrocel 5

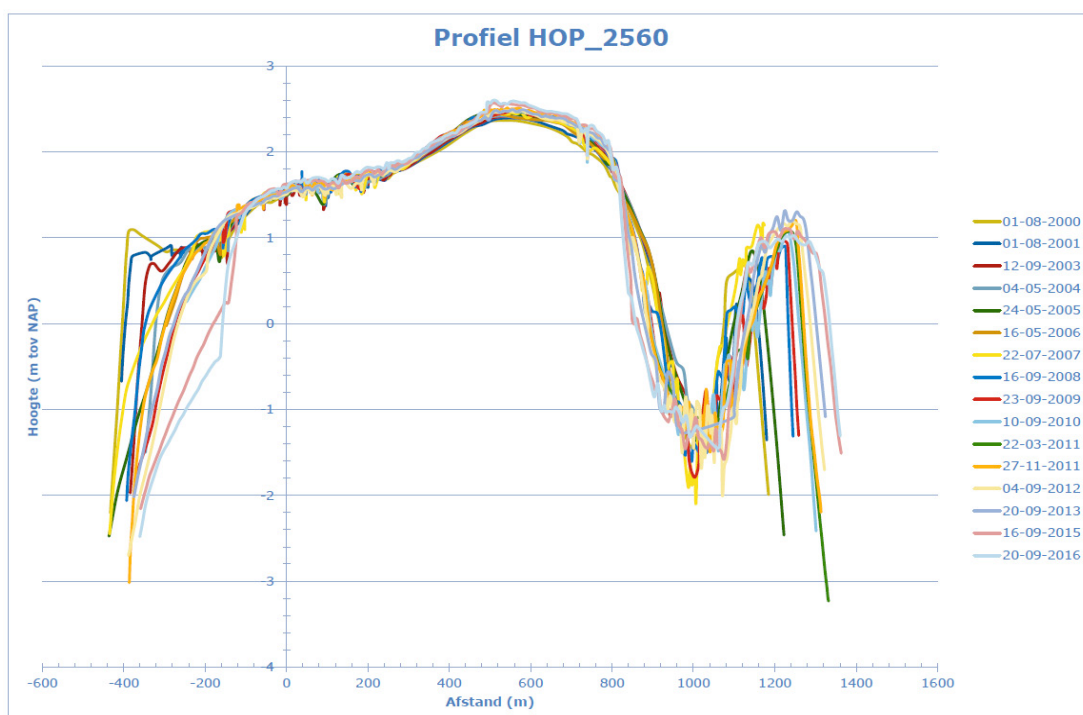


Bijlage C – RTK-raaien

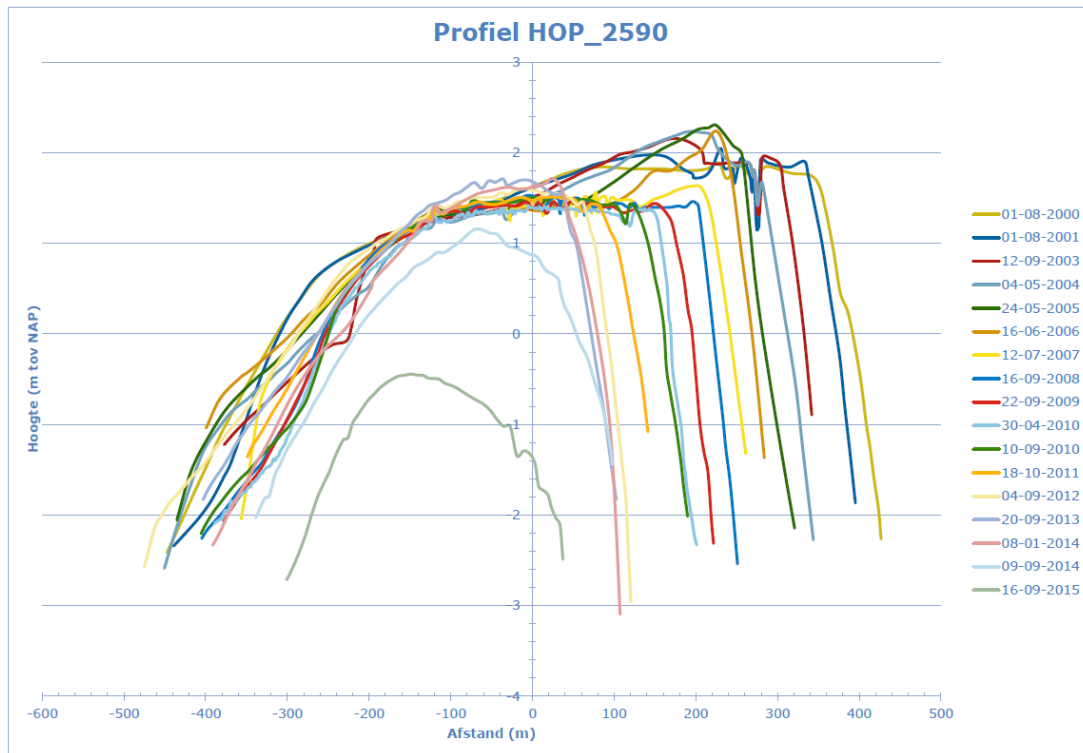
Figuur 48 – Hoogte-ontwikkeling RTK-profiel HOP_2555



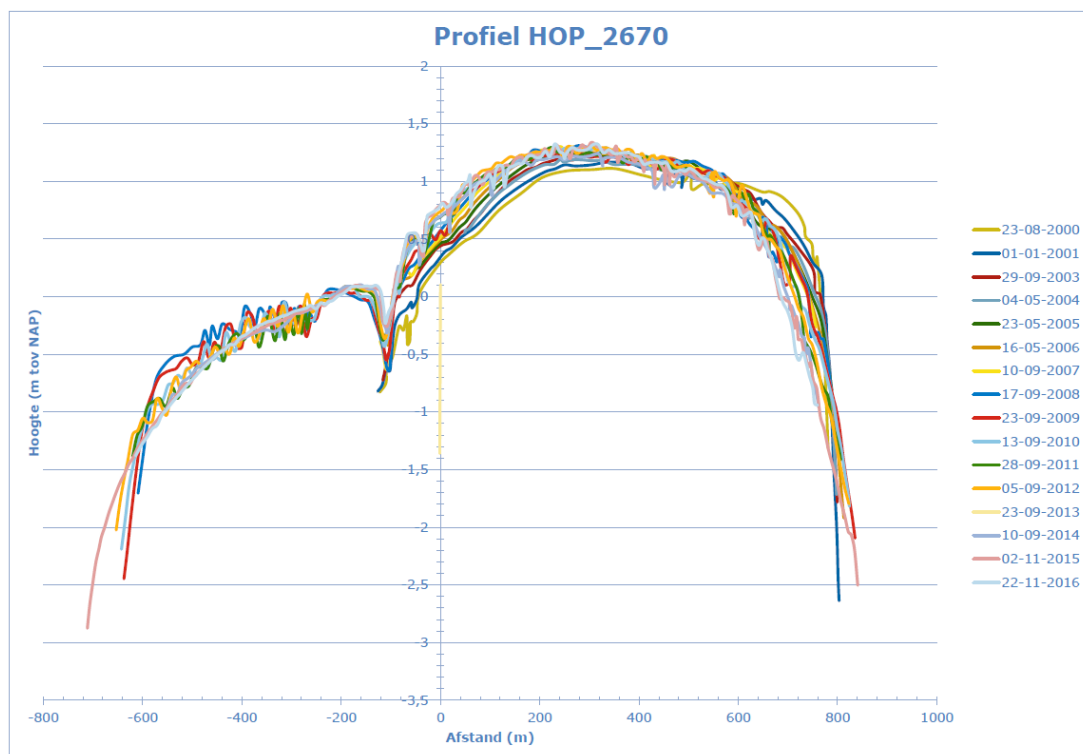
Figuur 49 – Hoogte-ontwikkeling RTK-profiel HOP_2560



Figuur 50 – Hoogte-ontwikkeling RTK-profiel HOP_2590

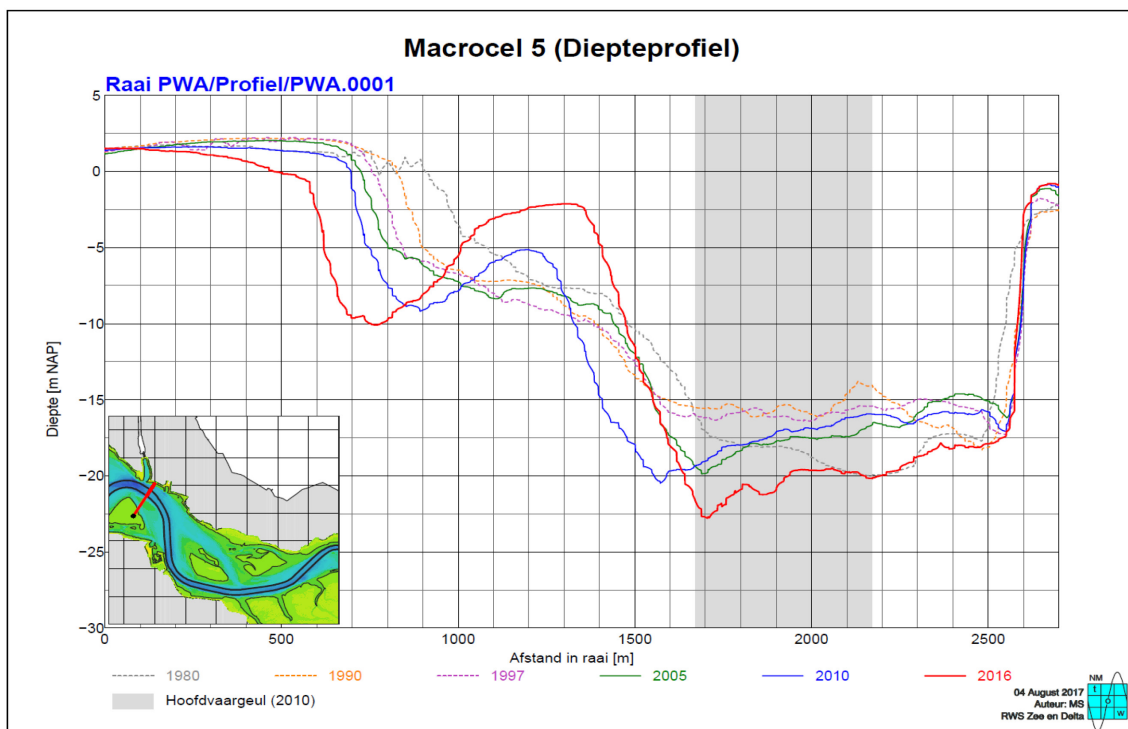


Figuur 51 – Hoogte-ontwikkeling RTK-profiel HOP_2670

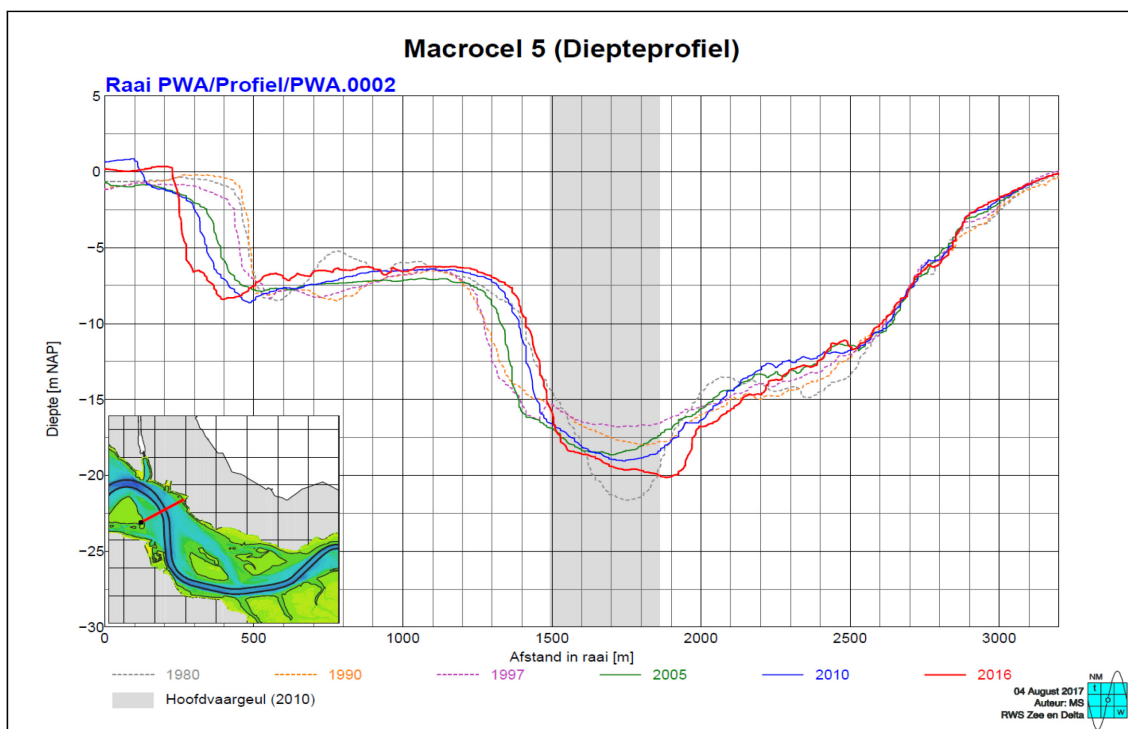


Bijlage D – Diepte-ontwikkeling bathymetrische profielen macrocel 5

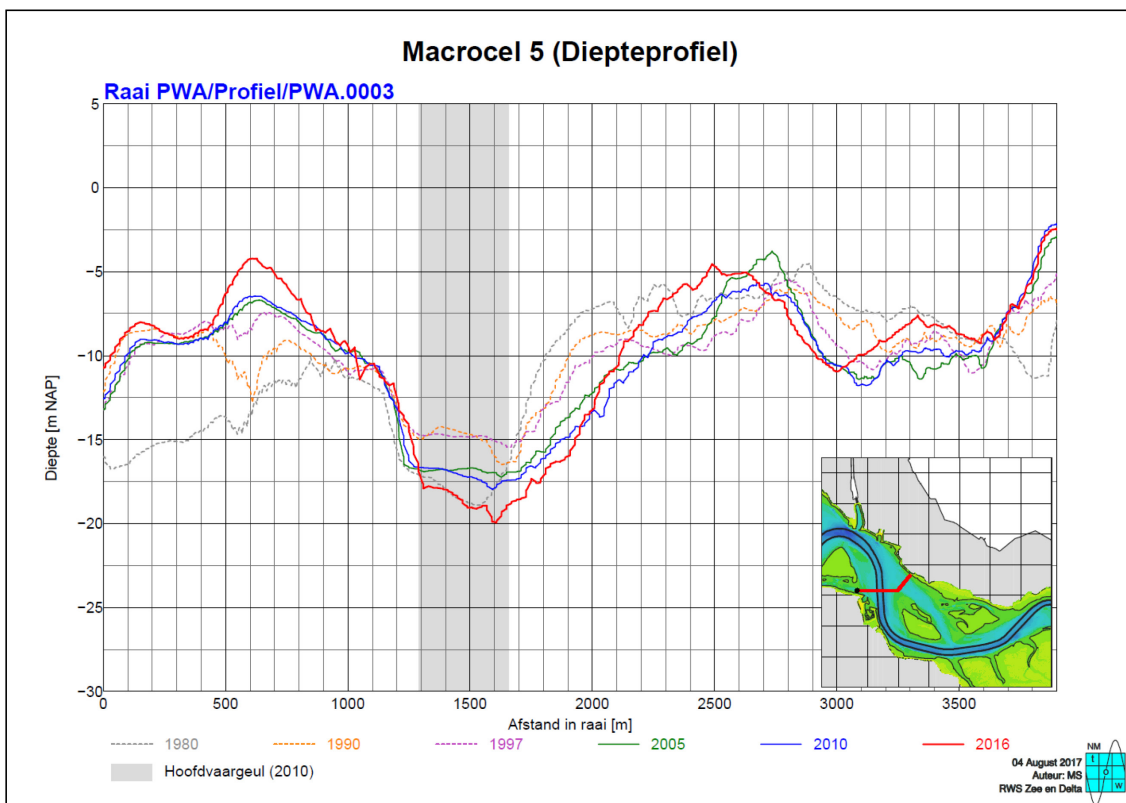
Figuur 52 – Diepte-ontwikkeling profiel PWA.0001



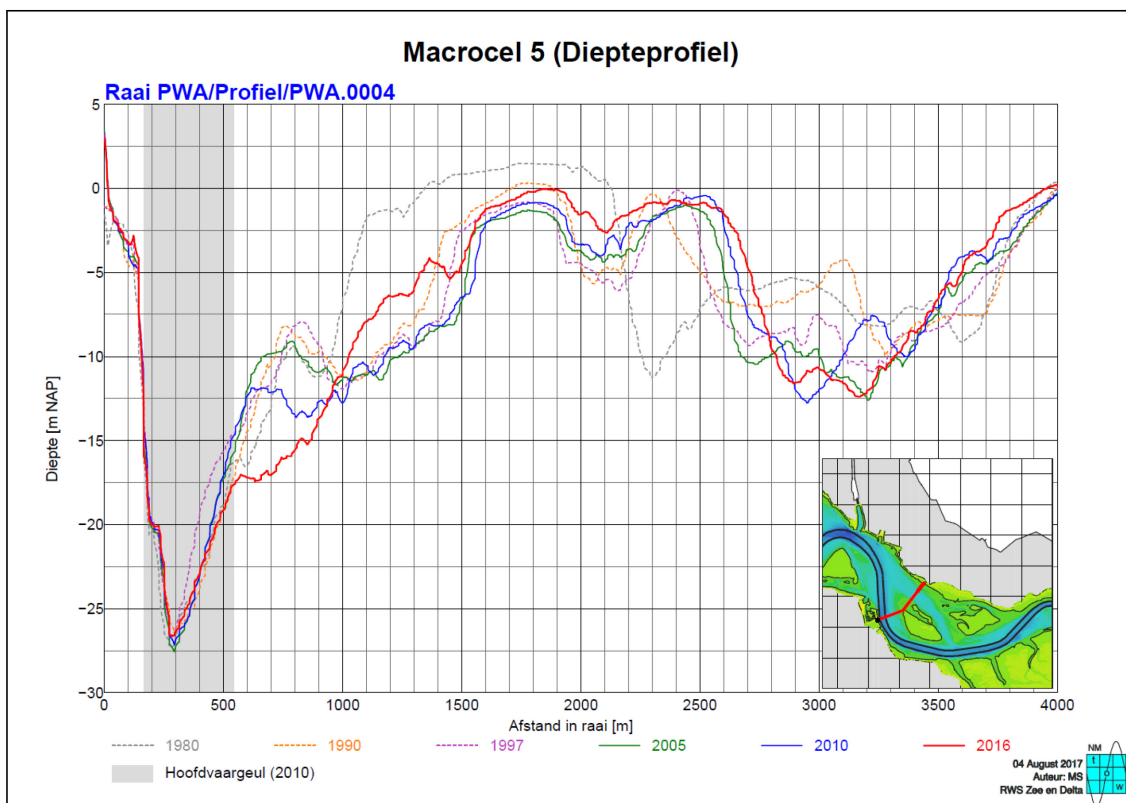
Figuur 53 – Diepte-ontwikkeling profiel PWA.0002



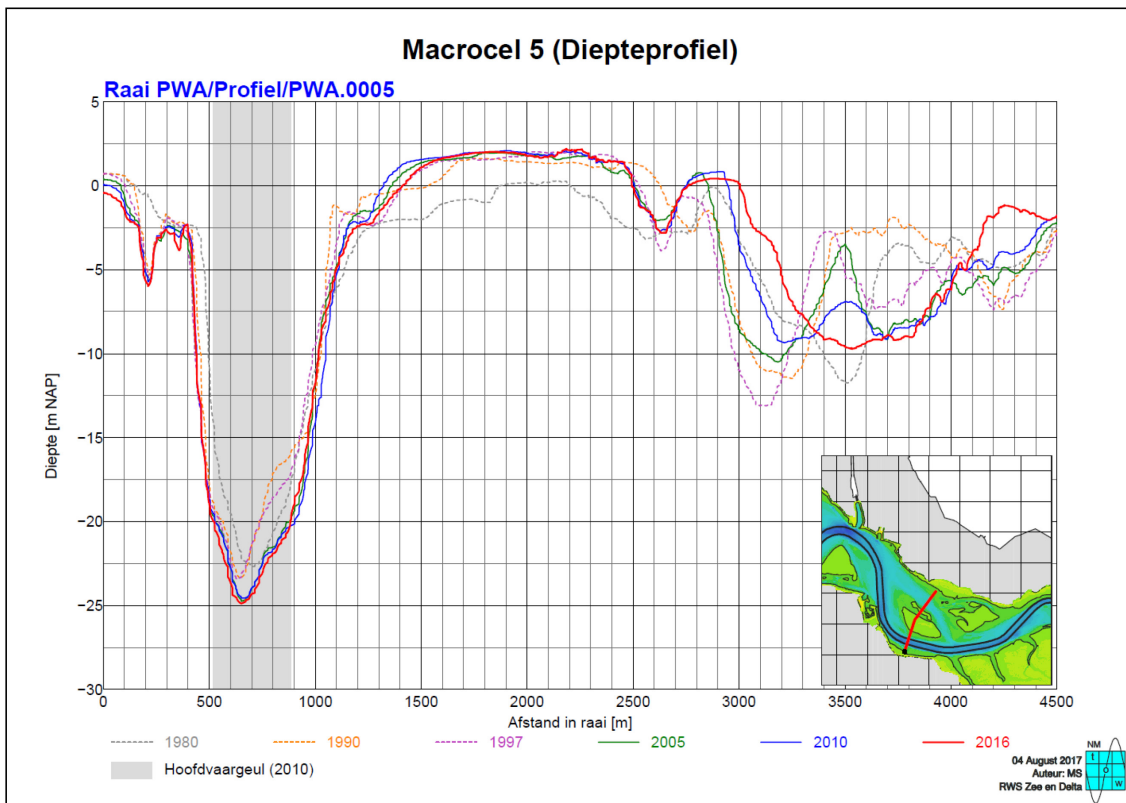
Figuur 54 – Diepte-ontwikkeling profiel PWA.0003



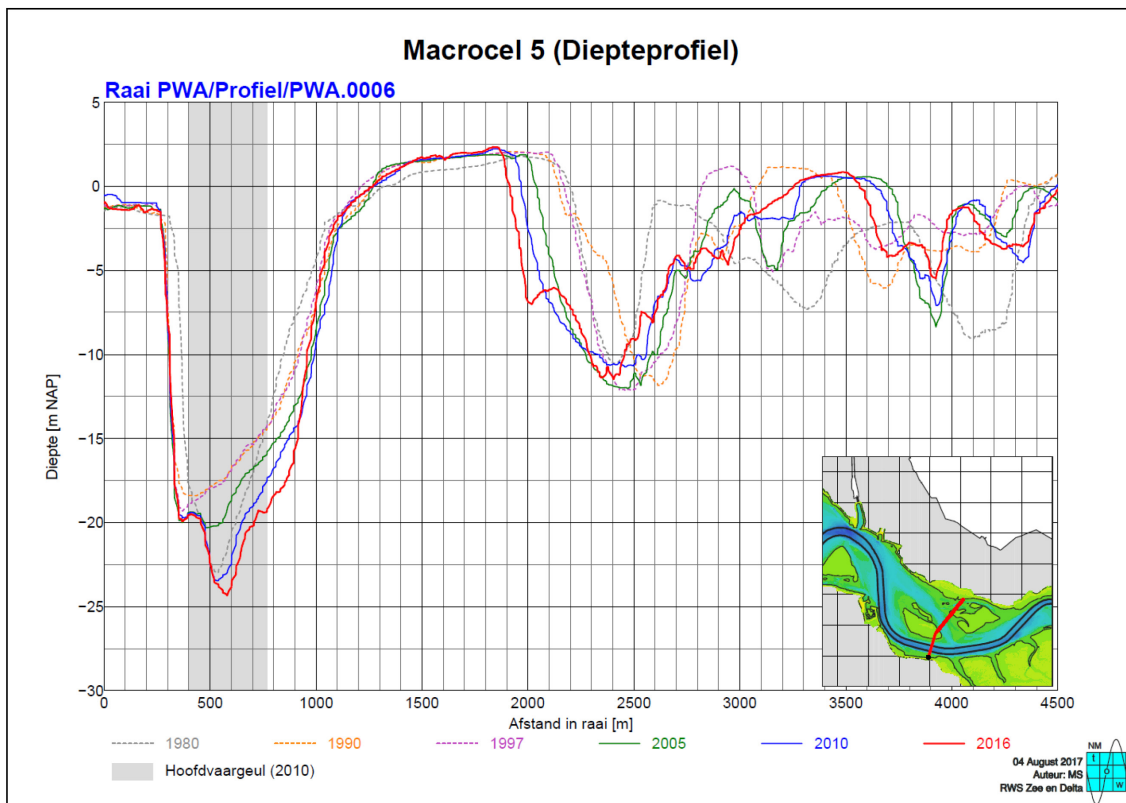
Figuur 55 – Diepte-ontwikkeling profiel PWA.0004



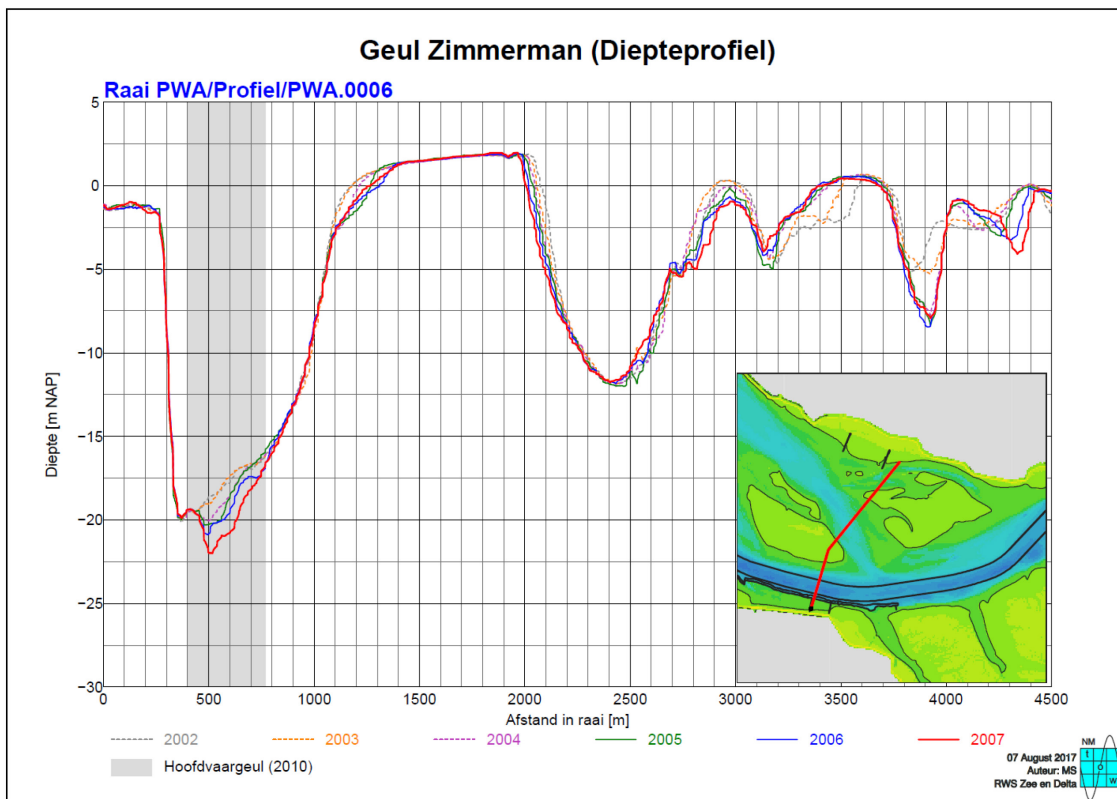
Figuur 56 – Diepte-ontwikkeling profiel PWA.0005



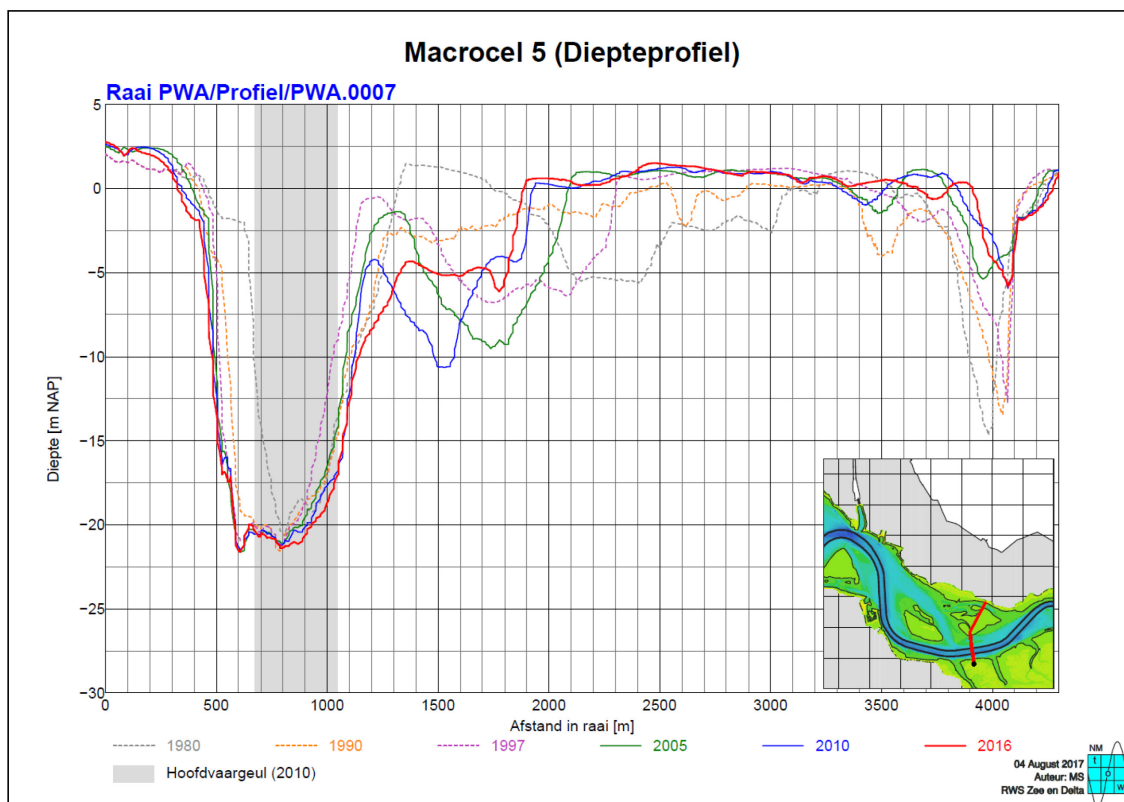
Figuur 57 – Diepte-ontwikkeling profiel PWA.0006



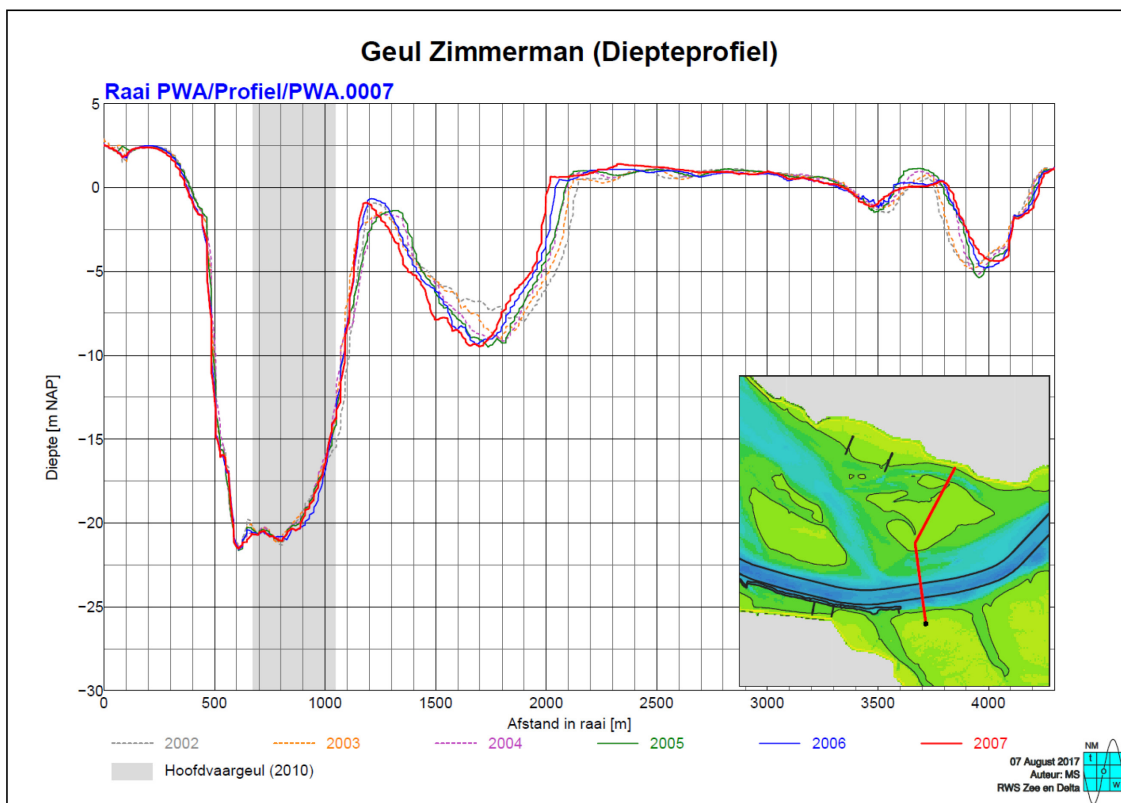
Figuur 58 – Diepte-ontwikkeling profiel PWA.0006 (detail)



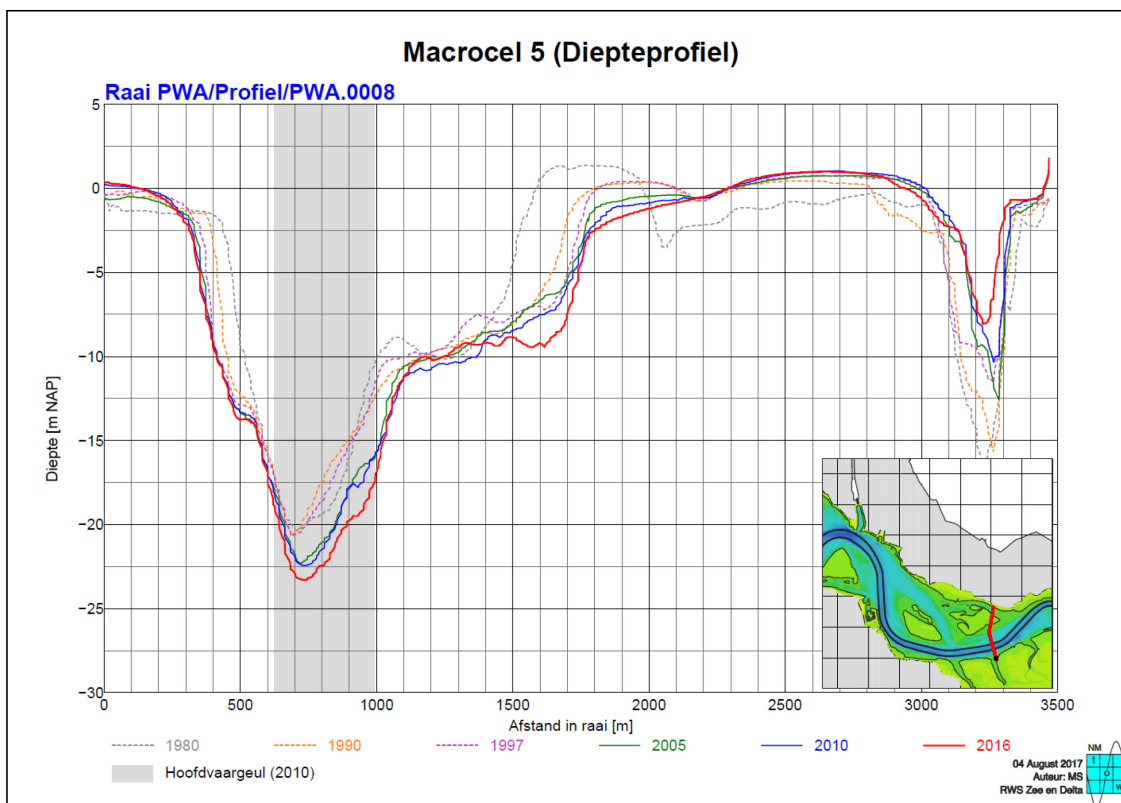
Figuur 59 – Diepte-ontwikkeling profiel PWA.0007



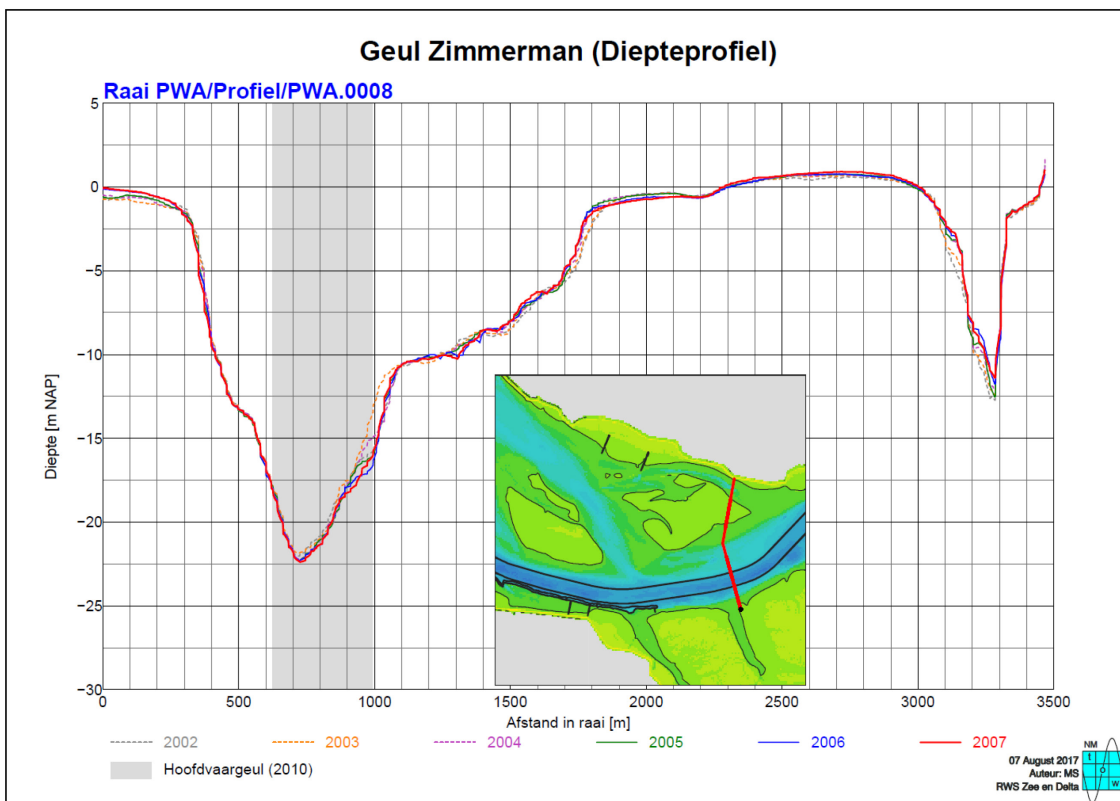
Figuur 60 – Diepte-ontwikkeling profiel PWA.0007 (detail)



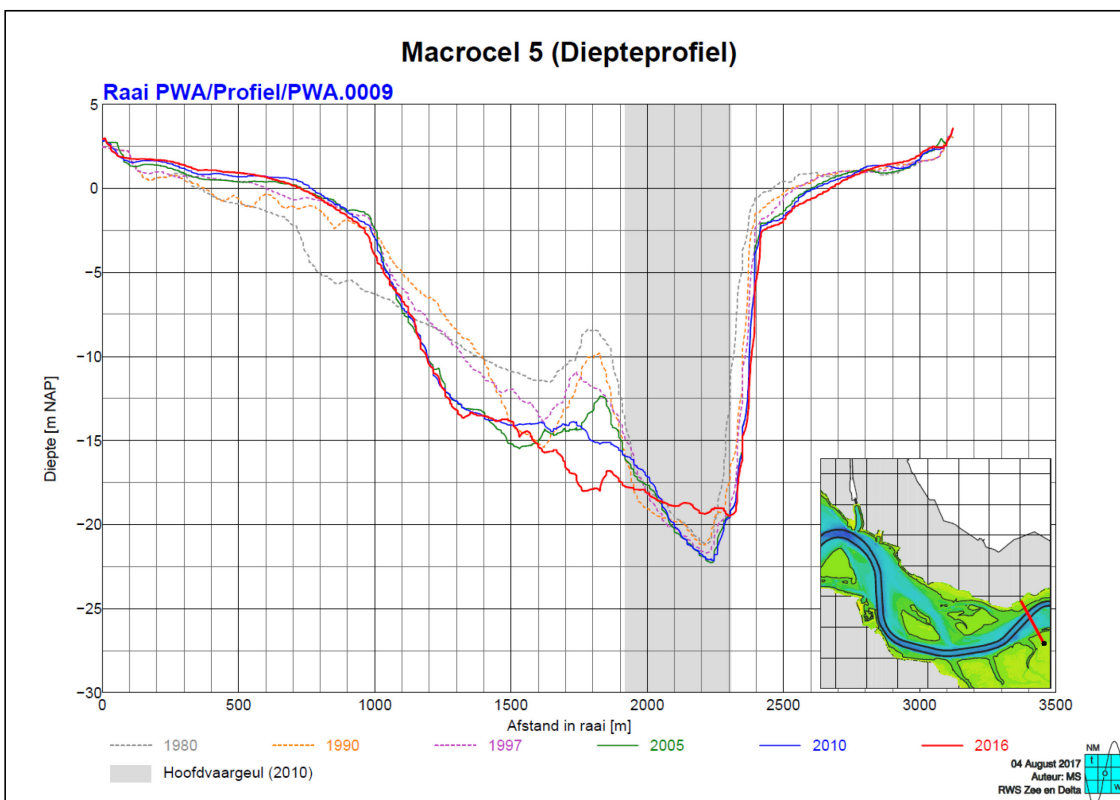
Figuur 61 – Diepte-ontwikkeling profiel PWA.0008



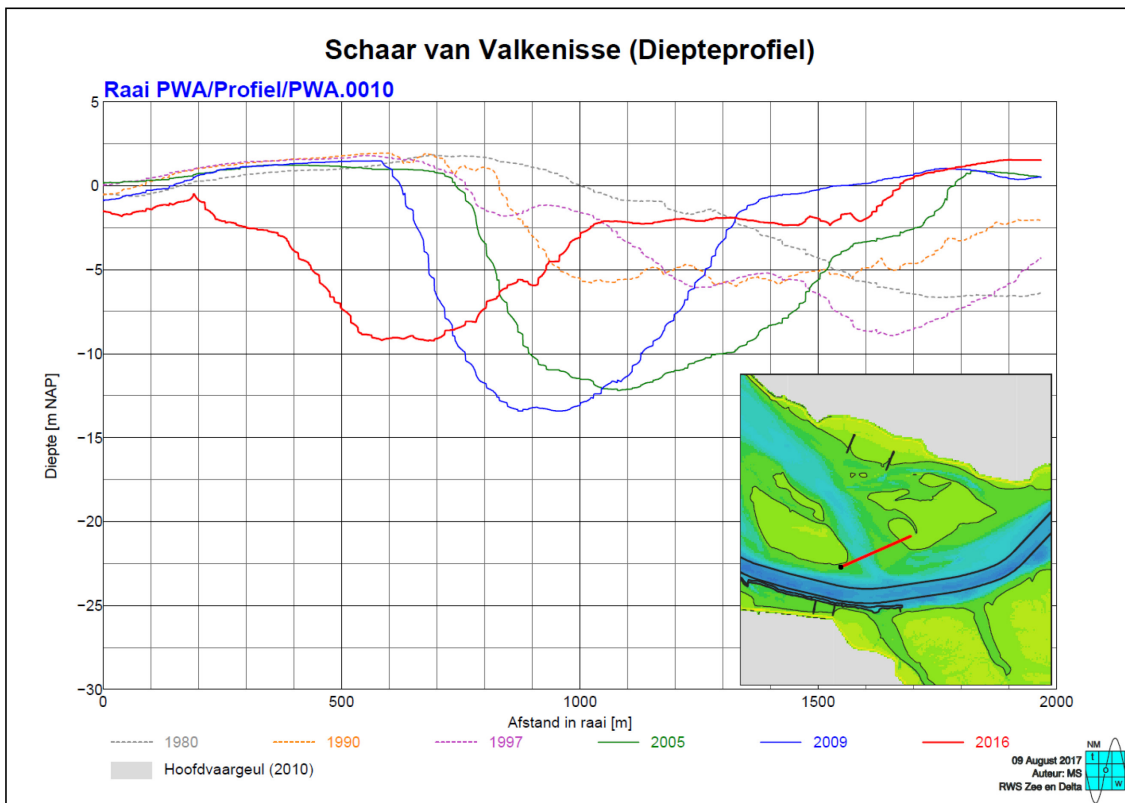
Figuur 62 – Diepte-ontwikkeling profiel PWA.0008 (detail)



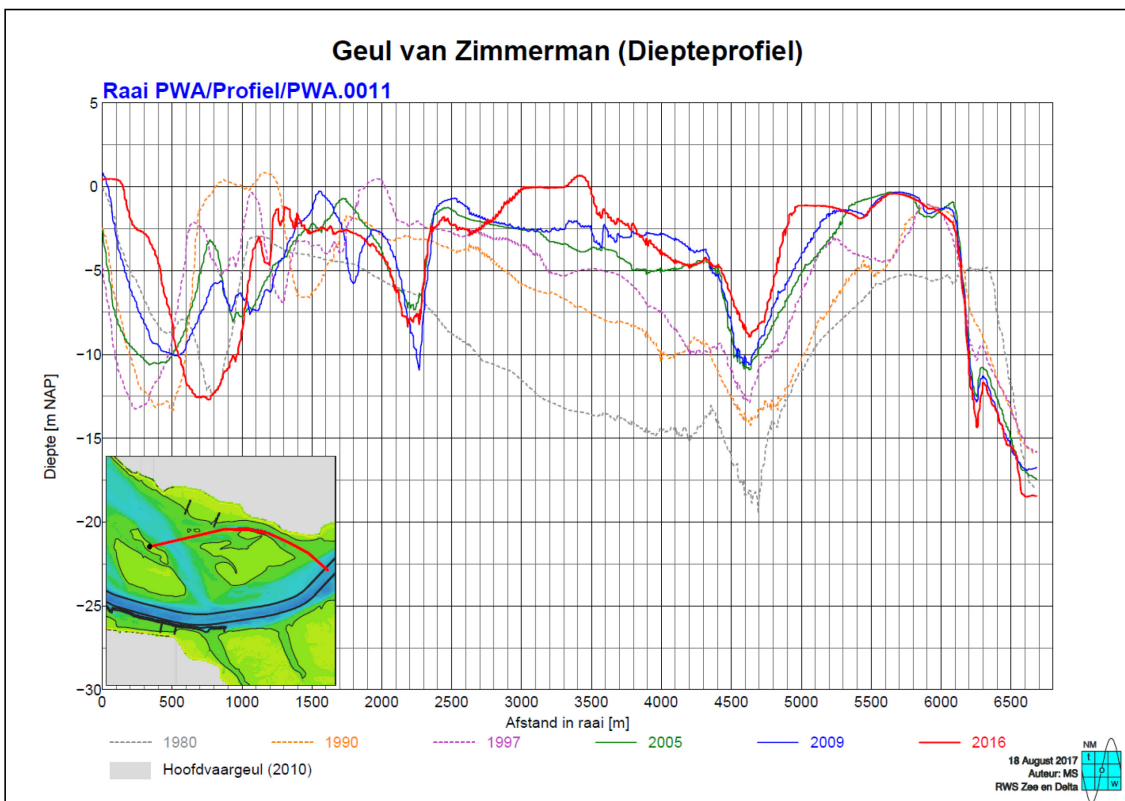
Figuur 63 – Diepte-ontwikkeling profiel PWA.0009



Figuur 64 – Diepte-ontwikkeling profiel PWA.0010



Figuur 65 – Diepte-ontwikkeling profiel PWA.0011



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