



Vlaanderen
is wetenschap



19_079_4
WL rapporten

Stortstrategie Westerschelde

Deelrapport 4
Analyse stortzones in de hoofdgeul van macrocel 6 en 7

DEPARTEMENT
MOBILITEIT &
OPENBARE
WERKEN

waterbouwkundiglaboratorium.be

Stortstrategie Westerschelde

Deelrapport 4 – Analyse stortzones in de hoofdgeul van macrocel 6 en 7

Eloot, K.; Plancke, Y.; Meire, D.; Verwilligen, J.; 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 2021
D/2021/3241/070

Deze publicatie dient als volgt geciteerd te worden:

Eloot, K.; Plancke, Y.; Meire, D.; Verwilligen, J.; Mostaert, F. (2021). Stortstrategie Westerschelde: Deelrapport 4 – Analyse stortzones in de hoofdgeul van macrocel 6 en 7. Versie 5.0. WL Rapporten, 19_079_4. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen

Tot en met de datum van vrijgave, kan overname uit en verwijzen naar deze publicatie enkel mits uitdrukkelijke en schriftelijke toestemming van de opdrachtgever of het Waterbouwkundig Laboratorium. Correcte bronvermelding is steeds noodzakelijk.

Documentidentificatie

Opdrachtgever:	MOW – Maritieme Toegang	Ref.:	WL2021R19_079_4
Trefwoorden (3-5):	Westerschelde, morfologie, bevaarbaarheid, stortstrategie		
Kennisdomeinen:	Hydraulica en Sediment > Hydrodynamica > Stroomsnelheden en -patronen > Literatuur- en desktoponderzoek Hydraulica en Sediment > Sediment > Sedimenttransport > Literatuur- en desktoponderzoek Hydraulica en Sediment > Morfologie > Erosie/sedimentatie > Literatuur- en desktoponderzoek Havens en waterwegen > Manoeuvrergedrag > Invloed kielspeling > Literatuur/ervaringsgegevens Havens en waterwegen > Manoeuvrergedrag > Oevers > Literatuur/ervaringsgegevens		
Tekst (p.):	22	Bijlagen (p.):	1
Vertrouwelijk:	☒ Ja	Vrijgegeven vanaf:	01/01/2025
		Uitzondering:	☒ Vlaamse overheid

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

Controle

	Naam	Handtekening
Revisor(en):	Meire, D. ; Verwilligen, J.	Getekend door:Dieter Meire (Signature) Getekend op:2021-06-17 09:08:53 +02:0 Reden:Ik keur dit document goed <i>Dieter Meire</i> Getekend door:Jeroen Verwilligen (Signature) Getekend op:2021-06-10 09:01:23 +02:0 Reden:Ik keur dit document goed <i>Jeroen Verwilligen</i>
Projectleider:	Plancke, Y.	Getekend door:Yves Plancke (Signature) Getekend op:2021-06-23 17:46:08 +02:0 Reden:Ik keur dit document goed <i>Yves Plancke</i>

Goedkeuring

Afdelingshoofd:	Mostaert, F.	Getekend door:Frank Mostaert (Signature) Getekend op:2021-06-10 10:05:38 +02:0 Reden:Ik keur dit document goed <i>Frank Mostaert</i>
-----------------	--------------	---



Abstract

Om de getij-onafhankelijke vaart van schepen met een diepgang tot 13,10 meter in de vaargeul van de Westerschelde te waarborgen, zijn quasi continu onderhoudsbaggerwerkzaamheden noodzakelijk op de drempels in de vaargeul van de Westerschelde. Het storten van deze baggerspecie in vergunde stortvakken moet oordeelkundig gebeuren rekening houdend met de verschillende functies van het Westerschelde-estuarium zoals hydro-morfologie, ecologie en bevaarbaarheid.

Op basis van reeds uitgevoerd onderzoek kan aangetoond worden dat gestorte specie al dan niet stabiel is in stortvakken en dat dit verondiepen van de vaargeul aanleiding kan geven tot onvoldoende roercapaciteit om de manoeuvreerbaarheid van schepen te garanderen in bochten, of onder stroom- en windcondities, ook in relatie tot het andere scheepvaartverkeer bij ontmoetingen. De stortzones SH61, SH72 en SH71 liggen ter hoogte van uitdagende locaties inzake de bevaarbaarheid en bevatten hierdoor weinig bijkomende volumes voor het storten van baggerspecie. Meer gedetailleerd onderzoek is noodzakelijk om de eerder beperkte mogelijkheden nauwer te onderzoeken, rekening houdend met alle functies.

Inhoudstafel

Abstract	III
Inhoudstafel.....	V
Lijst van de figuren	VI
1 Inleiding	1
1.1 Situering.....	1
1.2 Doelstelling	1
1.3 Opbouw	2
2 Hydro-morfologische analyse.....	3
2.1 Waterbeweging	3
2.2 Sedimenttransport	4
2.3 Stortactiviteiten.....	6
2.4 Morfologie	7
3 Analyse nautica.....	10
3.1 Westerschelde als tweewegsvaarweg.....	10
3.2 Invloed van kielspeling, oevers en getij in combinatie met stroming op de bevaarbaarheid van de Westerschelde.....	15
4 Conclusies en aanbevelingen	19
4.1 Conclusies	19
4.2 Aanbevelingen	21
5 Referenties	22
Bijlage Overzichtskaart.....	B1

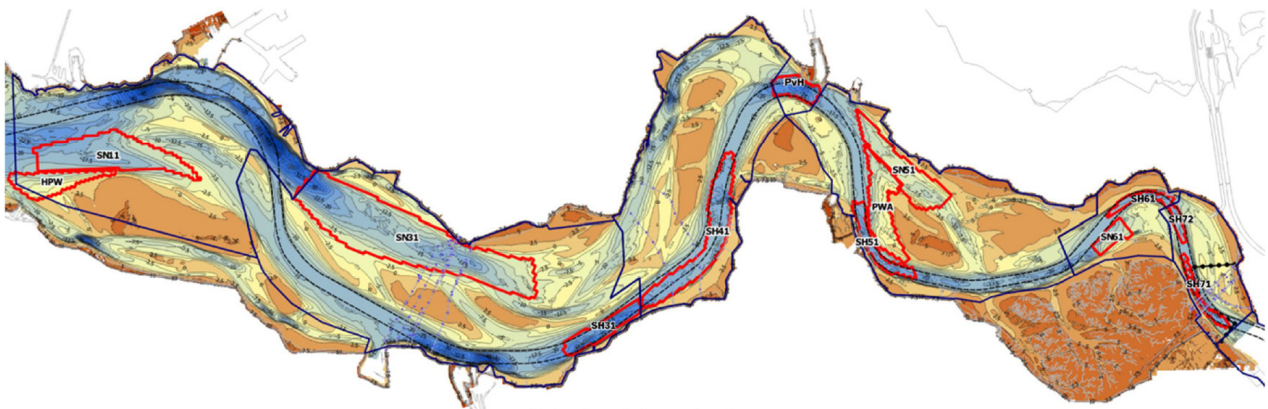
Lijst van de figuren

Figuur 1 – Voorgestelde stortzones voor toekomstige stortstrategie	1
Figuur 2 – Overzicht met indeling volgens macrocellen en ligging boeien	2
Figuur 3 – Gemodelleerde stroomsnelheden bij maximum eb (boven) en maximum vloed (onder)	3
Figuur 4 – Gemodelleerde netto sedimenttransporten	4
Figuur 5 – Gemodelleerde bruto sedimenttransporten	5
Figuur 6 – Overzicht gestorte hoeveelheden [m ³] in stortzone SH61	6
Figuur 7 – Bathymetrische veranderingen over de periode 2011 - 2020	7
Figuur 8 – Bathymetrie 2020 met ligging (boven) en hoogteprofiel (onder) voor aantal dwarsraaien	8
Figuur 9 – Breedte van de geul op verschillende diepten langsheen de bocht van Bath	8
Figuur 10 – Hoogteligging (oranje) en verandering van de richting (blauw) voor centrale as van de vaargeul in de bocht van Bath	9
Figuur 11 – Beoordelingscijfer voor ontmoetingen volgens tussenafstand, boeifstand en golfhoogte volgens (Verwilligen <i>et al.</i> , 2008) en presentatiecijfer op nautische kaarten	11
Figuur 12 – Beoordelingscijfer voor ontmoetingen in de bocht van Bath bij eb (a) en vloed (b)	12
Figuur 13 – Beoordelingscijfer voor ontmoetingen ter hoogte van de Ballastplaat bij eb (a) en vloed (b)	14
Figuur 14 – Kilometeraanduiding voor het traject in opvaart tussen Vlissingen en Frederik	15
Figuur 15 – Roergebruik als percentage van de maximale roerhoek in functie van de afstand langs het traject en bij verschillende getij/stroomcondities	17
Figuur 16 – Detail van de zone van boeien 65A tot en met 87A en kilometers 65 tot en met 75	17
Figuur 17 – Vergelijking van het roergebruik en afstand tussen buitenste punt van het schip en de gewenste track voor de opvaart te Bath bij de bathymetrie van 2019 (boven), 2015 (midden) en 2011 (onder)	18
Figuur 18 – Vergelijking van het roergebruik en afstand tussen buitenste punt van het schip en de gewenste track voor de afvaart te Bath bij de bathymetrie van 2019 (boven), 2015 (midden) en 2011 (onder)	18
Figuur 19 – Overzicht interessegebied met namen van geulen en platen	B1

1 Inleiding

1.1 Situering

Om de getij-onafhankelijke vaart van schepen met een diepgang tot 13,10 meter in de vaargeul van de Westerschelde te waarborgen, zijn quasi continu onderhoudsbaggerwerkzaamheden noodzakelijk op de drempels in de vaargeul van de Westerschelde. Daarbij wordt jaarlijks ongeveer 10 Mm³ specie ter hoogte van de drempels gebaggerd en teruggestort op daarvoor aangewezen locaties. De huidige vergunningen voor de onderhoudswerken verlopen eind 2021 (NB-wet) en begin 2022 (Waterwet). Om de onderhoudswerkzaamheden voor de vaargeul in de Westerschelde voort te zetten, worden door de afdeling Maritieme Toegang de benodigde vergunningen opnieuw aangevraagd. In de vergunningen wordt een bepaalde stortstrategie (Figuur 1) voorgesteld (IMDC, 2021), die tevens onderworpen werd aan een passende beoordeling (Tractebel & IMDC, 2021).



Figuur 1 – Voorgestelde stortzones voor toekomstige stortstrategie [bron: Tractebel & IMDC (2021)]

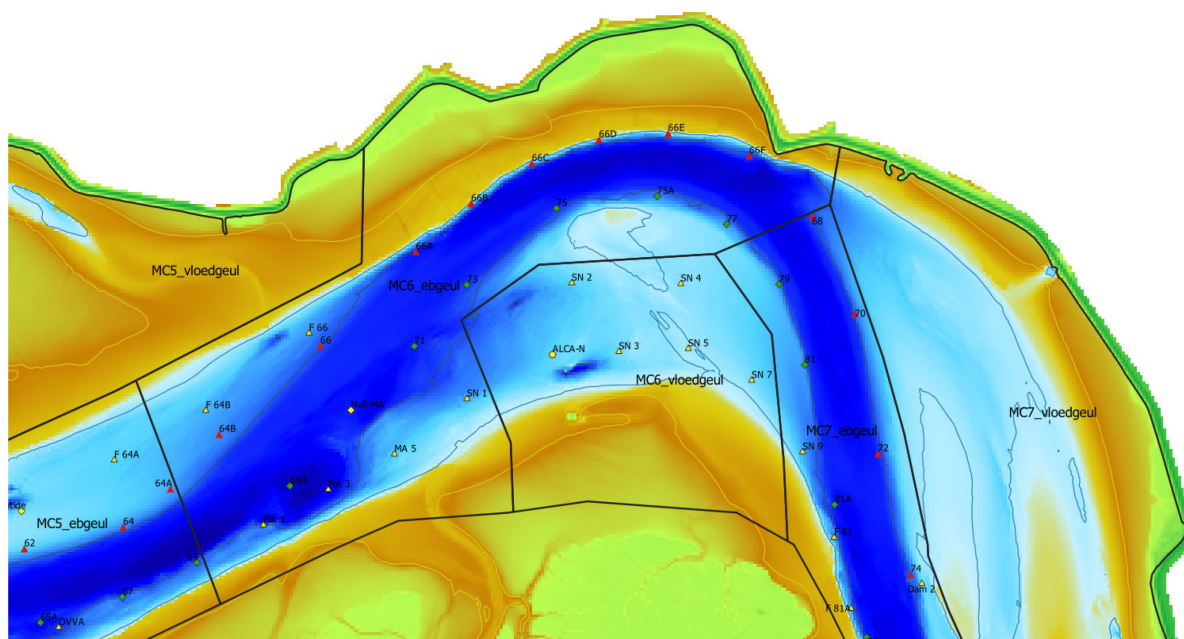
1.2 Doelstelling

Naar aanleiding van de lopende voorbereidingen voor de vergunningsaanvraag voor de toekomstige stortstrategie (vanaf 2022) voor onderhoud in de Westerschelde, somt het Waterbouwkundig Laboratorium de aandachtspunten op gebaseerd op resultaten van wetenschappelijk onderzoek rond de hydro-morfologie en nautica. Deze nota focust¹ zich op de nautisch meest uitdagende passages en heeft niet tot doel om alle wetenschappelijke inzichten opnieuw naar voor te brengen maar wel de mechanismen te illustreren die meegenomen dienen te worden bij de finale vergunningsaanvraag.

De vanuit nautisch standpunt gezien meest uitdagende passages zijn gelegen in het oostelijk deel van de Westerschelde. In Figuur 2 zijn de macrocellen 6 en 7 ter hoogte van de Bocht van Bath voorgesteld, die vooruit worden geschoven als zones waar, ten opzichte van de vigerende vergunning, meer en grotere vergunde stortvakken zouden moeten beschikbaar komen. De bocht van Bath is echter de smalste bocht op de Westerschelde met een beschikbare vaarwegbreedte tussen de boeien 75 en 66C van 340 m en een kleine

¹ Andere opmerkingen omtrent de onderbouwing van de storthoeveelheden, de afbakening van stortzones, het protocol Flexibel Storten en bijbehorende monitoring werden reeds gedeeld met de afdeling Maritieme Toegang en worden in voorliggend document niet opgenomen.

radius van 1500 m (Figuur 2). Dit betekent dat de schepen een voldoende hoge giersnelheid moeten opbouwen om deze bocht te kunnen nemen en bovendien vanaf een bepaalde scheepslengte niet kunnen ontmoeten met andere schepen ter hoogte van boei 75. In de periode 2002-2004 veroorzaakte een plaatval ter hoogte van boei 75 een aanvaring met stranden van het schip Pelican I en verschillende near-misses (Eloot *et al.*, 2004). Door de plaatval en de ondiepere zone nabij boei 75 hadden de schepen in opvaart bij ebcondities niet voldoende stuurvermogen om de hydrodynamische krachten bij koerswijziging, stroming, oever- en windeffecten te compenseren. Andere ongevallen in de bocht van Bath in de voorbije decennia zijn te wijten aan technisch falen van propulsie- of stuurinrichting van de schepen of interacties met andere schepen of met de waterweg.



Figuur 2 – Overzicht met indeling volgens macrocellen en ligging boeien

1.3 Opbouw

In Hoofdstuk 2 wordt een hydro-morfologische analyse gemaakt van de macrocellen 6 en 7 op basis van waterbeweging, sedimenttransport, baggeren en storten en morfologie. In Hoofdstuk 3 wordt onderzoek van de voorbije twintig jaren onder de aandacht gebracht om het effect van storten op de nautische toegankelijkheid te tonen. Tenslotte wordt in hoofdstuk 4 advies gegeven rond het gebruik van de stortvakken binnen de stortzones SH61 en SH71/72 (Figuur 1). Voor een overzicht van het interessegebied met de namen van de geulen en platen wordt verwezen naar Bijlage 1 Overzichtskaart.

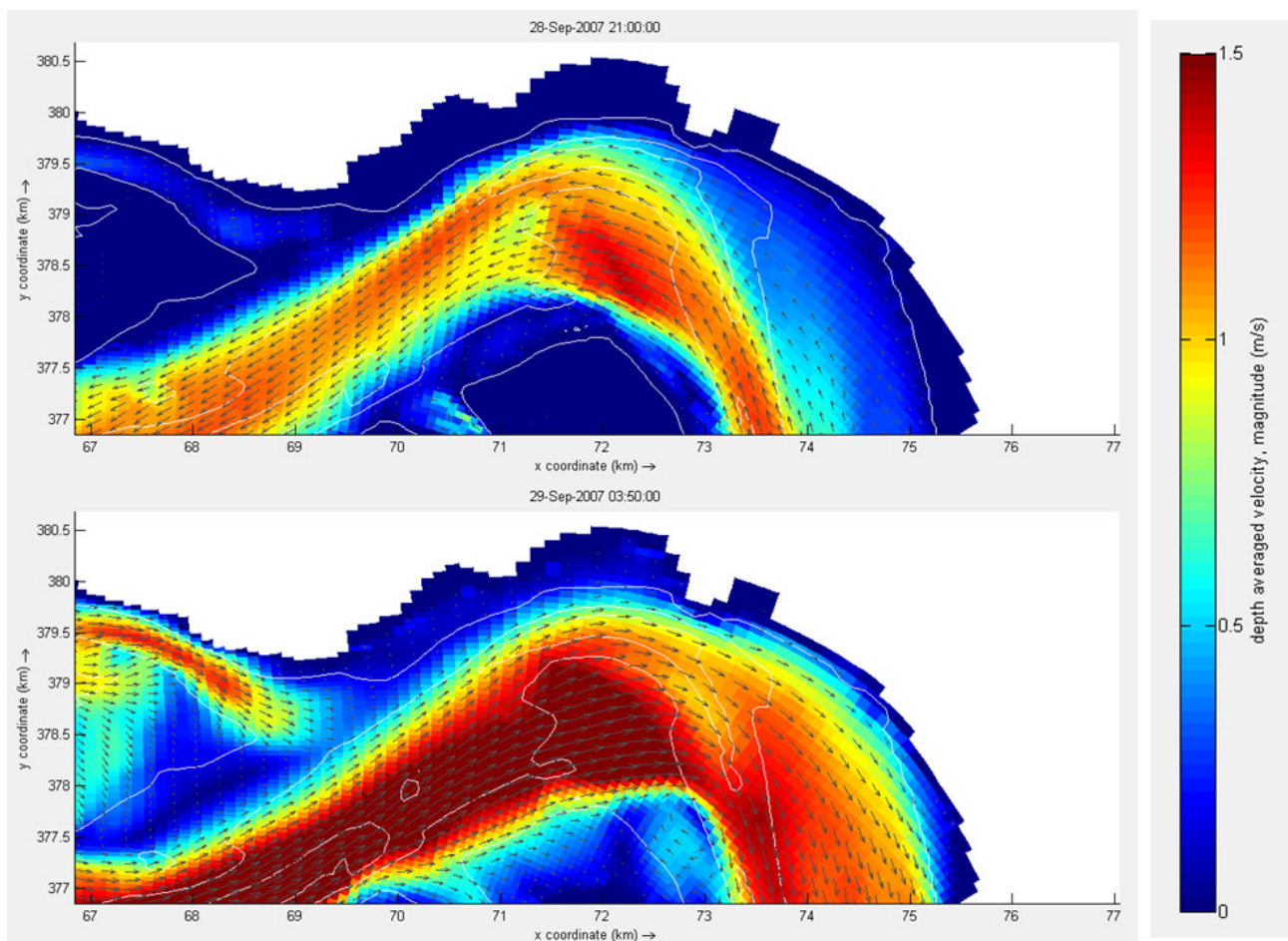
2 Hydro-morfologische analyse

2.1 Waterbeweging

In het kader van de jaarlijkse opvolging van de ontwikkelingen van de stroomsnelheden langsheen de plaatranden, worden jaarlijks numerieke simulaties uitgevoerd met behulp van een 2D-numeriek model (Vos *et al.*, 2012) waarbij telkens de bathymetrie wordt aangepast met de meest recente metingen (hier 2019-2020) en 2 vaste springtij-doodtij-cycli (afwaartse randvoorwaarde) worden gesimuleerd. Figuur 3 geeft de maximale stroomsnelheden bij eb en bij vloed weer in het interessegebied (telkens één bepaald moment voor volledige gebied), en dit tijdens een gemiddelde springtij.

Bij eb liggen de maximale snelheden rond 1,25 m/s en zijn deze terug te vinden in de vaargeul Pas van Rilland, om vervolgens via de Schaar van de Noord naar de Overloop van Valkenisse te stromen. De snelheden in het Nauw van Bath, ondanks het karakter van een ebgeul, blijven beperkt tot 1,00 m/s.

Bij vloed liggen de maximale snelheden hoger dan 1,50 m/s. Vanuit de Overloop van Valkenisse concentreert de vloedstroming zich in de Schaar van de Noord om tenslotte uit te waaiëren over de Appelpzak en de Pas van Rilland. De snelheden in het Nauw van Bath blijven ook in de vloedfase beperkt tot 1,00 m/s.

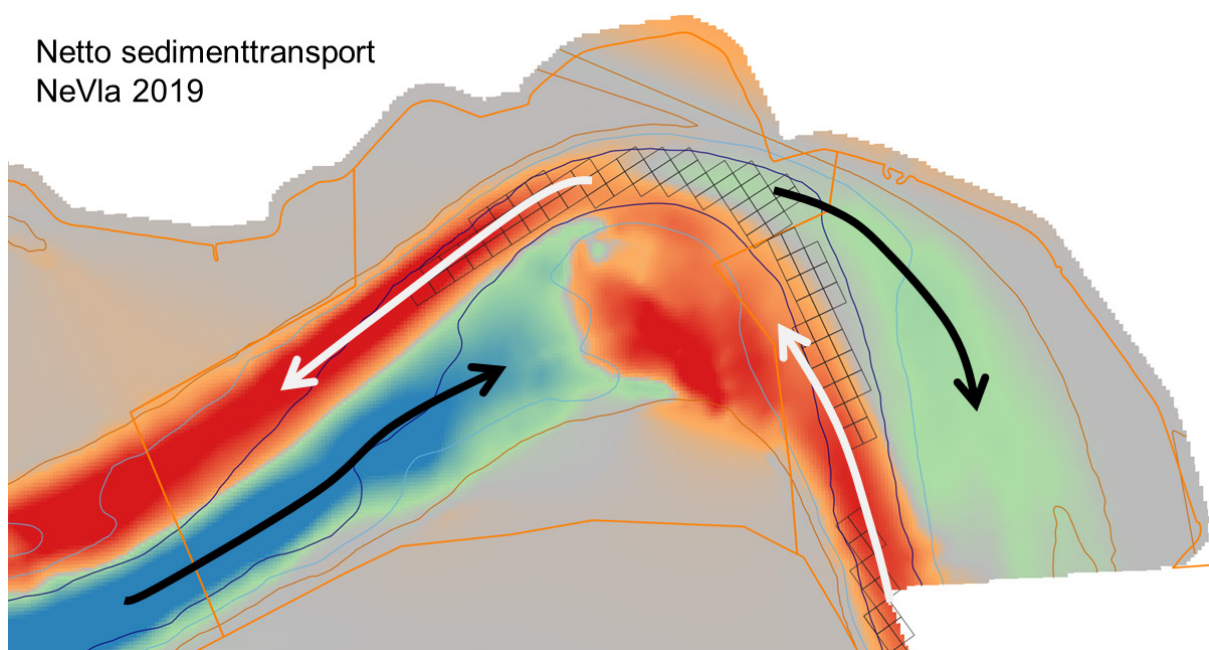


Figuur 3 – Gemodelleerde stroomsnelheden bij maximum eb (boven) en maximum vloed (onder)

2.2 Sedimenttransport

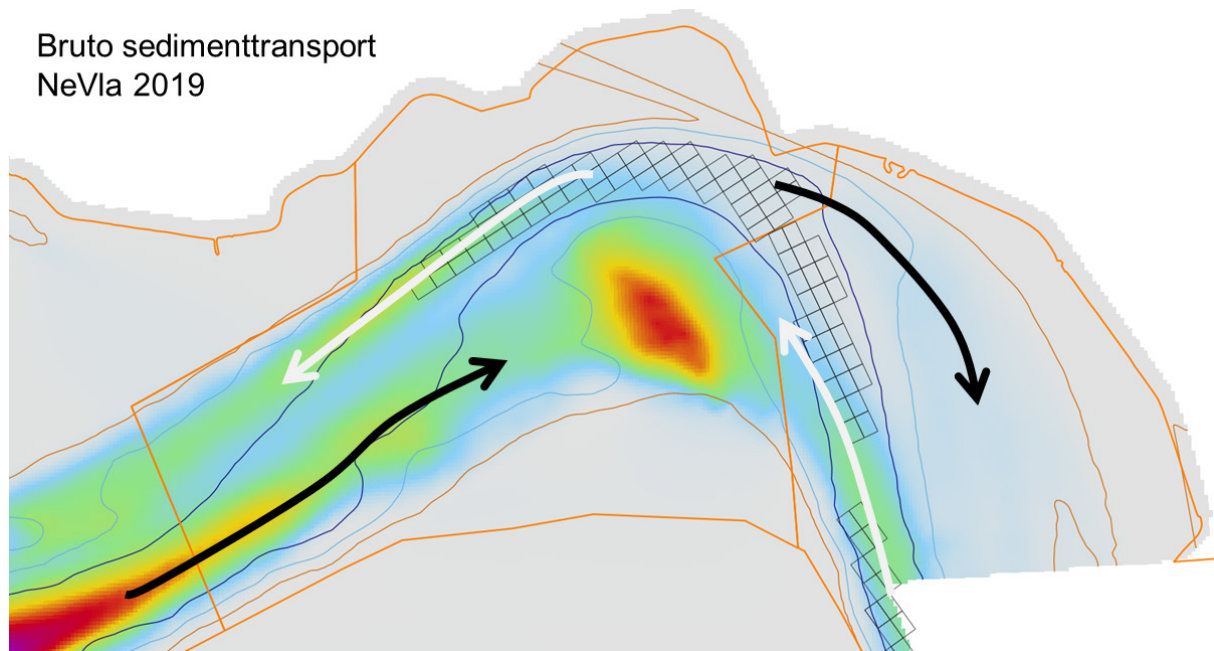
In het kader van de jaarlijkse opvolging van de ontwikkelingen van de stroomsnelheden langsheen de plaatranden, worden jaarlijks numerieke simulaties uitgevoerd met behulp van een 2D-numeriek model (Vos *et al.*, 2012) waarbij telkens de bathymetrie wordt aangepast met de meest recente metingen. Ten behoeve van de bepaling van de stortcapaciteit werd, in navolging van Deltares, het bestaande hydrodynamische model uitgebreid met online sedimenttransport-berekeningen. Hierbij wordt met behulp van de formule van Engelund-Hansen (Engelund & Hansen, 1967) het totale zandtransport berekend op de verschillende rekenpunten van het model. Door integratie in de tijd, kan het totale sedimenttransport bij resp. eb en vloed bepaald worden, waaruit dan weer het netto (i.e. residueel transport door eb- (negatief) en vloedtransport (positief) op te tellen) en bruto (i.e. som van absolute waarde van eb- en vloedtransport) sedimenttransport kan afgeleid worden. Deze methodiek werd ook toegepast in eerdere studies in de Westerschelde (Plancke *et al.*, 2017a; b).

Figuur 4 en Figuur 5 geven het netto en bruto sedimenttransport weer in het interessegebied. Hieruit blijkt dat het gebied rond het Nauw van Bath – Schaar van de Noord gekenmerkt wordt door een afwisselend patroon van eb- en vloed-dominant transport (Figuur 4). Langs de afwaartse zijde wordt de vloedgeul Schaar van de Noord gekenmerkt door vloed-dominant transport, terwijl dit langs de opwaartse zijde eb-dominant is. De ebgeul Nauw van Bath kent een tegenovergesteld patroon: eb-dominant langs de afwaartse zijde, vloed-dominant langs de opwaartse zijde, ter hoogte van de aansluiting met de Appelzak. Deze netto transporten geven een indicatie van de te verwachten transportrichting van sediment (natuurlijk of gestort sediment). Hieruit blijkt dus dat wanneer er sediment gestort wordt in de stortzone SH61, het sediment zowel in afwaartse (voor de afwaartse stortvakken, samenvallend met de huidige vergunning) als opwaartse (voor de opwaartse stortvakken) richting zal getransporteerd worden. Voor de stortzone SH72 zal het sediment hoofdzakelijk in afwaartse richting getransporteerd worden, waarbij zowel transport naar de Schaar van de Noord als naar de binnenkant van het Nauw van Bath mogelijk is.



Figuur 4 – Gemodelleerde netto sedimenttransporten
[rood en oranje is eb-dominant, blauw en groen is vloed-dominant]

Het bruto transport (Figuur 5) toont een duidelijk verschil tussen de Schaar van de Noord en het Nauw van Bath: de vloedgeul Schaar van de Noord wordt gekenmerkt door sterkere sedimenttransporten (vooral ten gevolge van de sterkere vloedstroming die door deze geul passeert), terwijl dit voor de ebgeul Nauw van Bath eerder beperkte sedimenttransporten zijn. Met name in het meest noordelijke deel van de bocht blijkt het transport beperkt te zijn, al dient hier de bemerking gemaakt te worden dat de helicoïdale bochtstroming niet goed² in het 2D-numerieke model wordt gereproduceerd en de getoonde transporten eerder een onderschatting zullen zijn. Deze bruto transporten geven een indicatie voor hoe snel (gestort) sediment zal getransporteerd worden.

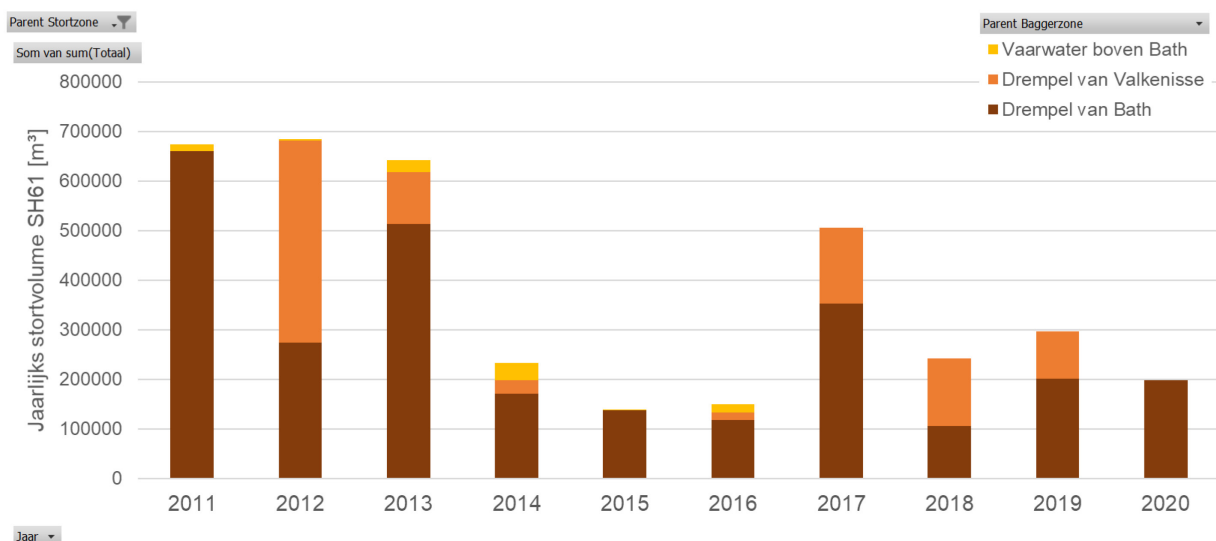


Figuur 5 – Gemodelleerde bruto sedimenttransporten
[licht blauw = zeer beperkt transport, rood is sterk transport]

² De helicoïdale stromingen, typisch voor (scherpe) bochten, worden in het 2D-model geschematiseerd meegenomen.

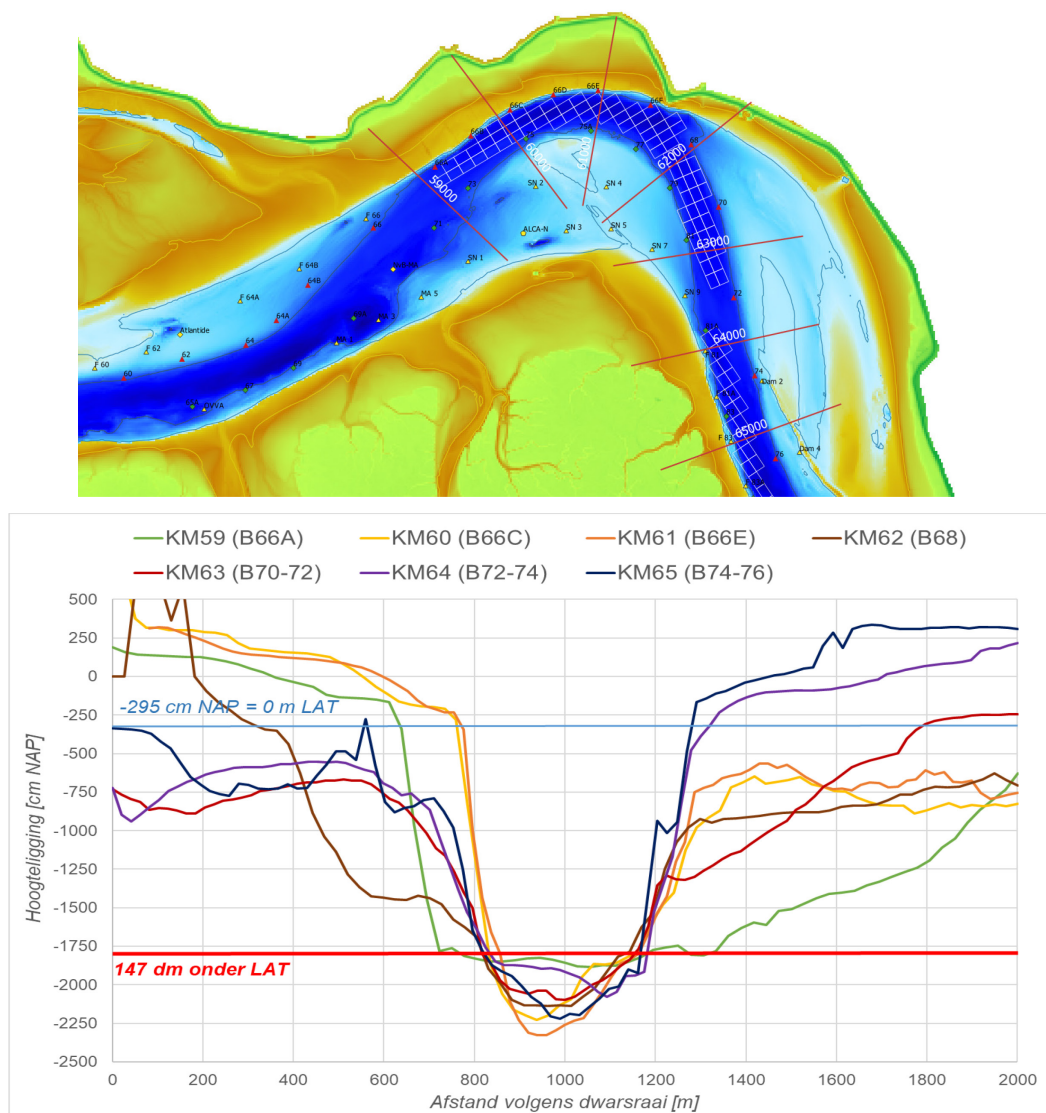
2.3 Stortactiviteiten

Binnen de huidige vergunning wordt de stortzone SH61 (Nauw van Bath) en SH71³ (Pas van Rilland) gebruikt voor het terugstorten van gebaggerde specie. Figuur 6 geeft een overzicht van de jaarlijkse gestorte hoeveelheden sediment, alsook de drempels waar de specie van afkomstig is. De eerste jaren na de verruiming (2011-2013) werd ca. 650000 m³ per jaar gestort in SH61. In de jaren erna lag de storthoeveelheid aanzienlijk lager, met uitzondering van 2017 wanneer opnieuw 500000 m³ werd gestort. De laatste jaren werd tussen de 200000 en 300000 m³ per jaar teruggestort. Over de periode 2011-2020 is een totaal van 3,77 Mm³ specie in deze stortzone gestort, vooral afkomstig van de Drempel van Bath en in minder mate de Drempel van Valkenisse.

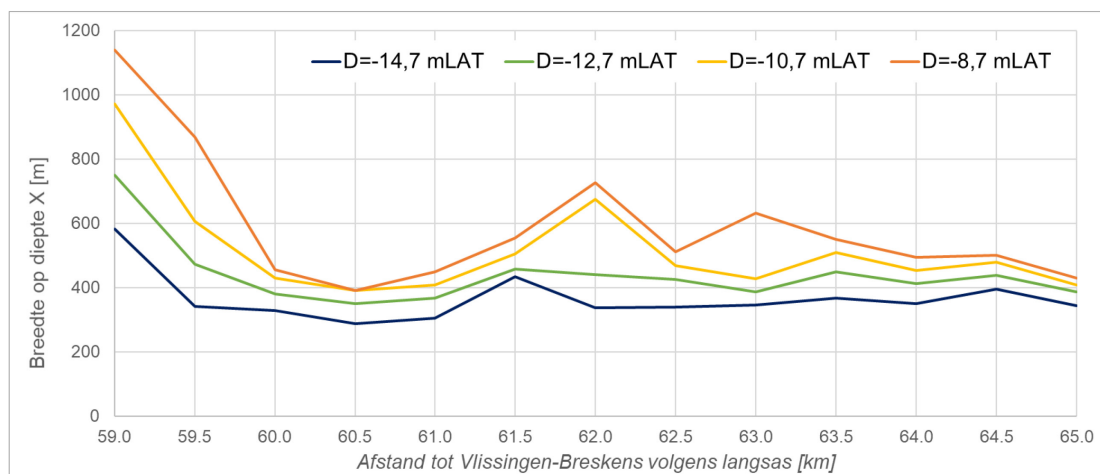


Figuur 6 – Overzicht gestorte hoeveelheden [m³] in stortzone SH61

³ De afbakening van de stortzones in de huidige vergunning (SH61 en SH71) en nieuwe vergunning verschilt (nieuwe zones groter dan bestaande zones). Daarnaast is ook in de nieuwe vergunning een bijkomende zone (SH72) opgenomen.

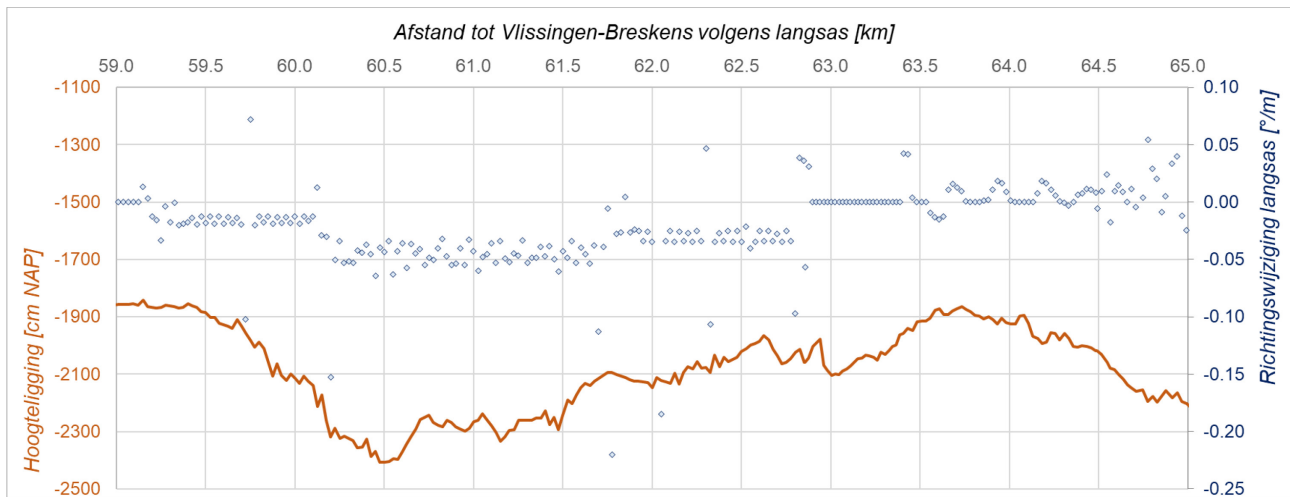


Figuur 8 – Bathymetrie 2020 met ligging (boven) en hoogteprofiel (onder) voor aantal dwarsraaien (links = rechteroever (Bath) – rechts = linkeroever (Saeftinghe))



Figuur 9 – Breedte van de geul op verschillende diepten langsheen de bocht van Bath

Figuur 10 geeft de hoekverandering weer van de centrale as van de geul in het interessegebied. Hieruit blijkt dat tussen KM59 en KM60 de hoekverandering beperkt is, om vervolgens tussen KM60 en KM62 toe te nemen. Ook tussen KM62 en KM63 is er nog een hoekverandering aanwezig. Waar deze hoekverandering nautisch gezien het gebruik van het roer (zie § 3.2) noodzaakt, is de mate van hoekverandering ook een indicatie voor de sterkte van de helicoïdale stroming die doorheen de bocht zal optreden. In relatie tot eventuele stortingen, zal deze helicoïdale stroming ervoor zorgen dat de specie vanuit de buitenkant van de bocht naar de binnenkant wordt getransporteerd. Dit kan aanleiding geven tot een verstelling van de oever, en kan tevens aanleiding geven tot plaatvallen (van den Ham *et al.*, 2015).



Figuur 10 – Hoogteligging (oranje) en verandering van de richting (blauw) voor centrale as van de vaargeul in de bocht van Bath

3 Analyse nautica

Verschillende onderzoeken uitgevoerd sedert 2002 specifiek voor de zone aan het Nauw van Bath, geven een duidelijke gevoeligheid aan van de zone voor de nautische toegankelijkheid.

In (Eloot *et al.*, 2004) werd een deskstudie uitgevoerd om de oorzaken in kaart te brengen van een aanvaring en verschillende near-misses in het Nauw van Bath ten gevolge van een plaatval ter hoogte van boei 75. Hierdoor konden opvarende schepen bij eb- en laagwatercondities geen aanvaardbare afstand tot de groene boeienlijn respecteren en kwamen zij midden vaarwater of aan de rode boeienlijn terecht opwaarts boei 75.

Voor de toegankelijkheid van grote containerschepen met een laadvermogen vanaf 8000 TEU werd door middel van realtime simulatieonderzoek de op- en afvaartregeling voor deze containerschepen onderzocht in (Verwilligen *et al.*, 2007, 2009). Op basis van het publiek rapport (Verwilligen *et al.*, 2008) werd een Engelstalige nota opgesteld voor de containerrederijen. De resultaten van dit onderzoek wijzen op locaties waar ontmoetingen wel of niet veilig kunnen optreden tussen schepen. Het onderzoek in 2008 werd echter uitgevoerd met containerschepen van 8000 tot 14000 TEU en bij diepgangen van 13,1 en 14,5 m. De containerschepen zijn ondertussen nog groter tot meer dan 23000 TEU en in 2021 zullen proefvaarten lopen bij opvaart met diepgangen tot 16,0 m.

In het kader van een lopend project (19_065) voor de uitbreiding van de evaluatiemethodiek van het Schelde-estuarium (Maris *et al.*, 2014), wordt een nautische ‘toetsparameter’ voor de bevaarbaarheid opgesteld. Deze parameter wordt opgesteld op basis van fast-time simulaties met een karakteristiek 20000 TEU containerschip bij een diepgang van 13,5 m (geïnterpreteerd als diepgang met groot tijvenster) binnen de fysieke systeemkenmerken van het Schelde-estuarium (i.e. topo-bathymetrie en stroming over het traject Vlissingen – drempel van Frederik).

De aangehaalde onderzoeken maken deel uit van uitgebreider onderzoek aan het Waterbouwkundig Laboratorium en worden gebruikt om de aandacht te vestigen op de problematiek met storten in de omgeving van het Nauw van Bath.

3.1 Westerschelde als tweewegsvaarweg

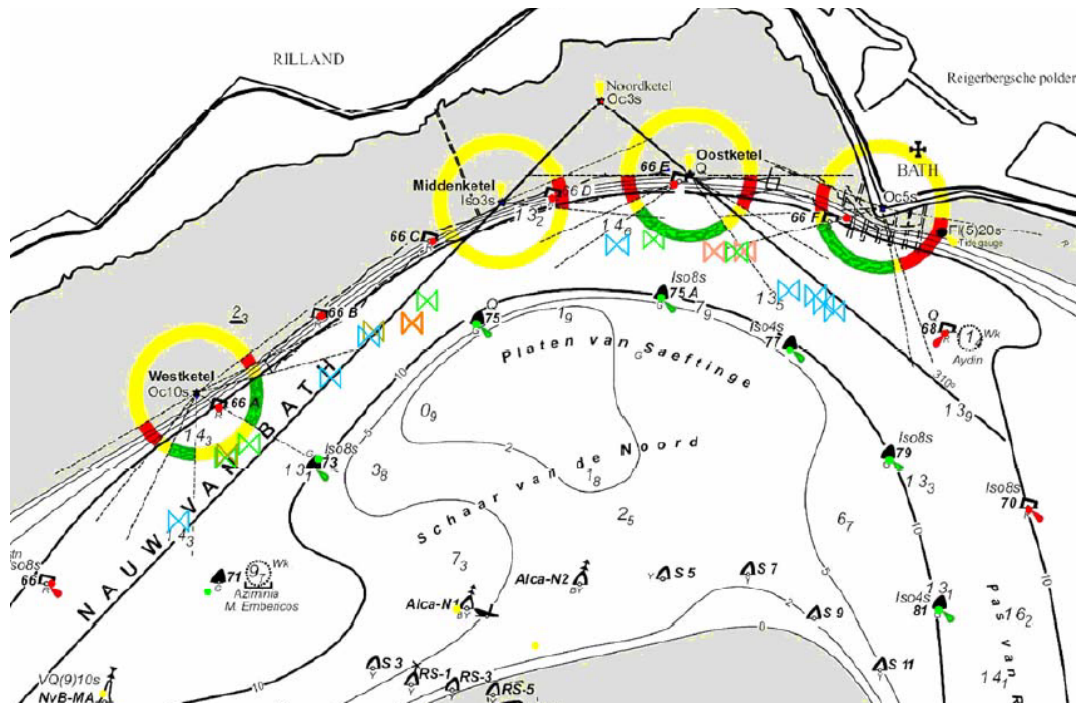
De stortvakken zijn gespreid over verschillende macrocellen in de Westerschelde waarbij de macrocellen 6 en 7 baggerspecie, vanuit de onderhoudsbaggerwerken in de onmiddellijke omgeving, zouden moeten kunnen bergen. De baggerspecie die gestort wordt, zal echter slechts gedeeltelijk blijven liggen zodat niet alleen ter hoogte van de stortvakken maar ook op- of afwaarts de bathymetrie en dus ook de bevaarbaarheid zal beïnvloed worden. In de op- en afvaartregeling voor containerschepen wordt de doelstelling van een tweewegsvaarweg voor de Westerschelde als uitgangspunt gebruikt. Dit betekent dat er geen beperkingen zijn voor ontmoetingen tussen op- en afvarende containerschepen. Het onderzoek in (Verwilligen *et al.*, 2008) heeft echter aangetoond dat er meer en minder aangewezen locaties zijn om ontmoetingen te organiseren. In Figuur 12 en Figuur 13 worden nautische kaarten getoond die liggen ter hoogte van de voorliggende stortvakken en de resultaten van het onderzoek in (Verwilligen *et al.*, 2008) waarbij aan elke ontmoeting tussen containerschepen een beoordelingscijfer werd gegeven op basis van de tussenafstand tussen de schepen, de afstand tot de boeien en het opwekken van hinderende golven voor kleinere scheepvaart (Figuur 11). Beoordelingscijfers 1 en 1,5 geven een veilige en vlotte ontmoeting voor containerschepen tot 14000 TEU met een maximale diepgang van 14,5 m. Sedert het onderzoek in 2008 is de bodemligging van het estuarium enigszins gewijzigd door de derde Scheldeverdieping uitgevoerd in 2010 (waarbij enkel de drempels verdiept werden tot -14,5 m LAT) en door autonome morfologische wijzigingen tussen 2011 en 2020 (Figuur 7). Alle simulaties uit 2008 werden uitgevoerd bij maximale vloed- of ebstroom en bij een windconditie van westzuidwestelijke wind van 5 Bft.

De zone met de langste aaneensluitende erosie over het grootste deel van de vaargeulbreedte strekt zich van boei 77 tot 81 waar echter volgens Figuur 12, opwaarts boei 79, ontmoetingen in het simulatieonderzoek plaatsvonden met te kleine tussenafstanden, afstanden tot boeien of golfhoogtes. In realiteit zullen daar nog ontmoetingen plaatsvinden maar elke wijziging van de bathymetrie zal een nadelige invloed hebben op de veiligheid en vlotheid van het afhandelen van de scheepvaarttrafiek in deze zone. Rekening houdend dat de diepgangen in opvaart in 2021 tot 1,5 m zijn toegenomen ten opzichte van de maximale diepgang van 14,5 m in het onderzoek moet omzichtig opgetreden worden met de zogenaamde gunstige effecten van lokale verdiepte zones tussen 2011 en 2020.

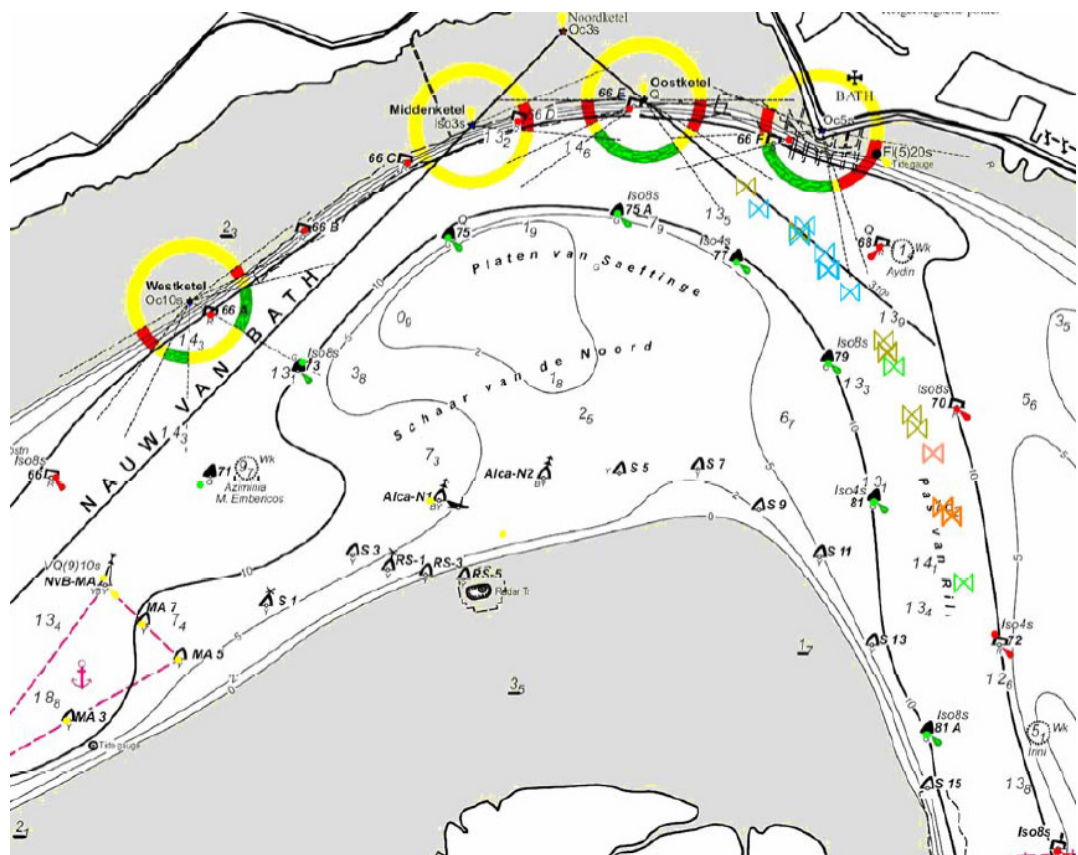
	BEOORDELING VOOR TUSSENAFSTANDEN	tussenafstand $\geq 70\text{m}$	tussenafstand $\in [50\text{m}, 70\text{m}]$	tussenafstand $\in [30\text{m}, 50\text{m}]$	tussenafstand $< 30\text{m}$
BEOORDELING VOOR BOEIAFSTAND & GOLFHOOGTE		1	2	3	4
boeiafstand $\geq 40\text{m}$ of golfdal $< 0.3\text{m}$	1	1.0	1.5	2.0	2.5
boeiafstand $\in [25\text{m}, 40\text{m}]$ of golfdal $\in [0.3\text{m}, 0.45\text{m}]$	2	1.5	2.0	2.5	3.0
boeiafstand $\in [12\text{m}, 25\text{m}]$ of golfdal $\in [0.45, 0.6\text{m}]$	3	2.0	2.5	3.0	3.5
boeiafstand $< 12\text{m}$ of golfdal $> 0.6\text{m}$	4	2.5	3.0	3.5	4.0

1 2 3 4
1.5 2.5 3.5

Figuur 11 – Beoordelingscijfer voor ontmoetingen volgens tussenafstand, boeiafstand en golfhoogte volgens (Verwilligen *et al.*, 2008) en presentatiecijfer op nautische kaarten



(a) Eb



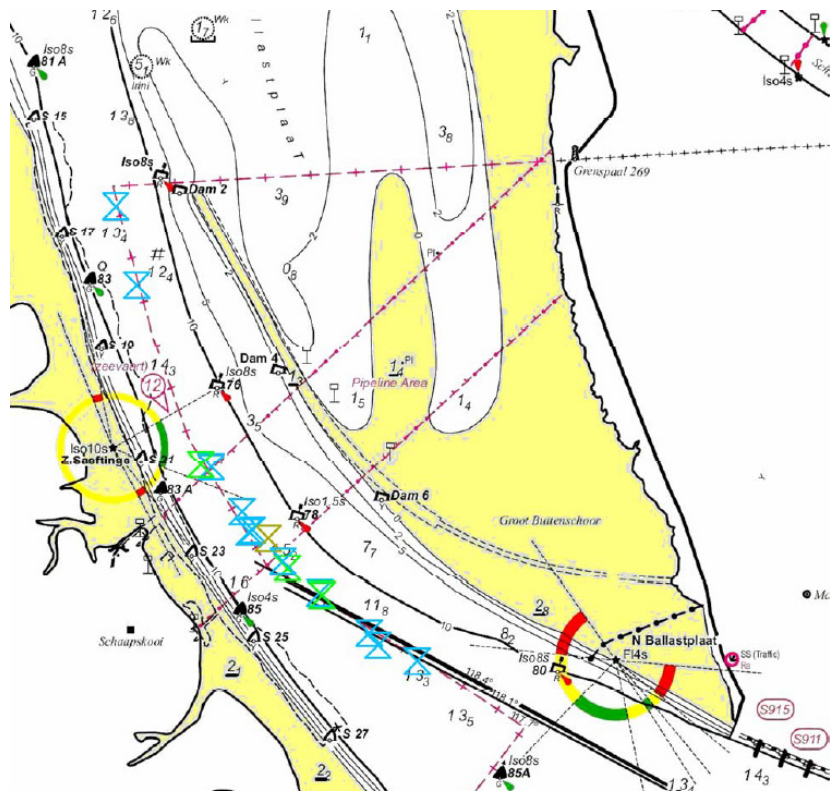
(b) Vloed

Figuur 12 – Beoordelingscijfer voor ontmoetingen in de bocht van Bath bij eb (a) en vloed (b)

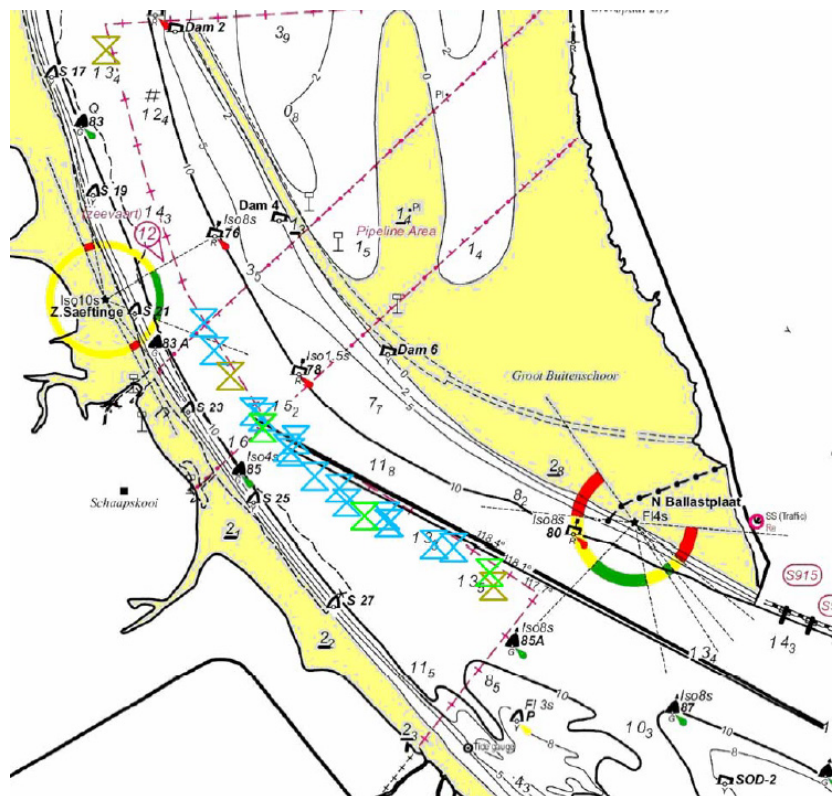
De zones tussen boeien 75 – 66C en 79 – 68 geven voor beide stroomrichtingen van eb en vloed niet noodzakelijk veilige en vlotte ontmoetingen. Rekening houdend met de beperktere verdieping tussen 0 en lokaal 3 m is er geen belangrijke overdiepte beschikbaar in vergelijking met de uitgevoerde simulaties bij diepgangen tot 14,5 m in het onderzoek van 2008.

De stortzone die in de huidige vergunning gebruikt wordt, geeft samengebracht met Figuur 12 wel een eenduidig beeld qua vlotheid en veiligheid voor ontmoetingen afwaarts boei 66B. Bovendien is de zone tussen boeien 66A en 66B een zone waar geen bochtmanoeuvre meer moet uitgevoerd worden voor een afvarend schip waardoor er roercapaciteit vrij komt om andere effecten te compenseren zoals een veilige en vlotte ontmoeting. Opwaarts boei 66B worden ontmoetingen afgeraden omwille van de smalste vaarwegbreedte in de onmiddellijke zone nabij boeien 66B en 75.

In Figuur 13 wordt de zone nabij de Ballastplaat weergegeven tussen boeien 81A en 85 bij eb en vloed. De ontmoetingen tussen boeien 83 en 83A zijn veilig en vlot uitgevoerd in het onderzoek van 2008. In de morfologische evolutie in Figuur 7 zien we in de vaargeul amper wijzigingen van de bathymetrie tenzij buiten de vaargeul tussen boeien 72 en 74 waar een verdieping tot 3 m is ontstaan tussen 2011 en 2020. Hoewel ook stortvakken zijn getekend tussen boeien 81A en 83 en aangezien in het simulatieonderzoek uit 2008 een negatieve beoordeling voor een ontmoeting bij vloed is opgenomen, moet omzichtig opgetreden worden met het verondiepen van deze zone voor de toegankelijkheid van grotere en vollere containerschepen (tot meer dan 23000 TEU) en dieper liggende.



(a) Eb



(b) Vloed

Figuur 13 – Beoordelingscijfer voor ontmoetingen ter hoogte van de Ballastplaat bij eb (a) en vloed (b)

3.2 Invloed van kielspeling, oevers en getij in combinatie met stroming op de bevaarbaarheid van de Westerschelde

In het kader van project 19_065 (rapport in voorbereiding) werden met een representatief containerschip van 20000 TEU fast-time simulaties uitgevoerd op het traject van Vlissingen tot Frederik (Figuur 14). Hierbij wordt het schip gestuurd door een 'autopilot' op een gewenste baan. Deze baan werd gedefinieerd op één derde van de linkeroever contour van de baggergeul voor opvaart en één derde van de rechteroever contour van de baggergeul voor afvaart. Er werd in het onderzoek geen rekening gehouden met noodzakelijke ontmoetingen tussen schepen op de tweewegsvaarweg die de Westerschelde is zodat een afwijking van de gewenste baan niet tot een aanvaring met een ontmoetend schip leidde of tot een passage dicht bij de oevers of de boeien zoals de beoordelingscijfers in 3.1 aangaven.



Figuur 14 – Kilometeraanduiding voor het traject in opvaart tussen Vlissingen en Frederik

Er werden signaalwaardes geselecteerd die echter in hun limietwaarden reeds zeer onveilige situaties toelaten:

- Voor het roergebruik:
 - Procentueel ten opzichte van de maximale roerhoek
 - Absolute waarde (ongeacht bakboord- of stuurboordroerhoek)
 - 0% tot **100%**
- Afstand tot de referentiebaan met B de scheepsbreedte:
 - Minimale waarde = $B/2 = 27 \text{ m}$
 - Signaalwaarde = $B/2 + 1.5 B = 108 \text{ m}$

Bij de simulaties werd geen rekening gehouden met windinvloeden, zodat 100% van het roer nooit mag gebruikt worden omdat dan geen roercapaciteit meer overblijft voor het compenseren van de windinvloed. Rekening houdend met de ligging van het gewenste vaartraject in opvaart en afvaart en de vereiste afstand die noodzakelijk is tot ontmoetende schepen, bevat ook een signaalwaarde van 108 m niet overal de nodige reserve om geen onveilige situatie te introduceren.

Deze signaalwaardes kunnen dus geen veilige passages van andere schepen garanderen of geen reserves tot bijkomende externe invloeden zoals wind. In Figuur 15 is een voorbeeld gegeven van een opvaart van Vlissingen tot Frederik tijdens een volledige getijcyclus met de bathymetrie van 2019. Het verband tussen de kilometeraanduiding en de ligging van de boeien zoals in 3.1 wordt voorgesteld in Figuur 16.

Het roergebruik in Figuur 15 vereist voldoende reserve zodat de blauwe en groene waarden tot 70% aanvaardbaar zijn. In de zone van Bath (afwaarts km 70) kleurt de zone voor roergebruik oranje en rood voor de een groot deel van de getijcyclus⁴. Er is dus geen reserve tussen boeien 66A en 79 (km 67.5 tot 70).

Er wordt in Figuur 17 een vergelijking van de twee parameters gemaakt voor bathymetrieën van 2019, 2015 en 2011. Het moet wel duidelijk zijn dat een 20000 TEU schip in 2011 (en 2015) niet voorkwam op de Westerschelde en dus ook niet in die situatie gevaren heeft. De ondiepere bathymetrie in 2011 bij laag water geeft voor een 20000 TEU schip aanleiding tot een vertraagde opbouw van de giersnelheid bij het bochten waardoor een grote afwijking tot de baan in het tweede deel van de bocht (70 km) ontstaat. Dit is dus een illustratie voor de impact van een verondieping op het vaartraject van de huidige grote containerschepen van 20000 TEU.

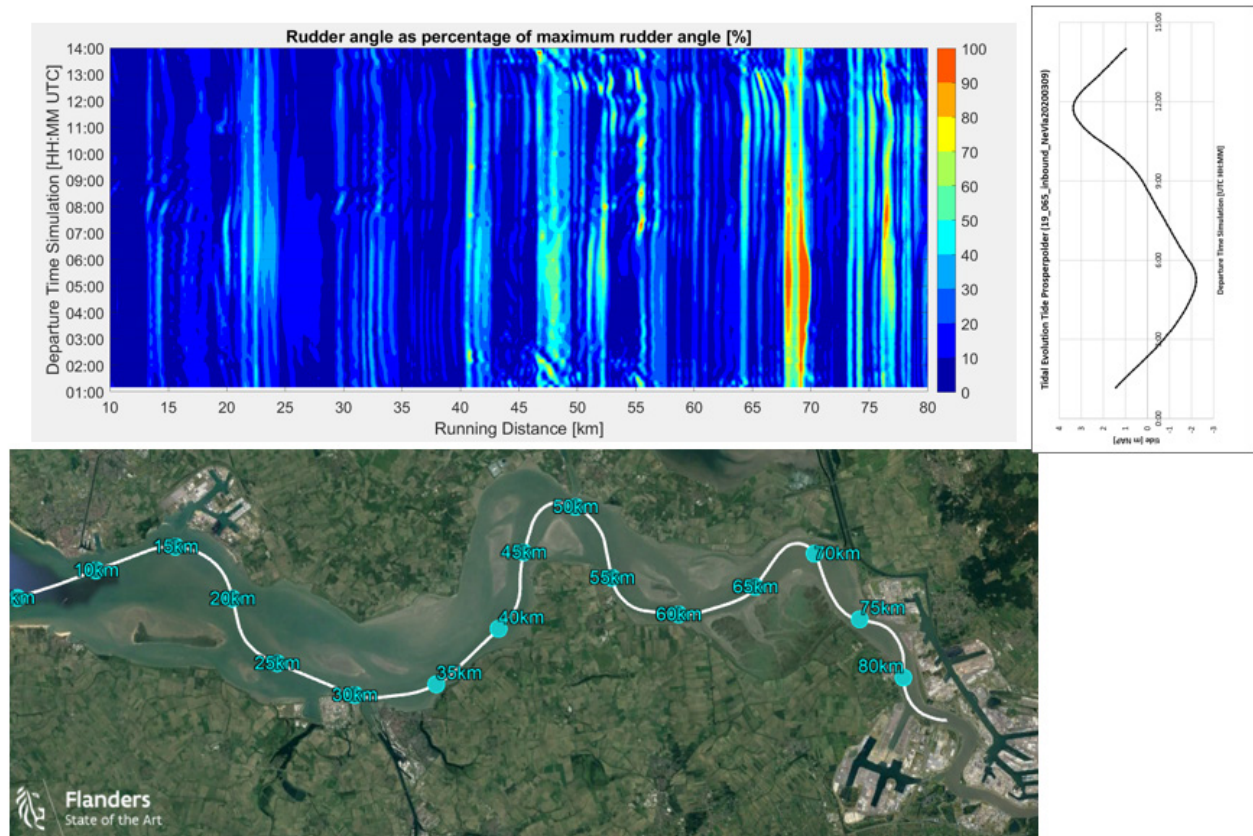
Tussen km 70 en 75 komt het roergebruik in 2019 niet boven de 70% (Figuur 17) maar de afstand tot het gewenste traject dat bijvoorbeeld bij voorkeur nog voldoende reserve laat om passages met andere schepen toe te laten (blauw en groen) is dan wel weer bij vloedstroom groot tussen km 74 en 75 of nabij boei 85A⁵. Ook in de zone van km 70 tot 72 dus opwaarts boei 79 (tot boei 81A) treden bij eb en laag water grotere afstanden ten opzichte van het gewenste traject op maar het schip wordt verzet naar de groene boeienlijn waardoor het verder weg van de afvarende schepen beweegt.

In Figuur 18 is de vergelijking gemaakt voor de afvaart op een traject op één derde van de rechteroever contour van de baggergeul. Voor km -75 tot -65 blijft het roergebruik onder de 80% bij de bathymetrie van 2019. In 2011 en 2015 was de situatie negatiever maar waren er ook geen 20000 TEU schepen op de Westerschelde. De afstand tot het gewenste traject wordt groter (anderhalve scheepsbreedte) afwaarts km -71 of dus in het nauwste deel van de Bocht van Bath afwaarts boei 79 bij vloedconditie.

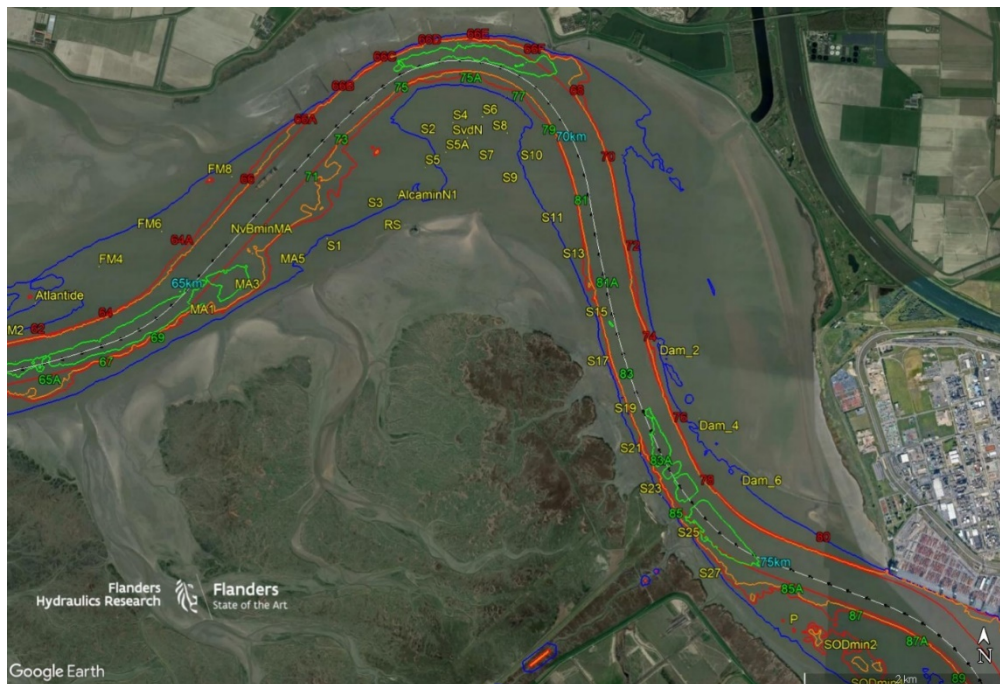
Men zou op basis van de vergelijking tussen de bathymetrieën van 2011 tot 2019 kunnen besluiten dat de verdieping in de omgeving van de bocht van Bath een noodzakelijke evolutie is om de grotere en dieperliggende schepen veilig toe te laten tot de Westerschelde. Zolang de roercapaciteit maar heel tijdelijk voor 100% wordt ingezet, kan de toegankelijkheid nog gegarandeerd worden maar een te kleine reserve houdt grote risico's op incidenten in.

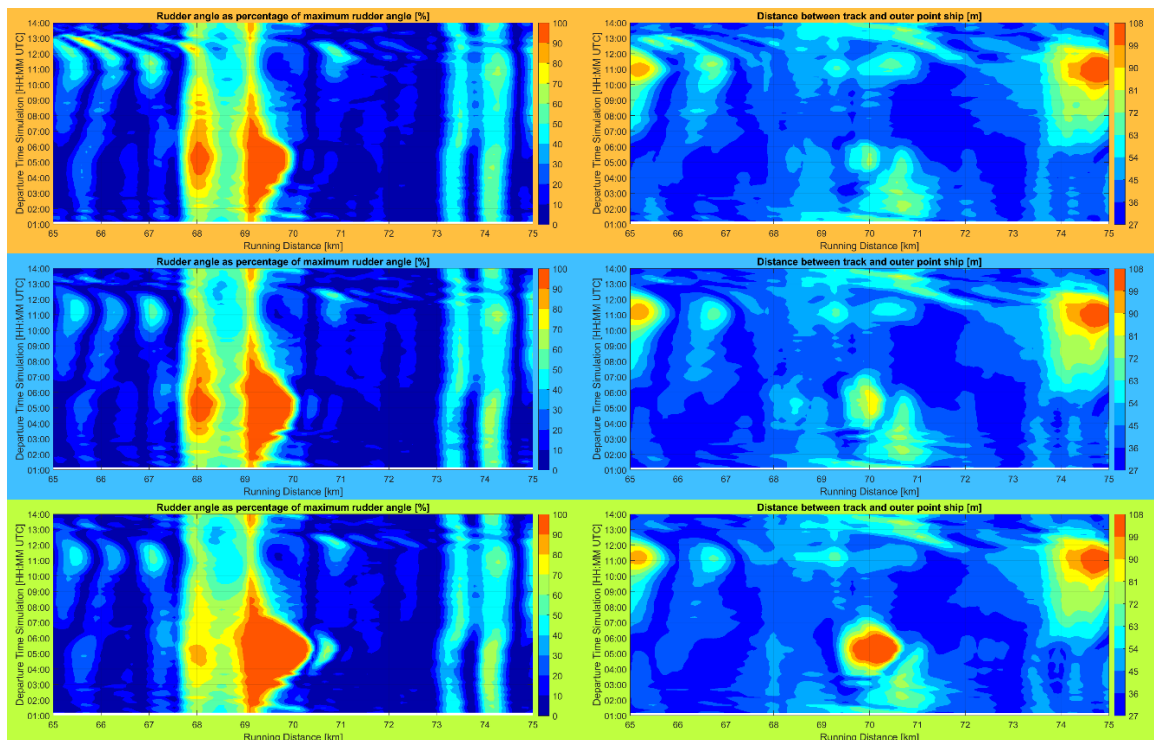
⁴ Periode van drie uren omstreeks hoog water is het roergebruik beperkt tot maximaal geel (en groen).

⁵ Het schip wordt hier door de vloedstroom verzet naar de groene boeienlijn. Bij vloed en hogere waterstanden is er voldoende vaarwegbreedte.

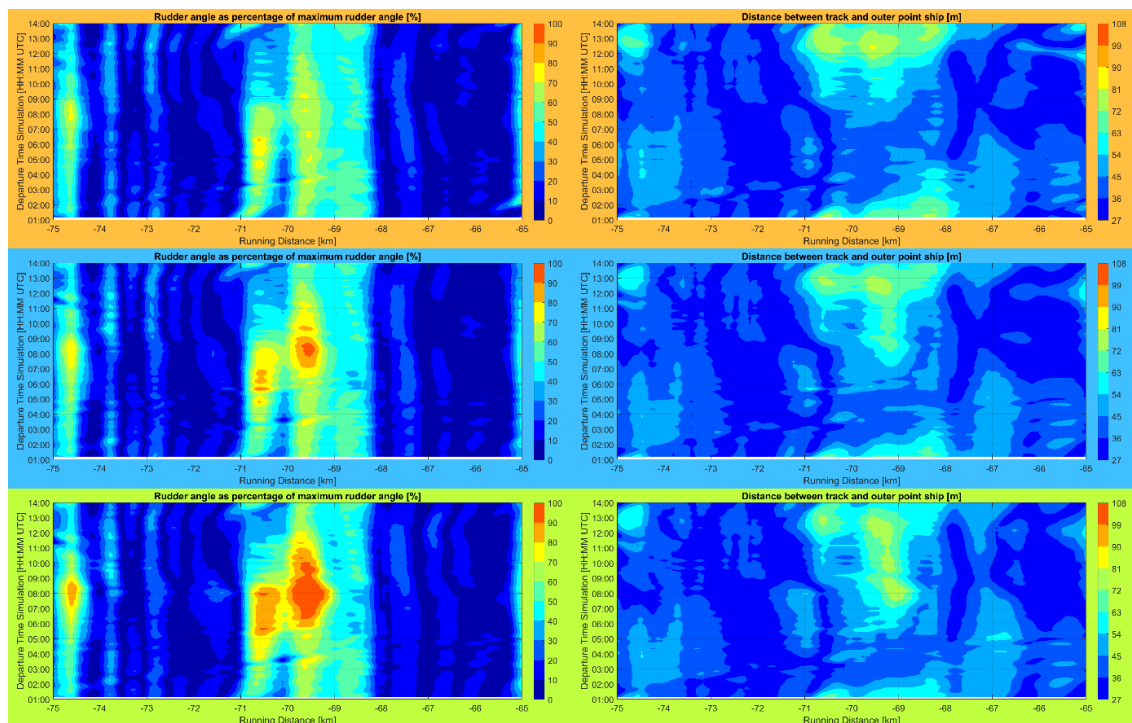


Figuur 15 – Roergebruik als percentage van de maximale roerhoek in functie van de afstand langs het traject en bij verschillende getij/stroomcondities





Figuur 17 – Vergelijking van het roergebruik en afstand tussen buitenste punt van het schip en de gewenste track voor de opvaart te Bath bij de bathymetrie van 2019 (boven), 2015 (midden) en 2011 (onder)



Figuur 18 – Vergelijking van het roergebruik en afstand tussen buitenste punt van het schip en de gewenste track voor de afvaart te Bath bij de bathymetrie van 2019 (boven), 2015 (midden) en 2011 (onder)

4 Conclusies en aanbevelingen

Naar aanleiding van de lopende voorbereidingen voor de vergunningsaanvraag voor de toekomstige stortstrategie (vanaf 2022) voor onderhoud in de Westerschelde, somt het Waterbouwkundig Laboratorium de aandachtspunten op gebaseerd op resultaten van wetenschappelijk onderzoek rond de hydro-morfologie en nautica. Deze nota brengt de focus op de nautisch meest uitdagende passages van Bath tot Ballastplaat en toont de wetenschappelijke inzichten met betrekking tot de mechanismen die meegenomen dienen te worden bij de finale vergunningsaanvraag.

Het al dan niet kunnen gebruiken van stortvakken hangt samen met de hydro-morfologische en ecologische aspecten in nauwe relatie met de toegankelijkheid voor de scheepvaart van de Westerschelde.

4.1 Conclusies

Voor de macrocellen 6 en 7 en de stortvakken SH61, SH71 en SH72 is het belangrijk om de hydro-morfologische eigenschappen te kennen als ook de invloed van een verondieping van deze vakken door storten op de manoeuvreerbaarheid van schepen in relatie tot het andere scheepvaartverkeer. Elk stortvak zou per effect (hydro-morfologie, ecologie en toegankelijkheid) een beoordelingscijfer kunnen krijgen zodat (negatieve) invloeden duidelijk zichtbaar worden. De gevolgen van ondoordacht storten in het Schelde-estuarium op de hydro-morfologie als ook op het scheepvaartverkeer, kunnen effecten hebben op elk van beiden of beiden samen.

De ruimtelijke variatie in sedimenttransport zorgt er voor dat de stabiliteit van de gestorte specie ook varieert. De stortvakken SH61 die tot en met 2021 worden gebruikt, tonen een eerder stabiel patroon met een afgezet sedimentvolume dat 62% bedraagt van het gestorte specievolume. Dit betekent dat in deze vakken een blijvende verondieping optreedt ten opzichte van de situatie van voor storten. De huidige gebruikte stortzone SH61 concentreert zich aan de rechteroeverzijde nabij boeien 66A en 66C waarbij een afvarend schip komende uit het Nauw van Bath een rechter traject kan varen. Het roergebruik neemt af waardoor reserve ontstaat om andere invloeden te compenseren en een verondieping niet nefast is.

De hydro-morfologie toont verder dat er in de toekomstige stortzones (SH61, SH71 en SH72) deelgebieden zijn met een smalle vaargeul, ondermeer door steile oevers, waar bij ontmoetingen tussen schepen een hoge blockage zal optreden als de verhouding tussen de doorsnedes van de schepen en de natte sectie van de vaargeul. Ter hoogte van de boeien 75 (groen) en 66C (rood) is de vaarwegbreedte tussen de boeien slechts 340 m (85% van een scheepslengte van 400 m) en bedraagt de radius slechts 1500 m (of 3,75 keer de scheepslengte van 400 m). Rekening houdend dat schepen in bochten gaan driften (hoe kleiner de radius hoe groter de drifthoek) en daardoor een breder pad gaan innemen, worden ontmoetingen tussen grotere schepen ter hoogte van boei 75 afgeraden. Elke vermindering van de kielspeling⁶ (bijvoorbeeld door storten) zoals in het resultaat voor 2011 in 3.2 leidt tot een grotere boogstraal om een koersverandering te kunnen realiseren en dus meer inname van ruimte. Ontmoetingen kunnen hierdoor op meer plaatsen dan nu wordt aangenomen vermeden moeten worden ten gevolge van het storten.

In een zone met grote boogstraal zal ook een helicoidale stroming ontstaan die een nadelige invloed kan hebben op de stabiliteit van de oevers met een risico voor plaatvallen. Steile oevers zijn bijkomend, ongeacht de invloed van deze helicoidale stroming, al meer onderhevig aan plaatvallen. Hoewel de rechteroever in het Nauw van Bath steiler is dan de linkeroever heeft een plaatval aan boei 75 in 2003 geleid tot een aanvaring tussen twee schepen met een stranden van de Pelican I. De roercapaciteit van het schip was onvoldoende

⁶ ruimte tussen kiel schip en bodem rivier

om de stuurboordbocht in opvaart te kunnen uitvoeren waardoor het schip aan de rode zijde van de vaargeul in aanvaring is gekomen met een afvarend schip.

Het definiëren van stortvakken op basis van zogenaamde putten of diepere zones in de hoofdvaargeul ter hoogte van de vakken SH61, SH71 en SH72, kan niet zonder de invloed op de manoeuvreerbaarheid van schepen voldoende in te schatten:

- De stortzones in de hoofdgeul vallen samen met de diepste delen in de vaargeul. Deze diepe delen liggen voornamelijk in de bochten, aangezien de lokale stromingspatronen hier een asymmetrisch diepteprofiel creëren met grotere dieptes ter hoogte van de buitenzijde van de bocht.
- Het baggeren wordt uitgevoerd om de drempels (veelal in de rechte rivierstukken voor of na bochten) op diepte te houden. Indien men de baggerspecie dichtbij de drempel én in de vaargeul wil storten, komt men met grote zekerheid in de aansluitende bochten terecht.
- In bochten hebben de schepen echter afhankelijk van hun diepgang en het getij, scheepsgrootte en interactie met andere scheepvaart voldoende roercapaciteit nodig om op een gewenste baan te blijven. Indien geen ontmoetingen moeten georganiseerd worden, verkiezen schepen midvaarwater te varen om de interactie met oevers te beperken. Bij ontmoetingen is dit echter niet mogelijk.
- Op rechte stukken is nog steeds roercapaciteit nodig om stroom- en windinvloeden te compenseren maar is deze minder dan in bochten met wind en stroom.
- Naar gelang de waterdiepte afneemt door afnemende tijstand of toegenomen stortvolume in een stortvak, zal een schip koersstabiel worden; dit betekent dat het moeilijker een koerswijziging (zoals noodzakelijk voor de bocht van Bath) zal kunnen realiseren.
- Bij gelijkblijvende waterdiepte (op basis van bodemligging en waterstand) zal bij een toenemende diepgang een zelfde vermindering van de kielspeling optreden met meer koersstabiliteit tot gevolg.

Er werden twee studies aangehaald met zones met specifieke aandacht. Enerzijds zijn er zones in de vaargeul waar ultra large containerschepen elkaar veilig kunnen passeren bij specifieke wind- en stroomcondities. Anderzijds wordt voor een 20000 TEU containerschip met een nagenoeg getijonafhankelijke diepgang onderzocht waar het schip op een baan op één derde van de vaarwegbreedte van de oever met voldoende reserve in roercapaciteit en afstand tot deze baan kan varen. Het opgebruiken van de volledige roercapaciteit of het te ver van de gewenste baan varen zijn situaties die men te allen tijde moet vermijden.

Voor manoeuvres uitgevoerd in de bathymetrie van 2019, blijkt dat bij eb- en vloedcondities nabij laagwater een situatie met weinig reserve ontstaat in het Nauw van Bath op één derde van de oevers. Indien ontmoetingen op- en afwaarts van boei 75 moeten mogelijk blijven (tweewegsvaarweg zodat de scheepvaartafwikkeling mogelijk blijft), is voldoende roercapaciteit nodig om een baan dicht bij de oever te volgen. Ter hoogte van de huidige SH61 stortzone aan de zijde van de rechteroever is deze reserve er dankzij het rechter traject voor een afvarend schip. In de opwaartse vaargeul ten opzichte van boei 75 is deze er echter niet door de noodzaak van het uitvoeren van het bochtmanoeuvre. Ter hoogte van de toekomstige stortzones SH72 en SH71 opwaarts boei 79⁷, is het traject minder bochtig, maar uit het onderzoek van de ontmoetingen blijkt dat door dwarsstroom deze zones bij vloed en eb niet noodzakelijk gewenste zones zijn om de bodemdiepte te verminderen door storten. Verdiepte zones buiten de vaargeul, bijvoorbeeld ter hoogte van boeien 72 en 74, zijn dan weer wel zones waar storten mogelijk kan zijn.

De vergelijking met bathymetrieën in 2011 en 2015 gaat niet helemaal op aangezien 20000 TEU containerschepen toen niet naar de Haven van Antwerpen voeren. Ondertussen is de maximale diepgang van de containerschepen ook toegenomen, met huidige proefvaarten in opvaart met diepgangen van 16,0 m in vergelijking met de eerdere diepgangen van 14,5 en 15,0 m in 2011 en later. De conclusie van hoofdstuk 3.2 wordt herhaald. Men zou op basis van de vergelijking tussen de bathymetrieën van 2011 tot 2019 kunnen besluiten dat de verdieping in de omgeving van de bocht van Bath een noodzakelijke evolutie is om de grotere en dieperliggende schepen veilig toe te laten tot de Westerschelde. Zolang de roercapaciteit

⁷ Een ongeveer aaneengesloten zone uitgezonderd de drempel van Bath.

maar heel tijdelijk voor 100% wordt ingezet, kan de toegankelijkheid nog gegarandeerd worden maar een te kleine reserve houdt grote risico's op incidenten in.

4.2 Aanbevelingen

De resultaten van voorgaand nautisch onderzoek en de monitoring van de stabiliteit van stortspecie in verschillende zones waardoor voor nog niet ingezette zones nog niet voldoende informatie is over de stabiliteit⁸, vereisen een diepgaandere analyse dan deze verkenning. Er is een prioritering van stortvakken noodzakelijk binnen de stortzones rekening houdend met verschillende functies die vervuld moeten worden (hydro-morfologie, ecologie en nautische toegankelijkheid). Een multicriteria-analyse van de stortvakken of clusters van stortvakken is noodzakelijk voor de drie functies zodat men een duidelijk beeld krijgt van het potentieel van de stortvakken. In dit verband houden de stortzones SH61, SH72 en SH71 eerder beperkt potentieel in na deze eerste verkenning. Onderzoek naar het potentieel op basis van alle functies is noodzakelijk als ook een afweging van de pros en cons door middel van bijvoorbeeld gewichten.

Aangezien het onderzoek, in 2008 internationaal gecommuniceerd naar de rederijen, gebaseerd is op scheepsgroottes en diepgangen die in 2021 achterhaald zijn, moet bijkomend onderzoek uitgevoerd worden. Om de bevaarbaarheid van de Westerschelde in de zone van Valkenisse tot voorbij de Ballastplaat te beoordelen voor noodzakelijke ontmoetingen tussen schepen is het daarom aangewezen om de realtime simulaties te herhalen met geactualiseerde bathymetrieën maar ook met de grootste containerschepen bij de grootste getijafhankelijke en getijonafhankelijke diepgang. Er wordt echter verwacht dat in de macrocellen 6 en 7 in de vaargeul weinig stortvakken beschikbaar zijn die geen nadelige invloed zullen hebben op de bevaarbaarheid omdat door oevereffecten, effect van stroming, wind en noodzakelijke koerswijziging in een krappe bocht de ontmoetingen door deze bijkomende effecten onveilig kunnen plaatsvinden. Het overgrote deel van de schepen zullen in gunstigere omstandigheden kunnen varen (midvaarwater, mildere wind- en stroomcondities) maar het volstaat dat één schip (bijvoorbeeld bij een getijonafhankelijke diepgang bij een conditie nabij laagwater en een ontmoeting in een verondiepte zone door storten) onvoldoende roercapaciteit bezit waardoor het uit de bocht gaat of uit de geul en strandt met mogelijk ecologische of operationele gevolgen.

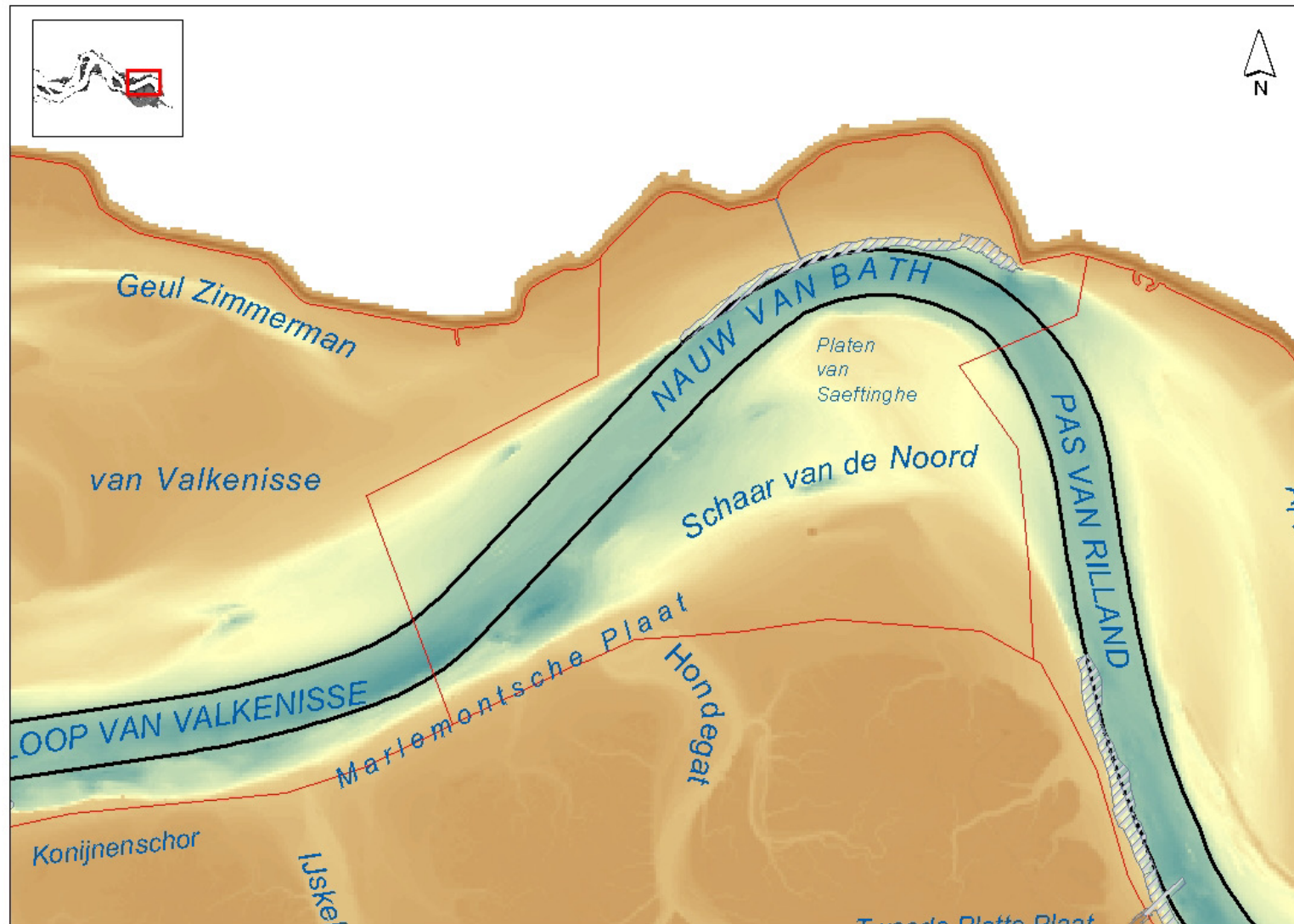
Indien bepaalde zones na onderzoek behouden worden voor storten is het initieel noodzakelijk om driemaandelijks de stabiliteit van de gestorte specie op te volgen om nadien mogelijk af te bouwen naar (half) jaarlijks. Het vullen van diepere zones met baggerspecie kan immers bij onstabiele stortvakken aanleiding geven tot een snelle verondieping door sedimentatie van nabijgelegen zones.

⁸ Zie bijvoorbeeld het grote verschil tussen de stabiliteit van 20 tot 30% gerapporteerd in 2015 en de vastgestelde 60% stabiliteit op basis van verondieping en gestorte specie in 2020.

5 Referenties

- Eloot, K.; Vantorre, M.; Mostaert, F.** (2004). Nautisch onderzoek Nauw van Bath. *WL Rapporten*, 771. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen
- Engelund, F.; Hansen, E.** (1967). A monograph on sediment transport in alluvial streams Technical.: Copenhagen K.
- IMDC.** (2015). Monitoringprogramma Flexibel Storten - Analyse van stortingen in de diepe delen van de hoofdgeul - jaarrapport 2014
- IMDC.** (2021). Toelichtingsnota bij de aanvraag voor een vergunning op grond van de Ontgrondingswet. 16 pp.
- Maris, T.; Bruens, A.; Duren, L. van; Vroom, J.; Holzhauer, H.; Jonge, M. De; Van Damme, S.; Nolte, A.; Kuijper, K.; Taal, M.; Jeuken, C.; Kromkamp, J.; Van Wesenbeeck, B.; Ryckegem, G. Van; Bergh, E. Van den; Wijnhoven, S.; Meire, P.** (2014). Evaluatiemethodiek Schelde-estuarium - Update 2014. 356 pp.
- Plancke, Y.; De Schrijver, M.; Meire, D.; Mostaert, F.** (2017a). Overleg Flexibel Storten: deelrapport 20. Analyse van de waterbeweging, het sedimenttransport en de morfologie nabij de Hooze Platen. versie 1.0. *WL Rapporten*, 00_031_20. Rijkswaterstaat, Zee en Delta: Antwerpen; Middelburg. Available at: <http://documentatiecentrum.watlab.be/owa/imis.php?module=ref&refid=292109>
- Plancke, Y.; Schrijver, M.; Meire, D.; Mostaert, F.** (2017b). 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. Rijkswaterstaat, Zee en Delta: Antwerpen; Middelburg. Available at: <http://documentatiecentrum.watlab.be/owa/imis.php?module=ref&refid=292110>
- Tractebel; IMDC.** (2021). Stortstrategie Westerschelde – Passende Beoordeling en soortbeschermingstoets. 120 pp.
- van den Ham, G.A.; Mastbergen, D.R.; Koelewijn, A.R.; ter Brake, C.K.E.; Zomer, W.S.** (2015). Eindrapport validatie-experiment zettingsvloeiing: meten aan zettingsvloeiing. *Rapport / Stichting IJkdijk;2015-08*. Stichting IJkdijk: Groningen. ISBN 9789057736728. Available at: <https://edepot.wur.nl/368967>
- Verwilligen, J.; Eloot, K.; Mostaert, F.** (2009). Haven van Antwerpen. Op- en afvaartregeling 13000 TEU containerschepen. Simulatiestudie. *WL Rapporten*, 807_02. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen
- Verwilligen, J.; Vantorre, M.; Eloot, K.; Mostaert, F.** (2007). Op- en afvaartregeling voor 8000 (en meer) TEU containerschepen tot de haven van Antwerpen bij een maximale diepgang van 145DM: deelopdracht 5(b)(ii). Real-time simulatieprogramma (oktober 2007). *WL Rapporten*, 689/4. Waterbouwkundig Laboratorium/Universiteit Gent. Afdeling Maritieme Techniek: Antwerpen
- Verwilligen, J.; Vantorre, M.; Eloot, K.; Mostaert, F.** (2008). Op- en afvaartregeling voor 8000 (en meer) TEU containerschepen tot de haven van Antwerpen bij een maximale diepgang van 145DM: publiek rapport. *WL Rapporten*, 689_04. Waterbouwkundig Laboratorium/Universiteit Gent. Afdeling Maritieme Techniek: Antwerp
- Vos, G.; Plancke, Y.; Mostaert, F.** (2012). Overleg flexibel storten: methodologie opvolging plaatrandstortingen. *WL Rapporten*, 00_031. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen

Bijlage Overzichtskaart



Figuur 19 – Overzicht interessegebied met namen van geulen en platen

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