

19\_014\_1 WL rapporten

## Evolutie van de bathymetrie rond Wintam

Bathymetrische analyse

DEPARTEMENT MOBILITEIT & OPENBARE WERKEN

waterbouwkundiglaboratorium.be

## Evolutie van de bathymetrie rond Wintam

Bathymetrische analyse

Meire, D.; Vos, G.; D'Haese, W.; De Maerschalck, B.



Cover figuur © Vlaamse overheid, Departement Mobiliteit en Openbare Werken, Waterbouwkundig Laboratorium

#### 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 2022 D/2022/3241/078

Deze publicatie dient als volgt geciteerd te worden:

Meire, D.; Vos, G.; D'Haese, W.; De Maerschalck, B. (2022). Evolutie van de bathymetrie rond Wintam: Bathymetrische analyse. Versie 5.0. WL Rapporten, 19\_014\_1. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen.

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

#### Documentidentificatie

Opdrachtgever:	De Vlaamse Waterweg		Ref.:	WL2022F	819_014_1
Keywords (3-5):	Wintam, hompel, baggeren				
Kennisdomeinen:	Hydraulica en Sediment > Morfol Hydraulica en Sediment > Sedime Hydraulica en Sediment > Hydrod desktoponderzoek	ogie > Erosie & ent > Sediment lynamica > Str	& Sedimer transport oomsnelh	tatie > in s > Literatu eden -en p	situ metingen ur- en desktoponderzoek patronen > Literatuur- en
Tekst (p.):	38		Bijlagen	(p.):	18
Vertrouwelijk:	⊠ Nee	🛛 Online be	schikbaar		

Auteur(s): Meire, D.; Vos, G.; D'Haese, Wouter;

#### Controle

	Naam	Handtekening
Revisor(en):	De Maerschalck, B.	Getekend door:Sart De Maschalak (Sig Getekend op:2022-07-18 fc:33:18 +02:0 Reden:Ik keur dit document goed Baar De Haseclaits
Projectleider:	Meire, D.	Getekend goor:Dieter Meire (Signature) Getekend op:2022-07:27 15:57:44 +02:0 Reden:1k keur dit document goed

#### Goedkeuring

Afdelingshoofd:	Bellafkih, K.	Getekend dor:Abdelkarim Belafkih (Sig Getekend op:2022-07-06 10:43:10 +02:0 Reden:Ik keur dit document goed <i>Abresnain Besafai</i>
-----------------	---------------	---



### Abstract

In deze studie werd de morfologische situatie nabij de sluis van Wintam bestudeerd. Deze zone wordt gekenmerkt door de toegangsgeul naar de sluis enerzijds en anderzijds de Rupel die uitmondt in de Schelde in deze zone.

Op basis van de morfologische evoluties en de bodemvormen werd een inschatting gemaakt van de sedimentbeweging in de beschouwde zone, en de variatie ervan ten gevolge van variaties in de bovenafvoer. In de Zeeschelde kan in het noordelijke gedeelte duidelijk een transport in afwaartse richting worden waargenomen. Aan de zuidelijke zijde vormt zich een wig met duinvorm, die op- en afwaarts beweegt, afhankelijk van de bovenafvoer. Gedurende periodes met een lage bovenafvoer wordt stroomopwaartse migratie van de duin waargenomen, met een snelheid van 10 tot 20 m per maand. Bij periodes van verhoogde afvoer migreert deze duin weer in afwaartse richting. Baggerwerkzaamheden hebben het niveau van de hompel, gelegen juist voor de toegangsgeul van Wintam, verlaagd. De huidige baggerwerkzaamheden lijken voldoende om de hoogte van de hompel constant te houden. Op de Rupel is over de periode 2003 – 2015 een duidelijke uitgroei van een plaat aan de rechteroever waar te nemen. Deze groei lijkt momenteel gestabiliseerd en een aantal duinstructuren lijken hier relatief standvastig voor te komen. Gedurende periodes met hogere bovenafvoer op de Rupel bewegen de duinen in afwaartse richting.

# Inhoudstafel

Abstract III
InhoudstafelV
Lijst van de tabellenVI
Lijst van de figurenVI
1 Situering 1
1.1 Sluis van Wintam 1
1.2 Onderhoudsbaggerwerken & zandwinning1
2 Analyse getij 4
3 Bathymetrische analyse
3.1 Methodiek
3.1.1 Dataverwerving
3.1.2 Dataverwerking
3.2 Analyse Rupel
3.2.1 Algemeen
3.2.2 Evolutie 2003 – 2015
3.2.3 Recente evoluties
3.3 Analyse hompel 22
3.4 Analyse Zeeschelde
3.5 Analyse toegangsgeul
4 Analyse van stromings- en sedimentbeweging
4.1 Beschrijving huidige situatie
4.2 Aanbeveling
5 Conclusies
6 Referenties
Bijlage 1 Profielen van de Rupel
Bijlage 2 Verschilgrids
Bijlage 3 Bathymetrische gridsB7

# Lijst van de tabellen

Tabel 1 – Overzicht van de geselecteerde multibeam peilingen	8
Tabel 2 – Verwerkingsparameters dieptepeilingen	. 10

# Lijst van de figuren

Figuur 1 – Situering van het studiegebied met de sluis van Wintam en Rupelmonding 1
Figuur 2 – Overzicht van baggerhoeveelheden en zandwinning in de Zeeschelde bij Wintam/Rupelmonding2
Figuur 3 – Indicatie van de trajecten van het sleepbaggeren op 25/07/2014 in de toegangsluis naar Wintam, AIS tracks ploegboot <i>Follow-Me</i>
Figuur 4 – Overzicht van de jaargemiddelde hoogwaters te Antwerpen, Temse en Rumst voor de periode 2000 – 2019
Figuur 5 – Overzicht van de jaargemiddelde laagwaters te Antwerpen, Temse en Rumst voor de periode 2000 – 2019.
Figuur 6 – Tijdsverschil tussen Antwerpen en Temse / Rumst voor hoogwater (onder) en laagwater (boven).
Figuur 7 – Situering van de dwarsprofielen in de Rupelmonding12
Figuur 8 – Situering van het lengteprofiel in de Rupelmonding 12
Figuur 9 – Selectie van bathymetrische opnames (jan 2013, maart 2016, jan 2018 en jan 2020) voor de vier dwarstransecten in de Rupel
Figuur 10 – Evolutie van de doorsnede van de bedding van de Rupel ter hoogte van 4 raaien. Oppervlakte onder het niveau -1 m LAT
Figuur 11 – Evolutie van de Rupelmonding van 2003 tot 2015 14
Figuur 12 – Evolutie langsheen raai 5 tussen 2003 en 2015, opgedeeld in een periode 2003 tot 2009 (links) en 2009 tot 2015 (rechts)
Figuur 13 – Overzicht van recente evoluties in de Rupelmonding17
Figuur 14 – Baggerlocatie op de Rupelplaat in januari - maart 201918
Figuur 15 – Lengteprofiel van de slibplaat (Figuur 8) met de monding in de Zeeschelde aan de rechter kant. 
Figuur 16 – Ligging van de top van de duienn t.o.v. zijn evenwichtspositie (x = 0) (boven) en hoogte van de duin (onder) in relatie met het gemiddeld debiet van de Rupel tussen 2 peilingen [m <sup>3</sup> /s]
Figuur 17 – Bathymetrie van de Rupelmonding met aanduiding van de duinstructuren op de binnenbocht. 
Figuur 18 – Verschilgrid van de Rupelmonding met aanduiding van de kamlijnen van de duinvormen en de scheiding tussen eb- en vloedgedomineerde migratie
Figuur 19 – Situering van de raai doorheen de hompel en ter hoogte van de toegangsgeul van de sluis te Wintam
Figuur 20 – Langjarige evolutie (2000 – 2020) van de zone rondom de hompel 23
Figuur 21 – Maandelijks profiel van de zone rondom de hompel in de periode 2016 - 2017 24
Figuur 22 – Maandelijks profiel van de zone rondom de hompel in de periode 2017 - 2019 26
Figuur 23 – Positie van hompel en duin aan het begin van het winterseizoen, voor opeenvolgende jaren (2017 – 2019)

Figuur 24 – Positie van de top van de duin (links) en hoogte van de duin (rechts) in relatie met de debieten Melle	ı te 27
Figuur 25 – Relatie tussen de gemiddelde () en maximale (-) diepteligging van de zone van de hompel, m aanduiding van gemiddeld debiet tussen 2 peilingen	net 28
Figuur 26 – Verschillende zones in de Zeeschelde (links) en locatie ligging profiel Zeeschelde (rechts)	28
Figuur 27 – Migratie van bodemvormen in periode mei 2017 – november 2017 op een raai in de Zeeschel	lde 29
Figuur 28 – Evolutie van de bathymetrie in de toegangsgeul	30
Figuur 29 – Verloop van de snelheid over 1 springtij juist opwaarts op de Schelde (boven), juist afwaarts de Schelde (midden) en in de Rupelmonding (onder)	ор 33
Figuur 30 – Residuele stromingspatronen over een springtij-doodtij cyclus	34
Figuur 31 – Inschatting van sedimentbeweging bij lage bovenafvoeren (links) en hoge bovenafvoeren (rech	its) 35
Figuur 32 – Indicatie van huidige en voorgestelde vaargeul	36
Figuur 33 – Evolutie van de volumes sediment boven 5,8 m LAT	36
Figuur 34 – Bathymetrische evolutie voor de periode 24/10/1997 – 13/01/2003	Β7
Figuur 35 – Bathymetrische evolutie voor de periode 4/12/2003 – 8/1/2009	B8
Figuur 36 – Bathymetrische evolutie voor de periode 15/12/2009 – 21/6/2013	В9
Figuur 37 – Bathymetrische evolutie voor de periode 17/10/2013 – 3/12/2014B	\$10
Figuur 38 – Bathymetrische evolutie voor de periode 27/2/2015 – 30/5/2016B	311
Figuur 39 – Bathymetrische evolutie voor de periode 14/7/2016 – 10/11/2016B	512
Figuur 40 – Bathymetrische evolutie voor de periode 9/12/2016 – 21/4/2017B	513
Figuur 41 – Bathymetrische evolutie voor de periode 19/5/2017 – 13/10/2017B	514
Figuur 42 – Bathymetrische evolutie voor de periode 9/5/2018 – 3/10/2018B	515
Figuur 43 – Bathymetrische evolutie voor de periode 6/11/2018 – 1/3/2019B	516
Figuur 44 – Bathymetrische evolutie voor de periode 18/3/2019 – 8/8/2019B	517
Figuur 45 – Bathymetrische evolutie voor de periode 10/9/2019 – 6/1/2020B	18

# 1 Situering

In Figuur 1 is een overzicht weergegeven van het studiegebied. Aan de rechter Schelde oever komt zowel de toegangsgeul naar de zeesluis van Wintam als de monding van de Rupel uit. De Rupelmonding wordt gekarakteriseerd door een diepere buitenbocht en een plaat aan de binnenbocht, die doorloopt tot in de Schelde in een V-vormige wig. Voor de toegangsgeul wordt de laatste jaren een ondiepere zone waargenomen, een hompel, die reeds enkele keren werd weggebaggerd.



Figuur 1 – Situering van het studiegebied met de sluis van Wintam en Rupelmonding

### 1.1 Sluis van Wintam

Het sluizencomplex van Wintam vormt de verbinding tussen de Zeeschelde en het kanaal Brussel – Schelde. De zeesluis geeft toegang voor schepen naar het kanaal voor schepen tot 4500 ton en duwkonvooien tot 9000 ton. De nieuwe Zeesluis heeft een lengte van 250 meter en is 25 meter breed. De maximale diepgang in de sluis is 8,8 meter (Levy et al., 2017). De sluis kan schepen met een capaciteit tot 10000 ton versassen.

### 1.2 Onderhoudsbaggerwerken & zandwinning

Aan de kant van de Zeeschelde wordt de toegangsgeul tot de zeesluis gegarandeerd door baggerwerkzaamheden. Ook vindt er zandwinning plaats in deze zone. In Figuur 2 is een overzicht gegeven van de baggerhoeveelheden en zandwinning in de Zeeschelde nabij de sluis van Wintam en de Rupelmonding

Zandwinning schommelt rond 40 000 m<sup>3</sup>, met enkele uitschieters (ca. 80 000 m<sup>3</sup> in 2010 en ca. 60 000 m<sup>3</sup> in 2015). Na 2015 is deze zandwinning duidelijk lager en schijnt deze gestopt te zijn in 2017. Sinds 2016 is het *Duurzaam Beheerplan Boven*-Zeeschelde van kracht. Het Duurzaam Beheerplan is onder andere gericht op het beperken van de sedimentontrekking. De baggerhoeveelheden die zijn weergegeven, data van dienst Maritieme Toegang en De Vlaamse Waterweg, zijn duidelijk stijgend de laatste jaren en overtreffen ook de zandwinningshoeveelheden van voorheen. De baggerhoeveelheden voor DVW behelsen de plaat op de Rupel en rond de caisson, deze voor aMT zijn ter hoogte van de vaargeul. Er wordt eveneens continu gebaggerd met een ploeg (*sweepbeam*) ter hoogte van de toegangssluis. Het sediment wordt met behulp van een ploeg gesleept naar de Schelde geul waar het onder invloed van de getijstroming (gedeeltelijk) verder verspreid kan worden. Een voorbeeld van deze activiteiten, aan de hand van trajecten, is weergegeven in Figuur 3. Deze activiteiten zijn niet opgenomen in Figuur 2 aangezien deze zich beperken tot de voorhaven van de sluis, en het sediment lokaal verplaatsen maar niet verwijderen.



Figuur 2 – Overzicht van baggerhoeveelheden en zandwinning in de Zeeschelde bij Wintam/Rupelmonding

In de recente periode werden een aantal specifieke baggerwerken uitgevoerd, die hieronder zijn opgelijst:

- <u>2017</u> (februari maart): Er situeren zich twee problemen in het overgangsgebied tussen de Rupelmonding, de Zeeschelde en de toegangsgeul naar de zeesluis van Wintam. Enerzijds is er de aangroei van de hompel, anderzijds is er de erosiekuil rond de caisson die het uiteinde van de toegangsgeul vormt en die haar stabiliteit in het gedrang dreigt te brengen. Bij wijze van oplossing is de hompel afgegraven en heeft men de vrijgekomen specie gebruikt om de overdiepte rond de caisson op te vullen. Bij de afgraving is om en bij de 17 000 m<sup>3</sup> specie verwijderd. (Zie Figuur 13 bovenaan)
- **2018** (mei): 9700 m<sup>3</sup> specie wordt verwijderd ter hoogte van de hompel
- <u>2019 (januari maart)</u>: 28 000 m<sup>3</sup> specie wordt verwijderd aan de plaat in de binnenbocht van de Rupelmonding

De verschilplots van peilingen voor en na de werken zijn opgenomen in Bijlage 2.



Figuur 3 – Indicatie van de trajecten van het sleepbaggeren op 25/07/2014 in de toegangsluis naar Wintam, AIS tracks ploegboot Follow-Me. Blauw: snelheid <1 m/s, rood: snelheid > 1 m/s (geen ploeg over de bodem) (uit Levy et al., 2017)

# 2 Analyse getij

De bathymetrische analyse (beschreven in hoofdstuk 3) omspant een periode van peilingen van ca. 20 jaar, van eind jaren '90 tot 2019. Aan de hand van de tijstations te Antwerpen, Temse en Rumst wordt nagegaan of gedurende deze periode opmerkelijke wijzigingen vast te stellen zijn die gekoppeld kunnen worden aan morfologische veranderingen. Antwerpen is ongeveer 14 km afwaarts van Wintam, Temse ongeveer 6,5 km opwaarts langs de Boven-Zeeschelde, Rumst/Walem ongeveer 11,7 km opwaarts langs de Rupel.

In Figuur 4 is een overzicht weergegeven van de evolutie van de jaargemiddelde hoogwaters te Antwerpen, Temse en Rumst en ook een P10 en P90 percentiel berekend per jaar. De metingen van de gemiddelde hoogwaters te Temse en Rumst zijn voor de hele periode haast identiek. Het verschil in hoogwaterstanden tussen Antwerpen enerzijds en Temse/Rumst anderzijds bedraagt gemiddeld 0,24 m. De variatie in hoogwaterstanden is iets groter te Temse dan te Rumst. Er kunnen geen duidelijke trends worden waargenomen gedurende de beschouwde periode.



Figuur 4 – Overzicht van de jaargemiddelde hoogwaters te Antwerpen, Temse en Rumst voor de periode 2000 – 2019. Zowel de jaargemiddelde hoogtes (volle lijn) als het P10 (---) en P90 (...) percentiel per jaar zijn weergegeven.

In Figuur 5 is een overzicht weergegeven van de evolutie van de jaargemiddelde laagwaters te Antwerpen, Temse en Rumst en ook een P10 en P90 percentiel berekend per jaar. De laagwaters in Temse zijn gemiddeld 0,08 m hoger dan deze te Antwerpen. De laagwaters te Rumst zijn gemiddeld 0,39 m hoger dan deze te Antwerpen. De laagwaters in Rumst lijken de laatste jaren iets te dalen (ook t.o.v. Antwerpen), een fenomeen dat ook zou kunnen gerelateerd zijn aan variatie in de bovenafvoeren. Voor de laagste laagwaters lijkt er een duidelijke knik op te treden in 2010-2011, maar deze lijkt zich daarna te herstellen, waardoor het verschil over de beschouwde periode verwaarloosbaar is. In Figuur 6 is ook het tijdsverschil weergegeven tussen hoogwater in Antwerpen en hoogwaters te Temse / Rumst (Figuur 6, links) en het tijdsverschil tussen laagwater in Antwerpen en laagwaters te Temse / Rumst (Figuur 6, rechts). Ook hier zijn geen duidelijke trends over de voorbije jaren te onderscheiden.



Figuur 5 – Overzicht van de jaargemiddelde laagwaters te Antwerpen, Temse en Rumst voor de periode 2000 – 2019. Zowel de jaargemiddelde hoogtes (volle lijn) als het P10 (---) en P90 (...) percentiel per jaar zijn weergegeven.



Figuur 6 – Tijdsverschil tussen Antwerpen en Temse / Rumst voor hoogwater (onder) en laagwater (boven). Zowel de jaargemiddelden (-) als P90 (--) en P10 (...) percentiel zijn weergegeven

## 3 Bathymetrische analyse

### 3.1 Methodiek

Deze paragraaf behandelt het dataverwervings- en verwerkingsproces. Eerst wordt er stilgestaan bij de beschikbaarheid en de selectie van de verschillende gebruikte datasets. Nadien wordt het verwerkingsproces nader toegelicht.

### 3.1.1 Dataverwerving

In het kader van de bathymetrische analyse kan beroep gedaan worden op een collectie met maandelijkse peilingen van de toegangsgeul naar de zeesluis van Wintam. Deze worden uitgevoerd door Vlaamse Hydrografie – Afdeling Kust – Agentschap Maritieme Dienstverlening en Kust. Deze peilingen bevatten naast de toegangsgeul ook het aanliggende deel van de Zeeschelde en de Rupelmonding en omspannen aldus het volledige studiegebied. Naast deze grote dataset zijn er ook sporadische dieptepeilingen van de Rupel en de Zeeschelde beschikbaar die uitgevoerd worden in opdracht van de Vlaamse Waterweg. Beide datasets zijn consulteerbaar via respectievelijk de TRITON databank van Vlaamse Hydrografie of de databank van de Vlaamse Waterweg. Sinds de oplevering van het sluizencomplex bij Wintam (1997) zijn aldus 192 peilingen uitgevoerd die potentieel in aanmerking komen voor analyse in deze studie. Er werd een selectie gemaakt van peilingen die opgenomen worden in deze studie, op basis van volgende criteria:

- De studie handelt over de actuele verzandingsproblematiek. Daarom wordt er gefocust op de **meest** recente data.
- Het is hoogstens de bedoeling om een algemeen beeld te schetsen van de ontwikkelingen die leiden tot de actuele situatie. Daarom wordt er naar gestreefd om slechts een beperkt aantal peilingen uit de periode 2000 – 2015 te betrekken in de analyse.
- **Datakwaliteit**: peilingen van eind de jaren '90 zijn uitgevoerd met Single Beam (SB), recentere peilingen met Multibeam (MB). Aangezien MB-peilingen een veel gedetailleerder en kwalitatiever beeld opleveren worden de SB-peilingen niet weerhouden.

Uit de volledige set worden op basis van bovenstaande criteria uiteindelijk 73 peilingen geselecteerd. Vanaf november 2001 tot begin 2013 wordt er jaarlijks 1 peiling geselecteerd met een tijdsinterval van ongeveer 1 jaar. Aldus is het mogelijk om een algemeen beeld te schetsen van de evolutie in het recente verleden. Vanaf 2013 tot begin 2016 wordt de temporele resolutie opgedreven naar 1 peiling per kwartaal. Deze periode komt overeen met de analyseperiode van Levy *et al.* (2017). Vanaf 2016 worden alle beschikbare data geanalyseerd. Enerzijds omdat dit de meest recente data zijn, anderzijds omdat deze peilingen nog niet geanalyseerd zijn in voorgaand onderzoek.

### 3.1.2 Dataverwerking

#### Basisverwerking

De bathymetrische analyse steunt op dieptepeilingen die verwerkt worden tot rastergrids. Op basis van deze rastergrids kunnen dan profielen en verschilkaarten aangemaakt worden die samen de bouwstenen leveren om de hydrologische en sedimentologische dynamiek van de Rupelmonding beter te begrijpen. Vooraleer het zover is moeten er echter een aantal stappen doorlopen worden om bruikbare data te verkrijgen.

De eerste stap in het dataverwerkingsproces is het in kaart brengen van de eigenschappen van de verschillende dieptepeilingen (Tabel 1). De peildata wordt ruimtelijk gevisualiseerd in een bepaald coördinatensysteem en de diepte van de waterkolom wordt uitgedrukt tegenover een bepaald reductievlak. Historisch gezien werd dieptedata die gegenereerd werd in opdracht van Vlaamse Hydrografie uitgedrukt in GLLWS. In de loop van 2008 is men echter overgeschakeld naar LAT. Ook het gebruikte projectiesysteem van de peilingen van Vlaamse Hydrografie is in 2011 gewijzigd: men schakelde toen over van WGS84UTM31n naar ETRS89UTM31n. De peilingen in opdracht van de Vlaamse Waterweg worden uitgevoerd in ETRS89UTM31n / TAW. Aangezien de meest voorkomende combinatie van projectiesysteem / reductievlak ETRS89UTM31n / LAT is, wordt er beslist om deze combinatie te gebruiken voor deze studie en alle afwijkende data te transformeren om conform te zijn met deze referentiesysteem.

Naam peiling	Reductievlak	Projectiesysteem
011128_RUPELMND_MB_95	GLLWS	WGS84UTM31n
030113_RUPELMND_MB_300	GLLWS	WGS84UTM31n
031204_RUPELMND_MB_300	GLLWS	WGS84UTM31n
050107_RUPELMND_MB_300	GLLWS	WGS84UTM31n
051213_RUPELMND_MB_300	GLLWS	WGS84UTM31n
061214_RUPELMND_MB_300	GLLWS	WGS84UTM31n
071205_RUPELMND_MB_300	GLLWS	WGS84UTM31n
090108_RUPELMND_MB_300	LAT	WGS84UTM31n
091215_RUPELMND_MB_300	LAT	WGS84UTM31n
101201_RUPELMND_MB_300	LAT	WGS84UTM31n
111222_RUPELMND_MB_300	LAT	ETRS89UTM31n
130109_RUPELMND_MB_300	LAT	ETRS89UTM31n
130307_RUPELMND_MB_300	LAT	ETRS89UTM31n
130621_RUPELMND_MB_400	LAT	ETRS89UTM31n
131017_RUPELMND_MB_300	LAT	ETRS89UTM31n
140110_RUPELMND_MB_300	LAT	ETRS89UTM31n
140320_RUPELMND_MB_400	LAT	ETRS89UTM31n
140618_RUPELMND_MB_300	LAT	ETRS89UTM31n
140905_RUPELMND_MB_400	LAT	ETRS89UTM31n
141203_RUPELMND_MB_400	LAT	ETRS89UTM31n
150227_RUPELMND_MB_300	LAT	ETRS89UTM31n
150526_RUPELMND_MB_300	LAT	ETRS89UTM31n
150909_RUPELMND_MB_300	LAT	ETRS89UTM31n
151222_RUPELMND_MB_300	LAT	ETRS89UTM31n
160317_RUPELMND_MB_300	LAT	ETRS89UTM31n

160530_RUPELMND_MB_300	LAT	ETRS89UTM31n
160714_RUPELMND_MB_300	LAT	ETRS89UTM31n
160804_RUPELMND_MB_400	LAT	ETRS89UTM31n
160826_RUPELMND_MB_300	LAT	ETRS89UTM31n
160914_RUPELMND_MB_400	LAT	ETRS89UTM31n
161012_RUPELMND_MB_400	LAT	ETRS89UTM31n
161110_RUPELMND_MB_300	LAT	ETRS89UTM31n
161209_RUPELMND_MB_400	LAT	ETRS89UTM31n
170110_RUPELMND_MB_400	LAT	ETRS89UTM31n
170207_RUPELMND_MB_400	LAT	ETRS89UTM31n
170221_RUPELMND_MB_400	LAT	ETRS89UTM31n
170323_RUPELMND_MB_400	LAT	ETRS89UTM31n
170421_RUPELMND_MB_400	LAT	ETRS89UTM31n
170519_RUPELMND_MB_300	LAT	ETRS89UTM31n
170620_RUPELMND_MB_400	LAT	ETRS89UTM31n
170718_RUPELMND_MB_400	LAT	ETRS89UTM31n
170816_RUPELMND_MB_400	LAT	ETRS89UTM31n
170907_RUPELMND_MB_400	LAT	ETRS89UTM31n
171013_RUPELMND_MB_400	LAT	ETRS89UTM31n
171113_RUPELMND_MB_300	LAT	ETRS89UTM31n
171128_RUPELMND_MB_400	LAT	ETRS89UTM31n
180112_RUPELMND_MB_400	LAT	ETRS89UTM31n
180209_RUPELMND_MB_300	LAT	ETRS89UTM31n
180312_RUPELMND_MB_300	LAT	ETRS89UTM31n
180410_RUPELMND_MB_400	LAT	ETRS89UTM31n
180509_RUPELMND_MB_300	LAT	ETRS89UTM31n
180606_RUPELMND_MB_300	LAT	ETRS89UTM31n
180705_RUPELMND_MB_400	LAT	ETRS89UTM31n
180806_RUPELMND_MB_300	LAT	ETRS89UTM31n
180904_RUPELMND_MB_400	LAT	ETRS89UTM31n
181003_RUPELMND_MB_400	LAT	ETRS89UTM31n
181106_RUPELMND_MB_300	LAT	ETRS89UTM31n
181203_RUPELMND_MB_300	LAT	ETRS89UTM31n
190103_2859_RM_MB_300	LAT	ETRS89UTM31n
190129_5975_TMRM_MB_400	TAW	ETRS89UTM31n
190301_6067_RUPEL_MB_400	TAW	ETRS89UTM31n
190318_5864_RM_MB_400	LAT	ETRS89UTM31n
190416_5954_RM_MB_300	LAT	ETRS89UTM31n
190514_6039_RM_MB_300	LAT	ETRS89UTM31n
190625_6147_RM_MB_400	LAT	ETRS89UTM31n
190710_6184_RM_MB_300	LAT	ETRS89UTM31n
190808_6274_RM_MB_400	LAT	ETRS89UTM31n
190910_6338_RM_MB_300	LAT	ETRS89UTM31n
191007_6402_RM_MB_300	LAT	ETRS89UTM31n
191107_6481_RM_MB_400	LAT	ETRS89UTM31n
191205_6540_RM_MB_400	LAT	ETRS89UTM31n
200106_6597_RM_MB_300	LAT	ETRS89UTM31n

Vervolgens kan de eigenlijke verwerking van de dieptepeilingen tot rastergrids worden aangevat. Deze wordt uitgevoerd in het GIS-programma *ESRI ArcMap*. Via een bulkexport uit de TRITON-databank worden de geselecteerde peilingen verkregen. De bestanden bevatten 1 dieptewaarde per vierkante meter, hetgeen na het verwerkingsproces een gridresolutie van 1 m<sup>2</sup> toelaat. De bestanden bevatten positieve dieptewaarden, dit betekent dat dieptewaarden onder het 0-niveau van het reductievlak als positieve getallen gerekend worden. De bestanden staan in deze fase in het .csar-formaat, een dataformaat dat verdere verwerking vereist. Twee op maat gemaakte scripts binnen *ESRI ArcMap* transformeren de bestanden eerst naar het ASCII-formaat, zetten deze bestanden vervolgens om tot puntenshapefiles en interpoleren deze shapefiles tot slot via de *Inverse Distance Weighting*-techniek tot rastergrids. De scripts spreken daarbij de ingebouwde functies *ASCII3D to feature class* en *IDW* van *ESRI ArcMap* aan. Het grote voordeel van deze manier van werken is dat de scripts toelaten om de workflow voor de 73 verschillende peilingen te automatiseren. Tabel 2 geeft meer informatie m.b.t. de precieze verwerkingsparameters van elke functie.

Parameters
Input File Format: XYZ
Output Feature Class Type: MULTIPOINT
Z Factor: 1
Coördinate System: WGS84UTM31n / ETRS89UTM31n
Average Point Spacing: 1
Decimal Separator: DECIMAL_POINT
Output cell size: 1

De brondata die aangeleverd worden in WGS84UTM31n hebben een extra verwerkingsstap nodig om rastergrids te bekomen in ETRS89UTM31n. Vooraleer de interpolatie van de puntenshapefile via *IDW* plaatsvindt wordt er een transformatie van deze puntenshapefile naar het juiste projectiesysteem uitgevoerd. Daarvoor wordt de ingebouwde *Project*-functie van *ESRI ArcMap* gebruikt. De data die in GLLWS aangeleverd worden hebben tot slot ook nog een extra verwerkingsstap nodig: opdat rastergrids in LAT bekomen worden, wordt op het einde van het verwerkingsproces het verkregen rastergrid samengeteld met een conversiegrid GLLWS-LAT. Daarvoor wordt beroep gedaan op de ingebouwde *Raster Calculator*-functie van *ESRI ArcMap*, die het mogelijk maakt om wiskundige bewerkingen uit te voeren met de celwaarden van rastergrids. Het resultaat wordt opgeslagen als een nieuw grid.

#### Aanmaak profielen

De voltooiing van de rastergrids in ETRS89UTM31n / LAT biedt de mogelijkheid om twee extra resultaten aan te maken die zullen helpen bij de analyse van de Rupelmonding. Het eerste is de aanmaak van lengte- en dwarsprofielen. De resolutie van de rastergrids laat toe om per meter een punt te bemonsteren waardoor zelfs van kleine bodemvormen de evolutie kan geanalyseerd worden.

De gevolgde verwerkingsstappen om in *ESRI ArcMap* tot een profiel te komen op basis van een rastergrid zijn de volgende:

- Eerst wordt de ligging van het profiel bepaald. Eens dit het geval is wordt een puntenshapefile aangemaakt die het volledige profiel bedekt met punten met regelmatige tussenafstanden van 1 m.
- Vervolgens wordt met de ingebouwde functie *Extract Values to Points* voor elk punt van de puntenshapefile de celwaarde van de corresponderende rastercel geëxtraheerd en toegevoegd aan de attributentabel van de puntenshapefile.
- Nadien wordt de attributentabel van de puntenshapefile geëxporteerd naar *MS excel* via de ingebouwde functie *Table to Excel*. Zo is het mogelijk om een excellijst te bekomen met de volgnummers van de punten met de corresponderende dieptewaarde. Door de regelmatige tussenafstanden tussen de punten zit er steeds 1 m tussen elke dieptewaarde.

Bovenstaande verwerkingsstappen kunnen per profiel voor alle 73 peilingen doorlopen worden. Zo is het in principe mogelijk om de bathymetrische evolutie van de profielzone vanaf eind 2001 tot en met januari 2020 te reconstrueren aan de hand van 73 tijdstappen. Vanwege de grote tijdswinsten zijn bovenstaande stappen geautomatiseerd via scripting.

### Aanmaak verschilgrids

De visuele analyse van bathymetrische grids van opeenvolgende tijdstappen kan reeds veel prijs geven over de morfologische evoluties en de achterliggende drijfveren. Toch kan het nuttig zijn om deze verschuivingen duidelijker in beeld te brengen aan de hand van verschilgrids. Door het jongere bathymetrische grid van het oudere af te trekken zal het verschil negatief zijn op plaatsen met erosie, en positief zijn op plaatsen waar zich sedimentatie heeft voorgedaan. Door het verschilgrid ten slotte op kaart voor te stellen wordt een duidelijke visuele voorstelling verkregen van de diepteverschillen.

De aanmaak van de verschilgrids binnen *ESRI ArcMap* gebeurt met de ingebouwde functie *Raster Calculator*, waarbij de celwaarden van het ene grid afgetrokken worden van de celwaarden van het andere grid.

### 3.2 Analyse Rupel

### 3.2.1 Algemeen

Ter hoogte van haar monding in de Zeeschelde bij Wintam heeft de bedding van de Rupel een breedte van ongeveer 160 m. Ze stroomt er quasi in noordelijke richting en maakt vlak voor haar monding een bocht richting het noordoosten. De vorm en de evolutie van de bedding ter hoogte van de monding is aan de hand van verschillende bathymetrische grids, zeven dwarsprofielen en een lengteprofiel gedetailleerd in kaart gebracht (zie Figuur 7 en Figuur 8).



Figuur 7 – Situering van de dwarsprofielen in de Rupelmonding



Figuur 8 – Situering van het lengteprofiel in de Rupelmonding

Uit de meest opwaartse dwarsprofielen blijkt dat de bedding net ten zuiden van de bocht een bij benadering symmetrische vorm heeft, met een redelijk vlakke bodem en snel oplopende wanden (Figuur 9 – profiel 1). De diepste delen (tot -8 m LAT) bevinden zich eerder aan de westzijde, hetgeen de overgang naar de bocht inluidt. Wat verder naar het noorden zet de bocht naar het noordoosten zich effectief in en dit heeft ook

gevolgen voor de beddingmorfologie (Figuur 9– profiel 2, 3 en 4). Het profiel wordt asymmetrisch, de doorsnede van de bedding vernauwt, de thalweg met daar ook de situering van de diepste delen verschuift helemaal naar de westzijde. Aan de oostelijke zijde van de bedding is de opbouw van de plaat zichtbaar. Bijgevolg is de westelijke oever behoorlijk steil, terwijl de oostelijke oever veel geleidelijker oploopt. De transitie van de symmetrische naar de asymmetrische vorm komt tot stand in de zone tussen raaien 1 en 3, om nadien een maximale asymmetrische vorm te bereiken tussen raaien 3 en 4. Verder naar het noorden tot slot volgt er een overgangszone naar de bedding van de Zeeschelde met wisselende morfologische vormen die tot stand komen door de invloed van de stromingspatronen van de Zeeschelde.





In de doorstroomoppervlaktes, berekend onder -1m LAT, kunnen geen abrupte wijzigingen worden opgemerkt in de loop van de tijd (Figuur 10). Toch lijken de oppervlaktes overal licht te stijgen over de periode van 1997 tot 2020. Voor raai 1 en 2 is deze stijging ongeveer 15%, voor raai 3 ca. 30%. In raai 1 is deze gestegen van 2006 tot 2013, en nadien teruggevallen tot dezelfde grootte als in 2006, rond ca. 550 m<sup>2</sup>. Raai 2 en 3, met een kleiner doorstroomoppervlak van ca. 450 m<sup>2</sup> en 500 m<sup>2</sup> in de laatste peilingen, is een licht stijgende trend waarneembaar. De grote sprong in raai 3 en 4 is ten gevolge van de baggerwerken begin 2019, hier zijn geen duidelijke veranderingen maar lijkt wel een cyclisch patroon aanwezig, met een jaarlijks variatie, potentieel door migratie van duinen.



Figuur 10 – Evolutie van de doorsnede van de bedding van de Rupel ter hoogte van 4 raaien. Oppervlakte onder het niveau -1 m LAT

### 3.2.2 Evolutie 2003 – 2015

De belangrijkste trend in de periode 2003-2015 is de aangroei en uitbreiding van de slibplaat in de binnenbocht van de Rupelmonding, zoals ook gevisualiseerd in Figuur 11. Ter hoogte van raai 4 is de plaat stabiel en zijn er geen veranderingen zichtbaar gedurende deze periode. Stroomopwaarts (de zone rond raai 2) en vooral stroomafwaarts (de zone tussen raai 4 en raai 5) is er echter wel een duidelijke aangroei.



Figuur 11 – Evolutie van de Rupelmonding van 2003 tot 2015

Ter hoogte van raai 2 evolueert het profiel van een licht asymmetrisch profiel in 2003 naar een situatie in 2015 waarin er zich een duidelijke geul vormt aan de westkant van de bedding die slechts een veertigtal meter breed is. Aan de oostkant is er een duidelijke ophoging merkbaar, hetgeen resulteert in de vorming van een bij benadering horizontale plaat rond het niveau -4 m LAT. De geul verdiept zich gedurende deze periode met ongeveer anderhalve meter tot een niveau van -7 m LAT waardoor de doorsnede van de volledige bedding amper verkleint. Ter hoogte van raai 3 zijn dezelfde evoluties zichtbaar, zij het dat de plaataangroei hier iets minder uitgesproken is.

Stroomafwaarts van de stabiele zone rond raai 4 vinden de grootste wijzigingen plaats. In 2003 (Figuur 11) was de west- en noordrand van de plaat nog mooi afgerond. Tussen de plaatrand en het westelijke uiteinde van de bedding van de Rupel was steeds een duidelijke geul aanwezig die vanuit de Rupel in de Zeeschelde liep. Meer naar het noordoosten toe, ter hoogte van raai 7, was er een beperkte overgang tussen de plaat en een duinstructuur op de bodem van de Zeeschelde. Hierbij dient opgemerkt te worden dat de weergegven peiling hier van januari 2003 dateert, dus na 2001 en 2002 welke zeer natte jaren met grote bovenafvoer waren (Q Schelle ca. 190 m<sup>3</sup>/s). Na deze periode daalt de bodemligging hier snel en varieert veel beperkter.

In de daaropvolgende jaren zetten de wijzigingen zich in snel tempo door. Het uiteinde van de geul van de Rupel verzandt gaandeweg waardoor de diepere delen (> 5 m LAT, zie contour) van de Rupelmonding vanaf 2009 het contact verliezen met de naburige diepere delen van de Zeeschelde. Tegelijkertijd breidt de noordrand van de plaat stelselmatig uit in de richting van Zeeschelde en neemt op die manier een soort wigvorm aan. De basisvorm van de wig is voltooid tegen 2007-2008 met op dat moment reeds een aangroei van de plaat met 40 à 60 m tegenover de aanvangssituatie in 2003 (Figuur 12 en Bijlage 1 – dwarsprofiel raai 5).



Afstand langs raai, vanaf RO [m]

Figuur 12 – Evolutie langsheen raai 5 tussen 2003 en 2015, opgedeeld in een periode 2003 tot 2009 (links) en 2009 tot 2015 (rechts)

De jaren nadien groeit ze aan in lengte en breedte waardoor ze steeds dieper doordringt in de bedding van de Zeeschelde en vanaf 2011 contact maakt met de hompel voor de toegangsgeul van de zeesluis van Wintam. De aangroei is opmerkelijk, want zoals uit het profiel van raai 5 (zie Bijlage 1) en het lengteprofiel blijkt betreft het op sommige plaatsen een opvulling van enkele meters. Vanaf 2014 – 2015 bereikt de lengte van de wig een hoogtepunt en zijn er soms duidelijke verschuivingen van sediment van de wig richting de hompel zichtbaar. Een volledig overzicht van de peilingen is weergegeven in Bijlage 3.

Op het eind van de wig heeft zich tot slot een tongstructuur gevormd met een lengte van soms 150 m of meer, een sterk variabele breedte en hoogteverschillen tot 4 m tegenover de aanliggende bedding van de Zeeschelde. De oriëntatie varieert tussen westelijk en eerder noordelijk en lijkt synchroon te verlopen met de naburige duinstructuren die zich net stroomafwaarts in de bedding van de Beneden-Zeeschelde bevinden (zie ook sectie 3.3). De tong bestaat meestal uit één enkele doorlopende structuur, maar kan in sommige stadia opsplitsen in meerdere parallelle duinvormen. De bredere delen van de wig die zich dichter bij de Rupelmonding bevinden gedragen zich daarentegen op een andere manier. Zij verschuiven geregeld heen en weer tussen de Rupel en de Zeeschelde, zij het dat daarbij niet altijd het verschuivingsritme van de tong gevolgd wordt. Dit suggereert dat de bredere delen van de wig eerder onder invloed staan van de stromingspatronen van de Rupel en de tong eerder beïnvloed wordt door de stromingspatronen van de Zeeschelde. Bij het aangroeien van de wig zijn de stromingspatronen van de Zeeschelde dus steeds belangrijker geworden om haar oriëntatie en migratie te kunnen begrijpen.



Figuur 13 – Overzicht van recente evoluties in de Rupelmonding

### 3.2.3 Recente evoluties

#### Baggerwerken

In Figuur 12 zijn de resultaten van raai 5 voor de periode 2003 tot 2015 weergegeven. Hier is duidelijk de ophoging van de hele zone rond de Rupelmonding zichtbaar. Hierbij valt op dat in een eerste fase vooral de geul in de Rupelmonding zelf verzandt, door een uitbreiding van de plaat. Vanaf 2012-2013 is ook ter hoogte van de hompel duidelijk een verhoging van de bodem zichtbaar.

De aangroei van de plaat in de binnenbocht van de Rupel en de aansluitende wig die de bedding van de Schelde binnendringt dreigen problemen op te leveren voor de scheepvaart. Daarom worden er vanaf het voorjaar van 2017 baggerinspanningen geleverd om de meest hinderlijke ophopingen van sediment te verwijderen. Het gaat om volgende ingrepen (zie Figuur 13), zoals ook weergegeven in sectie 1.2:

- 2017 (februari maart): opvulling overdiepte rond de caisson met specie hompel (17 000 m<sup>3</sup>), zoals weergegeven in Figuur 13 (bovenaan)
- **2018:** afgegraven hompel (9700 m<sup>3</sup> verwijderd)
- **2019** (januari maart): afgraven plaat binnenbocht van de Rupelmonding (28 000 m<sup>3</sup>)

De baggerwerken in 2017 en 2018 en de evolutie ter hoogte van de hompel worden in meer detail besproken in sectie 3.3. De impact van de baggerwerken van februari 2019 in de binnenbocht van de Rupelmonding is heel beperkt. Deze baggerwerken vonden plaats in een strook met een lengte van zo'n 300 m en een breedte van ongeveer 50 m (zie Figuur 14) en zorgden vlak na de voltooiing lokaal voor een duidelijke verlaging van de bedding met soms 2 m. In de daaropvolgende maanden is het effect van de baggerwerken echter volledig teniet gedaan (Figuur 15). Door sedimentatieprocessen in de baggerzone was tegen juni 2019 het effect van de baggerwerken opnieuw verdwenen.



Figuur 14 – Baggerlocatie op de Rupelplaat in januari - maart 2019









#### Morfologie en stromingspatronen in de Rupelmonding

De plaat in de Rupelmonding bestaat uit een geheel van bodemvormen (duinstructuren) die qua vorm, grootte en ligging variëren in de tijd (zie oa. Figuur 15, Figuur 17, Figuur 18). De diepste delen van de Rupelbedding en de buitenbocht hebben daarentegen wel een gaaf voorkomen, bodemvormen ontbreken er volledig.

Binnen de duinstructuren lijken er de afgelopen jaren twee types te hebben bestaan. Enerzijds zijn er de grote duinstructuren. Deze hebben een hoogte van zo'n anderhalve à twee meter, hebben een redelijk vaste vorm en variëren qua ligging steeds rond hetzelfde punt (binnen een zone van ongeveer 100 m). Er komen 4 stuks van dergelijke duinstructuren voor. De oriëntatie van de duintop is schuin, van ZW tot NO richting, zoals geschetst in Figuur 17 en Figuur 18. Opvallend is dat deze duinstructuren na de baggercampagne van januari-maart 2019 in een mum van tijd en exact op dezelfde plaats terug ontstonden. In Figuur 16 is zijn de positie en hoogte van de 4 "vaste" duinen, zoals te zien in Figuur 15, langsheen de Rupelplaat beschouwd. De positie van de top van de duin verschuift doorheen het jaar, met een meer afwaartse positie (afstand > 0) na grote bovenafvoeren en een meer opwaartse positie (afstand < 0) na de zomer. Voor de meest opwaartse duin is dit patroon minder te onderscheiden. De duinhoogte lijkt toe te nemen in de drogere periodes en omgekeerd. Dit effect lijkt toe te nemen van op- naar afwaarts. Het baggeren in 2019 is ook duidelijk terug te zien op de figuur, net als het zeer snelle herstel van de morfologie.

Het tweede type duinstructuur is veel kleiner dan de eerste, zijn karakteristieken zijn variabeler. Doorgaans hebben ze een amplitude van niet meer dan een 40-tal centimeter en een breedte van maximaal enkele meters. Ze verschuiven maximaal aan een snelheid van 10 tot 25 cm per dag. Soms rollen ze daarbij over de grotere vaste duinvormen van het eerste type of gaan ze er voor een stuk mee in interactie. Alle mogelijke lengtes en oriëntaties zijn geobserveerd op de bathymetrische grids. In het lengteprofiel van de Rupelmonding zijn ze zichtbaar als de kleine en middelgrote piekjes. Ze verschijnen, migreren een bepaalde afstand en verdwijnen opnieuw. De individuele duinen bestaan maximaal enkele maanden, hoewel sommige duinstructuren zelfs maar op 1 bathymetrisch grid te zien zijn.

Een analyse van de migratie van de duinvormen is uitgevoerd op basis van een verschilkaart die in Figuur 18 geïllustreerd worden. Daarbovenop is de toenmalige positie van de kamlijnen van de duinstructuren gelegd. zodat duidelijk wordt in welke richting de duinstructuren verschuiven. Dit levert een dubbel beeld dat door de stippellijn ongeveer gescheiden wordt. In de diepste delen van de Rupelbedding, ten westen van de stippellijn, is een verschuiving stroomopwaarts waar te nemen. Hogerop langs de binnenbocht, aan de rechter zijde van de stippellijn, verloopt de migratie in stroomafwaartse richting. Dit dubbele patroon wordt bij de meeste bathymetrische grids van de laatste jaren vastgesteld en kan dus als een trend gezien worden.



Figuur 17 – Bathymetrie van de Rupelmonding met aanduiding van de duinstructuren op de binnenbocht.



Figuur 18 – Verschilgrid van de Rupelmonding met aanduiding van de kamlijnen van de duinvormen en de scheiding tussen eb- en vloedgedomineerde migratie.

### 3.3 Analyse hompel

Om de ontwikkeling ter hoogte van de sluistoegang meer in detail te onderzoeken werd een bijkomende raai ingetekend ter hoogte van de hompel (zie Figuur 19). Hierbij werd ook de nabijgelegen V-vormige wig meegenomen in de raai, om relaties tussen de ontwikkeling van beide systemen te kunnen evalueren.





Figuur 20 geeft de langjarige evolutie in de zone rond de hompel weer volgens deze raai. De oriëntatie van de raai is WZW-ONO. Hier is te zien dat tot 2013 de hoogte van de hompel (positie op 75-175 m langs de raai) vrij stabiel blijft, rond 6,5 – 7,0 m LAT. Ter hoogte van de wig (positie op 200-300 m langs de raai) zijn er wel sterke verschuivingen zichtbaar. Er lijkt zich in de jaren tot 2013 wel steeds een geul in het profiel te bevinden die ter hoogte van de V-vormige wig heen en weer verschuift. Vanaf 2013 verdwijnt deze geul en verhoogt de hele zone, zowel de hompel als de wig. In 2013 en 2014 hoogt vooral het oosten van de hompel op, in de jaren daarna is het de hele hompel die verhoogt. Vanaf 2017 verlaagt het niveau van de hompel weer onder invloed van de uitgevoerde baggerwerken.



Figuur 20 – Langjarige evolutie (2000 – 2020) van de zone rondom de hompel (a) tussen 2000 en 2016 (boven) en (b) tussen 2016 en 2020 (onder) Voorafgaand aan de baggerwerken van februari 2017 is er op basis van de analyse van de opeenvolgende bathymetrische grids een duidelijke migratie van sediment zichtbaar van de Rupelplaat naar de hompel. De grids tonen meerdere parallelle duinstructuren die stapje per stapje in de richting van de hompel verschuiven en daar verdwijnen. Tegelijkertijd verschuiven de *sweepbeam*-activiteiten in de toegangsgeul naar de zeesluis van Wintam continu sediment naar de andere zijde van de hompel. De analyse van de bathymetrische grids suggereert dat althans een deel van dit sediment ook in deze zone blijft liggen en dus bijdraagt aan de groei van de hompel. De baggerwerken zorgen eigenlijk niet voor een onderbreking van het natuurlijke migratieproces, enkel voor een niveauverlaging van de hompel zelf. Na de baggerwerken van 2017 vormen de duinstructuren zich opnieuw en is hetzelfde migratiepatroon zichtbaar. Na mei 2018, wanneer er opnieuw gebaggerd wordt in dezelfde zone zijn er opnieuw de vorming van duinstructuren. Dit vertaalt zich echter niet in een duidelijke stijgende trend van het niveau van de hompel.

Om de natuurlijke dynamiek in het gebied nader te bekijken werd voor de periode voor de baggerwerkzaamheden in 2017 een opeenvolging van maandelijkse peilingen naar profielen uitgevoerd (zie Figuur 21). Hier is duidelijk zichtbaar hoe de top van de wig maand na maand in de richting van de hompel migreert, met name vanaf de peiling van juli 2016. De migratiesnelheid van de top is 10 tot 20 m per maand. Naarmate de top naar het WZW schuift vertraagt de migratiesnelheid, maar wordt de top smaller en hoger. Een dergelijke migratiesnelheid is aan de hoge kant, maar kan ook op andere locaties worden teruggevonden. In Ides et al. (2007) wordt in de regio Ossenisse – schaar van Waarde (Westerschelde) de bodemvormen op individuele raaien weergegeven. Voor verschillende locaties kan voor bodemvormen met een hoogte van ca. 1,5-2 m een snelheid van 10 - 15 m worden afgeleid.



Figuur 21 – Maandelijks profiel van de zone rondom de hompel in de periode 2016 - 2017

In Figuur 22 is een verder verloop weergegeven voor de periode 2017 – 2019. In 2017 (Figuur 22, boven) is opnieuw een duidelijk opwaartse beweging van de duin waarneembaar. In de winterperiode 2017 – 2018 (Figuur 22, midden) wordt de duin in afwaartse richting verplaatst. In 2018 beweegt de duin opnieuw in opwaartse richting doorheen het jaar (Figuur 22, onder). De baggerwerken ter hoogte van de hompel zijn hier zichtbaar, maar lijken geen effect te hebben op de duinbeweging.

Het valt op dat aan het begin van de winterperiode, de duin zich steeds op een gelijkaardig positie bevindt (220 – 240 m op de raai) en op een gelijkaardige hoogte (2 tot 2,5 m LAT). Dit is eveneens samengevat in Figuur 23 waar de positie van de hompel voor peilingen aan het einde van 2017, 2018 en 2019 zijn weergegeven. In deze periodes kan (voor 2017 en 2019) ook waargenomen worden dat de beweging van de bodemvormen gedomineerd wordt door de vloedstroming. Dit valt af te leiden door zowel de vorm (met steilere helling aan afwaartse zijde) als de migratie van de top in opwaartse richting (zie Figuur 23 boven en onder). In Figuur 24 is een relatie gevisualiseerd tussen enerzijds de positie van de duin langsheen het voorgestelde traject en de hoogte van deze duin (zoals weergegeven in Figuur 22), en anderzijds de gemeten dagelijkse debieten te Melle, die steeds werden uitgemiddeld over de periode tussen 2 peilingen. Hierbij werd gefocust op de periode 2016 – 2020, waarvoor alle/maandelijkse peilingen werden beschouwd. Voor de positie van de duin (Figuur 24, links) kan een duidelijk link tussen beide worden gevonden, waarbij lange periodes van lage afvoer leiden tot opwaartse beweging en (kortere) periodes van wassen tot een duidelijk verplaatsing afwaarts leiden. De hoogte van de duin (tussen 2 en 3 m LAT diepte) varieert volgens hetzelfde patroon, met de hoogste pieken na de periodes met een lage bovenafvoer.





Figuur 22 – Maandelijks profiel van de zone rondom de hompel in de periode 2017 - 2019



Afstand langs raai [m]





Figuur 24 – Positie van de top van de duin (links) en hoogte van de duin (rechts) in relatie met de debieten te Melle

In Figuur 25 is eenzelfde relatie weergegeven, maar hier voor de gemiddelde en maximale hoogte ter hoogte van de hompel. De invloed van de baggerwerken, in 2017 en 2018, is hier goed merkbaar. In tegenstelling tot de resultaten in Figuur 24, en ondanks de opwaartse migratie van bodemvormen, ook ter hoogte van de hompel, kan hier geen duidelijke seizoenale trend worden terug gevonden en lijkt er algemeen weinig variatie te zijn.



Figuur 25 – Relatie tussen de gemiddelde (--) en maximale (-) diepteligging van de zone van de hompel, met aanduiding van gemiddeld debiet tussen 2 peilingen

### 3.4 Analyse Zeeschelde

Ook in het aanliggende deel van de Zeeschelde zijn er drie zones waar bodemvormen voorkomen die onder invloed van de stromingspatronen migreren, aangeduid op Figuur 26 (zone 1 & 2).



Figuur 26 - Verschillende zones in de Zeeschelde (links) en locatie ligging profiel Zeeschelde (rechts)

Zone 1 ligt recht tegenover de toegangsgeul naar de zeesluis van Wintam, tegen de linkeroever van de Zeeschelde aan. In deze zone komen met tussenpozen duidelijke duinvormen voor. In de jaren 2016 – 2017 waren er duinvormen aanwezig, in de jaren 2018 en 2019 minder. De reden daarvoor kan niet duidelijk worden gevonden. Wanneer de duinvormen aanwezig zijn hebben ze doorgaans een kommavormige vorm met de kromming in stroomafwaartse richting. Ze hebben een lengte van 30 à 40 m, hebben een hoogte van



1,5 à 2 m en een redelijk variabele breedte tot 20 m. In alle beschouwde opeenvolgende bathymetrische grids migreren zij in stroomafwaartse richting, tot aan de noordzijde van de hompel waar zij overgaan in de duinvormen van de tweede zone. De migratiesnelheid varieert tussen de 0,1 tot 0,3 m per dag.

De tweede zone ligt net stroomafwaarts van de eerste zone en grenst langs haar zuidzijde aan de hompel en de tong van de v-vormige wig. De duinvormen die hier voorkomen zijn doorgaans vrij rechtlijnig en langgerekt. Hun breedte varieert van 80 tot 140 m, in uitzonderlijke gevallen zijn ze nog langer en reiken duinstructuren tot aan de slibplaat of de v-vormige wig die aan de andere zijde van de bedding liggen. De lengte varieert rond 50 m. De migratie van de duinstructuren in deze zone is hoofdzakelijk stroomafwaarts gericht. In het duingedeelte centraler in de geul kan ook een opwaartse migratie worden gevonden gedurende drogere jaren. In de overgangsmaanden zijn er soms 1 of meerdere maanden waarin de migratie quasi stilvalt. Na periodes van hoge bovenafvoer lijkt de duinstructuur af te vlakken, in de loop van het jaar nemen de duinhoogtes toe.

Zone drie tot slot komt overeen met de noordoostelijke flank van de slibplaat en het aanliggende deel van de bedding van de Zeeschelde. De bodemvormen die in deze zone voorkomen zijn zeer divers qua voorkomen. Sporadisch zijn ze eerder fijn en langwerpig en sluiten ze aan op de diepere delen van de slikplaat. In dat geval doen ze qua voorkomen denken aan de bodemvormen uit zone twee. Qua lengte is dit type doorgaans niet langer dan 70 m, tenzij de duinvormen contact maken met de duinvormen uit zone 2. Soms zijn ze stomp en dik en gaat het eerder over golfbewegingen in de diepere delen van de slikplaat. De migratie van de bodemvormen is in deze zone bijna altijd stroomopwaarts. Slechts heel sporadisch is migratie in stroomafwaartse richting te merken en dit nooit voor langere perioden dan 1 of 2 maanden. Door het feit dat er zich in de derde zone dus meestal vloedgedomineerde migratie manifesteert is het aannemelijk om te stellen dat er netto ook een transfer van sediment stroomopwaarts is. Bijgevolg bestaat de kans dat de slibplaat en de v-vormige wig ook vanuit dit stukje van de Zeeschelde met sediment gevoed wordt.

Figuur 27 – Migratie van bodemvormen in periode mei 2017 – november 2017 op een raai in de Zeeschelde (zie Figuur 26)

### 3.5 Analyse toegangsgeul

Figuur 28 geeft een doorsnede van de toegangsgeul naar de sluis van Wintam van 2016 tot nu, zoals weergegeven in Figuur 19. Hierbij werd de oostelijke kaaimuur (rechts op het profiel) meegenomen in de doorsnede. In 2017 werd de kop van de kaaimuur beschermd tegen erosie. De onderhoudsdiepte van de geul ter hoogte van het profiel, op 8 m LAT, wordt bereikt op 30 à 40 m van de kaaimuur. Sinds de aanleg van de bescherming breidt de ondiepte zich duidelijk veel verder uit richting het centrum van de toegangsgeul en wordt 8 m LAT slechts na ca. 80 m van de muur bereikt. In de laatste peiling (januari 2020) is deze uitbreiding reeds iets teruggedrongen door baggerwerken. Deze observatie is ook visueel waarneembaar in de bathymetrieën in Bijlage 3.



Figuur 28 – Evolutie van de bathymetrie in de toegangsgeul

## 4 Analyse van stromings- en sedimentbeweging

### 4.1 Beschrijving huidige situatie

Aan de hand van de bovenstaande bathymetrische inzichten en een hydrodynamisch model wordt getracht om de situatie nabij de Wintamsluis en Rupelmonding te verklaren. Voor deze studie werden geen nieuwe, specifieke numerieke modellen opgesteld, maar gebruik gemaakt van beschikbare runs. Analoog aan Levy et al. (2017) wordt hier gebruik gemaakt van het gekalibreerde Scaldis model (Smolders et al., 2015). In dit model wordt voor de zone van Wintam gebruik gemaakt van een topo-bathymetrie van 2014. De gesimuleerde periode loopt van 17/09/2013 tot 3/10/2013.

Er werd een dwarstransect geselecteerd juist opwaarts en afwaarts de Rupelmonding en Wintamsluis op de Schelde, evenals aan de Rupelmonding. Op dit dwarstransect zijn de snelheden gedurende een springtij (19/09/2013) weergegeven. Deze snelheden zijn weergegeven in Figuur 29. Langsheen het transect juist opwaarts van het sluizencomplex (Figuur 29, boven) worden de maximale snelheden (rond 1,25 m/s) in de vloedfase waargenomen, ongeveer een uur voor hoogwater. Alhoewel hoge vloedsnelheden over het gehele diepere deel van het transect terug te vinden zijn, is de maximale vloed toch geconcentreerd aan de zuidelijke zijde (meer tegen de rechteroever). De ebsnelheden zijn duidelijk lager dan de vloedsnelheden, tot ca. 0,9 m/s, maar de hoge snelheden houden aan over een langere periode. Maximale ebsnelheden zijn iets noordelijker waar te nemen t.o.v. de maximale vloedsnelheden. In het transect op de Schelde afwaarts van het sluizencomplex (Figuur 29, midden) kan een gelijkaardig stroompatroon worden waargenomen, met een iets zuidelijk hoger, zowel voor vloed (tot maximaal 1,5 m/s) als eb (tot maximaal ca. 1,1 m/s). Dit kan verklaard worden doordat de eb- en vloedvolumes die passeren groter zijn, aangezien zowel de Rupel als Schelde opwaarts gelegen zijn en de grootte van het transect (breedte ca. 400 – 450 m en diepte tot -10 m TAW) van beiden gelijkaardig zijn.

In de Rupelmonding (Figuur 29, onder) wordt een (korte) maximale vloedstroom van ca. 1 m/s voorspeld 1 uur voor hoogwater, over quasi het volledige transect. Ietwat verwonderlijk wordt een hogere ebstroom voorspeld over de ondiepe delen, de Rupelplaat, aan de binnenkant van de bocht. Dit kan evenuteel verklaard worden doordat de stroming in de Rupel, bij de samenvloeiing met de Zeeschelde, weggeduwd wordt richting rechteroever.

In Levy et al. (2017) worden eveneens een residuele stroming bepaald op basis van een springtij-doodtij cyclus, gebruik makend van dezelfde numerieke resultaten. De stromingen worden op een uurbasis gebruikt en vectorieel samengesteld over de volledige periode van springtij – doodtij en zijn hier opnieuw weergegeven (Figuur 30). De stromingspatronen die hier gevisualiseerd zijn, komen in grote mate overeen met het stromingspatroon voor een springtij (Figuur 29). Noordelijk in de Schelde wordt een ebstroom geobserveerd, zuidelijk eerder een vloedstroom. Voor de Rupelmonding is de residuele stroming vooral in de ebrichting gesitueerd.

patronen. Dit laatste zou ook kunnen beïnvloed worden door de continue baggeractivitieiten.





Figuur 29 – Verloop van de snelheid over 1 springtij juist opwaarts op de Schelde (boven), juist afwaarts op de Schelde (midden) en in de Rupelmonding (onder)



Figuur 30 – Residuele stromingspatronen over een springtij-doodtij cyclus (uit Levy et al., 2017)

Op basis van het sedimenttransport en de bodemvormen, geanalyseerd in hoofdstuk 3, werd eveneens een inschatting gemaakt van de richting van de sedimentbeweging in de regio. Deze is weergegeven in Figuur 31, waarbij zowel een situatie met hoge bovenafvoer (rechts) en lage bovenafvoer (links) wordt beschreven. Het is duidelijk dat deze de richting van het transport sterk beïnvloedt. In de situatie met een lage bovenafvoer, bewegen de grote duinstructuren in opwaartse richting (zie Figuur 15), maar op basis van de kamlijnen (Figuur 18) en de kleinere duinstructuren wordt hier, zeker aan de binnenkant van de bocht, nog sediment afwaarts getransporteerd. Het uiteinde van de wig van de Rupelplaat wordt duidelijk opwaarts getransporteerd in periodes van lage bovenafvoer. Op de hompel zelf zijn ook kleinere bodemvormen waar te nemen die zich opwaarts bewegen. De stroming is hier wel duidelijk lager dan ter hoogte van de wig, af te leiden uit de kleinere bodemvormen, en mogelijks ook de afwezigheid van seizoenale

Aan de noordzijde zijn de bodemvormen steeds afwaarts gericht. Dit beeld komt goed overeen met de residuele stroming weergegeven in Figuur 30. Uitzondering is de brede ebgerichte stroming in de Rupelmonding en de richting aan de hompel, die eerder uit de Zeeschelde dan de Rupelplaat komt. Voor de periodes met hoge bovenafvoeren blijven de ebgedomineerde zones uiteraard ebgedomineerd. De duinen in de Rupelmonding en op de wig worden duidelijk in afwaartse richting bewogen zoals ook weergegeven in Figuur 24.



Figuur 31 – Inschatting van sedimentbeweging bij lage bovenafvoeren (links) en hoge bovenafvoeren (rechts)

### 4.2 Aanbeveling

Een mogelijk aanpassing kan zijn om de vaargeul iets zuidelijk te verschuiven. Een nadeel kan zijn dat de duin/tong van de Rupelplaat iets sneller voor nautische problemen kan zorgen, anderzijds kan deze sowieso tot problemen leiden wanneer schepen moeten afdraaien richting de toegangsluis van Wintam. Dit met name na langere drogere periodes met bijhorend beperkt bovendebiet, waarbij deze tong opwaarts beweegt en dus dichter tegen het sluiscomplex komt te liggen. In de huidige vaargeul neemt het volume boven 5,8 m LAT (zie Figuur 33) sterk toe de laatste jaren, door de uitbouw van de oever aan de linkeroever van de Zeeschelde. In een schets voor voorgestelde vaargeul, iets zuidelijker dan de huidige, zijn de sedimentvolumes boven 5,8 m LAT redelijk beperkt. Een mogelijke positief effect zou kunnen zijn dat, door de uitbouw van de tong van de Rupelmonding zou kunnen vertragen. Het dient aanbeveling om deze mogelijke effecten te bestuderen aan de hand van een gedetailleerd hydrodynamisch model in de beschouwde zone, met name het effect van dergelijke morfologische aanpassingen op de verdeling van de stroomsnelheden.



Figuur 32 – Indicatie van huidige en voorgestelde vaargeul.



Figuur 33 – Evolutie van de volumes sediment boven 5,8 m LAT

## 5 Conclusies

In deze studie werd de morfologische situatie nabij de sluis van Wintam bestudeerd. Deze zone wordt gekenmerkt door de toegangsgeul naar de sluis enerzijds en anderzijds de Rupel die uitmondt in de Schelde in deze zone.

De zandwinning in de regio werd stopgezet sinds 2017. De laatste jaren wordt een duidelijk stijging van de baggerinspanning waargenomen, die de volumes van de zandwinning voorheen duidelijk overtreffen.

Aangezien het getij (en gekoppelde stroming) een sturende factor kan zijn voor morfologische veranderingen, werden de jaargemiddelde waarnemingen te Antwerpen (afwaarts Wintam) en Temse, Rumst (opwaarts Wintam) beschouwd. Over de periode 2000 – 2019 kan geen trend worden waargenomen in de hoogwaterstanden. De hoogste en gemiddelde laagwaterstanden te Rumst lijken iets af te nemen over de beschouwde periode. In Antwerpen en Temse kunnen geen opvallende trends worden waargenomen. Ook de tijdsverschillen tussen hoog- en laagwater vertonen geen opvallende trends.

Het is duidelijk dat de bovenafvoer van zowel Rupel als Schelde de richting van het sedimenttransport sterk beïnvloedt. In de situatie met een lage bovenafvoer, bewegen in de Rupel de grote duinstructuren in opwaartse richting, maar op basis van de kamlijnen de kleinere duinstructuren wordt hier, zeker aan de binnenkant van de bocht, nog sediment afwaarts getransporteerd. Het uiteinde van de wig van de Rupelplaat wordt duidelijk opwaarts getransporteerd in periodes van lage bovenafvoer. Op de hompel zelf zijn ook kleinere bodemvormen waar te nemen die zich opwaarts bewegen. De stroming is hier wel duidelijk lager dan ter hoogte van de wig, af te leiden uit de kleinere bodemvormen, en mogelijks ook de afwezigheid van seizoenale patronen. Dit laatste zou ook kunnen beïnvloed worden door de continue baggeractivitieiten. Aan de noordzijde zijn de bodemvormen steeds afwaarts gericht. Dit beeld komt goed overeen met de residuele stroming. Voor de periodes met hoge bovenafvoeren blijven de ebgedomineerde zones uiteraard ebgedomineerd. De duinen in de Rupelmonding en op de wig worden duidelijk in afwaartse richting bewogen. Het effect van de baggerinspanning en de morfologische reactie is sterk afhankelijk van de locatie. Voor de hompel wordt een duidelijke verlaging geobserveerd, die niet (snel) terug hersteld. De baggerinspanning blijkt een lange invloed te hebben. Voor de Rupelplaat is het tegendeel geobserveerd. De volledige baggerinspanning is reeds na enkele maanden teniet gedaan, en deze werken kunnen dus niet als efficiënt en duurzaam worden beschouwd.

Om een nieuwe verhoging van de hompel te vermijden of het vertragen, lijkt het aangewezen om het sedimentmateriaal uit de toegangsgeul ver genoeg noordwaarts te sweepen, zodat minstens een deel door de ebstroom kan verwijderd worden, zoals ook reeds aangegeven in Levy et al. (2017). Daarnaast lijkt het ook aangewezen om de wigvorming te monitoren, zeker na langere drogere periodes beweegt die in de richting van de hompel, en kan mogelijks sedimentatie hier veroorzaken. Een mogelijke optie die eveneens werd geopperd, is het verleggen van de vaargeul in een iets zuidelijkere richting. Dit leidt niet noodzakelijk tot grotere baggervolumes aangezien er ook een uitgroei is van de linkeroever van de Zeeschelde in de richting of zelfs tot in het huidige vaargeultracé. Dit zou eventueel de ebstroom iets meer kunnen concentreren in zuidelijkere richting, en de uitbouw van de wig van de Rupelplaat vertragen. Dit kan verder nagegaan worden met behulp van hydrodynamische modellering. De nautische aspecten van dergelijke verschuiving van het tracé werd niet bekeken in deze studie, maar dienen uiteraard ook beschouwd te worden.

# 6 Referenties

**Ides, S.; Plancke, Y.; De Mulder, T.; Mostaert, F.** (2007). Morfologische analyse van de bagger- en stortintensiteitsdata van de Beneden Zee- en Westerschelde van 2000 tot en met 2005. WL Rapporten, 791\_02. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen. V, 70 + bijl., fig. pp.

Levy, Y.; De Maerschalck, B.; Vanlede, J.; Verwaest, T.; Mostaert, F. (2017). Sluis Wintam: Sedimentatie toegangsgeul. Versie 4.0. WL Rapporten, 14\_093\_1. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen.

**Smolders, S.; Maximova, T.; Vanlede, J.; Plancke, Y.; Verwaest, T.; Mostaert, F.** (2016). Integraal Plan Bovenzeeschelde: Subreport 1 – SCALDIS: a 3D Hydrodynamic Model for the Scheldt Estuary. Version 5.0. WL Rapporten, 13\_131. Flanders Hydraulics Research: Antwerp, Belgium.

## Bijlage 1 Profielen van de Rupel



Dwarsprofiel raai 1



Dwarsprofiel raai 2



Dwarsprofiel raai 3



Dwarsprofiel raai 4



Dwarsprofiel raai 5



#### Dwarsprofiel raai 6



Dwarsprofiel raai 7



# Bijlage 2 Verschilgrids



Verschilgrid 21/02/17 – 23/03/17: Verwijdering hompel en stabilisatie van de caisson





Opeenvolgende verschilgrids nav. de baggerinspanning in de Rupelmonding, maart 2019

## Bijlage 3 Bathymetrische grids



Figuur 34 – Bathymetrische evolutie voor de periode 24/10/1997 – 13/01/2003.



Figuur 35 – Bathymetrische evolutie voor de periode 4/12/2003 – 8/1/2009.



Figuur 36 – Bathymetrische evolutie voor de periode 15/12/2009 – 21/6/2013.



Figuur 37 – Bathymetrische evolutie voor de periode 17/10/2013 – 3/12/2014.



Figuur 38 – Bathymetrische evolutie voor de periode 27/2/2015 – 30/5/2016.



Figuur 39 – Bathymetrische evolutie voor de periode 14/7/2016 – 10/11/2016.



Figuur 40 – Bathymetrische evolutie voor de periode 9/12/2016 – 21/4/2017.



Figuur 41 – Bathymetrische evolutie voor de periode 19/5/2017 – 13/10/2017.



Figuur 42 – Bathymetrische evolutie voor de periode 9/5/2018 – 3/10/2018.



Figuur 43 – Bathymetrische evolutie voor de periode 6/11/2018 – 1/3/2019.



Figuur 44 – Bathymetrische evolutie voor de periode 18/3/2019 – 8/8/2019.



Figuur 45 – Bathymetrische evolutie voor de periode 10/9/2019 – 6/1/2020.

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