

Van Blackpoint naar ecologisch herstel: estuariene natuurontwikkeling aan het Fort Sint-Filips (Fort Filip)

Syntheserapport van de projectmonitoring

Frank Van de Meutter, Alexander Van Braeckel, Gunther Van Ryckegem

INSTITUUT NATUUR- EN BOSONDERZOEK

Auteurs:

Frank Van de Meutter , Alexander Van Braeckel , Gunther Van Ryckegem Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek

Reviewers: Erika Van den Bergh

Het INBO is het onafhankelijk onderzoeksinstituut van de Vlaamse overheid dat via toegepast wetenschappelijk onderzoek, data- en kennisontsluiting het biodiversiteitsbeleid en -beheer onderbouwt en evalueert.

Vestiging: Herman Teirlinckgebouw INBO Brussel Havenlaan 88 bus 73, 1000 Brussel vlaanderen.be/inbo

e-mail: Frank.Vandemeutter@inbo.be

Wijze van citeren:

Van de Meutter F., Van Braeckel A. en Van Ryckegem G. (2025). Van Blackpoint naar ecologisch herstel: estuariene natuurontwikkeling aan het Fort Sint-Filips (Fort Filip). Syntheserapport van de projectmonitoring. Rapporten van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek 2025 (23). Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek, Brussel. DOI: doi.org/10.21436/inbor.124354088

D/2025/3241/163 Rapporten van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek 2025 (23) ISSN: 1782-9054

Verantwoordelijke uitgever: Hilde Eggermont

Foto cover: Monitoring van Hyperbenthos met Bongo net aan Fort Sint-Filips, augustus 2021 (Foto F. Van de Meutter).

Dit onderzoek werd uitgevoerd in opdracht van:

De Vlaamse Waterweg nv





VAN BLACKPOINT NAAR ECOLOGISCH HERSTEL: ESTUARIENE NATUURONTWIKKELING AAN HET FORT SINT-FILIPS (FORT FILIP)

Syntheserapport van de projectmonitoring

Van de Meutter Frank, Van Braeckel Alexander & Van Ryckegem Gunther

doi.org/10.21436/inbor.124354088



Dankwoord/Voorwoord

Het monitoringsproject Fort Sint-Filips was een bijzonder uitdagend project dat niet tot een goede eind was gekomen zonder de inzet en vlotte samenwerking tussen verschillende mensen en instellingen. In de eerste plaats willen we een warm woord van dank richten aan de onderzoeksmedewerkers van INBO: Dimitri Buerms, Joram de Beukelaer, Olja Bezdenjesnji, Jan Soors, Charles Lefranc en Vincent Smeekens voor het veldwerk dat bij deze studie hoorde en dat vaak bijzonder uitdagend was, met slikken waar nauwelijks door te waden viel, maar waar tot het uiterste is gegaan om tijdsreeksen van staalnames zo volledig mogelijk te realiseren. Merci! Daarnaast willen we ook de schippers van MDK Vloot bedanken voor het assisteren bij de subtidale staalnames, in een bijzonder variabele en soms moeilijk bevaarbare omgeving. Voor deze studie was er frequente afstemming nodig tussen INBO en Waterbouwkundig Laboratorium, wat erg vlot verliep, met daarbij een bijzondere vermelding voor Hans Vereecken en Dieter Meire.

Samenvatting

De Vlaamse Waterweg nv, Afdeling Zeeschelde en Port of Antwerp-Bruges heeft het plan opgevat om ter hoogte van Fort Sint-Filips en de Parelplaat op de rechter Scheldeoever estuarien gebied te verbeteren en uit te breiden. Dit gebeurde in het kader van het geactualiseerde Sigmaplan en als opportuniteit bij de sanering van de sterk verontreinigde site ('black point') van Fort Sint-Filips. Vanuit veiligheid bestond de vraag om de diepe vloedgeul en de zogenaamde 'erosieput' in het noorden van het gebied, die een probleem konden vormen voor de stabiliteit van de aanpalende oever, aan te pakken. Tegelijk zou een laagdynamisch slik en schorgebied ontwikkeld worden. Deze natuurontwikkeling was al eerder een doelstelling in het geactualiseerd Sigmaplan. Naast het inkapselen van het Fort Sint-Filips, is vooral de aanleg van een strekdam die de vloedstroom afleidt de meest bepalende ingreep.

Dit rapport geeft de resultaten van de verschillende meetcampagnes en evalueert de graad waarmee de verschillende doelstellingen behaald werden. Het geeft een stand van zaken van de nieuwe morfologische en hydrodynamische situatie bij Fort Sint-Filips en omgeving. De doelstellingen omvatten naast veiligheid en bevaarbaarheid ook de expliciete oppervlakte- en kwaliteitsdoelstellingen voor natuur.

Wat betreft bevaarbaarheid werd een lichte afbuiging en toename van stroomsnelheden waargenomen in de vaargeul als gevolg van de nieuwe strekdam. De veranderingen zijn vrij complex maar grotendeels zoals verwacht. De strekdam vormt ook een effectief scherm waardoor de (machinaal opgevulde) erosiegeul en -put niet meer optreedt. De afgebogen vloedstroom heeft wel zoals verwacht een duidelijke impact op de subtidale platen van Krankeloon en de Parelplaat, waar erosie en daardoor een versteiling naar de litorale zone optrad. Opvolging van het platencomplex blijft daarom belangrijk.

Binnen de strekdam werd een intertidaal slikgebied ontwikkeld van ca. 11 ha. Omdat een deel ervan ontwikkeld werd ten koste van bestaande estuariene natuur, is de winst estuariene oppervlakte beperkt tot 4.1 ha. De oorspronkelijk doelstelling van het geactualiseerde Sigmaplan van 11.6 ha nieuwe estuariene natuur, bleek bij voorbaat niet haalbaar in het projectgebied, en er werd een mitigatie voorgesteld door over 7.5 ha een kwaliteitsverbetering van estuariene natuur na te streven. Deze bijgestelde doelstelling werd wel gehaald. Belangrijk is dat van de 11 ha nieuwe slikken, er 1.7 ha (15%) ontwikkelde tot laagwaardig slik op harde bodem, omwille van de antropogene opbouw en hoogdynamische

stromingscondities in de oksel van de strekdam. Hier liggen mogelijkheden om te onderzoeken hoe door verdere aanpassingen de winst op hoogwaardige natuur gemaximaliseerd kan worden.

De ontwikkeling van fauna en flora geeft vooralsnog een gemengd beeld. Macrozoöbenthos, de belangrijkste voedselbron voor watervogels en vissen, koloniseerde de nieuwe slikken en benadert de dichtheden van oudere slikken in de omgeving. Er is echter nog geen duidelijke toename van watervogels op de slikken in het gebied. Een toename van scholeksters past binnen een algehele trend in dit deel van de Zeeschelde, en staat dus niet in verband met de gebiedsontwikkeling. Er is wel een sterke afname van de pelagische foerageeractiviteit door watervogels, vooral door meeuwen. Vermoedelijk veroorzaakte de — nu verdwenen — smalle erosieput lokale wervelingen (vroeger zichtbaar aan de oppervlakte als kolken) waarbij kleine vissen en garnalen aan de oppervlakte kwamen. We noteerden gemiddeld een afname tot status quo voor het hyperbenthos maar de variabele respons laat zich moeilijk interpreteren. Er is meer onderzoek nodig naar effecten van de lokale hydrodynamische en morfologische condities op deze groep. Voor vegetatie, ten slotte, was de monitoringsperiode te kort om een evaluatie te kunnen maken, al zagen we lokaal de duidelijke eerste tekenen van schorontwikkeling.

Dit project laat zien dat het mogelijk is om, ondanks beperkte ruimte, verschillende belangrijke doelen te combineren binnen de strikte regels voor de Schelde. Dankzij dit project is een vervuild gebied gesaneerd, wordt de dijk beschermd tegen erosie, blijft de rivier goed bevaarbaar en ontstaat er extra hoogwaardige natuur langs de oevers.

English abstract

In the framework of the updated Sigma Plan and as an opportunity in the remediation of Fort Sint-Filips, nv De Vlaamse Waterweg, Afdeling Zeeschelde and Port of Antwerp conceived the plan to improve and expand the estuarine area near Fort Sint-Filips and the Parelplaat (right bank). For safety reasons, there was a demand to tackle the deep flood channel and the so-called 'erosion pit' in the north of the area, which could pose a problem for the stability of the adjacent bank. These objectives needed to be combined with sanitation of a black pollution spot, sustained optimal navigability and the development of new estuarine natural area, as part of the objectives of the updated Sigma Plan. The main intervention to serve these objectives is the construction of a dam against the flood flow to divert the flood flow.

This report presents the results of the various measurement campaigns, makes an evaluation of the degree to which the various objectives were achieved and gives a state of affairs of the new morphological and hydrodynamic situation at Fort Sint-Filips and its surroundings. The objectives include partly safety and navigability and partly the explicit surface and quality objectives for nature.

Regarding navigability, a slight deflection and increase in flow velocities was observed in the fairway as a result of the new dam. The changes are quite complex but largely as expected. The dam also forms an effective screen preventing the (filled) erosion pit from re-appearing (safety). The deflected tidal current does have a clear impact on the subtidal sandbanks of Krankeloon and Parelplaat, where erosion and hence steepening to the littoral zone occurred.

An intertidal mudflat area of about 11ha was developed within the dam area. Because part of it was developed on existing estuarine nature, the gain in estuarine area is limited to 4.1ha. The original target of 11.6ha of new estuarine nature (Sigma) proved to be unachievable in the project area from the outset, and it was proposed to pursue quality improvement of estuarine nature over 7.5ha. This revised target was successfully met. Importantly, of the 11ha of new mudflats, 2.2ha (20%) developed into low-quality hard-bottom mudflats because of highly dynamic flow conditions in the armpit of the breakwater. Here are opportunities for further modifications or studies to maximise the gain high-value nature.

For now, the development of fauna and flora presents a mixed picture. Macrobenthos, the main food source for water birds and fish, colonised the new mudflats, approaching densities as we know from older mudflats nearby. However, there is no clear increase in waterbirds in the area yet. An increase in Oystercatchers fits within an overall trend in this part of the Zeeschelde. There is, however, a sharp decrease in pelagic foraging activity, especially by gulls. Presumably, the now disappeared narrow erosion pit caused local eddies (visible on the surface as gullies) where small fish and shrimps surfaced and could be preyed upon. We noted on average a decrease to status quo for the hyperbenthos (a single increase event), but the variable response is difficult to interpret. More research is needed on effects of local hydrodynamic and morphological conditions on the behaviour of this group. Finally, for vegetation, the monitoring period was too short to make an evaluation, although locally we saw the clear first signs of brackish marsh development.

Overall, this project is a good example of how, within the very strict framework of the multifunctional Scheldt and the local lack of space for land reclamation, a successful combination of safety (remediation of black point, and erosion danger of the dike averted), maintaining navigability, and naturalness, through the development of additional and high-quality estuarine nature, can be achieved.

Inhoudstafel

Da	Dankwoord/Voorwoord					
Sa	imenva	ttin	ıg		2	
Er	nglish a	bsti	ract		4	
Lij	st van	figu	ren		7	
Lij	st van	tab	ellen		11	
1	Inlei	din	g		12	
	1.1	A	anleid	ling	12	
	1.2	D	oelste	llingen	13	
2	Mat	eria	aal en	methode	15	
	2.1	G	ebieds	sopdeling	15	
	2.2 werke	C n 1	hronol 6	logie van de monitoring in functie van de vordering van uitvoering v	an de	
	2.3	N	1onito	ring abiotische evolutie		
	2.3.	1	Hydr	odynamica		
	2	3.1	.1	Monitoring van de stromingen in de vaargeul		
	2.	3.1	.2	Monitoring van de stroomsnelheden en golven op de slikplaat		
	2.3.	2	Morf	fologische evolutie	19	
	2.3.	3	Mon	itoring van het sediment	20	
	2.4	N	Ionito	ring biologische evolutie	20	
	2.4.	1	Ecoto	open	20	
	2.4.	2	Macr	rozoöbenthos	22	
	2.4.	3	Нуре	erbenthos	24	
	2.4.	4	Wate	ervogels	26	
	2.4.	5	Vege	tatie	26	
3	Hyd	rod	ynami	ische evolutie		
	3.1	In	npact	strekdam op vaargeul en subtidaal gebied		
	3.2	In	npact	op oud en nieuw intergetijdegebied		
	3.2.	1	Stroc	omsnelheden		
	3.	2.1	.1	Raaien in de vloedstroomschaduw van de strekdam (raaien 2-4)	32	
	3.	2.1	.2	Raaien buiten de vloedstroomschaduw van de strekdam (raaien 1 &	k 6) 36	
	3.2.	2	Golve	en		
	3.3	St	troom	condities initiële erosieput		
4	Mor	fol	ogisch	e evolutie		
4.1 Beschrijving toestand vooraf (T0)					39	
4.2 Macromorfologische veranderingen				norfologische veranderingen	39	

2	1.3	Meso- en micromorfologische veranderingen 45
	4.3.1	Raaien in de vloedstroomschaduw van de strekdam (raaien 2–4)
	4.3.2	Raaien buiten de vloedstroomschaduw van de strekdam (raaien 1 & 6)50
5	Biolo	gische evolutie
5	5.1	Ecotopen
	5.1.1	Subtidaal: evolutie van het plaatgebied buiten het Sigma projectgebied
	5.1.2	Intertidaal: evolutie in het Sigma projectgebied54
	5.1.3	Evaluatie van de ecotoopbalans en van doelen voor estuariene natuur
5	5.2	Macrozoöbenthos
5	5.3	Hyperbenthos
5	5.4	Watervogels
5	5.5	Vegetatie
6	Discu	ıssie
6	5.1	De oppervlaktedoelstelling estuariene natuur
e	5.2	Evolutie van de natuurontwikkelingszone binnen de nieuwe strekdam
6	5.3	Morfologische effecten op de plaatgebieden rondom Fort Sint-Filips
7	Conc	lusies74
8	Refe	renties
Bijl	ages	
Bijl	age 1:	Jaarlijkse oppervlakteveranderingen van de ecotopen per deelgebied
Bijl (FF	age 2: 1a, FF1	Resultaten van hyperbenthos-monitoring aan Fort Sint-Filips per jaar en per traject b, FF2 — zie Figuur 2-4). De getoonde waardes zijn aantallen per Bongo sleep
(VO)		$\frac{1140111}{2}$
ыJI ma	age 3: teriaal	en methode voor meer info

Lijst van figuren

Figuur 1-1 Situering van het studiegebied met weergave van de beginsituatie in 2018 (A) en de eindsituatie in 2022 (B) na afgraving van zandstocks, opvullen van	
antropogeen vloedgeultje, aanleg van breuksteengordel als stroomgeleider	
(strekdam tot op 3.5 m TAW hoogte) en autonome morfologische respons.	
Afbakening van fysiotopen: legende zie figuur.	13
Figuur 2-1: Deelgebieden Fort Sint-Filips met ecotopen/luchtfoto: A) situatie 2018	
(ecotoop: INBO, luchtfoto: AGIV), B) situatie 2022 (ecotoop: INBO,	
luchtfoto: DVW)	15
Figuur 2-2: Overzicht van de hydrodynamica monitoringslocaties en -trajecten ter	
hoogte van Fort Sint-Filips.	19
Figuur 2-3: Ligging van de onderzoeksraaien met aanduiding van de benthos	_
onderzoekslocaties en Aquadops. Subtidale punten werden niet steeds op	
de exacte raailocatie genomen, door verdrifting of doordat de benthosraai	
(tijdelijk) niet bereikbaar was met een schip.	23
Figuur 2-4: De Site van Fort-Sint-Filips na de inrichting (2023) met aanduiding van de drie	
trajecten voor hyperbenthos monitoring.	25
Figuur 2-5: De twee teltrajecten voor watervogels bij de site Fort Sint-Filips.	26
Figuur 2-6: Overzicht van de site Fort Sint-Filips me ligging van de vegetatieplots op	
raaien. Codering van de plots volgt twee methodes, beiden zijn hier ter info	
weergegeven.	27
Figuur 2-7: Voorbeeld van een vegetatieplot van 3 x 3 m op Fort Sint-Filips (18 augustus	
2024).	27
Figuur 3-1: Links: verwachtte verschil in maximale stroomsnelheden na het uitvoeren	
van de ingreep (Maximova <i>et al.,</i> 2015). Rechts: waargenomen	
hoogteveranderingen (2018–2021) voor en na de ingreep op de locatie en	
tijdstip van de AWAC-meetcampagnes.	29
Figuur 3-2: Stroomsnelheden langs de langs- (links) en dwarscomponent (rechts) in de	
onderste helft van de waterkolom bij doodtij nabij de bodem in de	
subtidale meetlocaties afwaarts Fort Sint-Filips. De figuur geeft de	
stroomsnelheden voor eb- en vloed, de rechtse figuur geeft de verhouding	
in stroomsnelheid van linkeroever versus rechteroever.	30
Figuur 3-3: Stroomsnelheden langs dwars- (boven) en langscomponent (onder) in de	
onderste helft van de waterkolom nabij de bodem bij doodtij (links) en	
springtij (rechts) in de subtidale meetlocaties opwaarts Fort Sint-Filips.	
Boven: relatieve stroomsnelheden linkeroever versus rechteroever, onder:	
eb- en vloedsnelheden.	31
Figuur 3-4: Ligging van de onderzoeksraaien in het onderzoeksgebied tegen twee	
achtergronden die de morfologische impact van de werken illustreren.	
Links: Hoogteveranderingen tussen 2018 en 2023 voor de verschillende	
meetpunten van INBO en WL. Rechts: Digitaal Hoogtemodel van het	
natuurontwikkelingsgebied achter de strekdam met detailkleuring boven de	
2.6 m TAW (legende, zie figuur).	32
Figuur 3-5: Gemiddelde maximale stroomsnelheden bij bij vloed (links) en eb (rechts) bij	
doodtij, gemiddeld tij en springtij op vier tijdspunten (T0: 2018, T1: 2021,	
T2: 2022, T3: 2023) voor de drie raaien binnen het	
natuurontwikkelingsgebied (zie Figuur 3-4).	33

Figuur 3-6: De gemiddelde overschrijdingsduren van 0.6 m/s bij vloed (links) en eb (rechts) tijdens doodtij, gemiddeld en springtij voor de meetlocaties van de	34
Figuur 3-7: Maximale stroomsnelheden bij vloed (links) en eb (rechts) in functie van getijamplitude voor de vier tijdstippen (T0: 2018, T1: 2021, T2: 2022, T3: 2023) voor de vier razien (R2-4) in de natuurontwikkelingszone	25
Figuur 3-8: Gemiddelde maximale stroomsnelheden bij bij vloed (links) en eb (rechts) bij doodtij, gemiddeld tij en springtij op vier tijdspunten (T0: 2018, T1: 2021, T2: 2022, T3: 2023) voor de twee raaien buiten het	20
Figuur 3-9: De gemiddelde overschrijdingsduren van 0.6 m/s bij vloed (links) en eb (rechts) tijdens doodtij, gemiddeld en springtij voor de meetlocaties van de raaien buiten het natuurontwikkelingsgebied.	36
Figuur 3-10: Samenvatting van de analyse van de stroommetingen voor wat betreft maximale stroomsnelheden (links) en overschrijdingsduren (rechts) voor vloed en eb. Stijgingen worden weergegeven in rood, dalingen in blauw, grijs geeft gelijkaardige stroomsnelheden aan (en in geval van duurtijd geeft grijs eveneens het niet overschrijden van de grenswaarde van 0.6 m/s aan)	37
Figuur 3-11: Cumulatieve verdeling per meetperiode van de maximale golfhoogte a) tussen de raaien in 2023; voor de verschillende meetjaren in b) Raai 2 en c) Raai 4	38
Figuur 4-1: Links: Vloed-ebdominantie (max. vloedsnelheid/ebsnelheid) ter hoogte van Fort Sint-Filips voorafgaand aan de ingrepen (anno 2013); Rechts: droogvallende zandplaat in verlengde van de raaien FF3 en FF4 (kaart Petit, 1877).	39
Figuur 4-2: Links: hillshade-bathymetrie 2023 met duidelijke geribbelde, zandige zone; Rechts: contouren van de ecotoopgrenzen. Op beide kaarten is de ligging van dwarstransecten (elke 0.25km) aangeduid met aanduiding van hun afstand tot de grens met Nederland.	40
Figuur 4-3: Evolutie van de dwarsprofielen op korte termijn voor (2017-2020) en na (2020-2023) de aanleg van de strekdam ter hoogte van Fort Sint-Filips. Boven: raai FF3 - km16.5 met strekdam, Midden: km 16.75 tussen FF4 en FF5 met natuurlijke overgang en Onder: km17 ter hoogte van FF5 met aansluiting op de breuksteengordel rond de sarcofaag van Fort Sint-Filips.	41
 Figuur 4-4: Bodemhoogte verschilkaarten als indicatie van sedimentatie/erosie patronen ter hoogte van Fort Sint-Filips in de periode voorafgaand aan de aanleg van de strekdam. A) 2017 – 2020, B) 2017 – 2018, C) 2018 – 2019, D) 2019 – 2020. Roodbruine tinten geven sedimentatie weer, groene tinten wijzen op erosie. 	42
Figuur 4-5: Bodemhoogte verschilkaarten als indicatie van sedimentatie/erosie patronen (inclusief aanleghoogteverschil) ter hoogte van Fort Sint-Filips na de aanleg van de strekdam in de totale periode A) 2023–2020 en jaarlijks B) 2020– 2021. () 2021–2022. D) 2022–2023	
Figuur 4-6: Jaarlijkse sedimentvolume veranderingen van de bodemligging en totale sedimentbalans (in situ) tussen 2018 en 2023 zonder breuksteenzones (arcering: aanvulling strekdamzone). Deelzonebenaming zie Figuur 2-1 (FF	44
nt Sigma Impactzone bij FF N Parelplaat gevoegd). Figuur 4-7: Hoogteligging ter hoogte van raai FF2 met periodieke metingen in T0-2018, T1-2021, T2-2022 en T3-2023	44 46

Figuur 4-8: Bodemvormen ter hoogte van raai 2 (FF2) nabij vegetatieplot 3 en	47
Staalnamepunt FF2_3 (16/8/2023).	47
2018, T1-2021, T2-2022 en T3-2023.	47
Figuur 4-10: Bodemvormen langs raai 3 (FF3) nabij vegetatieplot 05 en staalnamepunt FF3_4 (18/8/2023).	48
Figuur 4-11: Hoogteligging ter hoogte van raai 4 (FF4) met periodieke metingen in TO- 2018. T1-2021. T2-2022 en T3-2023.	48
Figuur 4-12: Bodemvormen langs raai 4 (FF4) nabij vegetatieplot 07 en staalnamepunt FF4_1 (18/8/2023)	49
Figuur 4-13: Aangepaste ecotopenkaart 2022 met middelhoog slik doorzichtig; aangeduide polygonen vormen de zone met hard 'natuurlijk' substraat met onderliggend A) FCIR beeld van 12/9/2022 (DVW) en B) orthofoto 8/2/2023 (AGIV 2023). In de wintersituatie op 08/02/2023 is er duidelijk extra microreliëf zichtbaar buiten de polygoon, wat duid op extra oppervlakte antropogeen slik dat bloot komt te liggen	19
Figuur 4-14: De mediane korrelgrootte (D50) van vaste meetpunten op de onderzoeksraaien. De blauwe lijn onderscheidt links de subtidale punten en rechts de intertidale slikpunten, de gele stippellijn onderscheidt binnen de intertidale punten de meetpunten op het originele slik (rechts), en op het nieuwe aangelegde/gevormde slik.	50
Figuur 4-15: Hoogteligging ter hoogte van raai 1 (FF1) met periodieke metingen in TO- 2018. T1-2021. T2-2022 en T3-2023.	51
Figuur 4-16: Hoogteligging ter hoogte van raai 6 (FF6) met periodieke metingen in T0- 2018, T1-2021, T2-2022 en T3-2023	51
Figuur 5-1: Evolutie van de subtidale ecotopen (v2) ter hoogte van Fort Sint-Filips voor de periode links) 2019 en rechts) 2021	53
Figuur 5-2: Sigma-afbakening in het zuidelijk Fort-Filips gebied aangepast in functie van te behouden rietschorzone zie luchtfoto jaar A) 2018 en B) 2024.	55
Figuur 5-3: Evolutie van de ecotopen (v1) ter hoogte van Fort Sint-Filips voor de periode A) 2018, B) 2019, C) 2020, D) 2021 en E) 2022 op achtergrond <i>false colour</i>	-0
Figuur 5-4: De verdeling van de totale macrozoöbenthos biomassa (g/m ²) overheen de hoogtegradiënt van de transecten bij Fort Sint-Filips, voor de verschillende	59
Figuur 5-5: Biomassa-evolutie in de periode 2018-2023 voor de 9 macrozoöbenthos taxa	60
Figuur 5-6: Biomassa-evolutie in de periode 2018-2023 voor de 9 macrozoöbenthos hogere taxongroeperingen (phylum, klasse, orde) met de grootste biomassa biidrage	62
Figuur 5-7: Relatie tussen benthosbiomassa (g AFDW/m ²) en intertidale hoogte (in m TAW) voor de site Fort Sint-Filips (per jaar: 2018, 2021, 2022, 2023) en een set van controlepunten, genomen door INBO tijdens de jaarlijkse MONEOS monitoring, voor een selectie van punten tussen het Fort Sint-Filips en het Galgenschoor. De punten op raai2, gelegen in een deel van het slik dat meer hoogdynamisch is, en een gecompacteerde harde bodem heeft met harde delen, zijn weergegeven met bolletjes, alle overige stalen met kruisjes.	63

Figuur 5-8: Totaalsom Biomassa (gram asvrij drooggewicht) per Bongo sleep (vol.: 40 m ³) per traject en per jaar. Aantallen (y-as) worden weergegeven volgens de	
logaritme van 2.	65
Figuur 5-9: Biomassa hyperbenthos per bongosleep (40m ³) voor de drie trajecten in de drie onderzoeksjaren.	65
Figuur 5-10: Trends voor de watervogels (maandelijkse telling vanop een boot) ter hoogte van de site Fort Sint-Filips (linksboven: totaal alle watervogels, rachtsboven: conden, linksonder: maauwen, rachtsonder: steltlaners)	66
Figuur 5-11: Aantallen watervogels (boven) en aantal eenden (onder) voor de twee teltrajecten bij Fort Sint-Filips. Links: stroomafwaarts van de bocht, ter	00
hoogte van de strekdam en het grote nieuwe slik, rechts: stroomopwaarts van de bocht in de minder gewijzigde zone.	67
Figuur 5-12: Aantallen meeuwen (boven) en aantallen steltlopers (onder) voor de twee teltrajecten bij Fort Sint-Filips. Links: stroomafwaarts van de bocht, ter hoogte van de strekdam en het grote nieuwe slik, rechts: stroomopwaarts	
van de bocht in de minder gewijzigde zone. Figuur 6-1: Veranderingen in hydrodynamiek door de werken (links, IMDC, 2024c) en marfelagische veranderingen tussen 2021 2022 (reable) en en rendem de	67
site Fort Sint-Filips.	70
Figuur 6-2: Evolutie van maximale vloedsnelheid (linksboven), tijdsduur van overschrijden van 0.6 m/s van de vloedsnelheid (rechtsboven), en morfologisch evolutie (onder) voor raai 4 in het zuidelijk deel van het nieuw	
slikgebied bij de strekdam Fort Sint-Filips. Legende voor bovenste figuren (blauw: 2018, rood: 2021, oranje: 2022, paars: 2023).	71
Figuur 6-3: Gemodelleerde veranderingen in stroomsnelheden bij springtij (Maximova et al. 2015) en morfologische veranderingen voor en na de werken (2020-	
2023).	72

www.vlaanderen.be/inbo

Lijst van tabellen

Tabel 2-1: Timing van de monitoringsactiviteiten van INBO en WL.	17
Tabel 2-2: Fysiotoopklassen en geomorftypes worden gecombineerd tot	
ecotopenklassen in ecotopenstelsel Zeeschelde 1.0.	22
Tabel 2-3: Overzicht van de staalnamedata per monitoringstraject.	25
Tabel 3-1: Hoogteligging van de vaste meetpunten hydrodynamica tijdens de	
onderzoeksperiode. Het meetpunt op raai 2* is na het eerste jaar (T0: 2018)	
50 m westelijker verlegd (T1-3).	29
Tabel 5-1: Subtidale ecotoopoppervlakte evolutie (ha) tussen 2018 en 2022 voor de	
twee plaatgebieden: stroomafwaarts het fort: Parelplaat, stroomopwaarts:	
Plaat van de Krankeloon.	52
Tabel 5-2: Ecotoopoppervlakte evolutie (ha) in het Sigma projectgebied en het gehele	
onderzoeksgebied bestaande uit de subtidale platen en het Sigma	
projectgebied samen (zie Figuur 2-1) tussen T0-2018, T1-2021 en T2-2022.	55
Tabel 5-3: Habitatoppervlakte evolutie (ha) in het Sigma projectgebied tussen T0-2018,	
T1-2021 en T2-2022. De oppervlakte van het Sigma projectgebied bedraagt	
34.8 ha. De term Slik hard substraat 'natuurlijk' is in feite antropogeen	
aangevoerde ondergrond van gecompacteerd materiaal met puin, maar valt	
bij de standaard ecotoopkartering onder de categorie 'natuurlijk' hard	
substraat, omdat deze ecomorf toestand doorgaans natuurlijk is (opduikende	
klei/ veen).	56
Tabel 5-4: Het aantal stalen dat succesvol kon genomen worden (Aantal stalen) en het	
aantal stalen zonder macrobenthos (Aantal lege stalen) voor de vier	
onderzoeksjaren.	59
Tabel 5-5: Samenvattende tabel van vegetatietypering voor de onderzochte	
vegetatieplots, per raai en per hoogte op de site van Fort Sint-Filips (2022–	
2023).	68

1 INLEIDING

1.1 <u>AANLEIDING</u>

In de 16^{de} eeuw tijdens de tachtigjarige oorlog werd op de rechteroever van de Schelde in de zogenaamde bocht van Kallo het Fort Sint-Filips opgericht. Deze site is in recente documenten te vinden onder verschillende namen (Fort Sint Filips, Fort Filips, Fort Filip) maar wij houden in dit rapport de historische en nu meest gangbare naam Fort Sint-Filips aan. De site werd nadien nog aangepast tot een bakstenen fort en diende in de geschiedenis verschillende doelen, maar meest relevant voor dit rapport werd ze tijdens de periode 1950-1970 door de ernaast liggende petrochemische industrie gebruikt als olie lozings- en verbrandingsplaats. De ontstane blackpoint van vervuiling kreeg recent prioriteit om gesaneerd te worden, waarbij het inkapselen van de site binnen een 30 m diepe, met folie verstevigde kleiwand tot in de Boomse klei de beste oplossing bleek.

In het kader van het geactualiseerde Sigmaplan en als opportuniteit bij de sanering van Fort Sint-Filips is door nv de Vlaamse Waterweg, Afdeling Zeeschelde en Port of Antwerp ter hoogte van Fort Sint-Filips en de Parelplaat (rechteroever) het plan opgevat om estuarien gebied te verbeteren en uit te breiden. Vanuit veiligheid bestond de vraag om de diepe vloedgeul en de zogenaamde 'erosieput' in het noorden van het gebied, die een probleem konden vormen voor de stabiliteit van de aanpalende oever, aan te pakken.

De belangrijkste ingreep om zowel aan de natuurvraag als aan de veiligheidsvraag te voldoen, naast de verhoging van de waterkering, was de bouw van een nieuwe (vloed)stroomgeleider (verderop strekdam genoemd, in eerdere documenten ook wel kribbe, stroomkribbe), een lage strekdam met een hoogte tot 3.5 m TAW, stroomafwaarts van de site. Deze strekdam moet de eroderende vloedstroom afleiden, waardoor in de luwte erachter de aanleiding voor de erosiegeulen en erosieput verdwijnt, en er geschikte hydrodynamische condities voor slikken ontstaan. Een deel van de bestaande ophogingen werd afgegraven zodat ook hier aansluitend slik-en-schorgebied kan ontstaan. De vooroever en de erosiegeul en erosieput worden opgevuld met zand afkomstig van de opgehoogde zone rond Fort Sint-Filips. De opgevulde zone wordt op die manier ondiep subtidaal habitat en slikgebied (Figuur 1-1). Ook een deel van de beoogde slikoppervlakte werd aangelegd door hergebruik van lokaal materiaal van de site. Al deze werken verliepen in verschillende, deels parallel verlopende fasen, en besloegen uiteindelijk meerdere jaren, maar de finale afwerking van dit deel van het project gebeurde in juli 2021. Een vergelijking tussen de toestand vooraf en de toestand 1 jaar na de werken is zichtbaar in Figuur 1-1.



Figuur 1-1: Situering van het studiegebied met weergave van de beginsituatie in 2018 (A) en de eindsituatie in 2022 (B) na afgraving van zandstocks, opvullen van antropogeen vloedgeultje, aanleg van breuksteengordel als stroomgeleider (strekdam tot op 3.5 m TAW hoogte) en autonome morfologische respons. Afbakening van fysiotopen: legende zie figuur.

De afgegraven zone (Figuur 2-1) is omgevormd tot een slik- en (potentieel) schorgebied. De werken zijn beëindigd in juli 2021 en de nieuwe inrichting is waarneembaar op Figuur 2-3.

1.2 DOELSTELLINGEN

Om deze ingreep te kunnen evalueren is een monitoring opgezet van zowel fysische (voornamelijk Waterbouwkundig Labo) als biologische (voornamelijk INBO) parameters die moet toelaten een aantal vragen te beantwoorden. Enerzijds is er een evaluatie nodig van de ecologische doelstellingen, zowel van de fysische randvoorwaarden als van de ecologische ontwikkelingen. Anderzijds moet in functie van de veiligheid en van de scheepvaart opgevolgd worden wat de impact is op stromingen in de vaargeul en op sedimentatie- erosieprocessen (en dus op de bathymetrie). Onderstaande 4 doelstellingen werden vooraf vooropgesteld:

- 1. Wat is de impact van de aangelegde strekdam op de stroomsnelheden in de vaargeul van de Schelde en meer bepaald nabij de toegangsgeul tot Kallosluis (WL)
- 2. Evolueert de natuurontwikkelingszone in de gewenste richting na de ingrepen?
 - a. morfologisch : wat zijn de fysische randvoorwaarden van stroming, overstromingsduur en golfslag in deze zone (WL) en welke erosie-sedimentatie en granulometrische veranderingen treden op in deze zone (INBO).

- b. ecologisch: hoe ontwikkelt het (hyper)benthosleven, hoe verandert het gebruik door watervogels en hoe evolueert de schorvorming (INBO).
- 3. Wat is de invloed, zowel stroomop- als stroomafwaarts, van de ingreep
 - a. op de stroomsnelheden in het intergetijdengebied (slik/schor) (WL).
 - b. op het bodemleven en de schorvorming (INBO).
- 4. Wat zijn de stromingscondities ter hoogte van de erosieput (WL)

In kader van Sigma werd voor dit projectgebied in het 'Meest wenselijke alternatief'-een bijkomende oppervlakte estuarien natuur van 11.6 ha voorgesteld (Couderé et al., 2005; Van Ryckegem, 2019). We formuleren daarom als doelstelling:

5. Het evalueren van de verandering in ecotoop-oppervlaktes, met name estuariene natuur, met een doeloppervlakte bijkomend areaal van 11.6 ha, binnen de Sigma perimeter.

Een overzicht en beschrijving van de monitoringsactiviteiten die antwoorden moeten bieden op bovenstaande vragen en van hun timing wordt gegeven in hoofdstuk 2. Materiaal en Methode.

2 MATERIAAL EN METHODE

2.1 GEBIEDSOPDELING

De inrichting van de site en omgeving van het Fort van Sint-Filips heeft — door wijzigingen van de lokale hydrodynamica — potentieel een invloed die veel verder reikt dan het projectgebied. Bij het evalueren van de macromorfologische wijzigingen is daarom een ruimer gebied bekeken. Om de ruimtelijk complexe en heterogene veranderingen te interpreteren is het gebied opgedeeld in functionele eenheden. We maken daarbij onderscheid tussen enerzijds de Sigma-zone, wat overeen komt met de ruime interpretatie van de site van Fort Sint-Filips (gesaneerde Fort zone + belendende slikken en schorren) waarin de doelstellingen voor te ontwikkelen Sigma habitat zijn gelegen. Hierin onderscheiden we binnen het SIGMA-gebied een te ontwikkelen intertidale slikzone bij de strekdam (FF_Sigma_N Impactzone) en een deel bestaand intertidaal en niet-estuarien Sigmagebied (FF Sigma_N rand + FF Sigma Z) aan de rand en in het zuiden. Anderzijds is er de niet aangeduide Sigmazone bestaande overwegend uit subtidaal gebied, waar we in het noorden de Parelplaat en in het zuiden de Plaat van Krankeloon met aangrenzend intertidaal onderscheiden. Stroomafwaarts van de strekdam ligt de buitenzone N. Op de te ontwikkelen intertidale zone ligt ook net buiten de Sigma-contour nog een 0.19ha gebied, genaamd FF nt Sigma N impactzone.



Figuur 2-1: Deelgebieden Fort Sint-Filips met ecotopen/luchtfoto: A) situatie 2018 (ecotoop: INBO, luchtfoto: AGIV), B) situatie 2022 (ecotoop: INBO, luchtfoto: DVW).

2.2 CHRONOLOGIE VAN DE MONITORING IN FUNCTIE VAN DE VORDERING VAN UITVOERING VAN DE WERKEN

In januari 2020 namen de werken voor de herinrichting van Fort Sint-Filips een aanvang. Vanaf februari startte het inkapselen van het fort met een kleiwand en folie, in juni de sanering van de vervuilde gronden, vanaf maart werd de Scheldedijk aangepast en heraangelegd, en startte de aanleg van de zone met een natuurbestemming en vanaf februari startte de aanleg van de strekdam op basis van 100.000 kubieke meter in geotextiel zakken verpakte gestockeerde baggersediment vanuit de Schelde (in kader van Smartsediment), wilgenmatten en breukstenen. Deze strekdam geeft aanleiding tot een verdedigd slikplateau is slecht op 3 in plaats van 3,5 m TAW komen te liggen en werd afgewerkt in 2021.

In de oorspronkelijke planning was een tussenfase voorzien waarbij de strekdam al wel afgewerkt zou zijn, maar er nog geen aanleg is van (een aanzet tot) nieuwe slikken of potentiële schorzones (cf. voorstel projectplan 27 april 2018, document WL). Door vertraging bij de opbouw van de strekdam, is deze tussenfase komen te vervallen. Daardoor werd de geplande chronologie en opvolging van T-fases en bijhorende monitoringactiviteiten licht aangepast (Tabel 2-1). Een klassieke project of eventmonitoring bestaat uit metingen vooraf (T0 fase) die herhaald worden net na de werken (T1), en afhankelijk van de onderzoeksmiddelen ook in de volgende jaren (T2, T3, ...). In dit project werd de T1 oorspronkelijk opgevat als een meting van (de effecten van) de bovengenoemde tussenfase (het singulier effect van de strekdam op met name de hydrodynamica, cf. doelstelling 1), en de T2 en latere T-fases als metingen van (de effecten van) het volledig gerealiseerde project. Door het wegvallen van de tussenfase was de geplande T1 meting niet mogelijk, en noemen we de eerste metingen net na het afronden van de werken (2021) de T2 metingen. De T0 metingen werden uitgevoerd gespreid over de twee jaren voorafgaand aan de werken (te wijten aan onzekerheid over de exacte startdatum van het project). Een volledig overzicht van de timing van alle monitoringactiviteiten van de partners WL en INBO in dit project staat samen gevat in Tabel 2-1. Ook staan de timing van de LIDAR-vlucht in opdracht van DVW- aangeduid die een belangrijke basis vormt voor de ecotoopafbakening.

Tabel 2-1: Timing van de monitoringsactiviteiten van INBO en WL.

	jaar	Januari	Februari	Maart	April	Mei	Juni	Juli	Augustus	September	Oktober	November	December
то	2018	INBO: watervogels	INBO: watervogels	INBO: watervogels DVW:LIDAR		INBO: RTKmeting			INBO: RTKmeting Macrobenthos Hyperbenthos Granulometrie		INBO: watervogels	INBO: watervogels	INBO: watervogels
то	2019	INBO: watervogels	INBO: watervogels DVW: LIDAR	INBO: watervogels		WL: Vaargeul Slikplaat erosieput	WL: Vaargeul Slikplaat erosieput DVW:LIDAR				INBO: watervogels	INBO: watervogels	INBO: watervogels
T1	2020	INBO: watervogels	INBO: watervogels	INBO: watervogels							INBO: watervogels	INBO: watervogels	INBO: watervogels
T2	2021	INBO: watervogels	INBO: watervogels	INBO: watervogels DVW: LIDAR				Strekdam afgewerkt	INBO: RTKmeting Macrobenthos Hyperbenthos Granulometrie	WL: Vaargeul Slikplaat INBO: RTKmeting Macrobenthos Hyperbenthos Granulometrie	WL: Vaargeul Slikplaat INBO: watervogels	WL: Vaargeul Slikplaat INBO: watervogels	INBO: watervogels
Т3	2022	INBO: watervogels	INBO: watervogels	INBO: watervogels DVW: LIDAR		INBO: RTKmeting			WL: slikplaat INBO: RTKmeting Macrobenthos Hyperbenthos Granulometrie Vegetatie	WL: slikplaat	WL: slikplaat INBO: RTKmeting Macrobenthos Granulometrie watervogels	WL: slikplaat INBO: watervogels	INBO: watervogels
T4	2023	INBO: watervogels	INBO: watervogels	INBO: watervogels		INBO: RTKmeting			WL: slikplaat INBO: RTKmeting Macrobenthos Hyperbenthos Granulometrie	WL: slikplaat INBO: RTKmeting Macrobenthos Hyperbenthos Granulometrie Vegetatie	WL: slikplaat INBO: watervogels	WL: slikplaat INBO: watervogels	INBO: watervogels

doi.org/10.21436/inbor.124354088

2.3 MONITORING ABIOTISCHE EVOLUTIE

2.3.1 Hydrodynamica

De monitoring van de hydrodynamica werd uitgevoerd door het Waterbouwkundig Laboratorium. Zowel de rationale, de methodiek, als de resultaten zijn uitgebreid toegelicht in een reeks tussentijdse rapporten en samengevat in een syntheserapport partim hydrodynamica (IMDC 2019, 2024a, 2024b, 2024c).

2.3.1.1 Monitoring van de stromingen in de vaargeul

Om de impact van de strekdam op de stromingen, als op de scheepvaart, in beeld te brengen is er nood aan een lange termijn monitoring van de stromingen voor en na de ingreep. De monitoring focust zich enerzijds op de vaargeul voor het effect van de stromingswijzigingen op de zeeschepen, als anderzijds op de volledige breedte voor het effect op de binnenvaartschepen. Hiervoor worden in dit project gedurende ca. 4 weken 2 HYLAS frames geplaatst om de springtij-doodtijcyclus op te meten. Beide meetframes worden uitgerust met een stroommeter (type AWAC van Nortek) en troebelheidsmeter (type YSI). De uitgekozen stroommeter is in staat om de stroomsnelheden en -richtingen op te meten over een diepteprofiel (van meetframe tot wateroppervlak). Aanvullend bij deze langdurige monitoringscampagnes, worden er telkens één varende stroomsnelheidsmeting over een volledig getijcyclus tijdens springtijcondities (ca. 13 uur) uitgevoerd. Tijdens deze mobiele 13uursmetingen wordt een vaste meetraai parallel aan de vaargeul (Figuur 2-2) continu bemeten door middel van een ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) van Teledyne RDI. Deze metingen maken het mogelijk om de langdurige metingen te linken aan een groter meetgebied in de vaargeul. Meer details over de werking en instellingen van deze meettoestellen is te vinden in IMDC (2024a).

2.3.1.2 Monitoring van de stroomsnelheden en golven op de slikplaat

Om de fysische randvoorwaarden van de natuurontwikkeling te beschrijven, werden stroomsnelheden en golven opgemeten op de slikranden. Deze stroomsnelheden werden met Aquadopp stroommeters van Nortek gemeten die in het slik ingegraven werden. Eén van de toestellen werd ingegraven nabij de laagwaterlijn, het andere ongeveer op halve hoogte van het slik (Figuur 2-2). Deze toestellen registreerden eveneens gedurende 4 weken gegevens (springtij-doodtijcyclus). Aansluitend bij deze stroommetingen, werden op deze raaien ook hoogfrequente druksensoren geplaatst. Aan de hand van deze sensoren werd het heersende golfregime in het intergetijdengebied beschreven. Meerdere druksensoren (type wave gauge van OSSI) werden hiervoor nabij de stroommeters ingegraven. Uit de drukmetingen werden rechtstreeks de overstromingsduur van verschillende zones op de slikplaat afgeleid. Meer details over de werking en instellingen van deze meettoestellen is te vinden in IMDC (2024a).



Figuur 2-2: Overzicht van de hydrodynamica monitoringslocaties en -trajecten ter hoogte van Fort Sint-Filips. (figuren uit IMDC, 2024a)

2.3.2 Morfologische evolutie

De monitoring door INBO wordt opgehangen aan vijf raaien of dwarstransecten over het schor en slik die worden opgemeten om tot (hoogte)profielen te komen. De ligging van de vijf raaien staat weergegeven in Figuur 2-3. De raaien werden ingemeten met een RTK-GPS in het voorjaar (mei), en in het najaar (eind augustus, begin september) (zie Tabel 2-1). De hoogtemetingen hebben een gemiddelde meetfout van 0.6 cm m en een maximale meetfout van 0.9 cm. Het aantal punten per raai verschilt maar bedraagt minstens 15. Deze punten zijn zo gekozen dat er op plaatsen met een groot hoogteverloop of een onregelmatig verloop een hogere resolutie is. Steilere stukken hebben dus een hogere dichtheid aan punten op de raai. De ingemeten data van de raaien worden vervolgens in GIS 'gesnapt' naar een rechte referentieraailijn met de INBO-GIS-tool. Daarna zetten we de data uit in een grafiek in R (R Core Team 2020). De opgemeten hoogtes (m T.A.W.) uit de verschillende meetperioden worden uitgezet t.o.v. de afstand tot een vooraf bepaald nulpunt op de dijk waarna een grafiek per raai wordt gegenereerd. Na de inrichting in 2021 is het grootste deel van raai FF5 onder steenbestorting komen te liggen. Ze werd nog wel verder bemeten maar is niet meer relevant voor de opvolging van morfologische effecten na de inrichting van Fort Sint-Filips.

Naast de monitoring in het veld werd er ook een desktopstudie uitgevoerd op basis van jaarlijks beschikbare 1x1m digitale hoogtemodellen, afgeleid uit voorjaarsmetingen met

multibeam (bron: Maritieme Toegang) en LIDAR-vluchten (bron: De Vlaamse Waterweg; timing zie Tabel 2-1). Hieruit zijn verschilrasters berekend in ARCGIS (Spatial Analyst). Hieruit trekken we waarden om de 250 m op verschillende dwarsprofielen (ARCGIS) loodrecht op de rivieras. Deze dwarsprofielen die zowel onder als boven water de evoluties weergeven en zijn gebruikt om met name de macromorfologische veranderingen aan te duiden.

2.3.3 Monitoring van het sediment

Op elke locatie waar INBO macrobenthos bemonsterde werd ook een gepaard sediment staal genomen (zie Figuur 2-3). Een sedimentstaal werd genomen door een steekbuis met diameter 1.5 cm loodrecht in het substraat te duwen en de bovenste 10 cm te verzamelen. Deze sedimentstalen werden bewaard in een vrieskast op -18°C. De analyse gebeurde doorgaans binnen de 4 maanden na de staalname en volgde het MONEOS protocol (zie Van Ryckegem et al., 2023a). We voerden een granulometrie uit waarbij we de korrelgrootteverdeling bepaalden aan de hand van een Coultern counter. Daarnaast bepaalden we het organische stof gehalte door *loss on ignition*, waarbij we de organische fractie uitdrukken als een percentage van het oorspronkelijk (droge) monster.

2.4 MONITORING BIOLOGISCHE EVOLUTIE

2.4.1 Ecotopen

INBO voert als onderdeel van het MONEOS monitoring project jaarlijks voor de Beneden-Zeeschelde (BEZ) een mapping uit van de ecotopen in het Zeeschelde systeem (Van Ryckegem et al., 2023a). Deze ecotopenkaarten zijn een resultante van veranderingen in het getij, hoogteligging en de geomorfologie. Op basis van de BEZ-kaarten van het jaar 2018, 2019, 2020, 2021 en 2022 is de verandering in ecotoopoppervlaktes in het gebied opgevolgd. De doelstellingen zijn ruimtelijke vastgeklikt in doelgebieden; daarom is een evaluatie van ecotoopoppervlakte(veranderingen) uitgevoerd voor de deelzones vermeld in Figuur 2-1.

De ecotopenkaart wordt samengesteld uit enerzijds een geomorfologische kaart en anderzijds een fysiotopenkaart (Tabel 3.3). Beiden worden hier kort beschreven.

De geomorfologische kaart onderscheidt volgende subtraattypes:

- schor- en dijkvegetatie (met hogere vegetatie begroeid substraat)
- getijdeplas (water)
- hard natuurlijk substraat (veen- en kleibanken)
- hard antropogeen substraat (breuksteen, schanskorven)
- verhard (volledig verharde zones zonder enige ecologische waarde: geen algennoch plantengroei)
- onbepaald (zacht onbegroeid substraat: slik en potentiële pionierzone

De kaart wordt gemaakt aan de hand van false colour beelden bij laagwater, die eens in de drie jaar gemaakt worden in opdracht van De Vlaamse Waterweg. Voor de tussenliggende jaren wordt ook gebruik gemaakt van orthofotomozaïeken van Vlaanderen, die echter niet altijd bij laag water genomen zijn. De grenzen worden hierop ingetekend door personen met een uitgebreide terreinkennis, vertrekkende van de grenzen van het voorgaande jaar.

De fysiotopenkaart bakent abiotische eenheden af op basis van overspoelingsregime in het litoraal en op basis van diepte (ecotopenstelsel Zeeschelde 1.0) en maximale stroomsnelheid bij vloed (ecotopenstelsel Zeeschelde 2.0) in het sublitoraal. De basisgegevens zijn een digitaal hoogtemodel, getijdata en berekende stroomsnelheden.

• Het digitaal hoogtemodel wordt samengesteld en aangeleverd door afdeling Maritieme Toegang. Het is een gecombineerd grid van lidar hoogtemetingen en multibeam bathymetriemetingen.

• Overspoelingsfrequenties en droogvalduren worden berekend door interpolatie van waterstandsmetingen per tijpost en over een periode van 4 jaar. De tijdata van het waterbouwkundig laboratorium worden via HIC webservices geleverd. Om de litorale fysiotopen af te bakenen worden doorsnedes gemaakt van waterhoogtes met het digitaal hoogtemodel.

• Maximale stroomsnelheden bij vloed worden berekend volgens het Scaldis 3Dmodel van het Waterbouwkundig Laboratorium.

In de sublitorale zone worden in het ecotopenstelsel Zeeschelde 1.0 'diepte' fysiotopen onderscheiden onder gemiddeld laagwater bij springtij. Het referentieniveau is het 30e percentiel van het laagwater (LW30):

- Zeer diep subtidaal: >10m onder LW30
- Diep subtidaal: 5-10m onder LW30
- Matig diep subtidaal: 2-5m onder LW30
- Ondiep subtidaal: 0-2m onder LW30

Voor de subtidale ecotopen van de Zeeschelde 2.0 is voor de jaren 2019 - 2021 steeds hetzelfde Scaldis 2019 model gebruikt, voor 2022 is een update gebeurd. De grenswaarden zijn gebaseerd op het voorkomen van ongewervelde bodemdiergemeenschappen (Van Braeckel et al, 2018) en verschillen per diepteklasse. In het ondiep subtidaal is de maximale stroomsnelheid voor laagdynamisch habitat 1.01 m/s. In het matig diep subtidaal is dit 0.92 m/s en in het diep subtidaal wordt 0.83 m/s gehanteerd. Het zeer diep subtidaal (> 10 m onder LW30) wordt volledig als hoogdynamisch geklasseerd.

De litorale zone ligt tussen gemiddeld laagwater en gemiddeld hoogwater bij springtij (GLWS-GHWS). De gebruikte referentie niveaus zijn de waterstand bij LW30 (het 30e percentiel van de laagwaters) en bij HW85 (het 85e percentiel van de hoogwaters). In het ecotopenstelsel Zeeschelde 1.0 worden 3 litorale fysiotopen onderscheiden op basis van percentages droogvalduur (DD):

- Laag slik: tussen LW 30% en DD 25%
- Middelhoog slik: tussen DD 25% en DD 75%
- Hoog slik: tussen DD 75% en HW 85%

De geomorfologische kaart en de fysiotopenkaart worden samengevoegd om de ecotopen te bekomen ().

	Geomorftype	Fysiotoop	Ecotoop		
a		Zeer diep subtidaal	Diep subtidaal		
tora	Onhonaold	Diep subtidaal			
ildu	Olibepaalu	Matig diep subtidaal	Matig diep subtidaal		
0		Ondiep subtidaal	Ondiep subtidaal		
		Laag slik	Laag slik zacht substraat		
	Zacht substraat	Middelhoog slik	Middelhoog slik zacht substraat		
		Hoog slik	Hoog slik zacht substraat		
a		Laag slik	Laag slik hard natuurlijk		
tora	Hard natuurlijk	Middelhoog slik	Middelhoog slik hard natuurlijk		
		Hoog slik	Hoog slik hard natuurlijk		
		Laag slik	Laag slik hard antropogeen		
	Hard antropogeen (breuksteen)	Middelhoog slik	Middelhoog slik hard antropogeen		
	. ,	Hoog slik	Hoog slik hard antropogeen		
	Zacht substraat		Potentiële pionierzone		
	Schor- en dijkvegetatie		Schor		
	Hard natuurlijk	Supralitoraal s.s.	Supralitoraal s.s. hard natuurlijk		
itoraal	Hard antropogeen (breuksteen)		Supralitoraal s.s. hard antropogeen		
ıpral	Schor- en dijkvegetatie		Hoog supralitoraal (begroeid)		
SL	Hard antropogeen (breuksteen)	Hoog supralitoraal	Hoog supralitoraal hard antropogeen		
	Getijdeplas		Getijdeplas		
	Verhard		Antropogeen		

 Tabel 2-2: Fysiotoopklassen en geomorftypes worden gecombineerd tot ecotopenklassen in ecotopenstelsel Zeeschelde 1.0.

2.4.2 Macrozoöbenthos

De monitoring van het macrobenthos en het sediment vielen samen in ruimte en tijd. De monitoringslocaties zijn gekozen op de vijf sedimentraaien en op een zesde meer stroomopwaartse raai aan de zuidrand van het projectgebied, in een zone die niet direct geïmpacteerd werd.



Figuur 2-3: Ligging van de onderzoeksraaien met aanduiding van de benthos onderzoekslocaties en Aquadops. Subtidale punten werden niet steeds op de exacte raailocatie genomen, door verdrifting of doordat de benthosraai (tijdelijk) niet bereikbaar was met een schip.

De methode voor de staalname en behandeling van stalen was identiek aan Van de Meutter et al. (2019b) en is conform het MONEOS protocol (Van Ryckegem et al., 2023a). De staalname van macrozoöbenthos op intertidaal gelegen punten gebeurde door bij laag water naar het punt te wandelen en een 4.5 cm diameter steekbuis ("core") verticaal in het sediment te duwen, waarna de bovenste 30 cm bewaard. Voor subtidale punten werd met een boot tot nabij de locatie gevaren, waarna een bodemstaal genomen werd met een box corer. Dit toestel neemt een staal van ca. 30 cm diep en 15 cm diameter. Nadat dit staal op het schip gebracht was, werd hieruit met de 4.5 cm diameter core een definitief staal genomen met vergelijkbare afmetingen als de intertidale stalen. Elk macrobenthos staal werd zo snel mogelijk in het veld gefixeerd met fixeervloeistof (F-solv 50%). Het localiseren van staalnamepunten gebeurt aan de hand van een RTK-GPS toestel voor intertidale punten.

Het staal werd nadien in het laboratorium verwerkt door het sediment te spoelen over twee op elkaar geplaatste zeven van respectievelijk 500 en 1000µm. Beide fracties werden apart getrieerd en de getrieerde biota werden tot op het laagst mogelijke taxonomische niveau gedetermineerd. Daarbij werden Oligochaeta als één taxon beschouwd, omdat de determinatie tot op soort veel tijd vraagt en niet altijd mogelijk is. Na determinatie werd per taxon het asvrij drooggewicht (AFDW, *ash-free dry weight*) bepaald door verassing bij 550°C. De macrobenthos stalen werden genomen in het najaar (eind augustus en/of begin september, voor een overzicht zie Tabel 2-1).

Door de slechte begaanbaarheid van het recent ontwikkelende slik, en ten gevolge veiligheidsrisico's voor veldmedewerkers, konden enkele locaties niet elk jaar bemonsterd worden. Een overzicht van het aantal bemonsterde punten is te vinden in Tabel 5-4.

2.4.3 Hyperbenthos

Hyperbenthos, als term hier gebruikt in de brede zin voor het epibenthos en het hyperbenthos, is een verzamelnaam voor kleine tot middelgrote organismen die op of net boven de waterbodem leven. We volgden de standaard hyperbenthos monitoring methode die inbo gebruikt binnen de MONEOS monitoring (Van Ryckegem et al., 2023b). Daarbij wordt een koepelvormig Bongonet (diameter 50 cm, maaswijdte 2mm) in één beweging aansluitend 100 m stroomop- en stroomafwaarts voortgetrokken door twee personen bij laagwater op het ogenblik van de waterkering. Het gevolgde traject volgt de laagwaterlijn. De verzamelde organismen worden ter plaatse gefixeerd met F-solv (50%). De stalen worden later gezeefd over een 1mm zeef, getrieerd en gedetermineerd in het labo in witte fotobakken. Per taxon wordt nadien het asvrij drooggewicht (AFDW) bepaald.

Rondom de site van Fort Sint-Filips werden drie trajecten uitgezet voor de monitoring: één staal ten noorden stroomafwaarts van de strekdam (FF1b) met sterke vloedstroom, één aan de westzijde van Fort Sint-Filips (FF1a) in de beschutting van de strekdam met verlaagde vloed- en ebstroming, en één referentie aan de zuidzijde stroomopwaarts de Scheldebocht (FF2) met sterke ebstroming (Figuur 2-4). De bemonsteringsdata zijn weergegeven in Tabel 2-3.



Figuur 2-4: De Site van Fort-Sint-Filips na de inrichting (2023) met aanduiding van de drie trajecten voor hyperbenthos monitoring.

Het initiële traject FF1a gelopen in 2018 werd vanaf 2021 lichtjes verlegd zodat het tussen de nieuwe breuksteenuitbreiding rond de sarcofaag van Fort Sint-Filips en de nieuwe strekdam inpast.

Tabel 2-3: Overzicht van de staalnamedata per monitoringstraject.

JAAR	TRANSECT	DATUM
2018	FF1a	23/08/2018
2018	FF1b	23/08/2018
2018	FF2	23/08/2018
2021	FF1a	30/08/2021
2021	FF1b	25/08/2021
2021	FF2	30/08/2021
2022	FF1a	29/08/2022
2022	FF1b	29/08/2022
2022	FF2	29/08/2022
2023	FF1a	31/08/2023
2023	FF1b	31/08/2023
2023	FF2	1/09/2023

2.4.4 Watervogels

Het is de eerste keer dat we de resultaten van de watervogeltellingen rapporteren. INBO voert maandelijks rond springtij watervogeltellingen uit op de Beneden Zeeschelde vanop een boot. Voor de projectmonitoring van Fort Sint-Filips werd een bestaand traject rond Fort Sint-Filips opgesplitst in twee delen, de trajecten FFstroomop en FFstroomaf (Figuur 2-5). Normaal worden enkel aantallen geteld maar voor deze studie worden ook gedragingen genoteerd en geteld.



Figuur 2-5: De twee teltrajecten voor watervogels bij de site Fort Sint-Filips.

2.4.5 Vegetatie

In 2022 werd voor het eerst vegetatie op de site Fort Sint-Filips gemonitord. Doordat de inrichting van de site verlaat was en pas is afgerond in juli 2021, is er in dat jaar nog geen monitoring uitgevoerd. Er was immers nog geen vegetatie aanwezig. In 2022 zijn er 9 vegetatieplots gemonitord op 29 en 30 augustus (Figuur 2-6). De opnames gebeurden in een quadrant van 3x3 m (Figuur 2-7, Figuur 4-8, Figuur 4-10). Voor elke soort werd de procentuele bedekking van het grondvlak ingeschat. Doordat soorten boven elkaar groeien kan de som van de bedekkingen groter zijn dan 100. Vaak wordt de bedekking ook per stratum ingeschat (grondlaag, kruidlaag, struiklaag, boomlaag) maar dat is in deze fase nog niet van tel. De locatiegegevens en hoogtes van de vegetatieplots staan opgelijst in Bijlage 1.



Figuur 2-6: Overzicht van de site Fort Sint-Filips me ligging van de vegetatieplots op raaien. Codering van de plots volgt twee methodes, beiden zijn hier ter info weergegeven.



Figuur 2-7: Voorbeeld van een vegetatieplot van 3 x 3 m op Fort Sint-Filips (18 augustus 2024).

3 HYDRODYNAMISCHE EVOLUTIE

Het Waterbouwkundig laboratorium voerde alle metingen van hydrodynamica uit. De tussentijdse metingen en een overzichtsrapportage zijn weergegeven in een reeks uitgebreide datarapporten (IMDC 2019, 2024a, 2024b, 2024c). We geven hieronder een eerder summier overzicht van de belangrijkste bevindingen. Meer uitgebreide data en info is uiteraard te vinden in de originele rapporten.

Doelstellingen en verwachtingen

De algemene projectdoelstellingen 1-5 zoals geformuleerd in de inleiding, en met name de doelstellingen 1, 3a en 4 die rechtstreeks betrekking hebben op de hydrodynamica, kunnen niet los gezien worden van het voorafgaand studiewerk en modelleringen, waaruit bepaalde verwachtingen volgden. Op basis van 3D-Scaldis stromingsmodel (Maximova *et al.*, 2015) zijn volgende verwachtte effecten van de inrichting gesteld. De belangrijkste verwachtingen uit de modelberekeningen waren:

- Op en nabij de strekdam neemt de erosie toe (doelstelling 3a & 4);
- Stroomopwaarts van de strekdam en voornamelijk naast de oever neemt de erosie af (doelstelling 3a & 4);
- Stroomopwaarts van de strekdam wordt de kritische bodemschuifspanning voor beweging van sediment (1 Pa) nabij de oever zeer beperkt overschreden: 10 à 15% van de tijd (doelstelling 3a & 4);
- de maximale stroomsnelheden en bodemschuifspanningen in de vaargeul nemen in lichte mate toe (doelstelling 1);
- Nabij Kallosluis zijn geen hydraulische effecten zichtbaar van de aanleg van de strekdam (doelstelling 1).

In de onderstaande Figuur 3-1 wordt de verwachtte impact op de maximale stroomsnelheden voor het ruime onderzoeksgebied ruimtelijk voorgesteld. In het rechterdeel van de figuur wordt voor dezelfde zone de waargenomen hoogteverandering (zowel natuurlijk als door aanleg) voorgesteld, met aanduiding van de hydrodynamica meetlocaties.



Figuur 3-1: Links: verwachtte verschil in maximale stroomsnelheden na het uitvoeren van de ingreep (Maximova *et al.*, 2015). Rechts: waargenomen hoogteveranderingen (2018–2021) voor en na de ingreep op de locatie en tijdstip van de AWAC-meetcampagnes.

In een (half)natuurlijk dynamische estuariene omgeving ontstaat een sterke morfohydrodynamische terugkoppeling waarbij de morfologie zich aanpast aan de hydrodynamica met het ontstaan van een (tijdelijk) evenwicht als gevolg. De morfologische wijzigingen uitgedrukt als een bodemhoogteverandering ter hoogte van de meetpunten van de hydrodynamica staan weergegeven in Tabel 3-1. Het meetpunt of raai 2 werd 50 m meer westelijk gelegd na de eerste meting.

Tabel 3-1: Hoogteligging van de vaste meetpunten hydrodynamica tijdens de onderzoeksperiode. He	t
meetpunt op raai 2* is na het eerste jaar (T0: 2018) 50 m westelijker verlegd (T1-3).	

AQUADOPP							
	TO	T1	T2	Т3	verschil		
JAAR	2018	2021	2022	2023	T1-T0		
RAAI 1	0.43	0.76	0.84	0.92	+0.33		
RAAI 2*	2.7	3.23	3.06	3			
RAAI 3	3.03	3.37	3.4	3.54	+0.34		
RAAI 4	0.61	1.89	2.29	2.66	+1.28		
RAAI 5	-0.1						
RAAI 6	0.39	0.29	0.29	0.32	-0.1		

HOOGTELIGGING (mTAW)

Hieronder proberen we een antwoord te formuleren op de algemene doelstellingen van dit project, waarbij we de expliciete verwachtingen zoals hierboven opgesomd meenemen als leidraad.

3.1 IMPACT STREKDAM OP VAARGEUL EN SUBTIDAAL GEBIED

Doelstelling 1: Wat is de impact van de aangelegde strekdam op de stroomsnelheden in de vaargeul van de Schelde (meer bepaald nabij de toegangsgeul tot Kallosluis)?

Als uitbreiding bij deze doelstellingen voegen we vanuit morfo-ecologisch oogpunt nog toe: wat is de impact op de stroomsnelheden ter hoogte van de subtidale Parelplaat?

Uit voorafgaande modellering werd geconcludeerd dat de stroomsnelheden in de vaargeul (zowel op- als afwaarts van de ingreep) in lichte mate zouden toenemen zoals weergegeven in Figuur 3-1. Het model dat de condities na de ingreep simuleerde toonde een licht toegenomen vloedstroomsnelheid ten opzichte van het referentiemodel. Tijdens de ebfase werd geen verschil of beperkte in stroomsnelheid verwacht na de ingreep.

Afwaarts: De metingen (mei-juni 2018 t.o.v. september-november 2021) nabij het afwaartse frame tonen dat zowel de maximale vloed- als ebstroomsnelheden zijn toegenomen na de ingreep (Figuur 3-2). Beide maximale stroomsnelheden zijn toegenomen met ca. 0.1—0.2 m/s. Dit zou kunnen betekenen dat uiteindelijk zowel bij vloed als bij eb de stroming meer wordt geknepen door de bouw van de strekdam, met andere woorden de versmalling van de hoofdgeul. Dit is in tegenstelling tot de initiële modellering — met vaste modelbodem — met enkel een verwachte invloed op de vloedsnelheden. Zowel de eb -als vloedgedomineerde delen van de subtidale plaat in het afwaartse deel ondervinden dus een toegenomen hydrodynamische druk, wat we ook zien in de bodemdaling van deze plaat (zie verder). Uit de dwarscomponent valt op te maken dat de stroomrichting licht wijzigde na de ingreep, en zowel bij vloed als (iets minder) bij eb is toegenomen richting de linkeroever (Figuur 3-2 rechts toont situatie in onderste deel van de waterkolom). Dit wijst op een afbuiging van de vloed richting Linkeroever.



Figuur 3-2: Stroomsnelheden langs de langs- (links) en dwarscomponent (rechts) in de onderste helft van de waterkolom bij doodtij nabij de bodem in de subtidale meetlocaties afwaarts Fort Sint-Filips. De figuur geeft de stroomsnelheden voor eb- en vloed, de rechtse figuur geeft de verhouding in stroomsnelheid van linkeroever versus rechteroever. (figuren uit IMDC, 2024b)

Opwaarts ter hoogte van het fort in de bocht:

De maximale ebsnelheden zijn afgenomen nabij het opwaartse frame met ca. 0.3 m/s tijdens doodtij onder de 0.8 m/s, tegen de verwachtingen van de voorafgaande modelstudie in. Hierbij zien we ook dat deze locatie is aangezand in vergelijking met de toestand voor de aanleg (zie verder). Tijdens gemiddeld en springtij is de afname kleiner. De maximale vloedstroomsnelheden aan het opwaartse frame blijven echter ongewijzigd. In de onderste

waterkolom dicht bij bodem is bij laag water springtij (-6m, +6m) wel een toenemende stroming richting rechteroever te zien.



Figuur 3-3: Stroomsnelheden langs dwars- (boven) en langscomponent (onder) in de onderste helft van de waterkolom nabij de bodem bij doodtij (links) en springtij (rechts) in de subtidale meetlocaties opwaarts Fort Sint-Filips. Boven: relatieve stroomsnelheden linkeroever versus rechteroever, onder: eb- en vloedsnelheden. (figuren uit IMDC, 2024b)

Bij de vaste getijpost in Lillo worden er zowel bij eb als vloed geen verschillen opgemerkt in maximale stroomsnelheden voor of na de ingreep, wat een sterke aanwijzing is dat bovenstaande veranderingen effectief aan de project inrichting te wijten zijn.

3.2 IMPACT OP OUD EN NIEUW INTERGETIJDEGEBIED

Deze doelstellingen overlappen grotendeels en worden samen genomen.

- Doelstelling 2. Evolueert de natuurontwikkelingszone in de gewenste richting na de inrichting op vlak van stroming, overstromingsduur en golfslag?
- Doelstelling 3a. Wat is de invloed, zowel stroomop- als stroomafwaarts van de ingreep op de stroomsnelheden in het intergetijdengebied (slik/schor)?

Bij de bespreking maken we onderscheid tussen de raaien in het projectgebied en daarbuiten. De raaien R2, R3 en R4 liggen in de natuurontwikkelingszone of impactzone zelf, met afhankelijk van de ligging een morfologische wijziging als gevolg van de bouwkundige projectwerken en /of door de sterk gewijzigde hydrodynamica die er het gevolg van zijn. De raaien R1, R5 en R6 zullen geen of enkel een indirect effect vertonen van de aanleg van de stroomgeleidende strekdam (Figuur 3-4).



Figuur 3-4: Ligging van de onderzoeksraaien in het onderzoeksgebied tegen twee achtergronden die de morfologische impact van de werken illustreren. Links: Hoogteveranderingen tussen 2018 en 2023 voor de verschillende meetpunten van INBO en WL. Rechts: Digitaal Hoogtemodel van het natuurontwikkelingsgebied achter de strekdam met detailkleuring boven de 2.6 m TAW (legende, zie figuur).

3.2.1 Stroomsnelheden

3.2.1.1 Raaien in de vloedstroomschaduw van de strekdam (raaien 2–4)

In Figuur 3-5 is duidelijk het vloeddominante aspect in de natuurontwikkelingszone zichtbaar. Bij eb valt de stroming sterk terug (vergelijk links en rechts in de figuur). Bij vloed is vooral op raai 2, kort achter de strekdam (R2, Figuur 3-4), een sterke toename van de maximale stroomsnelheid waarneembaar na de aanleg van de strekdam. Deze toename in deze zone was voorspeld door de voorafgaande modellering (Maximova *et al.*, 2015, Figuur 3-1 links). Ook opvallend aan deze raai is het grote verschil (groter dan op de overige raaien) in maximale vloedstroomsnelheid doorheen de doodtij-springtij cyclus. Deze slikzone

is bij spring- en gemiddeld tij hoogdynamisch maar vertoont bij doodtij lage stroomsnelheden. Ze is dus niet alleen hoogdynamisch binnen de getijcyclus, maar ook binnen de doodtij-springtij cyclus. Vooral bij springtij schiet het hoogwater over het verdedigd slikplateau met hoge stroomsnelheden boven de 0.8 m/s. Belangrijk bij raai 2 is dat het meetpunt 50 m verlegd werd na de T0, wat dus geen identieke vergelijking toelaat. Zowel morfologisch, hydrodynamisch als qua hoogteligging zijn beide punten (T0 meetpunt, en het latere verplaatste meetpunt) echter min of meer vergelijkbaar (zie Figuur 3-1 en Figuur 3-4, waarop te zien is dat raai 2 vrij homogeen is voor de voornoemde aspecten). Een vergelijking doorheen de tijd is dus te verantwoorden. *Raai 3* ligt nog net in de vloedstroom schaduwzijde van de strekdam en vertoont op het oude slikmeetpunt bij dood en gemiddeld tij een daling van de maximale vloedstroom na de werken. Enkel bij springtij neemt ook hier de stroomsnelheid toe. Dit meetpunt op het oorspronkelijke verdedigd slikdeel ondervindt nu bij springtij meer dynamiek door de nabijgelegen verandering van diepe erosieput naar middelhoog slik. *Raai 4* situeert zich in de slikzone met een intacte gradiënt en vertoont een duidelijke sterke daling met na de werken gemiddelde snelheden tot 0.6 m/s in plaats van 0.8 m/s. Opvallend is de toename tussen T1 en T3&4, wat samenvalt met de sterke sedimentatie van deze zone tussen 2021 en 2022 (zie ook 5.1).



Figuur 3-5: Gemiddelde maximale stroomsnelheden bij vloed (links) en eb (rechts) bij doodtij, gemiddeld tij en springtij op vier tijdspunten (T0: 2018, T1: 2021, T2: 2022, T3: 2023) voor de drie raaien binnen het natuurontwikkelingsgebied (zie Figuur 3-4). (figuren uit IMDC, 2024b)







Figuur 3-6: De gemiddelde overschrijdingsduren van 0.6 m/s bij vloed (links) en eb (rechts) tijdens doodtij, gemiddeld en springtij voor de meetlocaties van de raaien binnen het natuurontwikkelingsgebied. (figuren uit IMDC, 2024b)

Uit de vergelijkingen met de gemiddelde tijdsduur waarbij een maximale stroomsnelheid van 0.6 m/s wordt overschreden (Figuur 3-6) blijkt dat na de ingreep bij vloed de overschrijdingstijd klein is op de raaien 3 en 4 bij vloed. Bij eb overschrijden de meetpunten op geen enkel raai in de natuurontwikkelingszone de 0.6 m/s.

Wanneer we de stroomsnelheden uitzetten ten opzichte van de getijamplitude, is in raai 2 een duidelijke toename te zien overheen alle getijamplitudes bij vloed en in mindere mate bij eb tussen T0 en later (Figuur 3-7). Op raai 3 is ten opzichte van de originele toestand (het verdedigd slik) de relatie getijamplitude versus maximale stroomsnelheid iets steiler geworden en is de snelheid bij hoge waterstanden (>5.8 m TAW) toegenomen. Bij eb is de stroomsnelheid meer gelijk geworden over de getijamplitude gradiënt. Op Raai 4 is de vloedstroomsnelheid het eerste jaar na de werken eerst erg laag voor alle getijamplitudes. Deze luwte gaf aanleiding tot een zeer snelle sedimentatie, waardoor een typische steilere


relatie tussen getijamplitude en stroomsnelheid ontstond. Deze is wel nog steeds een stuk lager dan in de oorspronkelijke toestand (Figuur 3-7).

Figuur 3-7: Maximale stroomsnelheden bij vloed (links) en eb (rechts) in functie van getijamplitude voor de vier tijdstippen (T0: 2018, T1: 2021, T2: 2022, T3: 2023) voor de vier raaien (R2-4) in de natuurontwikkelingszone. (figuren uit IMDC, 2024b)

3.2.1.2 Raaien buiten de vloedstroomschaduw van de strekdam (raaien 1 & 6)

Er werden vooraf 2 raaien buiten het natuurontwikkelingsgebied voorzien, namelijk raai 6 stroomopwaarts voorbij de Scheldebocht, en raai 1 gelegen net stroomafwaarts van de strekdam. Voor raai 1 vinden we duidelijke afname van de maximale vloedstroom, en in minder mate voor de ebstroom (Figuur 3-8). Hoewel buiten het natuurontwikkelingsgebied gelegen, was deze afname verwacht door de blokkade en het afbuigen van de vloedstroom (Maximova et al., 2015). Voor raai 6 vinden we geen wijzigingen voor maximale stroomsnelheden.



Figuur 3-8: Gemiddelde maximale stroomsnelheden bij bij vloed (links) en eb (rechts) bij doodtij, gemiddeld tij en springtij op vier tijdspunten (T0: 2018, T1: 2021, T2: 2022, T3: 2023) voor de twee raaien buiten het natuurontwikkelingsgebied (zie Figuur 3-4). (figuren uit IMDC, 2024b)

Toch blijkt dat de hydrodynamica op raai 6 wel degelijk veranderd is. De tijdsduur dat de ebstroom de 0.6 m/s overschrijdt is sterk afgenomen. Er is een relatief sterke ebstroming aanwezig op dit slik. De afgraving ter hoogte van deze raai leidt tot een beperkte afname van de maximale ebstroming. Hoewel de stroomsnelheid slechts beperkt lijkt af te nemen leidt dit wel tot relatief sterke afnames in overschrijdingsduur van 0.6 m/s voor alle getijklassen (bij doodtij een afname van circa 45 minuten tot 0-30 minuten en bij springtij een afname van 150 minuten naar 90-120 minuten). Er is dus een afname van dynamiek in dit deel van de slikken bij eb. Mogelijks is dit deels te verklaren door de beperkte uitbouw bij de inkapseling van het fort waardoor de ebstroom wat afbuigt naar het zuiden. Bij vloed is de situatie relatief gelijkaardig aan de situatie voor aanleg met een beperkte afname van de overschrijdingsduur bij springtij. Er lijkt weinig tot geen invloed van de strekdam te zijn in deze raai.



Figuur 3-9: De gemiddelde overschrijdingsduren van 0.6 m/s bij vloed (links) en eb (rechts) tijdens doodtij, gemiddeld en springtij voor de meetlocaties van de raaien buiten het natuurontwikkelingsgebied. (figuren uit IMDC, 2024b)

De meeste van deze metingen zijn in overeenstemming met de veranderingen in maximale stroomsnelheid zoals verwacht door de voorafgaande modelstudie van Maximova et al. (2015). Een ruimtelijke samenvatting staat weergegeven in Figuur 3-10.



Figuur 3-10: Samenvatting van de analyse van de stroommetingen voor wat betreft maximale stroomsnelheden (links) en overschrijdingsduren (rechts) voor vloed en eb. Stijgingen worden weergegeven in rood, dalingen in blauw, grijs geeft gelijkaardige stroomsnelheden aan (en in geval van duurtijd geeft grijs eveneens het niet overschrijden van de grenswaarde van 0.6 m/s aan). (figuren uit IMDC, 2024b)

3.2.2 Golven

Bij nagenoeg alle meetlocaties werd een toename in golfhoogtes van enkele centimeters vastgesteld. De cumulatieve verdelingen van voorkomen van elke maximale golfhoogte op de verschillende slikmeetraaien voor de verschillende meetperioden toont een verschuiving richting grotere golfhoogtes. Vooral in raai 2 die het meest geëxposeerd is, is dit over de volledige gradiënt van golfhoogtes zichtbaar. Alle meetlocaties vertonen door de ingreep een verhoging van ca. 10 cm voor maximale golfhoogte. Bij raai 4 en raai 6 is dit effect wel het minst aanwezig.



Figuur 3-11: Cumulatieve verdeling per meetperiode van de maximale golfhoogte a) tussen de raaien in 2023; voor de verschillende meetjaren in b) Raai 2 en c) Raai 4. (figuren uit IMDC, 2024b)

Conclusie doelstelling 2 en 3a: Op basis van de analyse van de metingen op de slikken kan globaal worden gesteld dat de aanleg leidt tot zones met meer en minder dynamiek ten opzichte van de T0-meting. De grootste impact is merkbaar achter de strekdam met sterke toename in dynamiek door de ophoging. Zowel direct op- als afwaarts van de strekdam is er een afname in dynamiek. Verder opwaarts om de bocht is de invloed van de strekdam niet meer merkbaar, maar is er een vrij beperkte afname van de dynamiek door de afgraving. Ter hoogte van linkeroever is geen invloed merkbaar van de nieuwe strekdam en ingrepen op de slikken.

3.3 STROOMCONDITIES INITIËLE EROSIEPUT

Doelstelling 4: Wat zijn de stromingscondities ter hoogte van de erosieput?

De in 2019 gemeten sterkste stroomsnelheden ter hoogte van de erosieput zijn het sterkst rond 1 uur voor hoogwater (ca. 1.0 m/s) en de laagste stroomsnelheden tijdens de kenteringen (ca. 0.1 m/s). In vergelijking met de vloedstromingen aan de vaargeul zijn deze gemiddeld tot 40% lager en de ebstromingen tot 90% lager. Door de lokale morfologie aan de erosieput, draait de stroming tussen 2.5 en 4 uur na hoogwater met de klok mee en begint deze af te wijken van het stromingspatroon aan de vaargeul. Rond 3 uur na hoogwater is de stroming 180° gedraaid en stroomt het water stroomopwaarts ter hoogte van de erosieput in tegenstelling tot de stroming aan de vaargeul. Meer detail kan terug gevonden worden in rapport (IMDC, 2020).

4 MORFOLOGISCHE EVOLUTIE

4.1 BESCHRIJVING TOESTAND VOORAF (TO)

Fort Sint-Filips is gelegen in een scherpe binnenbocht aan de rechteroever van de Schelde. Onderwater ligt aan de noordoostkant ofwel stroomafwaarts de 'Parelplaat'. Stroomopwaarts in het zuidoosten ligt de 'Plaat van de Krankeloon' (Figuur 2-1). De Parelplaat is een voornamelijk zandige, sterk vloedgedomineerde plaat die historisch zelfs een droogvallend zandig plaatdeel bezat en een brede vloedschaar(Figuur 4-1 A–B). Stroomopwaarts vormt de 'Plaat van de Krankeloon' een relatief meer ebgedomineerde (maar nog steeds vloedgedomineerde) slikplaat grotendeels gevormd uit een harde substraatlaag van klei en veen. Voor de werken lag een sterk geknepen hoogdynamische vloedgedomineerde kortsluitgeul van max. 8 m diep tegen de dijkvoet. Door de werken is deze geul mee opgevuld om meer aansluiting te krijgen met de voorliggende plaat en een luwe slikzone achter de vloedstroomgeleider (stroomopwaarts gekromde strekdam) te realiseren (zie 4.2).



Figuur 4-1: Links: Vloed-ebdominantie (max. vloedsnelheid/ebsnelheid) ter hoogte van Fort Sint-Filips voorafgaand aan de ingrepen (anno 2013); Rechts: droogvallende zandplaat in verlengde van de raaien FF3 en FF4 (kaart Petit, 1877).

4.2 MACROMORFOLOGISCHE VERANDERINGEN

De Parelplaat vormt het belangrijkste subtidale gebied binnen de directe invloedsfeer van de vloedstroom begeleidende strekdam nabij raai 3 (Figuur 2-1, Figuur 4-1). Op basis van synthetische dwarsprofielen (ligging: zie Figuur 4-2) is te zien dat vooral tijdens de aanleg van de strekdam (2020- 2021) erosie is opgetreden die zich nadien min of meer stabiliseert (Figuur 4-3 midden en onder, Figuur 4-4, Figuur 4-5). Het zorgt wel voor een beperkte versteiling van de plaat. Vooral de plaatrand nabij de vaargeul erodeerde. Op de overgang van de Parelplaat naar de Krankeloonplaat, in het verlengde van de punt van de binnenbocht van Fort Sint-Filips, is er een zone waar vooral sedimentatie gebeurde (Figuur 4-3 midden en onder, Figuur 4-4,

Figuur 4-5). Door de ingreep is stroomaf km 16.5 het vloedgeultje opgevuld. Stroomopwaarts (km 16.75, km 17) vult het overgebleven vloedgeultje zich na de aanlegfase door sedimentatie vanzelf op.



Figuur 4-2: Links: hillshade-bathymetrie 2023 met duidelijke geribbelde, zandige zone; Rechts: contouren van de ecotoopgrenzen. Op beide kaarten is de ligging van dwarstransecten (elke 0.25km) aangeduid met aanduiding van hun afstand tot de grens met Nederland.

In de slikzone is vooral de aanleg van het slikgebied en de strekdam (2021) zichtbaar in Figuur 4-3 bovenaan (km 16.5) met steile helling en verdedigd met breuksteen. Ter hoogte van km 16.75 en km 17 (Figuur 4-3 midden en onder) is uitbreiding van het slikgebied zichtbaar door spontane, geleidelijke sedimentatie met vorming van een geleidelijke overgang tussen het ondiep subtidaal van de plaat en het slik en dit over een oeverlengte van 450 meter.



Figuur 4-3: Evolutie van de dwarsprofielen op korte termijn voor (2017-2020) en na (2020-2023) de aanleg van de strekdam ter hoogte van Fort Sint-Filips. Boven: raai FF3 - km16.5 met strekdam, Midden: km 16.75 tussen FF4 en FF5 met natuurlijke overgang en Onder: km17 ter hoogte van FF5 met aansluiting op de breuksteengordel rond de sarcofaag van Fort Sint-Filips.

Wanneer we de verschilkaarten van de bodemligging bekijken in de periode voorafgaand aan de aanleg van de strekdam (Figuur 4-4) is een sterke sedimentatie zichtbaar aan de rechteroever en binnen het studiegebied lokaal op de hoek van de binnenbocht. Daarnaast trad een aanzienlijke erosie op van de Parelplaat vooral tussen 2018 en 2019.



Figuur 4-4: Bodemhoogte verschilkaarten als indicatie van sedimentatie/erosie patronen ter hoogte van Fort Sint-Filips in de periode voorafgaand aan de aanleg van de strekdam. A) 2017 – 2020,
B) 2017 – 2018, C) 2018 – 2019, D) 2019 – 2020. Roodbruine tinten geven sedimentatie weer, groene tinten wijzen op erosie.

Na de ingreep tussen 2020 (DTM is van net voor de werken) en 2023 (Figuur 4-5 A) is sterke erosie (>0.75 m over grote oppervlaktes) zichtbaar van de Parelplaat die vooral tussen 2020 en 2021 optrad (Figuur 4-5 B). Eén jaar na de ingreep voorjaar 2021–2022 heerste een periode van netto sedimentatie aan de punt van de bocht, aansluitend bij het nieuwe slik, en over een langgerekte vloedrug (Figuur 4-5C), nadien slaat de trend in 2022–2023 opnieuw om (Figuur 4-5 D) maar netto blijft de balans over de periode 2020–2023 sterk negatief met een erosie van >1 m over een grote oppervlakte van de Parelplaat.

Netto volumeveranderingen voor de verschillende deelgebieden staan weergegeven in Figuur 4-6. In de intertidale ingreepzone is een groot deel aangelegd (~136.000m³) en nadien volgde ook bijkomende sedimentatie. Stroomopwaarts trad jaarlijkse erosie op met uitzondering van het laatste jaar 2022-2023 waarbij 37.400 m³ sedimenteerde in het gebied, maar netto is er nog steeds een verlies van ca. 14.000 m³.





Figuur 4-5: Bodemhoogte verschilkaarten als indicatie van sedimentatie/erosie patronen (inclusief aanleghoogteverschil) ter hoogte van Fort Sint-Filips na de aanleg van de strekdam in de totale periode A) 2023–2020 en jaarlijks B) 2020–2021, C) 2021–2022, D) 2022–2023.



Figuur 4-6: Jaarlijkse sedimentvolume veranderingen van de bodemligging en totale sedimentbalans (in situ) tussen 2018 en 2023 zonder breuksteenzones (arcering: aanvulling strekdamzone). Deelzonebenaming zie Figuur 2-1 (FF nt Sigma Impactzone bij FF N Parelplaat gevoegd).

4.3 MESO- EN MICROMORFOLOGISCHE VERANDERINGEN

Door de aanleg van de vloedstroom-geleidende strekdam en opvulling van de vloedgeul is de verwachting dat de vloedstroom afgeleid wordt van de achterliggende (stroomopwaartse) zone (zie Figuur 3-1). Hieruit volgt de verwachting dat de schuifspanning er zal afnemen en er door sedimentatie een stabiel slik kan ontstaan (Smolders et al., 2016). Doordat ook de diepe vloedgeul ("erosieput") afgeschermd en opgevuld werd, kan hierdoor een verbeterde ondiep subtidaal-slik-schorgradiënt ontstaan. Een belangrijke vraag hierbij is hoever de 'beschutting' van de strekdam stroomopwaarts doorloopt, en hoeveel slik als gevolg hiervan er ontstaat. Door een reeks hoogteraaien, in oplopende afstand van aan de strekdam tot aan de punt van de bocht van Fort Sint-Filips, die twee maal per jaar opgemeten werden, brengen we dit in kaart. Hieronder bespreken we deze raaien, zowel voor wat betreft hun topografie als sedimentkwaliteit, en de veranderingen hiervan. We bespreken achtereenvolgens de raaien in de voorziene slikontwikkelingszone, en de (controle) raaien die erbuiten gelegen zijn.

4.3.1 Raaien in de vloedstroomschaduw van de strekdam (raaien 2–4)

In de voorziene slikontwikkelingszone liggen drie permante raaien (raai 2–4), elk tussen de 180 tot 200 m lang. Een vierde raai (raai 5) is enkel in de T0-fase opgemeten en wordt verder niet besproken. We overlopen deze raaien van stroomafwaarts naar stroomopwaarts, ofwel van de oksel van de strekdam tot 200 m stroomopwaarts van de tip van de strekdam (Figuur 2-3).

Raai 2

Deze ligt het meest stroomafwaarts, in de oksel van de strekdam, en intuïtief lijkt dit de meest beschutte plek tegen de dominante vloedstroom op deze locatie. Dit wordt echter tegengesproken door de voorafgaande modellering (Figuur 3-1) én door de metingen. Raai 2 (Figuur 4-7, Figuur 4-8) is het hoogst afgewerkt en vertoont slechts lokaal hoogtevariaties tot maximaal een halve meter. Op dit hoog afgewerkte deel wordt de vloedstroom, wanneer deze de strekdam overstijgt, samengeknepen en bereikt hoge snelheden, die weer afnemen wanneer het slik lager wordt in het meer stroomopwaartse deel. Als gevolg van deze hoge vloedstroomsnelheden is het origineel aangelegde niveau geërodeerd (Figuur 4-7), waarbij het harde substraat dat gebruikt werd in de opbouw verder kwam bloot te liggen (Figuur 4-8). Deze harde, compacte antropogene laag is relatief erosie-resistent, maar verspreid ontstonden kolkgaten tot een halve meter diep. Als gevolg van de seizoenale sedimentatie-erosiedynamiek vinden we hier tijdens de zomermaanden en de eerste helft van de herfst lokaal wel een dunne sliblaag. De metingen van de sedimentkwaliteit tonen aan dat deze zone net na de afwerking bedekt was met medium, fijn of zeer fijn zand (Figuur 4-14). De meeste van deze punten hebben overheen de jaren een fijnere, eerder siltige slibsamenstelling gekregen, mede doordat deze zone iets lager uitgesleten is, maar vooral ook doordat het tijdstip van de sedimentkwaliteitsmetingen (eind augustus) zich in de gemiddeld luwere seizoenale periode situeert waardoor er lokaal met name in de depressies een dunne sliblaag aanwezig is. Toch blijven veel punten een (te) grote korrelgrootte hebben dan verwacht voor middelhoog tot hoog slik, en is de sliblaag op veel plekken waarschijnlijk niet permanent, waardoor dit in biotische potentie een laag kwalitatieve zone vormt.

Raai 3

Dit was initieel de langste raai met het grootste hoogteverloop, tussen 1–4 m TAW. Ze ligt meer stroomopwaarts dan raai 2, ter hoogte van de punt tot waar de strekdam reikt. De laagste delen van de raai vertonen de sterkste sedimentatie vooral in de zomerperiode van 2022 en 2023 (Figuur 4-9, Figuur 4-10). Hogerop, dichter bij de dijk, is er door de vorming van meanderende kreekjes, wat variatie ontstaan in de topografie met zowel erosie als sedimentatie tot 0.2 m. Ook deze raai startte in het intertidaal met een onnatuurlijk grove sedimentsamenstelling (medium-fijn zand) die gradueel wijzigde naar een korrelgrootte tussen fijn zand en silt. Deze evolutie is duidelijk verschillend (vanwege de hoge boxplots) met de bestaande slikpunten (rechts op de figuur) die een relatief stabiele samenstelling hadden doorheen de onderzoeksperiode. De sedimentsamenstelling was op het einde in 2023 vrij vergelijkbaar tussen de nieuwe en de oude punten (Figuur 4-14).

Raai 4

De meest stroomafwaartse raai 4 (FF4) ligt in het midden van de nieuwe slikzone tussen de strekdam en de sarcofaag van Fort Sint-Filips. Het was initieel een korte raai van 180 m die in 2021 een hoogtegradiënt kende tussen de 2–4 m TAW (Figuur 4-11, Figuur 4-12), maar die de laatste jaren sterk uitbreidde door aanslibbing (opsedimentatie). Opsedimentatie trad vooral op in de overgangszone naar het subtidaal met de vorming van een lange, geleidelijke slikgradiënt, met lokaal enkele meanderende kreken. In tegenstelling tot de andere raaien, is dit slikdeel laag aangelegd waardoor de initiële toplaag al uit natuurlijk sediment bestond. De sedimentsamenstelling is er daardoor consistent doorheen de tijd en vrij vergelijkbaar met de eindsituatie (2023) op raai 3 (Figuur 4-14), wat waarschijnlijk de natuurlijke, lokaal aangepaste sedimentsamenstelling reflecteert.



Figuur 4-7: Hoogteligging ter hoogte van raai FF2 met periodieke metingen in T0-2018, T1-2021, T2-2022 en T3-2023



Figuur 4-8: Bodemvormen ter hoogte van raai 2 (FF2) nabij vegetatieplot 3 en staalnamepunt FF2_3 (16/8/2023).



Figuur 4-9: Hoogteligging ter hoogte van raai 3 (FF3) met periodieke metingen in T0-2018, T1-2021, T2-2022 en T3-2023.



Figuur 4-10: Bodemvormen langs raai 3 (FF3) nabij vegetatieplot 05 en staalnamepunt FF3_4 (18/8/2023).



Figuur 4-11: Hoogteligging ter hoogte van raai 4 (FF4) met periodieke metingen in T0-2018, T1-2021, T2-2022 en T3-2023.



Figuur 4-12: Bodemvormen langs raai 4 (FF4) nabij vegetatieplot 07 en staalnamepunt FF4_1 (18/8/2023).

Als we de situatie anno 2022 evalueren van het natuurontwikkelingsgebied in de vloedstroomschaduw van de strekdam, omvat een aaneengesloten slikgebied van 12.24 hectare met zacht en hard 'natuurlijk' substraat en met een maximale breedtes tot 236 m. In de oksel van de strekdam ligt in het jaar 2022 een zone van ca. 1.5 ha waar verhoogde maximale stroomsnelheden waargenomen worden op een harde, weinig erosieve bodem (zie 3.2.1). Hierdoor is deze zone té hoogdynamisch voor de ontwikkeling van kwalitatief slik dat nu vooral bestaat uit antropogeen aangevuld hard substraat en efemeer slikhabitat (Figuur 4-8). Deze oppervlakte is daardoor niet meegeteld bij het ecologisch hoogwaardige ecotoopoppervlak (zie 5.1). Tussen 2021 verkleinde deze harde substraatzone nog door opsedimentatie van 2.8 ha naar 1.5 ha in nazomer 2022 (A in Figuur 4-13). In februari 2023 (B) lijkt deze hoogdynamische zone groter, met ook duidelijk antropogeen hard slik buiten de blauwe polygoon (zichtbaar als microreliëf), en wordt geschat op ca. 1.7 ha.



Figuur 4-13: Aangepaste ecotopenkaart 2022 met middelhoog slik doorzichtig; aangeduide polygonen vormen de zone met hard 'natuurlijk' substraat met onderliggend A) FCIR beeld van

12/9/2022 (DVW) en B) orthofoto 8/2/2023 (AGIV 2023). In de wintersituatie op 08/02/2023 is er duidelijk extra microreliëf zichtbaar buiten de polygoon, wat duid op extra oppervlakte antropogeen slik dat bloot komt te liggen.



Jaar • 2018 • 2021 • 2022 • 2023

Figuur 4-14: De mediane korrelgrootte (D50) van vaste meetpunten op de onderzoeksraaien. De blauwe lijn onderscheidt links de subtidale punten en rechts de intertidale slikpunten, de gele stippellijn onderscheidt binnen de intertidale punten de meetpunten op het originele slik (rechts), en op het nieuwe aangelegde/gevormde slik.

4.3.2 Raaien buiten de vloedstroomschaduw van de strekdam (raaien 1 & 6)

Raai 1

Zoals eerder besproken onder 3.2.1 ondervindt raai 1, hoewel stroomafwaarts gelegen van de strekdam en binnen de invloed van de vloedstroom, een afgenomen maximale vloedstroomsnelheid, waarschijnlijk doordat de vloedstroom eerder afbuigt rondom de strekdam wat ook voorspelt werd door voorafgaande modellen (Maximova et al. 2015). De

afgenomen schuifspanning, die er het gevolg van is, leidde tot opsedimentatie van het laag slik, met een toename tussen 0.5–0.75 m (Figuur 4-15). Het sediment op deze raai is siltig.

Raai 6

Op raai 6 werd geen afname van de maximale vloedstroom, maar wel een lichte afname van de maximale ebstroom en vooral een significante afname van de tijdsduur van overschrijding van 0.6 m/s ebstroomsnelheid genoteerd. Deze veranderingen hebben echter geen morfologische impact op deze raai (Figuur 4-16). Doorheen de hele onderzoeksperiode bleef de topografie er vrijwel ongewijzigd.



Figuur 4-15: Hoogteligging ter hoogte van raai 1 (FF1) met periodieke metingen in T0-2018, T1-2021, T2-2022 en T3-2023.



Figuur 4-16: Hoogteligging ter hoogte van raai 6 (FF6) met periodieke metingen in T0-2018, T1-2021, T2-2022 en T3-2023.

5 BIOLOGISCHE EVOLUTIE

5.1 <u>ECOTOPEN</u>

Om het effect van de ingreep in te schatten focussen we op twee grotere zones (Figuur 2-1): de subtidale zone, met name de twee subtidale platen en het intertidaal Sigma projectgebied, met haar verbeterde aansluiting op de ondiep subtidale zone, (rode contour op Figuur 2-1). Omdat het Sigma projectgebied vooral vooraf maar ook nu nog een groot deel subtidaal gebied bevat(te), zijn beide zones niet helemaal onafhankelijk.

5.1.1 Subtidaal: evolutie van het plaatgebied buiten het Sigma projectgebied

In de periode 2018–2020, voor de afwerking van de strekdam, is stroomafwaarts Fort Sint-Filips op het 31.7 ha grote vloedgedomineerde, dynamische en zandige gebied van de Parelplaat een erosie merkbaar van het ondiep subtidale deel naar matig diep en diep subtidaal (

Tabel 5-1, Figuur 5-3). Vanaf 2020, na het bijna volledig afwerken van de strekdam en het verdedigd slikgebied in de vloedschaduw ervan, neemt het ondiep subtidaal areaal weer toe. Tegelijk neemt echter ook de oppervlakte diep subtidaal van de plaat toe. Het gevolg is enerzijds een verbeterde aansluiting met het nieuwe slik (Figuur 5-3), maar anderzijds ook een versteiling van de plaat nabij de vaargeul (zie ook 4.2).

De oppervlakte van de subtidale Plaat van Krankeloon steeg in de periode 2018–2022 stelselmatig van 17.4 ha naar 19 ha ten koste van laag natuurlijk slik (Figuur 5-3). De autonome stijgende evolutie van voor 2020 zet zich iets trager door nadien. Zowel het ondiep als het diep subtidaal areaal nemen toe, terwijl het matig diep afneemt. Ondanks de aanwezigheid van grote delen hard substraat oppervlak (klei en veen, zie 4.1), blijft het ondiepe verharde plaatdeel verder eroderen.

	Subtidaal ecotoop	2018	2019	2020	2021	2022*	2018- 22
at	Diep	2.7	3.1	3.6	5.6	6.1	+3.4
elpla	matig diep	24.5	27.6	27.4	23.2	19.5	-4.9
Pari	ondiep	4.6	1.2	0.9	3.1	6.0	+1.4
u uc	Diep	7.9	8.5	8.8	9.1	9.3	+1.4
aat va nkelo	matig diep	4.2	3.6	3.3	3.0	2.9	-1.3
Plc Kra	ondiep	5.4	6.1	6.2	6.5	6.8	+1.4
	tot. PK	17.4	18.2	18.3	18.6	19.0	+1.6

Tabel 5-1: Subtidale ecotoopoppervlakte evolutie (ha) tussen 2018 en 2022 voor de twee plaatgebieden:stroomafwaarts het fort: Parelplaat, stroomopwaarts: Plaat van de Krankeloon.

Als we de subtidale ecotopen bekijken rekening houdend met de stroomsnelheid (Figuur 5-1; Ecotopenstelsel 2.0) met onderscheid van laag- en hoogdynamisch zones (gearceerde zones), lijkt de laagdynamische zone van de Plaat van de Krankeloon vrij stabiel gebleven (lichte

uitbreiding) terwijl de Parelplaat hoogdynamisch bleef, zowel voor als na de werken. Veranderingen in stroomsnelheid gebeurde dus voornamelijk binnen de vastgestelde grenswaarden, wat uiteraard niet wil zeggen dat er geen ecologische impact kan zijn. Bij de beoordeling baseren we ons vooral op ecotopenstelsel Zeeschelde v1.0.



Figuur 5-1: Evolutie van de subtidale ecotopen (v2) ter hoogte van Fort Sint-Filips voor de periode links) 2019 en rechts) 2021.

5.1.2 Intertidaal: evolutie in het Sigma projectgebied

Stroomafwaarts van de Scheldebocht bij Fort Sint-Filips bestond voor de werken het slik uit een langgerekt, smal, vrij hoogdynamisch slik met steile gradiënt naar een onnatuurlijke, voorliggende, diepe hoogdynamische vloedgeul. Het schorgebied bestond overwegend uit een smalle zone op een steile oever. Op de tip van de Scheldebocht nabij de uitwatering van Fort Sint-Filips, en in het stroomopwaartse deel van het Sigmagebied, was wel een aanzienlijke hoeveelheid slik en een vrij grote oppervlakte rietschor aanwezig (slechts een deel binnen Sigmagebied, Figuur 5-2). Het Sigma projectgebied bevatte voor de werken een opgehoogde zandstock en ook ongeveer 10 ha subtidaal gebied, wat grotendeels moet dienen om er intertidaal gebied te ontwikkelen.

De evolutie van de ecotoopoppervlaktes binnen de contour van het Sigma projectgebied staat weergegeven in Tabel 5-2 en Figuur 5-3. In totaal is in de periode 2018–2022 7.3 ha subtidaal gebied verdwenen ten behoeve van de ontwikkeling van intertidaal gebied. Hierbij ging vooral diep en matig diep subtidaal ecotoop verloren maar bleef de oppervlakte van het ondiep subtidaal ecotoop stabiel.

Anderzijds nam binnen het Sigma projectgebied de slik- en schoroppervlakte toe met 7 ha na één jaar en uiteindelijk in 2022 na de afwerking van het stroomopwaartse deelgebied zelfs met bijna 10 ha. Vooral de waardevolle zachte substraten van de middelhoge en hoge slikzones zijn toegenomen (Tabel 5-2). In 2021 was nog een aanzienlijke slikoppervlakte met hard 'natuurlijk' substraat bedekt. Binnen het projectgebied is dit in feite antropogeen verhard slik, bestaande uit harde, gecompacteerde aangevulde gronden met hier en daar steenpuin. In 2022 nam deze oppervlakte af door sterke sedimentatie en natuurlijke omvorming naar zacht substraat slik. Een deel van dit antropogeen verhard, laag kwalitatief slik lijkt echter permanent. In de late zomer van 2022 bedroeg de oppervlakte ervan minimum 1.5 ha (Tabel 5-2). De ingemeten oppervlakte van deze zone is echter afhankelijk van het tijdstip in het seizoen waarop de meting gebeurde: tijdens de zomermaanden ontwikkelt zich een dun, efemeer sliklaagje op een deel van deze hard substraatzone, maar in de winter komt een grotere oppervlakte antropogeen slik bloot te liggen (Figuur 4-13). Omdat habitat dat slechts tijdelijk geschikt is suboptimaal is voor de ontwikkeling van een macrobenthos levensgemeenschap, is vanuit ecologisch oogpunt de maximale wintertoestand oppervlakte te beschouwen als suboptimaal habitat.

De bestaande schoroppervlakte is binnen het Sigma projectgebied door de werken tijdelijk tot nul herleid (zie Bijlage 1). De afbakening is immers zo ingetekend dat het gevrijwaarde oud schor er buiten ligt (Figuur 5-2). Binnen het Sigma-gebied werd al in de zomer van 2021 de potentiële pionierszone, deels ontstaan door afgraving van schor, bijna volledig gekoloniseerd door pionierende schorvegetatie (zie deel vegetatie 5.5). Dit wijkt af van de schorecotopenoppervlakte 2021 doordat het nog niet in voldoende dichtheid aanwezig was in het voorjaar/voorzomer (moment orthofoto 2021). De volledige ontwikkeling van pionierschor tot volwassen schor verloopt relatief traag en kan afhankelijk van het type tientallen jaren duren, zodat onze resultaten hier eerder preliminair zijn.

De jaarlijkse veranderingen per deelzone zijn terug te vinden in Bijlage 1.

Tabel 5-2: Ecotoopoppervlakte evolutie (ha) in het Sigma projectgebied en het gehele onderzoeksgebied bestaande uit de subtidale platen en het Sigma projectgebied samen (zie Figuur 2-1) tussen T0-2018, T1-2021 en T2-2022.

	Sigma projectgebied				Sigma gebied + plaatgebieden					
	то	T1	T2	т1-то	Т2-Т0	т0	T1	Т2	T1-T0	Т2-Т0
Ecotoop	2018	2021	2022	'21-	'22-	2018	2021	2022	'21-	'22-
diep subtidaal	2.2	0	0	-2.2	-2.2	12.7	14.6	15.4	1.9	2.7
matig diep subtidaal	6.1	1.5	0.5	-4.6	-5.7	34.8	27.8	22.8	-7.1	-12
ondiep subtidaal	1.8	3.1	2.3	1.3	0.5	11.8	12.7	15.1	0.9	3.4
Totaal subtidaal	10	4.6	2.7	-5.5	-7.3	59.4	55.1	53.4	-4.3	-6
laag slik hard substraat	0.1	0	0	-0.1	-0.1	1.1	2.6	2.4	1.5	1.3
laag slik zacht substraat	1	1.8	1.8	0.7	0.8	5.4	3.3	3.6	-2.1	-1.8
middelhoog slik hard substraat	0.2	4.4	1.5	4.2	1.3	0.8	4.7	1.9	4	1.1
middelhoog slik zacht substraat	1.8	3.5	7.1	1.7	5.4	2.9	4.8	8.4	1.9	5.5
hoog slik hard substraat	0	0.4	0	0.4	0	0	0.4	0	0.4	0
hoog slik zacht substraat	0.1	0.6	2.7	0.5	2.6	0.1	0.7	2.8	0.6	2.7
hard antropogeen (breuksteen)	1	2	2.1	1	1.1	1.3	2.3	2.4	1.1	1.1
Totaal intertidaal slik (zacht)	4.2 (2.9)	12.6 (5.8)	15.3 (11.7)	8.4 (3)	11.1 (8.8)	11.4 (8.3)	18.7 (8.7)	21.4 (14.8)	7.3 (0.4)	10 (6.5)
Potentiële pionierzone	0	1.1	0.2	1.1	0.2	0	1.3	0.3	1.3	0.3
Schor (oud/pionierschor)	2.5	0	1	-2.4	-1.5	3.5	0.7	1.8	-2.8	-1.7
Totaal pionier+schor	2.5	1.1	1.2	-1.4	-1.3	3.5	2	2	-1.5	-1.5



Figuur 5-2: Sigma-afbakening in het zuidelijk Fort-Filips gebied aangepast in functie van te behouden rietschorzone zie luchtfoto jaar A) 2018 en B) 2024.

Tabel 5-3: Habitatoppervlakte evolutie (ha) in het Sigma projectgebied tussen T0-2018, T1-2021 en T2-2022. De oppervlakte van het Sigma projectgebied bedraagt 34.8 ha. De term Slik hard substraat 'natuurlijk' is in feite antropogeen aangevoerde ondergrond van gecompacteerd materiaal met puin, maar valt bij de standaard ecotoopkartering onder de categorie 'natuurlijk' hard substraat, omdat deze ecomorf toestand doorgaans natuurlijk is (opduikende klei/ veen).

		т0	T1	T2	T1-T0	T2-T0
Totalen	2018	2021	2022	'21-'18	'22-'18	
Slik en schor	zacht & nat.	5.7	11.7	14.4	6.0	8.7
	antropogeen	1.1	3.3	3.4	2.2	2.3
hoog supralitoraa	0.4	2.7	0.8	2.2	0.4	
Estuarien gebie	17.3	22.3	21.4	5.0	4.1	
Ecologisch hoog	7.1	10.0	15.2	2.9	8.1	
subtidaal			(16.7)		(9.3)	
Slik hard substra	0.3	4.8	1.5	4.4	1.2	
% estuarien/ Sig projectgebied	50%	64%	62%	15%	12%	
% Hoogwaardig	41%	45%	71%	4%	30%	
				(78%)		(35%)

5.1.3 Evaluatie van de ecotoopbalans en van doelen voor estuariene natuur

Binnen het Sigma projectgebied is er een toename met 11.1 ha slikoppervlakte, waarvan 8.8 ha hoogwaardige zachte slikken. Deze winst aan slikoppervlakte werd gerealiseerd ten koste van voornamelijk subtidale ecotopen, een stuk schorzone (pionier- + oud-schor; nettoverlies van 1.3 ha anno 2022 ten opzichte van 2018) en een stuk niet-estuarien gebied. De oppervlakte niet-estuarien gebied die omgezet werd in estuariene natuur bedraagt 4.1 ha (

Tabel 5-3) wat een toename van 50% tot 62% estuariene oppervlakte betekent binnen het Sigma projectgebied vanaf 2022. Bij de subtidale ecotopen namen diepe en matige diepe delen af, en was er een kleine toename (0.5 ha) ondiep subtidaal ecotoop. Het percentage ecologische hoogwaardige ecotopen, waaronder worden verstaan de zachte slikken, pionierzone, schor, en de ondiepe subtidale gebieden, steeg van 41% tot 71% binnen het estuarien deel van het Sigma projectgebied. Deze getallen zijn gebaseerd op de toestand van de natuurontwikkelingszone in 2022 en begin 2023, waarbij de ecotoop-oppervlaktes in 2023 min of meer stabiel lijken te blijven. Bij de slikoppervlaktes maken we een onderscheid tussen hoogwaardig en laagwaardig slik. Net achter de strekdam bevindt er zich een hoogdynamische zone. Daardoor blijft de aangevoerde, gecompacteerde grond met antropogeen puin aan de oppervlakte en vormt er zich geen zacht sliklaagje, wat nodig is voor de ontwikkeling van een waardevolle macrobenthosgemeenschap. We vinden er wel een oppervlakkig, efemeer dunlagig sliklaagje tijdens de zomer tot de herfst, wat tijdens de meer hydrodynamische wintermaanden weer wegspoelt. We geven daarom bij de ecotoop- en habitatoppervlaktes zowel de oppervlakte schatting voor zachte slik sensu strictu, en de meer liberale schatting waarbij de volledige slikoppervlakte wordt gerekend (tussen ()).

De in het Meest Wenselijke Alternatief geformuleerde doelstelling voor dit gebied bedroeg 11,66 ha extra estuariene natuur (Couderé et al. 2005). Deze oppervlakte wordt ruim niet gehaald (4.1 ha, een tekort van 7.5 ha). Dit was in de planfase al duidelijk, en er is daarom voorgesteld om dit tekort te milderen door te voorzien in een habitatkwaliteitsverbetering over een zone van ongeveer 7.5 ha (Van Ryckegem, 2019). Die maatlat wordt effectief gehaald binnen dit project (zie Tabel 5-3).





Figuur 5-3: Evolutie van de ecotopen (v1) ter hoogte van Fort Sint-Filips voor de periode A) 2018, B) 2019, C) 2020, D) 2021 en E) 2022 op achtergrond *false colour* beelden van 2022.

5.2 MACROZOÖBENTHOS

Het jaarlijks aantal succesvol genomen stalen, en het aantal lege stalen (dit wil zeggen; zonder macrozoöbenthos) wordt opgelijst in Tabel 5-4.

Tabel 5-4: Het aantal stalen dat succesvol kon genomen worden (Aantal stalen) en het aantal stalen zonder macrobenthos (Aantal lege stalen) voor de vier onderzoeksjaren.

jaar	Aantal stalen	Aantal lege stalen
2018	38	20
2021	38	14
2022	39	14
2023	40	13

De verandering in de aanwezigheid van het macrozoöbenthos op de studiesite manifesteert zich op twee niveaus. Ten eerste zijn er de kwantitatieve effecten als gevolg van ecotoop oppervlakteveranderingen (zie 5.1). Een verandering in de ecotoop-oppervlakte impliceert een verandering in de totale hoeveelheid macrobenthos dat aanwezig is op de site. De grenzen die gebruikt worden om ecotopen af te lijnen, zijn gebaseerd op onderzoek in de Zeeschelde (Van

Braeckel et al., 2021). Daarbij werden fysische grenzen gezocht die overgangen in macrozoöbenthosdensiteiten en soortensamenstelling markeren, waardoor de (verandering in de) aanwezigheid en oppervlakte van ecotopen een goede voorspeller is van de (verandering in de) geschiktheid van een gebied voor macrozoöbenthos. Uit het deel ecotopen (5.1, Tabel 5-2) blijkt dat er 8.8 ha zacht slikhabitat is bijgekomen binnen de Sigma projectzone.

Ten tweede zijn er de kwalitatieve effecten als gevolg van de verstoring of recente aanleg van de slikken, waardoor hier niet de verwachte macrobenthosgemeenschappen zitten. Verstoringen (zoals sterke sedimentatie-erosie bewegingen) zijn een belangrijke oorzaak van veranderingen in de macrozoöbenthosgemeenschap (Norkko et al., 2006). Door de mens verstoorde of recent geconstrueerde habitatten kunnen voor korte of lange tijd blijven verschillen van natuurlijke habitatten, waardoor hun biotoopgeschiktheid (ook voor bv. hogere trofische niveaus zoals watervogels) verschilt van natuurlijke habitatten.

Deze kwaliteitseffecten komen tot uiting als een verandering in densiteiten en soortensamenstelling binnen eenzelfde oppervlakte. Hieronder kijken we meer in detail naar hoe de macrozoöbenthosgemeenschap veranderde. De data zijn daarbij omgerekend naar een gestandaardiseerde oppervlakte van 1 m².



Figuur 5-4: De verdeling van de totale macrozoöbenthos biomassa (g/m²) overheen de hoogtegradiënt van de transecten bij Fort Sint-Filips, voor de verschillende onderzoeksjaren.

Het voorkomen van macrozoöbenthos in de Zeeschelde wordt in grote mate bepaald door de droogvalduur, wat binnen een klein studiegebied zoals dit vrijwel overeen komt met de hoogteligging. Bij een vergelijking van de macrobenthos gemeenschap tussen verschillende periodes, moet men dus op één of andere manier abstractie maken van hoogte om een zinvolle vergelijking te kunnen maken. Om de evolutie van het macrozoöbenthos doorheen de tijd op een eerlijke manier weer te geven, vergelijken we in Figuur 5-4 de relatie tussen macrozoöbenthos biomassa en de hoogte (in meter TAW) voor de verschillende jaren. We vergelijken dus niet individuele datapunten, maar kijken of de relatie tussen biomassa en hoogte verschilt tussen locaties of verandert doorheen de tijd. We gebruiken biomassa in

plaats van aantallen omdat deze een stabielere en ecologische relevantere parameter is dan de densiteit.

Zoals verwacht vinden we veel meer macrozoöbenthos in het intertidaal dan in het subtidaal. Ook binnen het intertidaal zijn er grote verschillen. De grens waarboven de densiteiten sterk toenemen ligt in deze zone doorgaans rond de 25 % droogvalduur (1.07 m TAW) (Van Braeckel et al., 2020). Wanneer we de verschillende jaren vergelijken dan zien we in het intertidaal een toename van macrozoöbenthos van 2021 naar 2022 en opnieuw van 2022 naar 2023. Pas in de zomer van 2021 werd de strekdam en een deel van het verdedigd slikplateau erachter aangelegd. Hoewel er in de meeste intertidale stalen al macrobenthos aanwezig was (zie Tabel 5-4) waren de aantallen zoals verwacht nog erg laag, omdat nog geen volledige kolonisatie en populatie-ontwikkeling door macrozoöbenthos kon gebeuren.

Als we de macrobenthos biomassa vergelijken met bestaande slikgebieden in de buurt van Fort Sint-Filips (Figuur 5-7), dan zien we dat in 2023 een vergelijkbaar profiel van benthosbiomassa in relatie tot hoogte bereikt werd. Na een verstoring of bij het ontstaan van een nieuw slikgebied, is er vaak een opstoot van opportunistische soorten, waardoor er tijdelijk hogere densiteiten van het macrozoöbenthos zijn dan voorheen (Van de Meutter et al., 2023). Vaak zijn dit kenmerkende pionierende soorten die tijdelijk in aantal toenemen. In Figuur 5-5 en Figuur 5-6 zien we dat vooral de Amphipoda, aangestuurd door het wadkreeftje Corophium volutator, sterk toenemen na de werken. Andere (talrijke) taxa die duidelijk toenemen zijn de lijnpissebed Cyathura carinata (Isopoda) en de veelkleurige zeeduizendpoot Hediste diversicolor. Over de reden van dergelijke tijdelijke toename bestaat discussie, maar mogelijk is er tijdelijk minder concurrentie of predatie, of zijn de leefomstandigheden tijdelijk meer geschikt. Het is dus niet zeker dat de biomassadichtheid in 2023 de uiteindelijke locatieeigen evenwichtstoestand is, maar met de huidige data lijkt het gebied gunstig te ontwikkelen. Een eind-evaluatie na 5 en 10 jaar kan een meer betrouwbaar eindoordeel garanderen. Al bij al passen de resultaten in het beeld dat het intertidaal gebied van Fort Sint-Filips evolueert naar een typisch estuarien slikgebied met de kenmerkende soorten en waarschijnlijk na verloop ook densiteiten voor dit deel van de Zeeschelde.

Het nieuwe slikgebied achter de strekdam bij Fort Sint-Filips bestaat zoals eerder gezegd voor een deel uit laagwaardig slikhabitat, met harde bodem en puin, waartussen kleine, vaak tijdelijke sliklenzen zich vormen. Uit Figuur 5-7 blijkt dat in 2021 en 2022 er minder macrobenthos aanwezig was op deze raai dan je zou verwachten op die hoogte. In 2023 waren er echter zowel punten met lagere als met hogere dan verwachte benthosbiomassa, waarschijnlijk omdat de sliklenzen dat jaar dikker waren (wat we kunnen afleiden uit de sedimentkwaliteit in de 10 cm toplaag, zie Figuur 4-14). Een belangrijke opmerking is dat bij staalnames er doorgaans geprobeerd wordt om een bruikbaar staal te nemen op of in de dichte buurt van een staalname punt. Zo wordt bij slik op breuksteen, of zoals dit geval bij slik op harde ondergrond, vaak het punt met de dikste sliblaag gekozen om het staal te nemen, zodat het staal de vereiste staalnamediepte heeft (en het voldoet aan het standaardprotocol van MONEOS; zo zijn stalen onderling vergelijkbaar). In dit geval kan dit aanleiding geven tot een geflatteerd beeld van de werkelijke toestand.



Figuur 5-5: Biomassa-evolutie in de periode 2018-2023 voor de 9 macrozoöbenthos taxa met de grootste biomassa bijdrage.



Figuur 5-6: Biomassa-evolutie in de periode 2018-2023 voor de 9 macrozoöbenthos hogere taxongroeperingen (phylum, klasse, orde) met de grootste biomassa bijdrage.



Figuur 5-7: Relatie tussen benthosbiomassa (g AFDW/m²) en intertidale hoogte (in m TAW) voor de site Fort Sint-Filips (per jaar: 2018, 2021, 2022, 2023) en een set van controlepunten, genomen door INBO tijdens de jaarlijkse MONEOS monitoring, voor een selectie van punten tussen het Fort Sint-Filips en het Galgenschoor. De punten op raai2, gelegen in een deel van het slik dat meer hoogdynamisch is, en een gecompacteerde harde bodem heeft met harde delen, zijn weergegeven met bolletjes, alle overige stalen met kruisjes.

5.3 <u>HYPERBENTHOS</u>

De monitoring (2018, 2021, 2022, 2023) bij Fort Sint-Filips reveleerde een totaal van 51 taxa en (niet altijd exclusieve) pseudotaxa (morfotypes, onbekende en onzekere soorten). Een overzicht, per jaar en per transect, is te vinden in Bijlage 2. Het totale biomassa verloop doorheen de tijd staat in Figuur 5-8.

De aantallen en de biomassa van hyperbenthos zijn sterk variabel tussen jaren. Vrijwel alle belangrijke (talrijke, hoge biomassa-bijdrage) hyperbenthische soorten in de Zeeschelde zijn migranten die tijdens de lente-herfst zich komen voortplanten. De jaarlijks weerkerende aantallen zijn notoir variabel, omwille van verschillende en vaak nog maar deels begrepen, deels soortspecifieke factoren (De Neve et al., 2020). Er zijn grote verschillen tussen de vaste monitoringssites onderling, en door het beperkte aantal (N=6) met slechts één site enigszins in de buurt (bij Sint-Anna), is een directe vergelijking weinig informatief. Er is meer onderzoek nodig om de lokale variatie, bijvoorbeeld binnen- versus buitenbocht, of het stroomop- of stroomafwaartse deel van een bocht, en de temporele variatie (invloed getijfase), op aantallen en biomassa te kennen. Wanneer we de trajecten op Fort Sint-Filips onderling vergelijken, dan zien we een vergelijkbaar patroon in 2018, 2022 en 2023, maar niet in 2021. Daarbij bevat het stroomopwaartse traject FF2 het meeste hyperbenthos, gevolgd door FF1a, ter hoogte van nieuw natuurontwikkelingsgebied. Het minste hyperbenthos wordt aangetroffen op traject FF1b, stroomafwaarts van de strekdam. In 2021 was echter traject FF1b net het rijkst aan hyperbenthos. Mogelijk was dit het gevolg van de pas enkele weken eerder afgeronde werken, en de grote morfodynamische respons die er toen op volgde, hoewel er toen ook lage

aantallen hyperbenthos aanwezig waren op het traject FF2. De oorzaak van deze tijdelijke dip is niet gekend.

Als enige vergelijkbare referentiesite voor deze zone is er de vaste monitoringslocatie aan het strand van Sint-Anneke. Hier zijn gegevens beschikbaar tot en met 2022. De totale biomassa (zelfde methode) voor de maand augustus voor de jaren 2018, 2021 en 2022 was 0.34, 0.19 en 1.24 g AFDW/40m³. Dit is min of meer vergelijkbaar met de jaar tot jaar variatie aan Fort Sint-Filips, al is de piek in 2022 groter. Als we meer in detail naar het soortenpalet kijken dan zien we grote gelijkenissen: in 2018 was de garnaal *Palaemon longirostris* de bulk-soort en in 2022 was dat de aasgarnaal *Mesopodopsis slabberi*. Opmerkelijk is dat de recurrent zeer hoge biomassadichtheid op traject FF2 te wijten is aan telkens een andere dominante soort. In 2018 waren het zeer grote aantallen langneussteurgarnaal *P. longirostris*, in 2021 de aasgarnaal *M. slabberi* en in 2022 was het de grijze garnaal *Crangon cangon* (Tabel 2-3). Deze locatie biedt dus een generiek gunstige conditie voor hyperbenthos, toch minstens tijdens de periode rond de laagwaterkering. De herinrichting van de site Fort Sint-Filips lijkt geen drastische wijzigingen veroorzaakt te hebben in het lokaal voorkomen van hyperbenthos.

Onze kennis over de kleinschalige ruimtelijke verdeling van het hyperbenthos is beperkt tot de periode rond laag water, omdat dan de monitoring gelopen wordt. Een gelijkaardige monitoring bij een andere getij, en dus hoger op het slik, is bijzonder moeilijk omdat het slik veel zachter en dus moeilijker te belopen is bovenaan. Een meetcampagne die de invloed van bochtigheid, en de invloed van eb- versus vloeddominantie onderzocht op het voorkomen van hyperbenthos bij laag water (Van Braeckel et al. 2020) suggereert dat het hyperbenthos bij voorkeur in zones met dominante vloedstroom en lagere ebstroom verzamelt. Ander onderzoek (Van de Meutter et al., 2019a) toonde aan dat het hyperbenthos tijdens de eerste helft van de vloedfase de slikken optrekt om te foerageren op het macrobenthos, en daarvoor waarschijnlijk zones met hoge macrobenthos densiteiten verkiest. Deze hoge densiteiten macrobenthos zijn vooral te vinden op laagdynamische slikken, wat suggereert dat hyperbenthos gerichte verplaatsingen maakt tussen deze verschillende habitats. In ieder geval wijst het patroon bij laag water op het belang van de bochtigheid en met name van de ruimtelijke heterogeniteit in hydrodynamiek van de Zeeschelde voor het hyperbenthos.



Figuur 5-8: Totaalsom Biomassa (gram asvrij drooggewicht) per Bongo sleep (vol.: 40 m³) per traject en per jaar. Aantallen (y-as) worden weergegeven volgens de logaritme van 2.



Figuur 5-9: Biomassa hyperbenthos per bongosleep (40m³) voor de drie trajecten in de drie onderzoeksjaren.

5.4 WATERVOGELS

De veranderingen doorheen de tijd voor de watervogelgemeenschap staan in de Figuur 5-10.

doi.org/10.21436/inbor.124354088



Figuur 5-10: Trends voor de watervogels (maandelijkse telling vanop een boot) ter hoogte van de site Fort Sint-Filips (linksboven: totaal alle watervogels, rechtsboven: eenden, linksonder: meeuwen, rechtsonder: steltlopers).

Wat opvalt bij de watervogeltrends is de zomerpiek in de jaren voorafgaand aan de werken, en het uitblijven van deze piek erna. Deze zomerpiek is te wijten aan foeragerende kokmeeuwen. De meeuwen werden vooral foeragerend gezien nabij waterkolken ter hoogte van de diepe vloedgeul en erosieput. Door het wegvallen van de afwijkende stromingen rond de erosieput zijn deze waterkolken — die vermoedelijk hyperbenthos opstuwen — waarschijnlijk verdwenen (zie 3.3). Tijdens de wintermaanden noteerden we een duidelijke toename van watervogels. Deze toename is vooral duidelijk vanaf eind 2021 en wordt gerealiseerd vooral door eenden en steltlopers. De gedragsobservaties tonen aan dat een groot deel van deze toename foeragerende vogels betreft, wat aantoont dat het gebied effectief als foerageergebied wordt gebruikt.





Figuur 5-11: Aantallen watervogels (boven) en aantal eenden (onder) voor de twee teltrajecten bij Fort Sint-Filips. Links: stroomafwaarts van de bocht, ter hoogte van de strekdam en het grote nieuwe slik, rechts: stroomopwaarts van de bocht in de minder gewijzigde zone.



Figuur 5-12: Aantallen meeuwen (boven) en aantallen steltlopers (onder) voor de twee teltrajecten bij Fort Sint-Filips. Links: stroomafwaarts van de bocht, ter hoogte van de strekdam en het grote nieuwe slik, rechts: stroomopwaarts van de bocht in de minder gewijzigde zone.

Wanneer we de twee trajecten onderling vergelijken dan valt op dat het traject stroomopwaarts van Fort Sint-Filips voor de meeste soorten hogere aantallen laat noteren, zowel voor als na de werken. Een uitzondering was een eenmalige grote groep rustende wulpen die op het slik zaten in het stroomafwaartse traject. De grootste toename in watervogels tijdens de winter in het stroomafwaartse deel is te wijten aan meeuwen (Figuur 5-11, Figuur 5-12). Als we de meeuwen — die een specifieke ecologie hebben — wegdenken, dan zien we dat de lichte toename in steltlopers en (minder overtuigend, tijdelijk) eenden langsheen beide trajecten vrij vergelijkbaar is. De vrij gelijklopende toename in het aantal

steltlopers is toe te schrijven aan een toename van (foeragerende) scholeksters. Dit valt samen met een ruimer fenomeen in dit deel van de Zeeschelde waarbij schelpdieren (Bivalvia) sinds ongeveer 2018 sterk toenemen (zie ook het deel over macrozoöbenthos). Deze schelpdieren dienen als voedsel. We kunnen deze toename dus niet eenduidig toeschrijven aan de inrichting van Fort Sint-Filips.

Samenvattend is de inrichting geen onverdeeld succes voor de watervogels, en wordt de interpretatie van de gegevens bemoeilijkt door factoren die wellicht los staan van de inrichting, zoals de toename van de brakwaterkorschelp. Vermoedelijk is een deel van de afname van de aantallen foeragerende meeuwen te wijten aan het opvullen van de erosiegeul en -put. De grote nieuwe slikplaat (~10 ha) in de oksel van de strekdam, met vanaf 2023 hoge densiteiten van macrobenthos, is potentieel een nieuw, groot geschikt foerageergebied voor veel watervogels. We zien inderdaad een toename van scholeksters, maar deze is vergelijkbaar met de rest van brakke zone in de Zeeschelde en is wellicht gelinkt is aan de toename van de exotische brakwaterkorfschelp. Mogelijk is er wel een effect van de ingreep doordat een meer geleidelijke en betere zachte substraat aansluiting tussen subtidaal en intertidaal werd verkregen, en vermoedelijk zo ook ruimte voor deze schelp voorhanden is gekomen. Voorlopig wordt hier nog geen grote toename van watervogels vastgesteld.

5.5 VEGETATIE

De monitoring van vegetatie op Fort Sint-Filips gebeurde enkel in 2022 en 2023. Pas tijdens de zomer van 2021 werd het gebiedsdeel waar de meeste vegetatieplots liggen afgewerkt, waardoor een eerste monitoring dat jaar weinig zinvol was. Een samenvattend overzicht van de vegetatieplots is te vinden in Tabel 5-5.

Van de negen vegetatieplots liggen er drie op locaties waar voor de werken al schor aanwezig was. Vaak is dit oorspronkelijke schor deels genivelleerd geweest bij de werken, maar er zijn nog worteldelen aanwezig waaruit bijvoorbeeld riet snel kon regenereren. Op de andere plots zien we vestiging van *Vaucheria* sp., een essentiële precursor van schorontwikkeling met hogere planten, maar geen zekerheid dat er schor zal ontwikkelen. De onderzoeksperiode is te kort om uitspraken te doen over verdere ontwikkelingen. Op de vegetatieplots 1 en 9 was er een duidelijke toename van bedekking met hogere planten tussen jaar 2022 en 2023 (Bijlage 3), wat op uitbreiding en successie wijst. Luchtbeelden, gebruikt om ecotopenkaarten te maken, tonen aan dat na een verlies van 2.5 ha schor door de werken (verschil 2018–2022), er opnieuw vestiging van 1 ha pionierschor was in 2023 (zie Tabel 5-2).

Tabel 5-5: Samenvattende tabel van vegetatietypering voor de onderzochte vegetatieplots, per raai en
per hoogte op de site van Fort Sint-Filips (2022–2023).

FF1			FF2		FF3	FF4		FF6	
	hoog	Laag	hoog	laag	hoog	hoog	laag	hoog	Laag
PQnr	1	2	3	4	5	6	7	8	9
2022	riet	algen met beetje riet	algen	algen		algen	algen	algen	spiesmelde beetje zulte
2023	open riet met algen	algen met beetje riet	algen	algen	algen	algen			spiesmelde/zulte mozaïek
opm	bestaand schor								voormalig schor

6 DISCUSSIE

In deze discussie geven we een integrale bespreking en evaluatie van de doelstellingen 2, 3 en 5, die focussen op de interactie tussen morfologie, hydrodynamica en ecologie bij de vorming van het natuurontwikkelingsgebied, en de zone errond. De doelstellingen 1 (effecten op stromingscondities in de vaargeul) en doelstelling 4 (patronen van stromingscondities in de erosieput) zijn uitgebreid toegelicht in IMDC (2019, 2024a, 2024b, 2024c).

6.1 DE OPPERVLAKTEDOELSTELLING ESTUARIENE NATUUR

De oorspronkelijk gestelde doelstelling van 11.66 ha nieuwe estuariene natuur (Couderée et al. 2005) ter hoogte van Fort Sint-Filips werd ruimschoots niet gehaald (oppervlakte nieuwe estuariene natuur anno 2023: 4.1 ha, een tekort van 7.5 ha). Als mitigatie voor dit tekort werd een kwaliteitsverbetering van bestaand estuarien gebied voorgesteld (Van Ryckegem, 2019), met een oppervlaktedoelstelling voor verbeterde natuur van 7.5 ha. Om die kwaliteitsverbetering te realiseren werd zowel niet-estuarien gebied omgezet naar slik en (potentieel) schor als ook hoogdynamisch diep en matig diep subtidaal gebied (waaronder de erosieput en omgeving) omgezet in intertidaal slikgebied. Intertidaal slik wordt ecologisch meerwaardig ingeschat in vergelijking met diep en matig diep hoogdynamisch subtidaal. De oppervlakte kwaliteitsverbetering, hier berekend als de optelsom van omgezet niet estuarien gebied en verbeterd estuarien gebied minus de verliezen aan hoogwaardig habitat, werd effectief behaald (8.8 ha).

6.2 EVOLUTIE VAN DE NATUURONTWIKKELINGSZONE BINNEN DE NIEUWE STREKDAM

Evaluatie van het nieuwe slikgebied achter de strekdam

De bouw van een nieuwe strekdam, het omzetten van een deel niet estuariene naar estuariene natuur, en het gedeeltelijk aanleggen van een verdedigd slikplateau vormden de basis voor het ontstaan en de verdere spontane ontwikkeling van een nieuw slikgebied van ca. 11 ha (anno 2023). Er is een groot verschil in de aanleg en de evoluties tussen het noordelijk en zuidelijk deel van dit slikgebied. Dit is meteen duidelijk in het contrast in hydrodynamische veranderingen en vooral in de sterk verschillende morfologische veranderingen in het jaar na de aanleg (Figuur 6-1, merk vooral de sterk verschillende respons in sedimentatie). Dit heeft onder andere te maken met de aanleghoogte, die in het noordelijk deel, in de oksel van en geleidelijk aansluitend op de strekdam, de eigenschappen heeft van een hoog verdedigd slikplateau op 3 m TAW, maar in het zuidelijk veel minder werd aangevuld tot op 1–2 m TAW.



Figuur 6-1: Veranderingen in hydrodynamiek door de werken (links, IMDC, 2024c) en morfologische veranderingen tussen 2021-2022 (rechts) op en rondom de site Fort Sint-Filips.

Zuidelijk deel van de slikplaat achter de strekdam

Door het luwen van de vloedstroom, en het beperkt ophogen van deze zone, creëerde de strekdam hydrodynamische condities die tot een snelle opsedimentatie leidden in het zuidelijk deel van de nieuwe slikzone (raai 4, Figuur 6-2). Tussen 2021 en 2022 kwam hier spontaan 1 tot 1.5 m sedimenthoogte bij (Figuur 6-1); tussen 2022 en 2023 vertraagde dit proces tot enkele decimeters. De maximale vloedstroom bij springtij nam op raai 4 toe met 0.25 m/s van 2021 naar 2022, maar bleef vrij stabiel tussen 2022 en 2023, wat suggereert dat morfologie en hydrodynamica snel naar een nieuw evenwicht toe evolueerden. Dit wordt geïllustreerd aan de hand van de hydrodynamische en morfologische evoluties ter hoogte van raai 4 (Figuur 6-2).




Figuur 6-2: Evolutie van maximale vloedsnelheid (linksboven), tijdsduur van overschrijden van 0.6 m/s van de vloedsnelheid (rechtsboven) (figuren uit IMDC, 2024b), en morfologisch evolutie (onder) voor raai 4 in het zuidelijk deel van het nieuw slikgebied bij de strekdam Fort Sint-Filips. Legende voor bovenste figuren (blauw: 2018, rood: 2021, oranje: 2022, paars: 2023).

Noordelijk deel van de slikplaat achter de strekdam

In het noordelijk deel van het nieuwe slikgebied bleef sedimentatie na de inrichting beperkt. In het deel dat diep in de oksel van de strekdam ligt, werd zelfs erosie vastgesteld (Figuur 6-1). Een groot deel van het slikgebied binnen de oksel van de strekdam werd hoog aangelegd als verhoogd slikplateau (3 m TAW), bestaande uit een mengeling van niet-estuariene grond en puin. In overeenstemming met de voorspellingen (Maximova et al. 2015) was er in deze zone een sterke toename van de hydrodynamiek na aanleg van de strekdam, waardoor er nauwelijks of geen sedimentatie mogelijk was, en er geen echt slikgebied kon ontwikkelen. Door de artificiële aanleg met harde consistentie is erosie er beperkt, waardoor dit deel niet of traag naar een lagere, minder hoogdynamische en meer slikrijke toestand kan evolueren. Een deel blijft dus wellicht een hoog gelegen, hoogdynamische hard substraat zone.

Dit uitte zich ook op ecologisch vlak, met minder macrobenthos dan verwacht, hoewel in 2023 er lokaal iets meer sediment aanwezig was, en daardoor ook meer macrobenthos. Toch is het duidelijk dat deze zone minderwaardig ecologisch slikgebied is.

De grootte van het deel slikgebied zonder slik varieert seizoenaal, door de systeemeigen seizoenale sedimentatie-erosie dynamiek (Van Braeckel et al. 2019), maar wordt geschat op 1.5–1.7 ha, of bijna een zesde van het nieuwe slikgebied. Dat blijft een aanzienlijke oppervlakte, waar geen optimaal ecologisch resultaat gehaald werd. Een belangrijke onderzoeksvraag om het succes van toekomstige gelijkaardige ingrepen te verhogen, is hoe de ecologisch minderwaardige zone in oppervlakte beperkt kan worden. Het verhogen van een smalle zone aan de rand van strekdam is de meest vanzelfsprekende aanpak maar heeft als negatieve keerzijde dat de vloedstroom niet alleen verder afremt maar de rivier ook sterker knijpt met potentieel grotere erosie van de Parelplaat tot gevolg.

6.3 MORFOLOGISCHE EFFECTEN OP DE PLAATGEBIEDEN RONDOM FORT SINT-FILIPS

Natuurontwikkelingsprojecten binnen de Zeeschelde gebeuren in regel steeds landinwaarts, zoals bij Ketenisse, het Paardenschor, Lillo, de Hedwigepolder,... Een landinwaartse natuurontwikkeling heeft tal van voordelen, de getijderivier krijgt meer broodnodige ruimte en het cumulatief zorgen deze ingrepen voor een verlaging van de dynamiek in het systeem en een relatief beperkte invloed in de bestaande subtidale gebieden. Door de nood aan inkapseling van een vervuilde black point op de site van Fort Sint-Filips, en een stabiliteitsprobleem nabij de dijk (erosiegeul), is gekozen voor een deels rivierwaartse natuurontwikkeling. Daarbij ontstaat er per definitie een trade-off tussen habitat types: in dit geval is er winst van intertidale natuur ten koste van subtidale natuur, doordat het één in het andere werd omgezet. Maar de effecten gaan ruimer dan de projectzone. Door de aanleg van de strekdam, samen met de overige aanpassingen op de site Fort Sint-Filips, veranderde de hydro- en morfodynamiek over de ruime omgeving met een impact op de nabije plaatgebieden. De gemodelleerde veranderingen in stroomsnelheid bij springtij (Maximova et al. 2015) en de hierdoor verwachte vastgestelde morfologische veranderingen in de plaatgebieden (Figuur 6-3) zijn op voorhand goed in beeld gebracht en vertoonden een vrij goede overeenstemming. Vooral de stroomafwaarts gelegen Parelplaat ondervond een verhoogde hydro- en morfodynamiek, door het afleiden van de vloedstroom weg van de oever, waardoor hier over een grote oppervlakte meer dan een meter erosie optrad. Dit leidde tot een versteiling van de plaat door de erosie van de plaatrand ten gevolge van de toegenomen afbuiging van ebstroom. Wel verdween de hoogdynamische vloedgeul onderaan de oever, waardoor de hoogwaterveiligheid verhoogde en een meer geleidelijke overgang van slik naar de plaat ontstond, met een toename van de oppervlakte ondiep subtidaal gebied. Nabij het natuurontwikkelingsproject verlaagde de stroomsnelheid in de subtidale zone nabij het slik wat geïllustreerd wordt door de snelle sedimentatie van het overgebleven vloedgeultje ten zuiden van de strekdamzone.



Figuur 6-3: Gemodelleerde veranderingen in stroomsnelheden bij springtij (Maximova et al. 2015) en morfologische veranderingen voor en na de werken (2020-2023).

Stroomopwaarts is de plaat van de Krankeloon gekenmerkt door harde laag die dagzoomt aan bij laagwater en verder onderwater verder doorloopt (tot -0.8 mTAW). De werken hebben

initieel een verandering bewerkstelligd met versteiling van de gradiënt en bijhorende toename van diep subtidaal. In 2022 (Figuur 5-1) lijkt de laagdynamische zone grotendeels stabiel en lokaal zelfs licht uitgebreid waardoor ze haar ecologische functie blijft behouden (zie 5.3). Het ondiep subtidaal is ook toegenomen, deels door verlies aan slik dat ook reeds voor de werken optrad en deels opsedimentatie van matig diep subtidaal.

7 CONCLUSIES

Dit project vormt een sterk voorbeeld van hoe, binnen het strikte kader van de multifunctionele Schelde en ondanks lokale ruimtelijke beperkingen, een integrale aanpak succesvol kan worden gerealiseerd. Het combineert sanering van een 'black point', het voorkomen van dijkerosie, het waarborgen van de bevaarbaarheid en de ontwikkeling van hoogwaardige estuariene natuur op een doeltreffende en duurzame manier.

Doordat er voornamelijk rivierwaarts gewerkt werd, zijn de netto oppervlakte natuurwinsten eerder beperkt (4.1 ha), maar er is een grote winst in de oppervlakte intertidaal habitat, onder de vorm van een 12 ha grote, aaneengesloten natuurkern met slik- (11 ha) en schorgebied met graduele overgang naar het ondiep subtidaal gebied.

De winst van intertidale natuur (slik en schor) gebeurde grotendeel ten koste van subtidale oppervlakte, maar had ook een invloed op de kwaliteit van de subtidale zone buiten het projectgebied. De Parelplaat erodeerde en versteilde, een evolutie die reeds gaande was maar nu is versneld. Het "knijpen" van het systeem door de aanleg van de strekdam, had gevolgen voor de hydrodynamiek en morfodynamiek over een grote oppervlakte en blijft een aandachtspunt om verder op te volgen.

De nieuw aangelegde slikplaat bevat ongeveer 1.5–1.7 ha ecologisch weinig waardevol verhard slik, het resultaat van de antropogene opbouw van deze zone in combinatie met hoogdynamische condities in de oksel van de strekdam. Een verhoging van de strekdamrand met breuksteen lijkt een logische oplossing waardoor ook deze zone meer laagdynamisch en ecologisch waardevoller kan worden. Nadeel is dat hierdoor nefaste effecten op het omliggend gebied versterkt worden, zoals een verdere erosie en versteiling van de Parelplaat. Een semipermeabele stroomgeleiding met zachte materialen (hout) is een mogelijkheid zijn maar duurder, en het gewenste effect onzeker. Een mogelijk te onderzoeken alternatief is onregelmatig afgraven van de grond met bouwmateriaal met vorming van een getijdepoel in de diepste zones en meer kans op lokale opsedimentatie. Het is duidelijk dat meer onderzoek nodig is naar een mogelijk nog meer optimale aanleg van een slikgebied door een strekdam, de al dan niet wenselijke effecten in een ruimer gebied, en hun haalbaarheid.

In het afwaartse, noordelijk deel is een shift opgetreden van pelagische voedselgrond naar benthische voedselgrond voor watervogels, met een verandering van de vogel gemeenschap als gevolg. De smalle vloedgedomineerde erosiegeul — die vanwege veiligheidsoverwegingen gedempt werd — veroorzaakte verticale waterbewegingen en kolken waarbij vermoedelijk hyperbenthos en kleine vis naar de oppervlakte gestuwd werd, en waar grote aantallen meeuwen foerageerden. In de huidige toestand vinden we hier een benthos-rijke slikplaat met voorlopig nog vrij beperkte aantallen eenden en steltlopers, behalve een duidelijke toename van scholeksters. Die scholeksters foerageren voornamelijk op tweekleppigen, en profiteren vooral van de sterke uitbreiding van de brakwaterkorfschelp (*Potamocorbula amurensis*), waardoor scholeksters in de Zeeschelde toenemen over de gehele zone met Saliniteitsgradiënt.

In het stroomopwaartse, zuidelijke deel verloor de intertidale natuur een deel oud schor, maar door de landwaartse dijkverlegging is de potentie hier sterk verhoogd. De subtidale zone heeft een uitgebreider ondiep subtidaal deel wat goede ecologische potenties geeft.

8 **REFERENTIES**

Couderé K., Vincke J., Nachtergaele L., Van den Bergh E., Dauwe W., Bulckaen D. & Gauderis J. (2005). Geactualiseerd Sigmaplan voor veiligheid en natuurlijkheid in het bekken van de Zeeschelde: synthesenota. Waterwegen & Zeekanaal NV: Antwerpen. II, 74 pp.

De Neve, L., G. Van Ryckegem, J. Vanoverbeke, F. Van de Meutter, A. Van Braeckel, E. Van den Bergh, & J. Speybroeck, 2020. Hyperbenthos in the upper reaches of the Scheldt estuary (Belgium): Spatiotemporal patterns and ecological drivers of a recovered community. Estuarine, Coastal and Shelf Science 245: 106967. DOI: 10.1016/j.ecss.2020.106967.

IMDC, 2019. Data analyse van golf- en snelheidsmetingen in het Schelde estuarium Factual datarapport 1 - Metingen te Fort Sint-Filips 2018. Waterwouwkundig Labo, Antwerpen.

IMDC, 2024a. Data analyse van golf- en snelheidsmetingen in het Schelde estuarium. Factual datarapport 1.2 - Monitoringscampagne ter hoogte van Fort Sint-Filips (T1) - najaar 2021. Antwerpen.

IMDC, 2024b. Data analyse van golf- en snelheidsmetingen in het Schelde estuarium. Factual datarapport 1.3 - Monitoringscampagne ter hoogte van Fort Sint-Filips (T2) - najaar 2022. Antwerpen.

IMDC, 2024c. Data analyse van golf- en snelheidsmetingen in het Schelde estuarium actual datarapport 1.4 - Monitoringscampagne ter hoogte van Fort Sint-Filips (T3) - najaar 2023. Antwerpen.

Norkko, A., R. Rosenberg, S. F. Thrush, & R. B. Whitlatch, 2006. Scale- and intensity-dependent disturbance determines the magnitude of opportunistic response. 330: 195–207. DOI: 10.1016/j.jembe.2005.12.027.

Smolders, S., T. Maximova, J. Vanlede, Y. Plancke, T. Verwaest, & F. Mostaert, 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. Soetaert,. Antwerp, Belgium.

Van Braeckel, A., J.-P. Belliard, D. Meire, F. Van de Meutter, A. Silinski, S. Temmerman, S. De Roo, G. kolokythas, Y. Levi, T. Bouma, & E. Van den Bergh, 2019. Wave climate and sediment dynamics in the tidal flats and marshes of Galgeschoor: Synthesis report. Reports of the Research Institute for Nature and Forest 2019 (48). Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek, Brussel. p. 77.

Van Braeckel, A., J. Vanoverbeke, F. Van de Meutter, L. De Neve, J. Soors, J. Speybroeck, G. Van Ryckegem, & E. Van den Bergh, 2020. Habitatmapping Zeeschelde slik: habitatkarakteristieken van bodemdieren en garnaalachtigen & slikecotopen Zeeschelde 2.0. Rapporten van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek 2020 (31). Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek, Brussel.

Van Braeckel, A., J. Vanoverbeke, F. Van de Meutter, L. De Neve, J. Soors, J. Speybroeck, G. Van Ryckegem, & E. Van den Bergh, 2021. Habitatmapping Zeeschelde slik. Ecologie en ecotopen van de slikken. Brussel.

Van de Meutter, F., O. Bezdenjesnji, N. De Regge, J. Maes, J. Soors, J. Speybroeck, E. Van den Bergh, & G. Van Ryckegem, 2019a. The cross-shore distribution of epibenthic predators and its effect on zonation of intertidal macrobenthos: a case study in the river Scheldt. Hydrobiologia Springer International Publishing 5:. DOI: 10.1007/s10750-019-04056-5.

Van de Meutter, F., R. Elsen, & G. Van Ryckegem, 2019b. Monitoring ter hoogte van strekdam Fort Sint-Filips Tussentijds factual data rapport. Jaar 1. Intern rapport. Instituut voor Natuuren Bosonderzoek, Brussel, 28.

Van de Meutter, F., J. Vanoverbeke, G. Van Ryckegem, O. Bezdenjesnji, D. Buerms, V. Smeekens, C. Lefranc, J. Soors, & A. Van Braeckel, 2023. Effecten van sedimentatie en erosie op macrozoöbenthos in de Zeeschelde. Resultaten na 3 jaar onderzoeksmonitoring. Instituut voor Natuur en Bosonderzoek, Brussel.

Van Ryckegem, G., 2019. Advies over de ontwikkeling van slikken en schorren ter hoogte van Fort Sint-Filips (INBO.A.3827). Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek, Brussel, 9 pp.

Van Ryckegem, G., J. Vanoverbeke, F. Van de Meutter, B. Vandevoorde, W. Mertens, A. Van Braeckel, G. Van Thyune, V. Smeekens, O. Bezdenjesnji, D. Buerms, N. De Regge, K. Hessel, C. Lefranc, & F. Van Lierop, 2023a. MONEOS - Geïntegreerd datarapport INBO: Toestand Zeeschelde 2022. Monitoringsoverzicht en 1ste lijnsrapportage Geomorfologie, diversiteit Habitats en diversiteit Soorten. Rapporten van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek 2023 (45). Instituut. Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek, Brussel. DOI: 10.21436/inbor.98471395.

Van Ryckegem, G., J. Vanoverbeke, F. Van de Meutter, B. Vandevoorde, W. Mertens, A. Van Braeckel, G. Van Thyune, V. Smeekens, O. Bezdenjesnji, D. Buerms, N. De Regge, K. Hessel, C. Lefranc, & F. Van Lierop, 2023b. MONEOS - Geïntegreerd datarapport INBO: Toestand Zeeschelde 2022. Monitoringsoverzicht en 1ste lijnsrapportage Geomorfologie, diversiteit Habitats en diversiteit Soorten. Rapporten van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek 2023 (45). Instituut. Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek, Brussel. DOI: 10.21436/inbor.98471395.

Bijlages

Bijlage 1: Jaarlijkse oppervlakteveranderingen van de ecotopen per deelgebied

	FF_Sigma	stroomafi	mpactzo	ne		FF_Sigma	stroomaf	rest			FF_Sigma	stroomop			
Ecotoop	2018	2019	2020	2021	2022	2018	2019	2020	2021	2022	2018	2019	2020	2021	2022
diep subtidaal	1.9	2.2	2.0			0.2	0.5	0.4			0.0	0.0	0.0		
matig diep subtidaal	3.0	2.8	2.9	0.2		3.1	2.8	2.9	1.3	0.4	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0
ondiep subtidaal	1.4	1.5	1.4	1.6	0.0	0.3	0.3	0.3	1.5	2.2	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0
laag slik hard natuurlijk	0.1	0.0	0.0			0.0	0.0				0.0				
laag slik zacht substraat	0.8	0.8	0.8	1.7	1.7	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0
middelhoog slik hard natuurlijk	0.1	0.0	0.0	4.4	1.5	0.1	0.0	0.0	0.0						
middelhoog slik zacht substraat	1.5	1.5	1.4	3.5	7.0	0.2	0.3	0.3	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0	0.2
hoog slik hard natuurlijk				0.4	0.0			0.0	0.0						
hoog slik zacht substraat	0.0	0.0	0.2	0.2	1.9	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.4	0.8
slik antropogeen	0.4	0.4	0.3	0.2	0.2	0.4	0.3	0.3	1.4	1.5	0.1	0.2	0.2	0.4	0.4
potentiele pionierzone			1.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	1.0	0.2
schor	0.8	0.8			0.0	0.6	0.6	0.0	0.0	0.0	1.1	1.3	0.1	0.0	0.9
supralitoraal hard natuurlijk															0.0
hoog supralitoraal	0.1		0.0	0.2		0.2			0.0	0.5	0.1		0.0	0.4	0.3
antropogeen	0.0	0.2	0.0	0.2	0.1	0.0	0.2	0.0	1.2	0.7	0.0	0.0	0.0	0.5	0.5
totaal estuarien gebied	10.2	10.2	10.2	12.5	12.5	5.4	5.4	5.36	5.53	5.5	1.8	1.8	1.7	2.8	3.4

	FF Parelpla	aat				FF Plaat va	n Kranke	loon			stroomaf s	trekdam			
Ecotoop	2018	2019	2020	2021	2022	2018	2019	2020	2021	2022	2018	2019	2020	2021	2022
diep subtidaal	2.7	3.1	3.6	5.6	6.1	7.9	8.5	8.8	9.1	9.3	10.1	10.9	10.8	11.1	11.0
matig diep subtidaal	24.5	27.6	27.4	23.2	19.5	4.2	3.6	3.3	3.0	2.9	4.1	3.2	3.3	2.8	2.8
ondiep subtidaal	4.6	1.2	0.9	3.1	6.0	5.4	6.1	6.2	6.5	6.8	0.6	0.8	0.7	0.7	0.8
laag slik hard natuurlijk						0.9	2.7	2.7	2.6	2.4	0.7	0.6	0.7	0.5	0.5
laag slik zacht substraat					0.2	4.4	1.9	1.9	1.5	1.5	0.1	0.1	0.1	0.4	0.6
middelhoog slik hard natuurlijk						0.5	0.3	0.3	0.3	0.4	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
middelhoog slik zacht substraat						1.1	1.4	1.3	1.3	1.3	0.3	0.3	0.2	0.3	0.4
hoog slik hard natuurlijk						0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0				
hoog slik zacht substraat						0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1
slik antropogeen						0.3	0.2	0.2	0.3	0.2	0.5	0.5	0.5	0.6	0.4
potentiele pionierzone				0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.2	0.0	0.0	0.0	0.4	0.2	0.0
schor						1.0	1.0	0.6	0.7	0.8	0.9	0.9	0.8	0.8	0.9
supralitoraal hard natuurlijk						0.0				0.0	0.0				0.0
hoogsupralitoraal						0.0			0.0		0.1			0.0	0.1
antropogeen						0.0			0.0	0.0	0.2	0.3	0.3	0.3	0.1
totaal estuarien gebied	31.9	31.9	31.9	31.9	31.9	25.7	25.7	25.7	25.6	25.7	17.7	17.7	18.0	17.8	17.7

www.vlaanderen.be/inbo

Bijlage 2: Resultaten van hyperbenthos-monitoring aan Fort Sint-Filips per jaar en per traject (FF1a, FF1b, FF2 — zie Figuur 2-4). De getoonde waardes zijn aantallen per Bongo sleep (volume van 40 m³).

			2018			2021			2022		2023		
Soort	Taxa_groep	FF1a	FF1b	FF2									
Apocorophium lacustre	Amphipoda									1	1		
Corophium volutator	Amphipoda			3		1		2	1	0	1		2
Gammarus salinus	Amphipoda									1			2
Gammarus tigrinus	Amphipoda									3			
Gammarus zaddachi	Amphipoda				2		3			3	5		
Grandidierella japonica	Amphipoda						1			2			8
Incisocalliope aestuarius	Amphipoda									3			9
Melita nitida	Amphipoda									1			3
Orchestia gammarellus	Amphipoda												1
Garveia franciscana	Cnidaria												1
Amphitoe valida	Crustacea							1					
Grandidierella japonica	Crustacea						1			2			8
Crangon crangon	Decapoda	2		8	13	14	49	6		83	44	1	244
Eriocheir sinensis	Decapoda					0							
Palaemon longirostris	Decapoda	25	5	657						4			
Palaemon macrodactylus	Decapoda			26			1						
Palaemon sp.	Decapoda		31						11				
Palaemonetes varians	Decapoda												1
Palaemonidae sp.	Decapoda				9	4	7	32				23	44
Rhithropanopeus harrisii	Decapoda												1

Ephydridae	Diptera				1			2					
Heleobia charruana	Gastropoda					22		18					
Sigara lateralis	Heteroptera					1							
Cyathura carinata	Isopoda			1		1	1			1			2
Eurydice pulchra	Isopoda		1						1				
Lekanesphaera rugicauda	Isopoda					2		1	2				2
Paragnathia formica	Isopoda									2			
Synidotea laticauda	Isopoda									34			20
Limecola balthica	Mollusca				1	24		21					
Mulinia lateralis	Mollusca							1					
Potamocorbula amurensis	Mollusca					40		30	7	2	2	7	25
Scrobicularia plana	Mollusca							4					
Mesopodopsis slabberi	Mysida		14		38	3	1	340	123	155	20	54	19
Neomysis integer	Mysida		18	0	16	1	35	31	1	101	1	2	33
Oligochaeta	Oligochaeta		1				3						
Alitta succinea	Polychaeta							1					3
Boccardiella ligerica	Polychaeta						1						17
Hediste diversicolor	Polychaeta	1		1									
Heteromastus filiformis	Polychaeta							0					
Marenzelleria neglecta	Polychaeta					1		1					2
Abramis brama	Pisces										1		
Dicentrarchus labrax	Pisces			2									
Gobiidae sp.	Pisces											48	29
Liza ramada	Pisces	2		2				1					
Osmerus eperlanus	Pisces	1											
Platichthys flesus	Pisces					1							
Pomatoschistus microps	Pisces	89		24	24	10	3	39	3	21	31		2
Pomatoschistus sp	Pisces								3				

Sander lucioperca	Pisces					1		
Sprattus sprattus	Pisces				1			
Syngnathus rostelatus	Pisces	1						

Vegetatieplot_Code	PQ_nr	Jaar	Layer	Cover Code	Coverage Code	Pct Value	Plant Scientific Name
			Code				
VS22/001	1	2022	КН	5	a4	4	Phragmites australis (Cav.) Steud.
VS23/001	1	2023	AL	0-x-1	r1	1	Enteromorpha
VS23/001	1	2023	KL	0-x-1	p1	1	Glaux maritima L.
VS23/001	1	2023	КН	40	4	40	Phragmites australis (Cav.) Steud.
VS23/001	1	2023	AL	0-x-1	p1	1	Ulva lactuca L.
VS22/002	2	2022	AL	15	1+	12	Enteromorpha
VS22/002	2	2022	КН	0-x-1	r1	1	Phragmites australis (Cav.) Steud.
VS23/002	2	2023	AL	5	1-	7	Enteromorpha
VS23/002	2	2023	КН	0-x-1	r1	1	Phragmites australis (Cav.) Steud.
VS23/002	2	2023	AL	5	r1	1	Ulva lactuca L.
VS22/003	3	2022	AL	2	a2	2	Enteromorpha
VS23/003	3	2023	AL	3	p4	4	Enteromorpha
VS22/004	4	2022	AL	2	a2	2	Enteromorpha
VS23/004	4	2023	AL	5	1-	7	Enteromorpha
VS23/005	5	2023	AL	0-x-1	r1	1	Ulva lactuca L.
VS22/006	6	2022	AL	7	a2	2	Enteromorpha
VS22/006	6	2022	AL	7	1-	7	Vaucheria
VS22/007	7	2022	AL	1	p2	2	Vaucheria
VS22/008	8	2022	AL	40	5-	47	Vaucheria
VS22/009	9	2022	КН	55	r2	2	Aster tripolium L.

Bijlage 3: Detailoverzicht van de vegetatieopnames bij Fort Sint-Filips in 2022 en 2023. Zie materiaal en methode voor meer info.

www.vlaanderen.be/inbo

VS22/009	9	2022	КН	55	5+	52	Atriplex prostrata Boucher ex DC.
VS22/009	9	2022	КН	55	r1	1	Calystegia sepium (L.) R. Brown
VS22/009	9	2022	КН	55	p2	2	Chenopodium glaucum L.
VS22/009	9	2022	КН	55	r1	1	Chenopodium rubrum L.
VS22/009	9	2022	КН	55	r1	1	Glaux maritima L.
VS22/009	9	2022	КН	55	p1	1	Phragmites australis (Cav.) Steud.
VS23/009	9	2023	KL	95	5	50	Aster tripolium L.
VS23/009	9	2023	KL	95	5	50	Atriplex prostrata Boucher ex DC.
VS23/009	9	2023	KL	95	p1	1	Calystegia sepium (L.) R. Brown
VS23/009	9	2023	KL	95	p2	2	Glaux maritima L.
VS23/009	9	2023	KL	95	r1	1	Phragmites australis (Cav.) Steud.