



Oosterschelde: verkenning en kennisleemten ecologisch functioneren

Auteur(s): Annemijn Sandig, Evert de Froe, Jeroen Wijsman, Joep de Leeuw

Wageningen University &
Research rapport C094/23

Oosterschelde: verkenning en kennisleemten ecologisch functioneren

Auteur(s): Annemijn Sandig, Evert de Froe, Jeroen Wijsman, Joep de Leeuw

Wageningen Marine Research

Dit onderzoek is uitgevoerd door Wageningen Marine Research en gesubsidieerd door het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, in het kader van het Beleidsondersteunend onderzoekthema 'Duurzame voedselvoorziening & -productieketens & Natuur' (projectnummer BO-43-119.01-020)

Wageningen Marine Research
IJmuiden/Yerseke, maart 2024

Wageningen Marine Research rapport C094/23

Keywords: ecosysteem, zandhonger, draagkracht, intergetijdengebied.

Opdrachtgever: Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselveiligheid
T.a.v.: Jip van Peijpe
Bezuidenhoutseweg 73
2595 AC Den Haag

BO-43-118-001

Dit rapport is gratis te downloaden van <https://doi.org/10.18174/644270>
Wageningen Marine Research verstrekt *geen* gedrukte exemplaren van rapporten.

Wageningen Marine Research is ISO 9001:2015 gecertificeerd.

© Wageningen Marine Research

Wageningen Marine Research, instituut
binnen de rechtspersoon Stichting
Wageningen Research, hierbij
vertegenwoordigd door
Drs.ir. M.T. van Manen, directeur
bedrijfsvoering

KvK nr. 09098104,
WMR BTW nr. NL 8113.83.696.B16.
Code BIC/SWIFT address: RABONL2U
IBAN code: NL 73 RABO 0373599285

A_4_3_1 V32 (2021)

Wageningen Marine Research aanvaardt geen aansprakelijkheid voor
gevolg schade, noch voor schade welke voortvloeit uit toepassingen van de
resultaten van werkzaamheden of andere gegevens verkregen van Wageningen
Marine Research. Opdrachtgever vrijwaart Wageningen Marine Research van
aanspraken van derden in verband met deze toepassing.
Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag weergegeven en/of
gepubliceerd worden, gefotokopieerd of op enige andere manier gebruikt worden
zonder schriftelijke toestemming van de uitgever of auteur.

Inhoudsopgave

Samenvatting	4
1 Inleiding	6
2 Kennisvragen	7
3 Ecosysteem Oosterschelde	8
4 De Oosterschelde als ecologisch knooppunt voor vissen en vogels	12
4.1 Kraamkamer voor juveniele vissen, haaien, en roggen	12
4.2 Foerageergebied voor vogels	12
5 Stuurfactoren op het ecosysteem Oosterschelde	14
5.1 Afname van areaal aan intergetijdengebied	14
5.2 Klimaatverandering	16
5.3 Visserij op schelpdieren en vissen	17
5.4 De komst en vestiging van exoten en invasieve soorten in de Oosterschelde	19
6 Hydrologische randvoorwaarden en verkenning maatregelen	21
6.1 Zandhonger in de Oosterschelde	21
6.2 Ecologische draagkracht van de Oosterschelde	23
6.3 Beschikbaarheid van habitat	24
6.4 Connectiviteit tussen de Oosterschelde en de omringende grote wateren	25
7 Aanbevelingen en kennisleemtes	26
7.1 Voedselweb van de Oosterschelde	26
7.1.1 Zoöplankton in de Oosterschelde	26
7.1.2 Schatting van kreeftenbestand	26
7.1.3 Vis in ondiepe delen en in watercolumn	26
7.1.4 Ecosysteem benadering en draagkracht hogere trofische niveaus	27
7.2 Habitatbeschikbaarheid	28
7.2.1 Ontwikkeling van benthos op de gesuppleerde zandplaten en slikken	28
7.2.2 Vogeltellingen in relatie tot recreatie en zandsuppleties	28
7.2.3 Akoestisch onderzoek in de delta: gedegradeerde vs. gezonde gebieden	28
7.3 De effecten van klimaatverandering op de Oosterschelde	29
7.4 Het stellen van doelen en maken van streefbeelden	29
8 Kwaliteitsborging	30
Literatuur	31
Verantwoording	36

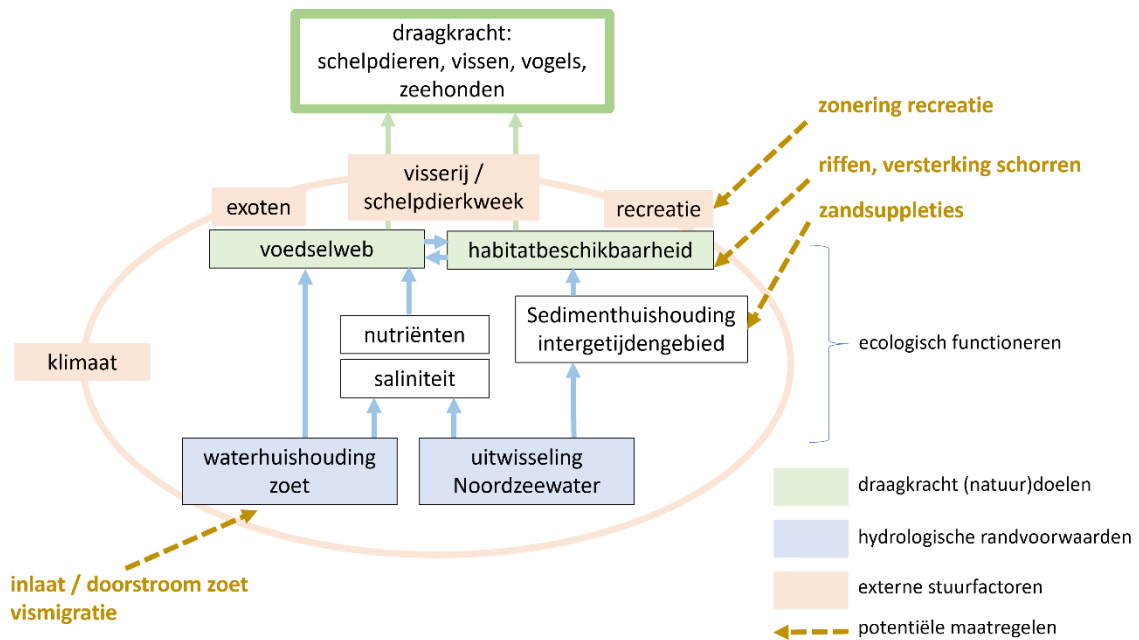
Samenvatting

Als gevolg van de deltawerken is de Oosterschelde veranderd van een estuarium in een getijdebekken. Door de aanleg van de compartimenteringsdammen is de toevoer van nutriëntenrijk zoet rivierenwater gestopt. Door het verminderde getijvolume is zandhonger ontstaan, een proces dat decennialang na de afsluiting doorwerkt. Zandhonger resulteert in de afname van het areaal intergetijdengebied, en ook tot kortere droogvalduren, van de slikken en platen. Het intergetijdengebied vormt een belangrijk habitat voor vogels, vissen en zeehonden. Met het verdwijnen van het intergetijdengebied neemt het foerageerhabitat voor steltlopers en de kraamkamer voor bepaalde vissoorten af. Om een lange termijn plan te maken voor de Oosterschelde, wat ook binnen de PAGW opgepakt kan worden, moet eerst het systeem en de mechanismen die leidend zijn voor het ecosysteem functioneren, in kaart gebracht worden. Het doel van dit rapport is om de huidige kennis over het Oosterschelde systeem bij elkaar te brengen en de belangrijkste kennisleemtes en mogelijke PAGW maatregelen te identificeren.

Er is in het verleden veel onderzoek gedaan naar de trends van individuele componenten (zoals schelpdieren, vis, vogels) van het ecosysteem. Voor veel soorten/groepen biota en ecologische indicatoren wordt een neergaande trend waargenomen over de laatste decennia in de Oosterschelde. Daarnaast is er voor een aantal soorten, zoals de Japanse oester, smelt en botervis, een toename in populatiegrootte te zien. Verder zijn er nog kennishaten te vinden over componenten in het Oosterschelde voedselweb zoals: ontwikkeling en samenstelling van zoöplankton populaties, kreeftbestandschatting, (pelagische)vis in diepe delen en rondom de platen en schorren. Om maatregelen in te stellen is er meer kennis nodig over habitatbeschikbaarheid en het verschil tussen gezonde en habitats die achteruit gaan in de Oosterschelde. Daarnaast is het belangrijk om vast te stellen of de beperkende factoren in de Oosterschelde liggen wanneer er wordt gekeken naar het stimuleren van populatie groei voor specifieke soorten.

De hydrologische randvoorwaarden in de Oosterschelde spelen een belangrijke rol in het ecosysteem (Figuur 1). Dat geldt zowel voor de instroom van nutriënten via de Oosterscheldekering als via de inlaat van zoet water vanuit de rivieren. Bijpassende maatregelen die inspelen op de hydrologische randvoorwaarden zijn: zandsuppletie en het aanbrengen van hard substraat en verhogen van het getijvolume door het weghalen van compartimenteringsdammen en de Oosterscheldekering om zandhonger tegen te gaan. Daarnaast zou dit de primaire productie kunnen stimuleren door de instroom van meer nutriënten, ook zouden vis migratie barrières wegvallen. Het is van belang om klimaatverandering mee te nemen in de voorspellingen van streefbeelden voor de Oosterschelde. Klimaatverandering grijpt aan op de belangrijke sturende factoren in het ecosysteem van de Oosterschelde, zoals de stijging van de zeespiegel en het toenemen van de watertemperatuur.

Door aanvullende kennis over het functioneren van het ecosysteem van de Oosterschelde te vergaren, kunnen doelgerichte maatregelen worden ontwikkeld die gericht zijn op het herstel van essentiële habitats. Deze habitats zijn noodzakelijk om de gestelde doelen te bereiken en daarmee de biodiversiteit in de Oosterschelde te behouden. Het stellen van specifieke doelen, naast de huidige Natura2000 doelen, toekomstvisies en het aanvullen van ontbrekende kennis zullen cruciaal zijn voor het ontwikkelen van een veerkrachtig ecosysteem dat bestand is tegen de uitdagingen van de toekomst.



Figuur 1. Mogelijke aangrijpingspunten voor maatregelen in het kader van PAGW

1 Inleiding

De Oosterschelde is een voormalig estuarium, en wordt na de aanleg van de deltawerken beschouwd als een getijdebekken of zeearm (van Berchum & Wattel, 1997). Sinds 2002 is de Oosterschelde een beschermd natuurmonument en nationaal park (Arts et al., 2013). Daarnaast is de Oosterschelde van oudsher een belangrijk gebied voor de schelpdiersector, daarom is er voor een open kering gekozen bij het bouwen van de Oosterscheldekering (Troost et al., 2023). De bouw van de deltawerken (de Oosterscheldekering, samen met de Grevelingendam, St. Philipsdam en de Oosterdam) heeft ingrijpende gevolgen gehad voor de Oosterschelde als ecosysteem (Nienhuis & Smaal, 1994). Door deze ingrepen zijn het getijvolume, de stroomsnelheden en de zoetwateraanvoer in de Oosterschelde afgenomen. Door het verminderde getijvolume zijn de geulen in de Oosterschelde overgedimensioneerd, en vullen zich met sediment, wat afkomstig is van de platen en slikken. Deze zogenaamde "zandhonger" zorgt ervoor dat de platen en slikken van de Oosterschelde eroderen (Geurts van Kessel, 2004). Daarnaast is de Oosterschelde na de bouw van de deltawerken zouter, eenvormiger, en voedselarmer geworden (de Vries, 2015). De verscheidenheid aan habitats in de Oosterschelde zorgt ervoor dat het een ecologisch belangrijk gebied is. Zo zorgen harde substraten voor schuilplaatsen voor jonge vissen, kreeften, en andere benthische organismen. Slikken en zandplaten zijn belangrijke foerageergebieden voor steltlopers en hebben een rol als kraamkamer voor vissen en benthische organismen. De zandplaten dienen ook als rust- en zoogplaats voor zeehonden. De Oosterschelde wordt door vissen gebruikt als voortplantings- en opgroei gebied, leefgebied, foerageerplek en/of om te migreren tussen de rivieren en de Noordzee.

De afgelopen decennia is er veel onderzoek gedaan naar het ecosysteem van de Oosterschelde en de draagkracht van de Oosterschelde voor de schelpdiersector (e.g. Deltares, 2022; Jansen et al., 2019; Mulder et al., 2020; Schellekens & Smaal, 2012; Wetsteyn et al., 2003; Wijsman, 2022). Hieruit zijn een aantal neergaande trends zichtbaar: zo neemt het aantal herbivore en benthivore vogels af (de Ronde et al., 2013; Deltares, 2022; Schellekens et al., 2013), waaronder ook het aantal scholeksters (Grundlehner & Leopold, 2023), en is het totaal aan biomassa aan vis ook afgenomen in de laatste decennia (Mulder et al., 2020; Tulp et al., 2023). De soortensamenstelling van vissen en fytoplankton is in de afgelopen decennia veranderd (Mulder et al., 2020; Tulp et al., 2023), met bijvoorbeeld een toename van kleiner (<20µm) fytoplankton sinds de bouw van de deltawerken (Wetsteyn et al., 2003). Neergaande trends worden waargenomen voor kinderkamer soorten en residenten, met uitzonderingen voor soorten die goed functioneren in warmer/zouter water zoals smelt, botervis en voor schelpdieren bijvoorbeeld de Japanse oester (Tulp et al., 2023). De voornamelijk neergaande trends en veranderende soortensamenstelling impliceren dat het ecosysteem van de Oosterschelde onder druk staat. De komende jaren zal deze druk waarschijnlijk alleen maar toenemen door bijvoorbeeld zeespiegelstijging (en de menselijke ingrepen als reactie op de zeespiegelstijging), hogere temperaturen, maar ook de komst van exoten die goed gedijen in de Oosterschelde (Japanse oester, Filipijnse tapijtshell en zakpijp).

Op dit moment is er een online systeemrapportage van de Oosterschelde beschikbaar (Deltares, 2022), maar het overzicht gegeven in deze rapportage is nog niet compleet. Het doel van dit rapport is om op basis van wetenschappelijke publicaties, rapporten en nog ongepubliceerde onderzoeksgegevens een beeld te schetsen van het Oosterschelde ecosysteem. Hierbij wordt gekeken naar de belangrijkste ecologische processen en bedreigingen voor het ecologisch functioneren van de Oosterschelde. Daarnaast worden een aantal maatregelen uitgelicht die het ecologisch functioneren zouden kunnen verbeteren. Het gaat daarbij om een verkennende studie die een update beoogt van de huidige kennis op hoofdlijnen en dient ter ondersteuning van de PAGW (Programmatische Aanpak Grote Wateren) en eventueel andere maatregelen.

2 Kennisvragen

De Oosterschelde is de laatste decennia sterk veranderd door o.a. de bouw van de deltawerken, klimaatverandering en menselijke activiteiten. De rijksoverheid heeft een wettelijke taak om te voldoen aan de N2000 en KRW doelstellingen en wil het ecosysteem van de Oosterschelde versterken doormiddel van onder meer maatregelen in het kader van de PAGW. Om beter effectieve maatregelen te kunnen bepalen en een lange termijnvisie voor de Oosterschelde te ontwikkelen is een schets van het huidige ecosysteem van de Oosterschelde gewenst, waarin de belangrijkste mechanismen van het ecosysteem Oosterschelde worden beschreven. Hiervoor worden in het voorliggende rapport de volgende vragen beantwoordt:

- Wat zijn belangrijke ecologische mechanismes en functies van het Oosterschelde systeem?
- Welke stuurfactoren hebben invloed op het ecosysteem van de Oosterschelde?
- Wat zijn mogelijke maatregelen die genomen kunnen worden op basis van de hydrologische randvoorwaarden die spelen in de Oosterschelde?
- Welke kennislücken komen naar voren uit literatuur over het Oosterschelde ecosysteem?

3 Ecosysteem Oosterschelde

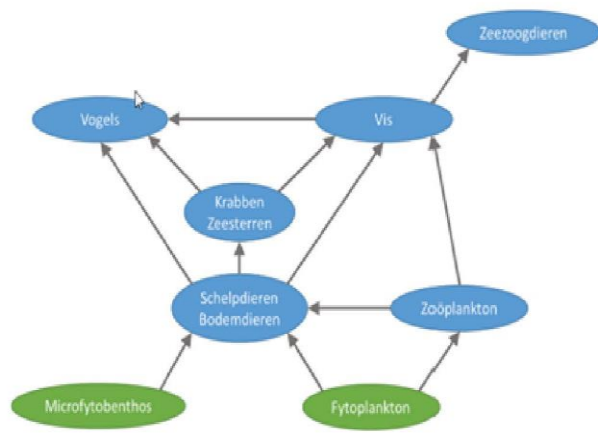
De Oosterschelde is een zeearm met een totale oppervlakte van 351 km², waarvan 100 km² intergetijdengebied was in 2013. Het heeft een volume van 2791 miljoen m³ en een gemiddelde diepte van 9 meter (Smaal et al., 2013). De Oosterschelde is een ecologisch belangrijk gebied dat onder andere functioneert als foerageer- en broedgebied voor vogels, kraamkamer voor vissen, roggen, en haaien, en als rustgebied voor zeehonden. Daarnaast is de Oosterschelde een belangrijk gebied voor de Nederlandse schelpdierkweek en kreeftvisserij en fungeert het als toeristische trekpleister. De Oosterschelde herbergt een aantal biologisch belangrijke habitatten zoals zandplaten, slikken, schorren, en oesterriffen. De Oosterschelde wordt doorgaans opgedeeld in vier deelgebieden: Monding (West), Midden, Kom (Oost), en Noordtak (Figuur 2). Hieronder geven we een kort overzicht van de Oosterschelde als ecosysteem en bespreken we het voedselweb, de waargenomen autonome negatieve trends, draagkracht, en de invloed van de delta werken en externe factoren op het ecosysteem.



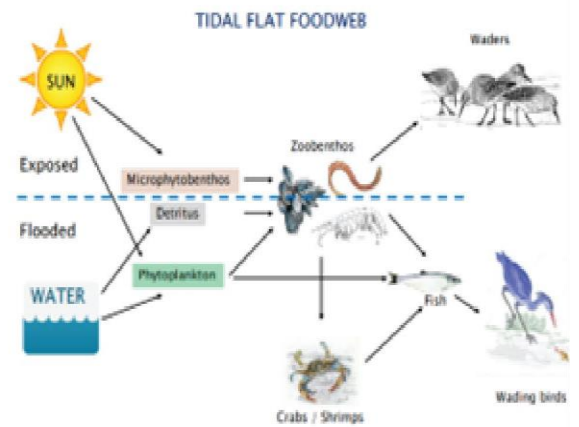
Figuur 2. Kaart van de Oosterschelde met de deelgebieden aangegeven in groen (basiskaart van GoogleEarth).

Fytoplankton en microfytobenthos (primaire producenten) vormen de basis van het voedselweb van de Oosterschelde (figuur 3A; Wijsman (2019)). Dit fytoplankton is een belangrijk voedselbron voor primaire consumenten zoals zoöplankton en filtrerende bodemdieren zoals schelpdieren, die weer een belangrijke voedselbron vormen voor hogere trofische niveaus zoals krabben, zeesterren, vissen, en vogels. Daarmee is primaire productie een belangrijk proces in het ecosysteem, want hoe groter de primaire productie, hoe meer energie er potentieel kan doorstromen naar hogere trofische niveaus (Wijsman, 2019). Daarnaast is voor hogere trofische niveaus zoals vissen en vogels ook de beschikbaarheid van voldoende leefgebied of habitat van belang. Zo zal de structuur van het voedselweb van een intergetijdengebied (Figuur 3B) verschillen van een oesterrif, schor, of het sublitoraal. Aangezien de deelgebieden van de Oosterschelde ook verschillen in samenstelling van habitatten, is de structuur van het voedselweb per deelgebied ook verschillend.

A



B

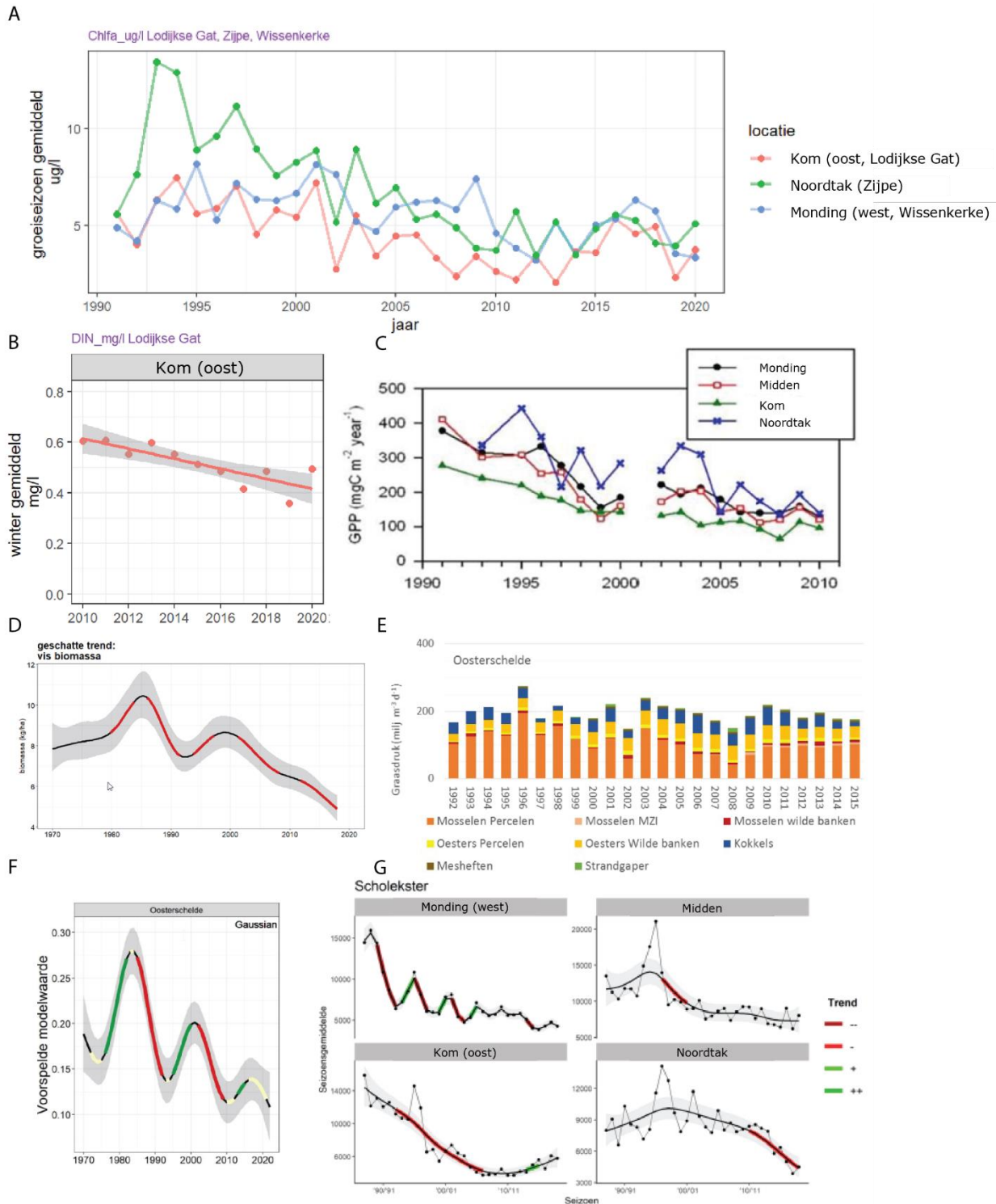


Figuur 3. A) voorbeeld van een marien voedselweb als de Oosterschelde (Wijsman, 2019). B) voorbeeld van een voedselweb op een intergetijdelaat (Ysebaert, 2017).

Onderzoek naar de ecologische staat van de Oosterschelde laat zien dat veel soorten/groepen biota en ecologische indicatoren een neergaande trend kan worden waargenomen over de laatste decennia, ook wel bekend als Autonome Neerwaartse Trends (ANT) (de Ronde et al., 2013). Daarnaast is er voor een aantal soorten, zoals de Japanse oester, smelt en botervis, een toename in populatiegrootte te zien (Tulp et al. 2023). De concentratie nutriënten in de waterkolom van de Oosterschelde is sinds de voltooiing van de Deltawerken afgenomen, met een dalende trend in de afgelopen 10 jaar voor opgelost anorganisch stikstof en fosfaat (Figuur 4 B) (de Vries, 2014; Deltares, 2022). De concentratie aan chlorofyl-a is een indicator voor de populatiegrootte van fytoplankton en laat een neerwaartse trend zien sinds 1993 (Deltares, 2022) (Figuur 4 A). Primaire productie in de Oosterschelde neemt af van 1990 tot 2010, maar recente metingen suggereren dat de productie sinds 2010 niet verder is afgenomen (Dijkman, 2023; Malkin et al., 2011). De begrazingsdruk door het schelpdierbestand in de Oosterschelde is de afgelopen jaren redelijk stabiel gebleven (Figuur 4 E). De biomassa aan vis in de Oosterschelde is sinds de jaren 70 sterk afgenomen, met een sterke daling in de afgelopen 10 jaar (Figuur 4 D & F; Mulder 2020, Tulp et al. 2023). Ook het aantal scholeksters gaat achteruit over de periode 1990 – 2018 (van Donk et al., 2020), maar deze afname lijkt niet gerelateerd aan de hoeveelheid beschikbaar voedsel voor de Scholeksters (Figuur 4G) (Grundlehner & Leopold, 2023). Tellingen van het aantal zeehonden op de platen van de Oosterschelde laat een toename zijn sinds 2010 (Deltares 2022; Tulp et al. 2023).

Afgelopen jaren veel onderzoek gedaan naar de draagkracht van de Oosterschelde met betrekking tot schelpdierbestanden (Jansen et al., 2019; Schellekens & Smaal, 2012; Smaal et al., 2013; Wetsteyn et al., 2003; Wijsman, 2022). In deze onderzoeken wordt draagkracht gedefinieerd als de maximale bestands grootte aan schelpdieren welke geen negatieve effecten heeft op de fytoplanktonpopulatie. Deze definitie is gebaseerd op de algemene definitie van draagkracht die in de context van duurzaam beheer wordt gebruikt. Daarbij wordt draagkracht gedefinieerd als “de bestands grootte van een soort zonder dat die een wezenlijke invloed heeft op het ecosysteem functioneren die als negatief beoordeeld wordt” (Jansen et al., 2019, p. 8). Voor schelpdieren wordt de focus gelegd op het effect dat ze hebben op hun voedselbron. Deze definitie wordt verder uitgelegd door Jansen et al. (2019) en wordt gebruikt in een nieuw rapport van de evaluatie van veranderingen in de voedselcondities en schelpdierbestanden in relatie tot de mosselkweek vanaf 1990: update 2016-2021 (Craeymeersch et al., in voorbereiding). De draagkracht van lagere trofische niveaus zoals schelpdieren en macrozoöbenthos wordt in een estuarium mede bepaald door de primaire productie, graasdruk, en waterbeweging. Primaire productie in de Oosterschelde wordt in de zomer gelimiteerd door nutriëntenbeschikbaarheid en in de winter door de hoeveelheid licht (Scholten et al. 1990). Beperking van primaire productie door overbegrazing van schelpdieren in de Oosterschelde is op dit moment niet aannemelijk (Jansen et al. 2019). Draagkracht voor hogere trofische niveaus wordt naast voldoende voedselaanbod, ook bepaald door beschikbaarheid van voldoende habitat. Daarbij gaat het bijvoorbeeld om het oppervlak intergetijdengebied waar vogels

ongestoord kunnen foerageren, om zandplaten waar zeehonden ongestoord kunnen rusten en vogels kunnen broeden, om krekten en ondiepe zones die als broed- en kinderkamer voor vissen en kreeftachtigen kunnen fungeren, of om oesterbanken en andere harde structuren die als riffen een bijzondere ecologische niche vervullen.



Figuur 4. een verzameling van autonome trends van verschillende componenten van het ecosysteem van de Oosterschelde. A) chlorofyl-a concentraties in de Oosterschelde tijdens het groeiseizoen 1990 – 2020 (Deltares 2022) B) wintergemiddeldes van opgelost anorganisch stikstof (DIN) in de Oosterschelde van 2010 – 2020 (Deltares 2022). C) primaire productie in de Oosterschelde per deelgebied, gemeten van 1990 - 2010 (Malkin et al. 2011). D) trend in visbiomassa in de Oosterschelde (Mulder et al. 2020). E) Schelpdiergraasdruk in de Oosterschelde (Jansen et al. 2019). F) trend in biomassa van kinderkamersoorten voor vissen (Tulp et al., 2023) G) Scholeksteraantallen trend per deelgebied (van Donk et al., 2020).

De hierboven genoemde autonome negatieve trends van verschillende diergroepen kunnen voor een groot deel verklaard worden door de bouw van de deltawerken. De deltawerken had 10% minder getijverschil en 30% minder getijvolume tot gevolg in de Oosterschelde. Dit resulteert in zandhonger van de Oosterschelde en een afname aan intergetijdengebied (Figuur 5A & B) (de Ronde et al., 2013). Erosie door zandhonger leidt waarschijnlijk in 2060 tot een vermindering van 60% van het areaal met een droogvalduur tussen 40 - 60% (Figuur 5 C; de Ronde et al., 2013). De verminderde wateruitwisseling met de Noordzee, en de afname van zoetwaterinstroom (Figuur 5C), zorgt er ook voor dat de hoeveelheid opgeloste nutriënten in de waterkolom in de Oosterschelde is afgenomen. Fytoplankton vereist niet alleen CO₂ maar ook licht en voedingsstoffen voor primaire productie. Tot 2010 resulteerde een afname van voedingsstoffen in het water mogelijk in een verminderde primaire productie en bijgevolg een afname van de draagkracht van het ecosysteem. Naast zandhonger en een afname van nutriënten, neemt de populatiegrootte voor sommige soorten, zoals de schol en schar, ook af in andere ondiepe kustzones en de Waddenzee (Tulp et al. 2023). Hiervoor heeft de negatieve trend dus niet direct met de Oosterschelde te maken, maar meer bijvoorbeeld met omgevingsfactoren zoals temperatuur (Tulp et al. 2023).

De kennis over het ecosysteem Oosterschelde is niet compleet. De afgelopen decennia is er veel onderzoek gedaan naar enkele losse componenten van de Oosterschelde (e.g., bodemdieren, vogels, zandhonger) en zijn er enkele systeembrede benaderingen gehanteerd (de Ronde et al. 2013; Geurts van Kessel 2004; Wetsteyn et al. 2003). Ondanks dit onderzoek is het niet duidelijk wat voor effect de autonome negatieve trends hebben op de Oosterschelde als ecosysteem. Daarnaast zijn er ook een aantal kennisleemtes over basisprocessen van het ecosysteem Oosterschelde. In hoofdstuk 7 worden deze aspecten nader belicht.

4 De Oosterschelde als ecologisch knooppunt voor vissen en vogels

De Oosterschelde heeft vanuit Natura 2000 de typering "Grote Baaien" (H1160; zie voor habitatprofiel LNV 2008). Grote baaien betreffen grote inhammen in de kust, waarbij de invloed van zoet (rivier)water beperkt is. Kenmerkend voor Grote baaien is de hydromorfologische dynamiek al dan niet aangestuurd door de aanwezigheid van getijstroming, geulensystemen, en droogvallende platen. Typische soorten die in dit habitat voorkomen zijn o.a.: zandzager, groot zee gras, bot, Haring, schol, kokkel, en mossel (LNV, 2008). De Oosterschelde is het enige gebied met deze habitattypering in Nederland. Een van de kenmerken voor een goed functionerende Grote Baai is de aanwezigheid van voldoende biomassa, dichtheid, en soortenrijkdom van bodemorganismen, en voldoende aantallen en soortenrijkdom van vissen, wadvogels, en zeezoogdieren. Hieronder lichten we het ecologisch functioneren van de Oosterschelde voor vissen en vogels verder uit.

4.1 Kraamkamer voor juveniele vissen, haaien, en roggen

De Oosterschelde functioneert als kraamkamer voor vissen, haaien en roggen. Vissoorten die in de Oosterschelde voorkomen kunnen worden opgedeeld in verschillende ecologische gilden: mariene juvenielen, estuariene residenten, diadrome soorten, mariene gasten, mariene seizoensgasten (Elliott & Hemingway, 2002; Mulder et al., 2020). Estuariene residenten zijn soorten die hun gehele levenscyclus in estuaria kunnen doorbrengen. Soorten die in deze groep vallen zijn: grondel, zandspiering, harnasmantje, vijfdradige meun, bot, puitaal, zeenaalden, glasgrondel, zwarte grondel, slakdolf en zeedonderpad. Mariene juvenielen zijn soorten waarvan de juvenielen opgroeien in estuaria, zoals schar, schol, tong, steenbolk, wijting, smelt, kabeljauw, zeebaars en haring. Daarnaast kunnen vissoorten ingedeeld worden in voedselgilden (Elliott & Hemingway, 2002; Mulder et al., 2020): benthivoren, benthopiscivoren, piscivoren, planktivoren en detritivoren. Voor 2010 bestond de biomassa aan vis vooral uit mariene juvenielen en benthivoren, maar sinds 2010 bestaat een steeds groter aandeel uit estuariene residenten en planktivoren/benthivoren. De neergaande trend van visbiomassa in de Oosterschelde komt grotendeels door de achteruitgang van de kinderkamersoorten (e.g., schol, tong en bot). Deze neergaande trends zijn ook zichtbaar in de Waddenzee en kustgebied (Mulder et al., 2020).

Het intergetijdengebied van de Oosterschelde biedt een schuilplaats voor jonge vis (Rutjes, 2007). Soorten die steeds meer gebruikmaken van de Oosterschelde als kraamkamer zijn onder andere de pijlstaartrog, zeebaars en gladde haai, als gevolg van de stijgende watertemperatuur en de aanwezigheid van hard substraat (Tulp et al., 2023). De toegenomen helderheid van het water als gevolg van verminderde sedimentinstroom kan juveniele vis gemakkelijker zichtbaar maken voor roofdieren zoals grotere vissen en visetende vogels, waarmee de kraamkamerfunctie van de Oosterschelde afneemt (Troost et al., 2012).

Het belang van schorren en dijkvoeten als leefgebied van vissen is op dit moment niet goed bekend (Mulder et al., 2020). Hoe deze verschuiving tussen dominante ecologische/voedsel-gilden in de vispopulaties doorwerkt in het voedselweb van de Oosterschelde is niet onderzocht.

4.2 Foerageergebied voor vogels

Vogels spelen een cruciale rol in de Natura 2000-doelen van de Oosterschelde, met 8 broedvogelsoorten en 37 niet-broedvogelsoorten die onder bescherming vallen. Voor niet-broedvogels richt de aandacht zich op het behouden van de populatiegrootte, met specifieke focus op de instandhouding van slaap- en rustplaatsen, evenals foerageergebieden. Soorten zoals de scholekster foerageren op bodemdieren, terwijl andere, zoals de aalscholver, zich tegoed doen aan vis rondom de platen en schorren (Figuur 5),

en het gebied gebruiken om te broeden. De habitatgeschiktheid en voedselbeschikbaarheid zijn daarom essentiële factoren voor de aanwezigheid van vogels in het Oosterscheldegebied. De meeste vogels worden geteld in de deelgebieden Midden en Kom, die het grootste areaal aan intergetijdengebied hebben (van Donk et al., 2020) .

Schelpdieren zijn een belangrijke voedselbron voor benthosetende vogels zoals de scholekster en kanoetstrandloper (van Donk et al., 2020). Daarnaast profiteren benthosetende vogels ook van bijbehorende macrofauna bij schelpdierbanken en oesterriffen (de Ronde et al., 2013), zoals van kleine krabbetjes die op oesterriffen tussen de schelpen leven (van Donk, 2022). Aangespoelde (voornamelijk gekweekte) mosselen vormen ook een belangrijke voedselbron voor benthosetende vogels.

De droogvaltijd speelt een cruciale rol in de ruimtelijke verdeling van vogels, waarbij platen met een droogvalduur van 40-80% als het belangrijkste worden beschouwd (de Ronde et al., 2013). De laatste KNMI-scenario's geven aan dat in het scenario van een wereldwijd lage uitstoot aan broeikasgassen, de zeespiegel tussen de 26-73 cm stijgt, en bij een hoge mondiale uitstoot van broeikasgassen de zeespiegel tussen de 59-124 cm stijgt (KNMI, 2023). Met een verwachte zeespiegelstijging van 60cm in 2100, neemt het gebied met een droogvalduur tussen 40-80% in de monding van de Oosterschelde (west) af met 80% (de Ronde et al., 2013). De huidige suppletie strategieën voor de Oosterschelde zijn toereikend tot circa 2060, waarbij een suppletie met de huidige zeespiegelstijging ongeveer 22 jaar in stand blijft (Zandvoort et al., 2019).



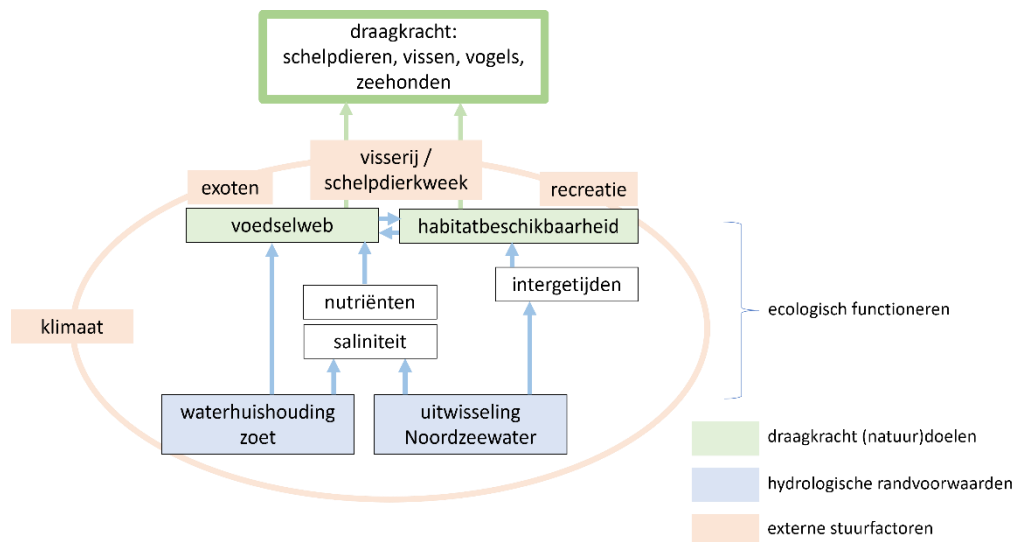
Figuur 5. Voedselweb relaties op schelpdierbanken in de Oosterschelde. Juveniele vis wordt geconsumeerd door kreeften en krabben, vogels, grotere vis en roggen/haaien. Verder worden kleine kreeftjes en krabbetjes tussen de schelpdieren ook geconsumeerd door vogels.

Sinds 2011 zijn de korte-termijnvogeltrends negatiever geworden voor verschillende populaties van steltlopers en andere benthosetende vogels in de Oosterschelde, vergeleken met de aantallen in de Waddenzee en flyway. De grootste afname in het aantal vogels in de afgelopen jaren vond plaats in deelgebied Kom (oost) (van Donk et al., 2020). Tijdens laagwatertellingen in het middengebied van de Oosterschelde worden de meeste vogels waargenomen op de Slikken van den Dortsman, waarbij ze zich waarschijnlijk bij afgaand tij verplaatsen naar de Galgeplaat (van Donk, 2022).

Naast benthosetende vogels, komen er ook visetende vogels voor in de Oosterschelde, zoals de aalscholver, lepelaar, middelste zaagbek, dodaars, ijsvogel en grote stern. Deze groep vogels kan profiteren van aanwezigheid van kleine pelagische vissoorten (van Donk et al., 2022). De kraamkamerfunctie van de Oosterschelde voor vissen kan dus ook van belang zijn voor visetende vogels.

5 Stuurfactoren op het ecosysteem Oosterschelde

De Oosterschelde is een gebied waarin veel menselijke activiteiten plaatsvinden, en de verwachting is dat dit de komende decennia zal toenemen. Daarnaast is door zandhonger, klimaatverandering, en de komst van invasieve soorten/exoten het ecosysteem continue aan verandering onderhevig. In dit hoofdstuk brengen we een aantal van de stuurfactoren op het ecosysteem Oosterschelde in kaart. Hierbij wordt een viertal aspecten uitgelicht dat druk uitoefent op het Oosterschelde systeem en waar de afgelopen jaren het meeste onderzoek naar is gedaan: 1) Afname van areaal aan intergetijdengebied, 2) klimaatverandering, 3) visserij op vis en schelpdieren en 4) exoten (Figuur 6). Deze aspecten worden ook behandeld in (Geurts van Kessel, 2004). Hierbij worden afname van areaal aan intergetijdengebied en klimaatverandering benoemd, omdat dit een grote impact heeft op de vogel populaties, die afhankelijk zijn van het intergetijdengebied om te foerageren, in de Oosterschelde en direct impact hebben op de instandhoudingsdoelen volgens Natura2000. Daarnaast zijn visserij en de introductie van exoten meegenomen als stuurfactoren omdat deze direct invloed hebben op de populaties in de Oosterschelde (Geurts van Kessel, 2004).



Figuur 6. Schematische weergave van belangrijke sturende factoren die de ecologische draagkracht van de Oosterschelde voor onder meer natuurdoelen bepalen.

5.1 Afname van areaal aan intergetijdengebied

Door het bouwen van de stormvloedkering is het getijvolume in de Oosterschelde afgenomen en daarmee is de zandhonger in het systeem toegenomen. De stroomsnelheid in de geulen is afgenomen, waardoor de geulen zich gaan opvullen met sediment. Omdat de sedimentaanvoer vanuit de Noordzee/Voordelta sterk is afgenomen, komt dit sediment van de slikken en platen. Dit proces, zandhonger, zorgt voor afname van areaal intergetijdengebied (de Ronde et al., 2013). De zeespiegelstijging versterkt daarnaast deze afname. Met deze afname verdwijnt er een belangrijk habitat voor vogels (foerageer-, broed- en/of rustgebied) en zeehonden (rustgebied) (Figuur 7).

Zand voor de suppleties wordt gewonnen vanuit de geulen in de Oosterschelde. Er is onderzocht of het mogelijk was om het zand vanuit de Noordzee te gebruiken voor suppletie. de Ronde et al. (2013) heeft berekend dat er 400 – 600 miljoen m³ zand geïmporteerd zou moeten worden om de platen en slikken

weer in balans te brengen met de zandhonger. Gezien de hoge kosten werd het winnen van zand vanuit de Noordzee niet gezien als realistisch. Daarnaast werd ook het wegnemen van de barrières voor zandtransport en het versterken van de hydrodynamiek genoemd. Dit zou resulteren in het verwijderen van de stormvloedkering en de dammen. Dit heeft weer gevolgen voor de bestaanszekerheid van het land achter de Oosterschelde en wordt daarom niet gezien als een realistische optie. Vandaar dat het beleid zich tot nu toe heeft gefocust op lokale, kleinschaligere zandsuppleties op specifieke platen. Het areaal aan intergetijdengebied zal blijven afnemen door de zandhonger die er speelt in de Oosterschelde evenals de zeespiegelstijging, waardoor er gesuppleerd zal moeten worden om er voor te zorgen dat de druk op het ecosysteem niet toeneemt. Deze druk uit zich in de eerder genoemde afname van foerageergebied voor vogels en rustplekken voor zeehonden. Een keerzijde van de suppleties is dat deze zelf ook druk uitoefenen op het ecosysteem. De bodemdiergemeenschap moet herstellen van de suppletie, en ook de zeehonden en vogelpopulaties worden verstoord, vandaar dat suppleties niet ongelimiteerd toegepast kunnen worden.



Figuur 7. Voedselweb relaties op intergetijdengebieden in de Oosterschelde. Vogels consumeren schelpdieren en juveniele vis. De juveniele vis wordt ook geconsumeerd door grotere vis, die weer geconsumeerd worden door zeehonden.

Met het verdwijnen van het areaal intergetijdengebied, verdwijnt habitat voor schelpdieren zoals kokkels. Deze schelpdieren dienen als voedselbron voor vogels, die foerageren op de slikken en platen (Figuur 9). Wanneer de voedselbronnen voor vogels niet meer in voldoende mate beschikbaar zijn, zullen vogels uit het Oosterscheldegebied verdwijnen. Ook kan belangrijk ondiep habitat dat dient als kraam- en kinderkamer voor vis verdwijnen. Om de zandhonger tegen te gaan wordt zand gewonnen vanuit de geulen van de Oosterschelde en gesuppleerd op intergetijdeplaten zoals de Galgeplaat, Schelphoek, Oesterdam en Roggenplaat (de Vet et al., 2023). Vier jaar na pilotsuppletie op de Galgeplaat in 2008 werd voorspeld dat de suppletie zou standhouden voor 30-40 jaar (Van de Werf et al., 2011). Hierbij werd echter geen rekening gehouden met heftige stormen die de afbraak van de zandsuppletie kunnen versnellen door versterkte wind, stroming en golfslag. Door klimaatverandering zullen scenario's met extreem weer met zwaardere stormen waarschijnlijker worden en vaker voorkomen (KNMI, 2023). Zandsuppleties kunnen hierdoor minder lang standhouden dan eerder gedacht, en zal er met hogere frequentie gesuppleerd moeten worden. Ecologische monitoring van de bodemdiergemeenschap na het suppleren van de Galgeplaat liet zien dat het ongeveer vier jaar duurde voordat de biomassa van de bodemdiergemeenschap hersteld (van der Werf et al., 2015). Verder werd er gedacht dat de snellere herstel van bodemdiergemeenschap mogelijk verklaard kan worden door een vochtiger bodem. Het doel van de suppletie was habitat voor vogelsoorten te herstellen. Hoewel de macrobenthische biomassa zich heeft hersteld, werden wadvogels zoals de kanoet, rosse grutto en de bonte strandloper bijna niet geobserveerd op de Galgeplaat. Een verklaring voor het wegblijven van

vogelsoorten zoals de kanoet kan zijn dat de suppletiegrootte van 2% van het totaal oppervlakte van de Galgeplaat, te weinig was om de droogligtijd voldoende te verlengen (Van de Werf et al., 2011).

De afname van het areaal intergetijdengebied blijkt nog geen zichtbaar effect te hebben op de zeehonden in de Oosterschelde: de populatie gewone en grijze zeehonden neemt namelijk toe (Tulp et al., 2023). De zeehondenpopulatie in de Oosterschelde is onderdeel van de populatie die zich verspreid naar de Waddenzee en de gehele delta. Er is geen op zichzelf staande zeehondenpopulatie in de Oosterschelde; het aantal pups dat wordt geboren in het Deltagebied is lager dan nodig is om de populatie in stand te houden (Dedert et al., 2015). Het percentage jonge zeehonden ten opzichte van de gehele populatie, was in 2021 17% voor het Deltagebied en 40% voor de Waddenzee (Galatius et al., 2022; Hoeksetein et al., 2023).

In 2013 heeft er een zandsuppletie van 350.000 kuub plaatsgevonden bij de Oesterdam. Na één jaar was de benthische soortenrijkdom grotendeels hersteld, maar de biomassa was gemiddeld nog wel lager in vergelijking met referentiegebieden (Boersema et al., 2018). In de onderzoeksperiode foerageerden scholeksters en wulpen op de zandsuppletie bij de Oesterdam, maar andere soorten steltlopers werden zelden waargenomen. De oorzaak van het wegblijven van andere steltlopers werd verklaard door menselijke verstoringen vanaf de kant (Wallis et al., 2018).

In 2019 werd de Roggenplaat gesuppleerd (Wallis et al., 2021). Een jaar na de suppletie werd een lagere biomassa aan bodemdieren aangetroffen op de locaties waar een dikkere laag zand is gesuppleerd. Bij een laag dikker dan 1m gesuppleerd sediment werden er nauwelijks tot geen bodemdieren aangetroffen in het sediment. Om het herstel van de bodemdiergemeenschap te bevorderen, werden er kleine schaal proeven opgezet waarbij actief bodemdieren aangebracht werden op de Roggenplaat (Wallis et al., 2021). De voorlopige resultaten lieten een positief effect zien op de plekken waar actief bodemdieren werden aangebracht. In 2024 wordt een vervolg rapport verwacht over monitoring van de effecten op de Roggenplaat suppletie.

In 2020 werd een pilot studie opgezet om te kijken naar slibsuppletie op de Speelmansplaten (Cheng et al., 2022). Het plan was om te kijken naar de mogelijke voordelen van slibsuppletie in plaats van de gebruikelijke zandsuppletie. Om logistieke redenen is de slib suppletie op de Speelmansplaten uiteindelijk niet door gegaan, waardoor het effect van korrelgrootte bij suppleties nog niet bekend is.

Uit voorgaand onderzoek is gebleken dat mogelijke effecten van slibsuppletie zijn te vinden in het snellere herstel van bodemdiergemeenschap. Daarnaast kan het gebruik van verschillende korrelgroottes bij zandsuppleties resulteren in het vestigen van een bodemdiergemeenschap die afwijkt van de natuurlijke samenstelling in het gebied (Wijsman, 2023). Wanneer de bodemdiergemeenschap dezelfde functie heeft als de oorspronkelijke populatie zal dit waarschijnlijk niet direct effect hebben op het voedselweb. Een ander mogelijk positief effect van slibsuppleties is de mogelijke langere verblijftijd van vogels op gesuppleerd slib in vergelijking tot zand. Waterig sediment en sediment-type zijn van belang voor sommige soorten. Een voorbeeld hiervan is de kanoet. De kanoet gebruikt druksensoren in de snavel om prooidiertjes te lokaliseren. Dit mechanisme functioneert het beste in waterig sediment, wat verklaart waarom vogels langer verblijven op slikrijke suppleties dan op zandig sediment (Piersma et al., 1998).

5.2 Klimaatverandering

De effecten van zandhonger en de levensduur van de zandsuppleties spelen zich af op een tijdschaal van tientallen jaren. Vandaar dat er rekening gehouden moet worden met de effecten die klimaatverandering, en specifiek zeespiegelstijging, zullen hebben op de suppleties. Klimaatverandering heeft effect op alle aspecten in de Oosterschelde. Zo zal zeespiegelstijging invloed hebben op de waterhuishouding in de Oosterschelde kering, wat weer effect zal hebben op de nutriënten instroom en de getijdenwerking. Met afname van de getijdenwerking en toename van de zeespiegel zal de habitatbeschikbaarheid van intergetijdengebied nog verder afnemen (Philipsen, 2023; Zandvoort et al., 2019). Verder kan een toename van extreme temperaturen hittestress veroorzaken, bijvoorbeeld voor de kokkel en ansjovis, met als gevolg hogere mortaliteit of het migreren van soorten uit het

Oosterschelde systeem (Kamermans & Leopold, 2021; Morley et al., 2018; van den Bogaart et al., 2021).

Het KNMI voorspelt een zeespiegelstijging bij de Nederlandse kust van 27 cm in 2050 volgens het hoge uitstootscenario (KNMI, 2023). Om het land achter de Oosterschelde te beschermen zal het sluitingsregime van de Oosterschelde toe moeten nemen van 1 keer per jaar, naar 2,5 keer per jaar in 2050 (KNMI, 2023). De golfbelasting op de Oosterscheldekering zal toenemen door het verhoogde sluitingsregime. Daarmee zullen de onderhoudswerkzaamheden aan de Oosterscheldekering ook toe moeten nemen. Onderhoud kan alleen plaatsvinden bij lage waterstanden. Het onderhoudsseizoen zal korter worden door de hogere waterstand, waardoor er wordt voorspeld dat de werkzaamheden vaker moeten worden afgebroken met als resultaat dat de waterkering nog langer dicht blijft. Dit zorgt voor verminderde connectiviteit en water-uitwisseling tussen de Oosterschelde en de Voordelta. De zandhonger in de Oosterschelde zal hierdoor nog meer toenemen. De verminderde zandtoevoer en toenemende zeespiegel resulteren in een afname van droogliggende zandplaten in de Oosterschelde (Philipsen, 2023; Zandvoort et al., 2019). Dit kan een versterkend negatief effect hebben op bijvoorbeeld schelpdieren op de zandplaten en vogels die op de schelpdieren foerageren.

Een ander veel voorkomend onderwerp in de rapporten is het effect van temperatuur op de benthische populaties in de Oosterschelde. Er wordt voorspeld dat de gemiddelde temperatuur zal toenemen met 1,5°C ten opzichte van de gemiddelde temperatuur tussen 1991-2020 in het hoge uitstootscenario in 2050 (KNMI, 2023). De toenemende hittegolven in de zomer kunnen leiden tot hittestress wat kan resulteren in verhoogde energetische kosten om met deze stress om te gaan. Door deze verhoogde energetische kosten kunnen schelpdieren gevoeliger worden voor andere stressoren zoals het oosterherpes virus, dit kan zich uiten in hogere mortaliteit (Kamermans & Leopold, 2021; L. van den Bogaart et al., 2021). De hittegolven in 2018 en 2020 hebben grootschalige sterfte veroorzaakt onder de kokkelpopulaties. Op de platen met zanderig sediment en verhoogde droogvalduur was de mortaliteit hoger dan op slibrijke platen (Suykerbuyk et al., 2021; Troost et al., 2022). Slibrijke platen hebben een hogere bufferende werking: ze warmen minder snel op en koelen minder snel af. De slibrijke platen bereiken daarmee minder snel kritieke temperaturen voor bijvoorbeeld kokkels, maar wanneer de kritieke temperaturen wel bereikt worden door verlengde hittegolven, koelen ze ook minder snel af. Daarmee is de getijdewerking van belang. Wanneer de getijdewerking afneemt en daarmee de retentietijd toeneemt, is er minder verversing en verkoeling van de slibrijke platen. Er zal dus een omslagpunt zijn, wanneer de bufferende werking van de slibrijke platen negatievere effecten heeft dan de zandrijke platen die sneller opwarmen, maar dus ook sneller afkoelen. Het is daarom van belang om de effecten van klimaatverandering in het oog te houden wanneer er wordt gekeken naar maatregelen in de Oosterschelde. Hogere temperaturen en lage getijdenwerking kunnen daardoor de positieve effecten van een maatregel teniet doen.

Naast het toenemen van de temperatuur op de platen, neemt de algehele watertemperatuur in de Oosterschelde ook toe als gevolg van klimaatverandering. Vissen kunnen wegtrekken uit een gebied waar de hittestress te groot wordt (Morley et al., 2018). Hierdoor kunnen vissoorten wegtrekken uit de Oosterschelde, maar kunnen er ook nieuwe soorten richting de Oosterschelde trekken die vanuit zuidelijkere waters komen. Een voorbeeld hiervan is de afname van ansjovis. Met migratie signaal voor ansjovis om te vertrekken vanuit de Oosterschelde ligt rond de 14°C. Omdat deze temperaturen eerder in het jaar bereikt worden, trekt ansjovis eerder uit de Oosterschelde richting de Noordzee om zich daar voort te planten in plaats van in de Oosterschelde (Stark, 2023).

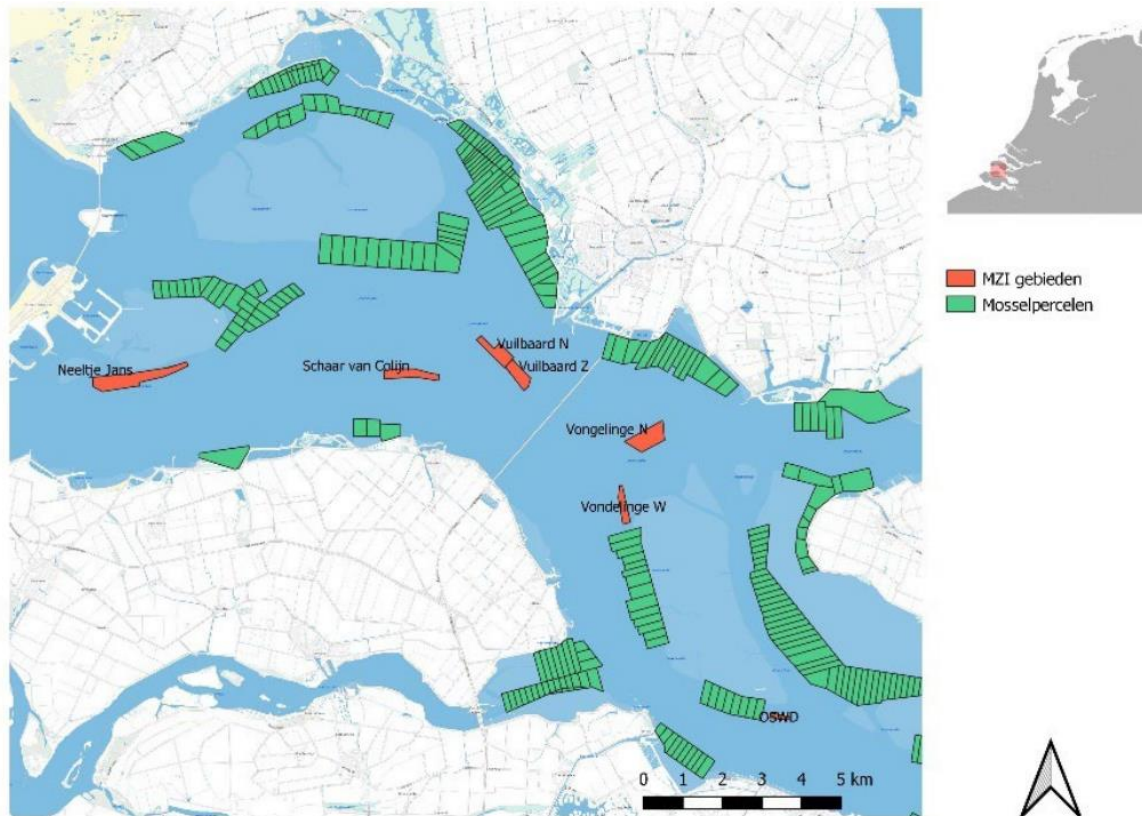
5.3 Visserij op schelpdieren en vissen

Om het ecologisch functioneren van een systeem in kaart te brengen is het van belang om de invloed van de visserij op het systeem mee te nemen. In de Oosterschelde domineert de kweek van schelpdieren. Daarnaast wordt er gevist op oesters, passief gevist met fuiken en korven en wordt er nog door enkele vissers gebruik gemaakt van actieve vistuigen zoals sleepnetten (garnalenvangst) en zegen. Verder wordt er met handlijnen gevist op kabeljauw en zeebaars (Schotanus et al., 2022). Commercieel interessante soorten die met passieve visserij worden gevangen zijn vooral aal en kreeft, maar beide soorten vertonen een negatieve populatietrend (Steins, 2023; Tulp et al., 2023). De vistuigen die gebruikt worden zijn schiet(fuiken), kubben en korven. Bijvangst bestaat uit: platvis, inktvis,

Noordzeekrab en soms ook harders en zeebaars. De beoordeling vaste vistuigvisserij (Wijsman & Goudswaard, 2015) toonde aan dat er geen nadelige effecten te verwachten zijn van de vaste vistuigen met betrekking tot het beschermen van de omgeving, beschreven volgens de Natura 2000-richtlijnen als habitatype Grote baaien (H1160). Verder is vastgelegd dat er een minimale afstand van 150 meter tot de waterlijn op verschillende platen is, om de verstoring van vogels op zandplaten te minimaliseren. Een recenter rapport geeft een minimale verstoringsafstand van 200-300 m voor varende schepen en 500 m voor stilliggende schepen (Schotanus et al., 2022). Voor sommige soorten (zoals wulp en bergeend) is deze afstand niet voldoende om verstoring te voorkomen. De verstoring van visserij op vogelsoorten wordt minimaal geacht doordat visserij incidenteel plaatsvindt op elke keer een andere locatie in de Oosterschelde (Wijsman & Goudswaard, 2015). Daarnaast wordt er gevonden dat er voldoende uitwijkmogelijkheden zijn voor vogels in de Oosterschelde, waar ze naartoe kunnen vluchten wanneer ze verstoord worden (Wijsman & Goudswaard, 2015). Daarentegen wordt er ook gevonden dat off-bottom oesterkweek op intergetijdengebieden zorgen voor een afname van beschikbaar foerageergebied voor plevieren doordat plevieren de off-bottom oesterkweek systemen vermijden. Voor soorten die individueel foerageren zoals de scholekster, wulp en tureluur lijken de off-bottom systemen weinig effect te hebben (Schotanus et al., 2022). Voor zeehonden geldt er een minimale afstand van 500 m voor vaste vistuigen van het noordelijke deel van de Roggenplaat en de Vondelingsplaat. Op deze plekken worden de grootste concentraties zeehonden waargenomen. Voor de overige gebieden geldt een minimale afstand van 250 m voor rustende zeehonden (Schotanus et al., 2022).

Het westelijke deel van de Roggenplaat en de Noordelijke tak zijn sinds 1993 gesloten voor schelpdiervisserij (de Mesel et al., 2009). De kom is daarentegen één van de belangrijkste oesterproductiegebieden en een belangrijk mosselverwateringsgebied. Naast de aangewezen oesterpercelen is het beperkt toegestaan om op vrije grond te vissen op littorale oesterbanken. Het wegrapen van losliggende oesters zou het vormen van nieuwe oesterbanken tegen kunnen gaan. Verder is er in 2006 is er voor het laatst mechanisch op kokkels gevist (Schotanus et al., 2022).

Verder zijn er mosselzaadinvanginstallaties (MZI's) in de Oosterschelde (Figuur 8). Deze mossels zouden kunnen concurreren om voedsel met zooplankton, fytoplankton etende vis en natuurlijke schelpdierpopulaties in de Oosterschelde. De productie van de MZI's in de Oosterschelde neemt af sinds 2016, terwijl de MZI vangst is toegenomen in de Waddenzee (Capelle, 2022). Er werd geconcludeerd dat het aandeel van MZI mosselen aan de totale graasdruk in de Oosterschelde ca. 2,7% van de totale graasdruk is. Op beschutte locaties met weinig getijdenbeweging kunnen de MZI's op lokale bijdragen aan overbegrazing, maar op ecosysteem-niveau leidt de vergunde (en beleidsmatig beschikbare) MZI-ruimte niet tot overbegrazing (Wijsman, 2022).



Figuur 8. Overzicht schelpdierkweek percelen in het middengebied en de mond van de Oosterschelde aangegeven met groen. Ligging van de MZI gebieden is aangegeven met rood (Wijsman, 2022).

5.4 De komst en vestiging van exoten en invasieve soorten in de Oosterschelde

Met de stijgende watertemperatuur zal de ruimtelijke verdeling van soorten zich naar het noorden verplaatsen, wat kan resulteren in het verdwijnen van soorten zoals de ansjovis uit de Oosterschelde. Tegelijkertijd zullen zuidelijkere non-inheemse soorten zich verplaatsen naar de Nederlandse wateren (Tulp et al., 2023). Daarnaast kunnen niet-inheemse soorten ook worden geïntroduceerd via de import van organismen voor aquacultuur of via ballastwater. Deze nieuwe soorten kunnen mogelijk de rol vervullen van verdwenen soorten, zoals wordt gespeculeerd voor de toenemende Filipijnse tapijtschelp en de afnemende kokkelpopulatie (Troost et al., 2023). Echter, deze nieuwe soorten kunnen ook ongecontroleerd groeien en daarmee het ecosysteem uit evenwicht brengen. Een aantal exoten die opgevallen zijn in de literatuur zullen worden beschreven.

De Europese kreeft is sinds het einde van de 19e eeuw aanwezig in Zeeland, mogelijk door de aanvoer van larven vanuit de Noordzee en het ontsnappen van kreeften uit importkreeftenputten uit Noorwegen en Zweden (Tulp et al., 2023). De Europese kreeft voedt zich in het larvale stadium met fytoplankton en zoöplankton. Juveniele kreeften eten zoöplankton en ingegraven bodemfauna, zoals wormen. Naarmate de juvenielen groter worden en volwassen worden, schakelen ze over op tweekleppigen, slakken, krabben, wormen, vis en soms ook andere kreeften (Schotanus & Carabain, 2023).

De Japanse oester werd geïntroduceerd in de Oosterschelde in 1964 na de grote populatiesterfte van platte oesters die plaatsvond tijdens de winter van 1962/1963 om de oesterhandel een boost te geven (Wijsman et al., 2007). De Japanse oesterriffen creëren een geschikt hardsubstraat habitat voor de Europese zeekeeft. De larven maken gebruik van de oesters om te settelen en volwassen kreeften gebruiken de oesterriffen om te foerageren en zich te verstoppen. De Japanse oester wordt door vissers specifiek genoemd als goed habitat voor de Europese zeekeeft en niet de inheemse platte oester (Verschuur et al., 2023). De toenemende watertemperatuur, het verhoogde zoutgehalte en het

toenemen van hard substraat door onder andere de Japanse oester verandert het Oosterscheldesysteem waardoor nieuwe soorten gebruik maken van de Oosterschelde als kraamkamer. Dit is bijvoorbeeld te zien in de recente toename van pijlstaartroggen in de kom en rondom de Roggenplaat in de Oosterschelde (Tulp et al., 2023).

De Japanse oester kan fytoplankton en bacteriën kleiner dan 5 µm niet efficiënt consumeren, daarom blijft het kleine voedsel beschikbaar voor microzoöplankton. Deze microzoöplankton kunnen vervolgens weer geconsumeerd worden door mesozoöplankton. Dit is een mogelijke verklaring voor een populatiegrootte van mesozoöplankton die vergelijkbaar is met de populatiegrootte vóór de introductie van de Japanse oester, terwijl de chl-a concentraties laag zijn (Horn et al., 2023). Met de toename van de Japanse oester is de filtratiedruk toegenomen, met als gevolg dat de helderheid van het water is toegenomen (van den Ende et al., 2016). Deze verhoogde helderheid zorgt ervoor dat larven en juveniele vis makkelijker ten prooi vallen aan predatoren en er minder rekrutering is voor de vispopulaties in de Oosterschelde.

De harde schelp van de Japanse oester maakt het een minder aantrekkelijke voedselbron voor vogels. Desondanks worden er wel scholeksters waargenomen die het vlees uit open Japanse oester halen (Cadée, 2008). Daarnaast zorgt de Japanse oester voor competitie met andere schelpdiersoorten die als voedselbron dienen voor vogels. Door hun hoge filtratiecapaciteit, in combinatie met hittestress in de zomer, kunnen ze er voor zorgen dat andere schelpdierpopulaties onder druk komen te staan. Daarmee kan de Japanse oester dus ook een indirect negatief effect hebben op de vogelpopulaties in de Oosterschelde (de Ronde et al., 2013). Er wordt een lichte neerwaartse trend waargenomen in de Japanse oesterpopulatie in de Oosterschelde (Craeymeersch et al., 2019; Delta expertise, z.d.).

In de periode tussen 2005 en 2008 werd de Filipijnse tapijtschelp geïntroduceerd in de Oosterschelde, vermoedelijk via geïmporteerd mosselzaad uit Engeland (Wijsman & Smaal, 2006). De toename van de tapijtschelp draagt mogelijk bij aan de afname van kokkels en oesters in de Oosterschelde, waarbij wordt gespeculeerd dat de tapijtschelp de ecologische functie van de afnemende kokkelpopulatie kan overnemen (Kamermans & Leopold, 2021). Deze veranderingen hebben mogelijk een negatief effect op de voedselbron voor scholeksters, maar de tapijtschelp kan mogelijk dienen als alternatieve voedselbron en de scholeksterpopulatie positief beïnvloeden, gezien zijn betere weerstand tegen hitte op droogvallende platen (Troost et al., 2021).

Sinds 2007 komen de Japanse en Amerikaanse oesterboorder voor in de Oosterschelde. Waarschijnlijk zijn ze geïntroduceerd met schelpdiertransport. De oesterboorder predeert op de oesters en heet zich succesvol weten te vestigen in de Oosterschelde. Daarmee heeft de oesterboorder een negatief effect op de bodemoesterkweek en ook de Japanse oester populatie (Onderzoeksgroep Aquacultuur, 2020; Smaal et al., 2016).

6 Hydrologische randvoorwaarden en verkenning maatregelen

Potentiële ecologische mechanismes is een breed begrip dat op meerdere manieren geïnterpreteerd kan worden. In dit rapport definiëren we potentiële ecologische mechanismes als processen die van dermate belang zijn in de Oosterschelde, dat ze de ecologische toestand van het ecosysteem sterk beïnvloeden, en die eventueel met beleidsmaatregelen gebruikt kunnen worden om het ecosysteem te verbeteren. Tot zover bekend zijn er een viertal aspecten in de Oosterschelde die een grote sturende factor zijn voor het ecosysteem: 1) de erosie van de slikken en zandplaten (zandhonger), 2) ecologische draagkracht en de structuur van het voedselweb, 3) Beschikbaarheid van habitat, 4) connectiviteit tussen de Oosterschelde en de omringende grote wateren (Figuur 9). Deze aspecten spelen in op de hydrologische randvoorwaarden in de Oosterschelde. Hieronder zullen we deze vier processen kort beschrijven aan de hand van systeemmaatregelen die hiervoor gedaan kunnen worden en de voordelen/nadelen/knelpunten in het toepassen van deze maatregelen.



Figuur 9. Overzicht van de dominante mechanismen die de biodiversiteit kunnen beïnvloeden in de Oosterschelde (Afbeelding aangepast van (Provincie Zeeland, 2018)).

6.1 Zandhonger in de Oosterschelde

De erosie van de zandplaten, slikken, en schorren van de Oosterschelde ten gevolge van het verminderde getijvolume is één van de belangrijkste processen op dit moment voor het ecosysteem van de Oosterschelde. Deze erosie, of zandhonger, kan worden tegengegaan door grofweg drie maatregelen (Figuur 10):

1. Het opspuiten van zand, ofwel zandsuppleties. Deze methode is recent toegepast op de Roggenplaat, wordt de komende jaren gedaan op de Galgeplaat en mogelijk ook de Slikken van den Dortsman en op iets langere termijn ook in de kom van de Oosterschelde. Hierbij wordt het areaal aan intergetijdengebied op peil gehouden door sediment vanuit de geulen (dus binnenin de Oosterschelde) op de slikken en zandplaten te spuiten. Het foerageergebied voor benthos-etende vogels, zoals de Bonte strandloper, wordt hiermee vergroot, maar het is wel van belang dat het opgespoten gebied van dezelfde kwaliteit is voor de bodemdiergemeenschap als de rest van het gebied. Recent onderzoek heeft

aangetoond dat het gebruik van verschillende korrelgroottes bij zandsuppleties kan resulteren in het vestigen van een bodemdiergemeenschap die afwijkt van de natuurlijke samenstelling in het gebied (Wijsman et al., 2023). De komende jaren wordt de ontwikkeling van de bodemdiergemeenschap en vogelpopulaties op de Roggenplaat gemonitord.

2. Aanbrengen van hard substraat. Het voorkomen van afkalven van slikken en schorren kan door middel van verschillende manieren van aanbrengen van hard substraat. Er kunnen stenen dammen aangelegd worden op de rand van het schor, waardoor sediment minder snel door de geulen wordt afgevoerd en het gebied achter de dam langzaam opslibt. Dit wordt momenteel toegepast bij Rattekaai, de Schorren van Sint Annaland, en de Rumoirtschorren. Naast het remmen van erosie, kan hard substraat de biodiversiteit verhogen door het voorzien van schuilmogelijkheden voor juveniele vis en bodemdieren (zoals kreeft). Een nadeel van deze steenbedekking of stenen dammen is dat de erosie van het slik dat voor de dammen ligt toeneemt en het slik minder geschikt wordt voor vestiging van planten (schorvegetatie en zeegras). Daarnaast verslechtert de afwatering van het schor, wat weer slecht is voor de begroeiing van het schor. Deze negatieve effecten zijn tot op heden nog niet goed onderzocht, en moeten verder bekeken/gemonitord worden. Recent is een pilot project opgezet om erosieremmende maatregelen bij de Rattekaai te testen. Het doel is om alternatieve materialen zoals geotextiel en rijshouten dammen te plaatsen, om te kijken of deze materialen minder neveneffecten hebben dan het gebruiken van hard substraat (van Belzen et al., 2020).
De afgelopen jaren is er ook onderzoek gedaan naar de aanleg van schelpdierbanken, die als natuurlijke barrière optreden tegen de afvoer van sediment (Walles et al., 2015). Daarnaast dienen schelpdierbanken, zoals oesterriffen, als habitat voor krabben, kreeften en jonge vissen, en worden ze gebruikt als foerageergebied voor vogels en vissen (van den Bogaart & Jansen, 2021; Walles et al., 2015).
3. Het verhogen van getijvolume zodat de zandhonger vermindert, vereist ingrijpende wijzigingen in de Oosterscheldekering, het weghalen van compartimenteringsdammen en daarmee het toelaten van zoetwater uit de rivieren om het estuariene karakter, en daarmee de natuurlijke getijdenwerking, terug te brengen. In het rapport van Haas (1998) is aangetoond dat met het herstel van het estuariene karakter van de Oosterschelde, de biodiversiteit en de productiviteit kan toenemen. Op kleinere schaal zijn er winstpunten te behalen door geleidelijke zoet/zout overgangen te creëren bij de dammen (Tangelder et al., 2017).



Figuur 10. Kaart van de Oosterschelde met de deelgebieden uitgelicht in groen. Binnen de deelgebieden zijn de zandplaten en slikken, waar gesuppleerd is benoemd in dit rapport uitgelicht in geel. De slikken en schorren waar hard substraat is aangebracht zijn uitgelicht in blauw. De (compartimenterings-)dammen en Oosterscheldekering zijn uitgelicht in oranje. Bij de Schelphoek (wit) is gesuppleerd en hard substraat aangebracht (basiskaart van Google Earth).

6.2 Ecologische draagkracht van de Oosterschelde

In een goed gemengd estuarium is er een sterke koppeling aanwezig tussen pelagische- en benthische systemen. Primaire productiviteit is daarbij een belangrijke factor die de gemiddelde biomassa van schelpdieren begrenst (Herman et al., 1999). De primaire productie in de Oosterschelde is in de zomer voornamelijk gelimiteerd door nutriëntenbeschikbaarheid (Scholten et al., 1990). Het verhogen van de hoeveelheid nutriënten zou daarvoor kunnen bijdragen aan productiviteit van de Oosterschelde. Dit kan op meerdere manieren, door bijvoorbeeld het inlaten van meer zoetwater via de Krammersluizen en/of de Bergse Diepsluis, maar ook door de wateruitwisseling met de Noordzee te verhogen. Het inlaten van zoetwater verhoogt in potentie lokaal de draagkracht (de Mesel et al., 2010) (Figuur 11).



Figuur 11. Effecten van het toelaten van zoet water in de Oosterschelde. Vergrote instroom van zoet water kan zorgen voor verhoogde connectiviteit met als gevolg meer mogelijkheden voor vismigratie. Verder zorgt het voor een afname van het zoutgehalte wat negatieve effecten heeft op soorten zoals de kreeft. Verder heeft zoet water een andere nutriëntverhouding dan zout water, wat gevolgen heeft voor primaire productie en daarmee de rest van het voedselweb (Afbeelding aangepast van (Provincie Zeeland, 2018)).

Schelpdieren bij de Krammersluizen vertoonden een betere groei nadat meer zoetwater werd toegelaten door het sluizencomplex. Het krammersluizencomplex wordt vanaf 2024 gerenoveerd (Rijkswaterstaat, 2022), het debiet aan zoetwaterinstroom verder wordt verhoogd (Dillingh et al., 2012). Hoewel het inlaten van zoetwater dus de productiviteit lijkt te verhogen, zijn er ook kanttekeningen. In het Volkerak-Zoommeer is er een grotere overmaat van opgelost anorganisch stikstof (DIN), dan in de Oosterschelde. Deze overmaat van DIN bevordert groei van fytoplankton dat baat heeft bij stikstof, en kan zelfs schadelijke algengroei veroorzaken deze kunnen terecht komen in schelpdieren. De schelpdieren worden giftig en niet geschikt voor consumptie schelpdieren. Dit fytoplankton is vaak kleiner in grootte, waardoor schelpdieren hier geen profijt van hebben (Smaal et al., 2013). Het inlaten van nutriëntrijk water vanuit het Volkerak-Zoommeer verhoogt dus niet één-op-één de draagkracht van de Oosterschelde. Daarnaast kan algehele productiviteit van een systeem verhoogd worden door de aanwezigheid van biobouwers zoals oesters of mosselen, maar dit verhoogt ook weer de graasdruk. De zandhonger heeft ook een effect op de nutriëntenkringloop in de Oosterschelde. Intergetijdengebieden in de Oosterschelde halen sneller nutriënten uit het systeem dan sublitorale gebieden, waardoor bij een afname van intergetijdengebied waarschijnlijk een toename van nutriënten in het water kan worden verwacht (Rios-Yunes et al., 2023). Alhoewel er de afgelopen jaren meer onderzoek is gedaan naar de nutriëntenkringloop in de Oosterschelde, is het nog onduidelijk wat voor effect bijvoorbeeld zandhonger heeft op deze kringloop, en hoe de kringloop zal reageren op de huidige klimaatverandering.

6.3 Beschikbaarheid van habitat

Een verscheidenheid aan habitat in de Oosterschelde verhoogt de biodiversiteit en daarbij de weerbaarheid van het ecosysteem tegen (natuurlijke) verstoringen. Het herstellen en in stand houden van zandplaten, slikken, en schorren is daarbij van belang, maar ook de aanwezigheid van biobouwers (Oesterriffen) kan helpen. Dit zorgt ervoor dat er voldoende ecologische niches aanwezig zijn om een hoge biodiversiteit in de Oosterschelde te ondersteunen.

6.4 Connectiviteit tussen de Oosterschelde en de omringende grote wateren

Met het bouwen van de oesterdam en St. Phillipsdam zijn de (grotere) zoet-zout overgangen in de Oosterschelde verdwenen. In het huidige beleid stroomt er door de huidige krammersluizen een kleine hoeveelheid zoetwater (gemiddeld $9 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) in de Noordtak van de Oosterschelde. Met de geplande restauratie van het sluisencomplex wordt dit zoetwaterdebiet in de komende jaren verhoogd naar $25 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (Wijsman & Lansbergen, 2021). Daarnaast doet het nieuwe spuumiddel (twee afsluitbare kokers) dienst als vispassage (Rijkswaterstaat, 2023). Wanneer deze vaker open blijken te staan en gevonden worden door vissen, kan dit de connectiviteit tussen de Oosterschelde en achterland (rivieren) bevorderen, en verbetert de vismigratie voor tussen zee en achterland-migrerende vissen (Tulp et al., 2023). Vissoorten die hiervan gebruik zouden maken zijn bijvoorbeeld zeeforel, de 3-dornige stekelbaars, en glasaalen. De drie doornige stekelbaars is/was een belangrijke voedselbron voor grotere vissen in het Oosterschelde voedselweb. Andere vissoorten die zijn waargenomen tijdens migratie door het krammersluizencomplex zijn bot, spiering en stekelbaars (Winter et al., 2021). Wanneer de Krammersluizen worden gebruikt om zoet water in de Oosterschelde te laten en daarmee migratie te bevorderen, moet er rekening gehouden worden met het matchen van het migratieseizoen met het openen van de sluisen. Daarnaast moet er ook voldoende habitat beschikbaar zijn in het achterland voor migrerende soorten, zoals beekjes voor de zeepril (van Donk et al., 2022). Het is op dit moment onduidelijk of vismigratie vanuit de Oosterschelde de beperkende factor is voor migrerende vissoorten.

Een andere mogelijkheid is om zoetwater binnen te laten via de Bergsediepsluis. Zoetwater van het Volkerak-Zoommeer wordt nu afgevoerd naar de Westerschelde via de Kreekraksluisen.

7 Aanbevelingen en kennisleemtes

Om doeltreffende maatregelen te kunnen nemen voor de Oosterschelde, is voldoende basiskennis van het ecosysteem van essentieel belang. Er is op dit moment nog onvoldoende kennis van het voedselweb van de Oosterschelde, het effect van habitatbeschikbaarheid op dierpopulaties, en de effecten van klimaatverandering op de Oosterschelde. Het is van belang om deze kennisleemtes op te vullen om een lange termijn schets te kunnen maken van de populatie trends en het ecosysteem. Aan de hand van het voedselweb, en de bijbehorende populaties, en de habitatbeschikbaarheid kunnen draagkracht (natuur) doelen gesteld worden. Deze doelen hangen samen met het stellen van streefbeelden voor de Oosterschelde. Maatregelen om aan deze doelen te kunnen voldoen spelen in op de hydrologische randvoorwaarden en de externe stuurfactoren (Figuur 1).

Dit hoofdstuk benoemt de kennisleemtes die aangekaart worden in de rapporten die beschikbaar zijn over de Oosterschelde. Daarnaast worden aanbevelingen gedaan hoe deze kennisleemtes opgevuld kunnen worden.

7.1 Voedselweb van de Oosterschelde

7.1.1 Zoöplankton in de Oosterschelde

Zoöplankton populaties in de Oosterschelde zijn onderzocht in 1994 en 2018 (Bakker & Van Rijswijk, 1994; Horn et al., 2023). Er is weinig bekend over de huidige grootte van de zoöplanktonpopulatie, de invloed van temperatuur op zoöplankton en optimale nutriëntenverhoudingen voor zoöplankton. Daarnaast kan het onderzoeken van de consumptie van fytoplankton inzicht geven in de concurrentie om voedsel met andere filtervoeders en de commerciële schelpdiersector. Dit geeft belangrijke data die gebruikt kan worden in het modelleren van de draagkracht van schelpdieren in de Oosterschelde (Jansen et al., 2019). Zoöplankton kan geïdentificeerd en gekwantificeerd worden met behulp van multinet bemonstering en innovatieve camerasystemen (Jak et al., 2022). Soortenidentificatie kan ook worden uitgevoerd met behulp van eDNA, maar daarbij zijn er beperkingen als het gaat om het kwantificeren van de populatiegrootte (Yang & Zhang, 2020). Daarnaast is het ook van belang om de graasdruk van zoöplankton in kaart te brengen, zodat de concurrentie om nutriënten met andere filteraars te identificeren. Graasdruk kan worden berekend volgens methoden zoals beschreven door Tackx et al. (1990). Vanuit het MONS programma wordt er nu onderzoek gedaan naar zoöplankton in de Nederlandse wateren door o.a. NIOZ en Wageningen Marine Research.

7.1.2 Schatting van kreeftenbestand

De bestandsschatting van de Europese kreeft in de Oosterschelde is onder evaluatie door stichting Anemoon (Bleijenberg, 2023). Daarnaast wordt de CatchCam (een automatisch vangstregistratiesysteem aan boord bij kreeftenvissers) gebruikt om vangstgegevens te verzamelen over de kreeft. De CatchCam, aangevuld met visserij-afhankelijke tijdsreeksen zou een goed inzicht geven in de kreeftbestanden in de Oosterschelde. Het is van belang een goede bestandsschatting te hebben, om beleid met betrekking tot visserij te kunnen ondersteunen (Jurrius & Laan, 2023).

7.1.3 Vis in ondiepe delen en in watercolumn

Er liggen nog kansen om de kennis over visbestanden in de Oosterschelde te verbeteren en hiermee het visserijbeleid te kunnen ondersteunen. De Dutch Demersal Fish Survey (DFS) richt zich op bodemdieren/vissen in geulen dieper dan 2 meter vanwege de diepgang van het onderzoeksschip, waarbij de boomkor ca 70 cm hoog reikt. Daarmee mis je een groot deel van de pelagische soorten (zoals haring, sprot, zandspiering, kwallen en inktvissen) en de grotere migrerende vissen die voor het tuig uit kunnen zwemmen. Verder mis je ook de vissen die langs de waterkant en in of tussen harde structuren zitten. Voor de DFS zijn er in verhouding weinig trekken gedaan in het noordelijk deel en in

de kom van de Oosterschelde. Door de monitoringinspanning gelijk te trekken over de gehele Oosterschelde kan er een betere inschatting gemaakt worden van het visbestand (Tulp et al., 2023).

DFS vindt één keer per jaar plaats in september. Hieruit wordt geconcludeerd dat bepaalde soorten afnemen in de kom mogelijk als gevolg van hogere watertemperatuur (Tulp et al., 2023). Omdat er nu alleen na september gemeten wordt, kan het zijn dat hoge temperaturen de betrouwbaarheid van de DFS gegevens verstoren. Wanneer er meerdere keren per jaar gemonitord wordt kan er een duidelijker beeld geschetst worden van de seizoenseffecten op het visbestand. Nu kan het voorkomen dat de DFS data een lage dichtheid weergeven van soorten die in de zomer zijn weggetrokken door de hoge temperaturen, maar die de rest van het jaar zich wel in de Oosterschelde bevinden.

7.1.4 Ecosysteem benadering en draagkracht hogere trofische niveaus

Regelmatig worden belangrijke indicatoren voor draagkracht gemonitord en in relatie tot elkaar onderzocht. Ook is er een ecosysteemmodel ontwikkeld voor de Oosterschelde (Wijsman & Hamer, 2023), waarin de draagkracht van schelpdieren in relatie tot nutriëntendynamiek in de Oosterschelde kan worden geanalyseerd. Kennis over de graasdruk van zoöplankton zou dit model nog verder aan kunnen vullen en inzicht geven in hoe groot de rol is die zoöplankton speelt in het Oosterschelde systeem. Ook geeft dit inzicht in de vraag of nutriënten op dit moment limiterend zijn in de Oosterschelde. Een bredere ecosysteembenadering is gewenst om te kijken naar hoe het toelaten van zoetwater invloed zal hebben op de nutriëntensamenstelling en wat voor effect dit zal hebben op de draagkracht en het functioneren van het voedselweb. Daarnaast is er weinig onderzoek gedaan naar de vertaling van draagkracht voor schelpdieren naar de hogere trofische niveaus. Deze vertaling, waarbij schelpdieren als voedselbron gelden, is erg complex. Dit komt doordat het model ingewikkelder wordt door extra parameters zoals migratie en voedselbeschikbaarheid en door de interacties tussen meerdere soorten (Goss-Custard et al., 2002; Mohan et al., 2005).

Er is een (groot) gedeeld belang vanuit natuurbeleid en beheer om de draagkracht van de Oosterschelde te vergroten. Het is daarbij van belang om draagkracht te definiëren. Het gaat hierbij bijvoorbeeld om de competitie tussen soorten om ruimte en voedsel binnen een gebied. De draagkracht is dan het maximum dat het systeem kan produceren aan voedsel of de maximale ruimte die beschikbaar is in het gebied.

De draagkracht van een ecosysteem wordt theoretisch uitgelegd door onder meer Del Monte-Luna et al. (2004). Ecosysteem draagkracht bestaat uit de draagkracht van levensgemeenschappen, wat weer opgemaakt is uit de draagkracht van populaties. Daarbij is de draagkracht van een ecosysteem gedefinieerd als het maximum aantal soorten die het ecosysteem kan onderhouden. Het aantal soorten is vervolgens weer gekoppeld aan het aantal individuen of biomassa en de intrinsieke groeisnelheid. Deze basis van het ecosysteem wordt beïnvloed door fysieke factoren zoals het klimaat en interacties tussen soorten, die van jaar op jaar kunnen variëren (Chapman & Byron, 2018). Dit samenspel tussen verschillende componenten bepaalt dus uiteindelijk de draagkracht op ecosystemniveau. Dit laat zien hoe gecompliceerd een draagkrachtbenadering kan zijn, maar ook dat het kan belangrijk is om draagkracht te definiëren voor delen van het ecosysteem die (wel) te kwantificeren zijn.

Dit wordt bijvoorbeeld gedaan bij het benaderen van de draagkracht van het ecosysteem voor schelpdieren. De omvang van de schelpdierpopulatie is in te schatten en de concurrentie om voedsel en ruimte is gering, waardoor het kwantificeren van de draagkracht op basis van scheldieren mogelijk is. Het is bijvoorbeeld waardevol om de draagkracht te benaderen voor vis en vogels (de Leeuw et al., 2023; Goss-Custard et al., 2002). Door deze draagkrachtstudies te vergelijken ontstaat een beeld over de factoren die sturend zijn in een ecosysteem. Deze sturende factoren kunnen gebruikt worden om de mechanismen beter te begrijpen en aan de hand daarvan maatregelen op te stellen die in lijn zijn met de doelen voor een ecosysteem. Voorbeelden van dergelijke maatregelen zijn benoemd in hoofdstuk 6 en kunnen worden opgenomen in het PAGW. Deze maatregelen zouden bijvoorbeeld kunnen ingaan op thema's zoals het vergroten van het getijdenvolume en het stimuleren van natuurlijke getijdenwerking door zoet water toe te laten in de Oosterschelde. Daarnaast kan een beter inzicht in de verdeling van draagkracht over het natuurlijk voedselweb leiden tot verbetering van beleidsvorming en vergunningverlening.

7.2 Habitatbeschikbaarheid

De Oosterschelde functioneert onder andere als kraamkamer voor vissen en foerageergebied voor vogels. Wanneer de habitat niet meer beschikbaar is vallen deze functies weg. Het is daarom belangrijk om de habitatbeschikbaarheid in kaart te brengen. Voorbeelden hiervan zijn de ontwikkeling van een boedemdiergemeenschap na suppleties, het gebruik van intergetijdengebied door vogels en de locaties van gedegradeerde en gezonde habitats in de Oosterschelde. Aan de hand daarvan kunnen keuzes gemaakt worden over het belang van het behouden van deze functies in de Oosterschelde en welke maatregelen toegepast kunnen worden om de habitat, en daarmee de functies, van de Oosterschelde te behouden.

Dit speelt in op de kwaliteitseisen omgeving Voor habitatype H1160 'Grote baaien' vanuit de Natura 2000 doelen (LNV, 2008). De functies van het systeem kunnen gebruikt worden in het opstellen van streefbeeld voor de Oosterschelde. Een voorbeeld van het vertalen van de functies het algehele Schelde estuarium naar streefbeeld kan gevonden worden in het rapport van De Deckere & Meire (2000).

7.2.1 Ontwikkeling van benthos op de gesuppleerde zandplaten en slikken

Omdat het herstel van bodemsoorten op sommige suppleties jaren kan duren (Baptist et al., 2008; J. W. M. Wijsman et al., 2023), is het van belang om het herstel van de soorten te monitoren. Het is mogelijk dat een exotische soort zich op het nieuwe habitat vestigt voordat de natuurlijke populatie zich kan herstellen (Wallis et al., 2021). Het is daarom van belang om de huidige bodemdiergemeenschap op de slikken en platen in kaart te brengen en de fysiologische effecten en stressoren van deze soorten te identificeren. Belangrijke factoren om mee te nemen zijn de effecten van opwarming, overstromingsduur, hittestress, voedselaanbod en mogelijke competitie tussen soorten. Hierdoor kan de stressbestendigheid en daarmee het herstel van bodemsoorten op de plek van suppletie voorspeld worden. Wanneer bekend is welke soorten sneller zullen herstellen dan andere soorten op de plek van suppletie, kan vastgesteld worden welke soort voedselbronnen weer aanwezig zullen zijn na suppletie voor vogels.

7.2.2 Vogeltellingen in relatie tot recreatie en zandsuppleties

De meeste soorten in de Natura 2000-doelenlijst voor de Oosterschelde zijn vogels. Om beslissingen te nemen voor het in stand houden van de vogelpopulaties in de Oosterschelde is het van belang om de stuurfactoren op de populaties te begrijpen. Meer onderzoek is nodig naar de verstoring van broedvogels door bezoekers in de Oosterschelde (Huisman et al., 2021). Daarnaast zijn er nog veel vragen over het dieet van vogels zoals de scholekster (Grundlehner & Leopold, 2023). Dieetonderzoek kan daarnaast inzicht geven in de ruimtelijke foerageerpatronen van vogelsoorten, omdat schelpdiersoorten ook een ruimtelijke variatie laten zien, afhankelijk van factoren zoals hoogteligging, sedimentsamenstelling en hydrodynamiek (Kornman et al., 2001). Dieetonderzoek kan worden gedaan door middel van observaties van foeragerende vogels of prooi-resten in uitwerpselen en DNA onderzoek van uitwerpselen kan hier meer inzicht in geven. Verder wordt aanbevolen om jaarrond laagwatervogeltellingen te doen in relatie tot verstoring door zandsuppleties en recreatie. Soorten waarvan de populatiepiek buiten het telseizoen lag worden nu niet meegenomen waardoor de voorspelde patronen mogelijk minder betrouwbaar zijn (van Donk, 2022).

7.2.3 Akoestisch onderzoek in de delta: gedegradeerde vs. gezonde gebieden

Wanneer het gaat om de toekomst en doelen voor de Oosterschelde, wordt het beschermen van de biodiversiteit en habitatypes in het systeem benoemd. De akoestiek in een gebied kan potentieel belangrijke informatie bevatten over de habitatypes en de biologische conditie van deze habitats. Deze informatie kan bestaan uit de aanwezigheid van soorten en habitat kwaliteit (Staaterman et al., 2013). Verder zouden patronen in het geluidlandschap nuttige sensorische informatie kunnen leveren aan organismen, die daarmee de veranderingen in de biologische en fysieke karakteristieken van het milieu kunnen waarnemen (Cotter, 2008; Rogers & Cox, 1988). Verschillende benthische habitatypes produceren waarschijnlijk verschillende geluidlandschappen, gebaseerd op de fysieke en biologische

verschillen. Een voorbeeld hiervan is (Lillis et al., 2014). De akoestische karakteristiek van een oesterbanken kunnen bijvoorbeeld verschillen van zachte-bodem habitats die geen 3D structuren bevatten. Deze verschillen kunnen potentieel een ander akoestisch signaal afgeven aan schelpdierbankzoekende organismen (Lillis et al., 2013). Lillis et al. (2014) vond significante verschillen in de akoestische karakteristieken van een estuarium, met een hogere akoestische complexiteit waar oesterbanken aanwezig waren. Andere organismen, zoals vissen, werden aangetrokken tot deze banken waarmee ze ook bijdroegen aan de samenstelling van het geluidslandschap. Het in kaart brengen van het geluidslandschap van de Oosterschelde kan inzichtgeven in de habitattypes die aanwezig in de Oosterschelde en de kwaliteit van deze habitats. Deze informatie kan de basis vormen voor bijvoorbeeld onderzoek naar de toegevoegde waarde van een onderwaterreservaat (Provincie Zeeland, 2018).

7.3 De effecten van klimaatverandering op de Oosterschelde

Klimaatverandering heeft invloed op het functioneren van het ecosysteem. Het is daarom van belang om de grotere abiotische veranderingen (toename van de watertemperatuur en -spiegel) en effecten (hittestress, afname intergetijdengebied) mee te nemen bij het bedenken van maatregelen voor de Oosterschelde. Om te kunnen voorspellen hoe een soort reageert op verhoogde (water)temperatuur is het van belang de fysiologische respons van organismen, zoals de kokkel, te analyseren (Kamermans & Saurel, 2022; Suykerbuyk et al., 2021). Hetzelfde geldt voor vissoorten. Het doel is om de invloed van toenemende temperaturen op deze soorten in de Oosterschelde in kaart te brengen, bijvoorbeeld door te kijken naar de capaciteit om met hittestress om te gaan. Naast de directe effecten van klimaatverandering zullen er ook waterveiligheidsmaatregelen worden genomen die van invloed zijn op het ecologisch functioneren, zoals het vaker sluiten van de Oosterscheldekering, dijkversteving en het verbinden van de bekkens. De gevolgen hiervan voor het ecosysteem functioneren en de kansen die natuur kan bieden voor klimaatadaptatie zouden ook inzichtelijk gemaakt moeten worden voor beleidskeuzes in het deltaprogramma. De meerwaarde van het meenemen van klimaatverandering in het maken van streefbeelden zit hem in het juist voorspellen van wat er met het systeem kan gebeuren. Wanneer bijvoorbeeld de zeespiegelstijging niet wordt meegenomen in de streefbeelden kan de afname van intergetijdengebied onderschat worden, waardoor de bedachte maatregelen niet toereikend genoeg zijn op de lange termijn voor dit specifieke streefbeeld.

7.4 Het stellen van doelen en maken van streefbeelden

Bij het stellen van doelen voor de Oosterschelde is het van belang om deze goed te specificeren en kwantificeerbaar te maken zodat er gericht onderzoek gedaan kan worden. Wanneer de focus bijvoorbeeld ligt op het toenemen van de populatiegrootte, is het van belang om de beperkende factor in het Oosterschelde systeem te identificeren. Dit beantwoordt de vraag, "Wat zorgt er voor dat de populatiegrootte afneemt voor een specifieke soort?" en kan geanalyseerd worden aan de hand van het type organismen. Aan de hand van het antwoord op deze vraag kunnen er maatregelen genomen worden in de Oosterschelde om het effect van deze beperkende factor te reduceren en kunnen de positieve effecten doorwerken naar omliggende wateren. Wanneer de beperkende factor voor een populatie niet in de Oosterschelde ligt, kunnen er door maatregelen soorten aangetrokken worden naar de Oosterschelde waardoor lokaal de biodiversiteit toeneemt. Netto zal dit geen winst opleveren voor de gehele populatie. Een specifiek voorbeeld hiervan is dat wanneer de visserijdruk in de winter toeneemt in het Engelse Kanaal op soorten zoals zeebaars, pijlstaartrog en de gevlekte gladde haai, deze populaties zullen afnemen, met als gevolg dat deze soorten minder voor zullen komen in de Oosterschelde (Tulp et al., 2023).

Om deze grotere vraagstukken te beantwoorden, is het van belang om te weten welke soorten er voorkomen in het systeem, hoe groot de populaties zijn en hoe deze soorten interacteren met elkaar. In eerdere paragrafen werden kennisleemtes over specifieke populaties uitgelicht. Verder is het belangrijk om de invloed van abiotische factoren en stressoren zoals habitatverstoring door recreatie mee te nemen in een analyse. Als laatste stap kan er gekeken worden naar de effecten die al deze factoren samen hebben op het ecosysteem, door middel van het modelleren van het systeem en het doen van een cumulatieve impact analyse. Ook is het leerzaam om het gebied te vergelijken met een estuarium. Een voorbeeld hiervan is de Eems-Dollards en de Westerschelde, waar nog wel een natuurlijke zoet/zout waterovergang is.

8 Kwaliteitsborging

Wageningen Marine Research beschikt over een ISO 9001:2015 gecertificeerd kwaliteitsmanagementsysteem. De organisatie is gecertificeerd sinds 27 februari 2001. De certificering is uitgevoerd door DNV.

Literatuur

- Arts, F. A., Lilipaly, S., & Strucker, R. C. W. (2013). *Watervogels en zeezoogdieren in de Zoute Delta 2013 / 2014*.
- Bakker, C., & Van Rijswijk, P. (1994). *Zooplankton biomass in the Oosterschelde (SW Netherlands) before, during and after the construction of a storm-surge barrier*.
- Baptist, M. J., Tamis, J. E., Borsje, B. W., & van der Werf, J. J. (2008). *Review of the geomorphological, benthic ecological and biogeomorphological effects of nourishments on the shoreface and surf zone of the Dutch coast*.
- Bleijenberg, J. (2023). *Samenvatting databronnen kreeften Oosterschelde: inventarisatie bestaande bronnen en beoordeling van hun geschiktheid voor het maken van een bestandsschatting*. <https://doi.org/10.18174/630433>
- Boersema, M. P., van der Werf, J., Salvador de Paiva, J. N., van den Brink, A. M., Soissons, L., Walles, B., Bouma, T. J., de Vet, P. L. M., Ysebaert, T. J. W., Paree, E., Bijleveld, M., van Zanten, E., van Westenbrugge, K., Stronkhorst, J., & de Jong, D. (2018). *Oesterdam sand nourishment: Ecological and morphological development of a local sand nourishment*. <https://doi.org/10.18174/448529>
- Cadée, G. C. (2008). Scholeksters en Japanse oesters. *Natuurtijdschriften*, 6. <https://natuurtijdschriften.nl/pub/642181/Natura2008105001002.pdf>
- Capelle, J. (2022). *Invang van mosselzaad in MZI's: Resultaten 2021*. <https://doi.org/10.18174/569105>
- Chapman, E. J., & Byron, C. J. (2018). The flexible application of carrying capacity in ecology. *Global Ecology and Conservation*, 13, e00365. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2017.e00365>
- Cheng, C. H., van Belzen, J., de Smit, J., Suykerbuyk, W., Grandjean, T., Stoorvogel, M., van Dalen, J., de Vet, L., Bouma, T., & Ysebaert, T. (2022). *T0-monitoring Natuurimpuls Oosterschelde*. <https://doi.org/10.18174/576025>
- Cotter, A. J. R. (2008). The "Soundscape" of the Sea, Underwater Navigation, and Why We should be Listening More. In *Advances in Fisheries Science* (pp. 451–471). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781444302653.ch19>
- Craeymeersch, J. A., Poiesz, S. S. H., van Asch, M., Capelle, J., & Troost, K. (z.d.). *Draagkracht van de Oosterschelde en westelijke Waddenzee voor schelpdieren Evaluatie van veranderingen in de voedselcondities en schelpdierbestanden in relatie tot de mosselkweek vanaf 1990: update 2016-2021*.
- Craeymeersch, J. A., Poiesz, S. S. H., van Asch, M., Capelle, J., & Troost, K. (2019). *Draagkracht van de Oosterschelde en westelijke Waddenzee voor schelpdieren*. <https://doi.org/https://doi.org/10.18174/504079>
- De Deckere, E., & Meire, P. (2000). *De ontwikkeling van een streefbeeld voor het Schelde estuarium op basis van de ecosysteemfuncties, benaderd vanuit de functie natuurlijkheid*.
- de Leeuw, J. J., Volwater, J. J. J., & School, J. J. M. (2023). *Veranderingen in draagkracht van het IJsselmeer en Markermeer voor vis*. <https://doi.org/10.18174/631645>
- de Mesel, I., Smit, C., Craeymeersch, J., & Wijsman, J. W. M. (2009). *Evaluatie effectiviteit gesloten gebieden in de Oosterschelde, Westerschelde en Voordelta*.
- de Mesel, I., Ysebaert, T., Brummelhuis, E., & Jol, J. (2010). *Proef natuurlijk sluisbeheer Impact op groei van mosselen en oesters*. <https://edepot.wur.nl/260397>
- de Ronde, J. G., Mulder, J. P. M., van Duren, L. A., & Ysebaert, T. J. W. (2013). *Eindadvies ANT Oosterschelde*.
- de Vet, L., Walles, B., Vermeer, N., van der Werf, J., van Donk, S., & Escaravage, V. (2023). *Voorstudie Suppletie Middengebied Oosterschelde*.
- de Vries, I. (2014). *Waterkwaliteiten Deltawateren: datarapport Oosterschelde*.
- de Vries, I. (2015). *Waterkwaliteiten Deltawateren*. https://publications.deltares.nl/1210859_000a.pdf
- Dedert, M., Brasseur, S. M. J. M., & Heuvel-Greve, van den M. J. (2015). *Zeehonden in het Deltagebied; populatieontwikkeling en geperfluoreerde verbindingen*.
- Del Monte-Luna, P., Brook, B. W., Zetina-Rejón, M. J., & Cruz-Escalona, V. H. (2004). The carrying capacity of ecosystems. *Global Ecology and Biogeography*, 13(6), 485–495. <https://doi.org/10.1111/j.1466-822X.2004.00131.x>

- Delta expertise. (z.d.). *Ontwikkeling populatie Japanse oester*.
[https://www.deltaexpertise.nl/wiki/index.php/OS_Ontwikkeling_populatie_Japanse_oester_VN#:~:text=De%20laatste%20jaren%20lijkt%20aan,779%20ha%20\(Brummelhuis%20et%20al.](https://www.deltaexpertise.nl/wiki/index.php/OS_Ontwikkeling_populatie_Japanse_oester_VN#:~:text=De%20laatste%20jaren%20lijkt%20aan,779%20ha%20(Brummelhuis%20et%20al.)
- Deltares. (2022). *Systeemrapportage Oosterschelde*.
<https://www.deltaexpertise.nl/oosterschelde/systeemrapportage/index.html>
- Dijkman, N. (2023). *Pelagische primaire productie Grevelingenmeer, Oosterschelde, Veerse Meer en Westerschelde: primaire productie metingen met behulp van Fast Repetition Rate fluorometrie - Tussenrapportage resultaten 2020-2022*.
- Dillingh, D., Uittenbogaard, R. R., & Keetels, G. H. (2012). *Verkennd onderzoek haalbaarheid innovatief zout/zoet-scheidingsstelsel Krammersluizen*.
- Elliott, M., & Hemingway, K. (2002). Fishes in Estuaries. In M. Elliott & K. Hemingway (Red.), *Blackwell Science*. Wiley. <https://doi.org/10.1002/9780470995228>
- Galatius, A., Brasseur, S., Carius, F., Jeß, A., Meise, K., Meyer, J., Schop, J., Siebert, U., Stejskal, O., Teilmann, J., & Thøstesen, C. B. (2022). *Survey results of harbour seals in the Wadden Sea in 2022*.
- Geurts van Kessel, A. J. M. (2004). *Verlopend tij. Oosterschelde, een veranderend natuurmonument*.
- Goss-Custard, J. D., Stillman, R. A., West, A. D., Caldow, R. W. G., & McGroarty, S. (2002). Carrying capacity in overwintering migratory birds. *Biological Conservation*, 105(1), 27–41. [https://doi.org/10.1016/S0006-3207\(01\)00175-6](https://doi.org/10.1016/S0006-3207(01)00175-6)
- Grundlehner, A., & Leopold, M. (2023). *Kokkel- en Filipijnse tapijtschelpvoorraad biedt geen verklaring voor de verdere afname van Scholekster aantallen in de Oosterschelde: Studie naar de relatie tussen veranderingen in de scholeksterpopulatie en schommelingen in het schelpdierbestand over de periode 1992-2022*. <https://doi.org/10.18174/633580>
- Haas, H. A. (1998). *Zoet water naar de Oosterschelde: een verkenning naar de effecten op natuur en visserij*. Rijksinstituut voor Kust en Zee/RIKZ.
- Herman, P. M. J., Middelburg, J. J., Van De Koppel, J., & Heip, C. H. R. (1999). Ecology of Estuarine Macrobenthos. In *Advances in Ecological Research*, 29, 195–240. [https://doi.org/10.1016/S0065-2504\(08\)60194-4](https://doi.org/10.1016/S0065-2504(08)60194-4)
- Hoeksetein, M. S. J., Janse, W., Sluijter, M., & van Straalen, K. D. (2023). *Watervogels en zeehonden in de Zoute Delta in 2021/2022*.
- Horn, H. G., van Rijswijk, P., Soetaert, K., & van Oevelen, D. (2023). Drivers of spatial and temporal micro- and mesozooplankton dynamics in an estuary under strong anthropogenic influences (The Eastern Scheldt, Netherlands). *Journal of Sea Research*, 192, 102357. <https://doi.org/10.1016/j.seares.2023.102357>
- Huisman, B., van der Valk, B., Arens, B., Vertegaal, K., Wijsman, J., & Herman, P. (2021). *Kennisinventarisatie Zandmotor: beschikbare informatie in relatie tot vragen vanuit de MER en het beheer over de periode 2011 tot 2019*. <https://edepot.wur.nl/543949>
- Jak, R. G., van Walraven, L., & van Oevelen, D. (2022). *Voorstel voor monitoring van zoöplankton in de Noordzee: monitoringplan zoöplankton MONS ID14*. <https://doi.org/10.18174/566824>
- Jansen, H., Kamermans, P., Glorius, S., & van Asch, M. (2019). *Draagkracht van de Oosterschelde en westelijke Waddenzee voor schelpdieren: evaluatie van veranderingen in de voedselcondities en schelpdierbestanden in relatie tot de mosselkweek in de periode 1990-2016*. <https://doi.org/10.18174/504079>
- Jurrius, L., & Laan, W. (2023). *Haalbaarheidsstudie infrastructuur monitoring Oosterschelde kreeftenvisserij: rapportage project Lobster Stock Assessment and Regulatory approaches (LobStAR)*. <https://doi.org/10.18174/634915>
- Kamermans, P., & Leopold, M. (2021). *De mogelijke rol van de Filipijnse tapijtschelp in de voedselvoorziening voor vogels in de Oosterschelde en het Grevelingenmeer*. <https://doi.org/10.18174/548650>
- Kamermans, P., & Saurel, C. (2022). Interacting climate change effects on mussels (*Mytilus edulis* and *M. galloprovincialis*) and oysters (*Crassostrea gigas* and *Ostrea edulis*): experiments for bivalve individual growth models. *Aquatic Living Resources*, 35, 1. <https://doi.org/10.1051/alr/2022001>
- KNMI. (2023). *KNMI'23 klimaatscenario's voor Nederland*.
- Kornman, B., Kamermans, P., & Tydeman, P. (2001). *De handel en wandel van Kokkel en Nonnetje in hun eerste levensjaar: kennis en inzicht voor herstel, inrichting en beheer op basis van literatuur en veldonderzoek*.

- Lillis, A., Eggleston, D. B., & Bohnenstiehl, D. R. (2013). Oyster Larvae Settle in Response to Habitat-Associated Underwater Sounds. *PLoS ONE*, 8(10), e79337. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0079337>
- Lillis, A., Eggleston, D., & Bohnenstiehl, D. (2014). Estuarine soundscapes: distinct acoustic characteristics of oyster reefs compared to soft-bottom habitats. *Marine Ecology Progress Series*, 505, 1–17. <https://doi.org/10.3354/meps10805>
- LNV. (2008). *Profiel habitattype 1160*.
- Malkin, S. Y., Kromkamp, J. C., & Herman, P. M. J. (2011). *Primary Production in the Oosterschelde: An Analysis of Historical Data, Size Distribution and Effect of Grazing Pressure*.
- Mohan, R. K., Short, A. D., Cambers, G., MacLeod, M., Cooper, J. A. G., Hopley, D., May, V., Mörner, N.-A., Otvos, E. G., West, N., Trenhaile, A. S., Sunamura, T., Sunamura, T., Inman, D. L., Jenkins, S. A., Graber, P. H. F., Thom, B. G., Cowell, P. J., Scott, D. B., ... Craig-Smith, S. J. (2005). Carrying Capacity in Coastal Areas. In *Encyclopedia of Coastal Science* (pp. 226–226). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/1-4020-3880-1_62
- Morley, J. W., Selden, R. L., Latour, R. J., Frölicher, T. L., Seagraves, R. J., & Pinsky, M. L. (2018). Projecting shifts in thermal habitat for 686 species on the North American continental shelf. *PLOS ONE*, 13(5), e0196127. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0196127>
- Mulder, I. M., Tulp, I., & Ysebaert, T. (2020). *Ontwikkelingen van bodemgebonden vis en epibenthos in de Oosterschelde in de periode 1970-2018*. <https://doi.org/10.18174/518404>
- Nienhuis, P. H., & Smaal, A. C. (1994). The Oosterschelde estuary, a case-study of a changing ecosystem: an introduction. *Hydrobiologia*, 282–283(1), 1–14. <https://doi.org/10.1007/BF00024616>
- Onderzoeksgroep Aquacultuur, H. D. A. (2020). *Japane Oesterboorders Factsheet Algemene biologie*. https://www.deltaexpertise.nl/images/b/b7/Factsheet_Algemene_biologie_Ocinebrellus_inornatus.pdf
- Philipsen, P. (2023). *Potentieel Ecologische Waarde Zuidwestelijke Delta in 2050 en 2150. Langetermijnperspectief 2150 inclusief klimaatverandering en middellangetermijnperspectief 2050 met advies streefbeeld PAGW*.
- Piersma, T., Aelst, R. van, Kurk, K., Berkhoudt, H., & Maas, L. R. M. (1998). A new pressure sensory mechanism for prey detection in birds: the use of principles of seabed dynamics? *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, 265(1404), 1377–1383. <https://doi.org/10.1098/rspb.1998.0445>
- Rijkswaterstaat. (2022). *Krammersluizen: onderhoud op en om het complex*. <https://www.rijkswaterstaat.nl/water/projectenoverzicht/krammer-onderhoud-op-en-om-krammersluizencomplex>
- Rijkswaterstaat. (2023). *Renovatie Krammersluizen: een nieuwe fase breekt aan*. Bereikbaar Zeeland. <https://www.magazinesrijkswaterstaat.nl/bereikbaarzeeland/2023/01/voortuitblik>
- Rios-Yunes, D., Tiano, J. C., van Rijswijk, P., De Borger, E., van Oevelen, D., & Soetaert, K. (2023). Long-term changes in ecosystem functioning of a coastal bay expected from a shifting balance between intertidal and subtidal habitats. *Continental Shelf Research*, 254, 104904. <https://doi.org/10.1016/j.csr.2022.104904>
- Rogers, P. H., & Cox, M. (1988). Underwater Sound as a Biological Stimulus. In *Sensory Biology of Aquatic Animals* (pp. 131–149). Springer New York. https://doi.org/10.1007/978-1-4612-3714-3_5
- Rutjes, C. (2007). *Is zandhonger in de Oosterschelde slecht voor vissen?*
- Schellekens, T., Ens, B. J., & Ysebaert, T. (2013). *Energiehuishouding van steltlopers en de effecten van verandering in foerageer-oppervlak op populaties: Studie uitgevoerd in het kader van ANT-Oosterschelde & LTV-Natuurlijkheid*. <https://edepot.wur.nl/256137>
- Schellekens, T., & Smaal, A. C. (2012). *BO Zuidwestelijke Delta: Nutriëntendynamiek en verandering van draagkracht*.
- Scholten, H., Klepper, O., Nienhuis, P. H., & Knoester, M. (1990). Oosterschelde estuary (S.W. Netherlands): a self-sustaining ecosystem? *Hydrobiologia*, 195(1), 201–215. <https://doi.org/10.1007/BF00026824>
- Schotanus, J., & Carabain, J. (2023). *Literatuurstudie: biologie en ecologie van de Europese zeekeeft in de Oosterschelde*. <https://doi.org/10.18174/634560>
- Schotanus, J., Verschuur, X., Tulp, I., & Tangelder, M. (2022). *Visserij en ecologische effecten in de Zuidwestelijke Deltawateren: Een quickscan naar verschillende vormen van visserij en*

-
- schelpdierkweek in de Zuidwestelijke delta en de bestaande kennis over ecologische effecten.*
<https://doi.org/10.18174/583489>
- Smaal, A. C., Kamermans, P., & Strietman, W. J. (2016). *Kennis- en onderzoeksagenda voor de Nederlandse oestersector.*
- Smaal, A. C., Schellekens, T., van Stralen, M. R., & Kromkamp, J. C. (2013). Decrease of the carrying capacity of the Oosterschelde estuary (SW Delta, NL) for bivalve filter feeders due to overgrazing? *Aquaculture*, 404–405, 28–34. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2013.04.008>
- Staaterman, E., Rice, A. N., Mann, D. A., & Paris, C. B. (2013). Soundscapes from a Tropical Eastern Pacific reef and a Caribbean Sea reef. *Coral Reefs*, 32(2), 553–557. <https://doi.org/10.1007/s00338-012-1007-8>
- Stark, R. (2023). *The function of the Eastern Scheldt as spawning ground for the European anchovy (Engraulis encrasicolus).* MSc rapport Wageningen University and Research.
- Steins, N. A. (2023). *ADVIES 2024: KREEFTENVISSERIJ GEBIED OOSTERSCHELDE.*
- Suykerbuyk, W., van den Bogaart, L., Hamer, A., Walles, B., Troost, K., & Tangelder, M. (2021). *Hittestress op intergetijdenplaten van de Oosterschelde: Gecombineerd onderzoek naar bodemtemperatuurmetingen en kokkelsterfte in de zomer van 2020.*
<https://doi.org/10.18174/543892>
- Tackx, M. L. M., Bakker, C., & Van Rijswijk, P. (1990). Zooplankton grazing pressure in the oosterschelde (The Netherlands). *Netherlands Journal of Sea Research*, 25(3), 405–415. [https://doi.org/10.1016/0077-7579\(90\)90048-L](https://doi.org/10.1016/0077-7579(90)90048-L)
- Tangelder, M., Winter, E., & Ysebaert, T. (2017). *Ecologie van zoet-zout overgangen in deltagebieden : literatuurstudie en beoordeling van een scenario in het Volkerak-Zoommeer.*
<https://doi.org/10.18174/436428>
- Troost, K., Tangelder, M., van den Ende, D., & Ysebaert, T. (2012). *From past to present: biodiversity in a changing delta.*
- Troost, K., van Asch, M., Brummelhuis, E., van den Ende, D., van Es, Y., Perdon, K. J., van der Pool, J., van Zweeden, C., & van Zwol, J. (2021). *Schelpdierbestanden in de Nederlandse kustzone, Waddenzee en zoute deltawateren in 2020.* <https://doi.org/10.18174/538895>
- Troost, K., van Asch, M., Cornelisse, S., Glorius, S., van den Ende, D., van Es, Y., Keur, M., Perdon, K. J., van der Pool, J., Suykerbuyk, W., van Zweeden, C., & van Zwol, J. (2023). *Schelpdierbestanden in de Nederlandse kustzone, Waddenzee en zoute deltawateren in 2022.*
<https://doi.org/10.18174/588755>
- Troost, K., van Asch, M., van den Ende, D., van Es, Y., Perdon, K. J., van der Pool, J., Suykerbuyk, W., van Zweeden, C., & van Zwol, J. (2022). *Schelpdierbestanden in de Nederlandse kustzone, Waddenzee en zoute deltawateren in 2021.* <https://doi.org/10.18174/565199>
- Tulp, I., Molla Gazi, K., Chen, C., & Wijsman, J. (2023). *Ontwikkelingen vis en overige mobiele fauna in de Oosterschelde vanaf 1970.* <https://doi.org/https://doi.org/10.18174/644505>
- van Belzen, J., Bouma, T., & Ysebaert, T. (2020). *Blue Carbon in het Verdrongen Land van Zuid-Beveland. NIOZ Report 2020-03.* <https://doi.org/https://doi.org/10.25850/nioz/7b.b.z>
- van Berchum, A. M., & Wattel, G. (1997). *De Oosterschelde, van estuarium naar zeearm.*
<https://www.deltaexpertise.nl/oosterschelde/systeemrapportage/index.html>.
- Van de Werf, J., Reinders, J., Van Rooijen, A., Holzhauer, H., & Ysebaert, T. (2011). Evaluation of a tidal flat sediment nourishment as estuarine management measure. *Ocean and Coastal management*, 114, 77–87.
- van den Bogaart, L. A., & Jansen, H. M. (2021). *Van voedselbron tot biobouwer: de ecosysteemdiensten van schelpdieren.* <https://edepot.wur.nl/547226>
- van den Bogaart, L., van Asch, M., Suykerbuyk, W., & Troost, K. (2021). *Metingen aan kokkelsterfte in de Oosterschelde in de zomer van 2019 en 2020.* <https://doi.org/10.18174/544576>
- van den Ende, D., Troost, K., van Asch, M., Brummelhuis, E., & van Zweeden, C. (2016). *Mosselbanken en oesterbanken op droogvallende platen in de Nederlandse kustwateren in 2016: bestand en arealen.* <https://edepot.wur.nl/401035>
- van der Werf, J., Reinders, J., van Rooijen, A., Holzhauer, H., & Ysebaert, T. (2015). Evaluation of a tidal flat sediment nourishment as estuarine management measure. *Ocean & Coastal Management*, 114, 77–87. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2015.06.006>
- van Donk, S. (2022). *Laagwatervogeltellingen van het middengebied van de Oosterschelde.*
<https://doi.org/https://doi.org/10.18174/581783>

-
- van Donk, S., Hamer, A., & Tangelder, M. (2022). *Zoet-zoutovergangen in Nederland onder de loep : Typering, functioneren, ecologische sleutelfactoren en aanbevelingen voor beheer*. <https://doi.org/10.18174/567804>
- van Donk, S., Ysebaert, T., & Tulp, I. (2020). *Trends van steltlopers en andere benthos etende vogels in de Oosterschelde: 1987-2017/2018*. <https://doi.org/10.18174/537451>
- Verschuur, X., Bleijenberg, J., & Steins, N. A. (2023). *Kennis en percepties van kreeftenvissers over Europese zee kreeft, het bestand en het beheer in de Oosterschelde*. <https://doi.org/10.18174/630810>
- Walles, B., Salvador de Paiva, J., van Prooijen, B. C., Ysebaert, T., & Smaal, A. C. (2015). The Ecosystem Engineer *Crassostrea gigas* Affects Tidal Flat Morphology Beyond the Boundary of Their Reef Structures. *Estuaries and Coasts*, 38(3), 941–950. <https://doi.org/10.1007/s12237-014-9860-z>
- Walles, B., van den Brink, A. M., Boersema, M. P., & Ysebaert, T. (2018). Ecologisch herstel op de Veiligheidsbuffer Oesterdam. *Land + Water*, 24–25.
- Walles, B., van Donk, S., Hamer, A., Wijsman, J., Ysebaert, T., Rurangwa, E., de Vet, L., van der Werf, J., van Dalen, J., Bouma, T., & Slager, A. (2021). *Roggenplaatsuppletie (Oosterschelde): ontwikkelingen voor (T0: 2015-2019) en het eerste jaar na aanleg (T1: 2020) van de suppleties*. <https://doi.org/10.18174/544639>
- Wetsteyn, L. P. M. J., Duin, R. N. M., Kromkamp, J. C., Lathuhihin, M. J., Peene, J., Pouwer, A., & Prins, T. C. (2003). *Verkenning Draagkracht Oosterschelde: Onderzoek Naar Veranderingen En Trends in de Oosterschelde in de Periode 1990 t/m 2000*. <https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid%3A5ff235cb-73d6-4197-b337-89705aa2df38>
- Wijsman, J. (2019). *Meten van primaire productie in de Oosterschelde, Grevelingenmeer en het Veerse Meer: Overzicht van methodieken en plan van aanpak voor monitoring*. <https://doi.org/10.18174/472107>
- Wijsman, J. W. M. (2023). *Risicomonitoring suppletie Roggenplaat : Monitoring effecten van de suppletie op nabijgelegen mosselkweekpercelen*. <https://doi.org/10.18174/629190>
- Wijsman, J. W. M., Dubbeldam, M., & van Zanten, E. (2007). *Wegvisproef Japanse oesters in de Oosterschelde. Tussentijdse rapportage T3*.
- Wijsman, J. W. M., & Goudswaard, P. C. (2015). *Passende Beoordeling vast vistuigvisserij in de Oosterschelde*. <https://edepot.wur.nl/360771>
- Wijsman, J. W. M., & Hamer, A. (2023). *DEMO – Dynamisch Ecosysteem Model Oosterschelde*. <https://www.wur.nl/nl/product/demo-dynamisch-ecosysteem-model-oosterschelde.htm>
- Wijsman, J. W. M., & Lansbergen, R. A. (2021). *Quick-scan mogelijkheden van medegebruik (schelpdierkweek en zee-wiervelt) met een te realiseren drijvend zonnepark in het Hoogbekken van de Krammersluizen*. <https://doi.org/10.18174/544218>
- Wijsman, J. W. M., Prins, T. C., Moons, J. J. S., & Herman, P. M. J. (2023). Changed sediment composition prevents recovery of macrobenthic community four years after a shoreface nourishment at the Holland coast. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 293, 108521. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2023.108521>
- Wijsman, J. W. M., & Smaal, A. C. (2006). *Risk analysis of mussels transfer*.
- Wijsman J.W.M. (2022). *MZI's in relatie tot draagkracht Oosterschelde: Overzicht van de huidige kennis*. <https://edepot.wur.nl/589186>
- Winter, H. V., Mulder, I. M., & Tangelder, M. (2021). *Vismigratie in de Zuidwestelijke Delta : Quickscan van kansen en knelpunten in het kader van beleidsondersteunend onderzoek voor LNV*. <https://doi.org/10.18174/543201>
- Yang, J., & Zhang, X. (2020). eDNA metabarcoding in zooplankton improves the ecological status assessment of aquatic ecosystems. *Environment International*, 134, 105230. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105230>
- Ysebaert, T. (2017). *30 jaar aan veranderingen in het Oosterschelde ecosysteem*. https://www.deltaexpertise.nl/images/7/70/30_jaar_aan_veranderingen_in_het_Oosterschelde_ecosysteem_Ysebaert.pdf
- Zandvoort, M., van der Zee, E., & Vuik, V. (2019). *De effecten van zeespiegelstijging en zandhonger op de Oosterschelde*.

Verantwoording

Rapport C094/23

Projectnummer: 4318100354

Dit rapport is met grote zorgvuldigheid tot stand gekomen. De wetenschappelijke kwaliteit is intern getoetst door een collega-onderzoeker en het verantwoordelijk lid van het managementteam van Wageningen Marine Research

Akkoord: Dr. J.A.M. Craeymeersch
Onderzoeker

Handtekening: 
5459851CE5984DD...

Datum: 5 maart 2024

Akkoord: Dr. A.M. Mouissie
Business Manager Projecten

Handtekening: 
291E7A4CA7DB419...

Datum: 5 maart 2024

Wageningen Marine Research
T: +31 (0)317 48 70 00
E: marine-research@wur.nl
www.wur.nl/marine-research

Wageningen Marine Research levert met kennis, onafhankelijk wetenschappelijk onderzoek en advies een wezenlijke bijdrage aan een duurzamer, zorgvuldiger beheer, gebruik en bescherming van de natuurlijke rijkdommen in zee-, kust- en zoetwatergebieden.

Bezoekers adres:

- Ankerpark 27 1781 AG Den Helder
- Korringaweg 7, 4401 NT Yerseke
- Haringkade 1, 1976 CP IJmuiden



Wageningen Marine Research is onderdeel van Wageningen University & Research. Wageningen University & Research is het samenwerkingsverband tussen Wageningen University en Stichting Wageningen Research en heeft als **missie**: 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'