



Ecologie van ondiepe oevers in zoute meren en baaien

Een quickscan van de ecologie van de ondiepe oevers in het Grevelingenmeer nu en bij gedempt getij

Auteur(s): Susanne van Donk, Ingrid Tulp, Marijn Tangelder

Wageningen University &
Research rapport C023/21



Ecologie van ondiepe oevers in zoute meren en baaien

Een quickscan van de ecologie van de ondiepe oevers in het Grevelingenmeer nu en bij gedempt getij

Auteur(s): Susanne van Donk, Ingrid Tulp, Marijn Tangelder

Wageningen Marine Research
Yerseke, december 2020

VERTROUWELIJK Nee

Wageningen Marine Research rapport C023/21

Keywords: ecologie ondiepe zone, zoute meren, Grevelingenmeer, gedempt getij

Opdrachtgever: Staatsbosbeheer
T.a.v.: Sandra den Adel-Aartsen
Haven van Bommenede 1
4316 PC Zonnemaire

Dit rapport is gratis te downloaden van <https://doi.org/10.18174/543723>
Wageningen Marine Research verstrekt *geen* gedrukte exemplaren van rapporten.

Wageningen Marine Research is ISO 9001:2015 gecertificeerd.

Foto omslag: Marijn Tangelder

© Wageningen Marine Research

Wageningen Marine Research, instituut
binnen de rechtspersoon Stichting
Wageningen Research, hierbij
vertegenwoordigd door
Dr. ir. J.T. Dijkman, managing director

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

Wageningen Marine Research aanvaardt geen aansprakelijkheid voor gevolgschade, 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.

A_4_3_1 V30 (2020)

Inhoud

1.1	Achtergrond	6
1.2	Staatsbosbeheer kennisvraag	7
2.1	Zonering van ondiep naar diep	8
2.2	Randvoorwaarden die ecologie van de ondiepe onderwaterzone bepalen (zout meer)	9
2.2.1	Randvoorwaarden algemeen	9
2.2.2	Randvoorwaarden Grevelingenmeer	11
3.1	Ecologische functies ondiepe onderwateroevers	14
3.2	Primaire productie	14
3.2.1	Primaire productie Grevelingenmeer	14
3.3	Vestigingsplek van zacht substraat organismen	14
3.3.1	Bodemdieren van zacht substraat	15
3.3.2	Macrobenthos Grevelingenmeer (zacht substraat monitoring)	15
3.3.3	Schelpdieren Grevelingenmeer	15
3.3.4	Schelpdieren ondiepe onderwateroever	16
3.3.5	Zeegras	18
3.3.6	Zeegras Grevelingenmeer	18
3.4	Vestigingsplek hard substraat	19
3.4.1	Bodemleven van hard substraat	19
3.4.2	Bodemleven hard substraat Grevelingenmeer	19
3.4.3	Wieren ecologische functies	20
3.4.4	Wieren Grevelingenmeer	21
3.5	Paai-, opgroei-, rust-, en schuilplek voor vissen en andere soorten	22
3.5.1	Vissen in het Grevelingenmeer	22
3.5.2	Vissen van ondiepe onderwateroever	23
3.6	Habitat vogels	24
3.6.1	Vogels in het Grevelingenmeer	24
3.6.2	Vogels van ondiepe onderwateroever	24
3.7	Samenvatting ecologische functies van de ondiepe onderwateroever	27
3.8	Toekomstige situatie Grevelingenmeer bij 40/-30 scenario	30
3.8.1	Beheersgebied huidig versus toekomstig bij 40/-30 scenario	30
3.8.2	Toekomstige randvoorwaarden	32
3.8.3	Toekomstige ecologische functies ondiepe onderwateroever	33
3.9	Monitoring ecologische ontwikkeling	34
4.1	Conclusie	36
4.2	Aanbevelingen voor monitoring	37

Samenvatting

Het Grevelingenmeer is een stilstaand zout meer dat een belangrijke rol heeft als leefomgeving, schuilplaats en foerageergebied voor veel organismen. Afgelopen jaren is veel onderzoek gedaan naar de ecologische ontwikkeling van het Grevelingenmeer sinds de afsluiting van de Noordzee en de rivieren. Beherende partijen Staatsbosbeheer en Rijkswaterstaat zoeken in samenwerking met andere partijen naar kansen om de ecologie in het meer te versterken. Het project Getij Grevelingen bereidt de introductie van gedempt getij voor met een getijverschil van circa 40 cm om de waterkwaliteit en ecologie van het meer te verbeteren en het optreden van zuurstofloosheid in en rondom de bodem te verminderen.

Staatsbosbeheer is natuurbeheerder van de oevers en eilanden in het Grevelingenmeer en van de ondiepe zone tot -1,70 meter NAP waterdiepte. Staatsbosbeheer wil specifiek het functioneren van de ondiepe onderwaterzone begrijpen met als doel het beter beheren van deze zone in de huidige en toekomstige situatie met gedempt getij. Wageningen Marine Research is gevraagd om het ecologisch functioneren van deze zone te beschrijven. De vraag die centraal staat is welke specifieke ecologische functies de ondiepe onderwateroever heeft en wat de mogelijke veranderingen zijn door gedempt getij.

In deze rapportage beschrijven we de randvoorwaarden en specifieke ecologische functie van de ondiepe onderwaterzone van zoute meren en baaien in het algemeen en specifiek voor het Grevelingenmeer. Vervolgens beschrijven we de mogelijke situatie met gedempt getij (40 cm getijslag, -30 cm NAP middenpeil) en geven we een aantal aanbevelingen voor monitoring. Deze studie is uitgevoerd op basis van bestaande gegevens en literatuur en expert oordeel.

Randvoorwaarden als hydrodynamiek, zoutgehalte en waterkwaliteit van de ondiepe zone bepalen het vestigingsklimaat voor andere organismen, en hiermee ook de mogelijke ecologische functies. Ook worden ondiepe zones gekenmerkt door een gunstig lichtklimaat, een belangrijke randvoorwaarde voor groei van bijvoorbeeld wieren en diatomeeën. Het Grevelingenmeer is een zout meer met een relatief goed doorzicht dat ondanks relatief lage nutriëntenaanvoer toch een relatief hoge primaire productie heeft. De beweging in het water is gering en er treedt stratificatie op wat in combinatie met perioden van warmte en weinig wind kan leiden tot langdurige zuurstofarme condities in de diepere delen. Het type substraat – zacht (bv. fijnzandige bodem) of hard (bv. oeververdedigingen of dijkvlooiingen) – is bepalend voor welke organismen er zich vestigen. Door gedempt getij zullen sommige randvoorwaarden veranderen en daarmee ook de ecologie. Bij 40 cm gedempt getij zal de primaire productie en daarmee beschikbaarheid van voedsel voor veel soorten stijgen. Door de verbeterde menging is dit voedsel ook beter beschikbaar voor organismen. Door fluctuatie van het getij zou echter de golfkracht een enigszins groter effect kunnen hebben op grotere delen van de bodem, en hier plaatselijk het doorzicht verminderen en vestiging van organismen kunnen beïnvloeden.

De ecologische functies van de ondiepe onderwateroever van het Grevelingenmeer, hangen sterk af van het substraat. De ondiepe onderwateroever met hard substraat is met name de zone waar wieren een belangrijke rol spelen in een zonering van groenwieren, bruinwieren en roodwieren. Wieren bieden habitat waar allerlei andere organismen zich kunnen vestigen of in verschuilen, zoals epiphyten, bacteriën en invertebraten. In het Grevelingenmeer biedt dit habitat ruimte voor vissen zoals grondels (brakwatergrondel, dikkopje, etc.) botervis, zeenaalden, zeedonderpad en platvissen (schol en tong). Ook bieden wieren voedsel voor bepaalde organismen zoals slakken (bv. groende wierslak) en vogels (bv. Bepaalde ganzen en eenden) en beïnvloeden ze het microklimaat. In het zachte substraat van de zandige bodem vestigen zich onder andere schelpdieren zoals de Japanse en de platte oester, het muiltje en de tapijtschelp (die op hun beurt weer hard substraat vormen), mariene wormen (bv. zeeduizendpoot, wadpier en ringwormen) en andere soorten als slijkgarnaal en slibanemoon. Wormen zorgen voor het omwoelen van de bodem en schelpdierbanken zijn een vestigingsplek voor allerlei

andere hard substraat organismen zoals sponzen, anemonen en zakpijpen. Schelpdierbanken en de organismen die er op en om leven zijn ook weer belangrijk voedsel voor vissen en (duikende) benthivore vogelsoorten (kuifeenden, scholeksters). Bepaalde organismen maken gebruik van zowel hard als zacht habitattypes; krabben en kreeftachtigen verschuilen zich vaak op schelpdierriffen en tussen wier en foerageren op de zachte bodems. In het verleden groeide er ook zeegras op het zacht substraat, die deels vergelijkbare ecologische functies kan vervullen als de zeewieren. Er wordt gewerkt aan herstel van zeegras in het Grevelingenmeer. De hoogste biomassa aan benthos komt voor op 4-6m diepte en is in de ondiepe zone tot 1,70 m -NAP lager, vermoedelijk door een combinatie van golfwerking en wind (waardoor organismen zich moeilijker vestigen of uitspoelen), zoet/zout verschillen, temperatuursverschillen en predatie.

Gedempt getij zal zorgen voor een verhoogd voedselaanbod en waterbeweging. Hierdoor is de verwachting dat de biomassa en mogelijk ook soortenrijkdom van filtrerende organismen zal toenemen in het hele meer, inclusief de ondiepe zone. Wel zal de zone van 4-6 meter nog steeds een geschikter klimaat behouden voor de vestiging van schelpdieren, vanwege minder grote invloed van golven en wind en minder predatie door vogels, maar genoeg lichtinval. Vissen en vogels zullen hier hoogstwaarschijnlijk van profiteren. Mogelijk gaan de golven een grotere invloed hebben op erosie doordat de kracht van de golven een groter deel van de bodem bereikt. Dit zal dan met name een rol spelen bij de onverdedigde oevers en (in mindere mate) direct verdedigde oevers (bv. langs eilanden als de Veermansplaat). Voor de onverdedigde oevers met zacht substraat (bv. Slikken van Flakkee) betekent dit dat het water mogelijk iets troebeler zal worden door sediment in de waterkolom. Het systeem zal iets meer op dat van de Oosterschelde gaan lijken, alhoewel de mate van getij veel minder groot zal zijn en de stroming beperkt blijft in het Grevelingenmeer. In de Oosterschelde komen minder macroalgen voor, waarschijnlijk omdat het een troebeler dynamischer systeem is. Bij de verdedigde oevers zal het effect van de golfwerking iets minder zijn. Bovendien zullen de filtrerende organismen die zich makkelijk kunnen vestigen op het hard substraat profiteren van het toegenomen voedsel. Oevers met indirecte verdediging zullen dynamischer worden. Afhankelijk van het peilbeheer bij gedempt getij zal het gebied vollopen met hoogwater wat mogelijk ook met laagwater gedeeltelijk blijft staan. Er zullen stroomgeultjes ontstaan door het getijverschil, waardoor er meer reliëf in het gebied komt. Dit creëert nieuw habitat waar jonge vis kan schuilen en opgroeien en vogels kunnen foerageren.

In conclusie is de ondiepe onderwateroever een ecologisch belangrijk gebied. Het vervult waardevolle ecologische functies die mogelijk iets veranderen door de komst van het gedempt getij met name door meer dynamiek. De verwachting is echter dat over het algemeen de veranderingen zullen zorgen voor een toename aan mariene organismen, net als in het gehele gebied. Verschillen in oeeververdediging zullen een grotere rol gaan spelen in de ecologie.

1 Inleiding

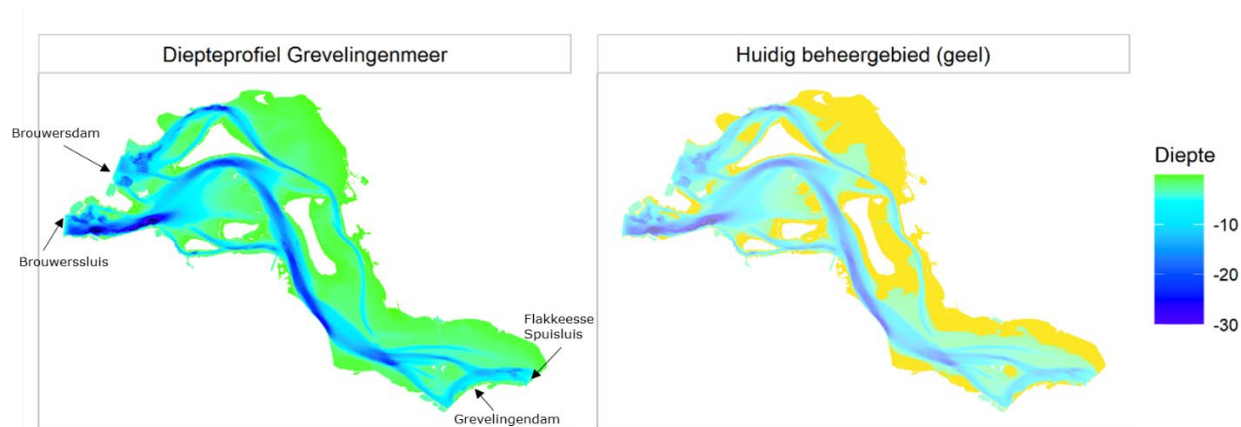
1.1 Achtergrond

Het Grevelingenmeer (*Figuur 1*) is in 1971 ontstaan door de aanleg van de Brouwersdam en de Grevelingendam die de zeearm afsloten van de Noordzee, Oosterschelde en het Volkerak. Het Grevelingenmeer veranderde daardoor van een estuarium in een afgesloten zoutwatermeer, het grootste van Europa. Over de tijd is het beheer van de sluis aangepast met onder andere een sluiting in de zomer tussen 1979-1999. Vanaf 1999 staat de verbinding tussen de Noordzee en het Grevelingenmeer zo goed als continu open (Tangelder et al. 2019).

Het stilstaande en beschutte zoutwatermeer vormt een bijzonder ecosysteem en speelt een belangrijke rol als leefomgeving, schuilplaats en foerageergebied voor veel organismen. Het meer is relatief helder waardoor licht ver kan doordringen. Door deze omstandigheden is het meer niet alleen een belangrijk natuurlijk leefgebied, maar is het ook een geliefd recreatiegebied. De dijkglooiingen onder het water bieden hard substraat voor allerlei bijzondere organismen en zijn daarom geliefd bij sportduikers. Ook andere waterrecreanten zoals pleziervaart, windsurfers en waterskiërs maken gebruik van het gebied (Hoeksema 2002).

De afdamming van het meer heeft echter ook een keerzijde. Door onvoldoende waterbeweging ontstaan er zuurstofarme delen in het meer. Onder invloed van hogere temperaturen, breidt zuurstofloosheid zich nog verder uit. Dit heeft negatieve gevolgen voor het bodemleven en algehele ecologie in het meer. Medio 2018 is het project Getij Grevelingen gestart dat wordt getrokken door Rijkswaterstaat, Ministeries I&W, LNV en EZK, Staatsbosbeheer, provincies Zeeland en Zuid-Holland en de gemeenten Schouwen-Duivenland en Goeree-Overflakkee en waarin de aanleg van een doorlaatmiddel in de Brouwersdam wordt voorbereid. Dit doorlaatmiddel moet leiden tot een verbetering van de waterkwaliteit en ecologie in het gehele ecosysteem van het Grevelingenmeer.

Afgelopen jaren is veel onderzoek gedaan naar de ecologische ontwikkeling van het Grevelingenmeer sinds de afsluiting. Beherende partijen Rijkswaterstaat en Staatsbosbeheer zoeken in samenwerking met andere partijen naar kansen om de ecologie in het meer te versterken. Staatsbosbeheer is natuurbeheerder van de oevers en eilanden in het Grevelingenmeer en van de ondiepe zone tot -1,70 meter NAP. Staatsbosbeheer wil graag het functioneren van deze zone beter begrijpen om hier het beheer beter op af te stemmen. Daarom heeft zij Wageningen Marine Research gevraagd bestaande kennis over het functioneren van deze zone op een rij te zetten.



Figuur 1 Diepteprofiel (m) van het Grevelingenmeer en huidig beheergebied van Staatsbosbeheer onderwater (tot -170cm NAP). De eilanden in het Grevelingenmeer (in wit) vallen ook onder het beheer. Het waterpeil is -20cm NAP, alles boven deze grens is in wit geplot.

1.2 Staatsbosbeheer kennisvraag

In deze rapportage staan de volgende kennisvragen centraal:

1. Wat zijn de belangrijkste randvoorwaarden die bepalend zijn voor de ecologie van ondiepe onderwateroevers in zoute meren/baaien en hoe zit dat in het Grevelingenmeer?
2. Wat zijn ecologische functies van deze zones en hoe zit dat in het Grevelingenmeer?
3. Hoe gaan deze randvoorwaarden en functies veranderen bij een situatie met gedempt getij in het Grevelingenmeer (40 cm getijslag, -30 cm NAP middenpeil (Tangelder et al. 2019))?
4. Hoe zou deze zone optimaal gemonitord kunnen worden?

De focus ligt op de ondiepe zone tot -1,70 meter NAP, maar in de beschrijving wordt dit niet als harde grens gehanteerd, ook aangrenzende zones komen aan bod.

2 Zoute ondiepe onderwateroevers

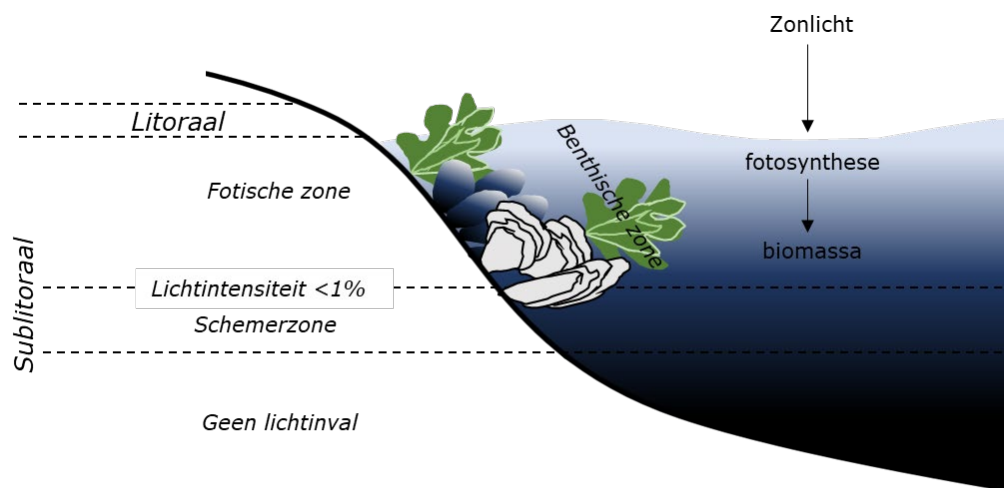
Kustsystemen worden gezien als belangrijke ecologische gebieden, door hun vaak hoge productiviteit en diversiteit aan zowel soorten als abiotiek. Daarnaast bieden ze belangrijke diensten voor de mens zoals visserij, recreatie en bescherming tegen overstroming door duinen en schorren. De ondiepe kustwateren zijn belangrijk voor specifieke ecologische functies, omdat licht ook in troebele watercondities tot de bodem kan reiken, er specifieke planten groeien en er lokaal laag-dynamische beschutte omstandigheden zijn die bijvoorbeeld geschikt zijn als paai- en opgroei-habitat voor vissen en kreeftachtigen of als foerageergebied voor vogels. Toch staat dit ondiepe habitat wereldwijd onder druk, omdat de menselijke bevolking zich concentreert langs kustgebieden en natuurlijke gebieden hier in rap tempo afnemen (Jackson et al. 2001; Millennium Ecosystem Assessment 2005; Moksness, Dahl., and Støttrup 2009). Het begrijpen van het functioneren van deze onderwaterzones is daarom van belang om deze zones beter te beschermen en beheren.

2.1 Zonering van ondiep naar diep

De onderwaterwereld wordt ingedeeld in verschillende zones zoals de litorale zone, sublitorale zone en de pelagische zone (*Figuur 2*) (www.britannica.com/science). In gebieden die onder invloed staan van getij valt de litorale zone droog tijdens laag water. Het Grevelingenmeer is echter een stilstand meer, en heeft (nog) geen zone die droogvalt door getij. De sublitorale zone blijft ook bij laag water onder water. Het sublitorale open water is de pelagische zone. De pelagische zone wordt weer ingedeeld in verschillende subzones, waarbij de hoeveelheid zonlicht die doordringt bepalend is (*Figuur 2*). De bovenste laag van de waterkolom wordt de fotische of epipelagische zone genoemd (*Figuur 2*). Dit is de zone waar de lichtintensiteit hoog genoeg is voor fotosynthese. Hier vindt daarom ook bijna alle primaire productie van organisch materiaal door fytoplankton plaats en er is het meeste plantaardige en dierlijke leven te vinden. De fotische zone loopt van het wateroppervlak tot de zogenoemde eufotische diepte; dit is de diepte waarop de lichtintensiteit minder dan 1% van de lichtintensiteit van het wateroppervlak is. Hieronder dringt te weinig licht door voor fotosynthese. Dit kan in de open oceaan oplopen tot 200 meter diepte, maar kan in zeer troebele meren ook maar enkele centimeters zijn.

Naast de zones die vooral worden onderscheiden door zonlicht, kan er ook nog onderscheid gemaakt worden tussen de waterlaag en de daaronder liggende bentische zone. Dit is het gebied rond de bodem van een zee of meer (*Figuur 2*). De dierlijke organismen die in de bentische zone leven, worden benthos genoemd.

De ondiepe onderwaterzones hebben een bentische zone op het raakvlak van land en water. Over het algemeen behoort de waterkolom tot de fotische zone, alhoewel een hoog gehalte aan zwevend stof, anorganisch materiaal en fytoplankton soms kunnen zorgen voor extreem troebele condities. In het Grevelingenmeer is het zicht echter goed en reikt licht nog tot diep in het meer (Tangelder et al. 2019). We kunnen de ondiepe zone tot -1.70 meter NAP dus tot de fotische zone rekenen. Het is daarmee een hoog productief deel van het ecosysteem. Op deze zone focussen we in deze rapportage.



Figuur 2 Overzicht van de verschillende zones in de waterkolom. Fotosynthese vindt alleen plaats in de fotische zone. De benthische zone is het gebied rond de bodem dat begint bij de waterlijn en loopt tot de diepte waarop nog levende organismen voorkomen.

2.2 Randvoorwaarden die ecologie van de ondiepe onderwaterzone bepalen (zout meer)

2.2.1 Randvoorwaarden algemeen

Abiotische condities vormen de randvoorwaarden van het ecosysteem. De abiotiek bepaalt dus in grote mate de ecologie en organismen die in de ondiepe onderwaterzone voor kunnen komen.

De bovenste laag van het water heeft specifieke abiotische kenmerken. Hieronder worden de randvoorwaarden van abiotische condities zoals hydrodynamiek, primaire productie en substraat besproken (Figuur 3). Daarbij is geput uit bestaande literatuur.

2.2.1.1 Hydrodynamiek en zoutgehalte

Eén van de kenmerken van de ondiepe zone, is dat de condities sterker bepaald worden door weerscondities dan in de diepere zones van de waterkolom (Glamore, Rayner, and Rahman 2016). Zo wordt het zoutgehalte in de ondiepe onderwater oever sterk beïnvloed door regen; na regenval bevat de bovenste laag minder zout. Omdat zoet water lichter is dan zout water, mengt het zoete regenwater ook niet gemakkelijk met de zoutere onderlaag. Een andere bron van zoet water dat het systeem binnenkomt is de aanvoer door rivieren of door overslag van gemalen (www.britannica.com/science). Afhankelijk van het seizoen of de hoeveelheid regenval kan dit een variabel effect op het systeem teweegbrengen.

Andere klimaatfactoren zoals wind en droogte kunnen de waterstand sterk beïnvloeden en zorgen voor droogval of juist overstroming. Ook in watersystemen waar getij geen grote rol speelt, kan de wind het water opstuwten wat kan leiden tot droogval aan de ene kant en overstroming aan de andere kant van een waterpartij: "scheefstand" (Maarse et al. 2019).

Daarnaast kan de ondiepe zone ook beïnvloed worden door golven. Golfsnelheid neemt af in ondiep water, waardoor de golflengte afneemt maar de golf steiler wordt. Op den duur breken deze golven in een zone van een aantal of een tiental meters uit de kust (brekerszone) afhankelijk van weersomstandigheden, ondergrond en hoogte van de golf. Door de kracht van deze brekende golven in de brekerszone, ontstaat lokaal een hoog-dynamisch gebied.

Ook temperatuur heeft een sterkere invloed op de bovenste laag van het water dan op de diepere delen; ondiepe delen warmen sneller op en koelen sneller af, met name als de stroming en menging van water

in diepere delen gering is. De zoute ondiepe onderwaterzone is dus vaak een hoog-dynamisch ecotoop die sterk wordt beïnvloed door bijvoorbeeld regenval, wind en golven. Hierdoor komen in deze zone specifieke organismen voor die in deze condities kunnen overleven (*Figuur 3*).

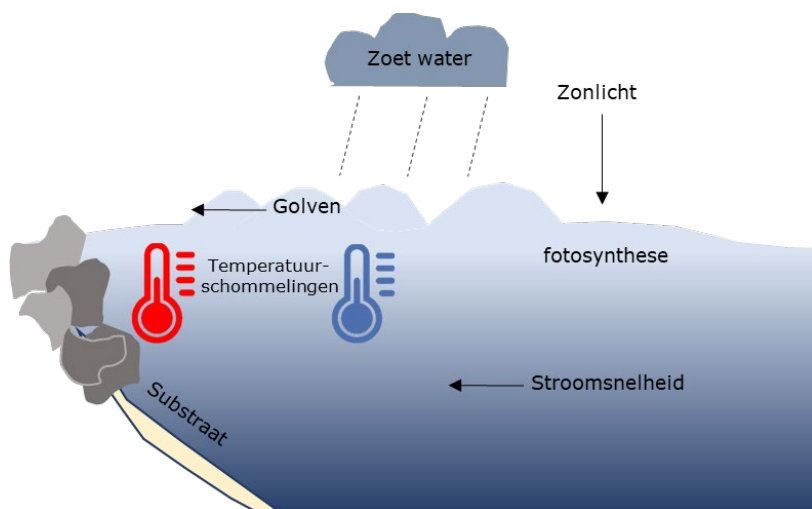
2.2.1.2 Waterkwaliteit & primaire productie

De waterkwaliteit behelst de interacties tussen dynamiek in beschikbaarheid van nutriënten, temperatuur, hydrologie, doorzicht en de biogeochemie in de diepere waterlaag. Deze interacties zijn bepalend voor de primaire productie en daarmee de beschikbaarheid van voedsel voor grazers/filter feeders zoals schelpdieren en zoöplankton die op hun beurt weer een bron van voedsel vormen voor hogere trofische niveaus.

De ondiepe zone is over het algemeen een productieve zone, omdat zonlicht zorgt voor primaire productie door algen en bacteriën. Echter geldt dit voor de hele bovenste laag van een watersysteem en niet specifiek voor de ondiepe zone. Primaire productie is onder andere afhankelijk van temperatuur, hoeveelheid licht en voedingsstoffen zoals stikstof en fosfaat (en dus waterkwaliteit). Ook speelt de verversing van water en hiermee de aanvoer van voedingsstoffen een rol. Hoog-dynamische condities (zoals golfwerking) in de ondiepe zone kunnen zorgen voor opstuwing van zand wanneer de bodem uit zacht substraat bestaat en hiermee de lichtinval beperken. Afvoer door rivieren en overslag van polderwater door gemalen kunnen in de ondiepe zone zorgen voor instroom van nutriënten.

2.2.1.3 Substraat

Bodemfactoren creëren ook randvoorwaarden voor het voorkomen van organismen. Het substraattypen (hard of zacht) heeft een sterke invloed op de soorten organismen die zich kunnen vestigen. Specifieke organismen vestigen zich op hard substraat of op zacht substraat. De sedimentsamenstelling kan sterk variëren: van zeer fijn tot grof. Sedimentsamenstelling kan invloed hebben op de organismen die voorkomen in een gebied omdat korrelgrootte bijvoorbeeld de stabiliteit en doorgraafbaarheid van de bodem bepalen (Wijsman et al. 2016). Luwtes en meer geëxponeerde delen kunnen ontstaan in combinatie met stroming of golfkracht door glooiingen in de bodem of schelpdierriffen.



Figuur 3 Overzicht van de verschillende abiotische condities in de ondiepe waterzone. De ondiepe zone wordt sterk beïnvloed door weerscondities zoals temperatuur en regen, maar ook door golven. Verder vindt er fotosynthese plaats in de bovenste laag van de waterkolom omdat er door zonlicht primaire productie plaats kan vinden. Deze condities samen met andere condities zoals bodemfactoren bepalen de randvoorwaarden van het leven in de ondiepe zone.

2.2.2 Randvoorwaarden Grevelingenmeer

Hieronder worden de belangrijkste randvoorwaarden voor de ondiepe zone in het Grevelingenmeer besproken. Er is gebruik gemaakt van de onderzoeksrapportages door Tangelder et al. (2019), Maarse et al. (2019), Mulder et al. (2018) aangevuld met andere literatuur.

2.2.2.1 Hydrodynamiek en zoutgehalte

De golfdynamiek in het Grevelingenmeer is vooral afhankelijk van de windsterkte (snelheid en richting), en veel minder door golfwerking vanuit de Noordzee omdat het een afgesloten 'baai' is (Tangelder et al. 2019). In grote baaien met weinig zeestroming en golfwerking is het doorzicht van het water over het algemeen goed, waardoor er algengemeenschappen in de ondiepe delen kunnen groeien (Tangelder et al. 2019). Toch heeft de golfwerking mogelijk effect op het benthos in de ondiepe delen van het Grevelingenmeer; Mulder et al. (2018) laat zien dat de hoogste biomassa van bodemdieren op ongeveer 4-6 meter diepte voorkomt. De reden dat de biomassa ondiep lager is heeft mogelijk deels te maken met golfwerking en/of wind die ervoor zorgt dat bodemdieren uitspoelen, in combinatie met andere factoren (zoet/zout verschillen, temperatuurverschillen, predatie).

De watertemperatuur is gemiddeld 15°C met een maximum gemeten temperatuur van 22°C. De maximale temperatuur stijgt licht sinds de jaren tachtig (Tangelder et al. 2019). Warmere temperaturen zouden kunnen leiden tot sterkere stratificatie en lagere zuurstofconcentraties. Er monden geen rivieren uit in het Grevelingenmeer waardoor de instroom van zoet water beperkt is tot regenval en overslag van polderwater door vijf gemalen (Tangelder et al. 2019). De zoutconcentratie in het Grevelingenmeer in 2018 was tussen de 14,6 en 19,0 g Cl/L en deze gehalten zijn min of meer stabiel gebleven sinds de jaren tachtig. Het zoutgehalte ligt tussen de 27,7 en 31,6 psu gemeten bij Dreischor (Wetsteyn 2010) (zeewater = circa 35 psu).

2.2.2.2 Waterkwaliteit & primaire productie

De waterkwaliteit wordt bepaald door allerlei factoren en de interactie hiertussen zoals voedingsstoffen, zuurstofgehalte en doorzicht. Deze zijn hieronder verder uitgewerkt aan de hand van Maarse et al. (2019) en Tangelder et al. (2019). Nutriënten als fosfaat, nitraat en silicaat bepalen de primaire productie van het meer. Vanaf de jaren tachtig is fosfaat afgenomen, maar is nitraat min of meer gelijk gebleven. In de huidige situatie is de voorjaarsbloei van fytoplankton beperkt door de beschikbaarheid van fosfaat. Silicaatconcentraties zijn ook afgenomen over de tijd, maar in mindere mate dan fosfaat. Silicaat is in het voorjaar beperkend voor de groei van diatomeeën. Door specifieke processen in de bodem in de zomer (stratificatie als gevolg van hoge temperaturen en weinig wind zorgt voor zuurstofarme condities in en vlak boven het bodemoppervlak) komt fosfaat en silicaat uit de bodem vrij en treedt er stikstoflimitatie op in de zomer (Tangelder et al. 2019). Over het algemeen is het Grevelingenmeer relatief nutriëntenarm in vergelijking met de situatie voor de afsluiting omdat er geen rivieren meer in uitmonden die nutriënten aanvoeren en omdat er maar een beperkte aanvoer is vanuit de nutriëntenrijkere Noordzee.

Het zuurstofgehalte in het oppervlaktewater is over het algemeen goed (in 2018 tussen de 80-120%). Echter zijn zuurstofconcentraties aan de oppervlakte meestal niet limiterend voor het ecosysteem. Langdurige zuurstofarme condities in de diepere delen van het meer zijn een probleem voor macrofauna en vissen. Bij concentraties lager dan 3 mg/L overleven schelpdieren enkel een paar dagen en kan vissterfte optreden. Het maximale oppervlakte zuurstofarm water (<3 mg/L voor 7 dagen of langer) neemt vanaf 2000 significant toe (Tangelder et al. 2019). In de ondiepe zone komen geen langdurige zuurstofarme condities voor in de waterkolom. Zuurstofloosheid in de bodem zou wel op kunnen treden in de ondiepe delen, maar dit wordt niet structureel gemeten. In hoeverre de ecologie in de ondiepe zone wordt beïnvloed door de langdurige zuurstofarme condities in de diepere delen is nog grotendeels onbekend. Maar vanuit observatie onderzoek door Didderen et al. (2013) komt naar voren dat ook in de ondiepe delen *Beggiatoa* voorkomt wat aangeeft dat de bodem zuurstofarm is. Ook vanuit sportduikers komen signalen dat het bodemleven in de ondiepe zone achteruit gaat (pers. com. Biologische Werkgroep). Soorten die in de bodem zijn ingegraven zijn gevoeliger voor zuurstofloosheid dan soorten die boven de bodem leven. Mariene wormen kunnen met hun hoge hemoglobinegehalten weer iets beter tegen zuurstofloosheid dan de schelpdieren. Ook zijn

slibbodems zuurstoflozer dan zacht substraat bodems van grover zand. Onder schelpdierriffen kunnen echter ook zuurstofloze condities ontstaan.

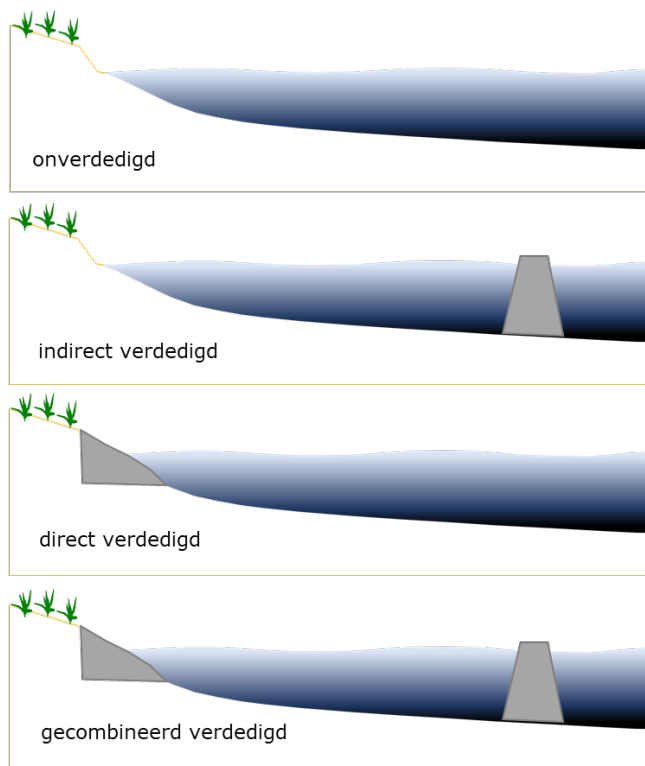
Het doorzicht in het Grevelingenmeer is relatief groot: in 2018 tussen de 1,4 en 3,2 m bepaald aan de hand van een Secchi schijf. Met helder water kan licht ver doordringen in het water, waardoor fotosynthese kan plaatsvinden, en er algen en zeewieren kunnen groeien tot op dieper gelegen plekken.

Ondanks de relatief lage nutriëntenconcentratie heeft het Grevelingenmeer een relatief hoge primaire productie. De turnoversnelheid van stikstof en andere mineralen is vrij hoog doordat filterende bodemfauna deze snel beschikbaar maken voor fytoplankton. Daarnaast is het aandeel in primaire productie van algen op de bodem relatief hoog doordat het doorzicht in het Grevelingenmeer zo hoog is (Tangelder et al. 2019).

2.2.2.3 Substraat

De bodem van het Grevelingenmeer bestaat voornamelijk uit fijn zand. Echter, in de ondiepe gedeeltes langs de oevers is veel hard substraat te vinden in de vorm van bestortingen en dammen (Wattel 1996). Dijkglolingen onder het wateroppervlak vormen ook hard substraat, waar vele organismen kunnen groeien (Hoeksema 2002). Deze dijkglolingen zijn met name te vinden langs de zuidwestelijke kust maar ook bij Ouddorp in het noord- westen en bij Dreischor in het zuidoosten. In de ondiepe zone langs de randen van het meer is ook veel hard substraat te vinden.

In het Grevelingenmeer zijn verschillende oevertypen aanwezig met hard of zacht substraat afhankelijk van het type oeververdediging. Er komen drie types oeververdediging voor in het Grevelingenmeer: onverdedigd, direct, indirect of gecombineerd verdedigd (de Jong and van Maldegem 2010). De onverdedigde oevers (29% van de totale oeverlengte) bevinden zich vooral langs de Slikken van Flakkee, delen van de Hompelvoet, het Slik van Sirjansland en Markenje (*Figuur 4, Figuur 5*). Hier gaat het om zacht substraat van fijnzandige bodems. De oevers die indirect verdedigd zijn (13% van de totale oeverlengte) bevinden zich langs het zuidelijk deel van de Slikken van Flakkee, Bommenede, Markenje en een klein deel van de Veermansplaat. Vanuit ecologisch oogpunt gaat het hier om een hard substraat stortstenen oever die over gaat in een fijnzandige bodem. De indirecte oeververdedigingen zorgen voor een luwe zone van ondiep water of droogvallend (bij peilverlaging in het broedseizoen april-juli). Door verschil in hydro-dynamische condities van de luwe zone in vergelijking met een onverdedigde zone zal het bodemleven ook anders van samenstelling zijn en mogelijk komen hier hogere dichtheden en biomassa voor dan op de geëxponeerde delen. Hier is echter niet naar gekeken in het onderzoek van de afgelopen jaren, ook zijn de macrobenthos data van deze gebieden beperkt. Het grootste deel van de oevers van de Veermansplaat en een klein deel van de Hompelvoet zijn direct verdedigd (20% van de totale oeverlengte). Een groot deel van de eilanden zijn gecombineerd verdedigd (38% van de totale oeverlengte) met Hompelvoet, Stampersplaat, Dwars in de Weg, Veermansplaat en daarnaast een stukje van het zuidelijk deel van de Slikken van Flakkee (Tangelder et al. 2018).



Figuur 4 Schematisch overzicht van de verschillende type kustverdediging in het Grevelingenmeer.

3 Ecologische functies ondiepe onderwateroevers

3.1 Ecologische functies ondiepe onderwateroevers

In deze rapportage gaan we uit van de definitie van ecologische functies als natuurlijke processen die belangrijk zijn voor het functioneren van bepaald habitat in ondiepe waterzones. We zullen in deze rapportage niet ingaan op economische of anderszins meer directere menselijke belangen van ecologische functies, alhoewel deze natuurlijk wel kunnen voortvloeien uit een rijke natuurlijke leefomgeving.

Ondiepe onderwaterzones/kustzones van zoute meren en baaien worden gekenmerkt door andere omstandigheden dan de diepere delen van kusten en zeeën (zie 2.2), en bieden daarom ruimte voor specifieke flora en fauna en levensstadia van organismen (Barbier et al. 2011). Hieronder worden de belangrijkste ecologische functies besproken per habitat groep. We richten ons hier op de ecologie van oevers in gematigde klimaatzones. Verschillende soorten habitat kunnen dezelfde ecologische functies hebben.

Na het bespreken van een ecologische functie, bespreken we kort de huidige situatie voor die functie in het Grevelingenmeer, in het algemeen en specifiek voor de ondiepe onderwateroever. Voor het in kaart brengen van de huidige situatie gebruiken we monitoringsgegevens van verschillende programma's, zoals Monitoring Waterstaatkundige Toestand des Lands (MWTL), zacht substraat bemonstering, WOT schelpdier monitoring, gegevens van stichting Anemoon en verschillende vismonitoringsprogramma's. Omdat er over bepaalde organismen niet veel gepubliceerd of bekend is, hebben we ook experts bevraagd.

3.2 Primaire productie

Zoals hierboven beschreven, ligt de ondiepe onderwateroever over het algemeen in de fotische zone. Dit betekent dat er veel opslag van koolstof door fotosynthese plaatsvindt door fytoplankton. Fytoplankton biedt voedsel voor vele andere organismen en is hiermee een belangrijke basis voor het hele voedselweb. Primaire productie is echter niet een typische functie van de ondiepe zone, maar vindt plaats in de bovenste laag van zowel de diepere als ondiepere delen van het water.

3.2.1 Primaire productie Grevelingenmeer

Primaire productie is in deze rapportage al besproken onder de randvoorwaarden, zie paragraaf 2.1.1.

3.3 Vestigingsplek van zacht substraat organismen

Wanneer de bodem van de ondiepe onderwaterzone uit zacht substraat bestaat, vestigen zich hier specifieke organismen. We bespreken hier de macrobenthos die in, op of zeer dicht bij de bodem leven en zeegras, een specifiek zacht substraat organisme.

3.3.1 Bodemdieren van zacht substraat

Het zachte substraat is de leefomgeving van allerlei soorten mariene wormen. Dit habitat is ook geschikt voor schelpdieren die zich ingraven, krabben en kreeften die hier foerageren, slibanemonen en bodemvissen. Andere schelpdieren graven zich onder in het zachte substraat. Voorbeelden hiervan zijn kokkels *Cerastoderma edule* en Amerikaanse zwaardschedes *Ensis leei*.

Ecologische functies van wormen en schelpdieren van zacht substraat zijn;

- Verbeteren waterkwaliteit door filteren van nutriënten uit het systeem
- Structureren van sediment door maken van gangen (wormen)
- Omwoelen van de bodem
- Voedselbron voor andere organismen zoals vissen en vogels

Riffen van schelpdieren vestigen zich vaak op zacht substraat bodems, maar ook op hard substraat of schelpenresten. Deze groep komt aan bod onder bodemdieren van hard substraat

3.3.2 Macrobenthos Grevelingenmeer (zacht substraat monitoring)

Het macrobenthos in het Grevelingenmeer heeft grote veranderingen doorgemaakt. Dit is mede te verklaren door veranderingen over de tijd in het sluisbeheer (Tangelder et al. 2019). Zo heeft in de jaren na de volledige afsluiting van de Noordzee, de opening van de sluis geleid tot stratificatie van 'zwaarder' zout water waardoor dieper gelegen macrobenthos waarschijnlijk dood is gegaan door lage zuurstofconcentraties. Verder heeft het wegvallen van getij ook geleid tot slechtere leefomstandigheden door ophoping van organisch materiaal (Tangelder et al. 2019). Grofweg nam de biomassa na de sluiting eerst sterk af, gevolgd door een herstel met de hoogste biomassa tussen 1995 en 2000 waarna weer een afname plaatsvond (Mulder et al. 2019). Daarnaast heeft ook de opkomst van exoten (vooral de Japanse oester *Crassostrea gigas* en het muiltje *Crepidula fornicata*) een belangrijke rol gespeeld in de samenstelling van het macrobenthos.

Ondanks dat het Grevelingenmeer al bijna 50 jaar is afgesloten, verandert de macrobenthos gemeenschap nog steeds. De grootste groep in termen van biomassa zijn de filtrerende schelpdieren. Tegenwoordig zijn dit vooral de exoten; het muiltje, die vooral op hard substraat te vinden is, en de Japanse oester. Deze soorten bepalen echter niet de dichtheid, omdat deze soorten over het algemeen groter zijn dan bijvoorbeeld wormen. De dichtheid aan biomassa wordt voornamelijk bepaald door bodemetende soorten zoals *Oligochaeta* en *Capitella* wormen. Andere zoutwaterbekkens, zoals de Westerschelde, Oosterschelde en het Veerse Meer laten hetzelfde beeld zien. Over de tijd is de verhouding wormen ten opzichte van weekdieren (vooral schelpdieren) toegenomen. Dit komt echter doordat het relatieve deel aan schelpdieren afneemt, en is zelfs geheel te herleiden tot de afname van het muiltje (Mulder et al. 2019). Macrobenthos biedt een voedselbron voor andere organismen zoals platvissen en duikende vogelsoorten zoals kuifeend en nonnetje.

3.3.3 Schelpdieren Grevelingenmeer

Een aantal schelpdieren kunnen zogenoemde riffen vormen en kunnen daarmee allerlei ecologische functies vervullen zoals eerder beschreven. Dit zijn soorten als de Japanse oester, de platte oester *Ostrea edulis* en de mossel *Mytilus edulis*. De Japanse oester vertoont de laatste jaren een stabiele trend in het Grevelingenmeer. De gemiddelde abundantie van de platte oester is iets afgenomen en aantallen van de mossel fluctueren (van der Loos and Gmelig Meyling 2019).

Een andere redelijk veel voorkomende soort is de Amerikaanse zwaardschede, deze soort kan zich ingraven in het sediment. De soort lijkt toe te nemen in het Grevelingenmeer.

Sinds een aantal jaar wordt het Grevelingenmeer ook meegenomen in de WOT monitoring uitgevoerd door WMR. Deze monitoring bemonstert bestanden van commercieel interessante schelpdiersoorten in de Nederlandse kustwateren. Er is een bestandschatting gemaakt van Japanse oester, platte oester en

mossel in de zone van 1-10 meter diepte en van kokkels en Filipijnse tapijtschelp (*Ruditapes philippinarum*) in de zone van 0,3-4 meter. Wat opvalt is dat er een vrij groot bestand aan Japanse oesters is in het Grevelingenmeer (89,8 miljoen kg). Verder zijn er relatief veel platte oesters (6,8 miljoen kg) en tapijtschelpen (2,8 miljoen kg) in het Grevelingenmeer. Met name de platte oester wordt in andere Nederlandse wateren als de deltawateren, kustzone en Waddenzee enkel incidenteel gevonden. Het geschatte aantal kokkels is daarentegen relatief laag vergeleken met de andere wateren (0,5 miljoen kg). Mogelijk speelt het beperkte areaal aan intergetijdengebied in het Grevelingenmeer hier een rol. Ook kan sedimentgrootte een rol spelen in vestiging van kokkels.

Schelpdieren, of organismen die daar omheen voorkomen, worden gegeten door organismen als platvissen, zeesterren en krabben. Duikende eendensoorten foerageren ook op schelpdieren. De volwassen oesters zijn echter te groot voor de meeste soorten. Deze worden eigenlijk alleen gegeten door scholeksters en meeuwen en dan enkel op droogvallende of ondiepe plekken waar deze soorten erbij kunnen. Scholeksters openen de oesters met hun snavel, meeuwen laten de oesters vallen op een harde ondergrond.

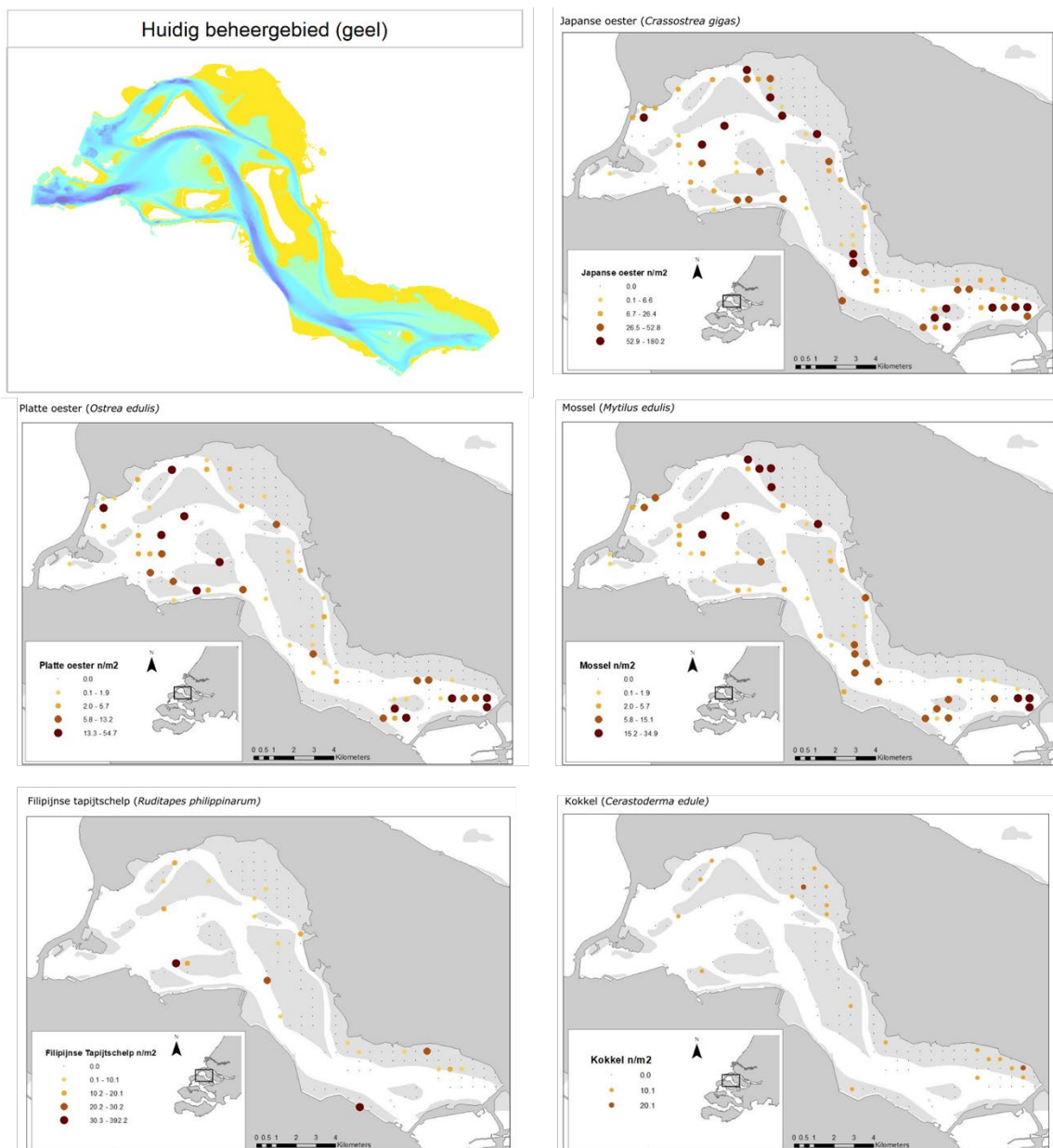
3.3.4 Schelpdieren ondiepe onderwateroever

Het bemonsteringsprogramma MWTL, die de bovenbeschreven bemonstering voor het grootste deel heeft uitgevoerd, bemonstert de macrobenthos in drie dieptestrata; 0-2 m, 2-6 m en dieper dan 6 m (t.o.v. NAP = zomerpeil (-0.26m NAP) + 0.10 m).

Waterdiepte is sterk bepalend voor de totale biomassa macrobenthos zoals onderzocht is door Mulder et al. (2019). In de ondiepe onderwateroever is de dichtheid en biomassa in het Grevelingenmeer laag, maar neemt toe tot een diepte van ongeveer 4-6 meter. Vanaf die diepte neemt de biomassa weer significant af (Mulder et al. 2019). De ondiepe onderwateroever (0-2 meter) heeft dus een lagere dichtheid aan macrobenthos. Macrobenthos in de ondiepe delen wordt waarschijnlijk gelimiteerd door hydrodynamiek zoals golven, wind en zoet water (regen) (Tangelder et al. 2019, expert oordeel WMR). Dat de dichtheid aan macrobenthos in ondiepe delen lager is, wordt ook in andere gebieden gezien, zoals de Hollandse kust. Kijkend naar soortgroepen, valt wel op dat de dichtheid van geleedpotigen (Arthropoda) en weekdieren (Mollusca) harder afneemt in de ondiepe zone dan de soortgroep gesegmenteerde wormen (Annelida) (Mulder et al. 2019).

De samenstelling in deze ondiepe zone is dan ook anders dan die in diepere delen (Mulder et al. 2019; Tangelder et al. 2019). Welke soorten precies voorkomen in de bovenste laag dient nog verder uitgezocht te worden. Hierbij moet ook worden opgemerkt dat MWTL bemonstering niet of nauwelijks bemonstert in de zeer ondiepe delen (>-1 NAP). Mogelijk leven er macrobenthossoorten in de ondiepe delen die beter tegen de specifieke hydrodynamiek kunnen in deze zone. Een vergelijking tussen diepe (<-6 NAP) en ondiepe delen (>-2 NAP) laat in ieder geval zien dat de soorten *Spio martinensis* (borstelworm), *Hediste diversicolor* (borstelworm, "veelkleurige duizendpoot"), *Arenicola* (borstelworm, "wadpier"), *Capitella* (borstelworm, "slangpier"), *Platynereis dumerilii* (borstelworm) en *Microdeutopus gryllotalpa* (vlokkreeft) met hogere dichtheden voorkomen in het ondiepe dan in het diepe (Mulder et al. 2019).

Dankzij de WOT bemonstering kunnen we de verspreiding van commercieel interessante schelpdiersoorten volgen. In *Figuur 6* kunnen we zien dat de verspreiding van Japanse oester, platte oester en mossel vooral hoog is net buiten de ondiepe gedeeltes van het Grevelingenmeer. Dichtheden voor de Filipijnse tapijtschelp en kokkel zijn veel lager, maar met name de kokkel komt in hogere dichtheden voor in de diepere delen aan de oostkant en noordoostkant. Bij deze bemonstering moet echter worden opgemerkt dat de gebruikte methode niet geschikt is voor bemonstering van oester- en mosselbanken in water ondieper dan 1 meter. Waarschijnlijk is hierdoor het bestand aan deze schelpdierbanken onderschat (Pool et al. 2020).



Figuur 5 Ondiepe onderwateroever tot 170cm diepte (NAP), geel gemarkeerd (linksboven) en verspreiding (aantal per m²) van vijf gemonitorde soorten, kaartjes overgenomen uit (Pool et al. 2020). Deze bemonstering is niet geschikt voor bemonstering van oester- en mosselbanken in water ondieper dan 1 meter. Waarschijnlijk is hierdoor het bestand aan deze schelpdiersoorten onderschat (Pool et al. 2020).

3.3.5 Zeegras

Een typische soort die zich vestigt op zacht substraat op ondiep tot dieper water is zeegras. Twee soorten zeegras komen of kwamen frequent voor in zoute ondiepe waterzones. Klein zeegras *Zostera noltii* is een meerjarige soort die vooral voorkomt in het droogvallend intergetijdengebied (De Los Santos et al. 2010). Groot zeegras *Zostera marina* kent twee levensvormen, een meerjarige en een éénjarige en komt zowel in het intergetijdengebied voor als in gebieden die volledig onderwater staan.

Ecologische functies van zeegras zijn;

- Verbeteren van de waterkwaliteit door nutriënten en organisch materiaal uit het water op te nemen, wat versterkt wordt door algen en zeewieren die als epifyten op de bladen van zeegras groeien en ook nutriënten uit de waterkolom halen (Barbier et al. 2011; Ens et al. 2007; Hoeksema 2002; Polte, Schanz, and Asmus 2005)
- Vasthouden sediment
- Habitat, bescherming tegen predatie, en voedselbron voor allerlei mariene organismen, zoals wieren, schaaldieren, weekdieren zoals slakken, garnalen, paling, en juveniele of kleine vissoorten. In zeegrasvelden van klein zeegras werd een hogere dichtheid gemeten van de algemene soorten (strandkrab, gewone garnaal, brakwatergrondel) dan in intergetijdengebieden die niet begroeid waren (Polte et al. 2005).
- Paaigronden voor adulte vis
- Voedselbron; zeegras wordt gegeten maar door depositie van nutriënten en aangroei van algen maakt zeegras ook voedsel voor jonge vis en kreeftachtigen beschikbaar

3.3.6 Zeegras Grevelingenmeer

Zeegras is niet meer aanwezig in het Grevelingenmeer. In het verleden heeft groot zeegras echter goed gedijdt. Grote velden tot een maximum van 4600 ha in 1978 waren aanwezig (Nienhuis et al. 1996). Die velden zijn echter geheel verdwenen. De afname is met name snel gegaan na veranderingen in het waterbeheer begin jaren negentig (Tangelder et al. 2019). Waarom de soort verdwenen is uit het Grevelingenmeer is niet geheel duidelijk. Uit een studie naar 84 Noordwestelijke Europese wateren bleek namelijk dat de huidige abiotische condities van het Grevelingenmeer geschikt zijn voor het voorkomen van de soort (van der Heide et al. 2009). Een hypothese hiervoor is dat het zeegras dat overbleef in het Grevelingenmeer tijdens de volledige afsluiting van de Noordzee zich heeft aangepast aan lage zoutgehaltes. Op het moment dat het zoutgehalte weer steeg in het meer, kon het overgebleven zeegras mogelijk niet meer goed tegen hogere zoutgehaltes, die normaal gesproken geen probleem zijn voor de soort (Kamermans, Hemminga, and de Jong 1999). De achteruitgang van het zeegras in het Grevelingenmeer heeft geleid tot verdwijnen of vermindering van organismen die van deze planten afhankelijk zijn. Dit zijn bijvoorbeeld rood- en bruinwieren en slakken, en een aantal kleine vissoorten zoals stekelbaarzen, dikkopje en paling (Hoeksema 2002). Mogelijk zou een herstelprogramma met inzaai van zeegraszaden en inplanten van zeegrasplanten afkomstig van een zouter milieu kunnen helpen voor herstel. Zeegrasrestauratie blijft echter uitdagend, mede doordat zeegras vaak in een dynamische omgeving groeit (van Katwijk et al. 2016). Onlangs is voor het eerst groot zeegras opgekomen een jaar na aanplanten in het Grevelingenmeer (pers comm Rijkswaterstaat).

Zowel groot als klein zeegras kan voorkomen in de ondiepe onderwateroever en komt ook voor in het litoraal waar het zeegras een deel van de dag droogvalt. De zeegrasvelden kwamen in het verleden dan ook in de ondiepere delen van het Grevelingenmeer voor (<2m). De omgeving van de Slikken van Flakkee – waar ook een herstelproject plaatsvindt - lijkt een geschikte locatie door de zeer flauw oplopende zachte bodem.

3.4 Vestigingsplek hard substraat

Hard substraat kan bestaan uit stenen, dijkvoeten, of schelpenbanken. Als bepaalde organismen zijn gevestigd op zacht substraat kunnen deze ook weer hard substraat bieden voor andere organismen.

3.4.1 Bodemleven van hard substraat

Schelpdieren vestigen zich zowel op hard als zacht substraat. Schelpdieren die een grote rol spelen of speelden in bijvoorbeeld de Noordzee zijn oesterbanken van de platte oester (Smaal et al. 2015). Andere schelpdieren die banken vormen zijn mosselen, Japanse oesters of een mengvorm van hiervoor beschreven soorten.

Ecologische functies van bodemleven van hard substraat is;

- Verbeteren waterkwaliteit doordat filtrerende organismen nutriënten uit het systeem halen
- Schelpdierbanken zijn zogenoemde biobouwers die hard substraat bieden waar andere soorten zich op kunnen vestigen, waaronder hydropoliepen, zakpijpen, zeeanemonen, sponzen, mosdiertjes, zeepokken en wieren.
- Schuil- paai- en foerageergelegenheid voor slakken, krabben, kreeften, kwallen, garnalen en vissen (Hoeksema 2002)
- Voedselbron: schelpdieren zelf en de verschillende organismen die af komen op de banken zijn ook een voedselbron voor allerlei organismen, zoals krabben, zeesterren, vissen en vogels (van der Loos and Gmelig Meyling 2019).
- Kustverdediging door het verminderen van golfslag op de kust (Wallis 2015).

3.4.2 Bodemleven hard substraat Grevelingenmeer

Typische hard substraat organismen worden niet structureel bemonsterd in het Grevelingenmeer, of de data zijn niet openbaar of gepubliceerd. De kennis over soorten die voorkomen op hard substraat is dus beperkt. Wel wordt de mariene fauna en flora vanaf 1994 door sportduikers op vrijwillige basis gemonitord (van der Loos and Gmelig Meyling 2019). Hierbij inventariseren duikers de goed herkenbare mariene organismen en kan een idee gevormd worden van de trends van soorten. Onderstaande informatie komt uit deze monitoring over de periode 1994-2018.

Sponzen zijn een duidelijk te monitoren groep die voorkomen op het hard substraat. Het aantal voorkomende soorten sponzen zijn sinds het begin van de monitoringsperiode afgenomen; meer dan de helft van de soorten laat een dalende trend zien. De enige groep sponzen die zijn toegenomen zijn de massaspons/Gele wratspons *Suberites massa/Celtodoryx ciocalyptoides*. Deze soorten zijn samengenomen in de monitoring omdat de soorten niet goed uit elkaar zijn te houden door beginnende waarnemers. De twee soorten zijn pas voor het eerst in Nederland aangetroffen rond begin 21^e eeuw. De soorten met de hoogste trefkans in het Grevelingenmeer zijn de boorspons *Cliona celata*, de geweispons *Haliclona (Haliclona) oculata* en de paarse buisjespons *Haliclona xena*. Hiervan nemen de boorspons en geweispons sterk tot zeer sterk af over de monitoringsperiode (1994-2018) (Gmelig Meyling and Bruyne 2019; van der Loos and Gmelig Meyling 2019).

Anemonen leven over het algemeen ook op hard substraat in het Grevelingenmeer. Soorten met de hoogste trefkans zijn de golfbrekeranemoon *Diadumene lineata*, zeeanjelier *Metridium dianthus*, slibanemoon *Sagartia troglodytes* en de wedueroos *Sagartiogeton undatus*. De soorten zijn min of meer stabiel behalve de golfbrekeranemoon. Deze soort, die ook goed tegen wisselende zoutgehaltes kan (www.soortenbank.nl), neemt sinds 2006 gestaag af. Dit komt mogelijk door brokkelsterren; een zeester die soms het volledige substraat bedekt. Omdat er in de registratie alleen wordt genoteerd of er meer dan 100 exemplaren aanwezig zijn kan de stabiele trend vertekend zijn (Gmelig Meyling and Bruyne 2019). De soort kan niet goed tegen strenge winters en kan dus mogelijk toegenomen zijn door de recente milde winters (www.anemoon.org). De enige anemoon die is toegenomen is de

viltkokeranemoon. Dit is echter een soort die niet afhankelijk is van hard substraat maar op slib groeit (van der Loos and Gmelig Meyling 2019).

Een laatste groep van organismen die we hier bespreken zijn de zakpijpen. Soorten met de hoogste trefkans in het Grevelingenmeer zijn de *Ascidella* sp., slingerzakpijp-soort *Botrylloides* sp, doorschijnende zakpijp *Ciona intestinalis*, druipzakpijp *Didemnum vexillum* en de Japanse knotszakpijp *Styela clava*. Drie kolonievormende zakpijpen zijn toegenomen; de Grijze korstzakpijp *Diplosoma listerianum*, druipzakpijp en slingerzakpijp. Waarom deze soorten in opmars zijn is niet geheel bekend. De ronde zakpijp *Molgula manhattensis* is sterk afgenomen en komt bijna niet meer voor. Deze soort komt vaak voor in brakwatergebieden en mogelijk heeft de afname te maken met een veranderd zoutgehalte van het water (van der Loos and Gmelig Meyling 2019).

Er is niet specifiek bijgehouden op welke dieptes de hierboven beschreven soorten voorkomen. Een analyse van deze data over dieptestrata zou meer inzicht kunnen geven. Door Stichting Zeeschelp wordt de combinatie van voorkomen van soorten en diepte wel gemonitord alleen zijn deze gegevens niet gepubliceerd.

3.4.3 Wieren ecologische functies

De ondiepe onderwateroevers bieden een typisch habitat voor wieren. In kustsystemen met (natuurlijke of artificiële) rotsachtige kusten vormen zeewieren het grootste aandeel van de biomassa in de primaire productie (Mineur et al. 2015). Europa heeft een grote rijkdom aan wieren; er zijn tot nu toe al zeker 1550 soorten geïdentificeerd. Voor een goed functioneren van de ecologische functies van wieren, is de diversiteit van wieren binnen een ecosysteem van groot belang (Mineur et al. 2015).

Ecologische functies van wieren zijn;

- Verbeteren van de waterkwaliteit door nutriënten en organisch materiaal uit het water op te nemen
- Graadmeter voor vervuiling; zeewieren nemen voedingsstoffen en andere stoffen op uit de omgeving, hierbij accumuleren eventuele giftige stoffen zoals zware metalen die op die manier gemeten kunnen worden (Satheesh et al. 2017)
- Habitat voor allerlei andere mariene organismen, zowel micro-organismen, epitphyten en bacteriën als invertebraten zoals wormen, kreeftachtigen en slakken die weer belangrijk voedsel zijn voor andere organismen als vlokreeften, slakken en juveniele vis (Satheesh et al. 2017).
- Oppervlak, voedsel, bescherming tegen predatie en omgevingsfactoren zoals golfwerking, uitdroging en hitte voor sessiele organismen, zoals zeeanemonen, koralen en sponzen
- Voedselbron; Zo wordt bijvoorbeeld zeesla dat groeit op mosselbanken gegeten door kreeftachtigen (Geertz-Hansen et al. 1993; Jak, Lubsch, and Beier 2020), smienten en rotganzen. Andere soorten zoals viltwier worden gegeten door wierslakken (van der Loos and Gmelig Meyling 2019)

Echter kunnen zeewieren zoals zeesla mosselbanken ook volledig bedekken. Het is daarom de vraag in welke mate zeewier ook als voedselbron voor andere organismen dient. Mogelijk is een soort als zeegras een voedzamere bron dan zeewier (expert oordeel WMR).

3.4.4 Wieren Grevelingenmeer

Omdat er aan de randen van het Grevelingenmeer veel hard substraat is te vinden, spelen wieren ook met name in de ondiepe zone van het meer een cruciale rol. Over de huidige stand van de wieren is op dit moment (nog) niet veel bekend.

De stand van de wieren in het Grevelingenmeer is wel gerapporteerd in eerdere publicaties. In een publicatie van Wattel (1996) worden groenwieren (*Bryopsis*, *Cladophora sericea*) en viltwier *Codium fragile*, maar ook Japans bessenwier *Sargassum muticum* als veel voorkomende wieren genoemd. In begin jaren 90 groeiden de groenwieren ook op grotere dieptes, mogelijk door een toename van het doorzicht. Deze stand van zaken is mogelijk achterhaald, omdat de samenstelling van wieren over de tijd is veranderd (pers. comm. Stichting de Zeeschelp).

De eerder beschreven data die verzameld wordt door duikers, geeft nog wat anekdotische informatie. Zij merken op dat de wierenzone in het Grevelingenmeer wat afwijkt van die in de Oosterschelde vanwege het gebrek aan getij (van der Loos and Gmelig Meyling 2019). Hierdoor komt er onder andere veel viltwier voor (van der Loos and Gmelig Meyling 2019). Helaas wordt door hen (nog) geen structurele informatie verzameld over de wierensoorten. Wel worden bijvoorbeeld een aantal organismen gemonitord door duikers, die geassocieerd worden met wieren, zoals de groene wierslak die in aantallen toeneemt in het Grevelingenmeer (van der Loos and Gmelig Meyling 2019). Deze toename wordt mogelijk veroorzaakt door zachte winters, maar ook is viltwier het voorkeursvoedsel van deze wierslak (Baumgartner, Pavia, and Toth 2015). Ook is de hooiwagenkrab vaak te vinden op plekken met wieren zoals Japans bessenwier (in combinatie met een harde ondergrond). Deze soort neemt toe in het Grevelingenmeer.

Gezien er weinig bekend is over het precieze voorkomen van wieren, is er ook weinig bekend over de wieren in de ondiepe zone. Over het algemeen groeien in het Grevelingenmeer zeewieren enkel in de ondiepe zone tot ongeveer 5-6 meter diepte, omdat daar nog voldoende licht door kan dringen (Hoeksema 2002). Grofweg zijn de meest voorkomende soorten in de ondiepe zone (<2m) tegenwoordig *Sargassum* wieren zoals het Japans bessenwier, viltwier en wieren van het genus *Grateloupia* (*Grateloupia turuturu*). Verder groeit er ook veel *Ulva* sp (zeesla), Knoopwier *Gracilaria verrucosa* en Stijf priemwier *Agardhiella subulata* (expert oordeel WMR en Stichting de Zeeschelp (Wetsteyn 2011)).



Figuur 6 Veel voorkomende wiersoorten in het Grevelingenmeer: het bruinwier Japans bessenwier dat dichte 'bossen' kan vormen onderwater (links en rechtsonder) en het groenwier viltwier (rechtsboven). Foto's zijn overgenomen uit het boek 'Seaweeds of Britain' (Bunker 2017).

3.5 Paai-, opgroei-, rust-, en schuilplek voor vissen en andere soorten

Hierboven zijn al een aantal ecologische functies van de ondiepe onderwateroever voor vissen besproken. Deze ecologische functies zijn afhankelijk van wat er in die ondiepe onderwateroever verder nog aanwezig is aan structuren en begroeiing.

Ecologische functies voor vissen in de ondiepe zone zijn;

- Paaigrond; de ondiepe zone warmt in de lente sneller op dan de diepere delen van het water, wat gunstigere omstandigheden oplevert voor de ontwikkeling van visseneitjes (en jonge vis)
- Foerageren; adulte vissen komen soms met hoog water (in geval van getij) naar de ondiepe delen om te foerageren
- Schuilen; zeegras is bijvoorbeeld een belangrijke structuur voor stekelbaarzen.
- Opgroeien; structuur en begroeiing is belangrijk voor jonge vis om zich in te kunnen verschuilen tegen predatoren

3.5.1 Vissen in het Grevelingenmeer

De vispopulatie is erg veranderd nadat het Grevelingenmeer werd afgesloten van de Noordzee in 1978. De totale visbiomassa is sterk afgenomen en de soorten die de biomassa domineren zijn veranderd. Er heeft een verschuiving plaatsgevonden van vooral mariene juveniele vis in 1970 naar vooral estuariene residente soorten in de laatste bemonsterde jaren (laatste meegenomen bemonsteringsjaar is hier 2017). Daarnaast is de vispopulatie vanaf 1978 sterk beïnvloed door het sluisbeheer. Het Grevelingenmeer heeft tegenwoordig een lage totale biomassa doordat het visbestand vooral bestaat uit kleine vis (Tangelder et al. 2019). De bodemgebonden vissoorten in de recentste metingen bestaan voornamelijk uit het dikkopje en de brakwatergrondel. Vissoorten die het meest frequent in de waterkolom zijn gevangen zijn sprot, haring, koornaarvissen en driedoornige stekelbaars (Hop 2017b).

Estuariene residente soorten zijn soorten die over het algemeen hun hele levenscyclus in het estuarium kunnen doorlopen. Soorten in deze ecologische gilde zijn de afgelopen 10 jaar bepalend geweest voor de totale visbiomassa in het Grevelingenmeer (Hop 2017a, 2017b; van Kessel et al. 2008, 2011; van Kessel, Niemeijer, and Hoogerwerf 2013). Dit zijn soorten als de zwarte grondel *Gobius niger*, dikkopje *Pomatoschistus minutus*, brakwatergrondel *Pomatoschistus microps*, puitalen *Zoarcidae* en de zeenaald *Syngnathidae*. De belangrijkste mariene juvenielen bestaan uit tong *Solea solea*, schol *Pleuronectes platessa* en schar *Limanda limanda*, en in 2017 vooral uit haring *Clupea harengus*, zeebaars *Dicentrarchus labrax* en koornaarvis *Atherina presbyter*. In veel beperktere mate worden mariene gasten als de adderzeenaald *Entelurus aequoreus* aangetroffen en nog veel zeldzamer zijn diadrome vissoorten (soorten die migreren tussen zee en rivier en het estuarium gebruiken als trekroute of als (tijdelijk) opgroeigebied), zoals paling *Anguilla anguilla* en spiering *Osmerus eperlanus*. In 2017 zijn relatief veel driedoornige stekelbaarzen *Gasterosteus aculeatus* gevangen in het oostelijk deel van het meer; dit kan een gevolg zijn van verhoogde bemonsteringsinspanning of driedoornige stekelbaarzen trekken in het voorjaar via de Brouwerssluis het Grevelingenmeer in net als vroeger gebeurde (Hop 2017b; Tangelder et al. 2019).

Vissoorten kunnen ook ingedeeld worden op basis van hun dieetkeuze: de voedselgildes waaronder benthivoren (vis die benthos eten), piscivoren (visetende vissen), benthopiscivoren, en planktivoren (plankton-etende vissen). De verdeling over de voedselgildes fluctueert behoorlijk over de tijd. Voor recentere jaren zijn er gegevens voor 2008-2017 (Hop 2017a, 2017b; van Kessel et al. 2008, 2011, 2013). In 2008 werd de biomassa gedomineerd door benthivoren zoals de zwarte grondel, tong, schol en schar. In 2011 was de gilde benthopiscivoren vrij groot door vangsten van de zeedonderpad *Myoxocephalus scorpius* terwijl in 2017 de planktivoren de biomassa domineerden met soorten zoals het dikkopje, haring en sprot. Qua verdeling over de waterkolom, is het aantal soorten in de waterkolom over het algemeen lager dan het aantal bodembewonende soorten (Hop 2017b).

Ruimtelijk is de soortenrijkdom net als de biomassa in het westelijke deel van het meer over het algemeen het grootste en neemt af naar het oosten. Dit komt overeen met de biodiversiteit en biomassa van het macrozoobenthos die ook hoger is in het westen (Mulder et al. 2019). Dit laatste is vooral in het voorjaar het geval. In het najaar is de soortenrijkdom meer verdeeld over het meer, alhoewel ook dan zowel biomassa als dichtheid hoger is in het westen. Het aantal vissoorten bij de Flakkeesse spuisluis in het oosten zijn in 2017 weer licht toegenomen, waarschijnlijk door de recente opening van de sluis waardoor vissen als glasgrondel, zeedonderpad, schar, schol en steenbolk, maar ook haring en sprout weer makkelijker het meer in kunnen (Hop 2017b).

3.5.2 Vissen van ondiepe onderwateroever

Van de bovenbeschreven vissoorten maken niet alle soorten gebruik van de ondiepe onderwateroever. Hieronder wordt kort besproken welke soorten frequent of periodiek gebruik maken van de ondiepe onderwateroever.

Grotere exemplaren van vissoorten van een zandige ondergrond zoals platvissen zijn hoogstwaarschijnlijk niet veel te vinden in de ondiepe zone (>2 m). Deze vissen zitten over het algemeen dieper. Larven en jonge individuen zijn wel te vinden in de ondiepe zone. Zo paaien platvissen in de Noordzee en komen de larven het Grevelingenmeer binnen waar ze opgroeien in de warmere en meer beschutte ondiepe oever (expert oordeel WMR).

Voor pelagische soorten geldt dat haring en sprout vooral in diepere delen te vinden zijn (<-5m NAP), maar koornaarvissen juist meer in ondiepe zones (>-5m NAP) (Meijer 1995). Deze soorten komen waarschijnlijk ook in de zeer ondiepe zone voor (>-2m NAP).

Typische hard substraat soorten van het Grevelingenmeer zijn de zwarte grondel, dikkopje, brakwatergrondel en puitaal. Deze zijn, afhankelijk van de soort, ook te vinden in de ondiepere zone. Zo wordt de brakwatergrondel voornamelijk op ondieptes (0-2 m) van het meer aangetroffen, terwijl het dikkopje en zwarte grondel juist meer in de sublitorale zone zitten (>2m) (Hop 2017b; Tangelder et al. 2019). Grondels gebruiken hard substraat om zich te verstoppen en eitjes af te zetten. Alhoewel de puitaal (die ook op zand- en modderbodems voorkomt) over het algemeen te vinden is tussen de 2 en 20 meter, kunnen ze in wieren korte periodes van droogval aan in het litoraal en ook ademen op het land (www.ANEMOON.org). Volwassen en jonge vis die gebruikmaken van de beschutting en voedselvoorziening van schelpdierriffen, zitten hoogstwaarschijnlijk vooral op een diepte tussen de 4 en 6 meter, waar in het Grevelingenmeer de meeste macrobenthos te vinden is (Mulder et al. 2019). Vissen zoeken ook de bescherming op van wieren. Zo leven zeenaalden in ondiep water tussen wieren en stenen, maar ook op zandbodems (www.ANEMOON.org).

3.6 Habitat vogels

Het ondiepe gedeelte van meren kan voor bepaalde vogels foerageergebied bieden. Dit zijn benthos etende, visetende en plantetende (zeegras en wieren) vogelsoorten (Van den Hoek, C. W. Admiraal and de Jonge 1979; Wattel 1996). Een belangrijke ecologische functie van de ondiepe zone voor vogels is die van rust- en slaappleaats. In het water voelen vogels zich veiliger voor landroofdieren (en mensen). Grote aantallen verblijven om die reden in deze zone.

3.6.1 Vogels in het Grevelingenmeer

Het Grevelingenmeer is een belangrijk broed- foerageer- en rustgebied voor een aantal vogelsoorten (steltlopers, eenden, aalscholvers, ganzen, zaagbekken, futen, duikers, meeuwen en sterns). Kustvogels als sterns, kluten en plevieren broeden op laag gelegen eilandjes en schelpenbanken. Steltlopers gebruiken het Grevelingenmeer vooral als hoogwatervluchtplaats, in het bijzonder de zuidpunt van de Slikken van Flakkee, en foerageren in de Oosterschelde. Een deel foerageert ook in het Grevelingenmeer zelf, voornamelijk rond de Slikken van Flakkee en andere platen (Veermansplaat, Hompelvoet en Slikken van Bommenede). De rust die vogels vinden in het Grevelingenmeer om te overtuigen is belangrijk, vooral omdat recreatiedruk in de Oosterschelde is toegenomen waardoor rustplaatsen zijn verdwenen (Hoekstein and Arts 2018; de Kraker 2017).

In de tellingen worden meeuwen en sterns pas vanaf 2017 meegenomen en worden hier buiten beschouwing gelaten (Hoekstein and Arts 2018). Watervogelaantallen bereiken een piek in de wintermaanden (november tot februari), maar dit kan per soort verschillen. Totale aantallen vogels piekten aan het begin van deze eeuw. In de periode 2011/2012 – 2016/2017 stabiliseerden de aantallen na een afname tot ongeveer 60 000. In 2017/2018 is er weer een verdere afname opgetreden tot 51 000 – 56 000 individuen. Met name vogels die bodemdieren en planten eten zijn talrijk in het Grevelingenmeer. Visetende vogels zijn juist sterk afgenomen.

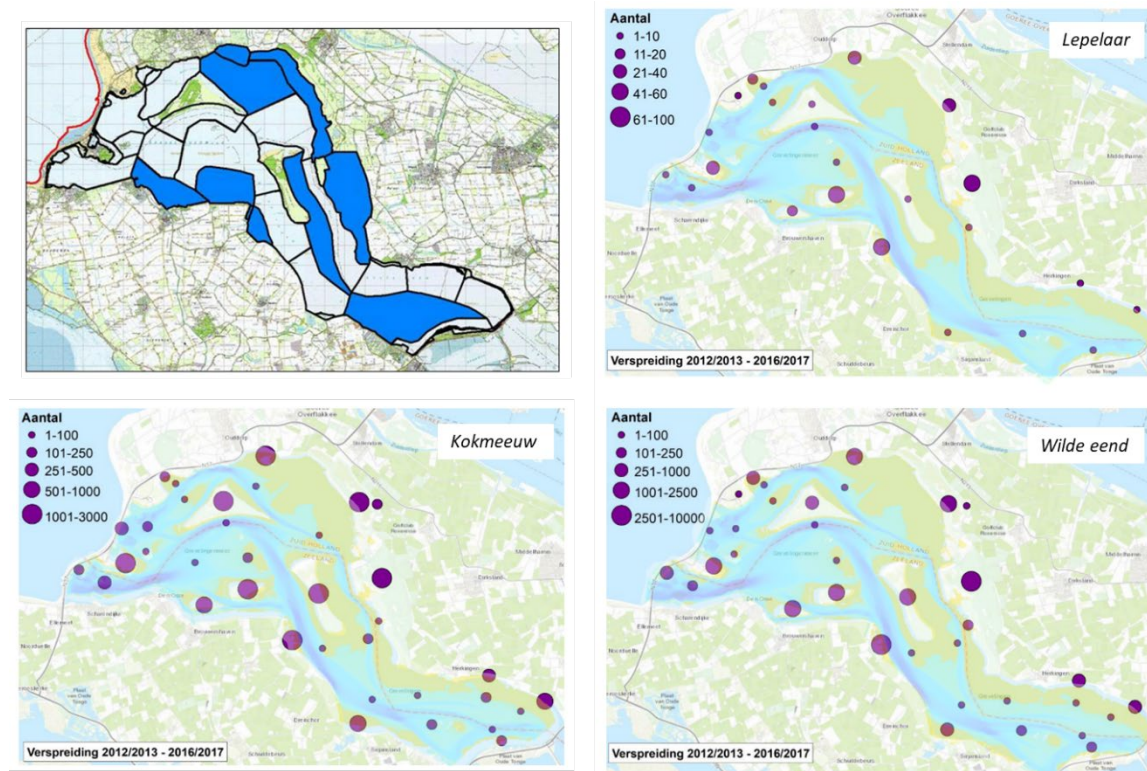
3.6.2 Vogels van ondiepe onderwateroever

Hieronder bespreken we de vogelsoorten die vooral geassocieerd worden met de ondiepe onderwateroever. Veel vogelsoorten maken gebruik van de ondiepe onderwaterzone, maar de mate waarin is voor de meeste soorten onbekend. Tellingen in het Grevelingenmeer zijn wel uitgevoerd en op basis van expert oordeel kan er wel wat gezegd worden over de soortgroepen die over het algemeen voorkomen in de ondiepe regionen (pers. comm. onderzoeker van Delta Project Management). In een rapportage door Hoekstein en Arts (2018) worden een aantal vogelsoorten van het Grevelingenmeer verder onder de loep genomen. Dit zijn soorten waarvoor het Grevelingenmeer een belangrijke rol speelt in termen van aantallen en soorten die een opvallende ontwikkeling hebben doorgemaakt. Het gaat hier zowel om rustende als foeragerende vogels.

Van deze soorten zijn de verspreidingskaartjes gepubliceerd (*Figuur 8*). Deze kaartjes geven echter de aantallen per telgebieden weer en niet de exacte locatie, en geeft dus een grof beeld van de verspreiding. Onder de viseters zijn meeuwen, zoals de kokmeeuw *Chroicocephalus ridibundus*, vaak langs oevers te vinden, foeragerend op krabben, kleine vis en benthos (*Figuur 8*). Ook reigers (blauwe reiger *Ardea cinerea*, kleine zilverreiger *Egretta garzetta*) en lepelaars *Platalea leucorodia* zijn te vinden langs de oevers of in ondiepe delen, waar de lepelaar vooral foerageert in ondiepe slikkige oevers (*Figuur 8*). De mate waarin sterns gebruik maken van de ondiepe zone hangt af van de verspreiding en aanwezigheid van kleine vis. Qua soorten zijn dit vooral de dwergstern *Sternula albifrons* en de visdief *Sterna hirundo*. De grote stern *Thalasseus sandvicensis* foerageert niet in de ondiepe delen. Soorten als aalscholver *Phalacrocorax carbo*, dodaars *Tachybaptus ruficollis*, kuifduiker *Podiceps auritus*, geoorde fuut *Podiceps nigricollis*, middelste zaagbek *Mergus serrator*, ijsduiker *Gavia immer*, en parelduiker *Gavia arctica* maken ook gebruik van de ondiepe zone, maar het is niet precies bekend in welke mate. Parelduikers foerageren ook op krabben die tussen hard substraat te vinden zijn (pers. comm. onderzoeker Delta Project Management). Wel is in de verspreiding van andere duikende visetende vogels

zoals fuut en geoorde fuut te zien, dat deze vogels meer te vinden zijn in telgebieden met relatief meer diep water dan bijvoorbeeld lepelaar en kokmeeuw (*Figuur 8, Figuur 9*). Mogelijk is dit representatief voor andere visetende duikende vogels. De geoorde fuut foerageert iets meer in het ondiepe water dan de fuut (pers. comm. onderzoeker Delta Project Management).

Viseters nemen in aantallen af de laatste jaren, dit wordt met name veroorzaakt door een afname in aantallen futen, geoorde futen en middelste zaagbek. Omdat de trends afwijken van de trend in de rest van het Deltagebied moet de oorzaak in het Grevelingenmeer gezocht worden. Het ligt voor de hand dat voedsel hier de sturende factor is. Mogelijk heeft dit te maken met zuurstofloosheid die steeds vaker optreedt die mogelijk het aantal kleine vissen en garnalen beïnvloedt (Hoekstein and Arts 2018).

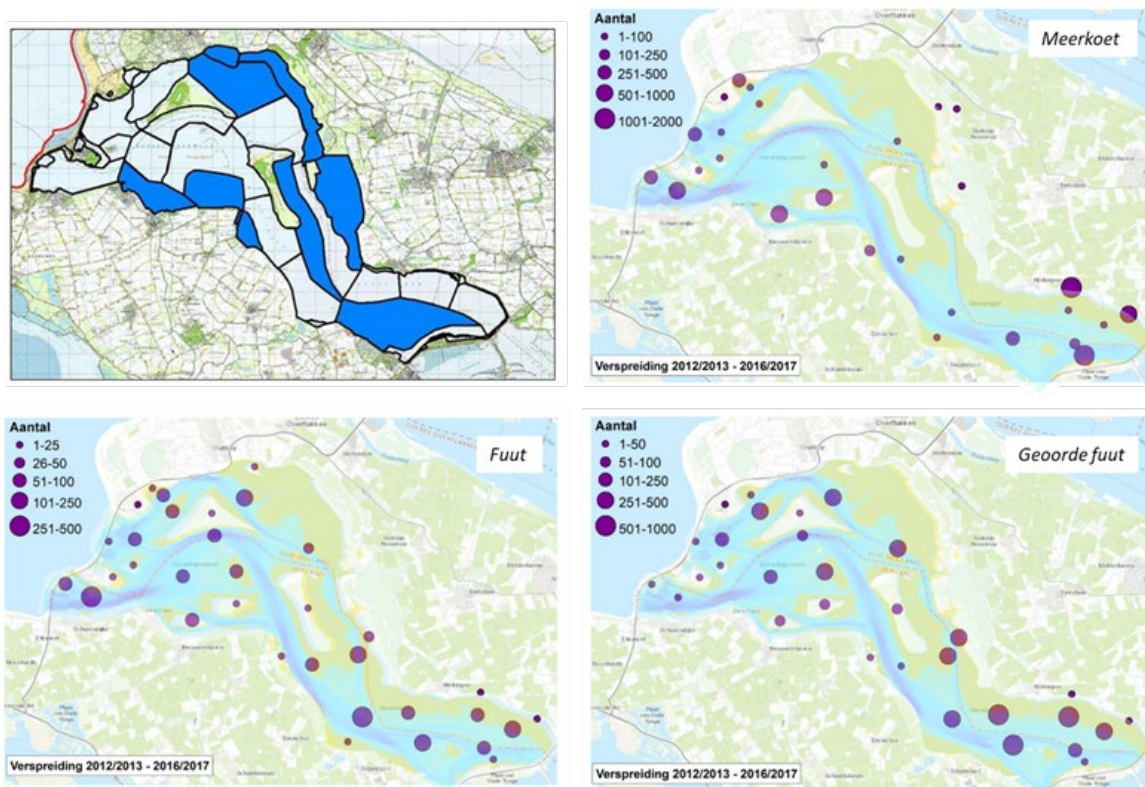


Figuur 7 De telgebieden (linksboven) en verspreiding van lepelaar, kokmeeuw en wilde eend. Verspreidingskaarten overgenomen uit Hoekstein en Arts (2018), DMP. De ondiepe zone is in lichtgroen aangegeven in de verspreidingskaartjes. De verspreidingskaartjes geven de aantallen per telgebieden weer en niet de exacte locatie. Telgebieden bevatten vaak zowel diepe als ondiepe delen en geven dus een grof beeld van de verspreiding in relatie tot de ondiepe delen.

Voor plant- en benthos-etende soorten is het ondiepe deel ook van belang. Dit zijn soorten als zwanen (knobbelzwaan *Cygnus olor*, wilde zwaan *Cygnus cygnus*, zwarte zwaan), meerkoet *Fulica atra*, eenden (bergeend *Tadorna tadorna*, brilduiker *Bucephala clangula*, wilde eend *Anas platyrhynchos*, wintertaling *Anas crecca*, pijlstaart *Anas acuta*, krakeend *Mareca strepera*, slobbeend *Spatula clypeata*, tafeleend *Aythya ferina*) en rotgans *Branta bernicla*. In *Figuur 8* is de verspreiding van de wilde eend te zien. De grootste aantallen worden gezien in de ondiepere delen langs de oevers en de eilanden. Duikende eenden zoals de kuifeend foerageren mogelijk in iets diepere delen. Een opvallende soort in het Grevelingenmeer die foerageert in ondiep water betreft een groep (bestaande uit verschillende soorten en hybride) flamingo's, maar de aantallen zijn klein en ze komen hoofdzakelijk maar op één plek voor.

Bodemdiereters schommelen in aantallen, na een gestage toename tot ongeveer 2003/2004 schommelen aantallen nu rond de 7000 dieren. In 2014/2015 en 2015/2016 waren de aantallen het hoogste. Dit geldt echter niet voor de individuele soorten. Binnen deze groep nemen de benthivore eenden wel licht toe. Een deel van de steltlopers (bodemdiereters) gebruikt het Grevelingenmeer om te overtijen maar foerageren in de Oosterschelde. Ook planteneters schommelen in aantallen en nemen de laatste jaren iets af. Onder de planteneters vallen eenden, ganzen, zwanen (met name knobbelzwaan) en de meerkoet. De herbivore eenden en ganzen zijn binnen deze groep het meest talrijk (Hoekstein and Arts 2018).

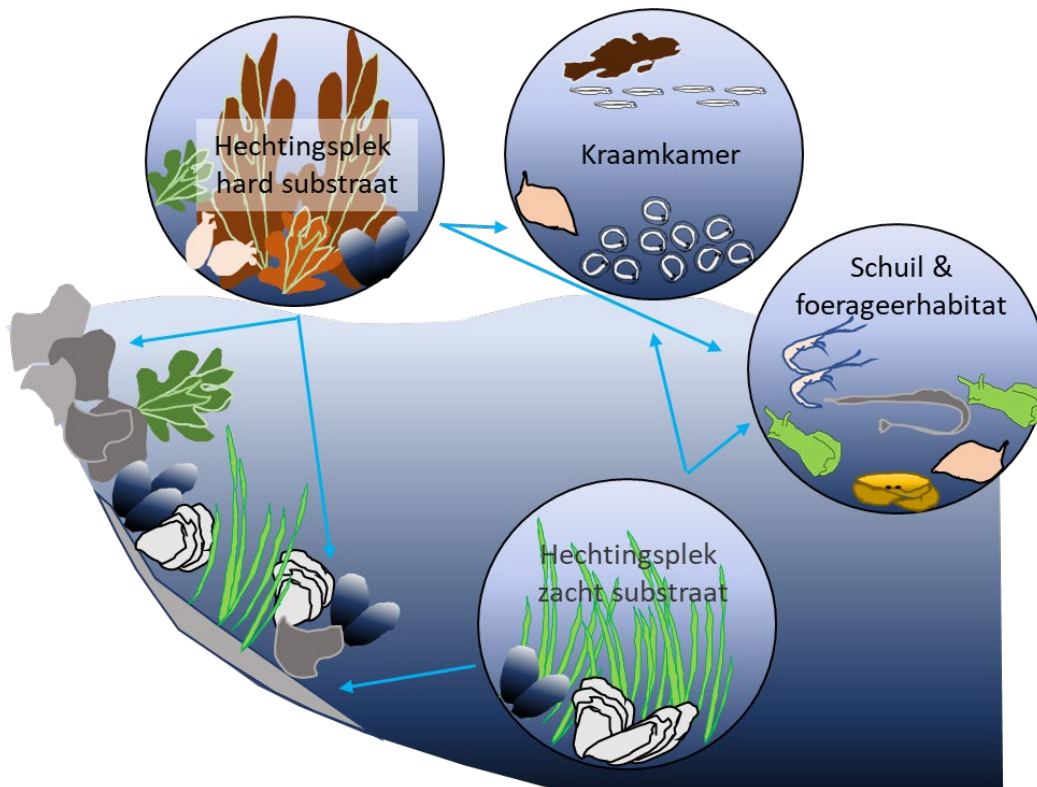
Tenslotte is het Grevelingenmeer belangrijk voor rustende vogels. De ondiepe zone biedt veiligheid tegen landroofdieren en mensen. Als vogels niet verstoord worden verbruiken ze veel minder energie en hebben ze meer overlevingskansen. Er zijn aanwijzingen dat recreatiedruk groter aan het worden is (bijvoorbeeld kitesurfers).



Figuur 8 De telgebieden (linksboven) en verspreiding van meerkoet, fuut en geoorde fuut. Verspreidingskaarten overgenomen uit Hoekstein en Arts (2018), DMP. De ondiepe zone is in doorzichtige geel aangegeven in de verspreidingskaartjes. De verspreidingskaartjes geven de aantallen per telgebieden weer en niet de exacte locatie. Telgebieden bevatten vaak zowel diepe als ondiepe delen en geven dus een grof beeld van de verspreiding in relatie tot de ondiepe delen.

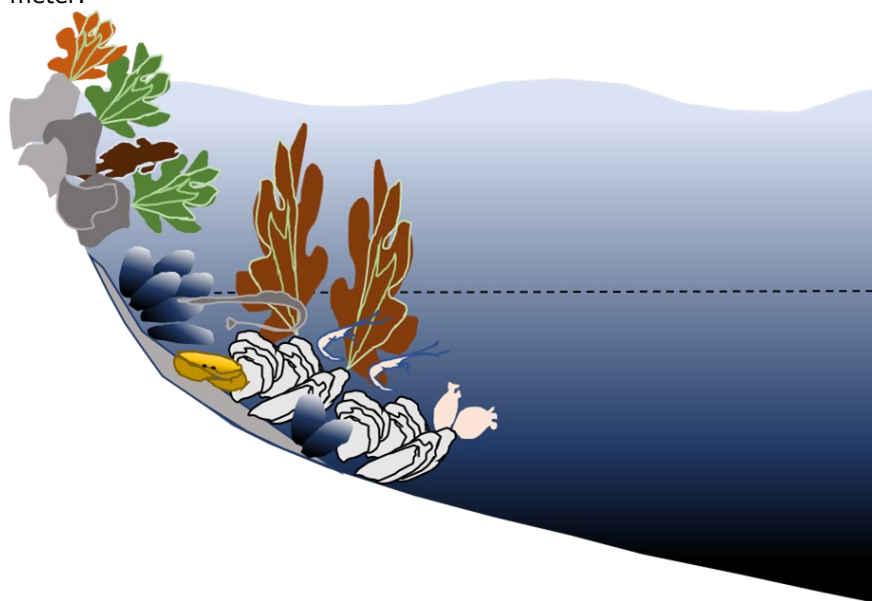
3.7 Samenvatting ecologische functies van de ondiepe onderwateroever

Hierboven zijn een aantal belangrijke ecologische functies beschreven van de ondiepe onderwateroever. Het algemene beeld is dat bepaalde randvoorwaarden voor de ene ecologische functie in grote mate ook weer randvoorwaarden voor andere ecologische functies kunnen bepalen. Zo bepalen de randvoorwaarden substraat, licht en nutriënten bijvoorbeeld het vestigingsklimaat van wieren, schelpdieren en zeegras. Vervolgens bieden deze structuren weer tal van ecologische functies voor andere organismen; zoals een kraamkamerfunctie voor jonge vis en schuil- en foerageermogelijkheden voor volwassen vissen en andere organismen (Figuur 10). Deze kunnen op hun beurt weer als voedsel dienen voor vogels of het leven in de diepere delen van het water stimuleren.



Figuur 9 Overzicht van een aantal ecologische functies van de ondiepe onderwateroever.

In *Figuur 11* zijn de ecologische functies van de ondiepe zone van het Grevelingenmeer samengevat. Hard substraat wordt gekenmerkt door vestiging van wieren, in zacht substraat vestigen schelpdieren en mariene wormen. De grootste dichtheden van benthos liggen in het Grevelingenmeer echter tussen 4-6 meter.



Figuur 10 Samenvatting van de gemiddelde ondiepe onderwateroever van het Grevelingenmeer. De ondiepe onderwateroever van boven -170 cm NAP (aangegeven met een stippellijn) bestaat uit hard substraat begroeid met zeewier en voor zacht substraat uit schelpdieren (maar grootste dichtheden dieper) en mariene wormen.

Referentiegebied Limfjord

Het Grevelingenmeer is lastig te vergelijken met andere zoute meren of baaien, omdat dit watersysteem is gecreëerd door de mens. Je zou kunnen zeggen dat het Grevelingenmeer het 'DNA' van een estuarium heeft met diepe geulen en fijnzandige ondiepten maar met het karakter van een stilstaand zoutwatermeer. Toch toont de Deense zoute baai Limfjord enige gelijkenis met het Grevelingenmeer. Met het oog op introductie van gedempt getij in het Grevelingenmeer, zouden we daarom mogelijk kunnen leren van de ecologie van deze baai.

De Limfjord is een grote baai met een oppervlakte van 1526 km² (ter vergelijking: het Grevelingenmeer is 110 km²). Omdat de verbinding met zee vrij smal is, is de invloed van golven en getij beperkt net als de invloed van zoet rivierwater. De Limfjord is grotendeels ondiep met een gemiddelde diepte van 5.5 meter (Dinesen et al. 2011). De baai is verbonden met het Kattegat in het oosten en de Noordzee in het westen (Figuur 12).

Gelijkenissen met het Grevelingenmeer zijn de beperkte invloed van getij en golfslag. Het Grevelingenmeer is ook grotendeels ondiep, alhoewel er ook diepe geulen zijn (Tangelder et al. 2019). Beide systemen hebben een grote toename (piekend in midden van 1980) in stikstof en fosfor gehad gevolgd door een afname. Net als in het Grevelingenmeer (Tangelder et al. 2019) treedt er seizoensgebonden zuurstoftekort op in de diepere delen van de fjord (Jørgensen 1980) en vindt er commerciële schelpdierenkweek plaats (Dinesen et al. 2011).

Seizoensgebonden anoxische condities vinden in het Limfjord al langer plaats (Jørgensen 1980). Dit wordt veroorzaakt door min of meer stilstaand water veroorzaakt door stratificatie door temperatuur en zoutgehaltes. Dit leidt tot sterfte onder met name mosselbedden gekenmerkt door een hoog metabolisme en dus een hoog zuurstofverbruik. In het Limfjord wordt de samenstelling van het benthos in sommige gebieden gereguleerd door de anoxische condities, waarbij delen afsterven en weer gedekoloniseerd worden.

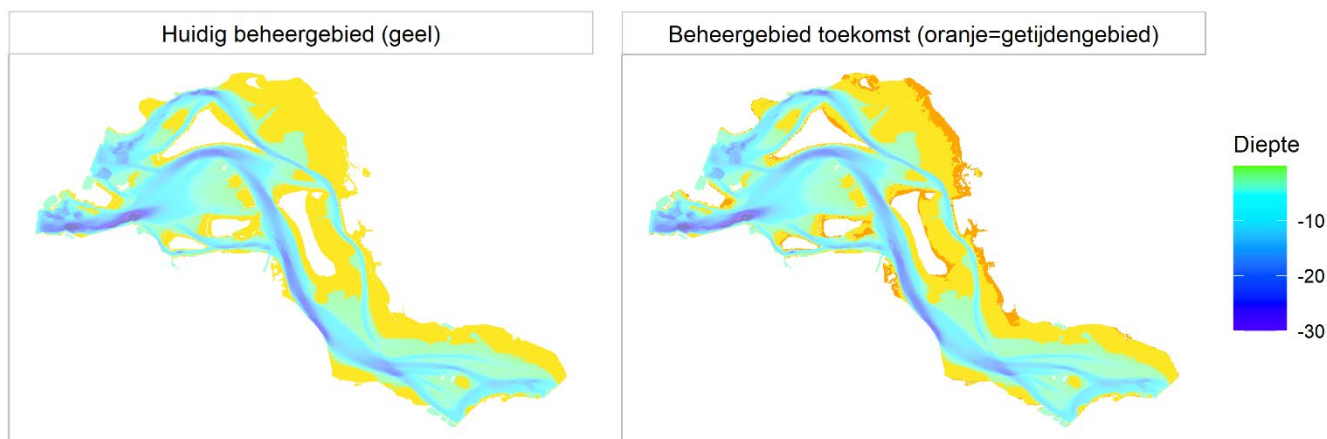


Figuur 11 Ligging van Limfjord (boven) en Grevelingenmeer (onder) in lichtblauw

3.8 Toekomstige situatie Grevelingenmeer bij 40/-30 scenario

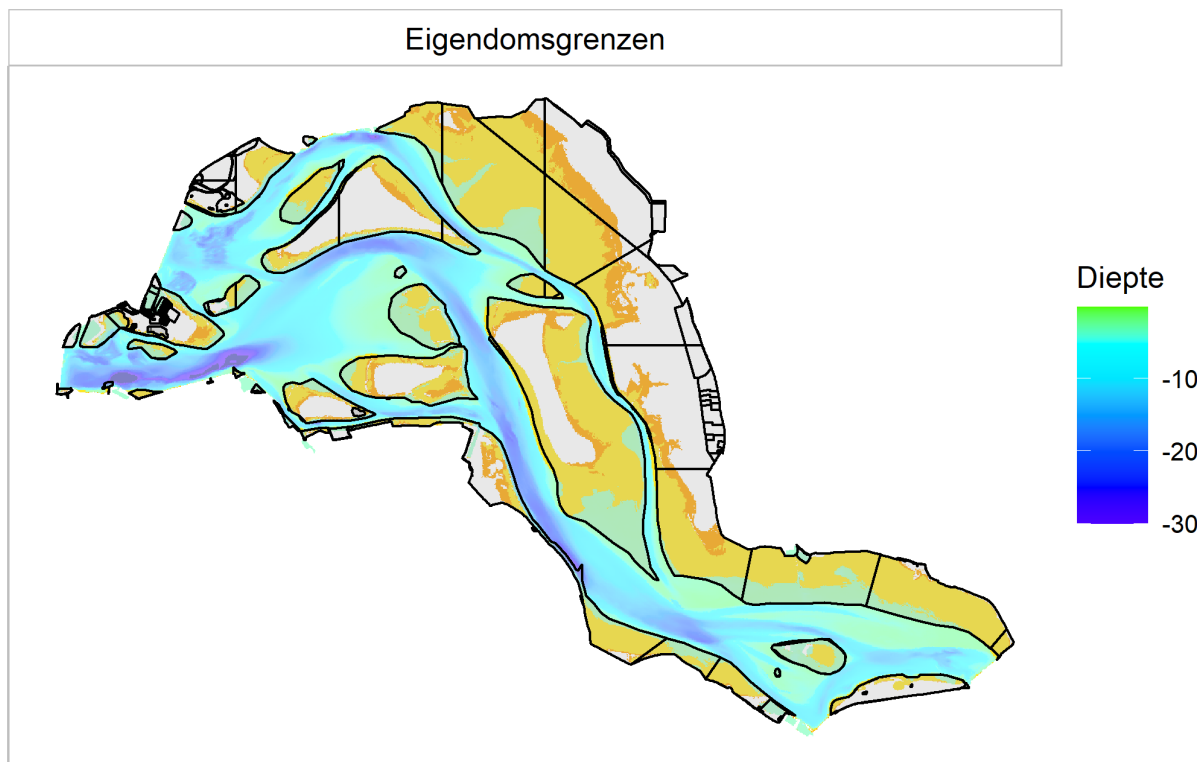
3.8.1 Beheersgebied huidig versus toekomstig bij 40/-30 scenario

Hierboven is de situatie van de ondiepe onderwateroever van het Grevelingenmeer beschreven voor de huidige situatie. Echter, deze situatie gaat veranderen. Om een beter beeld te krijgen van de omvang van dit gebied is in *Figuur 13* het huidige beheergebied geplot (links) en het beheergebied met gedempt getij (rechts), het scenario van 40cm getij bij een waterpeil van -30cm NAP. Dit betekent dat laagwater rond -55/50cm zal zijn (-55cm aangehouden in de plot) en hoogwater rond -10cm. Te zien is dat het grootste deel van het beheergebied onder water zal blijven. Intergetijdengebied zal vooral in het noordoosten van het Grevelingenmeer ontstaan en rond de eilanden.



Figuur 12 Beheergebied in huidige situatie (links) van -170cm tot -20cm in geel en beheergebied in de toekomst met gedempt getij (rechts). In geel het deel van de ondiepe onderwateroever dat geheel onderwater zal blijven (-170cm tot -55cm) en in oranje het deel dat droog zal vallen met laag water (-55cm tot -10cm). De eilanden in het Grevelingenmeer (wit) vallen in het geheel onder beheer van Staatsbosbeheer, net als de Slikken van Flakkee, de Slikken van Bommenede en nog enkele andere landgebieden langs de Grevelingen.

Hierboven is het beheergebied geplot op basis van de dieptekaart van het Grevelingenmeer. Het beheergebied is echter ook vastgelegd en gekarteerd op de kaart. Om een idee te krijgen van het (wettelijk) eigendomsgrenzen in relatie tot de dieptekaart, zijn in *Figuur 14* beide gebieden over elkaar heen geplot. Hier is te zien dat ook een deel van de droge oever binnen de eigendomsgrenzen van Staatsbosbeheer valt (alle lichtgrijze delen), met name aan de oostkant van het meer is dit een aanzienlijk oppervlak.



Figuur 13 Toekomstig beheergebied op basis van dieptekaart (geel en oranje) en eigendomsgrenzen van Staatsbosbeheer (ingetekende vakken). In geel het deel van de ondiepe onderwateroever dat geheel onderwater zal blijven (-170cm tot -55cm NAP) en in oranje het deel dat droog zal vallen met laag water (-55cm tot -10cm NAP).

3.8.2 Toekomstige randvoorwaarden

Door introductie van het gedempt getij zullen een aantal randvoorwaarden veranderen, die op hun beurt weer de ecologie in het meer kunnen beïnvloeden. Ten eerste zal er meer beweging in het water komen. Hierdoor zal er meer menging van water optreden wat zuurstofcondities zal verbeteren. Dit heeft vooral invloed op de diepere delen maar ook op de ondiepe oever. Deltares heeft waterbewegingen gemodelleerd waardoor we een idee krijgen in welke mate het gedempt getij zuurstofloosheid kan verminderen (Maarse et al. 2019). Op basis van dit onderzoek worden abiotische factoren en waterkwaliteit beschreven. In vergelijking met bijvoorbeeld de Oosterschelde zal de stroming in het Grevelingenmeer bij gedempt getij beperkt zijn. Alleen lokaal ter plaatse van het doorlaatmiddel kan het hard stromen ($>0,8\text{m/s}$), maar de rest van het meer zal laag-dynamisch van karakter zijn met lage stroomsnelheden ($<0,8\text{m/s}$) (pers. Comm. Onderzoeker Deltares).

De vergrote waterbeweging zal de aanvoer van nutriënten in het hele meer fors doen toenemen, omdat het Noordzee water rijker is aan nutriënten (Maarse et al., 2019). Vanuit de modellering wordt voorspeld dat met name stikstofgehaltes zullen toenemen; het totale stikstof zal mogelijk $0,65\text{ g/m}^3$ worden ten opzichte van $0,59\text{ g/m}^3$ bij autonome ontwikkeling en 10 cm zeespiegelstijging (vergelijkbaar met de situatie in 2025, zie Maarse et al. 2019). Omdat de primaire productie in het Grevelingenmeer over het algemeen stikstofgelimiteerd is, is de verwachting dat de primaire productie zal toenemen; $447\text{ g koolstof/m}^2$ per jaar ten opzichte van $289\text{ g koolstof/m}^2$ per jaar bij een autonome ontwikkeling.

Door het getij zal de waterstand meer dynamiek vertonen. Gedeeltes van de ondiepe oever zullen onderhevig worden aan getij en tijdelijk dieper of ondieper worden. Hierdoor kan de kracht van de golven mogelijk een effect hebben op een groter deel van de bodem en daarmee in diepere delen van invloed zijn. Dit kan mogelijk het doorzicht verminderen, omdat de kracht van de golven sediment in de waterkolom brengt. Mogelijk komt hard substraat ook weer meer vrij met een sterker getij en meer stroming (Hoeksema 2002).

We verwachten echter wel verschillen tussen de typen oeververdediging; onverdedigd, direct verdedigd, indirect verdedigd en gecombineerd verdedigd (*Figuur 5*). Onverdedigde oevers bestaan bijna geheel uit zacht substraat als er geen schelpdierriffen zijn. Hier kunnen golven het sediment meer in de waterkolom brengen en hiermee het doorzicht beïnvloeden, iets wat in mindere mate speelt bij de direct verdedigde oevers. Indirect verdedigde oevers staan minder onder invloed van golven door de dammen die onder water voor de kust de golfkracht afremmen.

3.8.3 Toekomstige ecologische functies ondiepe onderwateroever

De veranderde randvoorwaarden kunnen de ecologische functies van de ondiepe onderwateroever veranderen. In welke mate dit zal gebeuren, is niet tot in detail te voorspellen. Maar het is wel mogelijk om op hoofdlijnen de belangrijkste veranderingen te bespreken. Daarom is hier op basis van expert oordeel een inschatting voor gemaakt tijdens een expertsessie met onderzoekers van WMR en op basis van de rapportage van Tangelder et al. (2019) om de belangrijkste ontwikkelingen te kunnen schetsen.

De twee belangrijkste veranderingen die ecologische functies voor de ondiepe zone zullen beïnvloeden zijn de verhoogde invloed van golfslag/dynamiek en de verhoogde voedselbeschikbaarheid.

Door de verhoogde waterbeweging zal in de eerste plaats de dynamiek in het Grevelingenmeer toenemen. Dit betekent over het algemeen dat er meer habitatdiversiteit ontstaat door meer variatie in stroming en golven, wat mogelijk meer geschikte plekken voor verschillende soorten biedt. Het doorzicht in de gebieden met zacht substraat in de ondiepe zone zal door het grotere bereik van golven bij laagwater mogelijk wel iets minder worden. Dit zou de geschiktheid voor het vestigen van organismen als zeegras of wieren iets kunnen verslechteren. Het systeem kan iets meer op dat van de Oosterschelde lijken, waar minder macroalgen (zeewieren) te vinden zijn vergeleken met het Grevelingenmeer.

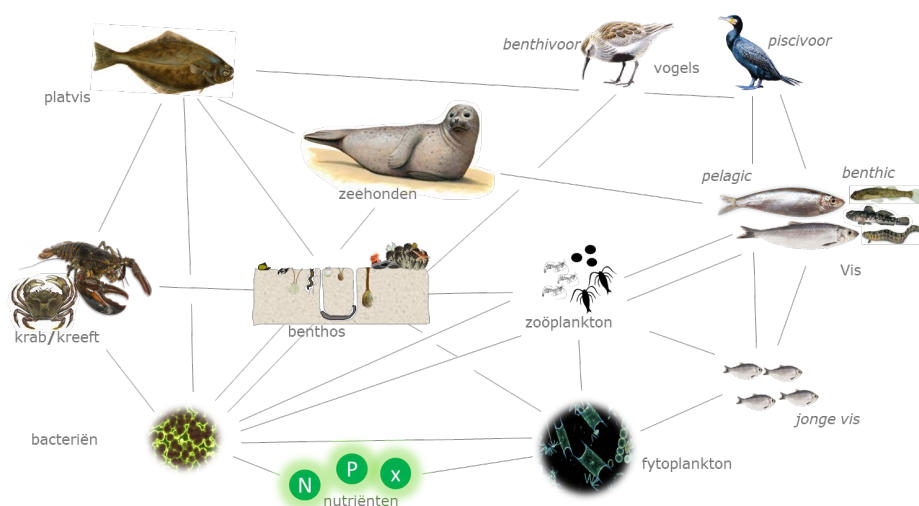
De verhoogde voedselbeschikbaarheid zal een positief effect hebben op met name filtrerende organismen. Primaire productie biedt voedsel en door meer waterbeweging kan het voedsel beter verspreid worden. Verhoogde productiviteit kan nog eens verhoogd worden door meer organisch materiaal in het systeem, zowel door verhoogde productie (grotere biomassa aan organismen) en aanvoer vanuit de Noordzee. Verminderde zuurstofloosheid zorgt voor verbeterde condities met name dieper in de waterkolom, mogelijk ook in de ondiepe delen in de zomer. Filtrerende organismen (zoals schelpdieren; mossel, oester en kokkel) zullen profiteren van deze veranderde randvoorwaarden. De hierdoor toegenomen schelpdierriffen kunnen weer substraat bieden voor hard substraat soorten die zich hier kunnen vestigen. Soortenrijkdom zal mogelijk ook toenemen, zowel door toegenomen uitwisseling (van soorten) met de Noordzee als toegenomen areaal aan geschikt habitat en meer variatie in habitat. Omdat er meer beweging in het water komt, zullen stroomminnende soorten zoals zakpijpen, anemonen, sponzen toenemen (Tangelder et al. 2019).

Gedempt getij zal waarschijnlijk ook positief uitpakken voor vissen. Het voedselaanbod neemt toe door toegenomen primaire productie en bodemvissen profiteren van betere zuurstofcondities en hiermee ook het toegenomen bodemleven en dus voedsel. Migratie uit de Noordzee kan zorgen voor een grotere soortenrijkdom. Omdat de verwachting is dat het bodemleven en vissen toe zullen nemen, is te verwachten dat ook vogels die foerageren in de ondiepe onderwateroever profiteren. Door getij wordt er een intergetijdengebied gecreëerd die wadvogels zal trekken. Echter ontbreekt belangrijke kennis over de voedselkeuze en voedselbeschikbaarheid van met name viseters, waardoor het lastig te voorspellen is of en hoe deze groep vogels zal profiteren.

We verwachten dat het effect van getij verschillend zal zijn per type oeververdediging. Hieronder beschrijven we de verwachte veranderingen na gedempt getij bij de verschillende typen kustverdediging; onverdedigd, direct verdedigd en indirect verdedigd (*Figuur 5*). Verminderd doorzicht zal vooral spelen bij onverdedigde en (in mindere mate) direct verdedigde oeververdediging. Dit zou de geschiktheid voor het vestigen van organismen als zeegras of wieren iets kunnen verslechteren op die plekken. Tegelijkertijd krijgen de hard substraat organismen meer voedsel aangevoerd, wat weer ten goede kan komen aan hun groei. Deze oevers profiteren mogelijk daarom net als het hele meer van de verhoogde productie en waterbewegingen. Oevers met indirecte verdediging zullen mogelijk het meest veranderen. Het gebied achter de dammetjes zal dynamischer worden; het gebied zal vollopen met hoogwater wat mogelijk ook met laagwater gedeeltelijk blijft staan. Er zullen stroomgeultjes ontstaan met afgaand water, waardoor er meer reliëf in het gebied komt. Dit creëert nieuw habitat waar bijvoorbeeld jonge vis kan schuilen en opgroeien en zal nieuw foerageergebied bieden voor vogels.

Er zijn wel een aantal onzekerheden die we moeten noemen bij deze voorspellingen. Het voedselweb van een ecosysteem verbindt alle organismen onderling (Figuur 15). Wanneer nutriënten toenemen, beïnvloedt dat alle relaties in een systeem. Het ligt voor de hand dat een verhoogde primaire productie zal leiden tot een verhoogde biomassa aan filtrerende organismen in het Grevelingenmeer. Maar ook andere organismen zullen profiteren. Het is onbekend hoe de verhoudingen tussen verschillende organismen zullen veranderen. Mogelijk zal bijvoorbeeld primaire productie door bacteriën relatief meer toenemen dan fytoplankton. Dit beïnvloedt weer welke 'hogere' organismen in het voedselweb het meest zullen profiteren. Ook is er zeer weinig bekend over zoöplankton, dat een zeer diverse groep is met als belangrijkste diergroepen kreeftachtigen (bijv. eenoogkreeftjes), (rib)kwallen en larven van o.a. vissen, grotere kreeften en krabben, zeesterren, zee-egels, wormen en schelpdieren. Wel is zoöplankton een belangrijke schakel tussen algen en vissoorten, maar over de precieze relaties tussen deze groepen is nog maar weinig bekend. Zo zou het kunnen dat kwalsoorten onverwachts profiteren van de toegenomen productiviteit, zoals de Amerikaanse ribkwal *Mnemiopsis leidyi* of oorkwallen. Deze soorten komen soms al tot grote bloei en kunnen ongetwijfeld een grote invloed hebben op het voedselweb door consumptie van algen en ander zoöplankton (zoals eieren en larven van andere organismen).

Een voorbeeld van een systeem dat door veranderingen in nutriënten aanvoer 'omslaait', is het Veerse meer. Hier was zeesla decennia 'een plaag' in de ondiepe gedeeltes. Deze soort profiteerde van hoge nutriëntenconcentraties en goed doorzicht. In 2003 veranderde dit en kwam de zeesla nog amper tot bloei, waarschijnlijk door afname van stikstof en planktonbloei die het licht voor zeesla wegnamen (expert oordeel WMR, Peperzak 2004).



Figuur 14 Voorbeeld van een vereenvoudigd voedselweb zoals in het Grevelingenmeer (bron: Wageningen Marine Research)

3.9 Monitoring ecologische ontwikkeling

Zoals hierboven beschreven, verwachten we een aantal veranderingen in de ondiepe zone van het Grevelingenmeer. Hoe de ontwikkelingen in het meer precies zullen verlopen, is echter niet duidelijk. Monitoring van bepaalde organismen is daarom van belang. Hierbij is het belangrijk vast te stellen of de huidige situatie van de ondiepe onderwateroever al goed genoeg in kaart is gebracht. Alleen dan kunnen mogelijke veranderingen door gedempt getij ook vastgelegd worden.

Alhoewel er al vrij veel bekend is over de ecologie van het hele Grevelingenmeer, ontbreekt er soms nog informatie over de ondiepe onderwateroever. Zo is duidelijk dat de samenstelling aan macrobenthos anders is in de ondiepe zone, maar welke soorten precies voorkomen, dient nog verder geanalyseerd te worden. Mogelijk zou hier gebruik gemaakt kunnen worden van al bestaande gegevens (WMTL, WOT,

Stichting ANEMOON) of zouden hiervoor meer monitoringspunten toegevoegd kunnen worden aan bijvoorbeeld de jaarlijkse MWTL monitoring in de ondiepe zone. Met name de zeer ondiepe zone (>-1 NAP) is hierbij van belang, omdat dit het gebied is wat mogelijk het meeste verandering zal ondergaan door introductie van gedempt getij. Daarnaast is er nog weinig bekend over de zone achter de indirecte oeververdediging. Ook over de huidige stand van de wieren is op dit moment (nog) niet veel bekend. Het is echter van groot belang om wieren in de toekomst wel mee te nemen in monitoringsprogramma's, omdat de wieren aan de basis staan van het ecosysteem in het Grevelingenmeer en vele ecologische functies vervullen zoals hierboven beschreven. Omdat er aan de randen van het Grevelingenmeer veel hard substraat is te vinden, spelen wieren ook met name in de ondiepe zone van het meer een cruciale rol.

Alhoewel vissen gemonitord zijn over een heel aantal jaren, is de kennis gefragmenteerd en is er geen structurele monitoring uitgevoerd over de jaren (Tangelder et al. 2019). Een gedegen structurele monitoring zou hier veel informatie kunnen verschaffen over de stand van vissen en hoe deze gaan veranderen door de introductie van getij. De stand van vissen is ook belangrijk om de afnemende populatie visetende vogels beter te kunnen begrijpen. Deze trend wijkt af met die van andere Deltawateren (Arts et al. 2019). Hierbij is meer kennis over het gebruik van de ondiepe zone door vogels als foerageer- en rustgebied door gerichtere telling van deze gebieden aan te bevelen. Ten slotte zou het interessant zijn om te volgen hoe vogels het Grevelingenmeer gaan gebruiken bij gedempt getij. Hierbij is het van belang om laagwatertellingen te doen, om te ontdekken wat de belangrijke foerageergebieden worden voor vogels en hoe dit zich ontwikkelt over de tijd.

4 Conclusie & aanbevelingen

In deze rapportage beschrijven we de randvoorwaarden en specifieke ecologische functies van de ondiepe onderwaterzone van zoute meren in het algemeen en specifiek in het Grevelingenmeer, met als doel het beter begrijpen van deze zone in de huidige situatie en in de toekomstige situatie met gedempt getij. Hier vatten we eerst de bevindingen samen en vervolgens geven we een aantal aanbevelingen.

4.1 Conclusie

1. Wat zijn de belangrijkste randvoorwaarden die bepalend zijn voor de ecologie van ondiepe onderwateroevers in zoute meren/baaien en hoe zit dat in het Grevelingenmeer?

Ingeschat wordt dat de volgende randvoorwaarden bepalend zijn voor ecologie van ondiepe onderwateroevers in zoute meren/baaien: hydrodynamiek, zoutgehalte, waterkwaliteit & primaire productie (voedsel) en substraattypen (hard of zacht, sedimentsamenstelling).

Ingeschat wordt dat de volgende randvoorwaarden bepalend zijn voor de ecologie van ondiepe oevers in het Grevelingenmeer:

- Het Grevelingenmeer is een zout meer met een relatief goed doorzicht
- De golfdynamiek in het Grevelingenmeer is vooral afhankelijk van de windsterkte omdat het een afgesloten baai is
- Ondanks relatief lage nutriëntenaanvoer is er toch een relatief hoge primaire productie
- Stikstof is over het algemeen limiterend voor de groei, maar in het voorjaar treedt ook een korte fosfaatlimitatie op door fytoplanktonbloei
- Substraat en waarschijnlijk het type oeververdediging langs de kust en de eilanden bepalen de soort organismen die kunnen voorkomen in het gebied

2. Wat zijn ecologische functies van deze zones en hoe zit dat in het Grevelingenmeer?

De randvoorwaarden bepalen het vestigingsklimaat van allerlei organismen die op hun beurt weer ecologische functies vervullen in de ondiepe onderwateroever. Substraat, licht en nutriënten bepalen het vestigingsklimaat voor wieren, schelpdieren en zeegras. Deze structuren vervullen functies zoals een opgroei-, schuil- en foerageermogelijkheden voor vissen en andere organismen, die op hun beurt weer als voedsel dienen voor vogels of het leven in de diepere delen van het water beïnvloeden.

De ondiepe oevers in het Grevelingenmeer hebben de volgende ecologische functies:

- Vestigingsplek hard substraat (zowel schelpdierriffen als stenen) organismen; dit is de zone waar wieren een belangrijke ecologische rol spelen die weer onder andere habitat bieden voor allerlei organismen
- Vestigingsplek zacht substraat organismen zoals schelpdieren en mariene wormen (maar grootste dichtheden tussen 4 en 6 meter diepte). Deze organismen creëren onder andere habitat voor andere organismen, woelen de bodem om en dienen als voedsel. Zeegras die zich vestigt op zacht substraat speelde in het verleden een rol in de ondiepe oevers
- Substraat, wieren, zeegras, mariene wormen en schelpdierriffen, bieden ecologische functies voor allerlei andere organismen;
 - o schuilmogelijkheid
 - o foerageergelegenheid voor specifieke vissen en vogels
 - o hard substraat biedt habitat voor soorten als grondels, met name de brakwatergrondel

- wieren bieden habitat voor andere vissoorten, zoals zeenaalden
 - in combinatie met een warmer klimaat (vergeleken met de diepere zone), ruimte voor opgroeiende juveniele vissen (bijv. platvissen) maar ook voor allerlei andere vissoorten en garnalen
 - foerageergelegenheid voor vogels zoals meeuwen, reigers, lepelaars, futen, zwanen, meerkoet, eenden en ganzen.
 - rust- en slaappleaats voor vogels
3. Hoe gaan deze randvoorwaarden en functies veranderen bij een situatie met gedempt getij in het Grevelingenmeer (40 cm getijslag, -30 cm NAP middenpeil)?

Door gedempt getij zullen veel randvoorwaarden veranderen. De aanvoer van nutriënten neemt toe, en nutriënten kunnen beter verspreid worden door meer waterbeweging. De verwachting is dat door de introductie van getij de golfkracht meer effect kan hebben op de bodem, en hier plaatselijk het doorzicht kan verminderen. We verwachten dat de verschillende oeververdedigingen mogelijk een grotere rol gaan spelen.

De introductie van gedempt getij zal waarschijnlijk leiden tot;

- Meer voedselaanbod waar naar verwachting vooral filterende organismen van profiteren, de invloed op zoöplankton kan ook substantieel zijn maar is moeilijk te voorspellen.
- Toename biomassa en mogelijk ook soortenrijkdom van bodemdieren in het hele meer, inclusief de ondiepe zone
- Toename oppervlakte schelpdierriffen
- Mogelijk iets minder gunstig vestigingsklimaat voor wieren door troebeler water
- De (toegenomen) schelpdierriffen (door toegenomen voedsel) en mogelijk zeegras kunnen een rol spelen in het breken van golven

We verwachten dat de effecten van getij anders zullen uitpakken per type oeververdediging;

- Troebeler water zal vooral spelen in onverdedigde en in mindere mate verdedigde oevers
- Oevers met indirecte verdediging zullen dynamischer worden; ontstaan van stroomgeultjes door getijverschil wat meer reliëf in het gebied brengt
 - nieuw habitat waar jonge vis kan schuilen en opgroeien
 - foerageermogelijkheid voor vogels

4.2 Aanbevelingen voor monitoring

Om de ecologische functies van de ondiepe onderwateroever voor hard substraat te monitoren, dient vooral gekeken te worden naar het vestigingsklimaat en randvoorwaarden van verschillende zeewieren. Echter, is er maar weinig bekend over welke zeewieren precies in deze ondiepe zone voorkomen, en hoe het met de soorten gaat. Een inventarisatie van de soortensamenstelling en bedekking zou een goede eerste stap zijn om de functie van de ondiepe zone beter te begrijpen. Voor het zacht substraat is er al veel aandacht voor de herintroductie van zeegras.

Verder is er nog maar weinig bekend over benthos in de zeer ondiepe zone, met name het leefklimaat voor benthos bij de indirecte oeververdediging, terwijl het mogelijk juist een belangrijk en rijk stukje van de ondiepe oevers kan zijn. We verwachten bovendien dat dit gedeelte van de oever door gedempt getij het meest gaat veranderen; dynamischer met stroomgeultjes.

Alhoewel vissen gemonitord zijn over een heel aantal jaren, is de kennis gefragmenteerd en is er geen structurele monitoring uitgevoerd over de jaren. Hier is ruimte voor verbetering. Deze informatie is ook nodig om de relatie tussen vis en de afnemende populatie visetende vogels beter te kunnen begrijpen. Wat betreft de vogelpopulaties, zou een gerichtere monitoring van welke soorten de ondiepe zone gebruiken als foerageer- en rustgebied aan te bevelen zijn, alsmede welke voedselbronnen van belang

zijn. Ten slotte zou het interessant zijn om te volgen hoe vogels het Grevelingenmeer gaan gebruiken bij gedempt getij. Hierbij is het van belang om laagwatertellingen te doen, om te ontdekken wat de belangrijke foerageergebieden worden voor vogels en hoe dit zich ontwikkelt over de tijd.

5 Kwaliteitsborging

Wageningen Marine Research beschikt over een ISO 9001:2015 gecertificeerd kwaliteitsmanagementsysteem. Dit certificaat is geldig tot 15 december 2021. De organisatie is gecertificeerd sinds 27 februari 2001. De certificering is uitgevoerd door DNV GL.

Het chemisch laboratorium te IJmuiden beschikt over een EN-ISO/IEC 17025:2017 accreditatie voor testlaboratoria met nummer L097. Deze accreditatie is geldig tot 1 april 2021 en is voor het eerst verleend op 27 maart 1997; deze accreditatie is verleend door de Raad voor Accreditatie. Het chemisch laboratorium heeft hierdoor aangetoond in staat te zijn op technisch bekwame wijze valide resultaten te leveren en te werken volgens de ISO17025 norm. De scope (L097) met de geaccrediteerde analysemethoden is te vinden op de website van de Raad voor Accreditatie (www.rva.nl).

Op grond van deze accreditatie is het kwaliteitskenmerk Q toegekend aan de resultaten van die componenten die op de scope staan vermeld, mits aan alle kwaliteitseisen is voldaan. Het kwaliteitskenmerk Q staat vermeld in de tabellen met de onderzoeksresultaten. Indien het kwaliteitskenmerk Q niet staat vermeld is de reden hiervan vermeld.

De kwaliteit van de analysemethoden wordt op verschillende manieren gewaarborgd. De juistheid van de analysemethoden wordt regelmatig getoetst door deelname aan ringonderzoeken waaronder die georganiseerd door QUASIMEME. Indien geen ringonderzoek voorhanden is, wordt een tweede lijnscontrole uitgevoerd. Tevens wordt bij iedere meetserie een eerstelijnscontrole uitgevoerd. Naast de lijnscontroles wordende volgende algemene kwaliteitscontroles uitgevoerd:

- Blanco onderzoek.
- Terugvinding (recovery).
- Interne standaard voor borging opwerkmethode.
- Injectie standard.
- Gevoeligheid.

Bovenstaande controles staan beschreven in Wageningen Marine Research werkvoorschrift *ISW 2.10.2.105*.

Indien gewenst kunnen gegevens met betrekking tot de prestatiekenmerken van de analysemethoden bij het chemisch laboratorium worden opgevraagd.

Indien sprake is van onbeheerste kwaliteit worden passende maatregelen genomen.

Literatuur

- Arts, F. A., M. S. J. Hoekstein, S. j. Lilipaly, K. D. van Straalen, M. Sluijter, and P. A. Wolf. 2019. "Watervogels En Zeezoogdieren in de Zoute Delta 2017/2018." *Deltamilieu Projecten* 122.
- Barbier, EB, SD Hacker, C. Kennedy, EW Koch, AC Stier, and BR Silliman. 2011. "The Value of Estuarine and Coastal Ecosystem Services." *Ecological Monographs* 81(2)(2):169–193.
- Baumgartner, Finn A., Henrik Pavia, and Gunilla B. Toth. 2015. "Acquired Phototrophy through Retention of Functional Chloroplasts Increases Growth Efficiency of the Sea Slug *Elysia Viridis*." *PLoS ONE* 10(4):1–14.
- Bunker, Francis. 2017. *Seaweeds of Britain and Ireland*. Princeton University Press; 2nd Revised edition (5 Jun. 2017).
- Didderen, K., W. Lengkeek, and S. Bouma. 2013. "De Verspreiding van Witte Bacteriematten En Schade Aan Het Bodemleven in Het Grevelingenmeer III; Onderzoek Naar Effecten van Zuurstofloosheid, Zomer 2013." *Bureau Waardenburg BV, Rapport Nr. 13-147* 1–52.
- Dinesen, Grete E., Karen Timmermann, Eva Roth, Stiig Markager, Lars Ravn-Jonsen, Morten Hjorth, Marianne Holmer, and Josianne G. Støttrup. 2011. "Mussel Production and Water Framework Directive Targets in the Limfjord, Denmark : An Integrated Assessment for Use in System-Based Management." *Ecology and Society* 16(4).
- Ens, B. J., J. A. Craeymeersch, F. E. Fey, H. J. L. Heessen, A. C. Smaal, A. G. Brinkman, R. Dekker, J. van der Meer, and M. R. van Stralen. 2007. *Sublitorale Natuurwaarden in de Waddenzee*.
- Geertz-Hansen, Ole, Kaj Sand-Jensen, Dorte F. Hansen, and Anette Christiansen. 1993. "Growth and Grazing Control of Abundance of the Marine Macroalga, *Ulva Lactuca* L. in a Eutrophic Danish Estuary." *Aquatic Botany* 46(2):101–9.
- Glamore, W. C., D. S. Rayner, and P. F. Rahman. 2016. "Estuaries and Climate Change." *Technical Monograph Prepared for the National Climate Change Adaptation Research Facility. Water Research Laboratory of the School of Civil and Environmental Engineering, UNSW*.
- Gmelig Meyling, A. and R. H. Bruyne. 2019. *Het Duiken Gebruiken 4. Bijlage 4. Gegevensanalyse van Het Monitoringsproject Onderwater Oever (MOO). Lijst Met de 162 MOO-Soorten (of Clusters) En de Trefkans En Trend per Deelgebied. Periode 1994 t/m 2018*.
- van der Heide, T., E. T. H. M. Peeters, D. C. R. Hermus, M. M. Van Katwijk, and J. G. M. Roelofs. 2009. "Predicting Habitat Suitability in Temperate Seagrass Ecosystems." *Limnology and Oceanography* 54(6):2018–24.
- Van den Hoek, C. W. Admiraal, F. Colijn and V. N. de Jonge. 1979. *The Role of Algae and Seagrasses in the Ecosystem of the Wadden Sea: A Review*.
- Hoeksema, H. J. 2002. *Grevelingenmeer van Kwetsbaar Naar Weerbaar?*
- Hoekstein, Mark S. J. and Floor A. Arts. 2018. "Watervogels in de Grevelingen."
- Hop, J. 2017a. *Visstandonderzoek Grevelingenmeer, November 2016*.
- Hop, J. 2017b. *Visstandonderzoek Grevelingenmeer Voor- En Najaar 2017*.
- Jackson, Jeremy B. C., Jeremy B. C. Jackson, Michael X. Kirby, Wolfgang H. Berger, Karen A. Bjorndal, Louis W. Botsford, Bruce J. Bourque, Roger H. Bradbury, Richard Cooke, Jon Erlandson, James A. Estes, Terence P. Hughes, Susan Kidwell, Carina B. Lange, Hunter S. Lenihan, John M. Pandolfi, and Charles H. Peterson. 2001. "Historical Overfishing and the Recent Collapse of Coastal Ecosystems." *Science* 293:629–38.
- Jak, Robbert G., Alexander Lubsch, and Ulrika Beier. 2020. *Haalbaarheid van Het Aanlanden van Zeesla Uit de Waddenzee*.
- de Jong, Dick and Dirk van Maldegem. 2010. "Invloed Getij Op Oevers Grevelingen Meer. Huidige Ontwikkeling En Prognoses Voor Scenario's T50, T70 En T100." *Rijkswaterstaat, Middelburg*. 49 (september).
- Jørgensen, Bo Barker. 1980. "Seasonal Oxygen Depletion in the Bottom Waters of a Danish Fjord and Its Effect on the Benthic Community." *Oikos* 34(1):68–76.
- Kamermans, P., MA Hemminga, and DJ de Jong. 1999. "Significance of Salinity and Silicon Levels for Growth of a Formerly Estuarine Eelgrass (*Zostera Marina*) Population (Lake Grevelingen, The Netherlands)." *Marine Biology* 133:527–39.
- van Katwijk, Marieke M., Anitra Thorhaug, Marbà. Núria, Robert J. Orth, Carlos M. Duarte, Gary A. Kendrick, Inge H. J. Althuizen, Elena Balestri, Guillaume Bernard, Marion L. Cambridge, Alexandra Cunha, Cynthia Durance, Wim Giesen, Qiuying Han, Shinya Hosokawa, Wawan Kiswara, Teruhisa Komatsu, Claudio Lardicci, Kun-Seop Lee, Alexandre Meinesz, Masahiro Nakaoka, Katherine R. O'Brien, Erik I. Paling, Chris Pickerell, Aryan M. A. Ranslijn, and Jennifer J. Verduin. 2016. "Global Analysis of Seagrass Restoration:

-
- The Importance of Large-Scale Planting." *Journal of Applied Ecology* 53:567–78.
- van Kessel, N., M. Dorenbosch, F. Spikmans, J. Kranenbarg, and B. Crombaghs. 2008. *Jaarrapportage Actieve Vismonitoring Zoete Rijkswateren. Samenstelling van de Visstand in de Grote Rivieren Gedurende Het Winterhalfjaar 2007- 2008*.
- van Kessel, N., B. Niemeijer, and G. Hoogerwerf. 2013. *Jaarrapportage Actieve Vismonitoring Zoete Rijkswateren. Samenstelling van de Visstand in de Grote Rivieren Gedurende Het Winterhalfjaar 2012- 2013*.
- van Kessel, N., F. Spikmans, G. Hoogerwerf, and J. Kranenbarg. 2011. *Jaarrapportage Actieve Vismonitoring Zoete Rijkswateren. Samenstelling van de Visstand in de Grote Rivieren Gedurende Het Winterhalfjaar 2010- 2011*.
- de Kraker, C. 2017. *Broedvogels Grevelingen – 2016. Ecologisch Adviesbureau Sandvicensis, Burgh-Haamstede*.
- van der Loos, L. M. and A. W. Gmelig Meyling. 2019. *Het Duiken Gebruiken 4. Gegevensanalyse van Het Monitoringsproject Onderwater Oever (MOO). Fauna-Onderzoek Met Sportduikers in de Noordzee, de Oosterschelde En Het Grevelingenmeer. Periode 1994 t/m 2018*.
- De Los Santos, Carmen B., Fernando G. Brun, Tjeerd J. Bouma, Juan J. Vergara, and J. Lucas Pérez-Lloréns. 2010. "Acclimation of Seagrass *Zostera Noltii* to Co-Occurring Hydrodynamic and Light Stresses." *Marine Ecology Progress Series* 398:127–35.
- Maarse, M., A. Nolte, F. Kleissen, and B. Becker. 2019. "Optimalisatie van Peilbeheer Getij Grevelingen Door Aansturing van Het Doorlaatmiddel in de Brouwersdam." *Deltares Rapport 11203818-001-ZKS-0003*.
- Meijer, A. J. M. 1995. *Bestandsopname Visfauna Grevelingenmeer Augustus/September 1994*.
- Millennium Ecosystem Assessment. 2005. *Ecosystems and Human Well-Being: Wetlands and Water Synthesis*.
- Mineur, Frédéric, Francisco Arenas, Jorge Assis, Andrew J. Davies, Aschwin H. Engelen, Francisco Fernandes, Erik Jan Malta, Thierry Thibaut, Tu Van Nguyen, Fátima Vaz-Pinto, Sofie Vranken, Ester A. Serrão, and Olivier De Clerck. 2015. "European Seaweeds under Pressure: Consequences for Communities and Ecosystem Functioning." *Journal of Sea Research* 98:91–108.
- Moksness, E., E. Dahl., and J. G. Støttrup. 2009. *Integrated Coastal Zone Management. Wiley-Blackwell, West Sussex, UK*.
- Mulder, Ingeborg, Vincent Escaravage, Marijn Tangelder, and Tom Ysebaert. 2019. *Ontwikkelingen van Het Macrozoöbenthos in Het Grevelingenmeer 1992-2016*.
- Nienhuis, P. H., B. H. H. De Bree, P. M. J. Herman, A. M. B. Holland, J. M. Verschuure, and E. G. J. Wessel. 1996. "Twentyfive Years of Changes in the Distribution and Biomass of Eelgrass, *Zostera Marina*, in Grevelingen Lagoon, The Netherlands." *Netherlands Journal of Aquatic Ecology* 30(2–3):107–17.
- Peperzak, L. 2004. "Werkdocument Zeeslammodel Veerse Meer." *RIKZ/OS.2004/815X* (31):0–3.
- Polte, Patrick, Anja Schanz, and Harald Asmus. 2005. "The Contribution of Seagrass Beds (*Zostera Noltii*) to the Function of Tidal Flats as a Juvenile Habitat for Dominant , Mobile Epibenthos in the Wadden Sea." 813–22.
- Pool, J. Van Der, K. Troost, M. Van Asch, C. Van Zweeden, J. Van Zwol, Wilbert Schermer Voest, Ministerie Van Landbouw, and Den Haag. 2020. *Schelpdieren in Het Veerse Meer En Grevelingenmeer*.
- Satheesh, S., A. A. Siddik, M. A. Ba-Akdah, and A. A. Al-Sofyani. 2017. "Chapter 1. An Introduction to the Ecological Significance of Seaweeds on Coastal Ecosystems." Pp. 1–130 in *Biotechnological Applications of Seaweeds*.
- Smaal, A. C., P. Kamermans, T. M. van der Have, M. Engelsma, and H. J. W. Sas. 2015. *Feasibility of Flat Oyster (Ostrea Edulis L.) Restoration in the Dutch Part of the North Sea*.
- Tangelder, Auteurs Marijn, Jeroen Wijsman, John Janssen, Arno Nolte, and Brenda Walles. 2018. "Scenariostudie Natuurperspectief Grevelingenmeer." *Wageningen University & Research Rapport C021/18*.
- Tangelder, M., T. Ysebaert, J. Wijsman, J. Janssen, I. Mulder, A. Nolte, W. Stolte, N. van Rooijen, and L. van den Bogaart. 2019. *Ecologisch Onderzoek Getij Grevelingen Ecologisch Onderzoek Getij Grevelingen*.
- Walles, Brenda. 2015. *The Role of Ecosystem Engineers in the Ecomorphological Development of Intertidal Habitats*.
- Wattel, G. 1996. *Grevelingenmeer: Uniek Maar Kwetsbaar*.
- Wetsteyn, L. P. M. J. 2010. *Actualisatie Bekken Rapport Grevelingenmeer*.
- Wetsteyn, L. P. M. J. 2011. "Grevelingenmeer: Meer Kwetsbaar? Een Beschrijving van de Ecologische Ontwikkelingen Voor de Periode 1999 t/m 2008-2010 in Vergelijking Met de Periode 1990 t/m 1998. RWS Waterdienst, Lelystad." 1–163.

Verantwoording

Rapport C023/21

Projectnummer: 4313100119

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. Ingeborg Mulder
Onderzoeker

Handtekening:



Datum: 17 maart 2021

Akkoord: Jakob Asjes
MT-lid integratie

Handtekening:



Datum: 17 maart 2021

Wageningen Marine Research
T: +31 (0)317 48 09 00
E: marine-research@wur.nl
www.wur.nl/marine-research

Bezoekers adres:

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

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.



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'
