



Rapport

Beoordeling van ecologische effecten van
garnalenvisserij op bodem en biota

Mate van wetenschappelijke onderbouwing



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH



waddenacademie

www.wur.nl/marine-research

Beoordeling van ecologische effecten van garnalenvisserij op bodem en biota

Mate van wetenschappelijke onderbouwing

H.J.P., Eijsackers, B.D.H.K. Eriksson, T. van der Heide, P.M.J. Herman,
J. Van der Meer, H. Polet, & I. Tulp

Dit rapport is gepubliceerd door Wageningen Marine Research en Waddenacademie in opdracht van het ministerie van Landbouw Natuur & Voedselkwaliteit

Wageningen Marine Research

IJmuiden, september 2023



Colofon

Dit rapport is gepubliceerd door Wageningen Marine Research en Waddenacademie in opdracht van het ministerie van Landbouw Natuur & Voedselkwaliteit

Auteurs (in alfabetische volgorde):

Emer. prof. Dr. H.J.P. Eijsackers

Prof. Dr. B.D.H.K. Eriksson (RUG)

Prof. Dr. Ir. T. van der Heide (NIOZ en RUG)

Prof. Dr. P.M.J Herman (Deltares en TUD)

Prof. Dr. J van der Meer (WMR en WUR)

Dr. H. Polet (ILVO, België)

Dr. I. Tulp (WMR)

Secretaris (met tekstbijdragen):

Dr. P.J.A. de Bruijn (tot 24 juli)

Ir. R.A. Lansbergen (vanaf 24 juli)

DOI:

<https://doi.org/10.18174/637595>

ISBN nummer:

978-94-90289-70-6

Contact personen

Wageningen Marine Research

Dr. ir. T.P. Bult

Waddenacademie

Prof. Dr. ir. C.J.M. Philippart

Wijze van refereren

Eijsackers, H.J.P., B.D.H.K. Eriksson, T. van der Heide, P.M.J. Herman, J. Van der Meer, H. Polet, I. Tulp, (2023), Beoordeling van ecologische effecten van garnalenvisserij op bodem en biota, Wageningen Marine Research & Waddenacademie. Rapport nummer:C056/23, pagina's 53.

Rapport nummer WUR:

C056/23

Rapport nummer Waddenacademie:

2023-01

Voorwoord

De toekomst van garnalenvisserij in onze kustwateren is een maatschappelijke, politieke en ook een juridische discussie: Hoe willen wij onze natuur beheren en beschermen, hoe ziet een toekomstbestendige visserij eruit, wat kan wel, wat kan niet, en wat kunnen we verbeteren? Deze discussie, waarin veel grote belangen spelen, moet gevoerd worden op basis van kennis: kennis van onze natuur, kennis van onze visserij en de samenhang daartussen.

De wetenschap wordt hierbij vaak gevraagd om deze kennis aan te leveren: onafhankelijk en onpartijdig, los van alle belangen, door zorgvuldig wetenschappelijk handelen; kortom: deskundig, compleet en betrouwbaar.

Deze aanpak is niet altijd even makkelijk te organiseren. Niet alle benodigde informatie is beschikbaar of op te zoeken, de beschikbare informatie kan verschillend worden opgevat en over de interpretatie zijn ook de deskundigen het lang niet altijd met elkaar eens. Het risico bestaat dat door hoeveelheid en beschikbaarheid aan informatie in combinatie met losse informatie en bronnen, er een verschillend beeld ontstaat over hetzelfde onderwerp.

Dit rapport is tot stand gekomen vanuit de ambitie om een breed-gedragen, stevig onderbouwd en zo compleet mogelijk beeld te geven van wat wel en wat niet bekend is over de mogelijke effecten van garnalenvisserij op de leefomgeving, planten en dieren in Waddenzee en Noordzee. Welke belangrijkste effecten van garnalenvisserij op de natuur zijn in de wetenschappelijke literatuur beschreven, op welke manier, waar en wanneer zijn deze effecten onderzocht, en hoe sterk is de bewijsvoering? Zijn er ook nog andere effecten te verwachten waarover relevante kennis niet of nauwelijks beschikbaar is?

Wageningen Marine Research en de Waddenacademie hebben hiervoor de handen ineen geslagen, in opdracht van het Ministerie van LNV. Het onderzoek is uitgevoerd door een compacte groep wetenschappers, verbonden aan verschillende Nederlandse en Vlaamse kennisinstellingen. De visserijsector is gevraagd om een deskundige voor te dragen waarin zij het vertrouwen hebben en die voldoet aan eisen van deze commissie. Deze experts hebben samen, onder leiding van een onafhankelijke voorzitter, dit rapport opgesteld.

Gedurende dit proces zijn er twee stakeholder bijeenkomsten georganiseerd met genodigden vanuit de visserij, natuurorganisaties, beheerders en de overheid. Tijdens de eerste bijeenkomst is de aanpak gepresenteerd, tijdens de tweede bijeenkomst zijn de eerste resultaten van het onderzoek besproken. Hierna is er aan de deelnemers aan deze bijeenkomsten nog de gelegenheid gegeven om te reageren op het concept rapport.

Wij hopen van harte dat dit rapport het beoogde complete en betrouwbare beeld geeft van de effecten van garnalenvisserij op de natuurlijke omgeving. Dat het op een effectieve en gewaardeerde manier bijdraagt aan de bredere maatschappelijke discussie over de toekomst van de garnalenvisserij in Nederland.

Met grote dank aan de leden van de commissie, de voorzitter, en alle anderen die betrokken zijn geweest bij dit proces,

Tammo Bult
Directeur Wageningen Marine Research

Katja Philippart
Directeur Waddenacademie

Dankwoord

De totstandkoming van dit rapport was niet mogelijk geweest zonder de hulp van vele anderen dan enkel de commissie. Dank aan Bert Keus voor zijn positief-kritische adviezen over de praktische aspecten van de relatie ecologie-garnalenvisserij. Door zijn bijdragen gedurende het hele proces heeft hij ervoor gezorgd dat onderzoek en praktijk met elkaar verbonden bleven. Naast de leden van de commissie hebben ook andere experts Ulrika Beier, Geert Aarts, Mardik Leopold, Karen van de Wolfshaar tekstbijdragen geleverd, waardoor de ecologische aspecten nog breder afgedekt konden worden.

Dankzij de ondersteuning van Marion Borghols kon de logistieke knoop van gezamenlijke vergaderingen met deelnemers van Oostende tot Groningen en van Texel tot Wageningen elke keer weer ontward worden. We zijn met name de stakeholders die aanwezig waren tijdens de bijeenkomsten in IJmuiden erkentelijk voor het meedenken over de aanpak en voor hun inhoudelijke bijdragen aan de uitvoering. Tot slot willen we Sofie Stolwijk, Nanou Beekman en Peter van Velzen van LNV bedanken voor het in ons gestelde vertrouwen om deze opdracht uit te voeren.

Inhoudsopgave

Samenvatting.....	6
1 Introductie	10
2 Garnalenvisserij in Nederland.....	11
3 Effecten garnalenvisserij op sedimenten, primaire productie en biogeochemische processen.....	13
3.1 Overzicht.....	13
3.2 Bodemberoering – de technische kant.....	14
3.3 Effecten op samenstelling en dynamiek van het sediment	14
3.4 Beïnvloeding van primaire productie door opwerveling.....	17
4 Mogelijke effecten van garnalenvangst op de garnalenpopulatie en op prooien en predatoren	19
4.1 Groei- en rekrutering-overbevissing.....	19
4.2 Bijvangst ondermaatse garnalen	20
4.3 Prooien en predatoren	20
4.4 Onzekerheden	21
5 Effecten van garnalenvisserij op ongewervelde bodemdieren en planten	22
5.1 Algemene effecten van bodemberoerende visserij.....	22
5.2 Historische veranderingen	24
5.3 Recente effecten van garnalenvisserij	24
6 Indirecte effecten van bodemberoering op vissen en vogels.....	29
6.1 Historische veranderingen in de visgemeenschappen.....	29
6.2 Effecten op vispopulaties door verstoring van bentische gemeenschap	30
7 Effecten van de bijvangst van vis.....	31
7.1 Jonge vis in opgroeigebieden (kinderkamerfunctie)	32
7.2 Residente vissoorten	32
7.3 Trekvissen (habitatrichtlijnsoorten)	32
7.4 Indirecte effecten bijvangst van vis op vogels en zeezoogdieren	33
7.5 Discards als voedsel	33
8 Verstoring door varen	36
9 Cumulatieve effecten door interactie met garnalenvisserij	37
9. 1 Klimaatverandering	37
9. 2 Stikstof	38
9.3 Verstoring door varen.....	38
10. Toekomstig onderzoek: aanpak en hiaten.....	38
Referenties	41

Samenvatting

Dit document geeft een beoordeling van de ecologische risico's van de garnalenvisserij in Nederlandse kustwateren (inclusief de Waddenzee). Deze beoordeling is opgesteld op verzoek van het ministerie van LNV en uitgevoerd door een brede commissie van ecologische experts van verschillende Nederlandse en Vlaamse universiteiten en instituten. De beoordeling berust op de uitkomsten van intern of extern gerefereerd onderzoek naar effecten van garnalenvisserij op bodem en biota, aangevuld met expertoordelen over onderwerpen waarover geen of weinig informatie beschikbaar is. De taak van de commissie was effecten te inventariseren en te beoordelen op basis van de zwaarte van de wetenschappelijke bewijzen. De beoordeling beoogt een basis te vormen voor toekomstig beleid en voor nader onderzoek naar geconstateerde kennislacunes.

Als startpunt is een lijst van mogelijke effecten opgesteld op basis van eerdere compilaties en van kennis van de literatuur. Vervolgens is per mogelijk effect nagegaan welke typen wetenschappelijke resultaten aan de basis liggen van de beschrijving van het effect. De mate van zekerheid over deze wetenschappelijke resultaten is op systematische manier aangegeven in de tekst en in begeleidende tabellen. Daarbij is per mogelijk effect een schaal gehanteerd die varieert van expertoordeel (minst betrouwbaar) tot een uitgebreide review op basis van beschikbare onderliggende studies (meest betrouwbaar). In deze samenvatting worden de resultaten van de beoordeling van de commissie kwalitatief weergegeven. Dit rapport gaat niet in op praktische mogelijkheden tot vermindering van geconstateerde effecten.

Effecten op het sediment, de primaire productie en de biogeochemische processen

Bodemberoerende visserij leidt tot opwerpen van sediment. Hierdoor kan niet alleen de samenstelling van het sediment, maar kunnen ook de biomassa en de soortensamenstelling van de aan de bodem gebonden algen, de zogeheten bentische algen, veranderen. Deze veranderingen hebben mogelijk effect op de productie van nieuw algenmateriaal (de bentische primaire productie) en andere biogeochemische processen in de bodem, zoals bijvoorbeeld de uitwisseling van voedingsstoffen tussen sediment en water. Opwerveling beïnvloedt ook de troebelheid van het water en daarmee in principe de primaire productie van in de waterkolom levende algen, de zogeheten pelagische algen. De sterkte van de effecten hangt af van de gemiddelde bodemdiepte tot waar de vistuigen het sediment opwerpen, en de samenstelling van het sediment van de zeebodem (slib werfelt sterker op dan zand én geeft meer vertroebeling bij eenzelfde concentratie).

De diepte van bodemberoering door garnalenvisserij is moeilijk vast te stellen, omdat een degelijke inventarisatie van het gebruikte vistuig ontbreekt. Verwacht wordt dat garnalenvisserij, die in het algemeen uitgevoerd wordt met relatief licht vistuig op overwegend zandige bodems, een kleiner effect heeft op de eigenschappen van het sediment dan andere vormen van bodemberoerende visserij die met een zwaarder vistuig werken.

Binnen de garnalenvisserij zijn slibrijke bodems gevoeliger voor effecten van bodemberoering dan zandige bodems. Voor slibrijke bodems in de Nederlandse Waddenzee (t/m Schiermonnikoog) is een *worst case* scenario berekend met een gevalideerd slibmodel. Als het vistuig alle slib tot een diepte van 1 cm over het gehele visspoor in suspensie brengt, dan zou de invloed van de garnalenvisserij op de troebelheid van het water lokaal beperkt zijn tot ca. 5% verhoging t.o.v. natuurlijke achtergrondwaarden van de concentraties in een gebied direct ten noorden van de Afsluitdijk. Modellen van biogeochemische effecten door bodemberoering lopen wijd uiteen in de aard en de grootte van de veranderingen in de dynamiek van organisch materiaal en nutriënten. Beschikbare veldgegevens (niet voor garnalenvisserij, maar voor bodemberoerende visserij in het algemeen) geven geen duidelijke aanwijzingen voor grote effecten, maar zijn beperkt in aantal en reikwijdte.

Effecten op de garnalenpopulatie

Meerdere recente onafhankelijke modelstudies (zowel op basis van klassieke visserijmodellen, als op basis van meer complexe ecologische modellen) komen tot de conclusie dat er op dit ogenblik sprake is van groei-overbevissing van de garnaal. Met andere woorden, er worden te kleine dieren gevangen, die beter nog even hadden kunnen doorgroeien. Dit houdt in dat een vermindering van de visserij-

inspanning zal leiden tot een verhoging van de totale vangst, en dus ook tot een verhoging van de vangst per eenheid inspanning.

Eén recente studie suggereert zelfs dat er sprake is van rekruterings-overbevising, waar de intensiteit van de visserij zo hoog is dat dit leidt tot een vermindering van de reproductie in de populatie.

De huidige situatie is verschillend van de situatie in de periode 1970-1999. In die periode was vooral de natuurlijke mortaliteit (predatie door kabeljauw en wijting) regulerend voor de grootte van de garnalenpopulatie, terwijl dat nu de visserijmortaliteit is geworden.

Er is dus aanleiding voor regulering van de garnalenvisserij, zowel in het belang van de visserij zelf als met het oog op een vermindering van de ecologische druk.

Effecten op de bodemdiergemeenschap

Bodemberoerende visserij in het algemeen beïnvloedt de bodemdiergemeenschap door directe mechanische beschadiging van bodemdieren die op (epifauna) of in (endofauna) het sediment leven, en door het wegvangen (in 'bijvangst') van bodemdieren. Deze onmiddellijke effecten van visserij op de bodemdiergemeenschap leiden tot verandering in de leefomgeving en in de interacties tussen soorten (predatiedruk, competitie en facilitatie - het proces waarbij 'biobouwers' habitat creëren voor andere soorten). Deze veranderingen beïnvloeden de samenstelling van die bodemdiergemeenschap op langere termijn. Over het algemeen is het effect het grootst op gemeenschappen in sedimenten die van nature aan weinig fysische stress door stroming en golven zijn blootgesteld, en kleiner in dynamische (meestal zandige) sedimenten. De aard en grootte van de effecten hangen direct samen met de diepte tot waar het sediment door de visserij wordt beroerd.

Bij effecten beoordeling is het is belangrijk rekening te houden met zogenaamde 'shifting baselines': de huidige ecologische toestand is mede het gevolg van eeuwenlange menselijke invloeden. In de Noordzee en Waddenzee zijn over de afgelopen eeuwen belangrijke verschuivingen vastgesteld in bodemdiergemeenschappen. Dat betreft vooral de afname van epibenthische en rifvormende soorten, zoals de platte oester, zandkokerworm of ondergedoken zeegras. Sommige verschuivingen (b.v. het grotendeels verdwijnen van de platte oester) zijn mede aan visserij toe te schrijven, terwijl andere (b.v. het verdwijnen van ondergedoken zeegras in de westelijke Waddenzee) waarschijnlijk aan andere oorzaken zijn te wijten. Dit illustreert dat de huidige garnalenvisserij plaatsvindt in een systeem waarin bodemgemeenschappen door de eeuwen heen al zijn veranderd. Naast de effecten van garnalenvisserij op de huidige bodemgemeenschappen, is het daarom ook belangrijk te evalueren óf en, zo ja, in welke mate herstel van verminderde of verdwenen soorten hinder ondervindt van de garnalenvisserij.

Recent veldonderzoek naar effecten van garnalenvisserij in Nederland, Duitsland en Denemarken omvat vergelijkingen tussen langjarig beviste en onbeviste gebieden, monitoring van voor garnalenvisserij gesloten gebieden, en kortdurende experimentele vergelijkingen van beviste met onbeviste proefvlakken. In Nederland hebben methodologische problemen het doen van sluitende uitspraken over mogelijke effecten van visserij op basis van experimenten en monitoring van gesloten gebieden bemoeilijkt. De recente veldstudie in de Duitse en Deense Waddenzee vult de bestaande literatuur over effecten op bodemdieren door garnalenvisserij aan.

Meerdere studies vinden een verschuiving in de samenstelling van bodemgemeenschappen als gevolg van visserij. De aard en duur van de verschuiving verschilt per studie en varieert van af- tot toenames in soortendiversiteit en in de hoeveelheid (biomassa en aantallen) bodemdieren. Resultaten van de Duits-Deense studie suggeren dat verschillen tussen studies te maken kunnen hebben met sedimenteigenschappen. Zo suggeren de uitkomsten van de experimenten in de Duitse Waddenzee dat de effecten van garnalenvisserij klein zijn in de meest zandige gebieden, maar toenemen met een toenemend slibgehalte.

Op soortniveau relateren recente studies de garnalenvisserij aan een afname van kleine soorten (<1 cm), en een toename van dichtheden aaseters en schelpkokerwormen. Daarnaast laten twee studies een toename van de invasieve Amerikaanse zwaardschede bij een hogere garnalenvisserijdruk zien, mogelijk omdat deze 'zwemmende' schelpdiersoort een door visserij beroerde bodem gemakkelijk koloniseert. In

de Noordzeekustzone is een negatieve relatie tussen garnalenvisserijdruk en de halfgeknotte strandschelp gevonden die sterker wordt in fijner sediment. Verder zijn er historische correlatieve studies die suggereren dat habitats met bank- of rifbouwende soorten en zeegras gevoelig zijn voor verstoring door bodemberoerende visserij. Het mogelijk effect van garnalenvisserij zal waarschijnlijk beperkt zijn tot een effect op de vestigingskans van deze soorten, omdat deze visserij eenmaal ontstane banken en riffen mijdt. Er is geen onderzoek gedaan naar het effect van garnalenvisserij op de vestigingsmogelijkheden van bank- en rifvormende bodemdieren en zeegrasvelden.

Effecten op vissen en vogels

Een aanzienlijke bijvangst van vooral juveniele vis door garnalenvisserij is vastgesteld in een uitgebreide monitoring. Voor schol is geschat dat deze bijvangst kan leiden tot een afname in de paaipopulatie van 5 tot 17%. Voor andere soorten liggen de schattingen lager. Er is een effect mogelijk op permanent in het gebied verblijvende vissoorten, maar trendanalyses tonen geen onderscheid tussen visserij en andere factoren die een negatieve invloed kunnen uitoefenen. Een effect op trekvisserij komt voor (er worden trekvisserij bijgevangen), maar waarschijnlijk is dit niet bepalend voor de omvang van de populatie van deze soorten.

Garnalen zijn belangrijke predatoren van jonge vis (b.v. schol) en schelpdieren, en zijn zelf prooi van verschillende vissoorten. De omvang en opbouw van de garnalenpopulatie, zelf beïnvloed door de visserij, zal invloed uitoefenen op het voedselweb. De relaties zijn niet-lineair en slechts gedeeltelijk in kaart gebracht, zodat voorspellingen hierover zeer onzeker zijn. Er is een mogelijkheid dat intensieve visserij in concurrentie komt met het populatieherstel van wijting (en in de toekomst mogelijk kabeljauw) omdat visserij de prooidichtheid voor deze vissen vermindert.

Een belangrijk effect van de bijvangst is de onttrekking van vis aan het voedselweb. Ook al is de zeeflap erg efficiënt in het verminderen van bijvangst van grotere vis, kleine (<10cm) vis, wordt nog steeds veel bijgevangen en is dus niet beschikbaar als prooi voor andere dieren. De dagelijkse sterfte van jonge schol is verdrievoudigd sinds 1970. Deze toename wordt toegeschreven aan temperatuurstijging, toename van predatoren en effect van toegenomen visserijdruk. Het relatieve aandeel van deze afzonderlijke factoren is echter niet duidelijk. Aangezien de garnalenvisserij mogelijk de paaipopulatie van schol vermindert is het denkbaar dat de visserij invloed heeft op voedselbeschikbaarheid voor andere dieren, in maar ook buiten de N2000 gebieden.

Visserij kan effect hebben op belangrijke prooi-soorten voor vogels zoals zandspiering, direct via bijvangst of indirect via beïnvloeding van de bodemdiergemeenschap (als voedsel/leefomgeving voor vissen of vogels). Indirecte effecten zouden tevens kunnen voorkomen als visserij de vestiging van schelpdierbanken negatief beïnvloedt. Deze effecten zijn moeilijk te onderzoeken en er is in de literatuur geen eenduidig bewijs voor gevonden.

Bijvangst die als 'discards' overboord gaat, heeft een invloed op aaseters, zowel bij de bodemdieren als bij vogels. Hierover is specifiek voor garnalenvisserij weinig onderzoek gedaan, maar het effect is goed bekend voor visserij in het algemeen. Voor aaseters, die op de bodem leven, is er sprake van twee verschillende effecten: verhoogd voedselaanbod als gevolg van discards, maar ook verhoogde kans op sterfte als gevolg van beschadiging of opvissen. Daardoor laat het gecombineerde effect een optimum verband zien met de visserijdruk: positief bij lage druk door verhoogd voedselaanbod tot het niveau waarbij de kans om zelf opgevisst/beschadigd te worden het effect negatief maakt.

Effect van verstoring

Het effect van vaartuigen als verstoring op zeevogels, vooral eenden, is goed bekend en gekwantificeerd. Indien garnalenvisserij overlapt met de foerageergebieden van de zwarte zee-eend, die zeer gevoelig is voor verstoring, laten modelstudies zien dat er kans is op een effect op de draagkracht. Voor de eidereend, die minder gevoelig is voor verstoring, wordt de kans op een dergelijk effect als gering ingeschat. Verstoring van op wadplaten liggende zeehonden is mogelijk maar de vergunningsvoorwaarden sluiten deze verstoring grotendeels uit en worden volgens waarnemers van de Waddenunit goed nageleefd.

Cumulatie

In de Waddenzee en Nederlandse kustzone is garnalenvisserij slechts één van de vele menselijke activiteiten met mogelijke gevolgen voor het ecosysteem. Dit rapport wijst op het belang van cumulatie, waardoor effecten van meerdere activiteiten bij elkaar kunnen optellen, elkaar kunnen opheffen of versterken. Enkele richtinggevende voorbeelden (klimaatverandering, stikstof en verstoring) worden kort besproken, maar door gebrek aan onderzoek hiernaar voor de Nederlandse garnalenvisserij kan geen uitputtend overzicht worden gegeven.

1 Introductie

Om de hoeveelheid verantwoord te vissen garnalen af te stemmen op de mogelijke ecologische risico's daarvan gaat het ministerie van LNV onder andere uit van de ecologische randvoorwaarden zoals geformuleerd in Natura2000-doelstellingen. Om die reden heeft het ministerie van LNV gevraagd een beoordeling van de ecologische risico's van garnalenvisserij uit te voeren. Deze beoordeling moet berusten op betrouwbaar onderzoek om zo een basis te kunnen vormen voor toekomstig beleid op langere termijn en richting te geven aan nader onderzoek naar kennislacunes. Voor de visserij is deze beoordeling van belang om vissers een duidelijk toekomstperspectief te kunnen bieden.

Het is van belang dat de beoordeling breed gedragen wordt vanuit de beschikbare wetenschappelijke expertise. Daarom is er een commissie van experts aangezocht met verschillende achtergronden, van fundamenteel tot toegepast onderzoek, en van universiteiten en onderzoekinstellingen. De commissie bestond uit Herman Eijsackers (vz), Tjisse van der Heide, Klemens Eriksson, Peter Herman, Jaap van der Meer, Hans Polet en Ingrid Tulp, met als secretaris Paulien de Bruijn (tot 24 juli) en Romy Lansbergen (vanaf 24 juli). Door de commissie zijn voor mogelijke effecten van de garnalenvisserij aanwijzingen verzameld waarmee risico's ingeschat kunnen worden. Bij elk risico is tevens een inschatting gemaakt van de sterkte van het bewijs daarvoor.

In het rapport van (Quirijns et al. 2021) waarin de garnalenvisserij en mogelijke effecten worden beschreven, staat een tabel met de diverse mogelijke risico's op effecten van garnalenvisserij. Deze tabel is in dit project in aangepaste vorm als leidraad genomen. In een stakeholdersbijeenkomst is de tabel geïntroduceerd en is aan partijen de gelegenheid gegeven deze te becommentariëren. Het is onmogelijk om alle risico's van garnalenvisserij te bekijken, maar met deze tabel kunnen wel die risico's worden beschreven die volgens de brede groep van experts de belangrijkste zijn. In deze rapportage zijn de onderwerpen van deze oorspronkelijke risicotabel uitgesplitst per hoofdstuk.

Aan de tabel is, naast een overzicht van mogelijke effecten en studies waarin deze zijn onderzocht, een kolom toegevoegd waarin de sterkte van het bewijs (*level of evidence*) per studie wordt aangegeven. Deze sterkte is gebaseerd op de systematiek van Mupepele et al. (2016) waarin een 'hiërarchische pyramide van bewijsvoering' ('hierarchy of evidence pyramid') wordt gebruikt om de sterkte van het bewijs in een wetenschappelijke publicatie te duiden. In de gezondheidszorg is dit een veel gebruikte benadering. Mede afhankelijk van de toepassing zijn er over de jaren meerdere pyramides met verschillende indelingen ontwikkeld en de systematiek van Mupepele et al. (2016) is een uitwerking specifiek voor ecologische beoordelingen. Deze methode maakt gebruik van een pyramide met een relatief simpele indeling in vier niveaus. Het vierde en laagste niveau betreft expert judgement, het derde niveau omvat observationele en/of correlatieve studies. Artikelen op het tweede niveau beschrijven experimentele studies. Op het eerste niveau vindt men reviews waarin meerdere eerdere studies worden samengebracht en geanalyseerd. Modelstudies kunnen zich op elk van de bovengenoemde niveaus bevinden; hun waardering hangt af van de onderliggende data en hun validatie. Uitgangspunt was dat de betreffende onderzoeken schriftelijk gerapporteerd (in wetenschappelijke tijdschriften of rapporten) en door collega's beoordeeld (interne of externe peer review) moesten zijn; enkele studies zijn alleen intern gereviewd. Tenslotte is er nog een laatste kolom toegevoegd waarin, indien mogelijk, per geëvalueerd effect meerdere studies worden samengevoegd om tot één bewijssterkte voor een effect te komen. Wanneer een studie, of combinatie van studies, samen meerdere lijnen van bewijs aandragen, kan de bewijssterkte een niveau hoger uitkomen dan het bewijs dat in de afzonderlijke studies wordt geleverd (Mupepele et al. 2016).

Verscheidene leden van de commissie hebben ieder een bepaald onderwerp (sediment, bodemleven, garnalenpopulaties, bijvangst) uitgewerkt. Alle bijdragen zijn door de commissie intern besproken en onderling becommentarieerd en zo nodig aangepast. Een concept-versie van het eindrapport is toegestuurd aan de deelnemers van de stakeholder bijeenkomst om feitelijke onjuistheden aan te geven, deze opmerkingen zijn waar relevant verwerkt. Een allerlaatste versie is door de directies van WMR en Waddenacademie gescreend op duidelijkheid en eenduidigheid.

Het kan voorkomen dat er geen onderzoek is gedaan naar bepaalde effecten in de Nederlandse wateren, maar wel elders in de wereld. Indien de situatie daar vergelijkbaar is met de situatie in Nederland, is dat onderzoek meegenomen.

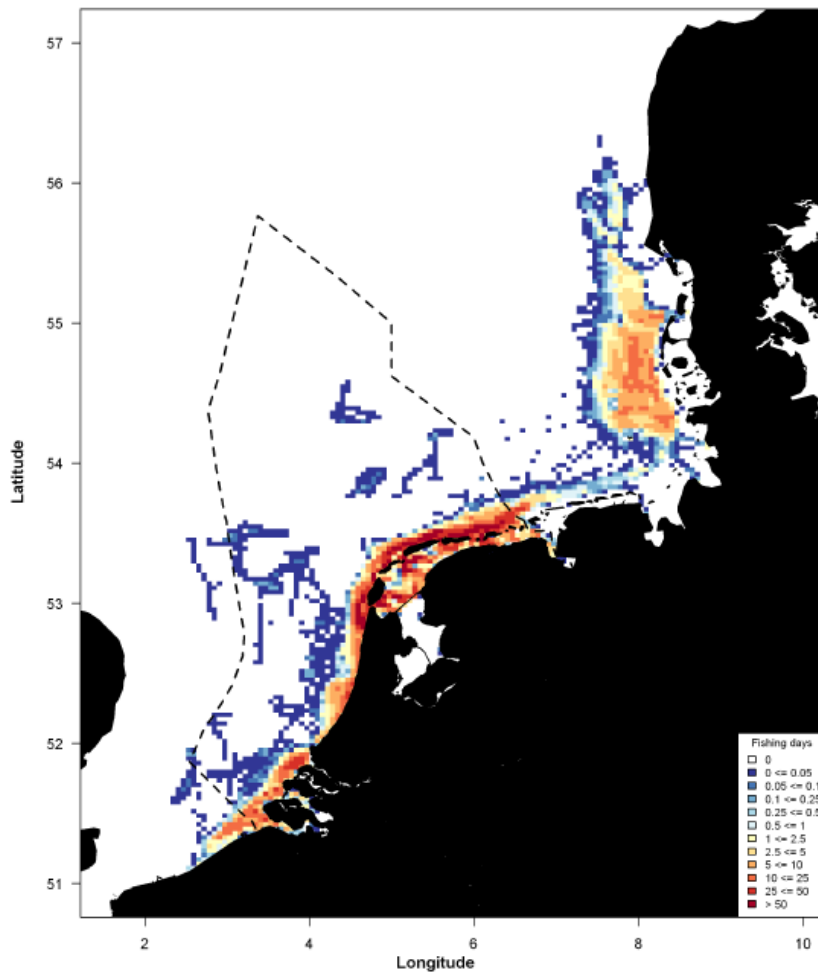
Niet meegenomen is in dit project:

- In uitvoering zijnde, en nog niet gepubliceerd onderzoek
- Studies uit andere delen van de wereld indien de omstandigheden van dat onderzoek onvoldoende vergelijkbaar zijn met de Nederlandse situatie.
- Nieuw uit te voeren onderzoek. De invulling van geconstateerde kennislacunes zal in een vervolgfase gebeuren
- Consequenties van de risico's voor visserij, beheer of beleid. Dit is risicomanagement en geen risicobeoordeling zoals gevraagd aan deze commissie
- Juridische kaders, omdat het in dit project primair gaat om de ecologische risico's

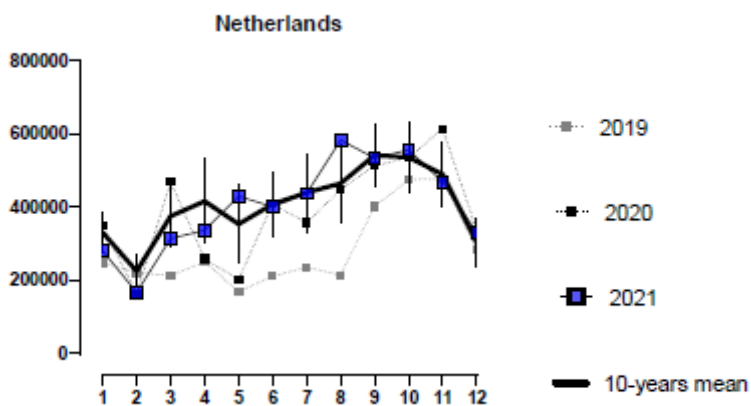
In het rapport wordt eerst kort ingegaan op aard en omvang van de garnalenvisserij in Nederland. Vervolgens worden de effecten van garnalenvisserij op de bodem van Waddenzee en Noordzeekustzone beschreven, gevolgd door een hoofdstuk over de gevolgen voor de garnalenpopulatie en de prooien en predatoren van garnalen. In de daaropvolgende hoofdstukken worden de effecten beschreven op ongewervelde bodemdieren en planten, de indirecte effecten op vogels en zoogdieren en de effecten van de bijvangst van vissen. In de laatste twee hoofdstukken wordt ingegaan op de effecten van verstoring en de mogelijke cumulatieve effecten die zouden kunnen optreden. Tenslotte wordt ingegaan op de belangrijkste geconstateerde hiaten in de kennis.

2 Garnalenvisserij in Nederland

Garnalenvisserij is een lichte vorm van boomkorvisserij met klossenpezen in plaats van wekkerkettingen die bij de platvisvisserij worden gebruikt. In Nederland worden garnalen langs een groot deel van de kustzone bevestigd. Onderstaande figuur illustreert het verspreidingsgebied van de Nederlandse garnalenvisserij voor een willekeurig kwartaal en jaar.



Figuur 1. Nederlandse visserij-inspanning in visdagen per jaar gericht op garnalen, gemiddeld over de periode 2018 t/m 2020. Gebaseerd op registraties waarbij de snelheid tussen 0,1-5,5 zeemijl/uur lag. Uitgedrukt in visdagen per gridcel van ~16 km². De gestreepte lijn begrenst het Nederlands Continentaal Plat. Bron: VMS-gegevens, bewerkt door Wageningen Marine Research (methode volgens (Hintzen et al. 2013)). Overgenomen uit Quirijns et al 2021.



Figuur 2. Visserij-intensiteit (aantal pk-dagen per maand) door Nederlandse vissers voor de jaren 2019-2021 en het 10-jarige gemiddelde voor de periode 2012-2021 (ICES 2023).

De visserij-intensiteit door Nederlandse vissers varieert tussen gebieden en vertoont een duidelijk seizoenspatroon, met een piek in de nazomer/herfst (Figuur 2).

De garnalenvisserij maakt gebruik van netten met een kleine maaswijdte (20-24, vanaf 2023 25 mm). Om bijvangsten te verminderen zijn garnalenvissers sinds het jaar 2000 verplicht om een zogenaamde 'zeeflap' te gebruiken. De zeeflap bestaat uit een grootmazig netwerk, dat schuin in het net is geplaatst. Garnalen kunnen de mazen van de zeeflap passeren en in de kuil terechtkomen. Grotere vissen kunnen de zeeflap niet passeren en ontsnappen door een ontsnappingsgat in de buik van het net. Kleinere vissen belanden samen met de garnalen in de kuil van het net. In de zomermaanden kan de zeeflap dichtlopen met zeesla, dan mag ook een andere netaanpassing, de brievenbus gebruikt worden. De brievenbus bestaat uit een overdwarse snede in de onderkant van het net. Deze opening moet ervoor zorgen dat platvissen kunnen ontsnappen.

3 Effecten garnalenvisserij op sedimenten, primaire productie en biogeochemische processen.

3.1 Overzicht

Bodemberoerende visserij, waaronder garnalenvisserij, kan op verschillende manieren het sediment en het organisch materiaal dat in sediment is begraven, beïnvloeden. Gebaseerd op een overzicht in (Epstein et al. 2022) worden hieronder de mogelijke effecten kort opgesomd, toegespitst op hun toepasbaarheid voor de Nederlandse garnalenvisserij. Op basis van deze eerste schifting, worden mogelijk belangrijke effecten daarna nader besproken.

(a) effecten op lokale benthische primaire productie. Effecten op macroalgen zijn niet van toepassing, omdat deze niet groeien in het gebied waar de garnalenvisserij actief is. Mogelijke effecten op (vestiging van) zeegras wordt behandeld in hoofdstuk 5. Alleen een mogelijk effect op benthische algen (microfyto benthos) kan van toepassing zijn. Effecten variëren van negatief (wegnemen biomassa door opwerveling) tot positief (bevordering groei door vrijstellen nutriënten). In de relatief troebele Nederlandse kustwateren is het effect beperkt, omdat productie van microfyto benthos bijna overal beperkt is tot het intergetijdegebied. (van der Wal et al. 2010) vonden alleen in de (relatief heldere) Oosterschelde aanwijzingen dat microfyto benthos tot in het subtidaal kan groeien. Dit effect, hoewel niet rechtstreeks onderzocht, kan als laag risico worden omschreven en wordt niet nader besproken.

(b) effecten op de dynamiek van organisch koolstof en nutriënten via het beïnvloeden van de benthische fauna. In de mate dat verandering van de benthische fauna optreedt door visserij, kunnen indirecte effecten worden verwacht op bioturbatie en bio-irrigatie. [bioturbatie: het mengen van sediment en organisch materiaal door organismen, bv. als gevolg van het graven van gangen of opname van sediment voor voeding; bioirrigatie: het veroorzaken van stroming van vloeistof door het sediment, bv. de stroming die dieren opwekken in hun gangen voor hun eigen zuurstofvoorziening]. De meeste organismen die in het sediment leven, veroorzaken een of andere vorm van bioturbatie of bioirrigatie. Dit wordt nader besproken.

(c) Effecten op de samenstelling van het sediment. Deze effecten treden op als sediment wordt opgewerveld. De zinksnelheid van sedimentdeeltjes is afhankelijk van de korrelgrootte. De grovere deeltjes bezinken meteen in het beviste gebied, maar de fijne deeltjes blijven langer in suspensie. Als er een netto stroming in het gebied aanwezig is, kunnen zij worden weggevoerd, waardoor het sediment grover van aard wordt (verarmd in fijnere deeltjes). Sterke effecten van deze aard zijn bijvoorbeeld beschreven op de rand van het continentale plat, waar fijne sedimentdeeltjes naar de oceaan kunnen worden getransporteerd en een grovere fractie overblijft in het beviste gebied (review in (Martín et al. 2014)). In de Waddenzee kan dit proces optreden waar garnalenvissers relatief slibbige bodems bevissen. In de Nederlandse Noordzee wordt vrijwel uitsluitend op zandige bodems gevist en is het effect dus minder belangrijk. Dit effect wordt verder in dit hoofdstuk nader besproken.

(d) Effecten op de dynamiek van het sediment. Herhaalde opwerveling en sedimentatie kan de structuur van de bovenste sedimentlaag veranderen, en invloed uitoefenen op de dynamiek van het organisch materiaal dat in het sediment is opgeslagen. Dit effect wordt eveneens nader besproken.

(e) Effecten op de pelagische primaire productie. Waar sterke opwerveling van sediment optreedt, kan de primaire productie door pelagische algen negatief beïnvloed worden door vermindering van het licht, en positief door de bodemnutriënten die bij de opwerveling vrijkomen. In Nederlandse kustwateren wordt primaire productie beperkt door licht en nutriënten, waardoor een effect mogelijk is. Dit wordt nader besproken.

3.2 Bodemberoering – de technische kant

Bodemberoering is een complexe wisselwerking van vistuigkarakteristieken, kenmerken van het habitat en gevoeligheid van de levende organismen in en op de zeebodem voor verstoring. Aan de basis ligt het technisch ontwerp van de garnalenboomkor waarvan de bodemberoerende onderdelen bestaan uit de sloffen en de klossenpees. De sloffen dringen het diepst in de bodem en van de klossenpees rollen de klossen over de bodem en het deel van de pees tussen de klossen raakt doorgaans de bodem niet. De buitenste klossen kunnen door hun scheve positie ten opzichte van de vaarrichting wel dieper de bodem in getrokken worden. Voor de garnalenboomkor kan dan bepaald worden hoeveel oppervlak er beroerd wordt en hoe diep het vistuig gemiddeld penetreert in de bodem. De druk van deze visserij op de bodemhabitat wordt dan bepaald door het aantal uren vissen te vermenigvuldigen met de vissnelheid en de breedte van de vistuigen. De druk op het bodemleven (uitgedrukt in een oppervlakte waar de bodemdieren gedood zijn) wordt bepaald door dit cijfer te vermenigvuldigen met de procentuele sterfte dat het vistuig teweegbrengt, wat verschilt naargelang het type vistuig.

Om de impact van de visserij te bepalen dient de gevoeligheid van habitat en bodemleven in rekening gebracht te worden. Dit hangt af van het type sediment (stenen, zand, slib of een tussenvorm) en van de natuurlijke verstoring. Beide elementen bepalen voor een groot stuk welke dieren er leven en hoe gevoelig ze zijn voor mechanische verstoring.

De combinatie van druk van de visserij en gevoeligheid van de zeebodem geeft dan de impact. De waarden van de indicatoren voor de garnaalvisserij zijn bepaald op basis van de types garnaalboomkorren die gebruikt werden tijdens de experimenten. De praktijk toont echter dat dé garnaalboomkor niet bestaat. Er is een grote variatie in gewicht van de boom, de sloffen en de klossen. Ook het ontwerp van de klossenpees varieert met lichte klossen en open ruimte tussen de klossen tot zwaardere klossen. Deze variatie dient in rekening gebracht te worden om een correcte beoordeling te maken van de impact op het benthische ecosysteem. Een inventarisatie van in de praktijk gebruikte tuigontwerpen is echter niet beschikbaar.

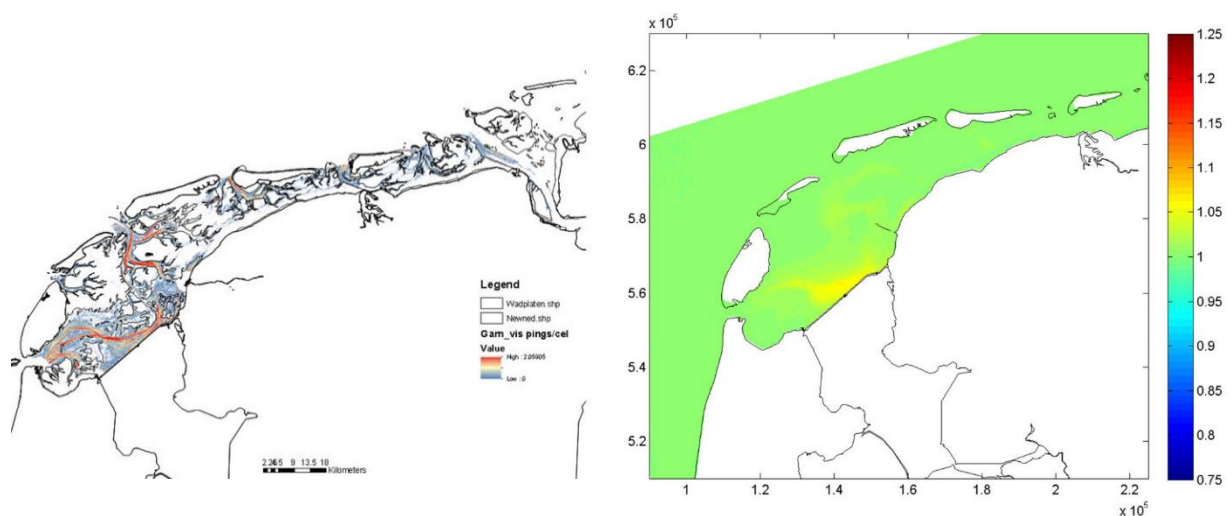
3.3 Effecten op samenstelling en dynamiek van het sediment

Als gevolg van het opwoelen (d.i. in suspensie brengen) van sediment, kan de korrelgrootteverdeling van het sediment veranderen als niet alle fracties op gelijke wijze in het sediment terugkeren. Dit is het geval wanneer de fijne fractie, die langdurig in suspensie blijft, door waterbeweging wordt weggevoerd van het beviste gebied en elders sedimenteert.

Opwoeling van sediment door bodemberoerende visserij is in de literatuur goed gedocumenteerd. Sterke effecten zijn beschreven in de diepe voren die worden getrokken door de scheerborden van visbordnetten ('otter trawls') en in het spoor van diepe dreggen voor schelpdieren en van zware wekkerkettingen van boomkorren. (Eigaard et al. 2016) geven gedetailleerde schattingen van het percentage van de oppervlakte van het visserijspoor dat dieper dan 2 cm wordt beroerd. Dat is voor garnalenvisserij ongeveer 50% van de oppervlakte. Het volume sediment dat per eenheid beroerd oppervlak in suspensie wordt gebracht (m^3/m^2 , dus met een dimensie van m en te beschouwen als een equivalente resuspensiediepte) is echter veel lager dan de maximale diepte waarop het tuig de bodem beroert. (Durrieu de Madron et al. 2005) vonden, op basis van de gemeten massabalans van opgewerveld sediment voor visbordnetten met een bodemberoerende spankabel, een resuspensiediepte van ongeveer 0.5 mm, gemiddeld over het beroerd oppervlak. De geobserveerde diepte was vooral een functie van het kleigehalte van het sediment. (Dellapenna et al. 2006) vonden een resuspensiediepte door garnalenvisserij met visbordnetten en een

wekkerketting, van 0.24 cm gemiddeld over het beviste oppervlak, wat overeenkwam met gemiddeld 1.6 cm over de oppervlakte beroerd door de scheerborden (1/6 van de beviste oppervlakte). Het meeste geresuspendeerde sediment was na 14 minuten weer op de bodem afgezet, omdat het als vlokken snel uit het water zakte. Vlokvorming is een proces waarin fijne sedimentdeeltjes aan elkaar kitten als ze in hoge concentratie zijn gesuspendeerd, vergelijkbaar met ijskristallen in een sneeuwvlok. Daardoor ontstaan grotere samengestelde deeltjes die sneller bezinken. Het is ook voor Nederlandse estuaria en kustzee een bekend verschijnsel. Beide studies zijn gebaseerd op veldwaarnemingen, en vatten dus alle invloeden op opwerveling (scheerborden, wekkerketting, slepend net) samen. In vergelijking met de resuspensie door stroming en golven, is resuspensie door visserij gewoonlijk alleen van belang in dieper water met fijn sediment, omdat daar de natuurlijke opwerveling klein is (Martín et al. 2014).

Een belangrijke vraag is waar het opgewervelde sediment terecht komt nadat het weer uit de waterkolom is uitgezakt. In een gebied zonder stroming kan geen netto transport naar andere gebieden plaatsvinden en kan dus worden verwacht dat, netto over het gebied, de samenstelling van het sediment niet zal veranderen. Waar getijdenstroming perfect symmetrisch is, geldt hetzelfde, tenminste als visserijactiviteit onafhankelijk is van het getij. Wegvoeren en elders deponeren van fijn sediment dat door visserij is opgewoeld, kan echter in bepaalde gevallen wel degelijk optreden. Het is gerapporteerd in dieper water dicht bij de rand van het continentaal plat (Martín et al. 2014). Het effect kan ook niet worden uitgesloten als de sterke getijdenstromingen voor een kust een niet-verwaarloosbare reststroom hebben. De reststroom is het verschil tussen vloed en eb, en betreft dus netto transport op tijdschalen langer dan één getij. Alle materiaal dat in suspensie komt, kan netto verplaatst worden. Dit kan in principe aanleiding geven tot een vergroving van het sediment door herhaalde bodemberoering door visserij.



Figuur 3. Links: ping-kaart van de Waddenzee representatief voor de intensiteit van garnalenvisserij. Kleurindicatie is van blauw (lage visserijintensiteit) naar rood (hoge intensiteit). Rechts: berekende relatieve verandering van de tijdgemiddelde concentratie van slib in de Waddenzee boven in de waterkolom ten gevolge van garnalenvisserij. < 1 (blauw) is een verlaging, >1 (geel-rood) is een verhoging van de slibconcentratie; 1 (groen) is geen verandering. Overgenomen uit (van Duren, et al. 2015).

Voor de Nederlandse garnalenvisserij, die meestal plaatsvindt op zandig sediment met een beperkt kleigehalte, in ondiep water waar natuurlijke resuspensie belangrijk is, lijkt de kans klein dat resuspensie aanzienlijk bijdraagt aan de totale opwoeling van sediment. Een 'worst-case scenario' hiervoor is uitgewerkt in een model door (Kuijper and Brinkman 2015), (van Duren et al. 2015). Het onderzoek was gericht op slibresuspensie in de Waddenzee. In vergelijking met de garnalenvisserij in de Nederlandse kustzone, wordt hier op relatief slibrijke bodems gevist. Modelberekeningen waren verder 'worst-case' door twee andere belangrijke aannames. De eerste is dat gebruik is gemaakt van een relatief ruwe sedimentkaart, die door interpolatie vanaf omringende platen hogere slibgehalten in de beviste geulen

voorspelt dan meestal wordt gevonden. De tweede is dat is aangenomen dat het sediment over het gehele visspoot tot 1 cm diepte volledig wordt opgewoeld. Omdat het vistuig slechts over de helft van het spoor het sediment tot op een diepte van 2 cm beroert (Eigaard, et al. 2016), is de facto aangenomen dat op al die plaatsen ook effectief 2 cm wordt opgewoeld. Dit is, zoals hoger aangegeven, een factor 2 tot 4 hoger in vergelijking met waarnemingen op basis van gemeten slibpluimen, zoals bv. in Durrieu de Madron, Ferré et al. (2005) en (Dellapenna et al. 2006). Daarbij moet in aanmerking worden genomen dat die studies zijn uitgevoerd aan visserij met scheerborden en een spankabel of wekkerketting. Ook met deze extreme aannames is berekend dat garnalenvisserij gemiddeld over de Waddenzee verantwoordelijk is voor 0.5 % van de natuurlijk optredende resuspensie van slib (Kuijper et al. 2015). Lokaal kan de concentratie gesuspendeerd slib in de waterkolom tot ongeveer 5% hoger worden dan de natuurlijke achtergrond (Figuur 3). Dit is het geval in de relatief slibrijke gebieden net ten noorden van de Afsluitdijk. Op deze plaats berekent het model een kleine verarming van het sediment in fijn slib, omdat een deel van het opgewervelde slib naar elders wordt getransporteerd.

Op basis van deze worst-case berekening kan geconcludeerd worden dat garnalenvisserij geen factor is die bijdraagt tot vertroebeling van de Waddenzee. De berekening is gebaseerd op een model dat is gevalideerd met veldwaarnemingen van waterbeweging, bodemsamenstelling en concentratie zwevende stof. Of resuspensie van slib aanleiding geeft tot vergroving van het sediment is minder zeker. Effecten op de slibbige sublittorale vlakke delen waren beperkt, maar in de geulen, waar weliswaar minder slib in het sediment aanwezig is, is de potentie voor wegvoeren van het slib met depositie elders veel groter, omdat de residuale getijstrooming (verschil tussen eb en vloed) veel groter is. Echter, omdat geulen van nature een belangrijke rol spelen in het transport van slib vanaf de Noordzee richting de platen van de Waddenzee, is de kans groot dat een klein visserij-effect wegvalt tegenover de grote natuurlijke fluxen. De onzekerheid blijft dan groot.

In de Noordzeekustzone is het sediment overwegend zandiger dan in de Waddenzee, omdat het blootgesteld is aan sterkere golfslag en stromingen. Effecten van opwoeling van slib zullen daardoor beperkter zijn. Residuele stromingen zijn ruimtelijk variabel, maar over het algemeen kleiner dan in de geulen van de Waddenzee. Er kan geconcludeerd worden dat berekeningen voor de Waddenzee een 'worst case' voorstellen in vergelijking met de Noordzee.

Behalve korrelgrootteverdeling zijn mogelijke bijkomende effecten van bodemberoerende visserij een verandering van de oppervlaktestructuur door 'aanvegen' van het sediment (Martín, Puig et al. 2014), een verandering van de porositeit en erosiebestendigheid van het sediment nadat het is opgewoeld en geresedimenteerd, en een verandering in de biogeochemische processen in het sediment. Elk van deze mogelijke effecten wordt hieronder besproken.

Het 'aanvegen' en daardoor gladder maken van het sedimentoppervlak (zie referenties in (Martín et al. 2014) wordt vaak waargenomen als gevolg van visserij. Het is een gevolg van het opwerpen van sediment en van het slepen van het volle net over de bodem. Het is echter onduidelijk of dit verdergaande ecologische gevolgen heeft. Voor wat betreft garnalenvisserij met lichte boomkorren, zoals in Nederland wordt toegepast, is geen specifieke informatie gevonden.

Het veranderen van de porositeit en erosiebestendigheid van sediment is alleen van belang voor slibbige, cohesieve sedimenten. De toepasbaarheid voor garnalenvisserij is daardoor beperkt.

Verandering van koolstofdynamiek is potentieel een probleem dat voor bodemberoerende visserij in het algemeen is aangekaart in een publicatie van (Sala et al. 2021). Het aangevoerde effect hangt vooral samen met opwerveling van sediment (waardoor het organisch materiaal op een andere manier aan zuurstof en aërobe microbiële processen wordt blootgesteld) en aantasting van het macrobenthos dat verantwoordelijk is voor bioturbatie en bioirrigatie. Daardoor zou de mineralisatie van organisch materiaal in het sediment sterk bevorderd worden. Dit heeft niet alleen gevolgen voor de opslag van organisch koolstof in het sediment, maar eveneens voor fluxen van nutriënten. De inschatting door Sala et al. (2021) is echter bekritiseerd door (Hiddink et al. 2023), die stellen dat het effect door verkeerde modelaannames met meer dan een orde van grootte wordt overschat. In hun weerwoord (Atwood et al. 2023) herhalen de

oorspronkelijke auteurs vooral hun eerdere stellingen, maar weerleggen zij de kritiek ten gronde niet. Een grondig review van veldgegevens over allerlei soorten bodemberoerende activiteiten wereldwijd door Epstein et al. (2022) leverde gemengde resultaten op. In de meeste studies kon geen effect worden aangetoond. In de studies waar wel een effect werd aangetoond, waren er iets meer gevallen met een vermindering van het organisch koolstofgehalte dan een vermeerdering, maar het verschil was klein en een uitspraak op basis van meetgegevens is niet mogelijk. Verwacht kan worden dat het effect kleiner en moeilijker aantoonbaar is in zandige sedimenten met een zeer lage concentratie organisch materiaal. Daarom is het onwaarschijnlijk dat garnalenvisserij kan leiden tot een verlaging van de capaciteit van sedimenten om koolstof op te slaan. Het resultaat kan worden samengevat als "geen eenduidig effect, belang voor de garnalenvisserij niet waarschijnlijk", maar de onzekerheid over de conclusie is groot.

Andere biogeochemische fluxen, bv. de uitwisseling van nutriënten en zware metalen tussen sediment en water, kunnen eveneens een functie zijn van veranderingen in redoxcondities door bodemberoerende visserij. (Warnken et al. 2003) onderzochten fluxen van zuurstof, nutriënten en metalen tussen sediment en water voor en na garnalenvisserij. Dit betrof garnalenvisserij met scheerborden en een wekkerketting. Zij vonden geen veranderingen in deze fluxen, met uitzondering van een verandering in de uitwisselingsflux van cadmium (Cd), dat hier primair als een geochemische tracer en niet als een pollutant werd bestudeerd. Omdat Cd zeer gevoelig is voor redoxcondities, kan dit wijzen op een invloed van visserij op de oxidatiecondities in het sediment. Die verandering werd niet vertaald in een verandering van de ecologisch meest relevante fluxen van nutriënten en organisch koolstof. Een recente studie van (Bradshaw et al. 2021) naar biogeochemische effecten van kabeljauwvisserij met scheerborden op slibrijke sedimenten in de Oostzee bevestigt dit beeld, en documenteert ook veranderingen in fluxen van ecologisch relevante nutriënten. Vergelijkbare biochemische studies naar de effecten van garnalenvisserij zijn ons niet bekend.

Verandering in biogeochemische fluxen kan ook een indirect gevolg zijn van veranderingen in de benthische fauna, omdat de fauna via bioturbatie en bioirrigatie invloed uitoefent op de biogeochemie van het sediment. Voor effecten van visserij op de fauna wordt verwezen naar Hoofdstuk 5. Er is geen onderzoek bekend dat deze effecten vertaalt naar biogeochemische fluxen en daardoor naar verdergaande ecologische gevolgen.

3.4 Beïnvloeding van primaire productie door opwerveling.

Zoals hierboven aangegeven, is het onwaarschijnlijk dat garnalenvisserij tot vertroebeling leidt. Voor zover er toch vertroebeling optreedt, is het effect daarvan niet eenduidig te voorspellen. In de meeste Nederlandse kustwateren is de primaire productie beperkt door een co-limitatie van licht en nutriënten. Voor de Waddenzee geven (van Beusekom et al. 2019) een uitgebreide bespreking van deze literatuur. Samenvattend concluderen vooral oudere studies, uitgevoerd tijdens de piek van de eutrofiëring van de Waddenzee, dat de primaire productie in de eerste plaats licht-gelimiteerd is. Recentere studies, vanaf ongeveer 2000, vinden vooral een grote invloed van nutriëntenbeperking (van Beusekom et al. 2019). In de Noordzee, waar relatief meer licht in de waterkolom doordringt omdat er minder slib is gesuspendeerd, is nutriëntenbeperking nog belangrijker (bv. (Burson et al. 2016). Bij co-limitatie door licht en nutriënten is de invloed van een beperkte vertroebeling op de primaire productie klein. Verhoogde lichtbeperking in de lente zorgt ervoor dat nutriëntenbeperking iets later in de tijd optreedt, maar per saldo wordt de lentepiek vooral bepaald door de hoeveelheid nutriënten die in de winter aanwezig waren. Daarna neemt nutriëntenbeperking over en is de primaire productie ongeveer gelijk. In de herfst, nadat een deel van de nutriënten zijn gerecycled, kan opnieuw door vertroebeling een lichte vermindering van productie optreden. Op jaarbasis wordt de productie echter grotendeels door de aanwezige nutriënten bepaald. De invloed van garnalenvisserij op de pelagische productie in Waddenzee en Noordzee kan als zeer klein worden ingeschat, omdat vertroebeling zeer beperkt is en – als ze optreedt – beperkt invloed heeft op de productie op jaarbasis.

Tabel 1. Overzicht van mogelijke effecten van garnalenvisserij op het sediment en primaire productie. Gebaseerd op de systematiek van Mupepele et al. (2016) is per studie en hun combinatie (totaalbeeld) bepaald of er een effect is gevonden, de richting van het effect (geen, verschuiving, toename, afname), en hoe sterk het bewijs ervoor is (zie voetnoot). Voor bewijssterkte 4 – de inschatting van experts – worden potentiële effecten als “mogelijk” of “onwaarschijnlijk” aangeduid, aangezien deze verder niet zijn onderzocht.

Effecttype	Studies	Effect per studie (bewijssterkte*)?	Totaalbeeld effect (bewijssterkte*)?
Benthische algen	Geen effectstudies Voorkomen: van der Wal et al. (2010)	Geen ruimtelijke overlap (2)	Geen effect verwacht (2)
Opwerveling slib door visserij-activiteit	Review in (Martín et al. 2014)	Direct waargenomen in vele studies, vooral belangrijk in slibrijk sediment (1)	Direct waargenomen in vele studies, vooral belangrijk in slibrijk sediment (1)
Vertroebeling waterkolom	Kuiper & Brinkman (2015); van Duren et al. (2015)	Veel lager dan natuurlijke slibdynamiek, lokaal tot 5 % verhoging slibgehalte in worst-case scenario (2)	Veel lager dan natuurlijke slibdynamiek, lokaal tot 5 % verhoging slibgehalte in worst-case scenario (2)
Verandering sedimentsamenstelling	Kuiper & Brinkman (2015); van Duren et al. (2015)	Zeer beperkt, alleen gezien in geulen (3)	Zeer beperkt, alleen gezien in geulen (3)
Verandering in porositeit en erosiebestendigheid door ‘aanvegen’ en resedimentatie	Martín et al. (2014) voor visserij wereldwijd Geen Nederlandse studies	Mogelijk effect in slibrijk sediment (4)	Mogelijk effect in slibrijk sediment, waarschijnlijk onbelangrijk in Nederlandse garnalenvisserij (4)
Verandering biogeochemische processen en fluxen	Warnken et al. (2003)	Geen significante invloed op zuurstof-nutriënten- en metaalfluxen, met uitzondering van Cd (1)	waarschijnlijk van gering belang voor NL garnalenvisserij (4)
	Bradshaw et al. 2021	Sterke invloed scheerbordvisserij op biogeochemische fluxen in zacht sediment (1)	
	Sala et al. (2021)	Modelvoorspelling sterk effect visserij op koolstofopslag (2)	
	Hiddink et al. (2023)	Veel geringer effect bij correct model (2)	
	Epstein et al. (2022)	Geen direct bewijs uit meta-analyse veldstudies (2)	
Vermindering pelagische primaire productie door vertroebeling	van Beusekom et al. (2019) Burson et al. (2016)	Co-limitatie licht en nutriënten in Waddenzee (1) Ook sterke rol nutriëntenbeperking in Noordzee (1)	Door co-limitatie met nutriënten beperkt belang vertroebeling. Door beperkte omvang vertroebeling, overall effect gering (3)

* Bewijssterkte volgens systematiek Mupepele et al. (2016): 1 - Erg sterk bewijs; 2 - Sterk bewijs; 3 - Matig bewijs; 4 - Zwak bewijs.

4 Mogelijke effecten van garnalenvangst op de garnalenpopulatie en op prooien en predatoren van garnalen

4.1 Groei- en rekruterings-overbevissing

Visserijbiologen gaan er van uit dat visvangst en dus ook garnalenvangst zal leiden tot een verlaging van het bestand van de individuen die bevestigd worden. Goed visbestandsbeheer moet er echter in elk geval voor zorgen dat het bestand aan geslachtsrijpe dieren niet zo laag wordt dat de aanwas van jonge vangbare dieren (de zogeheten rekruterings) in gevaar komt. Nu is bij de meeste vissoorten en zeker ook bij de garnaal, de reproductiecapaciteit zo hoog dat er onder natuurlijke omstandigheden geen plek in het ecosysteem is om alle larven te laten uitgroeien tot een rekrut. Dit uit zich in een niet-lineair verband tussen het totale gewicht van de ei-dragende vrouwtjes (de paaibiomassa) en de rekruterings. Boven een bepaalde paaibiomassa neemt de verwachte rekruterings niet meer toe of neemt zelfs af. Een verlaging van het bestand aan paarijpe vrouwtjes hoeft de rekruterings dus niet te verlagen. Als de paaibiomassa echter zo laag wordt dat de verwachte rekruterings wel afneemt, dan spreekt men van rekruterings-overbevissing. Het gevaar van deze vorm van overbevissing is dat het bestand door te weinig aanwas instort en niet meer herstelt. Een andere vorm van overbevissing is groei-overbevissing. Dit treedt op als te jonge dieren, waarbij de relatieve groeisnelheid (uitgedrukt in 1/tijdseenheid) groter is dan de relatieve natuurlijke sterfte (ook in 1/tijdseenheid), gevangen worden. Vanuit het oogpunt van de visser kan je zulke dieren beter nog even laten doorgroeien en pas vangen als de groei afvlakt en lager wordt dan de natuurlijke sterftesnelheid. De vangsten zullen dan hoger zijn en groei-overbevissing is dus nadelig voor de vissers zelf. Mits er niet tegelijkertijd rekruterings-overbevissing plaatsvindt, maakt het voor de garnalenpopulatie niet veel uit of de individuen wat eerder of wat later weggevangen worden.

Ruim twintig jaar geleden vonden Welleman and Daan (2001) dat de natuurlijke mortaliteit van de garnalenpopulatie als gevolg van predatie door kabeljauw en wijting veel groter is dan de visserijmortaliteit. Dit gegeven plus het feit dat de bestandsschattingen op basis van zowel wetenschappelijke studies (Demersal Fish Survey) als op basis van de aanlandingen (Landings Per Unit Effort) min of meer constant bleven voor de hele onderzoeksperiode 1970-1999, bracht hen tot de conclusie dat de garnaal op een duurzame wijze bevestigd wordt en er geen sprake is van rekruterings-overbevissing. Maar sinds het verschijnen van deze studie is de situatie veranderd. De bestanden van kabeljauw en wijting zijn op de Noordzee en met name in de kustzone sterk achteruitgegaan en de visserijdruk op de garnaal is toegenomen. (Temming and Hufnagl 2015) laten zien dat vooral na 2010 de natuurlijke mortaliteit van grote garnalen (> 5cm) door predatie van kabeljauw en wijting beduidend lager is dan de visserij-mortaliteit. Waar aan het einde van de jaren '70 beide vissoorten samen ongeveer 40 000 ton aan grote garnalen per jaar opaten in de Noordzee, zakte dat tot iets meer dan 10 000 ton per jaar in de eerste decade van deze eeuw. De visserijvangsten stegen in dezelfde periode van rond de 15 000 ton per jaar tot meer dan 30 000 ton per jaar. Op basis van schattingen van natuurlijke en visserijsterfte en gebruik makend van een zogeheten opbrengst-per-rekrut model komen Temming en Hufnagl (2015) en (ICES 2014) tot de conclusie dat er in de recente periode (dus rond 2015) mogelijk sprake is van groei-overbevissing en adviseren zij een verlaging van de visserijdruk, juist ook in het belang van de visserij zelf. Over rekruterings-overbevissing laten zij zich niet uit. Aanwijzingen van groei-overbevissing zijn ook gevonden in de visserij op andere garnalensoorten buiten de Noordzee ((Gallagher et al. 2004), (Cailloulet et al. 2008),(Lucena-Fredou et al. 2010)).

Verdere uitbreidingen en simulatiestudies met het opbrengst-per-rekrut model van Temming en Hufnagl (2015) laten zien dat het gebruik van een grotere maaswijdte dan tot nu toe gebruikelijk de groei-overbevissing tegengaat en leidt tot betere vangsten met minder inspanning ((Temming et al. 2017, Temming et al. 2022), (Temming et al. 2017), (Günther et al. 2015), (Luderer et al. 2021)).

Opbrengst-per-rekrut modellen worden veel gebruikt in de visserijbiologie en veronderstellen dat alle individuen eenzelfde groeicurve volgen. Als echter de visserijdruk minder wordt en het bestand aan post-

rekruten groter wordt, kan voedselschaarste op gaan treden en de groei minder worden. Steenbergen et al (2015) hebben een ecologisch populatiemodel opgesteld, waarin de competitie om voedsel wel expliciet meegenomen wordt. Op basis van een uitvoerige studie, waarin het ecologische populatiemodel van garnaal gecombineerd is met een model van de dynamiek van de visserijvloot kwamen zij tot een vergelijkbare conclusie als Temming en Hufnagl (2015): de huidige visserijdruk leidt tot groei-overbevissing en een reductie van de inspanning kan leiden tot aanzienlijk grotere vangsten. Als voorbeeld noemen zij dat bij een afname van het aantal schepen tot 60%, de totale vangst 25% hoger wordt. Het model laat ook zien hoe visserij de ecologie van de garnaal beïnvloedt, zowel op het niveau van de populatie zoals bestandsomvang en opbouw als op individu-niveau, zoals groei- en reproductiesnelheden. Het model voorspelt dat zonder visserij het totale bestand (in termen van biomassa) ongeveer 60% hoger is dan het huidige bestand onder intensieve visserij, maar de biomassa van grote garnalen (> 5 cm) wordt juist lager. Zonder visserij is de competitie om voedsel zo groot dat weinig garnalen een dergelijke grootte bereiken. Bij een 20% lagere visserijdruk dan op dit moment het geval is, zijn zowel het totale bestand als het bestand aan grotere dieren hoger dan nu het geval is. Het model voorspelt voor beide bestanden een verhoging van ongeveer 10%. Een nog te verschijnen studie (Van Kooten et al. in prep.), waarin verschillende beheer-scenario's met elkaar vergeleken worden (wel of niet inkrimpen van de vloot, wel of niet kortere visweken, etc.), komt tot vergelijkbare conclusies. Verrassend is dat de studie van (Hufnagl et al. 2010) juist laat zien dat de fractie grote garnalen (>7 cm) sterk afgenomen is in de vangsten gedurende de laatste decaden (van rond de 25% naar rond de 10%). Dit kan te wijten zijn aan de sterk afgenomen vraat door kabeljauw en wijting, die het ook op kleinere garnalen voorzien hadden en dus voor een grotere uitdunning in aantallen zorgden.

(Respondek et al. 2022) onderzochten de visserij-inspanning en de garnalenvangsten in de periode 2009 tot 2018 voor de Nederlandse, Duitse en Deense visserij. De visserijdruk is overal toegenomen in die periode en de vangsten per eenheid van inspanning zijn afgenomen, hetgeen duidt op lagere bestanden. Verder vonden zij een sterk correlatief verband tussen de visserijdruk in de winter in de zuidelijke-westelijke gebieden (rond de Nederlandse Waddeneilanden) en de vangst per inspanning in de daaropvolgende zomer in de noordelijke-oostelijke (Duitse) gebieden. Deze correlatie ondersteunt, aldus de auteurs, de hypothese dat ei-dragende vrouwtjes migreren van zuid-west naar noord-oost en dat de hoge visserijdruk in het ene gebied zorgt voor minder rekrutering in het andere gebied: een geval van indirecte rekrutering-overbevissing.

4.2 Bijvangst ondermaatse garnalen

Ongeveer de helft van de garnalenvangst is te klein om aangeland te worden (van der Hammen, Steenbergen et al. 2015) en wordt via de spoelsoortermachine teruggevoerd naar zee. Hiervan gaat een klein deel (3-10%, gemiddeld 6%) direct dood (Temming et al. 2022). In een serie van experimenten waarbij nog levende garnalen naar het laboratorium werden meegenomen ging nog eens (afhankelijk van de trekduur) gemiddeld 12% (4-22%) binnen drie weken dood. Dit zou je de uitgestelde sterfte kunnen noemen. In twee latere experimenten werd alleen naar deze uitgestelde sterfte gekeken en werd een vergelijking gemaakt tussen dieren die al of niet door de sorteermachine gegaan waren. Een van deze experimenten liet zien dat van de dieren die niet door de sorteermachine waren gegaan ongeveer 9% stierf. Voor de dieren die wel door de sorteermachine waren gegaan lag dit percentage bijna dubbel zo hoog, gemiddeld ongeveer 17% (Temming et al 2022). In het andere experiment waren de uitgestelde sterftecijfers beduidend hoger (tot rond de 30%), maar was er geen enkel effect van de sorteermachine te zien. De onderzoekers denken dat de hoge sterfte in het laatstgenoemde experiment te wijten was aan het herhaaldelijk opvissen van dezelfde garnalen. De visserijsterfte van ondermaatse garnalen is in de modellen van Steenbergen et al (2015) en Van Kooten et al. (in prep) meegenomen.

4.3 Prooien en predatoren

Veel studies laten zien dat de garnaal in onze kustzeeën zowel een belangrijke prooi als een belangrijke predator is ((Braber and de Groot 1973), (Berghahn 1996), (Schuckel et al. 2012), (Poiesz et al. 2020)). Grote garnalen (> 5cm) worden vooral gegeten door kabeljauw en wijting (Temming en Hufnagl 2015 en referenties daarin). Kleine garnalen worden gegeten door een veelheid aan predatoren, maar precieze getallen over de relatieve bijdrage van al deze soorten aan de totale predatie ontbreken (Temming en

Hufnagl 2015 en referenties daarin). Garnalen zijn zelf ook een belangrijke predator, onder meer van aasgarnalen, vlokreeften, en jonge vis waaronder scholletjes, die zich net op de bodem gevestigd hebben ((van der Veer and Bergman 1987), (Albaina et al. 2012), (Oh et al. 2001)). Niet alleen in grote garnalen, maar ook in garnalen van rond de 3 cm zijn resten van jonge schol aangetroffen (Albaina et al. 2012). Ook eten garnalen jonge schelpdieren (Van der Veer et al. 1998), wat in sommige jaren ook invloed kan hebben op schelpdierpopulaties (Beukema et al. 2010). Studies die een kwantitatieve schatting geven van de effecten van visserij op de prooibesikbaarheid van garnalen voor een specifieke predator of de predatiedruk van garnalen op een specifieke prooi ontbreken echter. Gezien het complexe en niet-lineaire verband tussen visserijdruk en populatieomvang en bestandsopbouw van de garnaal, zoals blijkt uit de modelstudie van Steenbergen et al. 2015, en het ontbreken van precieze getallen over de predatiedruk, zouden dergelijke schattingen op dit moment ook onzeker zijn. Uit de modelvoorspelling dat er zonder visserij (en zonder veel predatoren van garnalen) veel minder (<10%) grote garnalen zullen zijn, valt wel af te leiden dat visserij, mits niet te intensief, hoogstwaarschijnlijk positief uitpakt voor de predatoren van grote garnalen, zoals kabeljauw en wijting, een suggestie die ook door Temming en Hufnagl (2015) wordt gedaan. Temming & Hufnagl (2015) verwachten echter geen herstel van kabeljauwachtigen (en verandering in predatiedruk op garnaal) zolang zeehondenpopulaties en bijbehorende predatiedruk op het huidige niveau liggen. Sinds 2020 is het wijtingbestand in de Noordzee wel weer toegenomen (ICES 2022). Dit is ook geconstateerd bij de bijvangst van jonge wijting in de bemonsteringsprogramma's van de garnalenvisserij in de periode 2019-2022 (IRCshrimp project in prep). Wijting was de enige gequoteerde soort die de bijvangstlimiet van 5% (aanlandingsplicht) in 2021 overschreed (in de andere jaren niet). Dat werd veroorzaakt door een sterk wijtingcohort, wat ertoe leidde dat het vangstadvis voor het jaar erna fors verhoogd is.

4.4 Onzekerheden

De hierboven getrokken conclusie dat er bij de huidige visserijdruk sprake is van groei-overbevissing en dat zowel de bestanden als de vangsten zullen stijgen als de maaswijdte vergroot wordt en de visserijsterfte daalt, is gebaseerd op meerdere modelstudies ((Temming en Hufnagl 2015), (Temming et al. 2017), (Günther et al. 2015, 2021), (Steenbergen et al. 2015), (Van Kooten et al. in prep.)). Elk model is noodzakelijkerwijs deels gebaseerd op veronderstellingen. Steenbergen et al. (2015) schrijven hierover: *'The strongly mechanistic basis of the model and the independently established parameterization, coupled with good correspondence of the dynamics exhibited by the model to that observed, lead us to conclude that the model can be reliably used to estimate the effects of various management scenarios [lees: scenarios met verschillende visserij-inspanning]. However, as with any model, it is only valid as long as the assumptions used to construct the model are not violated.'*

Tabel 2. Overzicht van mogelijke effecten van garnalenvisserij op de garnalenpopulatie. Gebaseerd op de systematiek van Mupepele et al. (2016) is per studie en hun combinatie (totaalbeeld) bepaald of er een effect is gevonden, de richting van het effect (geen, verschuiving, toename, afname), en hoe sterk het bewijs ervoor is (zie voetnoot).

Effecttype	Studies	Effect per studie (bewijssterkte*)?	Totaalbeeld effect (bewijssterkte*)?
Garnalenpopulatie			
Risico op rekrutering-overbevissing	Welleman & Daan 2001	Nee (3)	Ja (3)
	Respondek et al. 2022	Ja (3)	
Groei-overbevissing en dus vermindering van de opbrengst per rekrut	Steenbergen et al. 2015a	Ja (2)	Ja (2)
	Temming & Hufnagl 2015	Ja (2)	
	Günther et al. 2015, 2021	Ja (2)	

Veranderingen in de bestands grootte en de opbouw (in termen van leeftijd- en lengteverdeling) van de garnalen populatie	(Steenbergen et al. 2015)	Ja (2)	Ja (2)
Veranderingen in de productie van de garnalenpopulatie en individuele groeisnelheid, zo zal een uitdunning van de garnalenpopulatie leiden tot een betere individuele groei	Steenbergen et al. 2015a	Ja (2)	Ja (2)
Prooien en predatoren			
Vermindering van de garnalendichtheid kan gunstig zijn voor de vestiging van jongste jaarklasse schol (<30 mm), i.v.m. verminderen predatiedruk	van der Veer & Bergman 1987 Albaina et al. 2012	Ja (3)	Ja (3)
Vermindering van de garnalendichtheid kan ongunstig zijn voor natuurlijke roofdieren (platvis, kabeljauwachtigen, vogels)	Braber & de Groot 1973 Berghahn 1996 Temming & Hufnagl 2015 Schuckel et al. 2012 Poiesz et al. 2020 Temming et al. 2022	Ja (3)	Ja (3)

* *Bewijssterkte volgens systematiek Mupepele et al. (2016): 1 - Erg sterk bewijs; 2 - Sterk bewijs; 3 - Matig bewijs; 4 - Zwak bewijs.*

5 Effecten van garnalenvisserij op ongewervelde bodemdieren en planten

5.1 Algemene effecten van bodemberoerende visserij

Bodemberoerende visserij heeft, net als elke visserijvorm invloed op het natuurlijk ecosysteem-functioneren door onttrekking van beviste soorten, bijvangst, en/of andere neveneffecten ((McConnaughey et al. 2000), (O'Brien et al. 2000), (Rumohr and Kujawski, 2000), (Lotze et al. 2005), (Callaway et al. 2007), (Wells et al. 2008)). Onder de bodemberoerende visserij vallen verschillende soorten vistuigen waaronder de boomkor, bordentrawl, en de pulskor. De invloed hangt niet alleen af van het type vistuig, maar ook van de beroeringsfrequentie (van Loon et al. 2018).

Gebaseerd op de levenswijze kan per diersoort een algemene voorspelling worden gemaakt wat betreft hun gevoeligheid voor bodemberoering. Soorten die op of in de toplaag leven zijn gevoeliger omdat ze direct geraakt kunnen worden (Rippen et al. 2021). Langlevende soorten die zich langzamer voortplanten zijn kwetsbaarder vanwege de langere hersteltijd (Rippen et al. 2021). Ook biogene structuren gevormd door soorten zoals mosselen, oesters en zandkokerwormen zijn kwetsbaar. Dergelijke habitatvormende soorten kunnen tientallen jaren nodig hebben om zich te herstellen ((De Groot 1984), (Cook et al. 2013), (Gibb et al. 2014), (De Paoli et al. 2015), (Hiddink et al. 2017), (Fariñas-Franco et al. 2018), (Van der

Have et al. 2019), (Van der Reijden et al. 2019), (Tiano et al. 2020), (Rippen et al. 2021)). De impact op het bodemleven zal echter ook afhangen van de lokale bodemeigenschappen. Een zandige zeebodem zal in het algemeen minder gevoelig zijn voor verstoring door een boomkor dan een slibbige zeebodem. Daarnaast zijn soorten die leven in gebieden met veel golven en stroming in het algemeen beter aangepast aan een instabiele, zandige bodem (Rippen et al. 2021). Eerder onderzoek suggereert inderdaad dat het bodemleven in dynamische gebieden zoals getijdengeulen is aangepast aan natuurlijke verstoring en daardoor minder gevoelig is voor de 'extra' verstoring door bodemberoerende visserij ((Collie et al. 2000), (Van Dalen et al. 2000), (Cooper et al. 2011), (Tulp et al. 2020), (Rippen et al. 2021)). Op basis van deze algemene inzichten, ligt het in de lijn der verwachting dat bodemberoerende visserij een grotere impact heeft op de bodemgemeenschappen in weinig dynamische, slibrijke bodems dan in zandige bodems in een dynamische omgeving (Queirós et al. 2006, Sciberras et al. 2018).

Directe effecten van bodemberoerende visserij op soorten kunnen doorwerken op andere soorten. Dergelijke indirecte effecten kunnen ontstaan door verschuivingen in competitie tussen soorten: doordat soort A verstoord wordt, komt er meer ruimte of voedsel beschikbaar voor soort B ((Keller et al. 2011), (Tulp et al. 2019), (Jung et al. 2020), (Tulp et al. 2020), (Van Leeuwen and Gmelig Meyling 2022)). Zowel visserij-gedreven toe- als afnames van soorten, en ook overboord gegooide dode bijvangst, kunnen doorwerken in predator-prooi-relaties ((Berghahn et al. 1992), (Ramsay et al. 1997), (Groenewold and Fonds 2000), (Daskalov, 2002), (Van Denderen et al. 2013), (Van Denderen et al. 2016), (Van de Wolfshaar et al. 2020)). Tenslotte kunnen ook positieve relaties (facilitatie) tussen soorten verstoord raken. Met name biobouwende soorten zoals zeegras, kokorwormen en bankvormende schelpdieren zoals oesters en mosselen bouwen een omgeving waar veel andere soorten van profiteren, door golven en stroming te remmen, sediment te stabiliseren en fysieke aanhechtingsmogelijkheden te creëren. Verstoring van dergelijke 'biogene structuren' kan daarom doorwerken in de rest van de bodemgemeenschap ((Eriksson et al. 2010), (van der Zee et al. 2012), (Donadi et al. 2013), (van der Zee et al. 2016), (Christianen et al. 2017), (Borst et al. 2018), (Christianen et al. 2018), (van der Meer et al. 2019)).

5.2 Historische veranderingen

Veel studies die wijzen op visserijeffecten zijn gebaseerd op analyses gemaakt op grote ruimtelijke schalen en over tijdspannes van tientallen tot zelfs honderden jaren ((Tillin et al. 2006), (Callaway et al. 2007), (Duineveld et al. 2007), (Robinson and Frid 2008)). Dit soort studies is dan ook niet experimenteel, maar observationeel of correlatief van aard. In het algemeen suggereren deze studies dat bodemberoerende visserij wereldwijd heeft geleid tot veranderingen in ecosystemen, waarbij met name langzaam groeiende soorten die op of in de toplaag van het sediment leven negatief werden beïnvloed ((Reise 1982), (Buhs and Reise 1997), (Lotze et al. 2005)). Ook de Waddenzee en de Noordzee worden al honderden jaren bevestigd. Het is daarom belangrijk rekening te houden met 'shifting baselines': de ecologische toestand nu is mede het gevolg van eeuwenlange menselijke invloeden.

Een belangrijke verschuiving in de Noordzee, maar ook in de Waddenzee, Zuiderzee en Voordelta, is het verlies van platte oesterbanken. In het begin van 19^e eeuw besloegen deze banken ongeveer 25,000 km² van de Nederlandse en Duitse Noordzeebodem (Olsen 1883). Deze banken verdwenen in de loop van die eeuw door overbevising en ziekte. In de Duitse noordelijke Waddenzee gaan de beschikbare data terug tot 1870. Dit is de periode dat de bodemberoerende visserij in het algemeen (dus niet specifiek garnalenvisserij) met behulp van korren voortgetrokken door zeilschepen in opkomst was (Buhs et al. 1997). Observaties van dezelfde gebieden in de periode van 1880 tot 1900 tonen verschuivingen in de bodemgemeenschappen ((Reise 1982), (Reise et al. 1989), (Buhs et al. 1997), (Lotze et al. 2005)). Zeegrasvelden, oesterbanken en zandkokerwormenriffen (*Sabellaria spinulosa*) waren nagenoeg verdwenen, terwijl mobiele kreeftachtige soorten goed overleefden ((Riesen and Reise 1982), (Reise et al. 1989), (Buhs et al. 1997)). In het algemeen nam het aantal sessiele soorten dat op de zeebodem leefde (zich niet verplaatsende epifauna) met 50% af tussen 1933 en 1988 terwijl het aantal ingegraven soorten (infauna) toenam (Lotze et al. 2005).

Hoewel er anekdotische beschrijvingen bestaan De Groot (1984) en Riesen et al. (1982) over opzettelijke vernieling van zandkokerwormenriffen door garnalenvissers met zwaardervistuig in de Duitse Waddenzee is er geen causaal bewijs dat bodemberoerende garnalenvisserij een rol had in de geobserveerde verschuivingen in de bodemdierengemeenschappen. De bevindingen suggereren dat de huidige bodemberoerende garnalenvisserij plaatsvindt in een systeem waarin bodemgemeenschappen door de eeuwen heen al zijn veranderd. Naast de effecten van garnalenvisserij op de huidige bodemgemeenschappen, is het daarom zinvol te evalueren of en in welke mate herstel van verminderde of verdwenen soorten hinder ondervindt van de garnalenvisserij. Op dit moment ontbreekt het echter aan wetenschappelijk onderzoek naar de effecten op het herstel van epifauna, met name bank- en rifvormende organismen.

5.3 Recente effecten van garnalenvisserij

Naast historische correlaties, tonen recente studies mogelijke verbanden tussen de huidige garnalenvisserij en veranderingen in het bodemleven. Het aantal empirische studies naar de effecten van specifiek de garnalenvisserij op de bodemgemeenschap is beperkt. Alle experimentele studies waren bovendien kortdurend (weken tot maanden) en werden uitgevoerd op plaatsen waar daarvoor werd gevestigd. De belangrijkste recente correlatieve en experimentele studies zijn: Schellekens et al. (2014), Glorius et al. (2015), Glorius and Meijboom (2020), Prins et al. (2020), Craeymeersch et al. (2022), en Fock et al. (2023). Hieronder worden eerst de studies met gevonden effecten op gemeenschapsniveau beschreven, waarna wordt ingezoomd op een aantal soort-specifieke effecten.

5.3.1. Verschuivingen in soortengemeenschappen

Schellekens e.a. (2014) – Als onderdeel van het Monitoring Programma Natuurcompensatie Voordelta (PMR-NCV) is van 2010 tot 2012 een Before-After-Control-Impact ('BACI') experiment uitgevoerd naar de effecten van garnalenvisserij. Hiervoor werden in de Voordelta 6 gebieden geselecteerd in regulier bevestigd gebied. Binnen elk gebied bleef een deel verder onbevestigd en werd een ander deel 6x per jaar gedurende 3 jaar bevestigd. Het eindrapport stelt echter dat potentiële effecten op de bodemfauna 'minder uitvoerig getoetst' konden worden omdat er in de meeste jaren, in de meeste controlegebieden (84%) gevestigd werd. Door de benodigde correcties voor visserijdruk, werd de analyse correlatief van aard. Deze analyses tonen geen noemenswaardig effect van de garnalenvisserij op de bodemgemeenschap.

Prins et al. (2020) – Als onderdeel van hetzelfde PMR-NCV werden de effecten van bodemberoerende visserijdruk in het voor boomkorvisserij gesloten, maar voor garnalenvisserij toegankelijk, bodembeschermingsgebied Voordelta correlatief onderzocht door verschillen in bodemfauna uit te zetten tegen verschillen in visserijdruk. Hierbij vond men een positieve correlatie van garnalenvisserijdruk met zowel soortenrijkdom als biomassa. Het positieve verband met biomassa bleek vooral gedreven te worden door een toename van de invasieve Amerikaanse zwaardschede (*Ensis leei*). De diversiteit van de biomassaverdeling in de gemeenschap neemt af wanneer *Ensis* toeneemt. De auteurs geven aan dat de effecten op soortenrijkdom nadere analyse behoeven. De correlaties kunnen erop duiden dat bodemberoerende visserij gericht plaatsvindt in gebieden die soortenrijker zijn ((Tulp et al. 2019), (Prins et al. 2020)). Onderzoek op de Noordzee stelde vast dat verschillende soorten bodemberoerende visserij zich concentreren op verschillende gebieden met specifieke omgevingseigenschappen, en vaak met de hoogste biomassa en biodiversiteit ((Van der Reijden et al. 2018), (Hintzen et al. 2021)).

Glorius et al. (2015) – In de periode 2012-2014 is onderzoek uitgevoerd naar mogelijke effecten van garnalenvisserij, waaronder korte termijneffecten (enkele maanden) van het garnalentuig op de bodemfauna; Tulp et al. (2020) Het onderzoek bestond uit twee experimenten. Het eerste experiment had, net als dat van Schellekens et al. (2014), een BACI-benadering, en werd uitgevoerd in 6 Natura 2000-gebieden in de Nederlandse kustzone en de Waddenzee. In de gebieden werden in totaal 15 aangrenzende proefvlakken geselecteerd, waarin eerst een nulmeting in de voorzomer werd uitgevoerd. Vervolgens werd telkens één van de gepaarde vakken eenmalig experimenteel bevestigd, waarna bevestigde en onbevestigde proefvlakken vergeleken werden na 8 tot 10 weken (in de nazomer). Helaas bleek, net als bij Schellekens et al. (2014), dat er in 14 van de 15 'onbevestigde' proefvlakken toch garnalenvisserij had plaatsgevonden. Hierdoor moest er statistisch voor de visserijdruk gecorrigeerd worden, waardoor de analyse correlatief van aard werd. Na deze correctie, bleek het totale aantal individuen en de mate van gelijkmatigheid van de aantallen over soorten ('Pielou's evenness' - een maat voor soortendiversiteit) in de monsters niet door visserijdruk beïnvloed te zijn. De toename van het aantal soorten per monster over het zomerseizoen (een normaal fenomeen omdat de aantallen individuen toenemen en daarmee de kans om een zeldzamere soort in een monster aan te treffen) nam echter wel statistisch significant af met toenemende visserijdruk. In de sterk bevestigde gebieden werd in de nazomer gemiddeld 1 soort meer per monster aangetroffen dan in de voorzomer op een totaal van gemiddeld ongeveer 10 soorten per monster. In de licht bevestigde gebieden was dit verschil tussen voor- en nazomer gemiddeld 2,5 soorten. Het 2^e experiment was opgezet als een zogenaamde dosis-respons studie, waarin het effect van garnalenvisserij met toenemende visserijdruk werd onderzocht in één studiegebied: het Molenrak in de Waddenzee. Het gebied werd onderverdeeld in 5 proefvlakken, waarbij 1 proefvlak onbevestigd bleef en de andere proefvlakken variërend van 1x tot 4x werden bevestigd. Vervolgens werd de bodemgemeenschap na 10 weken én na 8 maanden bemonsterd met een bodemschaaf. Na 8 maanden bleken de soortenrijkdom en de totale aantallen per monster niet door visserijdruk beïnvloed te zijn. Echter, 'Pielou's evenness' nam wel statistisch significant af met toenemende visserijdruk; een correlatie die verband houdt met de grotere toename van de dichtheid van Amerikaanse zwaardschede (*Ensis leei*) in meer intensief bevestigde vakken.

Glorius et al. (2020) – Dit rapport beschrijft de ontwikkelingen na 13 jaar in het voor alle menselijke activiteiten gesloten referentiegebied bij de Rottums vergeleken met omliggende gebieden. Om deze vergelijking te maken wordt de bodemfauna jaarlijks in het najaar bemonsterd. Er liggen 38 monsterpunten binnen het referentiegebied en 44 erbuiten. Zoals door de auteurs wordt gesteld is het onderzoek statistisch onvermijdelijk beperkt in haar mogelijkheden door de opzet. Er is slechts één gesloten gebied en monsterpunten binnen en buiten het gebied liggen daardoor in verschillende geulen met verschillende eigenschappen. Bovendien is er een trendbreuk ontstaan omdat door dichtslibben een van de geulen niet meer geschikt was om te bemonsteren en er uitgeweken moest worden naar een andere geul. De studie is niet opgezet om effecten van de garnalenvisserij te kwantificeren; daarvoor ontbreekt een goede gerandomiseerde opzet met meerdere studiegebieden. Hierdoor zijn er uit dit onderzoek geen eenduidige conclusies te trekken over eventuele visserijeffecten.

Craeymeersch et al (2022) - Dit rapport beschrijft de ontwikkeling van gebieden die in 2014 gesloten zijn voor mosselzaadvissers en garnalenvissers in de westelijke Waddenzee als onderdeel van de convenanten "Transitie mosselsector en natuurherstel Waddenzee" en "VISWAD". De monitoring van bodemfauna is

gestart in 2015 en wordt gevolgd in vijf onderzoeksgebieden, waarvan er drie zijn gesloten voor garnalenvisserij. Elk jaar worden 198-243 locaties bemonsterd, zowel binnen als buiten gesloten gebieden. Het primaire doel van deze "MEGMA"-studie is om te volgen hoe mosselbanken en ander bodemleven zich ontwikkelen in de voor mosselzaad- en garnalenvisserij gesloten gebieden. Doordat er geen sprake is van een experimentele opzet waarbij beviste gebieden één-op-één met onbeviste gebieden vergeleken kunnen worden en de gebieden niet random zijn gekozen, stellen de auteurs dat de studie "*minder geschikt*" is om eventuele visserijeffecten te onderzoeken. De gesloten gebieden zijn gekozen omdat ze kansrijk werden geacht voor de ontwikkeling van meerjarige mosselbanken. De vergelijking tussen voor garnalenvisserij gesloten en nabijgelegen open gebieden toont dat de bodemgemeenschappen bij aanvang van de studie in 2 van de 3 studiegebieden niet vergelijkbaar waren. Hierdoor wordt het lastiger om verschillen in ontwikkeling tussen open en gesloten gebieden te duiden. Er zijn tot dusverre geen eenduidige verschillen in bodemleven aangetroffen die aan garnalenvisserij kunnen worden gerelateerd. Maar voor twee van de drie voor garnalenvisserij gesloten gebieden bleken de bodemgemeenschappen al bij aanvang van de studie onvergelijkbaar met de ernaast gelegen open controle gebieden. Conclusies worden verder bemoeilijkt doordat gesloten gebieden ook bevist zijn, en doordat sluitingen en weer openstellingen van het gebied wisselend zijn uitgevoerd waardoor het moeilijk is om goede referentiepunten voor de gesloten gebieden te vinden.

Fock et al. (2023) – Het CRANIMPACT-project onderzocht de effecten van garnalenvisserij in de Duitse en Deense Waddenzee. Het project bestond uit twee soorten analyses: een gradiëntbemonstering en een combinatie van experimenten. De correlatieve gradiëntanalyse richtte zich op langetermijneffecten door gebieden binnen en buiten schelpkokerwormenvelden met fijn tot matig grof zand en een variërende visserijdruk met elkaar te vergelijken. De studie is uitgevoerd in de Duitse Waddenzee en onbeviste delen van de Deense Waddenzee. In de periode 2019-2021 werden 426 bodemmonsters genomen om de bodemgemeenschap te analyseren. De belangrijkste bevinding is dat korrelgrootteverdeling van het sediment en de garnalenvisserijdruk de belangrijkste voorspellers zijn van de samenstelling van de bodemgemeenschap (zie Fig. 14 in *Fock et al. (2023)*). Het is algemeen bekend dat sedimenteigenschappen sturend zijn in de samenstelling van de bodemgemeenschappen in de Waddenzee en in kustecosystemen in het algemeen ((*Beukema 1976*), (*Compton et al. 2013*), (*Gusmao et al. 2022*)). De correlatieve analyses suggereren dat de garnalenvisserij de samenstelling van het bodemleven vergelijkbaar beïnvloedt. Het correlatieve verband wordt vooral gedreven door een afname in het voorkomen van kleinere soorten en een toename in de totale biomassa van predatoren, aaseters, en schelpkokerwormen met toenemende visserijdruk. De verschillen worden zichtbaar vanaf een visserijdruk van 1.5x per jaar. In de Nederlandse kustzone varieert de visserijdruk van minder 1x tot meer dan 30x per jaar (*Tulp et al. 2020*).

Het tweede onderdeel van het project bestond uit drie BACI-experimenten in gebieden met fijn tot matig grof zand buiten schelpkokerwormenvelden die vervolgens zijn gecombineerd in de analyse. Het eerste experiment vond plaats in 2019 nabij Sylt, waar op een tweetal locaties gepaarde onbeviste en beviste (4x bevist) proefvlakken na 14 dagen werden bemonsterd. Voor een 2e experiment in 2021 werd een groter aantal monsters per proefvlak genomen. Tenslotte werd een 3^e BACI-experiment met eenzelfde methodiek als de eerste twee experimenten in één set gepaarde proefvlakken uitgevoerd nabij Nordeney. De gecombineerde analyse van deze drie experimenten vindt geen effect op (overwegend mobiele) soorten die op het sediment leven (epifauna), maar wel een negatief effect op de totale aantallen en biomassa van soorten die in het sediment leven (infauna). Dit effect wordt groter naarmate het slibgehalte hoger is (zie Fig. 68A in *Fock et al. (2023)*).

De gecombineerde bevindingen van de correlatieve en experimentele analyses in deze studie suggereren dat de huidige garnalenvisserij de samenstelling van bodemgemeenschappen in de Waddenzee kan beïnvloeden, maar dat deze effecten contextafhankelijk zijn. Effecten van bodemberoerende visserij op het bodemleven lijken beperkt in de meest zandige gebieden, maar nemen toe bij een toenemend slibgehalte. Mogelijk draagt deze contextafhankelijkheid bij aan de verschillende resultaten die door studies in verschillende onderzoeksgebieden zijn gevonden.

5.3.2. Effecten op individuele soorten

Bank- en rifvormende soorten – Algemene inzichten en historische observaties suggereren dat deze soorten kwetsbaar zijn voor bodemberoering. Onlangs werd een mossel-oesterbank ontdekt in een luw gebied bij de Brouwerdam in de Voordelta. De oesters en mosselen werden aangetroffen op schelpenrijk grofzandig tot slibbig sediment tussen (maar niet op) verspreid liggende grote stenen, die daar waarschijnlijk beland waren tijdens de aanleg van de dam. Door de stenen is bodemberoerende visserij (vrijwel) afwezig in dit gebied ((Christianen et al. 2018), (Van der Have et al. 2019)). Daarnaast zijn verder op de Noordzee riffen van zandkokerwormen (*Sabellaria spinulosa*) ontdekt tussen zandgolven ('megaripples') die door sterke stroming en/of golven worden gevormd ((Kleinhans et al. 2004), (Van der Reijden et al. 2019), (Van der Reijden et al. 2021)). Doordat de zandkokerwormenriffen in de dalen tussen de zandbanken liggen, beschermen deze de riffen mogelijk tegen bodemberoerende visserij (Van der Reijden et al. 2019). Een alternatieve of aanvullende verklaring voor de aanwezigheid is het relatief grove sediment (of grind) dat aanwezig is in de dalen waarop zandkokerwormen zich kunnen vestigen. Ook net ten zuiden van de Voordelta, in de Belgische Hinderbanken, zijn bodemberoeringsgevoelige soortengemeenschappen gevonden in onbeviste, grindrijke dalen tussen zandbanken. De oorzaak voor het verdwijnen van zandkokerwormenriffen uit de Waddenzee is onduidelijk. Vorberg (2000) suggereert op basis van een eenmalige experimentele beroeringsstudie dat dit waarschijnlijk niet gerelateerd is aan garnalenvisserij.

Afgezien van bovengenoemde observationeel correlatieve studies, zijn er weinig studies beschikbaar die de effecten van garnalenvisserij op biogene structuren hebben onderzocht. Veelal wordt gesteld dat, om schade aan netten te voorkomen, volwassen mossel- en oesterbanken door garnalenvissers worden gemeden. Een hypothese is dat garnalenvisserij het ontstaan van nieuwe sublitorale mosselbanken zou kunnen belemmeren, omdat de bodem op de betreffende locaties periodiek 'aangeveegd' wordt (Smit et al. 2011). Momenteel is geen experimenteel onderzoek beschikbaar naar de effecten van garnalenvisserij op de vestiging schelpdierbanken. Voor volwassen zandkokerwormenriffen van de aanverwante soort *Sabellaria alveolata* (in Nederlandse kustwateren komt vooral *S. spinulosa* voor) is in Frankrijk gevonden dat eenmalige beroering door een garnalentuig weinig schade oplevert; sporen van de sloffen van de kor werden binnen 4-5 dagen door de wormen hersteld (Vorberg 2000). Effecten van meervoudige beroering zijn niet onderzocht. Ook is, net als voor schelpdierbanken, voor *Sabellaria*-riffen onduidelijk of bodemberoering door garnalentuig effect heeft op hun vestiging.

Naast zandkokerwormen (*Sabellaria spinulosa*), kunnen schelpkokerwormen (*Lanice conchilega*) dichte velden vormen in zandige tot slibrijke omgevingen. Een experimentele studie naar verstoring van dichte schelpkokerwormenvelden met een boomkor door Rabaut et al. (2008) vond op de korte termijn kleine effecten. In de gradiëntanalyse, vonden Fock et al. (2023) echter een positieve correlatie tussen visserijdruk en dichtheid van schelpkokerwormen. Dit is in lijn met eerdere bevindingen door Prins et al (2020) in de Voordelta. Ook Reiss et al. (2009) en Bergman and Hup (1992) vonden vergelijkbare verbanden na verstoring door zwaardere boomkortschepen voor platvissen. Een verklaring voor dit gevonden verband ontbreekt momenteel.

Ingegraven schelpdieren – Glorius e.a. (2015) vonden in de dosis-responsstudie in het Molenrak (Waddenzee) na 10 weken een kleinere toename van de kokkel (*Cerastoderma edule*) in de zwaardere vergeleken met de lichter beviste vakken. Deze correlatie was echter net niet statistisch significant ($p=0.06$); en het effect was na 8 maanden weer verdwenen. Daarentegen was het nonnetje (*Macoma balthica*) na 8 maanden significant minder snel afgenomen in de zwaardere beviste vakken. De dichtheid van de invasieve Amerikaanse zwaardschede (*Ensis leei*) nam toe in het zwaarst beviste vak. Dit effect was statistisch significant na zowel 10 weken als na 8 maanden. Het effect is niet gevonden in het korter (10 weken) lopende, experiment waarin vakken slechts eenmalig werden bevist. Een vergelijkbare trend werd gevonden in de Voordelta. Hier werd een positieve correlatie gevonden tussen de totale visserijdruk door boomkorvisserij (inclusief garnalenvisserij) en de biomassa van *Ensis*. Tulp et al. (2020) suggereren dat de soort zich makkelijk aanpast aan verstoring door garnalenvisserij. Prins, van der Meer et al (2020) suggereren als alternatieve verklaring dat garnalenvissers wellicht selectief vissen op plaatsen met veel *Ensis*. Door het correlatieve karakter van de Voordelta-analyse kan geen van beide verklaringen uitgesloten worden. Tenslotte werd recent door (de Fouw et al. 2023) in de Noordzeekustzone gevonden dat garnalenvisserij vaker plaatsvindt op plekken waar de Halfgeknotte strandschelp (*Spisula subtruncata*)

voorkomt, maar dat de visserijdruk vervolgens negatief correleert met *Spisula*-dichtheden. In lijn met de bevindingen van Fock, Dammann et al. (2023) werd deze negatieve correlatie groter naarmate de mediane korrelgrootte van het sediment afnam.

Zeegras – In de Waddenzee komen twee soorten zeegras voor: groot zeegras (*Zostera marina*) en klein zeegras (*Zostera noltii*). Beide soorten zijn door ziekte en de aanleg van de Afsluitdijk in de jaren 1930 sterk in omvang achteruitgegaan. In de 2^e helft van de 20^e eeuw zou vermessing ook een rol gespeeld kunnen hebben.

Klein zeegras kan zich vestigen als zaad of als plantenfragment en vormt vervolgens een groeiende 'grasmat' door klonale groei. In de winter verliest de plant het grootste deel van zijn bladeren, maar de wortelstokken overleven. Groot zeegras vormt in de droogvallende delen pollen die in de herfst veel zaad produceren. De pollen sterven in de winter vrijwel allemaal af, waardoor de plant bijna geheel afhankelijk is van de winteroverleving van het zaad. Begin 20^e eeuw, groeide er net onder de laagwaterlijn bijna 150 km² groot zeegras in de Westelijke Waddenzee. Hier vormden deze planten dichte velden die, vergelijkbaar met droogvallend klein zeegras, de winter overleefden door een deel van hun bladeren te verliezen en als wortelmat te overleven. Deze permanent ondergedoken zeegrasvelden zijn in de jaren 1930 volledig verdwenen door de aanleg van de Afsluitdijk in combinatie met de 'wierziekte'. Momenteel wordt in het project Waddenmozaïek onderzocht of ondergedoken zeegras in de Waddenzee hersteld kan worden.

In de Waddenzee is geen onderzoek uitgevoerd naar effecten van garnalenvisserij op zeegras. In Florida (US), is het effect van garnalenvisserij op de zeegrassoort *Thalassia testudinum* onderzocht (Meyer et al. 1999). Dit is een robuustere soort met zeer dichte wortelmatten in vergelijking met zowel groot als klein zeegras. De auteurs vonden geen significante effecten van directe beroering in de volgroeide zeegrasvelden. Net als bij schelpdierbanken en zandkokerwormenriffen, blijft het echter onduidelijk wat de eventuele effecten op zich vestigende plantenfragmenten of zaden zijn. Van de zaden van groot zeegras is bekend dat deze gemakkelijk verloren kunnen gaan wanneer ze niet diep genoeg (<2cm) zijn ingegraven (Gräfnings 2023), terwijl begraving dieper dan 8 cm de opkomst met 95% reduceert (Jørgensen et al. 2019). Deze bevindingen suggereren dat garnalenvisserij door bodemberoering de vestiging van jonge planten mogelijk negatief kan beïnvloeden.

Tabel 3. Overzicht van mogelijke effecten van garnalenvisserij op het bodemleven. Gebaseerd op de systematiek van Mupepele et al. (2016) is per studie en hun combinatie (totaalbeeld) bepaald of er een effect is gevonden, de richting van het effect (geen, verschuiving, toename, afname), en hoe sterk het bewijs ervoor is (zie voetnoot). Voor bewijssterkte (4 – de inschatting van experts – worden potentiële effecten als "mogelijk" of "onwaarschijnlijk" aangeduid, aangezien deze verder niet zijn onderzocht. Individuele soort(groepen) worden alleen getoond als er een effect is gevonden (LoE = 1-3) of gesuggereerd (LoE = 4).

Effecttype	Studies	Effect per studie (bewijssterkte*)?	Totaalbeeld effect (bewijssterkte*)?
Gehele gemeenschap			
Soortengemeenschappen	Schellekens et al. (2014)	Geen (3)	Verschuiving (2); effect afhankelijk van studie; meerdere lijnen van matig tot sterk bewijs
	Tulp et al. (2019); Prins et al. (2020)	Verschuiving (3)	
	Glorius et al. (2015); Tulp et al. (2020)	Verschuiving (3)	
	Fock et al. (2023)	Verschuiving (2 en 3)	
Soortendiversiteit	Schellekens et al. (2014)	Geen (3)	Verandering (2); effectrichting afhankelijk van studie; meerdere lijnen van matig bewijs
	Glorius et al. (2015); Tulp et al. (2020)	Afname (3)	
	Tulp et al. (2019); Prins et al. (2020)	Toename (3)	
	Fock et al. (2023)	Toename (3)	

Totale biomassa / totaal aantal individuen	Schellekens et al. (2014)	Geen (3)	Verandering (2); richting en effectgrootte afhankelijk van studie; meerdere lijnen van matig tot sterk bewijs
	Tulp et al. (2019); Prins et al. (2020) Fock et al. (2023)	Afname (3)	
	Fock et al. (2023) Tulp et al. (2019), Prins et al. (2020)	Toename (2)	
Aaseters en rovers	Fock et al. (2023)	Toename (3)	Toename (3)
Bodemleven op het sediment			
Zakpijpen – <i>Ascadia sp.</i>	Glorius et al. (2015); Tulp et al. (2020)	Afname (3)	Afname (3)
Volwassen schelpdierbanken	Smit et al. (2011)	Afname onwaarschijnlijk (4)	Afname onwaarschijnlijk (4)
Vestiging schelpdierbanken	Smit et al. (2011)	Afname mogelijk (4)	Afname mogelijk (4)
Volwassen zandkokerwormenriffen	Vorberg (2000)	Geen (3)	Geen (3); effect afhankelijk van studie
	Van der Reijden et al. (2019)	Afname mogelijk (4)	
Vestiging zandkokerwormenriffen	Van der Reijden et al. (2019)	Afname mogelijk (4)	Afname mogelijk (4)
Volwassen zeegrasvelden	Meyer et al. (1999)	Afname onwaarschijnlijk (4)	Afname onwaarschijnlijk (4)
Vestiging zeegrasvelden	Jørgensen et al. (2019); Gräfnings (2023)	Afname mogelijk (4)	Afname Mogelijk (4)
Ingegraven bodemleven			
Kleine ingegraven soorten (grootte <1 cm)	Fock et al. (2023)	Afname (3)	Afname (3)
Amerikaanse zwaardschede (<i>Ensis leei</i>)	Glorius et al. (2015); Tulp et al. (2020)	Toename (3)	Toename (3); meerdere lijnen van matig bewijs
	Tulp et al. (2019); Prins et al. (2020)	Toename (3)	
Halfgeknotte strandschelp (<i>Spisula subtruncata</i>)	De Fouw, Craeymeersch, et al. (2023)	Afname (3)	Afname (3)
Nonnetje (<i>Macoma baltica</i>)	Glorius et al. (2015); Tulp et al. (2020)	Toename (3)	Toename (3)
Schelpkokerwormen (<i>Lanice conchilega</i>)	Tulp et al. (2019); Prins et al. (2020)	Toename (3)	Toename (3); meerdere lijnen van matig bewijs
	Fock et al. (2023)	Toename (3)	

* Bewijssterkte –volgens systematiek Mupepele et al. (2016): 1 - Erg sterk bewijs; 2 - Sterk bewijs; 3 - Matig bewijs; 4 - Zwak bewijs.

6 Indirecte effecten van bodemberoering op vissen en vogels

6.1 Historische veranderingen in de visgemeenschappen

In de periode waar gegevens over bekend zijn (vanaf 1960) zien we grote veranderingen in de visgemeenschappen in de Waddenzee, Noordzeekustzone en Voordelta ((Tulp 2015), (Van der Veer et al. 2015), (Tulp et al. 2022), (Tulp et al. 2022), (van der Veer et al. 2022)). In deze periode hebben zich tegelijkertijd grote veranderingen voorgedaan in abiotiek, nutriënten, predatoren, zandsuppleties en verschillende takken van visserij. Het effect van afzonderlijke factoren op de verschuivingen is moeilijk te onderscheiden. Een belangrijke verandering is een algemene afname in visgrootte (Tulp et al. 2017). Dit is een effect dat ook verder op de Noordzee speelt (Daan et al. 2005, Baudron et al. 2014, Speirs et al. 2016, Stamoulis and Torreele 2016). De verklaring wordt gezocht in (de combinatie van) veranderingen in opwarming, visserijdruk, voedsel en dichtheidsafhankelijke processen. In de N2000 gebieden is geen specifiek onderzoek gedaan naar de effecten van de garnalenvisserij op de visgemeenschappen.

Over de periode vóór 1960 is veel minder bekend, maar er zijn wel meldingen van voorkomen van verschillende haaien- en roggensoorten in die periode. De achteruitgang in deze soorten uit de Waddenzee en Noordzee wordt toegeschreven aan overbevisning/bijvangst op de Noordzee ((Wolff 2000), (Lotze 2007), (Bom et al. 2020), (Bom et al. 2022)). De specifieke rol van garnalenvisserij (ten opzichte van de gerichte visserij op deze soorten en bijvangsten in de boomkor- en pelagische Noordzeevervisserij) hierbij is niet bekend. Haaien en roggen worden met de huidige monitoring in de N2000 gebieden niet goed gedekt, dus de huidige status is niet bekend. Met de verplichte netaanpassingen is het echter onwaarschijnlijk dat grotere soorten/individuen worden bijgevangen in de garnalenvisserij.

6.2 Effecten op vispopulaties door verstoring van benthische gemeenschap

De doorwerking van effecten van garnalenvisserij op de benthische gemeenschap en van hieruit, via voedselrelaties, op vis is in de Waddenzee/Noordzeekustzone niet empirisch onderzocht. Uitzondering is een studie naar het effect van bodemberoerende visserij op de zandspiering. Zandspiering brengt een deel van de tijd ingegraven in de zeebodem door en heeft in de kustwateren dezelfde voorkeur voor microhabitats als garnalen: weinig slib en relatief hoge stroomsnelheden (Tien et al., 2017). In een analyse van zowel sedimentkarakteristieken als visserijdruk is voor boomkorvisserij en garnalenvisserij een negatieve relatie met het voorkomen van zandspiering gevonden (Tien et al. 2017). In een hernieuwde analyse met meer jaren is echter gebleken dat ruimtelijke patronen veel belangrijker zijn. Verspreiding van zandspiering hangt vooral af van het slibgehalte van het sediment en stroomsnelheid en er is slechts een zwak verband met visserij (Tulp et al. 2018).

Naast deze empirische studie onderzochten van Denderen et al. (2013) met een modelstudie voor de Noordzee hoe bodemberoerende (boomkor)visserij commercieel beviste vis beïnvloedt. Bodemberoering kan resulteren in een hogere visdichtheid, maar alleen wanneer het door vissen geprefereerde benthos goed bestand is tegen bodemvisserij. In alle andere gevallen neemt de hoeveelheid vis af. De doorwerking op niet-commercieel beviste soorten is niet onderzocht.

Zeeprik en rivierprik zijn beide soorten die kunnen parasiteren op vissen door zich vast te zuigen met hun mondschijf, waarna de lichaamssappen van de prooi worden opgenomen (Quintella et al. 2021). Rivierprik is in tegenstelling tot de zeeprik veel meer een roofvis dan een parasiet en eet voornamelijk kleinere vis zoals haring, sprat, spiering en kabeljauwachtigen. Dit zijn over het algemeen geen bodemgebonden prooi-soorten, waardoor het niet waarschijnlijk is dat veranderingen in de visgemeenschap als gevolg van bodemberoering een effect zullen hebben op het voedsel voor met name rivierprik. Fint is een soort die zich voornamelijk voedt met zoöplankton en de oudere exemplaren ook met kleine vis. Omdat bodemberoering weinig invloed heeft op de zoöplanktonproductie, zal het risico van een effect op het voedsel van fint niet groot zijn. De populaties van deze soorten worden waarschijnlijk vooral gestuurd door oorzaken in (bereikbaarheid en kwaliteit) van paaigebieden en minder door factoren in de Noordzee en Waddenzee.

Garnalenvisserij zou invloed kunnen hebben op schelpdieren (zie hoofdstuk 5) en daarmee op de vogels die daarvan afhankelijk zijn. Het voorkomen van de zwarte zee-eend en eider is gerelateerd aan de aanwezigheid van het voedsel, in het geval van de zwarte zee-eend en eider in de Noordzeekustzone voornamelijk *Ensis* en *Spisula subtruncata* (halfgeknotte strandschelp) ((Skov et al. 2008), (Tulp et al. 2010), (Kottsieper et al. 2019), (Schwemmer et al. 2019)). Van de topper is niet bekend of ze in de Waddenzee of Noordzee foerageren en zo ja op welk voedsel. Aangezien veel soorten vogels volledig afhankelijk zijn van vis voor hun dieet, is een eventuele doorwerking van bodemberoering via de visgemeenschap niet uit te sluiten, maar onderzoek ontbreekt.

Tabel 4. Overzicht van mogelijke indirecte effecten van bodemberoering door de garnalenvisserij.

Gebaseerd op de systematiek van Mupepele et al. (2016) is per studie en hun combinatie (totaalbeeld) bepaald of er een effect is gevonden, de richting van het effect (geen, verschuiving, toename, afname), en hoe sterk het bewijs ervoor is (zie voetnoot). Voor bewijssterkte (LoE: Level-of-Evidence*) 4 – de inschatting van experts – worden potentiële effecten als “mogelijk” of “onwaarschijnlijk” aangeduid, aangezien deze verder niet zijn onderzocht. Individuele soort(groepen) worden alleen getoond als er een effect is gevonden (LoE = 1-3) of gesuggereerd (LoE = 4).

Effecttype	Studies	Effect per studie (bewijssterkte*)?	Totaalbeeld effect (bewijssterkte*)?
Effecten bodemberoering op vispopulaties door verstoring van benthische gemeenschap			
	Van der Veer <i>et al.</i> (2015)	Genoemd als mogelijkheid (4)	Mogelijk maar geen bewijs (4)
	van Denderen <i>et al.</i> (2013)	Modelstudie in Noordzee irt boomkorvisserij (4)	
Effecten van bodemberoering via veranderd benthisch ecosysteem en visgemeenschap op vogels en Habitatrichtlijnsoorten			
zandspieren als voedsel voor zeevogels	Tien <i>et al.</i> (2017)	negatieve relatie met het voorkomen van zandspieren, maar causale relatie niet aangetoond (3)	Verband maar geen causale relatie (3)
	Tulp <i>et al.</i> (2018)	verspreiding zandspieren en visserij zijn ruimtelijk gescheiden, geen duidelijke aanwijzingen voor causaal verband (3)	
zeeprik, rivierprik, fint	geen studies	Waarschijnlijk geen verband: ofwel parasitair (rivierprik), ofwel dieet van pelagische soorten (zeeprik) of zoöplankton (fint) (4)	Effect onwaarschijnlijk (4)
voedsel voor vogels en zeezoogdieren	Geen studies voor andere soorten dan zandspieren	effect mogelijk (4)	Effect mogelijk (4)
Effecten van bodemberoering via effect op mossel- en oesterbanken op voedselbeschikbaarheid voor vogels			
Eider en topper	Smit <i>et al.</i> (2011)	Beperking vestiging schelpdierbroed door regelmatige beroering (4)	Effect gesuggereerd maar niet onderzocht (4)
Effect van bijvangst van vis op jonge vis			
	Revill <i>et al.</i> (1999)	Reductie van het paaibestand van 5,3% en voor tong, kabeljauw en wijting op ca. 1% (2)	Reductie volwassen bestanden voor kinderkamersoorten (2)
	van der Hammen <i>et al.</i> (2015)	Bijvangst door de garnalenvisserij zou kunnen leiden tot een reductie van de paaipopulatie van schol met 12-17% (2)	
	van der Veer <i>et al.</i> (2022)	Dagelijkse sterfte van jonge schol is tussen 1970-2020 toegenomen van 1 naar 3% per dag, maar niet voor bot. Toename wordt toegeschreven aan temperatuurstijging (uittrek), toename van predatoren en toegenomen visserijdruk (3)	Effect van verschillende oorzaken op dagelijkse sterfte niet te onderscheiden, maar visserij-effect mogelijk (3)
	Berghahn and Purps (1998)	Overleving jonge schol na bijvangst is 20% (2)	Lage overleving na bijvangst (2)

7 Effecten van de bijvangst van vis

Door de garnalenvisserij wordt kleine vis onttrokken aan het ecosysteem. Door middel van verplichte netaanpassingen zoals zeeflap of brievenbus wordt de bijvangst van vissen groter dan 10 cm sterk gereduceerd. Uit controles door de schepen van de Waddenunit blijkt dat het nalevingsniveau 92% is (pers. med. Arjen Dijkstra). Uit bijvangstonderzoek in de periode 2012-2014 bleek dat de vangst op gewichtsbasis gemiddeld voor 39 % uit aangelande garnalen bestaat. De fractie discard garnaal was 49%, dit is inclusief eventuele schelpen en overig afval (zoals stenen, zand, wieren). Het overige deel van de vangst bestond uit bijvangsten van vis en benthos (12.3%), en 0.2% marktwaardige (aangelande) vis (van der Hammen

et al. 2015). Bijgevangen kleinere vissen gaan na het sorteerproces weer overboord. Een groot deel van deze kleine vissen overleeft dit niet, omdat ze verdrukt worden in het net (een trek kan twee uur duren), beschadigd raken, te lang uit het water zijn of opgegeten worden door predatoren als ze weer overboord gezet zijn. Bijvangst kan op drie manieren doorwerken: 1. Vissen die zijn bijgevangen en niet overleven kunnen niet meer doorgroeien en bijdragen aan de volwassen populatie (zie 7.1-7.3); 2. Kleine vissen zijn belangrijke prooien voor een breed scala aan dieren, waaronder zeevogels, zeehonden en bruinvissen. Bijvangst onttrekt daardoor potentieel voedsel voor visetende soorten (zie 7.4); 3. Ongewenste bijvangst (vis, ondermaatse garnaal en epibenthos zoals krabben en zeesterren) gaat weer overboord (discards) en vormt zo ook weer een voedselbron voor verschillende aasetende organismen (zie 8).

7.1 Jonge vis in opgroeigebieden (kinderkamerfunctie)

Ook al is de zeeflap erg efficiënt in het verminderen van bijvangst van met name grotere vis (vis >25 cm wordt nagenoeg niet gevangen (Catchpole et al. 2008), kleine (<10cm) vis, wordt nog steeds veel bijgevangen (van der Hammen et al. 2015). De piek in bijvangst ligt in het voorjaar wanneer de jonge platvis de Waddenzee en kustgebieden bereikt. Hiervan maakt schol het grootste deel uit (van der Hammen et al. 2015). Afgezien van schol zijn de meest bijgevangen soorten: schar, haring, sprout, wijting en grondel. De jonge vis heeft echter ook te maken met een hoge natuurlijke sterfte. Dat komt doordat ze opgegeten worden, verhongeren of door andere natuurlijke oorzaken doodgaan. Naar schatting is dit voor schol in de Waddenzee 0.01-0.09 dag⁻¹ ((Iles and Beverton 1991), (Beverton and Iles 1992)). De dagelijkse sterfte van 0-groep is na 1970 toegenomen voor schol van ca. 0.01 naar 0.03 per dag, maar niet voor bot. Deze toename wordt toegeschreven aan temperatuurstijging, toename van predatoren en effect van toegenomen visserijdruk (van der Veer et al. 2022). De jonge vis die opgroeit in de Natura2000 gebieden keert uiteindelijk terug naar de Noordzee en maakt daar deel uit van de paaipopulatie. Door Revill et al. (1999) wordt het effect van garnalenvisserij via bijvangst van de jongste jaarklasse op de bestanden van schol geschat op een reductie van het paaibestand van 5,3% en voor tong, kabeljauw en wijting op ca. 1%. In van der Hammen et al. (2015) is geschat dat de bijvangst door de garnalenvisserij zou kunnen leiden tot een reductie van de paaipopulatie van schol met 12-17%, uitgaande van 20% overleving na bijvangst (Berghahn et al. 1998).

7.2 Residente vissoorten

Er zijn in Nederland in Natura2000 gebieden geen studies bekend van de effecten van bijvangst door garnalenvisserij van residente vissoorten. Trendanalyses onder zes residente soorten laten in de afgelopen tien jaar in de (internationale) Waddenzee voor twee soorten (zeedonderpad en harnasmannetje) significante afnames zien en voor de andere soorten stabiele trends (Tulp et al. 2022). De gemiddelde grootte van veel soorten is in de periode vanaf 1970 afgenomen (Tulp et al. 2017). Dat is een fenomeen dat niet alleen in de Waddenzee en kustgebieden speelt, maar ook verder op de Noordzee wordt waargenomen. Hiervoor zijn drie verschillende (elkaar potentieel versterkende of tegenwerkende) oorzaken mogelijk: afname in voedsel in combinatie met dichtheidsafhankelijke processen, (bij)vangst in de garnalenvisserij en klimaatverandering ((ter Hofstede and Rijnsdorp 2011), (Neuheimer and Gronkjaer 2012), (Baudron et al. 2014), (Stamoulis et al. 2016)). Er zijn echter geen specifieke studies uitgevoerd waarin de mogelijke relatie tussen de afname in gemiddelde lengte en garnalenvisserij in de N2000 gebieden is onderzocht.

7.3 Trekvisserij (habitatrichtlijnsoorten)

Diverse bijvangstprogramma's hebben laten zien dat sommige trekvissoorten bijgevangen worden ((Tulp et al. 2010), (Steenbergen et al. 2015), (van der Hammen et al. 2015)). Daarbij gaat het vooral om rivierprik en fint, zeeprrik wordt vrijwel niet bijgevangen. Uit recent onderzoek blijkt dat in de garnalenvisserij voor het Haringvliet ook Noordzeehouting wordt bijgevangen (Rijssel and Winter 2022). Het effect van de bijvangst op populatiegroottes kan niet goed gekwantificeerd worden omdat schattingen van de totale populatieomvang ontbreken. In van der Hammen et al. (2015) is een poging gedaan om de bijvangst te relateren aan grove populatieschattingen voor rivierprik. De bijgevangen finten zijn voornamelijk eerstejaars finten en een klein deel tweedejaars finten (van der Hammen et al. 2015). Fint kwam voor in 27.3% van de trekken, rivierprik in 13.7% van de trekken en zeeprrik is niet bijgevangen. Oudere juvenielen en volwassen finten worden niet bijgevangen, vermoedelijk door de werking van de

zeeflap. De overlevingskansen na bijvangst voor de zeer kwetsbare fint zijn nihil. De omvang van de bijvangst bedroeg in de periode van de studie (2012-2014) 100.000en per jaar in elk van de drie Natura 2000 gebieden (Waddenzee, Noordzeekustzone en Voordelta). De schatting is gebaseerd op een periode waarin er ook piekaantallen (jonge) finten in verschillende monitoringen werden gevangen ten opzichte van andere jaren. De bijvangst aan finten laat net als de populatie waarschijnlijk een behoorlijke jaarvariatie zien. De omvang van de bijvangst van rivierprik bedroeg 10.000en per jaar in de Waddenzee en Noordzeekustzone, behalve de Voordelta (100en). De overleving van rivierprikken na vangst en terugzetten in zee is hoog. De huidige paaipopulaties rivierprik die via Nederland binnentrekken worden geschat op minimaal 100.000en (Griffioen and Winter 2014).

Zeeprik is niet waargenomen in de bijvangsten en trekt gezien zijn prooivoorkeur voor grotere vissen waarschijnlijk verder de zee op dan rivierprik, die met name in kustgebieden blijft hangen. Door verdere dispersie op zee en het vastgezogen voorkomen op moeilijk met garnalenkor vangbare grote vis en zeezoogdieren zullen de effecten van de garnalenvisserij verwaarloosbaar klein zijn.

In welke mate de door de garnalenvisserij veroorzaakte additionele sterfte van verschillende trekvissoorten van invloed is op de omvang van de paaipopulatie(s) van deze soorten is niet duidelijk.

7.4 Indirecte effecten bijvangst van vis op vogels en zeezoogdieren

Het onttrekken van vis uit het Waddenzee en kust-ecosysteem door de garnalenvisserij kan invloed hebben op grijze zeehonden, maar vooral gewone zeehonden. Ook voor verschillende visetende, diep duikende vogels, zoals de aalscholver, roodkeelduiker, futen, en alk-achtigen, zijn vissen die in, op of dicht bij de bodem leven belangrijke prooi-soorten. Dit gaat dan bijvoorbeeld om zandspieringen, grondels, en voor de aalscholver om kleine platvissen. Andere visetende zeevogels, zoals meeuwen en sterns, die minder diep duiken, vangen ook zandspieringen, maar daarnaast ook hoger in de waterkolom levende kleine haringachtigen ((Dunnet et al. 1990), (Walter and Becker 1997), (Stienen et al. 2000), (Stienen 2006)).

Er is weinig onderzoek gedaan naar het dieet van zeehonden in de Nederlandse wateren. Uit dieetonderzoek in uitwerpselen verzameld op wadplaten blijkt dat ze vooral relatief kleine (<20cm) bodemgebonden vissen als platvissen, zandspieringen en kabeljauwachtigen eten, maar ook niet commerciële soorten als meun en pitvissen (Aarts et al. 2019). Dit overlapt sterk met de bijvangst van de garnalenvisserij en de soorten die mogelijk beïnvloed worden door de bodemberoering. Als de garnalenvisserij de paaibestanden van schol met 20% zou reduceren, dan is het denkbaar dat de visserij invloed heeft op de voedselbeschikbaarheid voor zeehonden.

Bruinvissen komen in de Waddenzee voor, maar vergeleken met de Noordzee(kustzone) zijn de aantallen veel lager (IJsseldijk et al. 2015). In specifieke periodes wordt de Eems gebruikt door bruinvissen die dan waarschijnlijk de spiering volgen (Weel et al. 2018). In andere zeegaten worden ook regelmatig bruinvissen waargenomen (IJsseldijk et al. 2015). Ook het dieet van bruinvissen vertoont veel overlap met het bijvangstsoortenspectrum, waardoor een effect van de bijvangsten op het voedselaanbod voor bruinvissen niet uit te sluiten valt.

7.5 Discards als voedsel

Garnalenvisserij veroorzaakt bijvangsten die tot ruim de helft van de totale biomassa van de vangst kan bedragen (van der Hammen et al. 2015). Alles behalve de maatse garnaal gaat (deels dood, deels levend) weer overboord, waarvan een deel wordt opgegeten door vogels, vissen en ongewervelden op de zeebodem (krabben, zeesterren, garnalen). Direct opvissen achter het schip door vogels wordt enigszins beperkt doordat de afvoer bij veel schepen onder de waterlijn ligt.

Soorten die in een studie naar effecten van boomkorvisserij via discards op aaseters in Ierland werden waargenomen waren onder andere heremietkreeften, zeesterren, Noordzeekrabben, gewone zwemkrabben, wulken en amphipoden en isopoden (Ramsay et al. 1997). Voor boomkorvisserij is aangetoond dat aaseters zoals zeesterren profiteren van discards waarbij er sprake is van een optimum: dichtheden nemen toe met hoeveelheid discards tot een bepaald punt, waarna de negatieve effecten op de zeesterren zelf de overhand nemen (Ramsay et al. 2000). De aantrekking van aaseters blijkt wel erg gebiedsafhankelijk (Ramsay et al. 1998). Het verschil tussen boomkorvisserij en garnalenvisserij is dat

door het zwaardere tuig in boomkorvisserij de directe sterfte door de passage van het tuig groter is, terwijl in garnalenvisserij vooral de discards potentieel voedsel voor aaseters vormen. Onderzoek naar dit effect bij de garnalenvisserij in Nederland is niet uitgevoerd.

Dichtheden van aaseters en benthische predatoren zoals strandkrabben zijn sterk toegenomen sinds begin 2000. Garnalen kunnen zelf ook profiteren van discards. Een veel gehoorde suggestie dat met garnalenvisserij garnalen gekweekt worden is ecologisch gezien een plausibel mechanisme, maar kan niet hard onderbouwd worden op basis van uitgevoerd onderzoek. Ook zien we een verschuiving in de ratio vis/epibenthos in de Demersal Fish Survey naar meer epibenthos en minder vis vanaf 1995-2000. Deze toename is gelijk opgegaan met de toename in de garnalenvisserij, maar onder meer ook met opwarming, verandering in nutriënten (van Beusekom et al. 2019), en het herstel van mosselbanken (van der Meer et al. 2019). Oorzakelijke relaties met een of meerdere van deze factoren zijn niet aangetoond.

Zeevogels (vooral grotere soorten meeuwen, stormvogels en jagers) op de Noordzee weten de door boomkorvisserij overboord gezette discards te benutten. Vanuit het vele onderzoek dat hieraan gedaan is, weten wij bijvoorbeeld dat 20% van de overboord gezette platvissen gegeten wordt (Camphuysen 1995). Dit zou kunnen leiden tot verandering in de populatiegrootte van aasetende zeevogels ((Furness and Camphuysen 1997), (Walter et al. 1997)), maar hier is weinig onderzoek aan gedaan. Alleen voor zilvermeeuwen in Schotland is geconstateerd dat het broedsucces afnam met afname in de (demersale en pelagische) visserij (Foster et al. 2017).

Specifiek onderzoek naar het effect op vogels van discards door de garnalenvisserij is niet uitgevoerd. De meeste garnalenschepen lozen hun bijvangst tegenwoordig onder de waterlijn, wat opvissen door vogels mogelijk bemoeilijkt. Waarnemingen van predatoren die onder water vissen, zoals diep duikende zeevogels als aalscholvers, en zeehonden die in de buurt van garnalenschepen voedsel zoeken tussen overboord gezette discards zijn vooral anekdotisch van aard. In hoeverre dit een belangrijke voedselbron is, is nooit onderzocht.

Tabel 5. Overzicht van mogelijke effecten van de bijvangst in de garnalenvisserij. Gebaseerd op de systematiek van Mupepele et al. (2016) is per studie en hun combinatie (totaalbeeld) bepaald of er een effect is gevonden, de richting van het effect (geen, verschuiving, toename, afname), en hoe sterk het bewijs ervoor is (zie voetnoot). Voor bewijssterkte (LoE: Level-of-Evidence*) 4 – de inschatting van experts – worden potentiële effecten als “mogelijk” of “onwaarschijnlijk” aangeduid, aangezien deze verder niet zijn onderzocht. Individuele soort(groepen) worden alleen getoond als er een effect is gevonden (LoE = 1-3) of gesuggereerd (LoE = 4).

Effecttype	Studies	Effect per studie (bewijssterkte*)?	Totaalbeeld effect (bewijssterkte*)?
Effect van bijvangst van vis op jonge vis			
	Revill et al. (1999)	Reductie van het paaibestand van 5,3% en voor tong, kabeljauw en wijting op ca. 1% (2)	Reductie volwassen bestanden voor kinderkamersoorten (2)
	van der Hammen et al. (2015)	Bijvangst door de garnalenvisserij zou kunnen leiden tot een reductie van de paaipopulatie van schol met 12-17% (2)	
	van der Veer et al. (2022)	Dagelijkse sterfte van jonge schol is tussen 1970-2020 toegenomen van 1 naar 3% per dag, maar niet voor bot. Toename wordt toegeschreven aan temperatuurstijging (uittrek), toename van predatoren en toegenomen visserijdruk (3)	Effect van verschillende oorzaken op dagelijkse sterfte niet te onderscheiden, maar visserij-effect mogelijk (3)
	Berghahn et al. (1998)	Overleving jonge schol na bijvangst is 20% (2)	Lage overleving na bijvangst (2)
Effect van bijvangst van vis op residente vis			
	Tulp et al. (2022)	Veranderingen in residente soorten: afname of stabiele	Effecten op residente soorten niet uit te

		trends, relatie met visserij onduidelijk (4)	sluiten maar niet onderzocht (4)
	(Daan et al. 2005, Baudron et al. 2014, Speirs et al. 2016, Stamoulis et al. 2016)	Afname in visgrootte op de Noordzee mogelijk als gevolg van voedsellimitatie, opwarming en/of visserij (4)	
	Tulp et al. (2017)	Afname in visgrootte mogelijk als gevolg van voedsellimitatie, opwarming en/of visserij (4)	
Effect van bijvangst van vis op trekvis			
	van der Hammen et al. (2015) Griffioen et al. (2014)	Bijvangsten rivierprik en fint ordegrootte 10.000 resp 100.000 per jaar voor Waddenzee, Noordzee kustzone en Voordelta elk. Effect op populatie niet bekend (3). Overleving na bijvangst fint is nihil, rivierprik hoog (4)	Aanzienlijke bijvangst (2) maar evaluatie bijvangst als populatie-effect niet bekend (3)
	van Rijssel and Winter (2022)	Noordzeehouting wordt bijgevangen (2)	
Effect van bijvangst van vis op het voedselweb			
Vis als voedsel	Aarts et al. (2019)	Bijvangst mogelijk tot 50% reductie van jonge schol (2)	Effect bijvangst aanzienlijk, maar effect ook afhankelijk van natuurlijke sterfte en uittrek (2)
Effect van bijvangst van vis op visgemeenschappen			
	Tulp et al. (2017)	Afname in visgrootte mogelijk als gevolg van voedsellimitatie, opwarming en/of visserij (4)	Mogelijk effect op visgrootte (4)
	van der Hammen et al. (2015)	Bijvangst van grotere soorten onwaarschijnlijk agv verplichte netaanpassingen (2)	
Effect van discards op aaseters			
	van der Hammen et al. (2015)	Ruim de helft van vangst bestaat uit bijvangst (ondermaatse garnaal, vis en (epi)benthos (2), die deels dood overboord gaat	Aanzienlijke bijvangst, die als discards in het systeem terugkomen. Geen studies maar effect mogelijk (4)
	Ramsay et al. (1997) Ramsay et al. (2000)	In boomkorvisserij nemen dichtheden toe met hoeveelheid discards tot een bepaald punt, waarna negatieve effecten de overhand nemen (2). Geen studies voor garnalenvisserij	
	Tulp et al. (2012)	Toename in aaseters: strandkrabben, mogelijk gerelateerd aan toename garnalenvisserij, geen causaal verband aangetoond (4) Ratio vis en epibenthos verschoven naar meer epibenthos en minder vis vanaf ca 1995-2000 (4)	
Effect van discards op vogels en zeezoogdieren			
	Camphuysen (1995)	Groot deel discards wordt opgevisst door zeevogels (2)	Studies suggereren een effect op populaties maar alleen aangetoond voor zilvermeeuwen in Schotland met andere visserij (4)
	Foster et al. (2017)	Vermindering discards van demersale en pelagische visserij leidt tot populatie-effect zilvermeeuwen in Schotland (2)	

	Bicknell et al. (2013)	Mogelijke effect van discards op populaties zeevogels (4)	
	Walter et al. (1997), Furness et al. (1997). Tyson et al. (2015)	Zeevogels op Waddenzee benutten discards als voedselbron (2). Kan effect hebben op populaties (4)	

8 Verstoring door varen

Vogels en zeezoogdieren kunnen verstoord worden door varende vissersboten. Er is enige mate van overlap tussen de concentraties van voor vogels belangrijke schelpdiersoorten en de garnalenvisserij (Jongbloed et al. 2011). Garnalenvisserij op volwassen mosselbanken, waar eiders graag foerageren, vindt echter niet of nauwelijks plaats omdat garnalenvissers schade aan hun netten willen vermijden. De verstoringafstand van rustende eiders is ca. 300 m (Koepff and Dietrich 1986) en mogelijke verstoring zal daardoor beperkt blijven. De zwarte zee-eend is gevoeliger voor verstoring door scheepvaart ((Leopold et al. 1995), (Dirksen et al. 2005), (Kaiser et al. 2006), (Krijgsveld et al. 2022)). Ze vliegen op bij een afstand van 1 à 1,5 km (Krijgsveld et al. 2022). Bij veelvuldig opvliegen door verstoring ontstaat er een bredere zone van tenminste 3 km tussen de eenden en verstoringbronnen (Poot et al. in prep). Een recente modelstudie (van de Wolfshaar et al. 2023) voorspelt dat door de aanwezigheid van garnalenvissers zwarte zee-eenden in de Noordzeekustzone minder goed gebruik kunnen maken van *Spisula* banken, maar dat de grootte van het voorspelde effect sterk afhangt van de precieze ligging van de banken. In één van de drie gemodelleerde jaren was de berekende draagkracht zonder garnalenvisserij 29% hoger dan met visserij. In de andere twee jaren was het effect beduidend lager. Er kon echter geen relatie gevonden worden tussen de voorspelde draagkracht en de tellingen. De omstandigheden elders zullen ook voor een groot deel bepalen hoeveel eenden het gebied aandoen.

Het effect van verstoring van zeezoogdieren door activiteiten van vissersvaartuigen is in Nederland nooit goed onderzocht. De vergunningsvoorwaarde voor garnalenvisserij is dat rustende en/of zogende zeehonden niet mogen worden verstoord. Wanneer deze voorwaarde wordt nageleefd, verwachten Jongbloed & Tamis (2011) weinig risico op een effect. Bij navraag bij de Waddenuit blijkt dat deze voorwaarde over het algemeen wordt nageleefd (pers. med. Arjen Dijkstra). Verstoring van in het water zwemmende (foeragerende) zeehonden door garnalenvisserij is niet onderzocht, maar lijkt geen probleem (Jongbloed et al. 2011). Bruinvissen zijn veel schuwer van aard en mijden over het algemeen naderende schepen. Dat wil niet zeggen dat er daarmee geen effect van verstoring is. Ook dit mogelijke effect is niet onderzocht.

Tabel 6. Overzicht van mogelijke effecten van verstoring door varen. Gebaseerd op de systematiek van Mupepele et al. (2016) is per studie en hun combinatie (totaalbeeld) bepaald of er een effect is gevonden, de richting van het effect (geen, verschuiving, toename, afname), en hoe sterk het bewijs ervoor is (zie voetnoot). Voor bewijssterkte (LoE: Level-of-Evidence*) 4 – de inschatting van experts – worden potentiële effecten als “mogelijk” of “onwaarschijnlijk” aangeduid, aangezien deze verder niet zijn onderzocht. Individuele soort(groepen) worden alleen getoond als er een effect is gevonden (LoE = 1-3) of gesuggereerd (LoE = 4).

Effecttype	Studies	Effect per studie (bewijssterkte*)?	Totaalbeeld effect (bewijssterkte*)?
Effect van varen op verstoring van vogels			
Topper, eider	Jongbloed et al. (2011)	Gering effect door geringe overlap (4)	Effect is niet goed onderzocht (4)
Eider	Koepff et al. (1986)	Verstoringafstand 300 m (2)	
Zwarte zee-eend	(Leopold et al. 1995, Dirksen et al. 2005, Kaiser et al. 2006, Krijgsveld et al. 2022)	Gevoelig voor verstoring, verstoringafstand 1-1,5 km (2)	Verstoring door garnalenvisserij wanneer gevist wordt in

	van de Wolfshaar et al. (2023)	Door aanwezigheid van garnalenvissers kunnen zwarte zee-eenden in de Noordzeekustzone minder goed gebruik maken van schelpdierbanken (3)	de nabijheid van preferente voedselplekken van zwarte zee-eenden (3)
Effect van varen op verstoring van zeezoogdieren			
	Geen studies		Verstoring op zandbanken is afgedekt in vergunningvoorwaarden. Verstoring in het water is niet bekend

* *Bewijssterkte – Level-of-Evidence (LoE) – volgens systematiek Mupepele et al. (2016): 1 - Erg sterk bewijs; 2 - Sterk bewijs; 3 - Matig bewijs; 4 - Zwak bewijs.*

9 Cumulatieve effecten door interactie met garnalenvisserij

In deze rapportage is een veelheid aan potentiële effecten van garnalenvisserij op het sediment, bodemleven, vissen, vogels, zoogdieren, en het voedselweb tegen het licht gehouden. Hierbij zijn eventuele effecten vooral in isolatie beschouwd. Echter, de garnalenvisserij is niet de enige vorm van menselijke invloed in de Nederlandse kustzone. Ook andere processen hebben daar invloed. Over de afgelopen honderden jaren hebben allerlei lokale activiteiten (o.a. landaanwinningen, baggerwerken, vervuiling, vermesting) hun invloed gehad op de kustzone. Daarnaast zorgt de wereldwijde klimaatverandering via hittegolven, gemiddelde opwarming van het water en zeespiegelstijging ook voor veranderingen. Al die activiteiten en veranderingen hebben dus hun afzonderlijke effect. Hun samenspel kan ook van belang zijn. De interactie tussen activiteiten en veranderingen noemen we cumulatieve effecten (Hodgson and Halpern 2019). Cumulatieve effecten kunnen tegen elkaar deels wegvallen, bij elkaar optellen, of elkaar versterken (Hodgson et al. 2019). Door het interactieve karakter van cumulatieve effecten in ecosystemen is het moeilijk om hier onderzoek aan te doen; zeker om alle potentiële effecten en hun interacties op een goede manier mee te nemen en te wegen ((Piet et al. 2017), (Piet et al. 2019), (Piet et al. 2021)).

In dit rapport overwegen we mogelijke cumulatieve effecten waarin garnalenvisserij een rol zou kunnen spelen. Hierbij is het belangrijk te vermelden dat de vraag van LNV over de huidige situatie van de Waddenzee en Noordzeekustzone gaat. Dat betekent dat er niet zonder meer uitgegaan kan worden van een historische situatie of referentie. Door allerlei activiteiten in de afgelopen ruim 100 jaar is de oorspronkelijke situatie veranderd. Daarom zal een activiteit niet een vermindering (kunnen) veroorzaken van de origineel aanwezige biodiversiteit; eventuele effecten en cumulaties vinden plaats in een veranderd en veranderend systeem. Eventuele effecten op aanwezige soorten of doelsoorten voor herstel moeten dan ook in deze context worden beoordeeld.

Op dit moment zijn geen studies bekend die cumulatieve effecten in de Nederlandse kustzone, met specifiek de rol van garnalenvisserij daarin, expliciet hebben onderzocht. Hierdoor is het momenteel niet mogelijk om cumulatieve effecten kwantitatief te beoordelen. Wél is het mogelijk om, op basis van afzonderlijke studies, kwalitatief vast te stellen van welke activiteiten of veranderingen een effect in dezelfde richting te verwachten is als de garnalenvisserij. Hieronder lichten we er enkele voorbeelden van mogelijke cumulatieve effecten uit – dit is dus nadrukkelijk niet bedoeld als een volledig overzicht. Ook willen we benadrukken dat, door het gebrek aan gericht onderzoek, de onzekerheden in de beschreven effecten zeer groot zijn.

9. 1 Klimaatverandering

De opwarming van het zeewater door klimaatverandering kan voor verschuivingen in de soortensamenstelling in de Nederlandse kustwateren zorgen. Veranderingen in (extremen in) watertemperatuur, zoetwaterafvoer, neerslag en stormfrequentie hebben invloed op het onderwaterleven. Vrijwel alle in het water levende organismen die door garnalenvisserij beïnvloed kunnen worden zijn koudbloedig. Hun metabolisme wordt direct beïnvloed door watertemperatuur en daarmee zijn er tal van processen die veranderen door klimaatverandering. Van veel bodemfauna- en vissoorten verandert de

timing van voortplanting en migratie, energiebehoefte, verspreiding, gedrag en sterfte onder invloed van klimaatverandering. Een recent review van van der Veer et al. (2022) toont dat de temperatuuroptima van het water in de Waddenzee samenvalt met een afname van schol, bot en schar. Het zeewater is hier in de zomer dusdanig opgewarmd dat deze hoger ligt dan de optima van deze platvissoorten met als gevolg dat deze soorten de Waddenzee uittrekken. Voor tong is het optimum juist nog niet bereikt, waardoor de condities voor de soort nog verbeteren. Hoewel Noordzeepopulaties geen negatief effect ondervinden, concludeert van der Veer et al. (2022) dat populaties van schol, bot en schar in de Waddenzee zullen blijven afnemen. Aangezien (jonge) platvis onderdeel uitmaakt van de bijvangst van de garnalenvisserij (Glorius et al. 2015), kunnen schol, bot en schar in de Waddenzee door de combinatie van klimaatverandering en garnalenvisserij mogelijk extra onder druk komen te staan, terwijl de betere groeicondities voor tong een eventueel bijvangsteffect zouden kunnen compenseren.

De relatieve bijdrage van garnalenvisserij binnen cumulatieve effecten kan mogelijk ook veranderen. Door klimaatverandering zullen stormen frequenter en misschien ook heftiger optreden (KNMI, 2023, <https://www.knmi.nl/kennis-en-datacentrum/uitleg/knmi-klimaatscenario-s>). Hierdoor neemt de invloed van natuurlijke veranderingen ten opzichte van door visserij veroorzaakte veranderingen toe. Dit speelt vooral in de hoog dynamische zones van Waddenzee en Noordzeekustzone. Voor laag dynamische slibrijke gebieden is dit wellicht minder relevant. Maar als onder invloed van stormen de laag dynamische gebieden in omvang afnemen, betekent dit dat de zorg voor bescherming van karakteristieke biota in deze gebieden extra aandacht moet krijgen.

9. 2 Stikstof

De problematiek rondom stikstofdepositie is inmiddels algemeen bekend. Een grote verscheidenheid aan menselijke activiteiten – waaronder landbouw, industrie, bouw, verkeer, en scheepvaart – leiden tot een dusdanig hoge depositie van ammoniak en stikstofoxiden dat stikstofgevoelige natuurgebieden verzuren en vermesten. In de kustzone zijn met name de duinen gevoelig voor stikstofdepositie en in mindere mate ook de kwelders (Bobbink, et al. 2022). De optelsom van stikstofdepositie door alle activiteiten zorgt uiteindelijk voor het overschot, en kan als cumulatief effect worden gezien. Doordat garnalenvisserij plaatsvindt in de kustzone, zou een deel van haar stikstofuitstoot in gevoelige natuur terecht kunnen komen. Dit is ook de reden waarom de sector de motoren op haar schepen moet verduurzamen met een katalysator waardoor de stikstofuitstoot wordt teruggebracht.

9.3 Verstoring door varen

Zoals hierboven beschreven kan de aanwezigheid en vaarbewegingen van schepen voor verstoring zorgen. Hierbij lijken de zwarte zee-eend (Kaiser, Galanidi et al. 2006) en rustende zeehonden (Karpovich et al. 2015) potentieel het meest gevoelig. Garnalenvissers kunnen voor verstoring zorgen. Dit geldt echter net zo goed voor andere schepen, en andere verstoringen zoals door helikopters, luchtmachtoefeningen, kite-surfers, en honden op het strand. De totale mate van verstoring is daarmee afhankelijk van de combinatie van menselijke verstoringen op of aan het water.

10. Toekomstig onderzoek: aanpak en hiaten

Ondanks het feit dat er het nodige gerichte onderzoek gedaan is naar de effecten van garnalenvisserij op de garnalenpopulatie zelf (bijvoorbeeld Steenbergen et al 2015, Temming en Hufnagl 2015) en op de rest van het ecosysteem (bijvoorbeeld Schellekens et al. 2014, Glorius et al 2015, Tulp et al. 2020, Fock et al. 2023), blijken er de nodige hiaten te bestaan in de wetenschappelijke kennis die vergaard is. Dit is in de voorgaande hoofdstukken uitgebreid en per onderdeel aangegeven. Daaruit kunnen een aantal algemene aspecten worden gedestilleerd.

Bij voorkeur zou effecten-onderzoek experimenteel van karakter moeten zijn, omdat de sterkte van bewijsvoering van dergelijk onderzoek hoger is dan dat van onderzoek dat observationeel en correlatief van aard is. Essentiële ecologische processen op populatie- en levensgemeenschapsniveau (zoals bijvoorbeeld het optreden van een goede broedval bij schelpdieren of het ontstaan van nieuwe

zeegrasvelden) vinden plaats op tijdschalen van jaren tot decennia en kunnen dus alleen goed onderzocht worden in lange termijn onderzoek.

Daarnaast moet men zich realiseren dat de huidige ecosystemen van de Waddenzee en de Noordzeekustzone al eeuwen onder menselijke invloed (waaronder de visserij) staan. De vraag of de garnalenvisserij de herstel mogelijkheden van het ecosysteem (bijvoorbeeld het voorkomen van bodembewonende structuurvormende soorten) nadelig beïnvloedt, kan ook alleen beantwoord worden op basis van langjarig, experimenteel onderzoek waarbij op aselechte wijze grotere gebieden gekozen worden die wel of niet bevestigd mogen worden. Dergelijk onderzoek ontbreekt tot nu toe.

Al het experimentele onderzoek naar effecten op het bodemleven dat tot nu toe uitgevoerd is, is – gezien de looptijd van de experimenten – gericht geweest op korte-termijn effecten over hooguit enkele maanden. Uitspraken over lange-termijn effecten zijn op basis van deze bevindingen niet of niet goed mogelijk. Een bijkomend probleem bij het uitgevoerde experimentele onderzoek was dat meerdere onderzoeken niet tot een goed einde gebracht werden, omdat in de geplande 'onbevestigde' gebieden toch gevestigd is. Ook de keuze voor de onderzoeksgebieden was beperkt omdat er veel belangen meewogen. Dit illustreert de problemen bij het opzetten van grootschalig onderzoek gerelateerd aan praktische activiteiten als visserij, maar ook baggeren of vaarrecreatie.

Naast het ontbreken van grootschalig experimenteel lange-termijn onderzoek valt uit de bovenstaande hoofdstukken af te leiden dat ook wat betreft de korte termijn, het nodige onderzoek ontbreekt. Zo ontbreekt bijvoorbeeld een degelijke inventarisatie van het gebruikte vistuig, zodat de diepte van bodemberoering door garnalenvisserij en het mechanisme waarop het vistuig de bodem beroert moeilijk vast te stellen zijn. Ook het effect van bijvangst en het weer overboord zetten van dode organismen op het systeem is niet onderzocht. Alhoewel bijvangst wel geregistreerd wordt, is het doorwerken van de directe sterfte op vispopulaties (en hogere trofische niveaus) als de toevoer van voedsel voor aaseters (waaronder ook garnaal zelf) niet of nauwelijks onderzocht.

Verder moet de vraag gesteld worden of eerdergenoemd langjarig en relatief grootschalig experimenteel onderzoek antwoord kan geven over de effecten op organismen die zich op nog grotere ruimte- en tijdschalen begeven dan experimenteel te onderzoeken valt, zoals die op vogels, vissen en zeezoogdieren. Hoogstwaarschijnlijk kan alleen een uitgebreide ecosysteemstudie (inclusief studies naar verplaatsingen, dieetkeuzes, fysiologie en energetica van de betreffende soorten) hier licht op werpen.

Bij een dergelijk onderzoek zal ook aandacht besteed moeten worden aan de mogelijke cumulatie van effecten of verstoringen door verschillende natuurlijke en menselijke activiteiten en processen. Het lijkt verstandig eerst een scherpe analyse uit te voeren bij welke cumulatieve interacties van verstoringen er sprake kan zijn van een substantiële versterking van effecten, zodat aandacht kan worden geconcentreerd op die betreffende interacties.

Voor die menselijke activiteiten waarvoor alternatieve handelingsperspectieven (bijvoorbeeld andere wijzen van vissen, ander schepen en vistuigen, aanwijzingen van specifieke gebieden en/of specifieke moment van vissen) worden voorgesteld, dienen niet alleen de effecten van bestaande werkwijzen maar ook de effecten van die alternatieven te worden onderzocht. Hiermee kan beter inzicht verworven worden of en, zo ja, in hoeverre de alternatieven leiden tot een andere (mindere) ongewenste effecten. De uitspraken op basis van dergelijke onderzoeken die ook toekomstbestendig te zijn, dus rekening te houden met ontwikkelingen binnen de sector (b.v. technisch), de leefomgeving (b.v. klimaatverandering) en de overige activiteiten in het gebied (bestaande & toekomstige).

Een dergelijk onderzoek in de praktische setting van een gebied, dat voor een scala aan menselijke activiteiten wordt gebruikt, kan alleen succesvol verlopen als de verschillende betrokken stakeholders vanaf het allereerste begin betrokken worden. Een zorgvuldige, duurzame garnalenvisserij kan veel beter worden vormgegeven als partijen een meer gedeeld beeld hebben van de ecologische risico's. Een goede betrokkenheid van stakeholders bij onderzoek is belangrijk om dat beeld meer gedeeld te krijgen en ook gebruik te kunnen maken van de kennis vanuit stakeholders. Die betrokkenheid moet niet beperkt zijn tot de eindfase van het onderzoek, bij presenteren van resultaten. Integendeel: deze betrokkenheid zou moeten worden vormgegeven in het gehele traject, van probleemdefinitie tot uitvoering en eindfase, en

dusdanig dat dit geen beletsel is voor de onafhankelijkheid van het onderzoek. De ervaring leert dat dit goed te doen is, mits expliciet en zorgvuldig als zodanig georganiseerd.

Referenties

Aarts, G., S. M. J. M. Brasseur, J. J. Poos, J. Schop, R. Kirkwood, T. van Kooten, E. Mull, P. J. H. Reijnders, A. D. Rijnsdorp and I. Tulp (2019). "Top-down pressure on a coastal ecosystem by harbor seals." Ecosphere **10**.

Albaina, A., M. I. Taylor and C. J. Fox (2012). "Molecular detection of plaice remains in the stomachs of potential predators on a flatfish nursery ground." Marine ecology progress series **444**: 223-238.

Atwood, T. B., E. Sala, J. Mayorga, D. Bradley, R. B. Cabral, A. Auber, W. Cheung, F. Ferretti, A. M. Friedlander and S. D. Gaines (2023). "Reply to: Quantifying the carbon benefits of ending bottom trawling." Nature **617**(7960): E3-E5.

Baudron, A. R., C. L. Needle, A. D. Rijnsdorp and C. T. Marshall (2014). "Warming temperatures and smaller body sizes: synchronous changes in growth of North Sea fishes." Global Change Biology **20**(4): 1023-1031.

Berghahn, R. (1996). "Episodic mass invasions of juvenile gadoids into the Wadden sea and their consequences for the population dynamics of brown shrimp (*Crangon crangon*)." MARINE ECOLOGY-PUBBLICAZIONI DELLA STAZIONE ZOOLOGICA DI NAPOLI I **17**(1-3): 251-260.

Berghahn, R. and M. Purps (1998). "Impact of discard mortality in Crangon fisheries on year-class strength of North Sea flatfish species." Journal of Sea Research **40**: 83-91.

Berghahn, R., M. Waltemath and A. Rijnsdorp (1992). "Mortality of fish from the by-catch of shrimp vessels in the North Sea." Journal of Applied Ichthyology **8**(1-4): 293-306.

Bergman, M. and M. Hup (1992). "Direct effects of beamtrawling on macrofauna in a sandy sediment in the southern North Sea." ICES Journal of marine Science **49**(1): 5-11.

Beukema, J. (1976). "Biomass and species richness of the macro-benthic animals living on the tidal flats of the Dutch Wadden Sea." Netherlands journal of sea research **10**(2): 236-261.

Beukema, J. J., R. Dekker and C. J. M. Philippart (2010). "Long-term variability in bivalve recruitment, mortality, and growth and their contribution to fluctuations in food stocks of shellfish-eating birds." Marine Ecology-Progress Series **414**: 117-130.

Beverton, R. J. H. and T. C. Iles (1992). "Mortality rates of 0-group plaice (*Pleuronectes platessa* L.), dab (*Limanda limanda* L.) and turbot (*Scophthalmus maximus* L.) in European waters." Netherlands journal of sea research **29**: 49-59.

Bicknell, A. W. J., D. Oro, K. Camphuysen and S. C. Votier (2013). "Potential consequences of discard reform for seabird communities." Journal of Applied Ecology **50**(3): 649-658.

Bobbink, R., C. Loran & H. Tomassen (2022). Review and revision of empirical critical loads of nitrogen for Europe. Umweltbundesamt/German Environment Agency: Dessau-Roßlau, Germany.

Bom, R. A., A. Brader, J. Batsleer, J.-J. Poos, H. W. V. D. Veer and A. V. Leeuwen (2022). "A long-term view on recent changes in abundance of common skate complex in the North Sea." Marine Biology **169**(11).

Bom, R. A., M. van de Water, K. C. J. Camphuysen, H. W. van der Veer and A. van Leeuwen (2020). "The historical ecology and demise of the iconic Angelshark *Squatina squatina* in the southern North Sea." Marine Biology **167**(7): 91.

Borst, A. C., W. C. Verberk, C. Angelini, J. Schotanus, J.-W. Wolters, M. J. Christianen, E. M. van der Zee, M. Derksen-Hooijberg and T. van der Heide (2018). "Foundation species enhance food web complexity through non-trophic facilitation." PloS one **13**(8): e0199152.

- Braber, L. and S. J. de Groot (1973). "The food of five flatfish species (Pleuronectiformes) in the southern north sea." Netherlands journal of sea research **6**(1): 163-172.
- Bradshaw, C. J., P. R. Ehrlich, A. Beattie, G. Ceballos, E. Crist, J. Diamond, R. Dirzo, A. H. Ehrlich, J. Harte and M. E. Harte (2021). "Underestimating the challenges of avoiding a ghastly future." Frontiers in Conservation Science **1**: 9.
- Buhs, F. and K. Reise (1997). "Epibenthic fauna dredged from tidal channels in the Wadden Sea of Schleswig-Holstein: spatial patterns and a long-term decline." Helgolander Marine Research **51**(3): 343.
- Burson, A., M. Stomp, L. Akil, C. P. Brussaard and J. Huisman (2016). "Unbalanced reduction of nutrient loads has created an offshore gradient from phosphorus to nitrogen limitation in the North Sea." Limnology and Oceanography **61**(3): 869-888.
- Cailloulet, J., C. W., R. A. Hart and J. M. Nance (2008). "Growth overfishing in the brown shrimp fishery of Texas, Louisiana, and adjoining Gulf of Mexico EEZ." Fisheries Research **92**(2-3): 289-302.
- Callaway, R., G. H. Engelhard, J. Dann, J. Cotter and H. Rumohr (2007). "A century of North Sea epibenthos and trawling: comparison between 1902-1912, 1982-1985 and 2000." Marine ecology progress series **346**: 27-43.
- Camphuysen, C. J. (1995). "Herring gull *Larus argentatus* and Lesser Black-backed Gull *L. fuscus* feeding at fishing vessels in the breeding season: Competitive scavenging versus efficient flying." Ardea **83**(2): 365-380.
- Catchpole, T. L., A. S. Revill, J. Innes and S. Pascoe (2008). "Evaluating the efficacy of technical measures: a case study of selection device legislation in the UK Crangon crangon (brown shrimp) fishery." ICES Journal of Marine Science **65**(2): 267-275.
- Christianen, M., W. Lengkeek, J. Bergsma, J. Coolen, K. Dideren, M. Dorenbosch, F. Driessen, P. Kamermans, E. Reuchlin-Hugenholtz and H. Sas (2018). "Return of the native facilitated by the invasive? Population composition, substrate preferences and epibenthic species richness of a recently discovered shellfish reef with native European flat oysters (*Ostrea edulis*) in the North Sea." Marine Biology Research **14**(6): 590-597.
- Christianen, M., T. van Der Heide, S. Holthuijsen, K. van Der Reijden, A. Borst and H. Olf (2017). "Biodiversity and food web indicators of community recovery in intertidal shellfish reefs." Biological Conservation **213**: 317-324.
- Collie, J. S., S. J. Hall, M. J. Kaiser and I. R. Poiner (2000). "A quantitative analysis of fishing impacts on shelf-sea benthos." Journal of Animal Ecology **69**(5): 785-798.
- Compton, T. J., S. Holthuijsen, A. Koolhaas, A. Dekinga, J. ten Horn, J. Smith, Y. Galama, M. Brugge, D. van der Wal and J. van der Meer (2013). "Distinctly variable mudscapes: distribution gradients of intertidal macrofauna across the Dutch Wadden Sea." Journal of Sea Research **82**: 103-116.
- Cook, R., J. M. Farinas-Franco, F. R. Gell, R. H. Holt, T. Holt, C. Lindenbaum, J. S. Porter, R. Seed, L. R. Skates and T. B. Stringell (2013). "The substantial first impact of bottom fishing on rare biodiversity hotspots: a dilemma for evidence-based conservation." PloS one **8**(8): e69904.
- Cooper, K., M. Curtis, W. W. Hussin, C. B. Froján, E. Defew, V. Nye and D. Paterson (2011). "Implications of dredging induced changes in sediment particle size composition for the structure and function of marine benthic macrofaunal communities." Marine Pollution Bulletin **62**(10): 2087-2094.
- Craeymeersch, J., K. Troost, D. van den Ende, Y. van Es, M. van Asch, J. Perdon, S. Glorius and M. van Stralen (2022). Ontwikkeling van bodemdieren in de voor mosselzaad-en garnalenvisserij gesloten gebieden in de westelijke Waddenzee: Evaluatie na zeven jaar monitoring (2015-2021), Wageningen Marine Research.
- Daan, N., H. Gislason, J. G. Pope and J. C. Rice (2005). "Changes in the North Sea fish community: evidence of indirect effects of fishing?" ICES Journal of marine Science **62**(2): 177-188.

Daskalov, G. M. (2002). "Overfishing drives a trophic cascade in the Black Sea." Marine ecology progress series **225**: 53-63.

de Fouw, J., M. Holmer, P. Beca-Carretero, C. Boström, J. Brice, F. G. Brun, P. M. Cruijsen, L. L. Govers, J. M. Garmendia and L. Meysick (2023). "A facultative mutualism facilitates European seagrass meadows." Ecography: e06636.

De Groot, S. (1984). "The impact of bottom trawling on benthic fauna of the North Sea." Ocean management **9**(3-4): 177-190.

De Paoli, H., J. van de Koppel, E. van der Zee, A. Kangeri, J. van Belzen, S. Holthuijsen, A. van den Berg, P. Herman, H. Olf and T. van der Heide (2015). "Processes limiting mussel bed restoration in the Wadden-Sea." Journal of Sea Research **103**: 42-49.

Dellapenna, T. M., M. A. Allison, G. A. Gill, R. D. Lehman and K. W. Warnken (2006). "The impact of shrimp trawling and associated sediment resuspension in mud dominated, shallow estuaries." Estuarine, Coastal and Shelf Science **69**(3): 519-530.

Dirksen, S., R. H. Witte. and M. F. Leopold (2005). Nocturnal movements and flight altitudes of Common Scoters *Melanitta nigra*. Bureau Waardenburg bv National Institute for Coastal and Marine Management. Report nr.: 05-062. 38 pp.

Donadi, S., T. van der Heide, E. M. van der Zee, J. S. Eklöf, J. v. de Koppel, E. J. Weerman, T. Piersma, H. Olf and B. K. Eriksson (2013). "Cross-habitat interactions among bivalve species control community structure on intertidal flats." Ecology **94**(2): 489-498.

Duineveld, G. C., M. J. Bergman and M. S. Lavaleye (2007). "Effects of an area closed to fisheries on the composition of the benthic fauna in the southern North Sea." ICES Journal of marine Science **64**(5): 899-908.

Dunnet, G. M., R. W. Furness, M. L. Tasker and P. H. Becker (1990). "SEABIRD ECOLOGY IN THE NORTH-SEA." Netherlands Journal of Sea Research **26**(2-4): 387-425.

Durrieu de Madron, X., B. Ferré, G. Le Corre, C. Grenz, P. Conan, M. Pujo-Pay, R. Buscaïl and O. Bodiöt (2005). "Trawling-induced resuspension and dispersal of muddy sediments and dissolved elements in the Gulf of Lion (NW Mediterranean)." Continental Shelf Research **25**(19): 2387-2409.

Eigaard, O. R., F. Bastardie, M. Breen, G. E. Dinesen, N. T. Hintzen, P. Laffargue, L. O. Mortensen, J. R. Nielsen, H. C. Nilsson and F. G. O'Neill (2016). "Estimating seabed pressure from demersal trawls, seines, and dredges based on gear design and dimensions." ICES Journal of marine Science **73**(suppl_1): i27-i43.

Epstein, G., J. J. Middelburg, J. P. Hawkins, C. R. Norris and C. M. Roberts (2022). "The impact of mobile demersal fishing on carbon storage in seabed sediments." Global Change Biology **28**(9): 2875-2894.

Eriksson, B. K., T. van der Heide, J. van de Koppel, T. Piersma, H. W. van der Veer and H. Olf (2010). "Major changes in the ecology of the Wadden Sea: human impacts, ecosystem engineering and sediment dynamics." Ecosystems **13**: 752-764.

Fariñas-Franco, J. M., A. L. Allcock and D. Roberts (2018). "Protection alone may not promote natural recovery of biogenic habitats of high biodiversity damaged by mobile fishing gears." Marine Environmental Research **135**: 18-28.

Fock, H., R. Dammann, F. Mielck, R. A. Lauerburg, A. López Ganzález, P. Nielsen, M. Nowicki, M. Pauli and A. Temming (2023). "107 Auswirkungen der Garnelen-fischerei auf Habitats und Lebensgemeinschaften im Küstenmeer der Norddeutschen Bundesländer Schleswig-Holstein, Hamburg und Niedersachsen (CRANIMPACT)."

Foster, S., R. L. Swann and R. W. Furness (2017). "Can changes in fishery landings explain long-term population trends in gulls?" Bird Study **64**(1): 90-97.

Furness, R. W. and C. J. Camphuysen (1997). "Seabirds as monitors of the marine environment." ICES Journal of marine Science **54**(4): 726-737.

Gallagher, C. M., R. W. Hannah and G. Sylvania (2004). "A comparison of yield per recruit and revenue per recruit models for the Oregon ocean shrimp, *Pandalus jordani*, fishery." Fisheries Research **66**(1): 71-84.

Gibb, N., H. Tillin, B. Pearce and H. Tyler-Walters (2014). Assessing the sensitivity of *Sabellaria spinulosa* to pressures associated with marine activities, JNCC.

Glorius, S., J. Craeymeersch, T. Van der Hammen, A. D. Rippen, J. Cuperus, B. van der Weide, J. Steenbergen and I. Tulp (2015). Effecten van garnalenvisserij in Natura 2000 gebieden, IMARES.

Glorius, S. and A. Meijboom (2020). Ontwikkeling van de bodemdiergemeenschap in de geulen van het referentiegebied Rottum: Tussenrapportage 13 jaar na sluiting (najaar 2018), Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu.

Gräfnings, M. (2023). "Seed to meadow-developing intertidal seagrass restoration."

Griffioen, A. B. and H. V. Winter (2014). Inschatting van het aanbod diadrome vis bij Kornwerderzand. IMARES-rapport C069/14, IMARES.

Groenewold, S. and M. Fonds (2000). "Effects on benthic scavengers of discards and damaged benthos produced by the beam-trawl fishery in the southern North Sea." ICES Journal of marine Science **57**(5): 1395-1406.

Günther, C., M. Hufnagl, S. Schulz, J. Santos, J. Berkenhagen, B. Limmer, T. Neudecker, D. Stepputis and A. Temming (2015). Larger mesh-sizes in the North Sea brown shrimp (*Crangon crangon*) fishery: a win-win situation for the fishermen and the ecosystem, ICES.

Gusmao, J. B., D. W. Thielges, R. Dekker, L. L. Govers, K. J. Meijer and B. K. Eriksson (2022). "Comparing taxonomic and functional trait diversity in marine macrozoobenthos along sediment texture gradients." Ecological Indicators **145**: 109718.

Hiddink, J. G., S. Jennings, M. Sciberras, C. L. Szostek, K. M. Hughes, N. Ellis, A. D. Rijnsdorp, R. A. McConnaughey, T. Mazor and R. Hilborn (2017). "Global analysis of depletion and recovery of seabed biota after bottom trawling disturbance." Proceedings of the National Academy of Sciences **114**(31): 8301-8306.

Hiddink, J. G., S. J. van de Velde, R. A. McConnaughey, E. De Borger, J. Tian, M. J. Kaiser, A. K. Sweetman and M. Sciberras (2023). "Quantifying the carbon benefits of ending bottom trawling." Nature **617**(7960): E1-E2.

Hintzen, N. T., G. Aarts, J. J. Poos, K. J. Van der Reijden and A. D. Rijnsdorp (2021). "Quantifying habitat preference of bottom trawling gear." ICES Journal of marine Science **78**(1): 172-184.

Hintzen, N. T., A. Coers and K. G. Hamon (2013). A collaborative approach to mapping value of fisheries resources in the North Sea (Part 1: Methodology). IJmuiden [etc.], IMARES Wageningen UR.

Hodgson, E. E. and B. S. Halpern (2019). "Investigating cumulative effects across ecological scales." Conservation Biology **33**(1): 22-32.

Houziaux, J., F. Kerckhof, K. Degrendele, M. Roche and A. Norro (2008). "The Hinder Banks: yet an important area for the Belgian marine biodiversity? Belgian Science Policy D."

Hufnagl, M., A. Temming, V. Siegel, I. Tulp and L. Bolle (2010). "Estimating total mortality and asymptotic length of *Crangon crangon* between 1955 and 2006." ICES Journal of marine Science **67**(5): 875-884.

ICES (2014). Advice 2014, book 6. Request from Germany and the Netherlands on the potential need for a management of brown shrimp (*Crangon crangon*) in the North Sea. <http://www.ices.dk/news-andevents/>

news-archive/news/Pages/ICES-advise-on-potential-shrimp-management-in-the-North-Sea-.aspx.

ICES (2022). Whiting (*Merlangius merlangus*) in Subarea 4 and Division 7.d (North Sea and eastern English Channel). In Report of the ICES Advisory Committee, 2022. ICES Advice 2022, whg.27.47d. <https://doi.org/10.17895/ices.advice.19457411>.

ICES (2023). Northern shrimp (*Pandalus borealis*) in divisions 3.a and 4.a East (Skagerrak and Kattegat and northern North Sea in the Norwegian Deep), ICES Advice: Recurrent Advice.
Ijsseldijk, L. L., K. C. J. Camphuysen, J. J. Nauw and G. Aarts (2015). "Going with the flow: Tidal influence on the occurrence of the harbour porpoise (*Phocoena phocoena*) in the Marsdiep area, The Netherlands." Journal of Sea Research **103**: 129-137.

Iles, T. C. and R. J. H. Beverton (1991). "Mortality rates of 0-group Plaice (*Pleuronectes-Platessa* L), Dab (*Limanda-Limanda* L) and Turbot (*Scophthalmus-Maximus* L) in European waters .1. Statistical analysis of the data and estimation of parameters." Netherlands journal of sea research **27**(3-4): 217-235.

Jongbloed, R. H., J. E. Tamis and B. J. H. Koolstra (2011). Nadere effectenanalyse Natura 2000-gebieden Waddenzee en Noordzeekustzone. Deelrapport cumulatief, IMARES.

Jørgensen, M. S., R. Labouriau and B. Olesen (2019). "Seed size and burial depth influence *Zostera marina* L.(eelgrass) seed survival, seedling emergence and initial seedling biomass development." PloS one **14**(4): e0215157.

Jung, A. S., H. W. van der Veer, C. J. Philippart, A. M. Waser, B. J. Ens, V. N. de Jonge and U. Schüffel (2020). "Impacts of macrozoobenthic invasions on a temperate coastal food web." Marine ecology progress series **653**: 19-39.

Kaiser, M. J., M. Galanidi, D. A. Showler, A. J. Elliott, R. W. G. Caldow, E. I. S. Rees, R. A. Stillman and W. J. Sutherland (2006). "Distribution and behaviour of Common Scoter *Melanitta nigra* relative to prey resources and environmental parameters." Ibis **148** 110-128.

Karpovich, S. A., J. P. Skinner, J. E. Mondragon and G. M. Blundell (2015). "Combined physiological and behavioral observations to assess the influence of vessel encounters on harbor seals in glacial fjords of southeast Alaska." Journal of Experimental Marine Biology and Ecology **473**: 110-120.

Keller, R. P., J. Geist, J. M. Jeschke and I. Kühn (2011). "Invasive species in Europe: ecology, status, and policy." Environmental Sciences Europe **23**(1): 1-17.

Kleinans, M., S. Passchier and T. Van Dijk (2004). The origin of megaripples, long wave ripples and Hummocky Cross-Stratification in the North Sea in mixed flows. International Workshop. S. Hulscher, T. Garlan and D. Idier. University of Twente, University of Twente: 142-151.

Koepff, C. and K. Dietrich (1986). "HOW DO BIRDS FROM THE MUD FLATS REACT TO RECREATIONAL TRAFFIC WITH WATER VEHICLES." Journal Fur Ornithologie **127**(3): 374-374.

Kottsieper, J., P. Schwemmer, N. Markones, A. D. Fox and S. Garthe (2019). "An invasive alien bivalve apparently provides a novel food source for moulting and wintering benthic feeding sea ducks." Helgoland Marine Research **73**(1).

Krijgsveld, K., B. Klaassen and J. van der Winden (2022). Verstoring van vogels door recreatie. Literatuurstudie van verstoringsgevoeligheid en overzicht van maatregelen. Deel 1 hoofdrapport & deel 2 soortbesprekingen. Uitgave Vogelbescherming Nederland, Zeist.

Kuijper, K. and A. G. Brinkman (2015). Antropogene bodemberoering. Verkenning Slibhuishouding Waddenzee, Deltares. **1220102-000**.

Leopold, M. F., H. J. M. Baptist, P. A. Wolf and H. Offringa (1995). "De Zwarte Zeeënd *Melanitta nigra* in Nederland." Limosa **68**: 49-64.

Lotze, H. K. (2007). "Rise and fall of fishing and marine resource use in the Wadden Sea, southern North Sea." Fisheries Research **87**(2-3): 208-218.

Lotze, H. K., K. Reise, B. Worm, J. van Beusekom, M. Busch, A. Ehlers, D. Heinrich, R. C. Hoffmann, P. Holm and C. Jensen (2005). "Human transformations of the Wadden Sea ecosystem through time: a synthesis." Helgoland Marine Research **59**(1): 84-95.

Lucena-Fredou, F., J. S. Rosa Filho, M. C. N. Silva and E. F. Azevedo (2010). "POPULATION DYNAMICS OF THE RIVER PRAWN, MACROBRACHIUM AMAZONICUM (HELLER, 1862) (DECAPODA, PALAEMONIDAE) ON COMBU ISLAND (AMAZON ESTUARY)." CRUSTACEANA **83**(3): 277-290.

Luderer, G., C. Günther, D. Sörgel, C. Kost, F. Benke, C. Auer, F. Koller, A. Herbst, K. Reder and D. Böttger (2021). "Deutschland auf dem Weg zur Klimaneutralität 2045-Szenarien und Pfade im Modellvergleich (Zusammenfassung)."

Martín, J., P. Puig, A. Palanques and A. Giamportone (2014). "Commercial bottom trawling as a driver of sediment dynamics and deep seascape evolution in the Anthropocene." Anthropocene **7**: 1-15.

McConnaughey, R., K. Mier and C. Dew (2000). "An examination of chronic trawling effects on soft-bottom benthos of the eastern Bering Sea." ICES Journal of marine Science **57**(5): 1377-1388.

Mengual, B., F. Cayocca, P. Le Hir, R. Draye, P. Laffargue, B. Vincent and T. Garlan (2016). "Influence of bottom trawling on sediment resuspension in the 'Grande-Vasière' area (Bay of Biscay, France)." Ocean Dynamics **66**(9): 1181-1207.

Meyer, D. L., M. S. Fonseca, P. L. Murphey, R. H. McMichael Jr, M. W. LaCroix, P. E. Whitfield and G. W. Thayer (1999). "Effects of live-bait shrimp trawling on seagrass beds and fish bycatch in Tampa Bay, Florida."

Mupepele, A. C., J. C. Walsh, W. J. Sutherland and C. F. Dormann (2016). "An evidence assessment tool for ecosystem services and conservation studies." Ecological Applications **26**(5): 1295-1301.

Neuheimer, A. B. and P. Gronkjaer (2012). "Climate effects on size-at-age: growth in warming waters compensates for earlier maturity in an exploited marine fish." Global Change Biology **18**(6): 1812-1822.

O'Brien, C. M., C. J. Fox, B. Planque and J. Casey (2000). "Climate variability and North Sea cod." Nature **404**(6774): 142-142.

Oh, C. W., R. G. Hartnoll and R. D. M. Nash (2001). "Feeding ecology of the common shrimp Crangon crangon in Port Erin Bay, Isle of Man, Irish Sea." Marine Ecology Progress Series **214**: 211-223.

Olsen, O. T. (1883). The Piscatorial Atlas of the North Sea, English and St. George's Channels: Illustrating the Fishing Ports, Boats, Gear, Species of Fish (how, where and when Caught), and Other Information Concerning Fish and Fisheries, OT Olsen.

Piet, G., F. Culhane, R. Jongbloed, L. Robinson, B. Rumes and J. Tamis (2019). "An integrated risk-based assessment of the North Sea to guide ecosystem-based management." Science of the Total Environment **654**: 694-704.

Piet, G. J., A. M. Knights, R. H. Jongbloed, J. E. Tamis, P. de Vries and L. A. Robinson (2017). "Ecological risk assessments to guide decision-making: Methodology matters." Environmental Science & Policy **68**: 1-9.

Piet, G. J., J. E. Tamis, J. Volwater, P. de Vries, J. T. van der Wal and R. H. Jongbloed (2021). "A roadmap towards quantitative cumulative impact assessments: every step of the way." Science of the Total Environment **784**: 146847.

Poiesz, S. S. H., J. I. J. Witte and H. W. van der Veer (2020). "Only a few key prey species fuel a temperate coastal fish food web." Marine ecology progress series **653**: 153-166.

Prins, T., J. van der Meer, P. Herman, A. van der Spek, C. Chen, E. Wymenga, E. van der Zee, E. Stienen, G. Aarts and H. t. Meijer-Holzauer (2020). Eindrapportage monitoring-en onderzoeksprogramma Natuurcompensatie Voordelta (PMR-NCV), Wageningen Marine Research.

Queirós, A., J. G. Hiddink, M. Kaiser and H. Hinz (2006). "Effects of chronic bottom trawling disturbance on benthic biomass, production and size spectra in different habitats." Journal of Experimental Marine Biology and Ecology **335**(1): 91-103.

Quintella, B. R., B. J. Clemens, T. M. Sutton, M. J. Lanca, C. P. Madenjian, A. Happel and C. J. Harvey (2021). "At-sea feeding ecology of parasitic lampreys." Journal of Great Lakes Research **47**: S72-S89.

Quirijns, F., U. Beier, B. Deetman, G. Hoekstra, A. Mol and W. Zaalmlink (2021). Beschrijving garnalenvisserij: Huidige situatie, knelpunten en kansen. Wageningen Marine Research rapport No.C049/21.

Rabaut, M., U. Braeckman, F. Hendrickx, M. Vincx and S. Degraer (2008). "Experimental beam-trawling in *Lanice conchilega* reefs: Impact on the associated fauna." Fisheries Research **90**(1-3): 209-216.

Ramsay, K., M. J. Kaiser and R. N. Hughes (1998). "Responses of benthic scavengers to fishing disturbance by towed gears in different habitats." Journal of Experimental Marine Biology and Ecology **224**(1): 73-89.

Ramsay, K., M. J. Kaiser, P. G. Moore and R. N. Hughes (1997). "Consumption of fisheries discards by benthic scavengers: Utilization of energy subsidies in different marine habitats." Journal of Animal Ecology **66**(6): 884-896.

Ramsay, K., M. J. Kaiser, P. G. Moore and R. N. Hughes (1997). "Consumption of fisheries discards by benthic scavengers: utilization of energy subsidies in different marine habitats." Journal of Animal Ecology: 884-896.

Ramsay, K., M. J. Kaiser, A. D. Rijnsdorp, J. Craeymeersch and J. Ellis (2000). The impact of beam trawling on populations of the benthic scavenger *Asterias rubens* L. Effects of fishing on non-target species and habitats. M. J. Kaiser and S. J. de Groot. London, Blackwell Science: 151-162.

Reise, K. (1982). "Long-term changes in the macrobenthic invertebrate fauna of the Wadden Sea: are polychaetes about to take over?" Netherlands journal of sea research **16**: 29-36.

Reise, K., E. Herre and M. Sturm (1989). "Historical changes in the benthos of the Wadden Sea around the island of Sylt in the North Sea." Helgoländer Meeresuntersuchungen **43**: 417-433.

Reiss, H., S. P. Greenstreet, K. Sieben, S. Ehrich, G. J. Piet, F. Quirijns, L. Robinson, W. J. Wolff and I. Kröncke (2009). "Effects of fishing disturbance on benthic communities and secondary production within an intensively fished area." Marine ecology progress series **394**: 201-213.

Respondek, G., C. Guenther, U. Beier, K. Bleeker, E. M. Pedersen, T. Schulze and A. Temming (2022). "Connectivity of local sub-stocks of Crangon crangon in the North Sea and the risk of local recruitment overfishing." Journal of Sea Research **181**.

Revell, A. S., S. Pascoe, C. Radcliffe, S. Riemann, F. Redant, H. Polet and U. Damm (1999). The economic and biological consequences of discarding in Crangon fisheries (The ECODISC Project - EU (DG XIV A:3) Project 97/SE/23). Final report to the European Commission. University of Lincolnshire and Humberside.

Riesen, W. and K. Reise (1982). "Macrobenthos of the subtidal Wadden Sea: revisited after 55 years." Helgoländer Meeresuntersuchungen **35**(4): 409-423.

Rijssel, J. C. v. and E. Winter (2022). Inspannings- en vangstregistraties van trekvissen door beroepsvissers aan de buitenzijde van de Haringvlietsluizen in 2021. IJmuiden, Wageningen Marine Research.

- Rippen, A., E. van der Zee, N. Fieten, J. Latour and E. Wymenga (2021). Review effecten natuurlijke bodemdynamiek en menselijke bodemberoering in de sublitorale Waddenzee, Altenburg en Wymenga, i.o.v. Programma naar een Rijke Waddenzee.
- Robinson, L. A. and C. L. Frid (2008). "Historical marine ecology: examining the role of fisheries in changes in North Sea benthos." AMBIO: A Journal of the Human Environment **37**(5): 362-372.
- Rumohr, H. and T. Kujawski (2000). "The impact of trawl fishery on the epifauna of the southern North Sea." ICES Journal of marine Science **57**(5): 1389-1394.
- Sala, E., J. Mayorga, D. Bradley, R. B. Cabral, T. B. Atwood, A. Auber, W. Cheung, C. Costello, F. Ferretti and A. M. Friedlander (2021). "Protecting the global ocean for biodiversity, food and climate." Nature **592**(7854): 397-402.
- Schellekens, T., V. Escaravage, P. C. Goudswaard, M. van Asch and J. Craeymeersch (2014). Garnalenvisserij experiment Voordelta, IMARES.
- Schuckel, S., A. F. Sell, I. Kroncke and H. Reiss (2012). "Diet overlap among flatfish species in the southern North Sea." Journal of Fish Biology **80**(7): 2571-2594.
- Schwemmer, P., H. Volmer, L. Enners, H. C. Reimers, K. Binder, S. Horn, S. Adler, A. D. Fox and S. Garthe (2019). "Modelling distribution of common scoter (*Melanitta nigra*) by its predominant prey, the American razor clam (*Ensis leei*) and hydrodynamic parameters." Estuarine Coastal and Shelf Science **225**.
- Sciberras, M., J. G. Hiddink, S. Jennings, C. L. Szostek, K. M. Hughes, B. Kneafsey, L. J. Clarke, N. Ellis, A. D. Rijnsdorp and R. A. McConnaughey (2018). "Response of benthic fauna to experimental bottom fishing: A global meta-analysis." Fish and Fisheries **19**(4): 698-715.
- Skov, H., J. Durinck, A. Erichsen, R. M. Kloster, F. Møhlenberg and S. B. Leonard (2008). Horns Rev II offshore wind farm food basis for common scoter. Baseline studies 2007-2008, Report commissioned by DONG energy, Orbicon/DHI/Marine Observers.
- Smit, C., A. Brinkman, B. Ens and R. Riegman (2011). Voedselkeuzes en draagkracht: de mogelijke consequenties van veranderingen in de draagkracht van Nederlandse kustwateren op het voedsel van schelpdieretende wad- en watervogels, IMARES.
- Smit, C. J., A. G. Brinkman, B. J. Ens and R. Riegman (2011). Voedselkeuzes en draagkracht: de consequenties van veranderingen in draagkracht van Nederlandse kustwateren op het voedsel van schelpdieretende wad- en watervogels. IMARES rapport C155/11.
- Speirs, D. C., S. P. R. Greenstreet and M. R. Heath (2016). "Modelling the effects of fishing on the North Sea fish community size composition." Ecological Modelling **321**: 35-45.
- Stamoulis, A. and E. Torreale (2016). "The response of the North Sea demersal fish community to changing fishing pressure as seen through the prism of the large fish indicator." Fisheries Research **181**: 222-233.
- Steenbergen, J., J. Ulleweit, M. Machiels, R. Nijman, K. Panten and E. van Helmond (2015). Discards Sampling of the Dutch and German Brown Shrimp Fisheries in 2009 – 2012. IJmuiden, Stichting DLO Centre for Fisheries Research (CVO), IJmuiden.
- Steenbergen, J., J. Ulleweit, R. Machiels, R. Nijman, K. Panten and E. van Helmond (2015). Discards sampling of the Dutch and German brown shrimp fisheries in 2009 – 2012. Stichting DLO Centre for Fisheries Research (CVO), IJmuiden. CVO Rep. 15.003, 40 pp. <https://edepot.wur.nl/329757>
- Stienen, E. W. M. (2006). Living with gulls. Trading off food and predation in the Sandwich Tern *Sterna sandvicensis*. Groningen, University of Groningen.

- Stienen, E. W. M., P. W. M. Van Beers, A. Brenninkmeijer, J. Habraken, M. Raaijmakers and P. G. M. Van Tienen (2000). "Reflections of a specialist: Patterns in food provisioning and foraging conditions in sandwich terns *Sterna sandvicensis*." *Ardea* **88**(1): 33-49.
- Temming, A., A. Bonisch, W. Hagen, C. Brenneken and A. Danhardt (2022). "Unexpected high discard mortalities of juvenile brown shrimp (*Crangon crangon*) in the North Sea shrimp fishery." *Fisheries Research* **252**.
- Temming, A., C. Guenther, C. Rueckert and M. Hufnagl (2017). "Understanding the life cycle of North Sea brown shrimp *Crangon crangon*: a simulation model approach." *Marine ecology progress series* **584**: 119-143.
- Temming, A. and M. Hufnagl (2015). "Decreasing predation levels and increasing landings challenge the paradigm of non-management of North Sea brown shrimp (*Crangon crangon*)." *ICES Journal of marine Science* **72**(3): 804-823.
- ter Hofstede, R. and A. D. Rijnsdorp (2011). "Comparing demersal fish assemblages between periods of contrasting climate and fishing pressure." *ICES Journal of Marine Science* **68**(6): 1189-1198.
- Tiano, J. C., K. J. van der Reijden, S. O'Flynn, O. Beauchard, S. van der Ree, J. van der Wees, T. Ysebaert and K. Soetaert (2020). "Experimental bottom trawling finds resilience in large-bodied infauna but vulnerability for epifauna and juveniles in the Frisian Front." *Marine Environmental Research* **159**: 104964.
- Tien, N., N. Hintzen, R. Verkempynck, M. Kraan, B. Trapman, J. Craeymeersch and M. van Asch (2017). De bodemberoerende visserij in de Voordelta sinds 2004 ICES Document rapport C105/17.
- Tillin, H., J. G. Hiddink, S. Jennings and M. Kaiser (2006). "Chronic bottom trawling alters the functional composition of benthic invertebrate communities on a sea-basin scale." *Marine ecology progress series* **318**: 31-45.
- Tulp, I. (2015). Analyse visgegevens DFS (Demersal Fish Survey) ten behoeve van de compensatiemonitoring Maasvlakte 2. IMARES rapport C080/15. <https://edepot.wur.nl/344157>.
- Tulp, I., L. J. Bolle, E. Meesters and P. De Vries (2012). "Brown shrimp abundance in northwest European coastal waters from 1970 to 2010 and potential causes for contrasting trends." *Marine Ecology Progress Series* **458**: 141-154.
- Tulp, I., C. Chen, A. Danhardt, H. Haslob, N. Jepsen, A. van Leeuwen, S. S. H. Poiesz, J. Scholle, J. Vrooman, R. Vorberg and P. Walker (2022). Quality Status Report. Chapter Fish. <https://qsr.waddensea-worldheritage.org/reports/fish>.
- Tulp, I., C. Chen and J. Vrooman (2022). The nursery function of the Ems estuary for fish. IJmuiden, Wageningen Marine Research.
- Tulp, I., J. Craeymeersch, M. Leopold, C. van Damme, F. Fey and H. Verdaat (2010). "The role of the invasive bivalve *Ensis directus* as food source for fish and birds in the Dutch coastal zone." *Estuarine, Coastal and Shelf Science* **90**(3): 116-128.
- Tulp, I., S. Glorius, A. Rippen, D. Looije and J. Craeymeersch (2020). "Dose-response relationship between shrimp trawl fishery and the macrobenthic fauna community in the coastal zone and Wadden Sea." *Journal of Sea Research* **156**: 101829.
- Tulp, I., T. Leijzer and E. van Helmond (2010). Overzicht Wadvisserij, deelproject A, bijvangst garnalenvisserij eindrapportage, Imares.
- Tulp, I., T. Prins, J. Craeymeersch, S. IJff and M. Van der Sluis (2019). Syntheserapport PMR NCV, Wageningen Marine Research.

Tulp, I., T. C. Prins, J. A. M. Craeymeersch, S. IJff and M. T. v.d. Sluis (2018). Syntheserapport PMR NCV. IJmuiden, Wageningen Marine Research, WMR rapport nummer C014/18, Deltares rapport nr 1230156-000-ZKS-0004, <https://doi.org/10.18174/496768> http://publications.deltares.nl/1230156_000.pdf.

Tulp, I., H. W. van der Veer, P. Walker, L. van Walraven and L. J. Bolle (2017). "Can guild- or site-specific contrasts in trends or phenology explain the changed role of the Dutch Wadden Sea for fish?" Journal of Sea Research **127**: 150-163.

Tyson, C., J. Shamoun-Baranes, E. E. Van Loon, K. Camphuysen and N. T. Hintzen (2015). "Individual specialization on fishery discards by lesser black-backed gulls (*Larus fuscus*)." ICES Journal of marine Science **72**(6): 1882-1891.

van Beusekom, J. E. E., J. Carstensen, T. Dolch, A. Grage, R. Hofmeister, H. Lenhart, O. Kerimoglu, K. Kolbe, J. Patsch, J. Rick, L. Ronn and H. Ruiters (2019). "Wadden Sea Eutrophication: Long-Term Trends and Regional Differences." Frontiers in Marine Science **6**.

van Beusekom, J. E. E., J. Carstensen, T. Dolch, A. Grage, R. Hofmeister, H. Lenhart, O. Kerimoglu, K. Kolbe, J. Patsch, J. Rick, L. Ronn and H. Ruiters (2019). "Wadden Sea Eutrophication: Long-Term Trends and Regional Differences." Frontiers in Marine Science **6**.

van Dalfsen, J., K. Essink, H. T. Madsen, J. Birklund, J. Romero and M. Manzanera (2000). "Differential response of macrozoobenthos to marine sand extraction in the North Sea and the Western Mediterranean." ICES Journal of marine Science **57**(5): 1439-1445.

van de Wolfshaar, K. E., A. G. Brinkman, D. L. P. Benden, J. A. Craeymeersch, S. Glorius and M. F. Leopold (2023). "Impact of disturbance on common scoter carrying capacity based on an energetic model." Journal of Environmental Management **342**: 118255.

van de Wolfshaar, K. E., P. D. van Denderen, T. Schellekens and T. van Kooten (2020). "Food web feedbacks drive the response of benthic macrofauna to bottom trawling." Fish and Fisheries **21**(5): 962-972.

van Denderen, P. D., A. D. Rijnsdorp and T. van Kooten (2016). "Using marine reserves to manage impact of bottom trawl fisheries requires consideration of benthic food-web interactions." Ecological Applications **26**(7): 2302-2310.

van Denderen, P. D., T. van Kooten and A. D. Rijnsdorp (2013). "When does fishing lead to more fish? Community consequences of bottom trawl fisheries in demersal food webs." Proceedings of the Royal Society B-Biological Sciences **280**(1769).

van Denderen, P. D., T. van Kooten and A. D. Rijnsdorp (2013). "When does fishing lead to more fish? Community consequences of bottom trawl fisheries in demersal food webs." Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences **280**(1769): 20131883.

van der Hammen, T., J. Steenbergen and B. van der Weide (2015). Deelrapport 1: bijvangst. In: Glorius et al. Effecten van garnalenvisserij in Natura 2000 gebieden. IMARES-rapport Rapport C013/15.

van der Have, T., H. van der Jagt and P. Kamermans (2019). Biogene riffen in de Voordelta: verspreiding en verkenning van verklarende factoren, Bureau Waardenburg.

van der Meer, J., N. Dankers, B. J. Ens, M. van Stralen, K. Troost and A. M. Waser (2019). "The birth, growth and death of intertidal soft-sediment bivalve beds: no need for large-scale restoration programs in the Dutch Wadden Sea." Ecosystems **22**: 1024-1034.

van der Reijden, K. J., N. T. Hintzen, L. L. Govers, A. D. Rijnsdorp and H. Olf (2018). "North Sea demersal fisheries prefer specific benthic habitats." PloS one **13**(12): e0208338.

van der Reijden, K. J., L. Koop, S. Mestdagh, M. Snellen, P. M. Herman, H. Olf and L. L. Govers (2021). "Conservation implications of *Sabellaria spinulosa* reef patches in a dynamic sandy-bottom environment." Frontiers in Marine Science **8**: 642659.

van der Reijden, K. J., L. Koop, S. O'flynn, S. Garcia, O. Bos, C. van Sluis, D. J. Maaholm, P. M. Herman, D. G. Simons and H. Olf (2019). "Discovery of Sabellaria spinulosa reefs in an intensively fished area of the Dutch Continental Shelf, North Sea." Journal of Sea Research **144**: 85-94.

van der Veer, H. W. and M. J. Bergman (1987). "Predation by crustaceans on a newly settled 0-group plaice Pleuronectes platessa population in the western Wadden Sea." Marine ecology progress series **35**(3): 203-215.

van der Veer, H. W., R. Dapper, P. A. Henderson, A. S. Jung, C. J. M. Philippart, J. I. J. Witte and A. F. Zuur (2015). "Changes over 50 years in fish fauna of a temperate coastal sea: Degradation of trophic structure and nursery function." Estuarine Coastal and Shelf Science **155**: 156-166.

van der Veer, H. W., P. A. Hendersson, A. S. Jung, J. M. Philippart, J. I. Witte and A. F. Zuur (2015). "Long-term (50 years) changes in marine fish fauna of a temperate coastal sea: degradation of trophic structure and nursery function." Estuarine Coastal and Shelf Science.

van der Veer, H. W., I. Tulp, J. I. J. Witte, S. S. H. Poiesz and L. J. Bolle (2022). "Changes in functioning of the largest coastal North Sea flatfish nursery, the Wadden Sea, over the past half century." Marine ecology progress series **693**: 183-201.

van der Wal, D., A. Wielemaker, D. Raymaekers, E. Knaeps, T. Ysebaert, T. Bouma, H. Hummel and P. Herman (2010). "Ecologisch monitoringprogramma alternatieve stortlokaties Westerschelde: Plaat van Walsoorden 216444."

van der Zee, E. M., C. Angelini, L. L. Govers, M. J. Christianen, A. H. Altieri, K. J. van der Reijden, B. R. Silliman, J. van de Koppel, M. van Der Geest and J. A. van Gils (2016). "How habitat-modifying organisms structure the food web of two coastal ecosystems." Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences **283**(1826): 20152326.

van der Zee, E. M., T. van der Heide, S. Donadi, J. S. Eklöf, B. K. Eriksson, H. Olf, H. W. van der Veer and T. Piersma (2012). "Spatially extended habitat modification by intertidal reef-building bivalves has implications for consumer-resource interactions." Ecosystems **15**: 664-673.

van Duren, L. A., T. van Kessel, A. G. Brinkman, A. de Kluijver, F. Fey and C. A. Schmidt (2015). Verkenning Slibhuishouding Waddenzee. Een samenvatting van twee jaar modelleren en kennis verwerven. Delft, Deltares.

Van Leeuwen, S. and A. Gmelig Meyling (2022). "Changes in the marine mollusc fauna in the Netherlands (1900–2010)." Basteria **86**(1): 1-12.

van Loon, W. M., D. J. Walvoort, G. Van Hoey, C. Vina-Herbon, A. Blandon, R. Pesch, P. Schmitt, J. Scholle, K. Heyer and M. Lavaleye (2018). "A regional benthic fauna assessment method for the Southern North Sea using Margalef diversity and reference value modelling." Ecological Indicators **89**: 667-679.

van Rijssel, J. C. and E. Winter (2022). Inspannings- en vangstregistraties van trekvisserij door beroepsvissers aan de buitenzijde van de Haringvlietsluizen in 2021. IJmuiden, Wageningen Marine Research.

Vorberg, R. (2000). "Effects of shrimp fisheries on reefs of Sabellaria spinulosa (Polychaeta)." ICES Journal of Marine Science **57**(5): 1416-1420.

Walter, U. and P. H. Becker (1997). "Occurrence and consumption of seabirds scavenging on shrimp trawler discards in the Wadden Sea." ICES Journal of marine Science **54**(4): 684-694.

Warnken, K. W., G. A. Gill, T. M. Dellapenna, R. D. Lehman, D. E. Harper and M. A. Allison (2003). "The effects of shrimp trawling on sediment oxygen consumption and the fluxes of trace metals and nutrients from estuarine sediments." Estuarine, Coastal and Shelf Science **57**(1-2): 25-42.

Weel, S. M. H., S. C. V. Geelhoed, I. Tulp and M. Scheidat (2018). "Feeding behaviour of harbour porpoises (Phocoena phocoena) in the Ems estuary." Lutra **61**: 137-152.

Welleman, H. C. and N. Daan (2001). "Is the Dutch shrimp fishery sustainable?" Senckenbergiana Maritima **31**: 321-328.

Wells, R. D., J. H. Cowan Jr and W. F. Patterson III (2008). "Habitat use and the effect of shrimp trawling on fish and invertebrate communities over the northern Gulf of Mexico continental shelf." ICES Journal of marine Science **65**(9): 1610-1619.

Wolff, W. J. (2000). "The south-eastern North Sea: losses of vertebrate fauna during the past 2000 years." Biological Conservation **95**(2): 209-217.