



Programmatische Aanpak Grote Wateren

Ecologisch streefbeeld Waddenzee inclusief Eems-Dollard

Een ecologische visie richting 2050

www.pagw.nl

Colofon

Dit rapport is opgesteld door Rijksdienst voor Ondernemend Nederland, Staatsbosbeheer en Rijkswaterstaat in het kader van de Programmatische Aanpak Grote Wateren, in opdracht van het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat en het Ministerie van Landbouw, Visserij, Voedselzekerheid en Natuur.

Foto omslag:

Rottumerplaat bij eb. Aaldrik Pot

Referentievermelding:

PAGW, april 2025, Ecologisch Streefbeeld Waddenzee inclusief Eems-Dollard; Een ecologische visie richting 2050.

www.pagw.nl

Inhoudsopgave

Beleidssamenvatting	4
Leeswijzer	7
Deel I	8
1 Inleiding	9
2 Conceptuele benadering en uitgangspunten	14
3 Klimaatverandering	24
4 Randvoorwaarden	26
5 Systeemkenmerken en leefgebieden	30
6 Overkoepelend streefbeeld en mogelijke maatregelen op hoofdlijnen	34
Deel II	38
7 De Waddenzee als dynamisch systeem	39
8 De Waddenzee als brak systeem met goede waterkwaliteit	50
9 De Waddenzee als hoog productief systeem	61
10 De Waddenzee als systeem met landschappelijke kernkwaliteiten	70
11 De Waddenzee als leefgebied voor biobouwers en biobrekers	77
12 De Waddenzee als leefgebied voor vogels	92
13 De Waddenzee als leefgebied voor vissen	106
14 De Waddenzee als leefgebied voor zeezoogdieren	119
15 Een voorzet voor kwantificering van de opgave	132
Literatuur	140

Beleidssamenvatting

De Waddenzee is uniek. Het is het grootste aaneengesloten intergetijdengebied ter wereld en loopt van de Noord-Nederlandse kust, langs Noord-Duitsland door naar de West-Deense kust. Nergens anders bestaat er op deze schaal zo'n dynamisch landschap, met een veelheid aan leefgebieden die zijn gevormd door wind en getijden. Dit maakt dat het gebied van groot belang is voor de lokale, nationale en internationale biodiversiteit. Het is bijvoorbeeld van cruciaal belang voor de internationale trekroutes van vogels en vissen. Vanwege deze wereldwijd unieke geologische en ecologische waarden staat de Waddenzee op de Werelderfgoedlijst van UNESCO. De Waddenzee is ook belangrijk voor ons als mensen. We benutten haar als voedselbron en voor ontspanning, recreatie en natuurbeleving; veelal lucratieve economische activiteiten. Aan de andere kant voeren we al eeuwenlang een strijd met het water, om ons te beschermen tegen overstromingen en om verzilting van zoetwater tegen te gaan.

Al is de motor van de Waddenzee, met de natuurlijke dynamiek door water en wind, nog intact, de kwaliteit van de Nederlandse Waddenzee en de Eems-Dollard staat wel voortdurend onder druk. Alle ingrepen om het water naar onze hand te zetten, hebben ertoe geleid dat de ecologische kwaliteit niet op orde is. Maatregelen uit natuurbeleid (Kaderrichtlijn Water (KRW), Natura 2000, etc.) blijken tot nu toe onvoldoende om wettelijke doelstellingen te behalen. Zo voldoet de kwaliteit van de permanent overstroomde zandbanken niet aan de vereisten en is het verbeterdoel niet behaald. Dit geldt ook voor slik en zandplaten net zoals voor de instandhoudingsdoelen voor meerdere habitatrichtlijnsoorten.

Klimaatverandering vraagt om nieuwe ingrepen voor de waterveiligheid en de zoetwatervoorziening. Het is een grote uitdaging voor de Programmatische Aanpak Grote Wateren (PAGW) - een programma waarmee het Rijk de ecologische waterkwaliteit en de natuur van de grote wateren verbetert - om die ambitie voor de Waddenzee te combineren met het bevorderen van de waterveiligheid, de beschikbaarheid van zoetwater en een krachtige economie. De PAGW richt zich daarbij op drie strategieën: meer ruimte maken voor natuurlijke dynamiek, leefgebieden uitbreiden en verbeteren, en goede verbindingen creëren.

Voor de PAGW zijn voor de grote wateren (de Waddenzee, het IJsselmeergebied, de grote rivieren en het mondingsgebied van Rijn, Maas en Schelde) ecologische streefbeelden opgesteld die samengaan met een krachtige economie en natuurlijke oplossingen voor het veranderende klimaat. Ze bieden een perspectief voor een robuust water- en bodemsysteem, in lijn met het beleid voor Water en Bodem Sturend. De streefbeelden maken concreet wat nodig en mogelijk is voor een gezonde ecologische waterkwaliteit en veerkrachtige natuur in de grote wateren. Dit rapport geeft het ecologische streefbeeld voor de Waddenzee inclusief Eems-Dollard (hierna Waddenzee genoemd) wat gebaseerd is op actuele wetenschappelijke inzichten.

Het streefbeeld gaat uit van een systeem waarin de belangrijkste biotische en abiotische processen zich op een natuurlijke wijze kunnen voltrekken en ontwikkelen, evenals de landschappelijke kwaliteiten. Het streefbeeld beschrijft de kwaliteit en omvang van leefgebieden die passen bij een veerkrachtig en hoogwaardig Waddenzee-ecosysteem. Het streefbeeld vormt de stip op de horizon bij de keuze van de systeemmaatregelen die passen bij het bereiken van de PAGW-ambities. Centraal in het streefbeeld staan condities in water en bodem die gunstig zijn voor een rijke biodiversiteit die past bij de Waddenzee, en waarmee zij haar essentiële rol in de wereldwijde flyway van trekvogels en swimway van vissen duurzaam kan vervullen. Zo draagt Nederland in de grote wateren ook bij aan het duurzaam behalen van de wettelijke doelen van de Vogel- en Habitatrichtlijn, de Kaderrichtlijn Water en de Natuurherstelwet.

Het streefbeeld is opgesteld binnen de kaders van belangrijke maatschappelijke randvoorwaarden: betrouwbare waterveiligheid, duurzame zoetwatervoorziening en bereikbaarheid over water. Het streefbeeld leidt ook tot een gezonde leefomgeving voor mensen en kansen voor economische

activiteiten. Het water wordt duurzaam schoner, en dat maakt recreatie aantrekkelijker. Het landschap is en blijft een herkenbaar Nederlands waterlandschap, waar veel mensen zich op hun gemak voelen en graag recreëren. Voor de economie ontstaan meer mogelijkheden, omdat de natuur tegen een stootje kan en er genoeg schoon water is.

Status van de ecologische streefbeelden van de PAGW

De [ecologische streefbeelden](#) van de PAGW zijn richtinggevend en ondersteunend. Ze geven de richting aan voor de ontwikkeling van de grote wateren naar een gezond en veerkrachtig ecosysteem in 2050 en welke systeemmaatregelen daaraan bijdragen.

De streefbeelden laten zien wat een optimaal toekomstbeeld is voor de ecologische waarden van de grote wateren binnen de randvoorwaarden van waterveilig, zoetwatervoorziening en bereikbaarheid. Door deze streefbeelden naast toekomstbeelden van andere functies te zetten is integrale politiek-bestuurlijke besluitvorming mogelijk. De ecologische streefbeelden van de PAGW zijn daarmee een van de bouwstenen voor de ontwikkeling van toekomstig bestendige grote wateren.

De streefbeelden zijn niet vrijblijvend: het bereiken van gezonde ecologische waterkwaliteit en veerkrachtige natuur is een maatschappelijk belang en noodzakelijk om de wettelijke doelstellingen van de Kaderrichtlijn Water en de Vogel- en Habitatrichtlijn duurzaam te behalen. Het behalen van die eisen bepaalt weer of en in welke mate er ruimte is voor economische activiteiten. Ook kunnen gezonde en veerkrachtige ecosystemen de gevolgen van klimaatverandering in de grote wateren beter opvangen.

Ecologisch streefbeeld

Een robuust en veerkrachtig Waddenzee-ecosysteem bestaat uit:

- een dynamisch systeem met meer ruimte voor een natuurlijk getij met ongestoorde beweging van sediment en waterbodem, waardoor een gevarieerd stelsel van diep water, kreken, geulen, ondiep water, platen en kwelders ontstaat;
- een brak systeem met een goede waterkwaliteit, waarin gedurende het jaar voldoende zoetwater instroomt voor het ontstaan van volwaardige estuariene overgangen;
- een van nature hoogproductief systeem, waarin voldoende voedingsstoffen beschikbaar zijn voor de instandhouding van het voedselweb en effecten van eutrofiëring worden voorkomen;
- een landschappelijk waardevol systeem: een rustig en stil gebied, met openheid en nachtelijke duisternis.

Deze bovenstaande systeemkenmerken schetsen de condities die nodig zijn voor leefgebieden en connectiviteit voor flora en fauna, zoals voor schelpdierbanken, zeegrasvelden, vogels, vissen en zeezoogdieren. Met haar veelheid aan lange en korte, zoet-zout-, nat-droog- en hoog-laag-gradiënten, biedt een robuuste en veerkrachtige Waddenzee:

- voor biobouwers zoals schelpdieren en zeegras, voldoende ongestoorde kwalitatief goede vestigingsplaatsen onder en boven water;
- voor vogels een grote diversiteit aan ongestoorde broedgebieden (kwelder, strand, duinen), rustgebieden (hoogwatervluchtplaatsen) en voedselrijke foerageergebieden;
- voor vissen een grote diversiteit aan kraam- en kinderkamers, schuilmogelijkheden en structurele, geleidelijke, goed-functionerende zoet-zoutovergangen;
- voor zeezoogdieren voldoende ongestoorde plaatsen om te rusten, zogen, ruien en op te groeien. Zowel zeehonden als bruinvissen kunnen voldoende voedsel vinden in de Waddenzee en de daarmee verbonden Noordzee.

Deze leefgebieden vormen samen een ecologisch en chemisch goed functionerend systeem, met een rijk, complex en robuust voedselweb. Samen houden ze een hoge productiviteit en biodiversiteit in stand, en kunnen ze anticiperen op veranderingen van buitenaf.

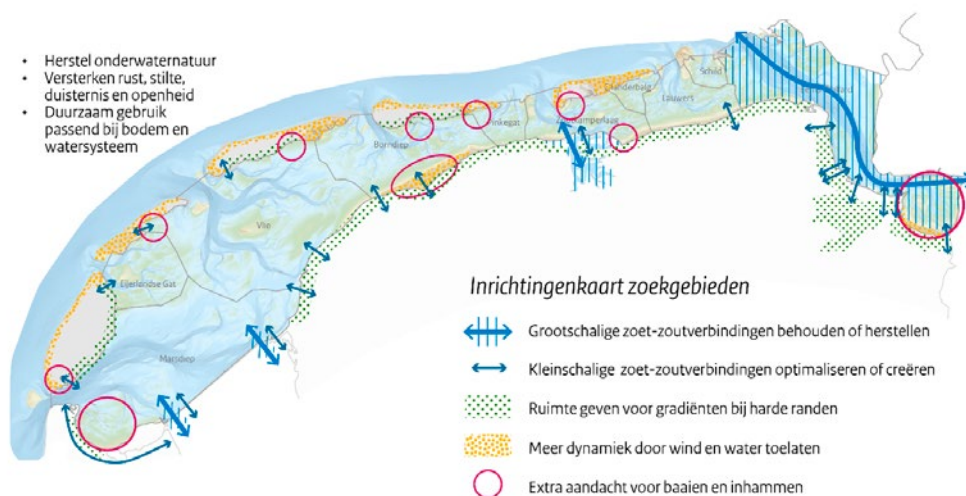
Systemmaatregelen die bijdragen aan ecologisch streefbeeld

In de Waddenzee kan veel bereikt worden door een kwaliteitsverbetering richting een systeem waar de belangrijkste biotische en abiotische processen zich op een natuurlijke wijze kunnen voltrekken. De belangrijkste systemmaatregelen die bijdragen aan een goede waterkwaliteit en veerkrachtige natuur zoals bedoeld in het streefbeeld zijn (zie ook Figuur 1):

- Binnendijks ruimte creëren voor natuur, voor de vorming van gradiënten (zoet-zout, hoog-laag, droog-nat) en de realisatie van hoogwatervluchtplaatsen. Een eerste inschatting geeft aan dat een uitbreiding van het Waddenzeeareaal met 3- 4% nodig is.
- Grootschalige zoet-zoutverbindingen: herstel van geleidelijke estuariene gradiënten voor trekvissen en ontbrekende brakwaterhabitats bij de Afsluitdijk en het Lauwersmeer, en behoud van de bestaande open verbinding met de Eems in de Eems-Dollard.
- Kleinschalige zoet-zoutverbindingen: langs de rest van de kust bij kleinere gemalen en sluisen en op vasteland- en eilandkwelders.
- Meer dynamiek door wind en water toe te laten, en door op de onbewoonde eilandstaarten en -koppen en op het bestaande kwelderareaal vrije ruimte te geven aan erosie en sedimentatie door onder meer het verwijderen van stuif- en zomerdijken, zodat de dynamiek kan zorgen voor cyclische verjonging van duinen en kwelders die meegroeien met de zeespiegelstijging.
- Herstel van onderwaternatuur door lokaal een zetje te geven, zoals het aanplanten van zeegras en het terugbrengen van hard substraat waarop mosselen en oesters zich kunnen vestigen (nu ook al onderdeel van het PAGW- en KRW-programma).

Andere onderdelen van het streefbeeld, zoals het versterken van rust en het verminderen van eutrofiëring en bodemberoering, zijn te realiseren met beheer- en beleidsmaatregelen, welke eventueel in het Beleidskader Natuur Waddenzee, het Integrale Beheerkader Waddenzee of het Natura 2000 beheerplan kunnen worden uitgewerkt.

Figuur 1. Mogelijke maatregelen PAGW Streefbeeld Waddenzee inclusief Eems-Dollard op hoofdlijnen (mogelijk is hier de grens met Duitsland niet correct weergegeven).



Leeswijzer

Dit is het ecologisch streefbeeld Waddenzee inclusief Eems-Dollard. Dit rapport bestaat uit 2 delen. Het eerste deel is het hoofdrapport met het streefbeeld. Het tweede deel vormt de onderbouwing van het streefbeeld.

Deel I begint met een beleidsamenvatting. [Hoofdstuk 1](#) geeft de inleiding. Dit hoofdstuk bevat algemene informatie over het doel van het streefbeeld, de inbedding in beheer en beleid, duidelijkheid over wat het ecologisch streefbeeld wel of niet is, de geografische en temporele afbakening en een beknopte weergave van het proces.

[Hoofdstuk 2](#) legt uit hoe de opdracht conceptueel is benaderd en welke uitgangspunten zijgehanteerd. Het geeft uitleg over de leidraad voor dit streefbeeld, wat er wordt verstaan onder robuuste en veerkrachtige Waddennatuur, het gebruikte referentiekader en het conceptuele model.

[Hoofdstuk 3](#) behandelt de effecten van klimaatverandering terwijl [hoofdstuk 4](#) de randvoorwaarden beschrijft die vanuit de opdrachtgever van de Programmatische Aanpak Grote Wateren (PAGW) zijn meegegeven voor het opstellen van het ecologisch streefbeeld en de invloed van die randvoorwaarden.

[Hoofdstuk 5](#) geeft een nadere omschrijving van de systeemkenmerken en kenmerkende leefgebieden hetgeen in [hoofdstuk 6](#) resulteert in een streefbeeld op hoofdlijnen aangevuld met de belangrijkste ingrepen waarmee het streefbeeld kan worden gerealiseerd.

Deel II van het rapport geeft de onderbouwing. Hoofdstuk 7 tot en met 10 geven een gedetailleerde uitwerking van het streefbeeld voor de abiotische systeemkenmerken (dynamiek, brak en hoog-productief) en de landschappelijk kernkwaliteiten (stilte, duisternis, rust en openheid). Per onderdeel volgt een beschrijving van de huidige situatie, de invloed van klimaatverandering, het streefbeeld en met welke ingrepen dit streefbeeld kan worden gerealiseerd.

Hoofdstuk 11 tot en met 14 beschrijven de leefgebieden voor biobouwers en biobrekers, vogels, vissen en zeezoogdieren. Deze hoofdstukken hebben dezelfde opbouw als de vorige onderbouwende hoofdstukken en bevatten een meer uitgebreide beschrijving van knelpunten. [Hoofdstuk 15](#) tenslotte, geeft een voorzet voor kwantificering van de opgave. Dit is een eerste verkenning, die nader kan worden onderbouwd en onderzocht.

Het streefbeeld is een ecologisch streefbeeld voor de Waddenzee inclusief de Eems en Dollard. Voor de leesbaarheid wordt vaak volstaan met de term 'streefbeeld' en de aanduiding 'Waddenzee'.

Dit rapport bevat suggesties voor maatregelen. Maatregelen voor het beheer en gebruik van de Waddenzee worden eventueel verder uitgewerkt in het Beleidskader Natuur, het Natura 2000-beheerplan Waddenzee en/of het Integraal Beheerkader van de Beheerautoriteit Waddenzee.

Deel I

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

De Nederlandse Waddenzee inclusief de Eems-Dollard is onderdeel van het grootste aaneengesloten intergetijdengebied ter wereld; de internationale Waddenzee. Dit gebied loopt van de Noord-Nederlandse kust, langs Noord-Duitsland door naar de West-Deense kust. Nergens anders bestaat er zo'n dynamisch landschap met een veelheid aan leefgebieden die gevormd zijn door wind en getijden. Dit maakt dat het gebied van groot belang is voor de lokale, nationale en internationale biodiversiteit. Het is bijvoorbeeld van cruciaal belang voor de internationale trekroutes van vogels en vissen. Vanwege deze wereldwijd unieke geologische en ecologische waarden staat de Waddenzee op de Werelderfgoedlijst van UNESCO.¹

De kwaliteit van de Waddenzee en de Eems-Dollard staat echter voortdurend onder druk. Toenemende belasting vanuit economisch gebruik en effecten van klimaatverandering verhogen deze druk. Maatregelen uit natuurbeleid (KRW, Natura 2000, etc.) blijken tot nu toe onvoldoende om wettelijke doelstellingen te behalen (Heidinga et al., 2023) en voldoende ruimte te kunnen bieden voor inpassing van economisch gebruik. Er is meer nodig om een duurzaam ecosysteem Waddenzee te ontwikkelen dat ecologisch goed functioneert en hoogwaardige natuur bevat.

Daarom is de Rijksoverheid (Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (IenW) en Ministerie van Landbouw, Visserij, Voedselzekerheid en Natuur (LVVN)) in 2018 gestart met de Programmatische Aanpak Grote Wateren (PAGW). Om in samenspraak met gebiedspartners en in aansluiting op gebiedsprocessen toe te werken naar een situatie in 2050 met toekomstbestendige grote wateren waar hoogwaardige natuur met een goede ecologische waterkwaliteit goed samengaat met een krachtige economie. PAGW beoogt systeemingenrepen te realiseren die leiden tot meer ruimte voor natuurlijke processen, verbeterde verbindingen (in de grote wateren en tussen de grote wateren en hun binnendijkse omgeving) en realisatie van ontbrekende leefgebieden of de kwaliteit hiervan te verbeteren. De systeemingenrepen resulteren in een uitgangssituatie voor de Waddenzee die nodig is om de doelen van de KRW en Vogel- en Habitat Richtlijn (VHR) (geborgd in N2000) maximaal te kunnen realiseren en daarbovenop ruimte te bieden voor economisch gebruik.

Daarnaast wordt er sinds 2022 gewerkt aan de ontwikkeling van een Beleidskader Natuur Waddenzee (BNW).² Met dit beleidskader beoogt de Rijksoverheid maatregelen te nemen die de impact van het medegebruik op de natuur doet verminderen zodanig dat de Waddenzee zich kan ontwikkelen tot een robuust en veerkrachtig ecosysteem dat tegen een stootje kan met het oog op de verhoogde druk op het systeem door klimaatverandering.

De Beheerautoriteit Waddenzee (BAW) is bezig meteen Integraal Beheerplan om toe te werken naar een Werelderfgoedwaardige Waddenzee. Tevens is door Rijkswaterstaat het proces gestart voor actualisatie van de Natura 2000-beheerplannen voor de Waddenzee en Noordzeekustzone, die in 2028 worden opgeleverd.

Maar wat is het streefbeeld voor de Waddenzee? Hoe ziet de Waddenzee er in 2050 uit? Wanneer is het ecosysteem robuust en veerkrachtig tegen klimaatverandering? Hoe ziet die ecologische waterkwaliteit er dan uit? Er is behoefte aan verduidelijking van deze ambitie. Het doel van dit document is om deze ambitie uit te werken in een ecologisch streefbeeld voor de Waddenzee inclusief de Eems-Dollard.

¹ Zie [Unesco | Waddenzee](#).

² Zie <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/kamerstukken/2022/12/20/beleidskader-natuur-waddenzee>.

1.2 Ecologisch streefbeeld; doel en wat is het wel en wat is het niet

Het ecologisch streefbeeld is een stip op de horizon voor 2050. Het streefbeeld laat zien wat de optimale ontwikkeling van het water en bodemsysteem moet zijn en *wat* er bereikt moet worden om in 2050 de Waddenzee ecologisch gezond, robuust en veerkrachtig te laten zijn. Het maakt de opgave helder om vanuit de huidige ecologische staat (2024) naar de toekomstige gewenste staat te werken (2050) zodat de doelstellingen van de Vogel- en Habitatrichtlijn (de basis voor de instandhoudings- en verbeteringsdoelen voor Natura 2000-gebieden) en de KRW duurzaam haalbaar worden door de condities op systeemniveau te verbeteren.

Met dat inzicht wordt het mogelijk maatregelen te ontwerpen voor inrichting, gebruik en beheer. Deze drie sporen geven aan *hoe* het streefbeeld bereikt kan worden. In dit rapport worden kansen voor deze drie sporen nader toegelicht. Echter, het doel van het document is nadrukkelijk niet om uit te werken *hoe* de opgave bereikt moet worden, maar wel *wat* de opgave is. Het *hoe* behoeft nadere uitwerking.

De PAGW is gestart in 2018 en loopt door tot 2050. De PAGW gebruikt de streefbeelden om vanuit een ecosysteembenadering, waarbij gekeken wordt naar de wisselwerking tussen alle organismen en de abiotische omgeving, aan te geven wat aan inrichting nodig is voor gezonde en veerkrachtige natuur in de grote wateren. De PAGW werkt in vier grote Wateren (zie ook Figuur 1.1). Voor het geheel van de grote wateren is een koepeldocument opgesteld gebaseerd op de streefbeelden van de afzonderlijke wateren. Vanuit de streefbeelden is het mogelijk om preverkenningen op te starten met een nadere analyse van maatregelen die de doelen kunnen realiseren met aansluitend de formulering van projecten (zie Figuur 1.1). Een voorbeeld van een project in de Waddenregio is het creëren van een binnendijks getijdengebied middels een dijkdoorgang bij Lauwersoog.³



Figuur 1.1 Werkwijze PAGW: Streefbeelden worden gemaakt voor de 4 grote Wateren (Grote Rivieren, IJsselmeer, Zuidwestelijke Delta en Waddenzee en Eems-Dollard). Waarna preverkenningen volgen met aansluitend formulering van projecten.

De PAGW heeft de focus op de ontwikkeling van leefgebieden, het verbeteren van verbindingen en het bevorderen van de natuurlijke dynamiek. Door de aanleg van dammen en dijken is de waterveiligheid vergroot maar daarmee de getijde- en afvoerdynamiek veranderd met negatieve ecologische gevolgen.

³ [Unieke natuurprojecten van start door bouw getijdenduiker in Lauwersmeerdijk | Nieuwsbericht | PAGW.](#)

Leefgebieden zijn verdwenen of in kwaliteit verslechterd en geleidelijke verbindingen door harde overgangen vervangen of zelfs verdwenen. Dit streefbeeld geeft richting en helpt met prioritering van de volgende maatregelen. Ook voor het evalueren en bijsturen van de PAGW kunnen de streefbeelden behulpzaam zijn: ze maken het mogelijk te beschrijven in welke mate de grote wateren dicht bij het streefbeeld zijn gekomen en wat nog nodig is.

Het Beleidskader Natuur Waddenzee maakt ook gebruik van de inzichten uit het Ecologisch Streefbeeld. In de huidige analysefase wordt de ecologische opgave bepaald om de druk van gebruik te verlagen. De Staat van de Waddenzeenatuur definieert ecologische knelpunten, waarbij de elementen uit het Ecologisch Streefbeeld worden gebruikt om het ecologische systeem van de Waddenzee te duiden. Vervolgens wordt met het Ecologisch Afwegingskader gekeken naar drukfactoren die van invloed zijn op deze ecologische knelpunten

Het in ontwikkeling zijnde Natura 2000-beheerplan Waddenzee en het Integrale Beheerplan van de Beheerautoriteit Waddenzee en de KRW maatregelen zullen nadere uitwerking geven aan hoe de opgave te realiseren.

Het streefbeeld is geen claim, maar dient zoals reeds aangegeven, als stip op de horizon (Figuur 1.2). Het zichtjaar is het jaar 2050, met doorkijk naar 2100. Daarnaast is het belangrijk te benadrukken dat het een ecologisch streefbeeld is, waarin ook gekeken wordt naar de landschappelijke kernkwaliteiten (rust, stilte, openheid en duisternis), welke onderdeel zijn van de hoofddoelstelling voor de Waddenzee, zoals aangegeven in de planologische kernbeslissing (PKB) Derde Nota Waddenzee (Ministerie van VROM et al., 2007) en kernopgave voor Natura 2000 (LNV, 2006). Het streefbeeld duidt aan wat er voor het ecosysteem Waddenzee nodig is en waarom, en houdt geen rekening met gebruiksfuncties behalve die gerelateerd aan de randvoorwaarden op het gebied van waterveiligheid, bereikbaarheid en zoetwaterbeschikbaarheid. Hoofdstuk 4 geeft hier meer informatie over.

Wat is het ecologisch streefbeeld... wel/niet

...wel

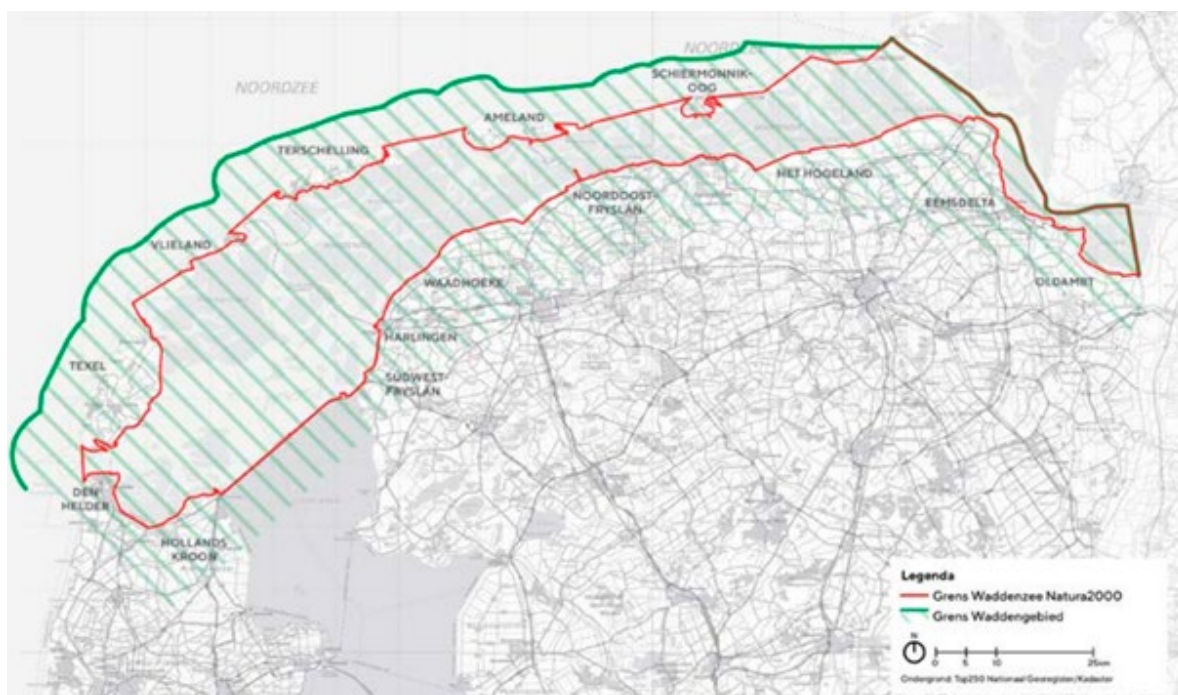
- Een ecologisch streefbeeld richt zich op systeemherstel
- Een stip op de horizon
- Geeft richting
- Voeding voor discussie
- Indicatie voor mogelijke maatregelen
- Houdt rekening met randvoorwaarden (Norm niet Vorm)

...niet

- Een concreet plan
- Afrekenbare doelen
- Claim
- Sociaaleconomisch impact analyse
- Rekening houden met andere economische belangen

Figuur 1.2 Overzicht van wat het streefbeeld wel en juist niet is.

De geografische afbakening van het plangebied omvat de grens van het PKB-gebied Waddenzee en de Eems-Dollard (Figuur 1.3) met de aangrenzende oevers en kustgebieden en waar voor de ecologie relevant ook aangrenzende binnendijkse gebieden.

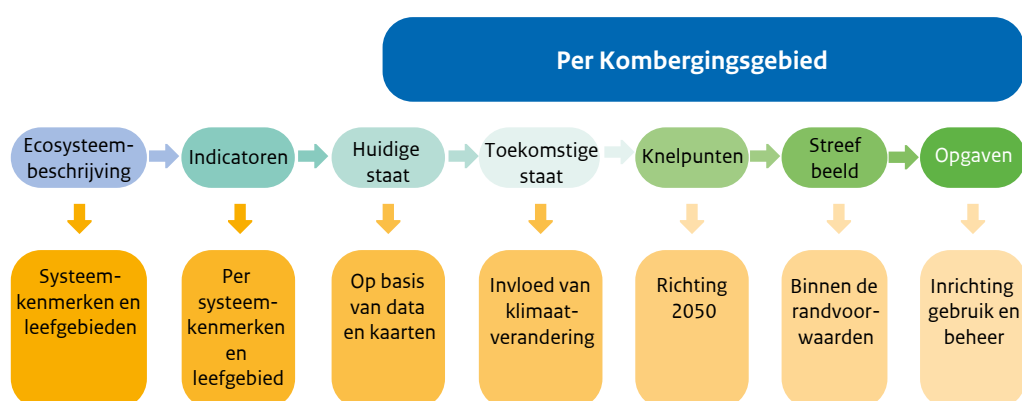


Figuur 1.3 Het studiegebied (Bron: Ministerie van IenW., 2020).

1.3 Hoe het streefbeeld is opgesteld

Een projectgroep met medewerkers van Staatsbosbeheer, Rijkswaterstaat, de Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO) (aangevuld met expertise van Royal Haskoning DHV) en de Beheerautoriteit Waddenzee hebben dit streefbeeld opgesteld. Daarbij zijn er meerdere stappen doorlopen (Figuur 1.4):

1. Beschrijving van de processen en kwaliteiten die ten grondslag liggen aan het ecosysteem Waddenzee (de systeemkenmerken en leefgebieden);
2. Het analyseren van de huidige staat van kombergingen op basis van
 - a. indicatoren die zijn afgeleid van de systeemkenmerken en
 - b. habitatgebruik door biobouwers en biobrekers, vogels, vissen en zeezoogdieren;
3. Het analyseren van de invloed van de klimaatverandering;
4. Het vaststellen van knelpunten;
5. Het bepalen van het streefbeeld binnen de huidige randvoorwaarden;
6. Het in kaart brengen van de opgaven richting 2050.



Figuur 1.4 Processtappen richting het bepalen van het streefbeeld en de opgaven.

Als basis voor het streefbeeld zijn de verschillende kombergingen geanalyseerd (Figuur 1.5). Een komberging is een gebied dat van getijdewater wordt voorzien door één van de zeegaten tussen de eilanden. Deze kombergingen variëren sterk in omvang en in het aandeel sublitoraal. Baptist et al. (2019 en 2022) hebben voor alle kombergingen in de internationale Waddenzee een clusteranalyse gedaan voor de periode 2008-2012. In de Nederlandse Waddenzee komen twee van de vier Waddenzee clusters voor. In de westelijke Waddenzee, met uitzondering van het Eijerlandse Gat, worden de kombergingen gekenmerkt door een groot aandeel laag dynamische laag litorale ecotopen in combinatie met laag dynamische sublitorale ecotopen. De kombergingen in het oostelijk deel, zijn een combinatie van laag dynamische laag litorale en laag dynamische mid-litorale ecotopen in een gelijke verdeling. Het Eijerlandse Gat valt ook onder dit cluster. Daarnaast zijn er grote verschillen tussen de kombergingsgebieden voor wat betreft menselijk medegebruik (o.a. recreatie en visserij).



Figuur 1.5 Kombergingen van de Waddenzee (Bron: M. Baptist, Wageningen Marine Research).

Bij het beschrijven van de huidige situatie van de systeemkenmerken is gebruik gemaakt van wetenschappelijke peer-reviewed literatuur en grijze literatuur (rapporten en beleidsdocumenten). Daarnaast is de beschrijving in veel gevallen ook beoordeeld op basis van kennis van diverse deskundigen.

De wens vanuit de PAGW is om het streefbeeld kwalitatief en kwantitatief te beschrijven, waarbij de inrichtingsopgave is uitgesplitst in leefgebieden, dynamiek en verbindingen. [Hoofdstuk 15](#) geeft hier een eerste voorzet voor. In de loop van 2025 zal nieuwe kennis beschikbaar komen, zoals 'de Staat van de Waddenzee' door de Waddenacademie en het CBS en aanvullende kennis via Wageningen University & Research (WUR) en Deltares, welke kan worden verwerkt tot kwantitatieve aanvullingen op deze versie van het streefbeeld.

Wageningen University Research, Deltares, Rijkswaterstaat-WVL, Rijkswaterstaat-NN, leden van projectteam Beleidskader Natuur en deskundigen van Coalitie Wadden Natuurlijk hebben inhoudelijk feedback geleverd op concept versies van dit rapport.

2 Conceptuele benadering en uitgangspunten

De basis voor het opstellen van het streefbeeld is een conceptueel model. Dit hoofdstuk geeft de beschrijving van dat model met daaraan voorafgaand en aansluitend ook uitgangspunten die zijn gehanteerd zoals wat er wordt verstaan onder robuuste en veerkrachtige natuur en gebruik van referenties. Als laatste wordt kort aandacht besteed aan exoten.

2.1 Uitgangspunten

Vorige streefbeelden

Het is niet voor het eerst dat er een streefbeeld voor de Waddenzee wordt opgesteld. Dankers et al. (1990) stelde meer dan dertig jaar geleden een referentiebeeld op ten behoeve van de herziening van de Planologische Kernbeslissing Waddenzee (PKB). Onder referentie verstonden zij: 'een hypothetisch beeld van een Waddenzee onder vrijwel natuurlijke omstandigheden binnen een aantal als vaststaand aangenomen randvoorwaarden zoals het bestaan van de Afsluitdijk, zeespiegelstijging etc.'

Dit referentiebeeld schreven Dankers et al. (1990) vanuit de visie van natuurlijke ontwikkeling; de veronderstelling dat alle structuren, soorten planten en dieren die van nature in de Waddenzee thuishoren, zich daar kunnen handhaven, ontwikkelen en herstellen wanneer de basisvoorwaarden voor hun ontwikkeling aanwezig zijn en de kwaliteit daarvan wordt geoptimaliseerd. Een systeem waarin de belangrijkste biotische en abiotische processen zich op een natuurlijke wijze kunnen gedragen en ontwikkelen.

Deze denklijn, dat de natuurlijke processen op ongestoorde wijze zouden moeten kunnen plaatsvinden, is ook als één van de leidende principes genoemd in de Agenda voor het Waddengebied (2020). Voor het bereiken van de doelstelling van de Waddenzee, benoemt de Agenda de duurzame bescherming en/of een zo natuurlijk mogelijke ontwikkeling van de waterbewegingen en de hiermee gepaard gaande geomorfologische en bodemkundige processen, de kwaliteit van water, bodem en lucht, de flora en de fauna en de landschappelijke kwaliteiten, met name rust, weidsheid, open horizon en natuurlijkheid inclusief duisternis. Dit denken is ook de basis voor dit ecologisch streefbeeld en wordt nader uitgewerkt in [paragraaf 2.2](#).

Gezond, robuust en veerkrachtig.

De PAGW werkt aan gezonde veerkrachtige natuur. De termen 'robuust' en 'veerkrachtig' worden vaak gebruikt om de gewenste ecologische veerkracht van de Waddenzee aan te geven. Levin & Lubchenco (2008) gebruiken de termen robuustheid en veerkracht gezamenlijk als zijnde het vermogen van een ecosysteem om verstoring te ondergaan en tegelijkertijd te blijven functioneren. Ook wordt wel gesproken over gezond en veerkrachtig.

Een mooie metafoer (persoonlijke communicatie M. Baptist, WUR) is een bokszak. Deze is robuust; als je hier zacht tegen aan slaat geeft de bokszak niet mee. Hij is ook veerkrachtig; als je hier hard tegen aan slaat schommelt hij uit de beginstand en komt weer terug. Hieronder worden de begrippen op meer wetenschappelijke wijze beschreven.

Robuustheid gaat om het adaptieve vermogen: de mate waarmee het ecosysteem om kan gaan met externe veranderingen, zoals extreme hitte. Een robuust systeem blijft ondanks deze veranderingen op dezelfde manier functioneren (Crespi et al., 2021). Een grote diversiteit met veel soorten die ongeveer dezelfde functie in het ecosysteem (functionele groepen) hebben vergroot de robuustheid van het

systeem (Worm et al., 2006; Levin & Lubchenco, 2008). Wanneer er soorten verdwijnen, kunnen deze soorten door andere soorten uit dezelfde functiegroep gecompenseerd worden. Het nadeel is wel dat het systeem zich mogelijk hierdoor in de toekomst minder goed kan aanpassen, maar het systeem verliest niet direct zijn functie (Levin & Lubchenco, 2008). Ook de variatie in habitats draagt bij aan robuuste populaties, omdat soorten dan minder afhankelijk zijn van één of enkele voedselbron(nen) (Dulfer, 2023). Robuustheid wordt ook wel uitgedrukt in secundaire uitstervingen, ofwel het aantal soorten die verdwijnen door het aanvankelijke verlies van een soort (Donohue et al., 2013). Dunne et al (2002) vonden op basis van een analyse van 16 verschillende ecosystemen dat deze robuustheid toeneemt met het aantal verbindingen in het voedselweb.

Veerkracht gaat om de mogelijkheid van een systeem om na grote veranderingen wel dezelfde functie te blijven vervullen; één met behoud van terugkoppelingsmechanismen (Walker and Meyers, 2004). De populatie van gewone zeehonden heeft veerkracht laten zien; ondanks dat de populatie twee maal is getroffen door een virusuitbraak waardoor veel zeehonden doodgingen, is de populatie wel weer gaan groeien. In een systeem dat niet of onvoldoende veerkrachtig is ten opzichte van de verstoring, veroorzaakt de verstoring een verandering in de toestand waardoor er een nieuw evenwicht ontstaat (Gunderson, 2000). Veerkracht wordt met name bereikt door de basis van het ecosysteem op orde te brengen. Het zijn de ongestoorde (getij-gedreven) abiotische processen die de stabiliteit van dit systeem veilig stellen (Dittmann, 1999; Westerlaan, 2010).

Belang van overvloed / robuuste populaties

Belangrijke kenmerken voor een robuust en veerkrachtig ecosysteem voor wat betreft soorten en soortgroepen zijn (bio)diversiteit, functionele redundantie en opbouw van het voedselweb (Firet et al., 2018; Hunsicker et al., 2011; Levin & Lubchenco, 2008; van Beek et al., 2021; Worm et al., 2006). Daarnaast wijst het Stockholm Resilience Centre (Biggs et al., 2015) op het belang van overvloed. Het veranderende klimaat en andere menselijke drukfactoren beïnvloeden het systeem. Met het streven naar een robuuste en veerkrachtige Waddenzee, is het van essentieel belang dat er sprake is van overvloed; de populaties, de leefgebieden en kwaliteit moeten niet 'net aan genoeg' zijn. Er moet royale ruimte zijn om veranderingen die een wissel trekken op het ecosysteem op te vangen, zodat het ecosysteem daarna weer kan terugveren.

Referenties

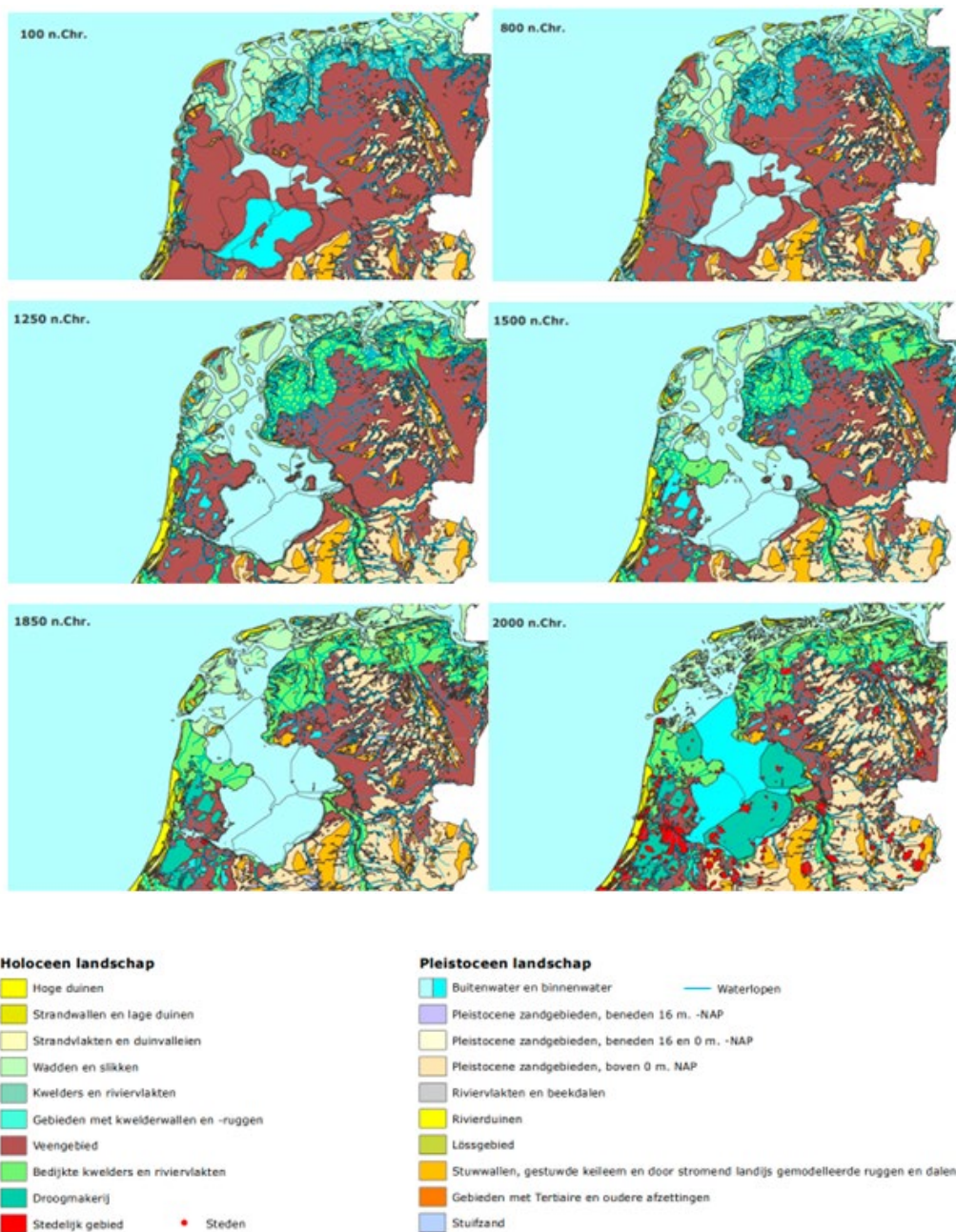
Als nagedacht wordt over een streefbeeld wordt er vaak gekeken naar een referentie uit het verleden of naar een ander vergelijkbaar gebied. De Waddenzee is waarschijnlijk 6000-5000 jaar geleden ontstaan met het aanbreken van een warmere periode en een minder snel stijgende zeespiegel. Golfwerking, stroming en zandaanvoer zorgden voor het ontstaan van eilanden met daarachter een ondiepe, luwe zee met platen en geulen en een uitgestrekt kwelderlandschap (Rijkswaterstaat, 2021).

Sinds het laatste millennium wordt de evolutie van het Waddengebied door waterstaatkundige werken beïnvloed. Zoals de aanleg van polders, kwelders, stuifdijken, de afsluitdijk en – het meest recent – zandsuppleties (zie Figuur 2.1).

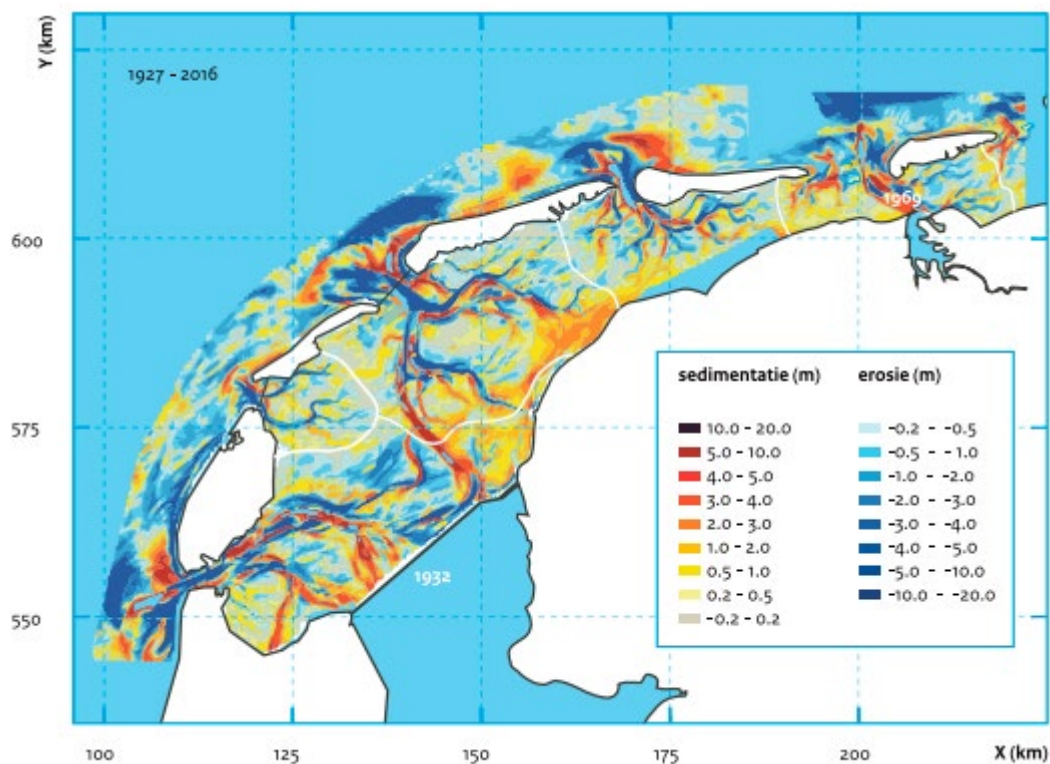
Door deze inpolderingen van kwelders en aanleg van harde dijken en dammen is het oppervlak van de Waddenzee in de afgelopen duizend jaar met ongeveer twee derde afgenomen (Rijkswaterstaat, 2021). Niet alleen is de ruimte afgenomen, deze afsluitingen hebben ook het morfologische evenwicht verstoord; een effect wat nog steeds doorwerkt (zie Figuur 2.2). Naast afname van de ruimte voor de Waddenzee heeft de aanleg van stuifdijken op de eilanden ook voor een beperking van de dynamiek gezorgd met een negatief effect op de biodiversiteit.

Door de afsluitingen is ook de natuurlijke zoetwateraanvoer van de rivieren beïnvloed. Het zoutgehalte van de Waddenzee varieert meestal tussen 20 en 30 psu (practical salinity unit). Dit is minder dan in de open oceaan (34) maar meer dan in estuaria (0-20), waar de meeste andere getijdengebieden in Europa liggen. Daar waar rivieren het gebied binnenkwamen zal lokaal de gehele saliniteitsgradiënt aanwezig zijn geweest. Deze gradiënten en de verbindingen met het vasteland zijn door menselijk ingrepen de laatste 200 jaar sterk verminderd.

Deze grote ingrepen uit het verleden zullen niet zo maar ongedaan worden gemaakt zodat terug grijpen op een specifieke periode ook niet zo maar mogelijk is.



Figuur 2.1 Paleogeografische kaarten van Noord-Nederland (Bron: Vos et al. 2018).



Figuur 2.2 Grote veranderingen in bodemhoogte in de Waddenzee sinds 1927, vooral door aanleg van de Afsluitdijk en de Lauwersmeerdijk. (Bron: De Leeuw, C., 2020).

Het Waddengebied is daarnaast uniek; UNESCO Werelderfgoed met een Uitzonderlijke Universele Waarde. Er zijn andere sedimentaire kusten die qua morfologie op de Waddenzee lijken, zoals de Mississippi-delta, de Banc d'Arguin of de Arctische Lena-delta. Ze verschillen echter wat betreft het klimaat, de invloed van rivieren, de getijden of golven. Veel van deze gebieden zijn ook duidelijk kleiner dan de Waddenzee en kunnen daarmee niet als referentiegebied fungeren.

Het is dus lastig om een referentieperiode of een referentiegebied te gebruiken voor het formuleren van het streefbeeld. Voortbouwend op de eerder genoemde basis voor het streefbeeld, een systeem waarin de belangrijkste biotische en abiotische processen zich op een zo natuurlijk mogelijke wijze kunnen gedragen en ontwikkelen, is er op basis van de ontwikkelingen in het verleden, wel een aantal systeemkenmerken geïdentificeerd die aan de grondslag liggen voor het systeemherstel van de Waddenzee; leren vanuit het verleden om de stip voor de toekomst te kunnen bepalen. [Paragraaf 2.2](#) beschrijft dit nader. Ook is er gekeken naar de oppervlakte van kwelders in relatie tot het oppervlak van de kombergingen om tot een gewenste maat van de komberging te komen. Hoofdstuk 15 gaat hier nader op in.

Er zijn diverse juridische referenties opgesteld zoals voor de Natura 2000 doelsoorten. Dankers et al (1990) betoogt dat een referentie die zich richt op soorten met aantallen van een soort als parameter relatief gemakkelijk is voor beleid en beheer, omdat ontwikkelingen goedgevolgd kunnen worden. Het nadeel is echter dat er nauwelijks rekening kan worden gehouden met de natuurlijke dynamiek en verschuivingen tussen soorten waardoor opnemen van aantallen van soorten minder geschikt is als beschrijving van een robuuste en veerkrachtige Waddenzee. Dit streefbeeld is dan ook terughoudend in het hanteren van kwantitatieve doelen voor soorten.

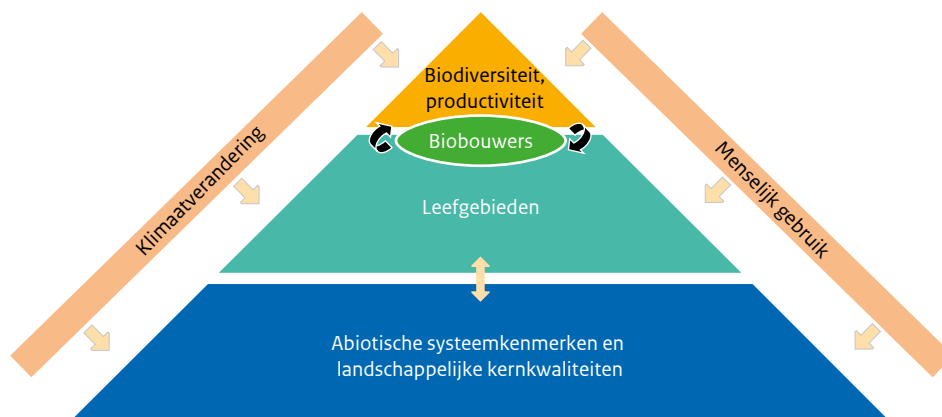
2.2 Conceptueel model

Elk ecosysteem bestaat uit een aantal essentiële bouwstenen waarin het functioneert in ruimte en tijd. Van Beek et al. (2021) hebben deze in hun Streefbeeld Onderwaternatuur Waddenzee beschreven. Ook voor dit streefbeeld is een conceptueel model gehanteerd. Dit conceptuele model komt grotendeels overeen met het conceptuele model van het Streefbeeld Onderwaternatuur (van Beek et al. 2021) maar verschilt op enkele punten⁴ en bouwt voort, zoals reeds eerder gemeld, op de lijn die Dankers et al. (1990) reeds hadden uitgezet.

Het conceptuele model kan worden weergegeven als een systeempiramide met daarin 3 lagen. Van onder naar boven: abiotische systeemkenmerken & landschappelijke kernkwaliteiten, leefgebieden & connectiviteit en biodiversiteit & productiviteit (Figuur 2.3).

De **abiotische systeemkenmerken en landschappelijke kernkwaliteiten** van het gebied bepalen hoe het gebied ecologisch functioneert voor verschillende soortgroepen. Dat uit zich in voldoende **leefgebieden** en connectiviteit. Een robuust en veerkrachtig systeem vraagt om een systeem met een hoge **biodiversiteit** en met een rijk, complex, robuust voedselweb⁵ wat zich uit in een hoge **productiviteit**. Dit staat aan de top van de piramide net als alle trofische interacties.

Wanneer de basis van de piramide op orde is, waarin de natuurlijke systeemkenmerken van de Waddenzee tot uiting komen en leefgebieden van voldoende omvang en kwaliteit met elkaar in verbinding staan, zijn er de juiste condities voor een grote biodiversiteit en productiviteit, waardoor de Waddenzee weer robuust en veerkrachtig is en tegen een stootje kan.



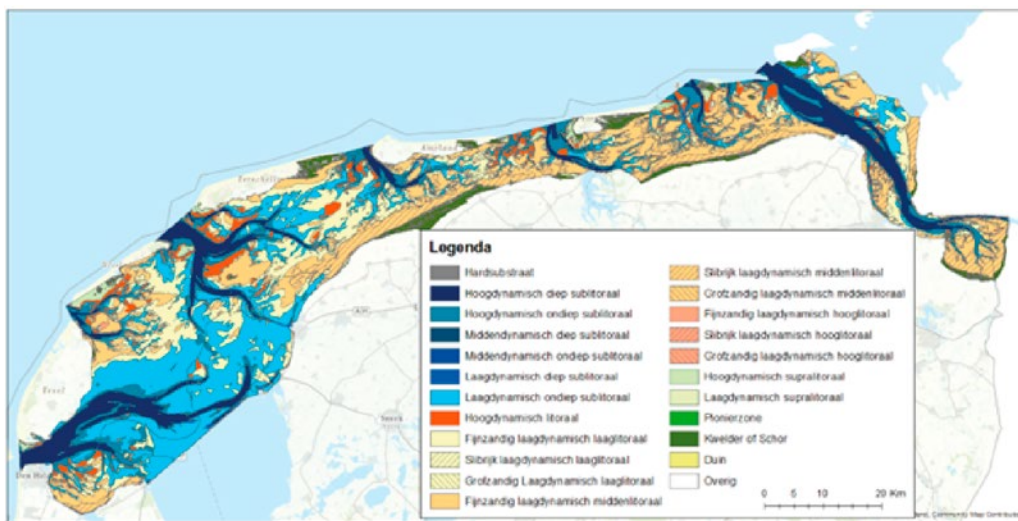
Figuur 2.3 Conceptuele weergave van de systeempiramide van de Waddenzee.

Zoals hiervoor beschreven is de Waddenzee ontstaan dankzij klimaatverandering en heeft de Waddenzee haar huidige vorm mede dankzij menselijke ingrepen in het verleden. In dit document worden verdere klimaatverandering en menselijk gebruik beschouwd als drukfactoren die geen deel uitmaken van het natuurlijke ecosysteem. Wel kunnen deze stressoren op elke laag van het systeem druk uitoefenen en zo de robuustheid en veerkracht van het Waddensysteem beïnvloeden.

⁴ Het Streefbeeld Onderwaternatuur bestaat uit de bouwstenen 1) hydro-morfodynamiek, 2) energie- en stoffenstromen), 3) de kwaliteit van de plek met habitats en gradiënten, overgangen, connectiviteit en dynamiek, 4) functionele groepen, 5) trofische keten interacties en 6) antropogene invloed.

⁵ Tamis et al. 2024 benoemen als belangrijke kenmerken voor een robuust en veerkrachtig ecosysteem voor wat betreft soorten en soortgroepen, (bio)diversiteit, functionele redundantie en opbouw van het voedselweb.

Abiotische systeemkenmerken & landschappelijke kernkwaliteiten vormen het fundament van het ecosysteem (Ministerie van IenW, 2020); van Beek et al., 2021; blauwe laag in Figuur 2.3). De abiotische systeemkenmerken bepalen de ligging en samenstelling van diverse ecotopen in het gebied (Baptist et al., 2016, 2019; Figuur 2.4). Een ecofoon geeft de abiotische randvoorwaarden voor leefgebieden van een soort. De kwaliteit van leefgebieden wordt mede bepaald door landschappelijke kwaliteiten als rust, openheid, stilte en donkerte. Het is niet voor niets dat het Natura 2000-beheerplan Waddenzee, de landschappelijke samenhang van ecotopen, natuurlijke processen en voldoende rust en ruimte voor vogels als kernopgave heeft gedefinieerd voor Noordzee, Waddenzee en de Zuidwestelijke Delta (Ministerie van LNV, 2006). De geologische processen, één van de criteria voor de aanwijzing als UNESCO Werelderfgoed, behoren tot deze laag.



Figuur 2.4 Zoute ecotopenkaart van de Nederlandse Waddenzee volgens de ZES.1 typologie (Bron: Páree et al., 2020).

Wanneer zowel de abiotische randvoorwaarden als de landschappelijke kernkwaliteiten op orde zijn, zullen leefgebieden in kwaliteit toenemen wat een positief effect zal hebben op de aanwezigheid van soorten in het systeem. Dit streefbeeld gaat er nadrukkelijk vanuit dat het fundament van de piramide, de abiotische systeemkenmerken en de landschappelijke kwaliteiten, op orde moet zijn zodat er op grote schaal systeemherstel plaatsvindt. Dit in lijn met één van de aanbevelingen uit Duits onderzoek naar de veerkracht van de Waddenzee (het ELAWAT-project): Natuurlijke processen zijn essentieel voor de veerkracht van de Waddenzee en deze moeten ongestoord zijn om de stabiliteit van het functioneren van het ecosysteem veilig te stellen (Dittmann, 1999). Westerlaan (2010) kwam tot dezelfde conclusie en noemde daarbij ook het belang van verminderen van (negatieve effecten van) menselijke activiteiten (beschadiging habitat, overexploitatie, eutrofiëring) in het Wadden-ecosysteem.

Op basis van de ontwikkelingen in het verleden zijn voor deze laag een aantal systeemkenmerken geïdentificeerd. Het betreft de natuurlijke dynamiek (morphologische en hydrologische processen), de waterkwaliteit, de productiviteit en de landschappelijke kwaliteiten. Dit komt overeen met de in het Programma Rijke Waddenzee (PRW)⁶ streefbeeld onderwaternatuur genoemde bouwsteen 'fundament hydro-morfodynamiek' en 'energie en stoffenstromen'. Op basis van de Natura 2000 kernopgave landschappelijke samenhang en interne compleetheid, zijn hier de landschappelijke kwaliteiten aan toegevoegd. Hoofdstuk 5 geeft een korte beschrijving van deze systeemkenmerken en kwaliteiten terwijl hoofdstuk 7 t/m 11 een verdere uitwerking geeft.

⁶ Zie <https://rijkewaddenzee.nl/nieuws/advies-streefbeeld-onderwaternatuur-wadden/index.htm>.

Leefgebieden & connectiviteit zijn de ruggengraat van het ecosysteem (van Beek et al., 2021; groene laag in Figuur 2.3). In het algemeen neemt de diversiteit aan leefgebieden die een soort voor verschillende functies nodig heeft, vaak toe naarmate de soort hoger in de voedselketen staat. Denk aan foerageer-, rust- en voortplantingsgebieden die noodzakelijk zijn voor vogels, vissen en zeehonden. Maar ook sessiele (minder mobiele) soorten, zoals schelpdieren hebben meerdere typen leefgebieden nodig: larven komen voor in plankton en volwassen dieren vestigen zich binnen een bepaald ecotoop.

Wanneer een soort voor verschillende type levensbehoeften (zoals foerageren en voortplanting) verschillende typen leefgebieden nodig heeft, is de kwaliteit en connectiviteit tussen deze leefgebieden van groot belang. De landelijke kernopgave van het Natura 2000-beheerplan zegt bijvoorbeeld dat er voor vogels voldoende rustige hoogwatervluchtplaatsen op korte afstand van foerageergebieden in het intergetijdengebied dienen te liggen (Ministerie van IenW& Rijkswaterstaat Noord-Nederland 2016). Voor trekvis is de verbinding tussen zoet en zout water belangrijk, want zonder deze connectie zouden veel soorten hun paai- en opgroei gebied niet kunnen vinden en/of bereiken en kan de levenscyclus niet worden voltooid. Dit heeft weer negatieve consequenties voor de overleving en voortplanting en dus het voortbestaan van de soort.

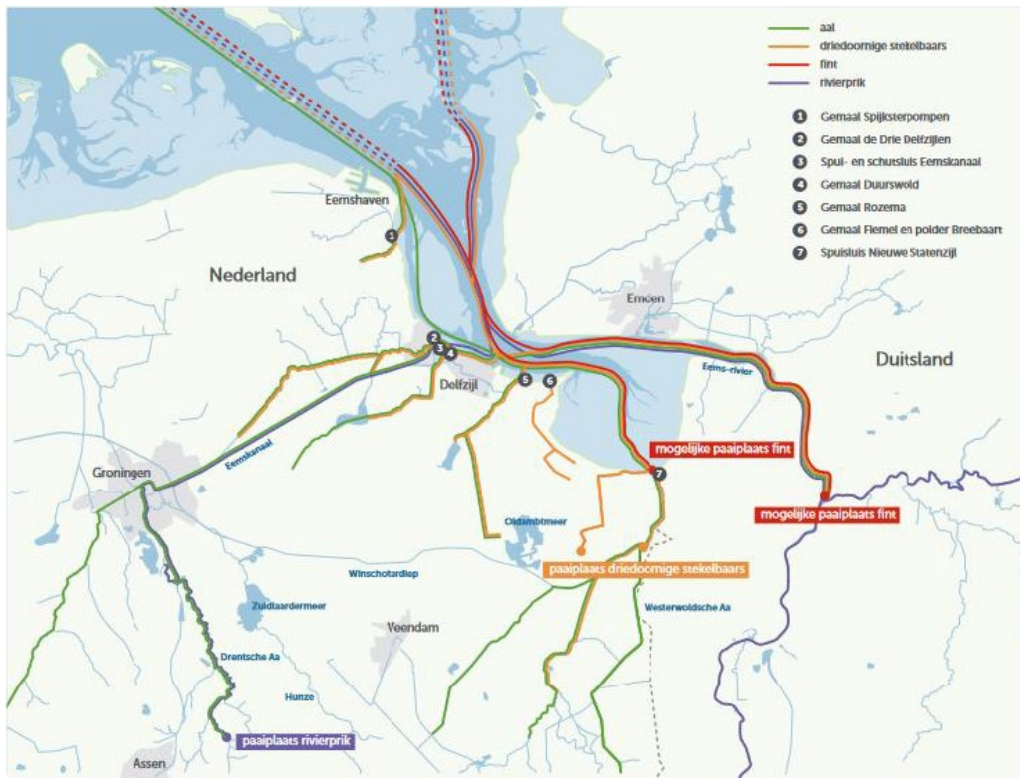
Niet alle leefgebieden van kenmerkende soorten van de Waddenzee liggen enkel in het Wadden-gebied. De Waddenzee is een essentiële schakel in de internationale migratieroutes van vogels en vissen. Zonder de Waddenzee kunnen veel internationaal migrerende soorten niet voortbestaan. Voor vogels is de Waddenzee een belangrijk broedgebied en bijtankstation, waarna ze hun migratie in het voor- en najaar kunnen vervolgen. Deze trekroute (de East-Atlantic flyway) loopt van het Arctisch gebied, langs Europese en Afrikaanse kusten naar de zuidpunt van Afrika (Figuur 2.5). Jaarlijks passeren er gemiddeld 10 miljoen vogels de Waddenzee en kunnen er wel tot 6,1 miljoen vogels tegelijk in de Waddenzee aanwezig zijn.⁷



Figuur 2.5 East-Atlantic Flyway. (Bron: van Roomen et al., 2022).

⁷ <https://www.icomos.nl/werelderfgoed/waddenzee>, geraadpleegd op 13 mei 2024..

Ook voor vissen is het een onmisbare locatie in veel migratieroutes (Swimway). Met name het Eems-estuarium is voor driedoornige stekelbaars, fint en rivierprik een belangrijke toegangsdeur tot paaiplaatsen in binnenlandse wateren in Nederland en Duitsland (Figuur 2.6; Schmidt et al., 2021). [Hoofdstuk 13](#) geeft een uitgebreide beschrijving voor de verschillende vissengildes inclusief het belang van de Waddenzee als kraamkamer en opgroeigebied.



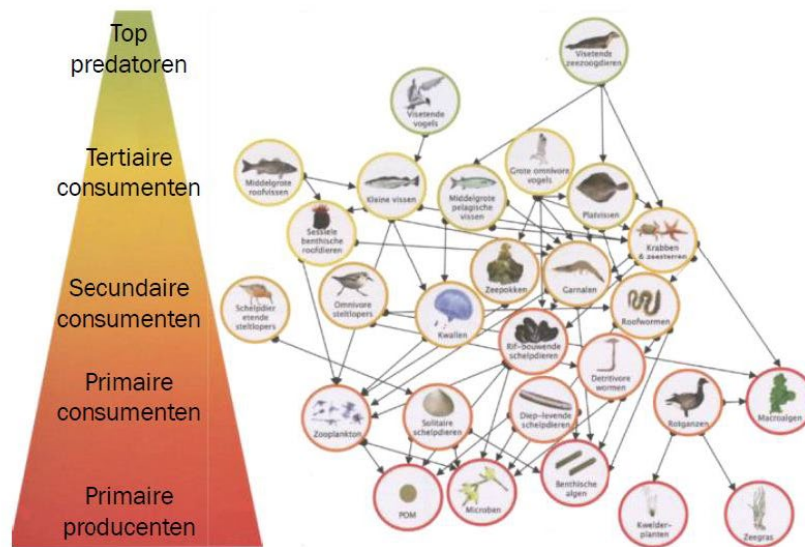
Figuur 2.6 Het Eems-estuarium als toegangsdeur tot binnendijkse paaiplaatsen in Nederland en Duitsland (Bron: Schmidt et al., 2021).

In de beschrijving van dit streefbeeld ligt de focus bij de analyse van de leefgebieden op biobouwers en biobrekers, vogels, vissen en zeezoogdieren. Biobouwers vervullen een belangrijke functie in het voedselweb. Deze groep van structuur bouwende organismen zijn belangrijk voor de biodiversiteit van de Waddenzee, omdat ze meerdere ecologische functies hebben. Ze bieden vestigingssubstraat, schuilmogelijkheden, voortplantingshabitat en foerageermogelijkheden voor verschillende soorten. Vissen, vogels en zeezoogdieren worden beschouwd als onderdeel van de top van de piramide; als het met deze soorten goed gaat betekent dat normaliter dat het met de lagen eronder ook goed gaat. Hoofdstuk 11 tot en met 14 geeft een nadere beschrijving van deze leefgebieden.

Biodiversiteit & productiviteit staan in de punt van de piramide (gele laag in Figuur 2.3). Het gehele voedselweb bestaat uit zogenaamde trofische interacties tussen soorten, waarin soorten elkaar nodig hebben om te overleven. Hoe meer individuen er van elke soort aanwezig zijn, hoe hoger de totale biomassa en hoe groter de productiviteit, wat zich uit in een rijk en robuust voedselweb. Wanneer er meer soorten aanwezig zijn, zullen deze ook meer met elkaar in interactie gaan. Er is bijvoorbeeld meer predatie, meer competitie, maar ook meer parasitisme (ziektes).

Een hoge biodiversiteit en een rijk en productief voedselweb worden alleen verkregen wanneer de onderste en middelste laag van de piramide op orde zijn. Zo wordt de aanwezigheid en diversiteit van primaire producenten (algen in de waterkolom en op de wadplaten, hogere planten) en primaire consumenten (dierlijk plankton en bodemdieren) (zie Figuur 2.7) bepaald door de abiotische condities, zoals water- en sedimentstromen en beschikbaarheid van nutriënten (de blauwe laag in de systeempiramide, zie Figuur 2.3).

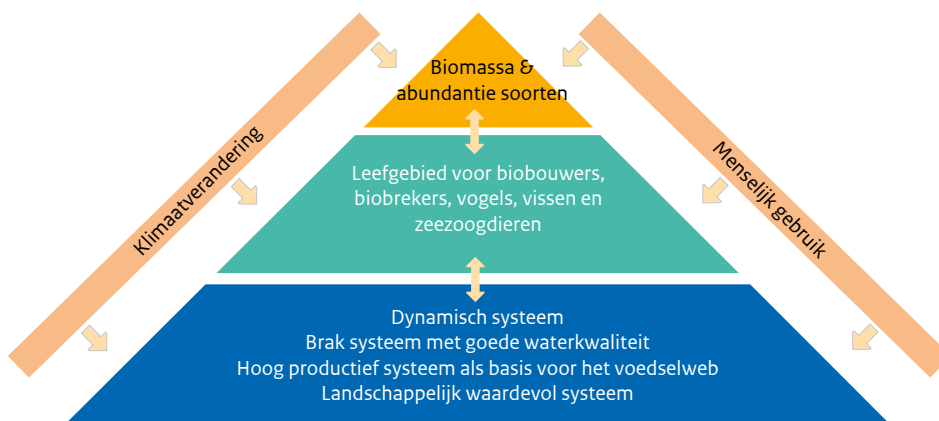
Dit geldt ook voor biobouwers (zoals oesters, mosselen, schelpkokerwormen, en zeegras), die een leefomgeving voor zichzelf en andere soorten scheppen (Wereld Natuur Fonds, 2017).



Figuur 2.7 Opbouw van het Waddenzee voedselweb (bron: Buitenkamp et al., 2021).

Ook deze kenmerken zijn van belang geweest voor de aanwijzing van de Waddenzee als UNESCO Werelderfgoed. Het gaat hierbij om de criteria IX en X, ecologische en biologische processen en biodiversiteit. De biomassaproductie is een van de hoogste in de wereld en biedt ruim voedsel aan vissen, schelpdieren en vogels. Het gebied is een van de belangrijkste hotspots van biodiversiteit ter wereld met meer dan 10.000 soorten planten en dieren.⁸

Op basis van bovenstaande ziet het conceptuele model nader ingevuld er uit zoals weergegeven in Figuur 2.8.



Figuur 2.8 De systeempiramide uit het conceptuele model ingevuld met de systeemkenmerken (blauwe laag), leefgebieden en connectiviteit (groene laag) en biodiversiteit & productiviteit (gele laag).

⁸ <https://waddensea-worldheritage.org/nl/hoe-wordt-een-gebied-werelderfgoed> geraadpleegd 3 juli 2024.

Exoten

Exoten zijn soorten die niet van nature in een ecosysteem voorkomen en door menselijk handelen in een ander gebied zijn gekomen. Door introductie kunnen zij grote impact hebben op de biodiversiteit en interacties in het bestaande voedselweb. In de Waddengebied kwamen tot 2022 518 uitheemse soorten voor (van der Have & Anema, 2022) waarvan 113 marine soorten (Büttger et al., 2022).

Exoten bereiken op verschillende manieren de Waddenzee en introductie van nieuwe soorten is van alle tijden. Wel is er sprake van een nadrukkelijke stijging van de snelheid van introductie van exoten (Büttger et al., 2022). Een van de belangrijkste vectoren is introductie via aangroei op scheepsprompen en via ballastwater van internationale beroepsscheepsvaart (Gollasch, 2002; Wolff, 2005). Ook komen nieuwe soorten het systeem in door moedwillige introductie (zoals bij de Japanse oester) of migreren zij op eigen kracht naar de Waddenzee die door een veranderend klimaat geschikt leefgebied is geworden (dat worden uitheemse soorten genoemd).⁹ Wanneer de soorten de Waddenzee hebben bereikt speelt recreatievaart een belangrijke rol bij de verdere verspreiding binnen de Waddenzee (Gittenberger et al., 2017 & 2010).

De introductie van nieuwe exoten in de Waddenzee heeft vooralsnog niet geleid tot het uitsterven van inheemse soorten (Buschbaum et al., 2012). De meeste van de soorten die de Waddenzee bereiken worden onderdeel van het ecosysteem zonder daarin dominant te worden of verstreckende gevolgen te hebben voor het systeemfunctioneren (Büttger et al., 2022). Zij kunnen zelfs op een positieve manier bijdragen aan de mogelijkheid van het ecosysteem om zich aan te passen aan veranderende condities (Reise et al., 2023).

Exoten die een grote impact hebben op het ecosysteem door dominant te worden en trofische interacties te veranderen worden invasieve exoten genoemd (Reise et al., 2005). De recente toename aan waarnemingen van de Geaderde stekelhoren in Nederlandse wateren¹⁰ wordt bijvoorbeeld op de voet gevolgd om de effecten van deze exoot in te kunnen schatten.

Hoe meer exoten de Waddenzee bereiken, hoe groter de kans wordt dat er invasieve soorten tussen zitten die verstreckende gevolgen hebben voor het ecosysteem. Dit geldt zowel voor klimaatmigreerders als voor soorten die (on)bewust worden geïntroduceerd door bijvoorbeeld scheepvaart. Om de risico's van exoten in de Waddenzee te minimaliseren is het essentieel dat de focus ligt op het voorkomen van de introductie van nieuwe soorten. Hierin spelen de wet- en regelgeving en handhaving een belangrijke rol. Het 'trilateral alien species management and action plan (MAPAS)' (WG-AS & Gittenberger, 2019) is hierbij een belangrijk verdrag om introductie van nieuwe soorten aan te pakken. Ook de gezamenlijke voorlichtingscampagne die de Provincies Noord-Holland, Friesland en Groningen opstarten om bewustzijn te vergroten en een handelingsperspectief te bieden is in lijn met deze aanpak. Daarnaast dient er gedegen monitoring plaats te vinden en moet nieuwe soorten snel gemeld worden; hoe eerder nieuwe soorten gemeld worden, hoe groter de kans dat er nog effectief bestreden kan worden zonder veel nevenschade. Deze aanpak is in lijn met het advies van BuRo aan de NVWA met betrekking tot exoten in de Waddenzee (Bureau Risicobeoordeling & Onderzoek, 2024).

⁹ [Invasieve exoten | NVWA](#).

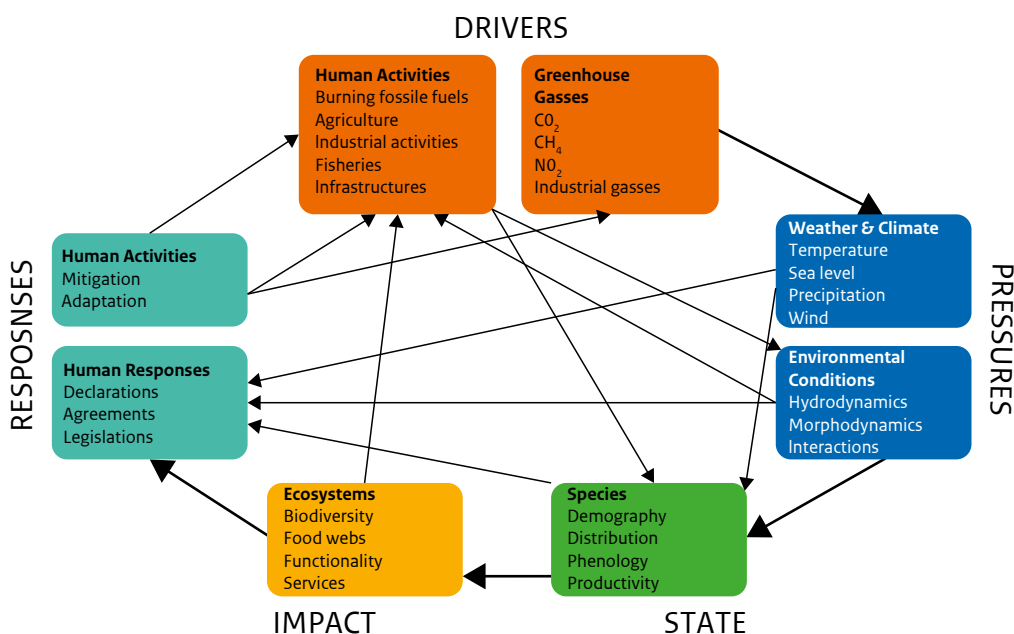
¹⁰ Zie https://www.naturetoday.com/intl/nl/nature-reports/message/?utm_source=newsletter&utm_medium=e-mail&utm_campaign=user-mailing&msg=32712.

3 Klimaatverandering

Dit hoofdstuk geeft een korte beschrijving van de effecten van klimaatverandering. In de hoofdstukken die nader ingaan op de systeemkenmerken en leefgebieden (7 tot en met 14) worden deze meer uitvoerig beschreven.

Het mondiale klimaat verandert (IPCC, 2021a; b) door de globale toename in emissies van broeikasgassen. De gemiddelde temperatuur stijgt. Dit heeft verschillende effecten op het weer en de zeespiegel. Belangrijkste veranderingen voor de Waddenzee zijn de stijging van de gemiddelde temperatuur, een versnelde stijging van de zeespiegel en een toename van de frequentie van extreme gebeurtenissen zoals neerslag, hittegolven en droogte (Heron et al., 2020).

In de klimaatscan Grote Wateren (Deltares, 2019a; b), het Quality Status Report Climate (Phillipart et al, 2024) en de Verkenning effecten klimaatdrukfactoren (Ebbens et al., 2021) zijn uitgebreide beschrijvingen te vinden van de (bekende) effecten op het ecologisch functioneren van de Waddenzee. Onderstaande Figuur 3.1 geeft inzicht in de complexiteit van de doorwerking van klimaatverandering op het ecosysteem en demonstreert de samenhang met ander menselijk handelen.



Figuur 3.1 Drivers-Pressures-State-Impacts-Responses (DPSIR) raamwerk met de doorwerking van klimaatverandering op het Waddenzee-ecosysteem (Bron: Phillipart et al., 2024).

Dit streefbeeld richt zich op het jaar 2050. In deze periode stijgt de zeespiegel, volgens de meeste recente klimaatscenario's (KNMI, 2023) tussen de 16 en 38 cm, ten opzichte van de referentieperiode 1991-2020. De stijgsnelheden in het jaar 2050 variëren dan tussen de 1 en 8 mm per jaar (KNMI, 2023). De Waddenzee kan door de aanwas van wadplaten deze stijging naar verwachting op veel plaatsen nog bijhouden door natuurlijke import van sediment. Er worden daarom voor 2050 geen grote veranderingen in de morfologie/abiotiek van het systeem (als geheel) ten gevolge van zeespiegelstijging verwacht. Zo laten Huismans et al. (2022) voor de verschillende komberegingen zien dat de verandering in plaatareaal zowel qua hoogte als volume in 2050 allemaal (ruim) minder dan 5% zijn, zelfs in scenario's met sterk versnelde zeespiegelstijging. Lokaal kunnen er zeker effecten zijn, bijvoorbeeld bij bepaalde kwelder gebieden die niet volledig meegroeien of zelfs afslaan.

Dit heeft te maken met de huidige trend van sedimentatie en daarmee samenhangende verlandings. Daarmee wordt bedoeld dat gemiddeld genomen de kombergingen ondieper worden; geulen worden kleiner, kwelders groeien aan en het areaal Wadplaten neemt toe. De verwachting is dat deze trend zich doorzet en nog geruime tijd de effecten van zeespiegelstijging zal overstijgen (persoonlijke communicatie E. Lofvers). In de periode tussen 2050 en 2100 kan, afhankelijk van de snelheid van stijging, de groei van de wadplaten de stijging van de zeespiegel mogelijk niet meer bijhouden.

Voor de Waddenzee zijn de veranderingen in temperatuur, neerslag, droogte en daarmee ook de zoetwater aanvoer (en verdeling) voor de periode tot in ieder geval 2050 belangrijker. Deze werken door op systeemniveau en zijn in de gehele Waddenzee en haar omgeving merkbaar. De zoetwater aanvoer is tot op zekere hoogte te sturen, maar deze klimaateffecten zijn verder randvoorwaardelijk, wat betekent dat deze niet gestuurd kunnen worden. Deze effecten hebben een directe invloed op de habitats en soorten die nu in de Waddenzee leven. In tegenstelling tot zeespiegelstijging, zijn effecten nu reeds merkbaar in de Waddenzee (Phillippart et al., 2024), zoals sterfte van kokkels tijdens extreme hitte en achteruitgang van de conditie van rosse grutto's die hun verblijf in de Waddenzee op doortocht naar hun broedgebied verkorten om op tijd in Siberië aan te komen voor het uitkomen van de muggen.

In dit streefbeeld wordt klimaatverandering gezien als een extra drukfactor op het systeem, naast de impact van menselijke activiteiten. Klimaatverandering is niets iets wat middels inrichtingsmaatregelen kan worden tegengehouden. Daarvoor moeten zo snel mogelijk de mondiale emissies beperkt worden. Wel is het mogelijk om de effecten van klimaatverandering op te vangen.

Het systeem zal veranderen en er zullen nieuwe soorten komen die beter zijn aangepast aan de nieuwe condities; de functies die de soorten vervullen moeten blijven bestaan. Daarom het belang om te zorgen voor een gezond en robuust ecosysteem met overvloed. Een dergelijk ecosysteem is beter bestand tegen extreme gebeurtenissen, bijvoorbeeld een hittegolf. Ook moeten habitats en soorten kunnen meebewegen met de verschuivende klimaatzones (connectiviteit).

Als laatste dient te worden opgemerkt dat inrichtingsmaatregelen zoals opgenomen in dit streefbeeld met zorg moeten worden uitgewerkt en klimaatbestendig ontworpen; denk hoe het in de toekomst kan zijn! Bij een visverbinding moet bijvoorbeeld gekeken worden naar de beschikbaarheid van zoetwater voor de lokstroom en naar het beschikbare verval op langere termijn. Bij maatregelen voor specifieke soorten moet worden geanalyseerd of deze soorten op langere termijn überhaupt nog in het toekomstige Waddengebied kansrijk kunnen leven. Wel goed om hierbij te realiseren dat ook nieuwe soorten opgenomen kunnen worden in het voedselweb. Sommige waddenvogels eten bijvoorbeeld driehoeksmosselen die eigenlijk inheems zijn in Rusland.

Als maatregelen kostbaar zijn en beoogd zijn om (heel) langdurig effect te hebben, moeten ook de klimaateffecten tot 2100 beschouwd worden door bijvoorbeeld rekening te houden met een hogere zeespiegelstijging.

4 Randvoorwaarden

Bij het opstellen van het streefbeeld zijn vanuit de stuurgroep PAGW randvoorwaarden meegegeven voor waterveiligheid, zoetwaterbeschikbaarheid en bereikbaarheid met daarbij de kanttekening dat de norm leidend is maar de vorm flexibel: de bestaande randvoorwaarden (normen) vanuit veiligheid (waterveiligheid), bereikbaarheid (scheepvaart), leefbaarheid/natuurlijkheid (zoetwatervoorziening, KRW/VHR) staan vast, maar de manier waarop dit wordt ingevuld is flexibel. Deze randvoorwaarden beïnvloeden het op te stellen ecologisch streefbeeld. In dit hoofdstuk worden deze randvoorwaarden besproken. Ook worden kort de effecten van de randvoorwaarden aangestipt met de kanttekening dat deze soms ook terug komen in de hoofdstukken 7 tot en met 14.

Naast deze randvoorwaarden vanuit de PAGW gelden ook de verplichtingen vanuit (inter)nationale wet- en regelgeving en verdragen die hun eigen effect hebben op het op te stellen streefbeeld. Bastmeijer et al. (2024) hebben laten zien dat de bescherming van de Waddenzee op papier zeer veelomvattend is. Nagenoeg alle belangrijke natuurbeschermingsverdragen plus diverse EU richtlijnen zijn op de Waddenzee van toepassing. De Waddenzee heeft een status als UNESCO Werelderfgoed en in de Nationale Omgevingsvisie (NOVI) en de Agenda voor het Waddengebied is als hoofddoelstelling voor de Waddenzee, een duurzame bescherming en ontwikkeling als natuurgebied met behoud van het unieke open landschap opgenomen. (Ministerie van IenW, 2022).

Waterveiligheid

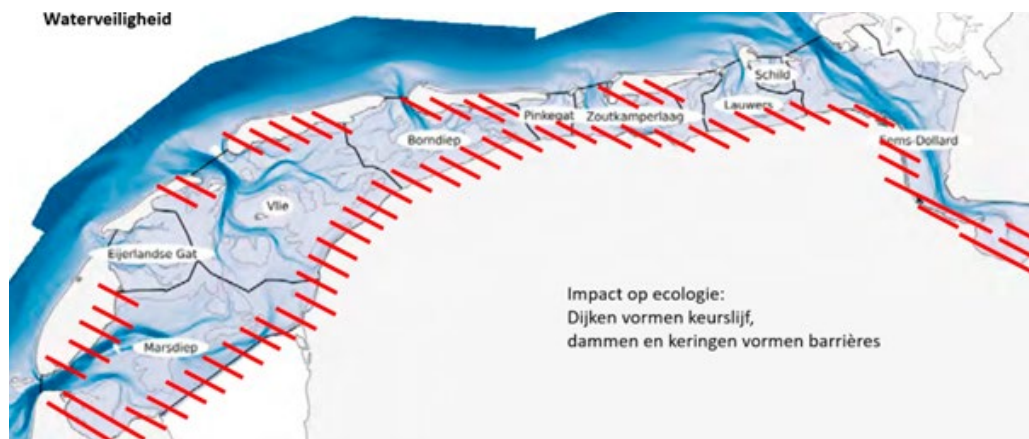
Voor de waterveiligheid zijn normen opgesteld in termen van overstromingskansen waarbij rekening wordt gehouden met de gevolgen van overstroming (die afhangen van bijvoorbeeld economisch belang). Door de aanleg van dijken en dammen is Nederland goed beschermd tegen overstromingen, maar is de ecologische ruimte voor de Waddenzee sterk ingeperkt.

Door de aanleg van de Afsluitdijk werd een groot deel van de Waddenzee afgesloten van de Zuiderzee, hetgeen bijvoorbeeld zorgde voor een toename in sedimentdynamiek in de westelijke Waddenzee. Dit leidde tot een verhoogde troebelheid en daardoor tot een afname in lichtbeschikbaarheid, toegenomen stroomsnelheden en lokale erosie (Smits et al., 2024). Ook is sinds de afsluiting van de Zuiderzee het zoutgehalte in de westelijke Waddenzee gedaald. Mede door deze factoren is het watersysteem in een zogenaamd alternatieve toestand gekomen, waardoor populaties zeegras zich niet meer in dichtheden ontwikkelen waarin ze zichzelf in stand kunnen houden en zijn verdwenen (van der Heide et al., 2007; Smits et al., 2024).

Door inpolderingen en het vastleggen van dynamiek zijn kwelders in areaal afgenomen en ingeperkt, Duinen zijn vastgelegd door stuifdijken en er is een einde gekomen aan wash-overcomplexen en stuivend zand (Feret et al., 2018). Dit heeft gevolgen voor strand-, kolonie-, - en kwelderbroedvogels. Door het gebrek aan dynamiek is de aanwas van nieuw broedgebied verminderd (Meininger et al., 2000).

Dammen en dijken beperken ook de instroom van organisch materiaal. De harde randen zijn in de huidige situatie een belangrijke reden dat het kwelderareaal beperkt is en daarmee de retentie van slib en organisch materiaal in de randen van het Wad onnatuurlijk.

In de Waddenzee hebben geleidelijke zoet-zout overgangen op veel plekken plaatsgemaakt voor abrupte zoet-zoutovergangen van sluizen, dammen en andere werken (van Donk et al., 2022). Hierdoor is een diversiteit aan natuurlijk leefgebied voor vissen verloren gegaan. Zo zijn er aanzienlijke oppervlakten opgroeigebied voor juveniele bot verdwenen door de aanleg van de Afsluitdijk en Deltawerken (Dulfer, 2023). Met name door het afsluiten van de Zuiderzee is er een grote brakwaterzone verloren. (van Eerden, 2010). Dammen en dijken vormen ook barrières voor trekvissen.



Figuur 4.1 Waterveiligheid in de Waddenzee en de impact op het ecologisch systeem.

Historische ingrepen zoals inpolderingen, aanleg van de Afsluitdijk en het Lauwersmeer, inclusief het verzoeten van deze meren, lijken de komende eeuw moeilijk terug te draaien om maatschappelijke en financiële redenen. Maatschappelijke redenen zijn onder meer het verlies aan zoetwaterbuffers (waaronder het IJsselmeer) en ingepolderd land (inclusief bebouwing en infrastructuur) teruggeven aan zee. Financiële redenen zijn gelieerd aan de kosten die nodig zouden zijn om de oude Lauwerszee- en Zuiderzeedijken op zo'n hoogte te brengen dat aan de nieuwste waterveiligheidsnormen wordt voldaan.

Daarom is het uitgangspunt voor het streefbeeld dat de Afsluitdijk en de afsluiting van het Lauwersmeer blijven bestaan. Wezenlijk herstel van dynamiek en het brakke karakter van de Waddenzee is hierdoor slechts beperkt mogelijk. Wel zijn, zolang de waterveiligheidsnorm gegarandeerd blijft, veranderingen van de vorm van de waterkeringen denkbaar die meer dynamiek toestaan, zoals de dijken niet als een lijn zien, maar als een brede zone waarbinnen waterveiligheid via Nature Based Solutions gerealiseerd kan worden. Naar buitendijks toe verplaatsen van dijken heeft additionele knelpunten voor de natuur tot gevolg, zodat ruimte voor de brede zone veeleer landinwaarts zal moeten worden gezocht. Een mogelijke vorm voor een brede dijk is een combinatie van de huidige zeekerende dijk die niet verder versterkt wordt, met een erachter liggende slaperdijk die welweer op sterkte gebracht wordt. Het tussenliggende gebied kan dan via doorlaten veranderen in een kwelder die meegroeit met zeespiegelstijging. De mogelijkheden zouden met een pre-verkenning verder kunnen worden verkend.

Oplossingen zoals de vismigratierivier (die nu in aanbouw is) en de plannen rond het Lauwersmeer (herstel zoet-zout gradiënt in het meer) en de ideeën rond Westerwoldse Aa (bypass voor herstel open verbinding tussen bovenloop en Dollard) zijn geen systeemherstel pur sang, maar nemen wel zoveel mogelijk de negatieve effecten op de ecologie weg, die door de aanpassingen van de mens in het systeem zijn veroorzaakt.

Voor de eilanden is het uitgangspunt om dynamiek in de duinen en op de kwelders toe te staan zonder dat de waterveiligheid daarmee in het geding komt.

Zoetwaterbeschikbaarheid

Het IJsselmeer functioneert als ons nationale zoetwaterreservoir. Het zoete water van het IJsselmeer is van groot belang voor het waterbeheer in de Noordelijke provincies. Het gaat om de beschikbaarheid van water voor diverse economische activiteiten, voor bereikbaarheid, voor het doorspoelen van Friesland, Groningen en de kop van Drenthe, het tegengaan van verzilting en het in stand houden van dijken en kwetsbare natuur. Vanwege het nationale zoetwaterbelang zal de Afsluitdijk blijven.

Voor de Waddenzee is de zoetwateraanvoer van cruciaal belang: voor de connectiviteit (zoet-zout-verbindingen), als lokstroom voor trekvissen en voor de soorten die van het brakke karakter afhankelijk zijn (zie ook [hoofdstuk 8](#) en [13](#)).

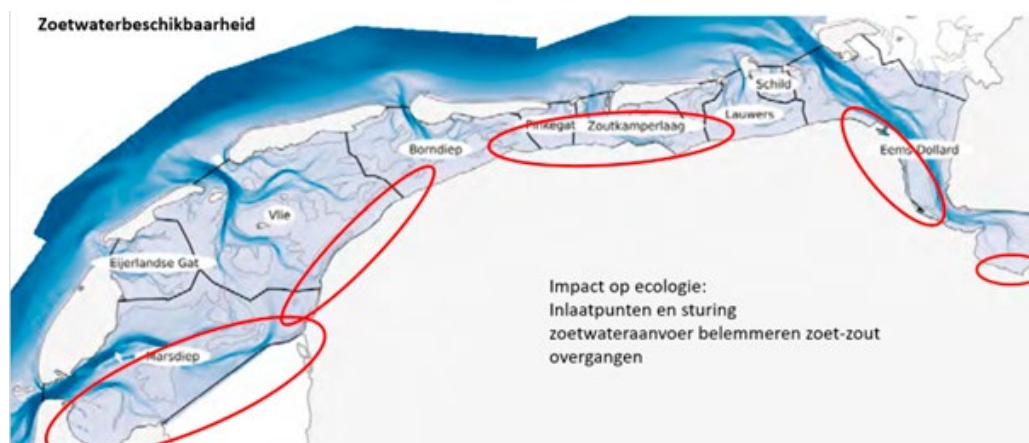
In hete, droge periodes in de lente en zomer zullen rivieren steeds minder zoetwater afvoeren naar de Waddenzee, omdat er voor de landbouw en drinkwatervoorziening water wordt vastgehouden in het IJsselmeer (Philippart et al., 2024). Dit was reeds te zien in de zomers van 2018, 2019, 2020 en 2022. Het is waarschijnlijk dat met de klimaatverandering de duur van periodes zonder zoetwater aanvoer zal toenemen. Sommige vissoorten zoals de driedoornige stekelbaars en spiering hebben profijt van constante zoet-zout gradiënten en vormen belangrijk voedsel voor lepelaars en de zwarte stern (Heidinga et al., 2023). Regelmatige aanvoer van zoetwater zorgt ook voor een (lokaal) lagere saliniteit, waardoor de abundantie zeesterren minder groot is. Hierdoor is er een minder sterke predatie van zeesterren op sublitorale mosselbedden die door eidereenden gebruikt worden om te foerageren (Troost et al., 2022). Vogels hebben dus ook baat bij een meer constante (met natuurlijke fluctuatie) zoet-zout gradiënt in de Waddenzee.

Verandering van saliniteit heeft ook consequenties voor het functioneren van biobouwers, zoals een verlaging in voedselbeschikbaarheid (Jung et al., 2019), een verminderd kiemingssucces van zeegraszaden (van Katwijk et al., 2023) en de eerder genoemde verhoging van de predatiedruk op sublitorale mosselbedden (Troost et al., 2019). Ook heeft de saliniteit effect op de beschikbaarheid van voedsel voor zeezoogdieren (Ebbens et al., 2021). Bot, een belangrijke prooi voor zeehonden, heeft voor zijn levenscyclus baat bij een zoet-zout gradiënt, omdat bot paait in zoutwater en opgroeit in zoetwater (Kroon, 2009). Een afname van de zoetwaterafvoer in de lente en zomer kan ook gevolgen hebben voor de verbinding voor vis: sommige willen precies in die periode migreren. Als de zoete lokstroom dan doorbroken wordt, kan de vis de toegang tot zoetwater niet vinden (van Donk et al., 2022). Het kan ook consequenties hebben voor het voortbestaan van consistente brakke zones, die in deze droge periodes niet aanwezig zullen zijn waardoor sommige vissen (tijdelijk) hun opgroei gebied verliezen.

Met water wordt ook sediment met voedingsstoffen aangevoerd. Met name slib en algen zijn van belang voor de sublitorale filterfeeders. Verminderde slibaanvoer vermindert het vermogen van de Waddenzee om mee te groeien met de versnelde zeespiegelstijging.

Figuur 4.2 geeft een overzicht van de gebieden waar zoetwater vanaf het vasteland de Waddenzee instroomt (zie verder ook [hoofdstuk 8](#)).

Voor het streefbeeld geldt als uitgangspunt dat de Afsluitdijk en het IJsselmeer als zoetwaterreservoir blijven bestaan. Wel is voldoende zoetwateraanvoer, het bestaan van grootschalige zoet-zoutovergangen en vismigratiemogelijkheden essentieel onderdeel van het streefbeeld. Hiervoor is het cruciaal dat de landelijke keuzen over waterverdeling over de rivieren (met name de verdeling van waterafvoer tussen IJssel en Neder-Rijn) en het beleid voor het gebruik van zoetwaterbuffers als het IJsselmeer voor doorspoeling van boezems en droogtebestrijding rekening houden met het belang van de unieke Waddenzeenatuur.



Figuur 4.2 Zoetwaterbeschikbaarheid in de Waddenzee en impact op het ecologisch systeem.

Bereikbaarheid

Goede en betrouwbare bereikbaarheid van havens en eilanden in het Waddengebied is een basisvoorziening. Diverse vaargeulen doorkruisen het gebied (zie Figuur 4.3). De vaarbewegingen zorgen voor verstoring van rust, stilte en duisternis en het noodzakelijke baggeren heeft lokaal morfologische en ecologische effecten en zorgt ook voor verstoring. Zo heeft het verdiepen van de vaargeul in het Eems-estuarium geleid tot minder geleidelijke en natuurlijke overgangen tussen diepe en ondiepe delen (Sierdsma et al., 2022).

Schelpdierbanken en kokerwormriffen in de sublitorale Waddenzee zijn hoog kwetsbare soorten, omdat ze relatief een hoge gevoeligheid hebben met een lange hersteltijd en een laag herstellend vermogen (Rippen et al., 2020). Deze soorten zijn daarom erg gevoelig voor baggerwerkzaamheden die zorgen voor lokale vertroebeling, bedelving of vernietiging van (potentieel) geschikt habitat. vertroebeling heeft ook een lokaal effect op de primaire productie (de Kluijver et al., 2015) en zo een gevolg voor het functioneren van de nutriëntenhuishouding van het systeem.



Figuur 4.3 Bereikbaarheid in de Waddenzee en de impact op het ecologisch systeem.

De Agenda voor het Waddengebied streeft naar een bereikbaarheid en mobiliteit die past bij de status van het Waddengebied als Werelderfgoed (Ministerie van IenW, 2020). De strategie beoogt de toekomstige bereikbaarheid te garanderen waarbij het uitgangspunt is dat de vaarroutes van en naar de havens en Waddeneilanden gebruikmaken van natuurlijke geulen en de effecten van baggeren zo veel mogelijk worden beperkt.

Voor het streefbeeld is voor bereikbaarheid als uitgangspunt gehanteerd dat voor de vorm waarop aan de bereikbaarheid via natuurlijke geulen invulling wordt gegeven, baggeren niet meer of veel minder nodig zou moeten zijn. Verdere verdieping van vaargeulen zou moeten worden voorkomen.

Voor realiseren van het streefbeeld zouden er meer modaliteiten voor bereikbaarheid moeten komen die de rust, stilte en duisternis zo min mogelijk verstoren. Voor vogels is het tevens van belang dat de vaarroutes zoveel mogelijk vastliggen (wat voor de veerdiensten wel het geval is), zodat er gewinning kan optreden en verstoringseffecten afnemen (Dankers, 1990). Daarnaast dient er niet te snel worden gevaren. In diverse trajecten worden mogelijkheden om bereikbaarheid anders in te vullen verkend zoals het varen op getij, het varen met andere (stillere) schepen en het scheiden van personen en goederenvervoer.

5 Systeemkenmerken en leefgebieden

Zoals in hoofdstuk 2 beschreven is dit streefbeeld gestoeld op de veronderstelling dat alle structuren, soorten planten en dieren die van nature in de Waddenzee thuishoren, zich daar kunnen handhaven, ontwikkelen en herstellen wanneer de basisvoorwaarden voor hun ontwikkeling aanwezig zijn en de kwaliteit daarvan wordt geoptimaliseerd. Een systeem waarin de belangrijkste biotische en abiotische processen zich op een natuurlijke wijze kunnen gedragen en ontwikkelen. Dit hoofdstuk geeft een korte beschrijving van de belangrijkste systeemkenmerken en de leefgebieden voor biobouwers, vogels, vis en zeezoogdieren; de belangrijkste onderdelen van het conceptuele model. Deel II geeft een uitgebreide beschrijving met onderbouwing.

Waddenzee als dynamisch systeem

Als sinds haar ontstaan wordt de Waddenzee gekenmerkt door een hoge natuurlijke dynamiek. Met natuurlijke dynamiek wordt het complexe systeem van de voortdurend veranderende sediment- en watertransporten bedoeld, die ontstaan als gevolg van het getij, de wind, rivierafvoeren, stroming en de interacties hiertussen. Door erosie, transport en afzetting van zand en slib bij zowel de eilanden, de vastelandskust en de estuaria ontstaan vele gradiënten zoals van hoog naar laag, droog naar nat, slib naar zand. Daardoor ontstaan verschillende leefgebieden, waarin het habitat wordt gekenmerkt door specifieke flora- en fauna.

In het verleden hadden deze processen vrij spel, maar de Waddenzee is steeds meer in een keurslijf geperst. Door inpolderingen van delen van de Waddenzee, het vastleggen van de eilandenstaarten met behulp van stuifdijken en de afsluiting van de Zuiderzee en Lauwerszee is het Waddengebied sterk verkleind en is veel ecologische kwaliteit verloren gegaan. Deze ingrepen hebben nog steeds een effect op de geulen en de sedimentbalansen. De motor van de dynamiek, het complex van voortdurende sediment- en watertransporten, is gelukkig nog wel steeds actief. Deze dynamiek zorgt er voor dat de wadplaten en kwelders nog steeds groeien en de verwachting is dat dit tot 2050 de zeespiegelstijging bij kan houden.

Er is echter wel een groot verlies van gradiënten merkbaar. Kwelderwerken en stuifdijken beperken de dynamiek en leiden tot een zekere luwte, omdat wind, golven en stroming gedempt worden. Normaal gesproken zou door de natuurlijke dynamiek van tijd tot tijd lokaal door water en wind erosie optreden, wat leidt tot een 'reset' van het systeem met het ontstaan van pioniersstadia. De kwelderwerken en dijken verhinderen dit. Ook worden door de indijking en afsluitingen de overgangen abrupter en minder geleidelijk.

Daarnaast is er een effect van de verstoring van waterbodems door de mens, die de sedimentaire opbouw verstoort en het bodemleven. Dit kan gezien worden als een kunstmatige toevoeging van energie op de waterbodems die ertoe leidt dat deze een meer hoog energetisch karakter krijgt, waarbij bijvoorbeeld rustige onderwaterbodems veranderen in meer geëxponeerde bodems. Deze effecten zijn in vergelijking met de insnoering wel vele malen kleiner en meestal lokaal.

De boven beschreven factoren leiden tot kortere, steilere en meer hoog energetische gradiënten, wat ten koste gaat van pioniersstadia, lage en midden kwelders en de rustigere laag dynamische waterbodems.

Waddenzee als brak systeem met een goede waterkwaliteit

De Waddenzee bestaat uit geulen en ondieptes, waarbij de Waddeneilanden een intergetijdengebied vormen tussen de Noordzee en de vaste wal. De Noordzee voert zoutwater en slib aan en vanuit het achterland stroomt zoetwater via rivieren, kwelders en beken af naar de Waddenzee. In de ondiepe

Waddenzee mengt het zoute Noordzee water met het zoete rivierwater. Doordat de Waddenzee is omsloten door de eilanden, blijft het zoete water dat er terecht komt relatief lang hangen. Hierdoor is de Waddenzee geen volledig zoute zee, maar een overgangsgebied met gradiënten van zoet naar zout. Dit kunnen ook lokale zoet-zoet gradiënten zijn zoals rondom een eilandkwelder. In KRW is de Waddenzee daarom ook getypeerd als overgangswater. Deze gradiënten variëren sterk in tijd en ruimte door de variatie in zoetwater afvoer uit het achterland. Het ecologisch functioneren van de Waddenzee hangt samen met deze gradiënten in zoutgehalte.

Door de aanleg van dijken en dammen in de afgelopen decennia is het areaal brak gebied sterk afgenomen, waarmee de lange estuariene overgangen zijn verdwenen. Harde overgangen en sterk gereguleerde overgangen zorgen voor abrupte veranderingen zodat zoet-zoutovergangen nu vaak veranderd zijn in zoet-zout wisselingen.

De zoetwater kwantiteit en de continuïteit van de zoetwater afvoer zijn sterk verstoord, waarmee de landschappelijke volledigheid van de overgangen is aangetast. Daarnaast is de ecologische en chemische waterkwaliteit onvoldoende.

Waddenzee als hoog productief systeem

Estuariene ecosystemen zoals de Waddenzee worden gekenmerkt door een hoge instroom en lange verblijftijd van voedingsstoffen en een hoge productiviteit. Voedingsstoffen komen het systeem in via rivieren, zeegaten, de atmosfeer en via de fauna die voorkomt in het systeem. Deze voedingsstoffen worden vervolgens vastgelegd in sediment, in planten (kwelders en zeegrasvelden) en in het voedselweb. Dit leidt tot een systeem met een grote draagkracht, wat nodig is voor een robuust en veerkrachtig voedselweb. In de huidige situatie is de nutriënthuishouding van de Waddenzee uit balans. In de eerste plaats zijn de concentraties opgeloste nutriënten te hoog als gevolg van de hoge concentraties nutriënten in het zoete water dat de Waddenzee instroomt. Daarnaast wordt de instroom van nutriënten in de meeste kombergingen gehinderd als gevolg van het periodiek spuien, de afname van de zoetwaterflux en het veelal ontbreken van de volledige/geleidelijke brakke overgangen.

Door de afsluiting van de Zuiderzee en Lauwerszee en de daarmee samenhangende afname van areaal in de Waddenzee, is naast het areaal komberging, ook het kwelderareaal afgenomen. Hierdoor worden er minder voedingsstoffen in de randen van het wad opgeslagen. Ook is er door een drastische afname van het areaal zeegras minder sprake van opslag van voedingsstoffen in zeegrasvelden.

Door menselijk handelen waaronder verschillende vormen van bodemberoering is de Waddenzee op bepaalde plekken troebeler geworden. Daar waar menselijk handelen de lichtinval beperkt kan dit leiden tot een afname van de primaire productie. Dit speelt met name in de Eems-Dollard.

Waddenzee als systeem met landschappelijke kernkwaliteiten

Boven water kan geluid veroorzaakt door menselijke activiteiten een negatieve invloed hebben op vogels en zeehonden. Ook mariene soorten zoals vissen, zeehonden en bruinvissen nemen onder water geluiden waar en gebruiken het bij hun dagelijkse activiteiten zoals het vinden van voedsel en soortgenoten. Afhankelijk van de intensiteit kunnen de effecten van geluidsvervuiling variëren van gehoorschade tot beïnvloeding van het gedrag met op langere termijn zelfs effecten op de populatie. Verstoring van de stilte is vooral te wijten aan het voorkomen van snelle vaartuigen zoals watertaxi's, defensieactiviteiten en vliegbewegingen van en naar de eilanden en de Noordzee.

Veel dieren en planten zijn afhankelijk van bioritmen, die bepaald worden door externe fluctuaties zoals getij, springtij, de seizoenen, maar ook de dag- en nachtcyclus. Kunstmatige verlichting verstoort dit belangrijke ritme waardoor planten en dieren zich anders gedragen dan van nature. Het Waddengebied behoort tot één van de meest donkere gebieden in Nederland en is er veel aandacht voor het versterken van de duisternis. Echter is er nog steeds wel sprake van verstoring van de duisternis door permanente verlichting bij o.a. veerdammen, havenhoofden, industriële clusters, kassencomplexen en windmolens.

Rust is te definiëren als het ontbreken van verstoringen. Verstoring kan met het oog zichtbare (stoppen met foerageren of vluchten) en met het oog onzichtbare effecten (verhoogde hartslag, veranderende hormoonspiegels door stress of het in de toekomst vermijden van rust- of foerageergebieden) hebben. Verstoring van rust kan leiden tot te weinig voedselopname zoals bij vogels. Herhaalde verstoring kan mogelijk sturend zijn voor het lokaal voortbestaan van een soort omdat soorten bepaalde plekken gaan mijden. Verstoring van rust in de Waddenzee door de mens gebeurt vooral door recreatie zoals wadlooptochten, visserij en mobiliteit (vlieg- en vaarbewegingen en mogelijk een belangrijk aandeel door snelvaren) en de cumulatie hiervan.

De Waddenzee is weids en open en daarmee één van de weinige gebieden in Nederland die zich kenmerkt door een voor Nederlandse begrippen 'openheid' van formaat. Ongestoorde ruimte geeft dieren de mogelijkheid om over grote afstanden rond te kunnen kijken, zonder hinder van obstakels te migreren en eventuele gevaren op tijd op te merken. Vanaf de Waddenzee bezien is de openheid het meest aangetast door windmolens en bebouwing.

Waddenzee als leefgebied voor biobouwers en biobrekers

Zeegras, schelpdierbanken, kokerwormen, en pionier kweldervegetatie behoren in de Waddenzee tot de groep van biobouwers. Deze groep van structuurbouwende organismen zijn door hun ecologische functies belangrijk voor de biodiversiteit van de Waddenzee. Ze bieden vestigingssubstraat, schuilmogelijkheden, voortplantingshabitat en foerageermogelijkheden voor verschillende soorten. Biobouwers kunnen ook de lokale milieuomstandigheden beïnvloeden door bijvoorbeeld het sediment te stabiliseren, de waterstroming af te remmen of de waterkwaliteit te verbeteren. Biobouwers zijn daarom uiterst belangrijk voor een gezond en veerkrachtig Waddensysteem.

Een decennia geleden waren structuren gevormd door biobouwers overal in de Waddenzee vertegenwoordigd. Tegenwoordig zijn alleen schelpdierbanken van mosselen en/of oesters, schelpkokerwormriffen, litoraal zeegras en pionier kwelders (in beperkte mate) aanwezig. Dit heeft verschillende oorzaken; eutrofiëring, vertroebeling en opslibbing, (fysieke) verstoring van de zeebodem, te kleine en daarmee onzelfredzame populaties, beperking van de natuurlijke ontwikkeling van pionierskwelders en verzilting van de Waddenzee.

Biobrekers zorgen voor omwoeling van de bodem zodat deze gevoeliger wordt voor erosie en sedimenttransport. Vaak zijn biobrekers opportunistische soorten met een grote voortplantingssnelheid. Ze zijn beter aangepast aan wisselende omstandigheden, die stressvolle gebieden gemakkelijk kunnen bevolken. Doordat er op een aantal plaatsen bodemverstoring plaats vindt wordt vermoedelijk hun areaal kunstmatig vergroot.

Waddenzee als leefgebied voor vogels

De Waddenzee is een belangrijke locatie voor vogels, waaronder trekvogels. Zij kunnen hier tijdens hun trektocht (flyway) bijtanken. Trekvogels kunnen worden ingedeeld op het type voedsel dat ze eten. Trends van planteneters zijn op lange termijn stabiel, maar laten op korte termijn een toename zien. De omnivoren, carnivoren (roofvogels), schelpdiereters en viseters laten op lange termijn een matige afname zien. Op korte termijn zijn de trends voor deze groepen respectievelijk onzeker en stabiel. Wormeneters en vogels die op andere voedselbronnen foerageren (overige ongewervelden) vertonen beide een stabiele trend over de hele periode.

De Waddenzee is ook een belangrijk gebied voor de voortplanting en tijdens de rui. Vogels broeden op de kwelders, op de stranden, in de duinen, polders of weidevelden. Zowel op lange als op korte termijn laat het merendeel van de broedvogels een afname zien. De grootste oorzaak is het lage broedsucces door predatie en overstroming van de nesten. Andere oorzaken spelen ook mee, zoals vogelgriep en toenemende verstoring.

De grootste knelpunten zijn de afname in voedselbeschikbaarheid, een tekort aan veilige hoogwater-vluchtplaatsen, te weinig broedareaal en de kwaliteit van de leefgebieden.

Waddenzee als leefgebied voor vissen

De Waddenzee is een belangrijk leefgebied voor verschillende vissoorten. Gebaseerd op hun levenswijze kunnen vissen in de Waddenzee in verschillende visgildes ingedeeld worden. Mariene juvenielen zijn soorten die de Waddenzee als kinderkamer gebruiken en er alleen in hun eerste levensfase opgroeien. Deze groep is in de internationale Waddenzee sinds begin jaren '80 sterk afgenomen, maar de laatste decennia is de trend oplaag niveau gestabiliseerd. Estuariene residenten brengen hun hele levenscyclus in de Waddenzee door. Trends van deze groep verschillen per Waddenzee regio. Diadrome soorten zijn trekvisseren, die de Waddenzee als onderdeel van hun trekroute gebruiken om te migreren tussen zout en zoetwater. Ook hier zijn wisselende trends te zien, maar het algemene beeld is dat deze soorten in de Nederlandse Waddenzee afnemen of (op laag niveau) stabiliseren al zijn er wel enkele uitzonderingen (juvenile spiering, aal en noordzeehouting) Toevallige gasten en seizoensmigranten zijn kleine pelagische vissoorten die alleen soms of binnen een bepaald seizoen in de Waddenzee verblijven. Van deze groep nemen alleen sprong en sardine in aantallen toe. De totale biomassa van bodemvis laat in alle kombergingen hetzelfde patroon zien: een toename tussen 1970-1980, een piek midden in de jaren '80 en een sterke afname tot het jaar 2000 wanneer de trends zich stabiliseren.

De grootste knelpunten voor vissen zijn afname van voedselbeschikbaarheid door klimaatverandering en visserij, (bij)vangst door garnalen- en spieringvisserij, beperkte verbinding naar het achterland, mogelijk tekort aan schuilmogelijkheden, voortplantings- en opgroei-habitat en de veranderende zoetwatergradiënt onder druk van klimaatverandering.

Waddenzee als leefgebied voor zeezoogdieren

De gewone zeehond, de grijze zeehond en de bruinvis maken deel uit van grotere Noordzeepopulaties, maar komen regelmatig in de Waddenzee voor. Er zijn aanwijzingen dat bruinvissen de Waddenzee als foerageergebied gebruiken. Zeehonden foerageren voornamelijk op de Noordzee, maar ook in de Waddenzee. Zowel zeehonden als bruinvissen foerageren op vis, waarbij zeehonden een voorkeur hebben voor platvis. Zeehonden gebruiken de Waddenzee ook om op de zandbanken, eilandstaarten en wadplaten te rusten, jongen groot te brengen en te ruien.

Het aantal getelde gewone zeehonden in de trilaterale Waddenzee is sinds 1975 van een kleine 4.000 toegenomen tot een aantal van meer dan 22.000 in 2023. Zo'n 25 tot 30% van de populatie bevindt zich gedurende de ruiperiode in de Nederlandse Waddenzee. Ondanks hoge geboortecijfers, neemt het aantal gewone zeehonden sinds 2021 af. Dat betekent dat er mogelijk sterfte is onder jonge zeehonden, maar waar de sterfte optreedt en waarom is tot nu toe onbekend.

Aantallen grijze zeehonden in de trilaterale Waddenzee zijn ook gestaag toegenomen van minder dan 2.000 dieren in 2008 tot meer dan 11.500 dieren in 2024. Aantallen grijze zeehonden in de Nederlandse Waddenzee zijn de laatste vijf jaar gemiddeld met 11% toegenomen. Ook geboortecijfers laten een toename zien. In 2023 bedroeg hun aantal 7.613 dieren in de Nederlandse Waddenzee. Er bestaat nog geen gecoördineerd monitoringsprogramma voor de bruinvis in de internationale Waddenzee. Het aantal bruinvissen in de gehele Noordzee is op 339.000 geschat. De tellingen zijn sinds mid-jaren '90 stabiel.

De grootste knelpunten voor leefgebieden voor zeezoogdieren zijn een mogelijke afname in voedselbeschikbaarheid, gebrek aan onverstoord ligplaatsen voor zeehonden, een toename in onderwatergeluid, bijvangst door visserij, zwerfafval, sterfte van jonge zeehonden door een nog onbekende oorzaak en bedreiging van de open verbinding met de Noordzee en Dollard.

6 Overkoepelend streefbeeld en mogelijke maatregelen op hoofdlijnen

In dit hoofdstuk zijn het streefbeeld en de mogelijke maatregelen uitgewerkt op hoofdlijnen. Een gedetailleerde uitwerking en onderbouwing is te vinden in de hoofdstukken 7-14. In die hoofdstukken wordt per systeemkenmerk of leefgebied dieper ingegaan op de huidige situatie en de invloed van klimaatverandering waarna het streefbeeld en de bijbehorende opgaven en kansen worden beschreven. Om herhaling tegen te gaan zijn literatuurverwijzingen in dit samenvattende hoofdstuk weggelaten. Tenslotte citeert dit hoofdstuk enkele delen uit de Agenda voor het Waddengebied om de overeenkomst met dit streefbeeld te illustreren.

Streefbeeld

In 2050 is de Waddenzee robuust en veerkrachtig. Het is een

- dynamisch systeem met meer ruimte voor een natuurlijk getij met ongestoorde beweging van sediment en waterbodem, waardoor een gevarieerd stelsel van diep water, kreken, geulen, ondiep water, platen en kwelders ontstaat;
- brak systeem met een goede waterkwaliteit, waarin gedurende het jaar voldoende zoetwater instroomt voor het ontstaan van volwaardig estuariene overgangen;
- een van nature hoog productief systeem, waarin voldoende voedingsstoffen beschikbaar zijn voor de instandhouding van het voedselweb en effecten van eutrofiëring worden voorkomen;
- landschappelijk waardevol systeem, een rustig en stil gebied, met openheid en nachtelijke duisternis.

Deze systeemkenmerken schetsen de condities die nodig zijn voor leefgebieden en connectiviteit van flora en fauna, in het bijzonder voor biobouwers en biobrekers, vogels, vissen en zeezoogdieren.

Met haar veelheid aan lange en korte zoet-zout-, nat-droog- en hoog-laag-gradiënten, biedt een robuuste en veerkrachtige Waddenzee:

- voor schelpdieren en zeegras voldoende ongestoorde kwalitatief goede vestigingsplaatsen onder en boven water;
- voor vogels een grote diversiteit aan ongestoorde broedgebieden (kwelder, strand, duinen), rustgebieden (hoogwatervluchtplaatsen) en voedselrijke foerageergebieden;
- voor vissen een grote diversiteit aan kraam- en kinderkamers, schuilmogelijkheden en structurele, geleidelijke, goed-functionerende zoet-zoutovergangen;
- voor zeezoogdieren voldoende ongestoorde plaatsen om te rusten, zogen, ruien en op te groeien. Zowel zeehonden als bruinvissen kunnen voldoende voedsel vinden in de Waddenzee en de daarmee verbonden Noordzee.

Deze leefgebieden vormen samen een ecologisch en chemisch goed functionerend systeem, met een rijk, complex en robuust voedselweb. Samen houden ze een hoge productiviteit en biodiversiteit in stand, en kunnen ze anticiperen op veranderingen van buitenaf.

Hoe ziet het er dan uit?

In de Waddenzee is een sterke dynamiek met door getij en wind gedreven sedimentatie en erosieprocessen die sturend zijn bij de vorming van platen en geulen maar van kwelders en stranden. Een natuurlijk getij met een ongestoorde beweging van sediment en waterbodem leidt tot een grootschalige samenhang tussen de diverse ecotopen en de interactie met de levende natuur, waarbij zich zowel lange als korte gradiënten vormen. Er zijn, zoveel als mogelijk, zachte randen tussen water en land waar de natuurlijke processen van aangroei en afslag de boventoon voeren. De waarde van deze land-water overgang is het

grootst wanneer deze van nature ontstaat. Dit betekent dat op plekken waar sprake is van natuurlijke aanslibbing een kwelder moet kunnen ontstaan buitendijks maar dat op plekken waar langs de dijk geen sprake is van natuurlijke aanslibbing de ruimte binnendijks gezocht moet worden mits de onderliggende dynamische processen hier ook de mogelijkheid toe geven. Zonder deze processen kan men dan ook niet spreken van systeemherstel.

Daarnaast zijn er diverse grote- en kleinschalige geleidelijke zoet-zoutovergangen, zodat de Waddenzee een brak estuarien systeem blijft. Grootschalige zoet-zoutverbindingen met een geleidelijke estuariene gradiënt zorgen ervoor dat vissen van het zoete naar het zoute water kunnen migreren en andersom. En op kleine schaal kan zoetwater van de vastelands- en eilandkwelders de Waddenzee bereiken waardoor waardevolle zoet-zout gradiënten ontstaan in kwelderkreken. Wel is alertheid geboden op de verdeling van het zoete water; dat die verbindingen die er zijn ook in de toekomst, gelet op de effecten van klimaatverandering, effectief blijven.

De Waddenzee is een hoog productief systeem waar voedingsstoffen op een natuurlijke manier het systeem bereiken via de rivieren en de kusttrivier. De nutriëntcyclus is in orde; de instroom aan opgelost stikstof en fosfaat is omlaag en nutriënten worden opgeslagen in het sediment, de randen van de kwelders en in organismen, en komen weer ter beschikking aan het systeem door afslag van kwelderranden en remineralisatie. Doordat er minder bodemberoering is, is er ook minder vertroebeling; dit heeft een positief effect op de primaire productie, waardoor deze volgens natuurlijke patronen gelimiteerd wordt door licht of nutriënten. Tevens leidt dit tot herstel van soorten specifiek voor laag dynamische gebieden. Door de hoge primaire productie is er op hogere trofische niveaus een overvloed aan voedsel.

De Waddenzee heeft een grote omvang aan gevarieerde leefgebieden, ook langs de randen. Door meer rust, nachtelijke duisternis, minder geluid en openheid is de kwaliteit van de leefgebieden verbeterd. Dit geheel is de basis voor leefgebieden voor alle organismen in het voedselweb van de Waddenzee.

Wat is nodig om het streefbeeld te realiseren?

Conform het conceptuele model is de prioriteit om eerst te werken aan het op orde krijgen van de abiotische kenmerken en landschappelijke kwaliteiten. Om daarna in te zetten op het verbeteren van leefgebieden en connectiviteit. In laatste instantie kan worden gewerkt aan actief herstel van soorten. Maatregelen hebben betrekking op inrichting maar ook op beleid en beheer. Sommige inrichtingsmaatregelen versterken meerdere systeemkenmerken en leefgebieden.

De belangrijkste maatregelen om dit te realiseren, zijn (zie ook Figuur 6.1):

- Ruimte voor gradiënten bij harde randen: binnendijks ruimte creëren voor de vorming van gradiënten (zoet-zout, hoog-laag, droog-nat) en de realisatie van hoogwatervluchtplaatsen.
- Grootschalige zoet-zoutverbindingen: herstel van geleidelijke estuariene gradiënten voor trekvis en ontbrekende brakwaterhabitats bij de Afsluitdijk en het Lauwersmeer.
- Kleinschalige zoet-zoutverbindingen: langs de rest van de kust bij kleinere gemalen en sluizen en op vasteland- en eilandkwelders.
- Meer dynamiek door wind en water: op de onbewoonde eilandstaarten en –koppes en op het bestaande kwelderareaal vrije ruimte geven aan erosie en sedimentatie door onder andere verwijderen van stuif- en zomerdijken zodat de dynamiek van wind en water kan zorgen voor cyclische verjonging van duinen en kwelders die meegroeien met de zeespiegelstijging.
- Herstel van onderwaternatuur door lokaal een zetje te geven, zoals het aanplanten van zeegras en het terugbrengen van hard substraat waarop mosselen en oesters zich kunnen vestigen (hetgeen nu ook al onderdeel is van het PAGW programma).

Het is duidelijk dat veel kan worden bereikt door binnen de Waddenzee te komen tot een kwaliteitsverbetering. Er zijn echter ook knelpunten langs de randen van de Waddenzee. [Hoofdstuk 15](#) geeft een voorzet voor kwantificering. Een globale inschatting voor de binnendijkse ruimte voor gradiënten geeft een range van 3 à 4 % van het huidige areaal van de Waddenzee.

Daarnaast zijn in de gehele Waddenzee beheer- en beleidsmaatregelen gewenst, die verder in het beleidskader Natuur, via het Natura 2000 beheerplan, KRW maatregelen en via het Integrale Beheerplan kunnen worden uitgewerkt. De belangrijkste die uit de analyse voor het streefbeeld zijn gekomen zijn:

- Verminderen bodemberoering (door o.a. baggeren en visserij).
- Zonering en verminderen van menselijke activiteiten (vaarbewegingen, recreatie, defensie, industrie, lichtvervuiling, visserij, etc.) zodat verstoring van rust, stilte en duisternis verminderd.
- Spuiregime invoeren dat meer rekening houdt met de natuurlijke momenten van zoetwater afstroom, waar de ecologie baat bij heeft.
- Behoud en versterking van bestaande estuariene karakter Eems-Dollard.
- Verbeteren van de ecologische en chemische waterkwaliteit door terugdringen eutrofiëring en vertroebeling.
- Verbetering kwaliteit broedgebieden vogels door vergroten rust en verminderen predatie.
- Beperken zwerfafval en verminderen bijvangst visserij.



Figuur 6.1 Overzichtskaat met zoekgebieden voor maatregelen. Onderbouwing van deze kaart kan gevonden worden in hoofdstuk 7-14. (mogelijk is hier de grens met Duitsland niet correct weergegeven).

De analyse die in de volgende hoofdstukken wordt gegeven laat zien dat er voor de kombergingen, op basis van de opgaven en kansen, min of meer een driedeling mogelijk is die er als volgt uit ziet:

- Redelijk natuurlijke kombergingen die weinig tot geen harde randen met het vasteland hebben zoals Schild, Eilanderbalg en in mindere mate Lauwers.
- Flink verstoorde kombergingen vanwege insnoering door harde randen, vaak gekoppeld aan afsluiting van natuurlijke verbindingen met achterland, bodemberoering door baggeren en/of visserij en verstoring door menselijke activiteiten in steden, havens en industriegebieden zoals Marsdiep, Zoutkamperlaag, Borndiep en Eems-Dollard.
- Enigszins door diverse oorzaken verstoorde kombergingen te weten Eijerlandse Gat, Vlie en Pinkegat.

Voor de eerste groep kombergingen hebben inrichtingsmaatregelen geen effect, hier zijn beleids- en beheermaatregelen gewenst om de kwaliteit van deze kombergingen te behouden en te behoeden voor verslechtering en mogelijk de kwaliteit nog te versterken.

Voor de tweede groep kombergingen zijn herstellen van de gradiënten bij de harde randen (dijken) prioritair (zonder dat dat tot nog meer verlies van Waddenzeehabitat (en dan met name komberging mag leiden) en zal binnendijks ruimte moeten worden gezocht om de dynamiek weer te herstellen. Daarnaast kunnen de zoet-zoutverbindingen bij de Afsluitdijk en het Lauwersmeer hersteld worden om de swimway ruimte te geven en de nu ontbrekende overgangsgebieden met brakwaterhabitats te laten ontstaan. Aanvullend kunnen beheer- en beleidsmaatregelen het effect van de ingrepen verbeteren en het streefbeeld bereikbaarder maken.

Voor de derde groep is een selectie van inrichtingsmaatregelen gewenst in combinatie met beheer- en beleidsmaatregelen zoals verduurzamen of verminderen van menselijke activiteiten. Deze selectie kan per komberging in deze groep verschillend zijn omdat deze afhankelijk is van de mogelijkheden en noodzaak van deze ingrepen in de komberging.

Overeenkomst met de Agenda voor het Waddengebied

In “Een wandeling in 2050” uit de Agenda voor het Waddengebied 2020 (Ministerie van IenW, 2020) wordt een perspectief geschetst voor de Waddenzee in 2050. Een deel van dit mogelijke toekomstbeeld komt sterk overeen met het hier geschetste ecologische streefbeeld.

“Wat een wolkenlucht! Wat een weidsheid. De dynamiek van de Wadden is hier volop zichtbaar; de wind waait, nieuwe stukken land slibben aan, ander kalven af. De geulen en wadplaten in de Waddenzee veranderen voortdurend door de stromingen en het getij. Het leven onder water en op de Wadplaten is geen jaar hetzelfde.

Het inzicht is gegroeid dat de zee, de kust, de eilanden en het estuarium onlosmakelijk met elkaar zijn verbonden. De natuur van de Waddenzee is weer verbonden met het achterland, het IJsselmeer en de Noordzeekustzone.

Het Waddengebied is nog altijd wereldwijd van betekenis voor de natuur. De hele flyway van Afrika tot Siberië profiteert van dit gebied. De Waddenzee is er nog in 2050, robuust en veerkrachtig. De platen en kwelders hebben de zeespiegelstijging goed bij kunnen houden, dankzij de fenomenale dynamiek. We hebben daar soms een handje bij geholpen, met zandsuppleties boven de eilanden en het stimuleren van de natuurlijke aangroei van de Waddenzee.

De Waddenzee is ook nog altijd de pleisterplaats voor miljoenen vogels. Een indrukwekkend gezicht, die massaliteit. Die kan bestaan door de grote soortenrijkdom en enorme biomassa onder water en op de wadplaten. Deze is vooral te danken aan de succesvolle uitbreiding van het areaal “biobouwers”, zoals zeegras en schelpdierbanken, de kraamkamers waar jonge vis en andere dieren veilig opgroeien en het feit dat er meer rust op de bodem is gekomen. Enkele nieuwe soorten hebben hun intrede gedaan. Sommige zijn “herintreders” die na jaren afwezigheid zijn teruggekeerd, andere soorten zijn echt nieuw voor de Waddenzee en profiteren van de hogere watertemperaturen.

De stoere Waddenedijken zijn nog steeds beeldbepalend in het landschap. Soms zijn ze versterkt met beproefde methoden, zoals we dat een halve eeuw geleden ook al deden, op andere plaatsen zijn brede, rijke of zelfs dubbele dijken gebouwd. Ook die nieuwe methoden zijn natuurlijk veilig, maar ze bieden ook ruimte voor recreatie, zouttolerante landbouw, cultuur of nieuwe natuur. We bekijken de dijkzone nu veel integraler dan vroeger.”

Datzelfde geldt voor de opgave om de natuur van wereldklasse te realiseren. De Agenda voor het Waddengebied benoemt daarbij de volgende strategieën.

- Vergroten natuurlijke dynamiek middels een veerkrachtig kustzone, verbeteren en creëren van zoet-zout overgangen en ruimte maken voor natuurlijke dynamiek;
- Omstandigheden voor biobouwers en ander onderwaterhabitats verbeteren door creëren van rust op de bodem en terugbrengen van biobouwers en het realiseren van rijke dijken;
- Versterken ecologische samenhang in het Waddengebied door binnen en buitendijkse gebieden voor wadvogels en vissen in te richten en verbindingen te herstellen;
- Herstel van het Eems-Dollard estuarium middels het verminderen van de troebelheid en meer geleidelijke overgangen van land naar water en van zoet naar zout water.

Deze strategieën krijgen met dit ecologisch streefbeeld ook een invulling en op onderdelen concretisering.

Deel II

Dit deel van het rapport geeft de uitgebreide beschrijving van de systeemkenmerken en de leefgebieden met daarin uitleg over het kenmerk of leefgebied, de huidige situatie, de effecten van klimaatverandering, het streefbeeld en mogelijke maatregelen. Dit deel sluit af met een voorzet voor kwantificering van de opgave.

7 De Waddenzee als dynamisch systeem

7.1 Achtergrond

Historische ontwikkelingen

Het ontstaan van de Waddenzee wordt gekenmerkt door een hoge natuurlijke dynamiek. Met natuurlijke dynamiek wordt een complex systeem van de voortdurend veranderende water- en sedimenttransporten bedoeld, die ontstaan als gevolg van getij, wind, waterdichtheden, rivierafvoeren, en de interacties hiertussen. Deze processen zijn sterk sturend voor de huidige situatie. Op langere termijn (eeuwen tot millennia) wordt de Waddenzee sterk beïnvloed door zeespiegelstijging in combinatie met sedimentaanvoer en door diverse menselijke ingrepen zoals landaanwinningen en afsluitingen.

Tijd- en ruimteschalen zijn gekoppeld: zeegatsystemen (= het kombergingsgebied achter de eilanden met kwelders, platen en geulen, het zeegat zelf tussen de eilanden, de buitendelta zeewaarts van het zeegat en de eilandkop en -staart aan weerskanten van het zeegat) ontwikkelen zich over eeuwen. De onderdelen zoals buitendelta's en het zeegat zelf reageren in een periode van enkele eeuwen tot decennia.

De vorming van zandplaten en nevengeulen gebeurt in decennia tot jaren en op de meest kleine schaal is continu verandering aanwezig (ribbels, duinenrijen) (Oost, 1995; Stolte et al, 2023). Deze relatief kleine wijzigingen vormen uiteindelijk bij elkaar weer het landschap en bepalen als zodanig ook weer hoe de grote processen hierop inhaken. Deze interacties in tijd en ruimte spelen zich in beide richtingen af. Als een zeegatsysteem naar het oosten opschuift verplaatsen geulen, wadplaten, kwelders en duinen zich doordat ze lokaal verdwijnen en op andere plekken weer worden opgebouwd. Bij alle verandering is er sprake van een natuurlijke samenhang van kenmerkende ecotopen zoals bijvoorbeeld geulen, wadplaten, stranden, duinen en (pionier)kwelders; zij het soms in wisselende hoeveelheden door de tijd heen in een kombergingsgebied.

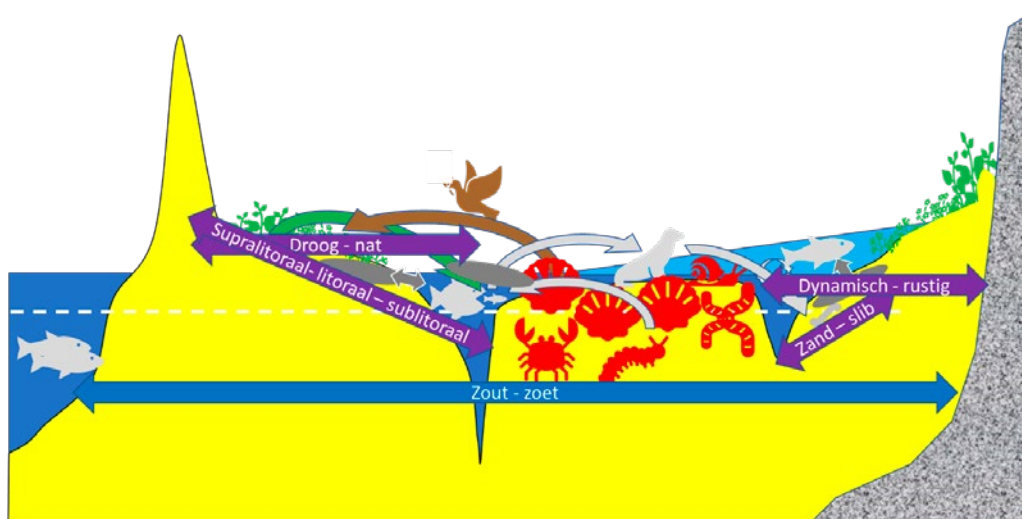
De ecotopen lopen van nature geleidelijk in elkaar over. Dit levert een grote verscheidenheid in natuurlijke gradiënten; van zoet naar zout, van land naar water, van hoog naar laag, van zandig naar slibrijk, en van droog naar nat. Gradiënten zijn vaak geleidelijk en zorgen voor een goede connectie tussen de ecotopen, waardoor soorten in staat zijn tijdens hun verschillende levensfasen te migreren naar door hen gewenste milieus. De grote hoeveelheid aan gradiënten leidt tot een grote diversiteit aan ecotopen die op hun beurt leefgebieden vormen voor een enorme diversiteit aan soorten flora en fauna.

De gradiënten en daarmee de leefgebieden zijn niet statisch. Onder invloed van wind, getij en bijvoorbeeld sedimenttransport uit de rivieren veranderen de leefgebieden constant en past het zich voortdurend aan. Doordat het Waddengebied historisch gezien voldoende ruimte had om zich vrij te ontwikkelen was het mogelijk dat de gradiënten en ecotopen op een natuurlijke manier konden meebewegen met het getij en weersomstandigheid. Dit maakte het systeem robuust en flexibel om te reageren op externe veranderingen (Mahoney & Bishop, 2017).

Het voorkomen van bepaalde soortgroepen en habitats is vaak direct gelinkt aan de morfologische eigenschappen van een gebied. Dat is bijvoorbeeld het geval bij bodembewoners, kweldervegetatie en duinvegetatie (Holzhauer et al., 2022). Snelle veranderingen in de morfologie, zoals deze door de mens zijn gegenereerd, zijn moeilijk bij te houden voor deze organismen. Zo is de Zoutkamperlaag na afsluiting van de Lauwerszee 10 meter ondieper geworden in circa 20 jaar en zijn mosselbanken die daar zaten bedolven geraakt.

Historische ingrepen

Wind en water zijn niet meer de enige processen die de natuurlijke dynamiek van de Waddenzee bepalen, ook de mens speelt al vele eeuwen een belangrijke rol. Rond het jaar 1300 was al een groot deel van de Waddenzeekust beschermd door dijken (Oost, 1995), en tot het begin van de 20^{ste} eeuw werd continu land ingewonnen door middel van kwelderwerken. Hierdoor verdwenen aanzienlijke getijbekkens zoals de Middelzee (Friesland) en Fivel (Groningen), terwijl het openbreken van nieuwe inhammen na 1530 (Dollard) ten einde kwam.



Figuur 7.1 Natuurlijk dynamiek van veranderende water en sedimenttransporten leidt tot allerlei gradiënten.

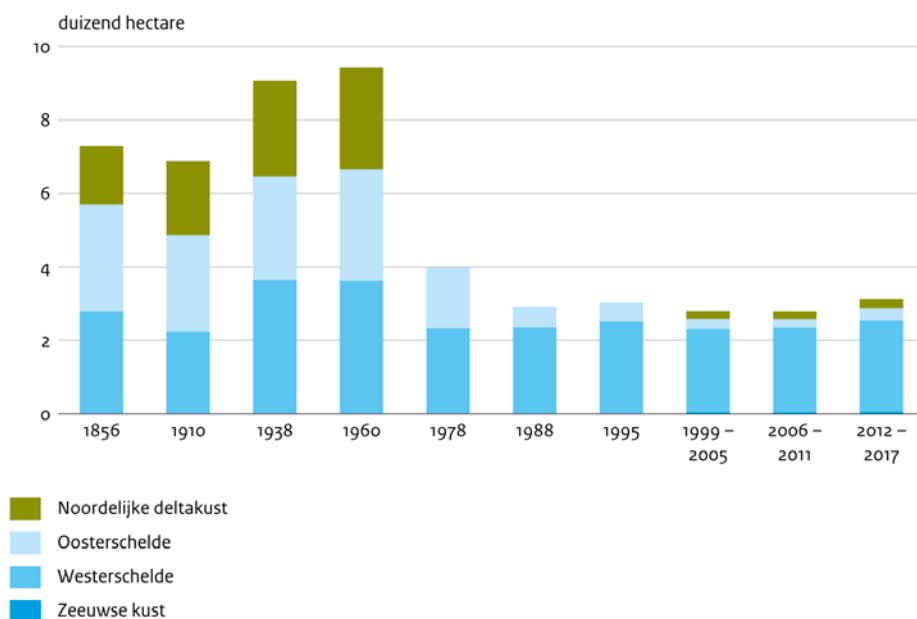
Verder zijn grote kweldergebieden langs de vastelandskust ingepolderd, waardoor veel kwelderareaal verloren is gegaan (Dijkema, 1987; Figuur 7.2). Hierdoor zijn ecotopen verkleind of verdwenen, van oorsprong geleidelijke gradiënten afgesneden of scherper geworden en is de diversiteit aan habitats afgenomen (Reise, 2005). Daarnaast is er de beïnvloeding door de toename van lokaal medegebruik, aanleg van (stuif)dijken, dammen, havens, grondgebruik achter de dijken en zomerpolders, waardoor de samenhang en connectiviteit van deze resterende habitats verder verloren is gegaan (Mahoney & Bishop, 2017).

De 20^{ste} eeuw werd gekenmerkt door grootschalige afsluitingen van getijbekkens, zoals de Zuiderzee en de Lauwerszee. Door het afsluiten van de Zuiderzee ging ongeveer 1/3 van het intergetijdengebied in de Nederlandse Waddenzee verloren (Reise, 2005). Nog steeds heeft de aanleg van de Afsluitdijk effect op de geuldynamiek en sedimentvraag in de westelijke Waddenzee (Elias et al., 2012; Programma naar Rijke Waddenzee, 2018). Door de afsluiting en inpoldering van zeearmen is de oorspronkelijke noord-zuidoriëntatie van getij en stroming in de westelijke Waddenzee in het laatste millennium verschoven naar een west-oost oriëntatie.

Op de Waddeneilanden zorgden de landaanwinningen, bedijkingen, bestortingen en dammen ervoor dat de eilanden werden vastgelegd, terwijl die van origine bewogen. Dit leidde er ook toe dat veel zeegat-systemen (deels) gefixeerd raakten op hun positie.

Door de indijking en afsluitingen aan de vastelandszijde zijn de overgangen tussen zoet en zout en land en zee veel abrupter en 'steiler geworden', waarbij de oorspronkelijke, geleidelijke overgangen vrijwel verdwenen zijn (m.u.v. de Eems-Dollard). De huidige inrichting van de kust maakt het bovendien onmogelijk voor habitats om in landwaartse richting terug te trekken als reactie op de stijging van de zeespiegel en andere dynamische processen. Ze lopen dood tegen de dijken en zullen zodoende geleidelijk kleiner worden. Dit proces staat bekend als 'coastal squeeze'.

Areaal schorren in Zuidwestelijke Delta



Bron: Data-ICT Dienst van Rijkswaterstaat

WUR/julzo
www.clo.nl/nh23004

Figuur 7.2

Oppervlakte kwelders in de Nederlandse Waddenzee sinds 1600. Belangrijkste bron: Dijkema, 1987. Figuur van <https://www.clo.nl/indicatoren/nh23004-areaal-en-ontwikkeling-van-kwelders-en-schorren-1800-2017>.

7.2 Huidige situatie

Om een beeld te schetsen van hoe de dynamische processen vandaag de dag de kombergingen van de Waddenzee vormgeven, zijn er voor het systeemkenmerk Dynamisch Systeem 3 criteria onderscheiden. Als een eerste orde benadering is ervan uitgegaan dat de primaire krachten abiotisch van aard zijn. De belangrijkste zijn samen te vatten als de hydrodynamische processen en de daaraan gerelateerde morfodynamische processen. Voor een natuurlijk functionerend systeem is er verder van uit gegaan dat dergelijke processen ook hun natuurlijke ruimte nodig hebben. De criteria kennen een sterke onderlinge afhankelijkheid, waardoor enige overlap onvermijdelijk is.

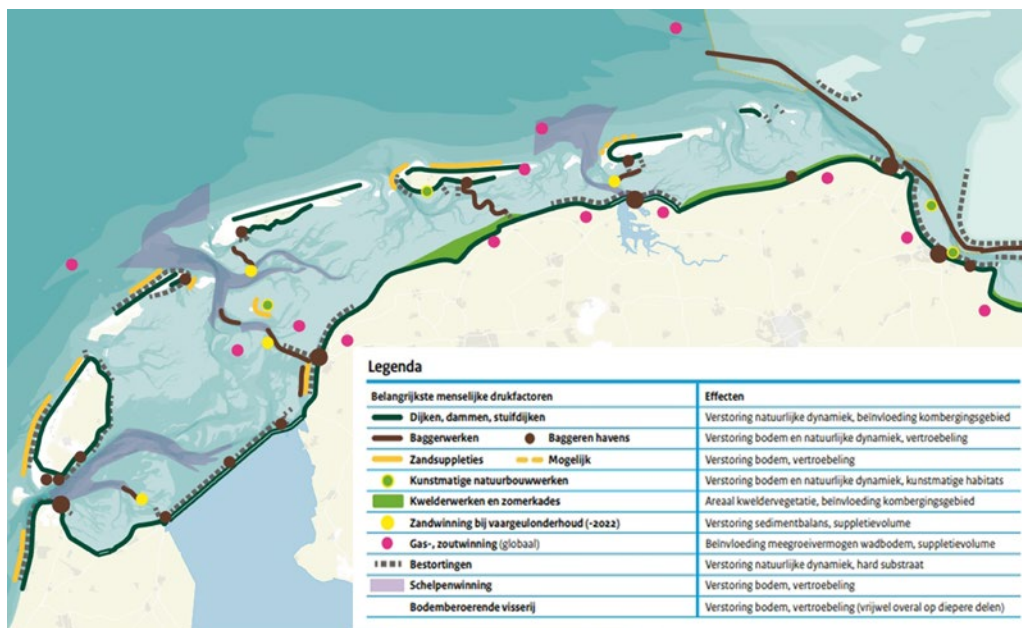
1. **Hydrodynamiek:** de dynamiek die ontstaat door de waterbeweging vooral door getij, maar ook door golven en wind-gedreven stroming;
2. **Morfodynamiek:** de bodemveranderingen die ontstaan door de interactie tussen waterbeweging en het sediment;
3. **Ruimte voor natuurlijke dynamiek:** de ruimte die nodig is voor hydro- en morfodynamiek om zich vrij te kunnen ontwikkelen in een komberging.

Uitgangspunt bij de Waddenzee als dynamisch systeem is het accepteren van de natuurlijke abiotische processen als de natuurlijke dynamiek van de Waddenzee en daar niet tegen in te werken.

Er is vooral gekeken naar de ontwikkelingen van de afgelopen 100 jaar en hoe deze de drie criteria binnen de huidige begrenzing nog steeds beïnvloeden, ten opzichte van een geïdealiseerd beeld, waarbij deze grenzen er niet zouden zijn. Verandering in morfodynamiek naar aanleiding van verandering in hydrodynamiek (bijvoorbeeld het afsluiten van zee-armen) acteert op de schaal van kombergingsniveau. Het kan decennia tot eeuwen duren voordat er een nieuw morfodynamisch evenwicht kan worden bereikt. De effecten van overig menselijk medegebruik zijn vaker lokaal van invloed en van kortere duur.

7.2.1 Hydrodynamiek

Het getij is dé drijvende kracht van veranderingen in de Waddenzee. 24 uur per dag, 7 dagen per week, stroomt water in en uit de Waddenzee en wordt daarmee zand en slib verplaatst. Het gaat om enorme hoeveelheden water en sediment die dagelijks in beweging zijn. Bovenop het effect van getij, levert wind een belangrijke aanvullende bijdrage, omdat windgedreven stromingen het sediment (en dan vooral slib) voor een langere tijd een bepaalde richting op verplaatst.



Figuur 7.3 Ligging van de belangrijkste drukfactoren (Bron: De Leeuw, 2020).

De hydrodynamiek wordt beperkt door de insnoeringen. De belangrijkste drukfactoren zijn weergegeven in Figuur 7.3 (De Leeuw 2020). Het betreft bedijkingen, geleidedammen, onderzeese steenbestorting en havens hetgeen vooral een rol speelt in het Marsdiep. Ook het Vlie kent een sterke insnoering dankzij de havens van Harlingen en Terschelling al zijn er ook nog wel zones waar de natuurlijke dynamiek vrij spel heeft, voornamelijk bij de eilanden. In het Borndiep zijn de zomerdijk in de half-natuurlijke kwelders van Noord-Fryslân Bûtendyks en de onderzeese bestorting langs de westkop van Ameland ook obstakels voor verdere dynamiek. In de Zoutkamperlaag is een belangrijke estuariene gradiënt verloren door het afsluiten van de Lauwerszee, gecombineerd met vele bestortingen en de havens. Ook langs de vastelandskust van de Lauwers zijn in de afgelopen eeuwen veel indijkingen geweest. Tevens is het estuarium van de Eems-Dollard ingeperkt, waardoor veel natuurwaarde in kleine overgangen verloren is gegaan.

Op de eilanden heeft de aanleg van stuifdijken ter vastlegging van de kustzone geleid tot een verlies aan dynamiek. Slufters, washovers en migrerende duinen zijn grotendeels verdwenen, terwijl deze juist zorgden voor water- en sedimenttransport vanaf de Noordzee over het eiland richting Waddenzee. Het gebrek aan dynamiek leidde tot doorgaande successie waarbij het mozaïek landschap van uiteenlopende duin en kwelderhabitats kleiner werd (De Leeuw et al., 2008).

Al deze harde randen, met steile en verbroken gradiënten tussen de diverse habitats, beperken sterk de natuurlijke dynamische processen zoals aangroei, afslag en connectiviteit met het zoetwatersysteem.

In de huidige Waddenzee is overal nog steeds getijdendynamiek aanwezig, maar deze is in een deel van de kombergingen de afgelopen honderd jaar dus wel flink beïnvloed. Door de aanleg van de Afsluitdijk (1932) is het getijdeverschil toegenomen en daarmee ook het getijddevolume van het Marsdiep, het Eijerlandse Gat en het Vlie (van der Hoeven, 1982; Oost, 2003). Door de afsluiting van het Lauwersmeer (1969) is het getijddevolume met 35% afgenomen in de Zoutkamperlaag (Oost, 1995). In het eerste decennium na de afsluiting was de hoofdgeul nog zeer diep en breed en afgestemd op het oorspronkelijk

getij. Daardoor ondervond de vloedgolf weinig weerstand en kon het getij sneller doorstromen richting wantij, die zich daardoor oostwaarts verplaatste. Naarmate de hoofdgeul werd opgevuld nam dit doorstroom effect af en migreerde het wantij weer in westwaartse richting.

In de Eems-Dollard speelt naast de historische insnoering van de komberging ook de verdieping van de vaargeul richting Emden ter hoogte van Gaatje Bocht en het Emder Vaarwater en de verdieping van de Eems rivier. Hierdoor ondervindt de getijgolf minder weerstand, waardoor de getijamplitude toeneemt en de getijgolf verder doordringt, en van vorm verandert (Grasmeijer en Pasmans, 2013). Dit geeft slib meer tijd om tot bezinking te komen (Vroom et al., 2012). Vloeibare slib-afzettingen in de Eemsrivier laten de weerstand van de bodem verder afnemen, waardoor de getijdedoordringing verder versterkt (Grasmeijer & Pasmans, 2013).

Voor het Borndiep, Pinkegat, Eilanderbalg en Lauwers geldt dat het getijprisma niet veel meer is veranderd na de historische insnoering van de Waddenzee; hier is een nieuw evenwicht bereikt, hoewel de landaanwinningen van de vastelandskwelders hier nog wel enige invloed op uitoefenen. Voor de komberging Schild geldt dat er tegenwoordig geen antropogene invloeden zijn die het getij beïnvloeden.

De geulsystemen en bijbehorende gradiënten passen zich naar aanleiding van de grote antropogene ingrepen dus nog steeds aan.

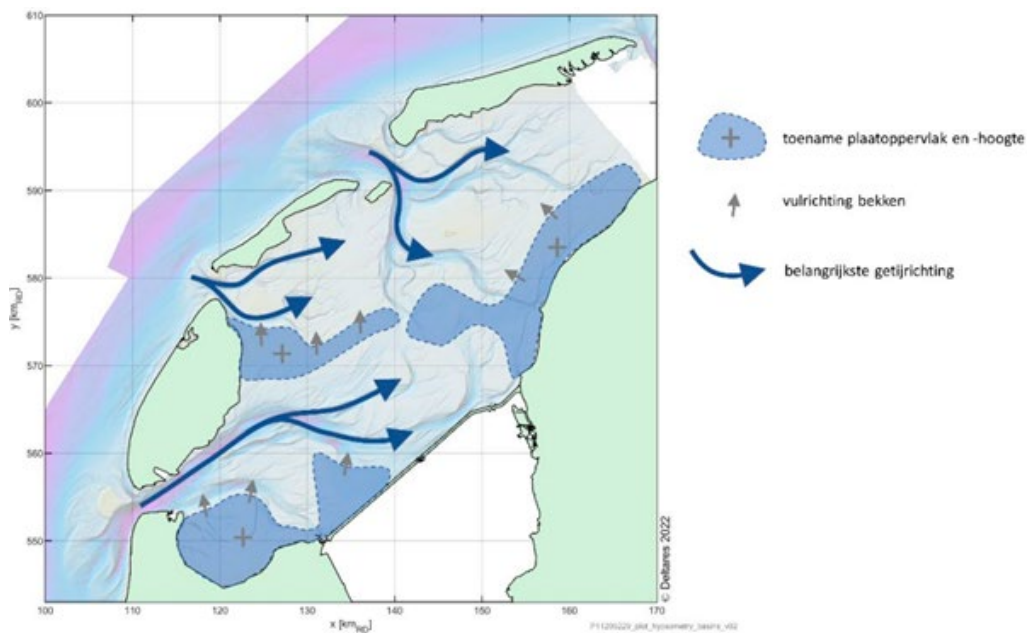
7.2.2 Morfodynamiek

Morfodynamiek is de ontwikkeling van de sedimentaire bodemvormen als gevolg van erosie, sedimenttransport en sedimentatie. Bij een volledig natuurlijke morfodynamiek verplaatst sediment zich ongehinderd door menselijke ingrepen, waardoor landschapsvormende processen als erosie en sedimentatie onbegrensd kunnen plaatsvinden. Aangroei, afslag en connectiviteit met het zoetwatersysteem zijn in dat geval ook niet begrensd. De huidige werkelijkheid is anders.

Grootschalige insnoering

De morfodynamiek wordt beïnvloed door de veranderde hydrodynamiek als gevolg van insnoeringsmaatregelen van de Waddenzee en op de Waddeneilanden (zie Figuur 7.3). Het insnoeren van de Waddenzee door de vele (stuif)dijken hebben een groot ruimtebeslag gelegd op de kombergingen, waardoor het areaal aan kwelders, baaien en brakke overgangen sterk is teruggelopen. Ook heeft de insnoering geleid tot sterke netto sedimentatie.

In het Marsdiep, Vlie en Eijerlandse Gat beïnvloedt de afsluiting van de Zuiderzee met de Afsluitdijk de morfodynamiek nog steeds (Colina Alonso, 2024). Door de grootschaligheid van de ingreep in het getijsysteem is de morfologie zich nog steeds aan het aanpassen. Een duidelijke verandering van een noord-zuid georiënteerd systeem naar een meer west-oost lopend systeem heeft zich voltrokken (Figuur 7.4). De geulen die de toegenomen getijdevolumes moesten vervoeren zijn in dimensies toegenomen. De geulen richting Amstelmeer en IJsselmeer vervoeren vrijwel geen getijvolume meer en nemen in dimensies af. Op verschillende plekken wordt een toename van de plaatoppervlakte en – hoogte waargenomen (Grasmeijer et al, 2022); vooral tegen de vastelandskusten treedt verlanding op (Balgzand, kust oostelijk van Harlingen). De versnelde sedimentatie leidde tot een abrupte verandering van leefgebieden; zo kunnen deze effecten een bijdrage hebben geleverd aan het verdwijnen van ondergedoken zee gras in de Westelijke Waddenzee (Smits et al, 2024).



Figuur 7.4 Schets ontwikkeling Westelijke Waddenzee (Bron: Grasmeyer et al, 2022).

In de Zoutkamperlaag is de uitwisseling met de vroegere vloedkom van de Lauwerszee door de Lauwersmeerdijk beëindigd, wat sterk van invloed is op sedimentstromen in het gebied (Flow Productions & Deltares, 2021). Zoals hiervoor beschreven migreerde het wantij en zorgde een snelle sedimentatie voor opvulling van de oorspronkelijke geulen en leverde zowel zand als slib op het wantij op (Meijers et al, 2024).

Bij de Eems-Dollard vindt er veel import van slib plaats terwijl deze nauwelijks wordt afgevangen met grote gevolgen voor de ecologie. De veranderingen in de bodemligging die dit slib aantrekken worden onder andere veroorzaakt door de historische insnoering en door baggeren (zie ook volgende paragraaf) voor het verdiepen van de vaargeul (Vroom et al, 2024).

In de overgebleven kombergingen hebben binnen het huidige ruimtebeslag de sedimentstromen de afgelopen 100 jaar deels een nieuw evenwicht bereikt en is de invloed relatief beperkt.

Menselijke activiteiten

Er zijn veel menselijke activiteiten (zandsuppleties, zandwinning, schelpenwinning, bodemberoerende visserij, baggeren en mijnbouw) op de Waddenzee die de morfologie beïnvloeden. Echter de effecten zijn in vergelijking tot de insnoering vele male kleiner en meestal lokaal.

De situatie in de Eems-Dollard is wel specifiek. De Eems-Dollard importeert veel slib. Sinds het begin van de 20^{ste} eeuw tot enige decennia geleden werd $1-3 \cdot 10^6$ m³/jaar slib onttrokken waardoor voortdurend veel slib kon bezinken. De laatste decennia lopen de slibconcentraties in het water op, met grote gevolgen voor de ecologie. Deze toename van slibconcentratie wordt deels geweten aan het baggeren van de vaargeul (en havens) en het verspreiden van bagger. De andere reden is dat de slibonttrekking gestopt is, terwijl door gestage indijking er onvoldoende ruimte is voor het slib om tot bezinking te komen (Vroom et al, 2024).

7.2.3 Ruimte voor natuurlijke dynamiek

Het gaat hier om de mate waarin de dynamiek nog vrij de fysieke ruimte heeft de komberging vorm te geven, in verhouding tot een niet door mensen beïnvloed systeem. Het vastleggen van water- of sedimentbeweging tellen hier niet mee, omdat deze onder respectievelijk de hydrodynamiek of morfodynamiek vallen. Ruimte voor de natuurlijke dynamiek wordt vooral beperkt door bedijkingen, sluisen, strekdammen, stuifdijken en havens wat leidt tot doorgaande coastal squeeze. Geleidelijke overgangen en wisselwerking tussen zee, vasteland, baaien en estuaria zijn zo abrupter, steiler en korter geworden, met het verlies van habitat en connectiviteit tot gevolg. Het areaal aan kwelders, baaien en brakke overgangen is door dit alles zeer sterk teruggelopen. Ingrepen uit het verre verleden hebben nog steeds gevolgen.

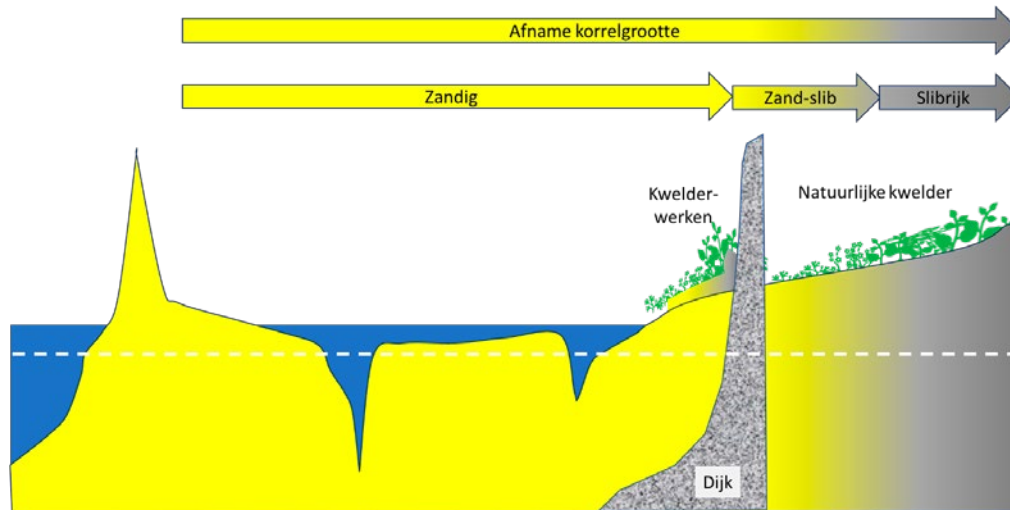
Een belangrijke factor daarbij zijn de inpolderingen door bedijking zoals getoond in Figuur 7.5. De meeste kombergingen hebben in meer of mindere mate met zowel huidige (donkergroen) als historische (olijf) bedijkingen te maken. Daarbij zijn de brede kwelderzones die tot in de 18^e eeuw aanwezig waren grotendeels verdwenen. De inperking leidde tot veel minder diepe kwelders, met veel minder goed ontwikkelde overgangen van zandig naar slibrijk (Figuur 7.6; Flemming & Nyandwi, 1994). De oorspronkelijke kwelders legden ook enorme hoeveelheden nutriënten vast met de opslibbing, terwijl kwelderafslag op termijn er weer voor zorgde dat organisch materiaal weer beschikbaar kwam. Een belangrijke nutriënten-motor is daarmee sterk gereduceerd (zie ook hoofdstuk 9).



Figuur 7.5 Dijkenkaart RCE (2021).

Door de inpolderingen werd de hydrodynamische gradiënt, waarin de stromingen en golfwerking hun energie moesten verliezen tussen zeegat en land, steeds korter. Deze steile energie-gradiënt verhindert dat de fijnkorrelige sedimenten nog gemakkelijk tot bezinking komen. Op veel plaatsen kunnen zich dan ook geen slibvlakten of kwelders vormen. Lokaal zorgen landaanwinningswerken buitendijks ervoor dat er toch nog slib kan bezinken. Dat gebeurt in zo'n hoog tempo dat de kwelders verlanden en de energie-gradiënt nog steiler wordt.

Al deze veranderingen hebben tot gevolg dat de ruimte voor natuurlijke dynamiek vooral beperkt wordt langs de randen van de kombergingsgebieden op de eilanden en, nog sterker, langs de vastelandskust (zie Figuur 7.6).



Figuur 7.6 Schematisch overzicht van coastal squeeze met links de Noordzee en rechts de kwelders. De oorspronkelijke natuurlijke kwelder kende lange gradiënten met uitgebreide overgangen van zandig naar slibrijk. Na indijking werd via kwelderwerken een kleinere kwelder gerealiseerd met een steilere energie-gradiënt en veel minder ontwikkelde geleidelijke overgangen.

Een eenvoudige manier om dat inzichtelijk te krijgen is door de hydrodynamische energie voor te stellen als een golf die via het zeegat naar binnen dringt en dan langzaam vanuit de geulen, via de platen en kwelders haar energie verliest en 'uitdooft'. Omdat op veel plaatsen allerlei ingrepen, maar met name dijken, vrij sterk zeewaarts zijn aangelegd, snijden zij een deel van de 'uitdovingszone' af, waardoor volledige en geleidelijke uitdoving niet langer mogelijk is. Als gevolg ervan ontbreken tegenwoordig ook grotendeels de zeer slibrijke zones langs de bedijkte kusten, met uitzondering van de Dollard en het gebied oostelijk van Harlingen; Flemming & Nyandwi, 1994). Daarnaast kunnen grootschalige events als stormvloed niet meer huishouden in deze overgangszone, waardoor zandige kwelderwallen en diepe landinwaarts strekkende kreken zich vrijwel niet meer kunnen vormen.

Op de eilanden is er wel regelmatig sprake van diepe gradiënten op de eilandkoppen en -staarten, maar nooit meer in de bewoonde middendelen. De stuifdijken vangen al het zand in, terwijl het slib uit de Waddenzee de stuifdijk niet kan bereiken, omdat deze zeer sterk Noordzeewaarts zijn aangelegd. Daardoor ontstaat tussen de invloedzone van de Waddenzee en de stuifdijken een zone waar dynamiek en sedimentatie ontbreken. Ecologische successie van de achterliggende habitats naar struweel, kwelders met hoog gras en bos ten koste van pioniershabitat en bijbehorende soorten is het gevolg, terwijl dit op een natuurlijk eiland met elkaar in balans is (De Leeuw, 2008).

Samenvattend zijn de belangrijkste knelpunten voor dit systeemkenmerk

- de insnoering door dijken, dammen en stuifdijken;
- de afname van areaal waar de natuurlijke dynamiek zich kan voltrekken.

7.3 Invloed van klimaatverandering

De Waddenzee heeft een belangrijke functie als klimaatbuffer: de Waddenzee beschermt het achterland. Deze functie wordt hier verder niet behandeld, maar wel kort de verwachte effecten van klimaatverandering op het dynamische systeem.

Zeespiegelstijging

Zoals beschreven in [hoofdstuk 3](#) kan de Waddenzee tot 2050 de zeespiegelstijging naar verwachting op veel plaatsen nog bijhouden door natuurlijke import van sediment. Er worden daarom voor 2050 geen grote veranderingen in de morfologie/abiotiek van het systeem (als geheel) ten gevolge van zeespiegelstijging verwacht. Eerder is er nog sprake van na-ijleffecten van grote ingrepen waardoor er verlanding optreedt. Wel moet er langs de Noordzeekust rekening worden gehouden met een toenemende erosie. Deze wordt in principe met zandsuppleties opgevangen waardoor leefgebieden in stand gehouden worden.

Indien de wadplaten de zeespiegelstijging niet meer kunnen bijhouden, wat na 2050 in delen van de Waddenzee het geval kan zijn, is de verwachting dat dit 'verdrinkingsproces' eerder merkbaar wordt in grote kombergingsgebieden dan in de kleinere en dat het sterk afhankelijk is van de snelheid van zeespiegelstijging (Huismans et al., 2022). Sommige studies wijzen erop dat veel van het zand dan dicht bij het zeegat wordt afgezet en daar een binnendelta van wadplaten zal vormen. Dichtbij land zou nog steeds slib tot bezinking kunnen komen, waarbij slibrijke platen ontstaan. Daarbij zou het gebied tussen de binnendelta en de slibrijke platen vermoedelijk het eerste 'verdrinken'. Door dit proces zal ook het getijdvolume van de kombergingsystemen toenemen wat op haar beurt weer leidt tot uitruiming van de getijdegeulen die het getijwater moeten vervoeren naar die delen (Oost et al., 2017). Door versnelde zeespiegelstijging zal de morfodynamiek van de Waddenzee, en daarmee ook de hydrodynamiek, zich aanpassen. In beginsel hoeft dit geen probleem te zijn voor de ecologie. Als echter grote delen van leefgebieden zodanig veranderen dat ze hun huidige ecologische functie niet meer kunnen vervullen, dan kan dit tot knelpunten leiden. Tot 2050 wordt dit niet verwacht omdat de zeespiegelstijging nog beperkt is.

Temperatuurstijging en stormvloed

Temperatuurstijgingen van het zeewater brengen een vergrote kans op storm en springtij met zich mee, welke van invloed kunnen zijn op lokale morfologische processen en de natuurlijke dynamiek bijvoorbeeld in het geval van een overstroming. De sterkte, de duur en richting van de wind bepalen of er een stormvloed kan ontstaan. Voor Nederland is stormachtige noordwestenwind het gevaarlijkst (KNMI, 2023). Het KNMI (2023) verwacht dat toekomstige stormen het water niet hoger boven de gemiddelde zeespiegel zullen opstuwen dan nu het geval is. Uiteraard zullen stormvloed die een bepaalde hoogte bereiken frequenter gaan optreden. Bijvoorbeeld, een absolute stormwaterstand van NAP+3m zal in 2050 vaker bereikt worden dan in 2000, vanwege een hogere gemiddelde zeespiegel. Het betekent ook dat een stormvloed die nu eens in de 100 jaar optreedt bij 1 m waterstandstijging dan gemiddeld elk jaar optreedt. Dit kan een risico zijn voor broedvogels wanneer broedgebied onvoldoende meegroeit en vaker overstroomt. Dan kan er ook aanleiding ontstaan om meer alternatief (binnendijks) broedgebied te realiseren, of om in te grijpen in het gebied zelf. Tot 2050 is het niet de verwachting dat dit veel zal gebeuren. Richting 2100 kan dit wel meer gaan voorkomen, uiteraard afhankelijk van de snelheid van zeespiegelstijging. Het is zaak om daarom nu na te denken over een handelingsperspectief.

7.4 Streefbeeld

Het streefbeeld is een zo volledig mogelijk natuurlijk waddensysteem, met een ongestoorde beweging van water en sediment dat in een natuurlijk dynamisch evenwicht plaatsvindt. Op de diverse ruimteschalen is er sprake van een goed ontwikkelde dynamiek waar getij- en wind-gedreven sedimentatie- en erosieprocessen vrij spel hebben. Er is sprake van grootschalige samenhang tussen de diverse ecotopen op zowel Waddenzee als kombergingsgebiedsniveau. Er is genoeg ruimte voor de ontwikkeling van gradiënten van nat naar droog, zoet naar zout, diep naar ondiep die zo min mogelijk door menselijk handelen worden beïnvloed.

Dit streefbeeld vraagt om grote gebieden langs de randen van de Waddenzee die weer zijn teruggebracht naar een natuurlijkere staat. Langs het vasteland gaat het om baaien, estuariene overgangen en extra areaal. Dit gaat hiermee niet ten koste van kwaliteitsverbetering en ruimte van het buitendijkse gebied. Op de eilanden gaat het om het weer mogelijk maken van zandtransporten via wind en water vanaf de Noordzee over met name de eilandkoppen en -staarten.

7.5 Mogelijke maatregelen

Ruimte voor gradiënten bij harde randen

In gebieden waar in het verleden veel insnoering heeft plaatsgevonden, zal ruimte gezocht moeten worden om zo een meer volledige en natuurlijkere dynamiek te bewerkstelligen. Door geleidelijke overgangen terug te brengen, ontstaan meer gradiënten en habitatdiversiteit. Het zal hier met name gaan om gradiënten in slibgehalte, hoogteligging, dynamisch karakter en brakheid. Omdat deze delen van de gradiënt tegenwoordig grotendeels ontbreken is het niet precies te zeggen hoe zij zich zullen ontwikkelen. Verwacht mag worden dat de meer dynamische delen sterk zullen lijken op lage tot en met hoge kwelders met waarschijnlijk een vlechtwerk van kreken en eilanden. De eilanden zullen broed- en rustgebied zijn voor veel soorten wadvogels. In het minder dynamische deel zullen zich naar verwachting deels hogere kwelders ontwikkelen en, daar waar de sedimentaanvoer beperkt is, secundaire pioniersvegetaties of lage kwelders. De hoge kwelders zullen waar de condities zoet genoeg zijn ook te maken krijgen met struweelvorming en/of rietgroei. Dergelijke gebieden worden gebruikt door weidevogels, riet-georiënteerde vogels en roofvogels. Waar kreken aanwezig zijn moet ook rekening worden gehouden met veel begrazing van plantendetritus door kreeftachtigen die op hun beurt weer gegeten worden door vissen, welke zelf weer voer kunnen zijn voor vogels zoals de lepelaar of de aalscholver. Daarnaast zullen lokale brakke omstandigheden ook onderdak bieden aan honderden soorten van o.a. insecten, spinnen en schelpdieren.

Het zoekgebied ligt primair binnendijs om te voorkomen dat de Waddenzee niet verder ingesnoerd wordt. Door middel van dubbele dijken kan bijvoorbeeld de morfologische motor ingezet worden om lokaal nieuw areaal voor de Waddenzee aan te leggen en ruimte voor meer gradiënten te creëren die niet ten koste gaan van al bestaande wadplaten. De gebieden die het meest in aanmerking komen zijn die gebieden die vlak onder gemiddeld hoogwater liggen, die niet of vrijwel niet bewoond zijn, een matige landbouwkwaliteit hebben, een hoog verziltingsrisico of ingesloten liggen tussen de zeedijk en een slaperdijk.

Bij het Lauwersmeer zijn mogelijkheden voor het creëren van een binnendijs overgangsgebied waar de dynamiek en gradiënten weer zoveel mogelijk de ruimte krijgen. In het ideaal beeld zou dit een open doorgang worden. Momenteel wordt verkend hoe binnen de waterveiligheidsvoorwaarden een zoet-zout overgang kan worden ingericht.

Een andere mogelijkheid betreft het kartelen van de kust bij gladde dijktrajecten. Oorspronkelijk kende de Waddenzee veel minder strakke rechte begrenzingen, waardoor er inhammen en baaien van allerlei maten aanwezig waren, waarin de condities veel luwer waren dan in de rest van de Waddenzee. Deze inhammen en baaien ontwikkelen zich hydrodynamisch en sedimentair gezien anders dan de meer geëxponeerde wadgebieden. Door de lange gradiënten van zand tot en met slib en van laag tot en met hoog zijn het ecologische hotspots van de Waddenzee. Een deel van deze inhammen en baaien zijn nog aanwezig. Voorbeelden zijn de Mokbaai, het Balgzand, Fryslan Bûtendyks, Paessumerlannen, Vierhuizergat, Polder Wassenaar, Bocht bij Kroon's Polders Vlieland en diverse kartels op de zuidkust van Terschelling, Ameland en Schiermonnikoog. Via het 'kartelen van de kust', door dijken afwisselend vooruit en achteruit te leggen kunnen luwe inhammen ontstaan waar slib gemakkelijker bezinkt, en er zich kwelders, kreken en slenken kunnen vormen. Omdat de Nederlandse Waddenzee een overmaat aan slib aangeboden krijgt liggen hier goede kansen, waarbij mogelijk ook gewerkt kan worden met wisselpolders die na ophoging worden ingedijkt, terwijl andere polders weer worden uitgedijkt.

Meer dynamiek door wind en water

Er zijn kansen voor het creëren van meer dynamiek op onbewoonde eilandstaarten en -koppen en bestaand kwelderareaal. Door dynamiseren van de duinen via sluffers, washovers en verstuiving, bijvoorbeeld middels het aftoppen van stuifdijken, kan er weer dynamiek in de achterliggende duin en kweldergebieden ontstaan. Kalkrijk zand kan zo successie tegengaan. Naast dit ecologisch positieve effect kan dynamisering, wanneer grootschalig toegepast, er ook voor zorgen dat het achterliggende eiland meegroeit met de zeespiegelstijging. Ook suppleties kunnen ingezet worden om de beweging van de kustlijn en daarmee de dynamiek te vergroten. Hier zal in de komende decennia kennis en kennis dienen te worden opgebouwd, voordat zeespiegelstijging een majeur probleem wordt in het supralitorale bereik.

Ook de buitendijkse kwelders van de vastelandskust kunnen worden ingezet om meer natuurlijke dynamische processen de ruimte te bieden door het openstellen van de zomerpolders in het Borndiep of een meer natuurlijke inrichting van kwelders bij het Borndiep, de Lauwers en de Dollard. De zomerpolders kunnen langzaam omgewerkt worden naar dynamische kweldergebieden, deels naar voorbeeld van beheermaatregelen in Nedersaksen. Nieuwe broedgelegenheid voor de vogels die van de zomerkwelders gebruik maakten moet dan gevonden worden op en vlak achter de dijken.

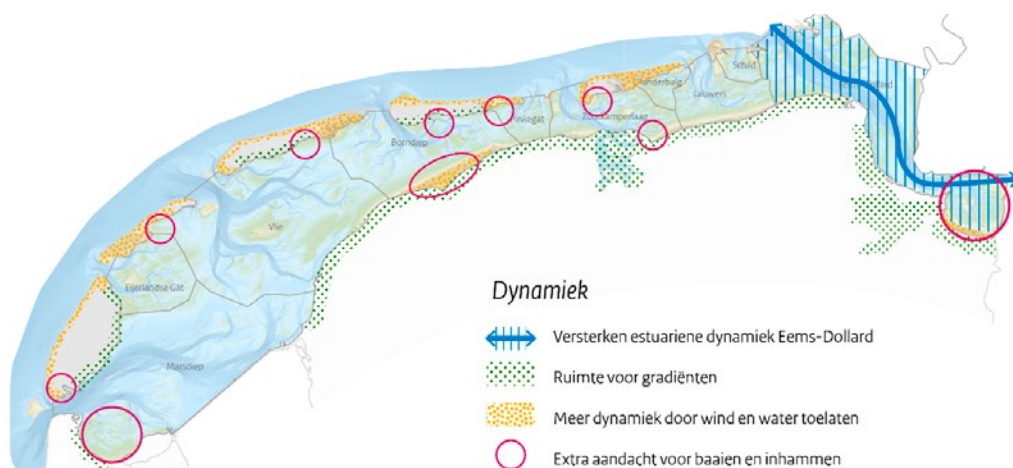
Versterken natuurlijke estuariene dynamiek Eems-Dollard met uitbreiding areaal

Voor de Eems-Dollard is het van belang dat verdere verdieping/verbreden van de vaargeulen niet plaats vindt. In het Natura 2000-Beheerplan worden twee oplossingsrichtingen gegeven om de natuurlijke dynamiek te herstellen: de omvang van het kombergingsgebied vergroten en de omvang van de vaargeulen verkleinen (Rijkswaterstaat & Royal HaskoningDHV, 2023). Daarnaast wordt er ook een onderzoek ingezet om het herstel van geleidelijke overgangen in de Eems-Dollard verder vorm te geven (Rijkswaterstaat & Royal HaskoningDHV, 2023). Daarbij kan gedacht worden aan overgangen zoals de Westerwoldse Aa en andere binnendijkse wateren. Tezamen zullen deze maatregelen de potentie van het Eems-Dollard estuarium beter benutten.

Menselijke invloed op de morfodynamiek beperken

Bovenstaande systeemingenrepen zijn extra succesvol wanneer andere menselijke activiteiten die van invloed zijn op de hydro- en morfodynamiek zoveel mogelijk beperkt worden. Het verdiepen van vaargeulen, baggerwerk, schelpenwinning, gaswinning en bodemvisserij verstoren de dynamische processen. Veelal zijn deze effecten zeer lokaal, maar vanuit het streven zo min mogelijk in te grijpen in de processen zullen deze activiteiten toch zo veel mogelijk moeten worden gereduceerd bijvoorbeeld door het anders invullen van bereikbaarheid (andere schepen, scheiden vervoersstromen).

De belangrijkste maatregelen om dit streefbeeld te bereiken zijn schematisch weergegeven in Figuur 7.7.



Figuur 7.7 Mogelijke systeemingenrepen voor realiseren streefbeeld 'Dynamisch systeem'

8 De Waddenzee als brak systeem met goede waterkwaliteit

8.1 Achtergrond

Het Waddengebied bestaat uit de barrière eilanden met daarachter de Waddenzee. De Noordzee is zout en vanuit het achterland stroomt zoet water via rivieren, beken en kwelders af naar de Waddenzee. In de ondiepe Waddenzee mengt het zoute Noordzee water met het zoete water. Doordat de Waddenzee is omsloten door de eilanden, blijft het zoete water dat er in terecht komt relatief lang hangen. Hierdoor is de Waddenzee een overgangsgebied met gradiënten van zoet naar zout. Deze gradiënten variëren sterk in tijd en ruimte door de variatie in zoetwater afvoer uit het achterland. In de KRW wordt de Waddenzee daarom ook getypeerd als een overgangswater. Het ecologisch functioneren van de Waddenzee hangt samen met deze gradiënten in zoutgehalte. Daarnaast bevatten het zoete water uit het achterland en het water van de Noordzee ook nutriënten, sediment en afvalstoffen. Deze zijn ook van invloed op het ecologisch functioneren (zie [hoofdstuk 9](#)).

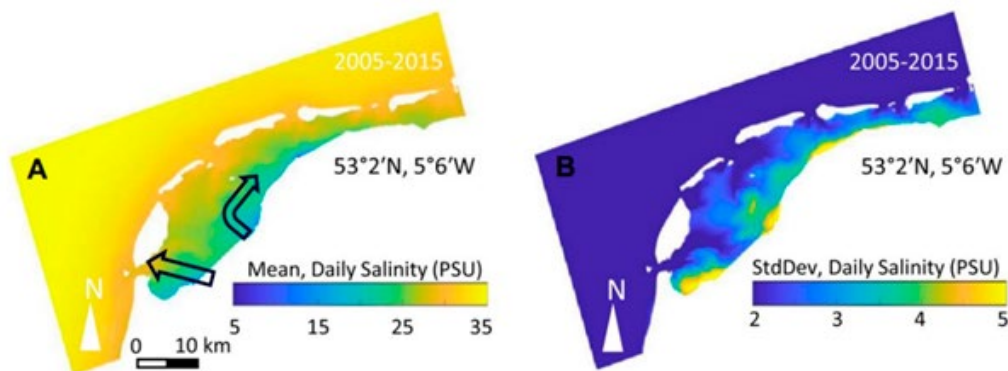
Veranderingen in de zoetwater aanvoer naar de Waddenzee veroorzaken veranderingen in zowel de temporele als ruimtelijke verdeling van zout, sediment en nutriënten. Daarmee hebben deze veranderingen meerdere effecten op het ecologisch functioneren van het gebied (Van Aken, 2008). Zoet-zoutovergangen spelen ook een rol in de morfologische ontwikkelingen. Op de grens van zoet en zout bewegen de waterstromen door dichtheidsverschillen over elkaar heen. In beginsel drijft zoet water op zout water. Slibdeeltjes aanwezig in het zoutere water kunnen versneld neerslaan wanneer ze in aanraking komen met zoet water.

De Waddenzee is een belangrijke plek voor diadrome (migrerende) vissen, die voor hun levenscyclus van zowel zoet als zeewater afhankelijk zijn (zie hoofdstuk 13). Zoet-zout gradiënten op kwelders en in kwelderkreken/slenken zijn bijvoorbeeld belangrijk voor (jonge) vis. Kwelderkreken, met hun brakwater habitat, hebben een belangrijke kinderkamerfunctie omdat ze een schuilplaats bieden maar ook voedsel. Als de mogelijkheid er is, migreren juveniele stadia van bot naar brakwater of zoetwater (Friese, J., 2020). Door gradiënten in zoutgehalte, door o.a. regenval en het getij, ontstaan ook verschillende vegetaties op de kwelder die verschillende insecten aantrekken. Deze insecten dienen weer als voedsel voor de vissen.

Figuur 8.1 laat de classificering van zoet, zout en brakwater zien, met de daarbij behorende range van saliniteit. Figuur 8.2 laat vervolgens zien welke waarden kenmerkend zijn voor delen van de Waddenzee. Opgemerkt moet worden dat dit gemiddelde waardes zijn. Uiteraard fluctueren de zoutgehaltes met de afvoer van zoet water tijdens periodes van droog of juist nat weer. Er is een relatief lage saliniteit en sterke fluctuaties nabij de spuilocaties en langs de vastelandskust. Nabij de eilanden, in de zeegaten en in de diepe geulen is de gemiddelde saliniteit hoger en is er een lagere standaarddeviatie dan in de wateren langs de Friese kust en op het Balgzand (Jacsic et al. 2024).

Watertype		Saliniteit (%)
Zoet	Zoet	< 0,18
Obligohalien	Zeer licht brak	0,18 - 0,54
	Licht brak	0,54 - 1,81
Mesohalien	Brak	1,81 - 5,42
	Sterk brak	5,42 - 9,03
	Zeer brak	9,03 - 18,1
Polyhalien	Zout	18,1 - 32,5
Euhalien	Zout	32,5

Figuur 8.1 Typologie van zoute wateren. De saliniteit is aangegeven in gram per kilogram zeewater (Bron: van Geest et al., 2022).



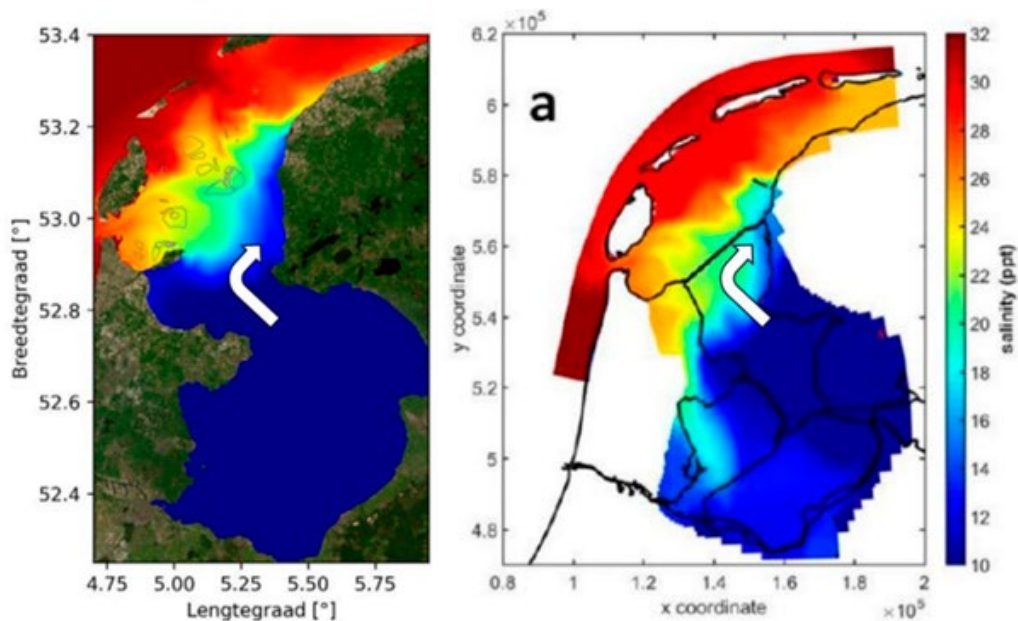
Figuur 8.2 Langjarig gemiddelde (2005-2015) saliniteit (links) en standaarddeviatie van de daggemiddelde saliniteit (rechts) op basis van modelberekening door Donatelli et al. (2022-b). Pijlen geven weer hoe het IJsselmeerwater de Waddenzee verlaat door middel van resttransport. Bron Jacsic et al. (2024)

Een studie naar de invloed van afvoerregimes van het IJsselmeer op het zoutgehalte in de Waddenzee door Deltares (Jacsic et al., 2024) laat zien dat de ruimtelijke verdeling van zoutgehalte in de Waddenzee sterk beïnvloed wordt door de locatie waar het zoete water instroomt. Water dat via Den Oever wordt afgevoerd wordt relatief snel afgevoerd uit de Waddenzee via het Marsdiep en heeft vooral invloed op (de fluctuaties van) het zoutgehalte rond het Balgzand. Water dat via Kornwerderzand wordt afgevoerd stroomt voornamelijk langs de Friese kust richting de oostelijke Waddenzee en beïnvloedt daar (de fluctuaties van) het zoutgehalte. Structurele veranderingen in de afvoerhoeveelheid en -locatie hebben substantiële invloed op fluctuaties van het zoutgehalte op de tijdschaal van enkele getijdencycli. Op basis van modelberekeningen kunnen deze structurele veranderingen leiden tot aanzienlijke veranderingen in het seizoen gemiddelde van zoutgehalte in sommige ecotopen (tot 5-8 PSU).

Historische ontwikkeling

Voordat de mens het Waddengebied bedijkte en inpolderde, waren er diverse grotere en kleinere vrij afstromende watersystemen. Naast het lokaal brakke karakter en de zoet-zout gradiënten, kenmerkte het Waddengebied zich door een aantal lange estuariene overgangen. Door al deze overgangen en gradiënten, ontstonden er veel verschillende ecotopen met habitats voor diverse unieke planten en dieren. Ook voor sedimentatie waren de overgangsgebieden van belang. In deze grote landinwaartse gelegen gebieden kon fijn sediment neerslaan.

Grote brakke overgangsgebieden ontstonden ook door doorbraken van de zee in vroegere moerasgebieden. Dit zorgde ervoor dat de Waddenzee zich in het verleden sterk heeft uitgebreid. De huidige Waddenzee kent naar verhouding relatief nog maar weinig van deze overgangsgebieden. De oorzaak hiervoor ligt bij de afname van het totale areaal brak gebied. Zo werd eerst de Middellzee geleidelijk afgesloten, en in het recentere verleden hebben vooral de grote afsluitingen van de Zuiderzee, Lauwerszee en Amstelmeer grote overgangsgebieden afgesloten, waardoor hier zoetwaterlichamen zijn ontstaan. Figuur 8.3 laat zien hoe, voor de bouw van de Afsluitdijk, het zoet water vanuit de Zuiderzee zich geleidelijk mengde met zout water uit de Noord- en Waddenzee. De afbeeldingen in het Figuur laten resultaten van twee verschillende modelstudies zien.



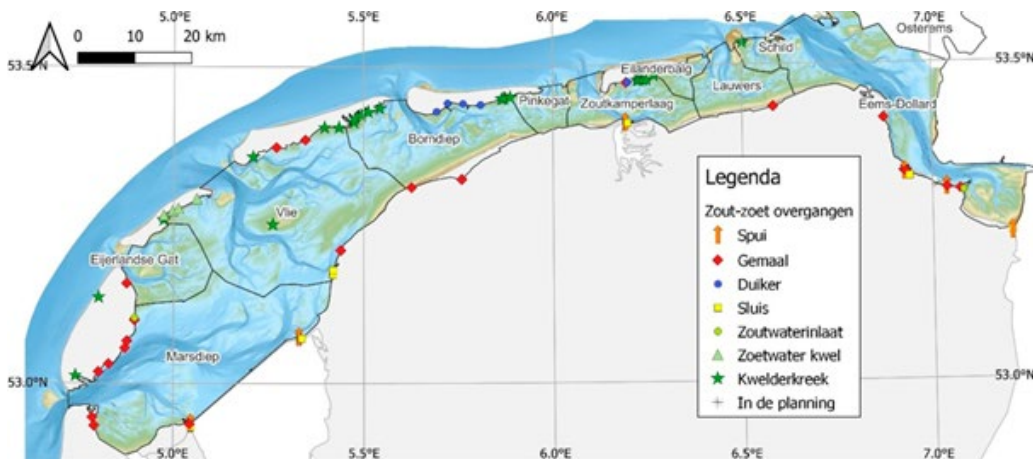
Figuur 8.3 Gemodelleerde springtij-doodtij gemiddelde saliniteit nabij het wateroppervlak, op basis van twee verschillende modelstudies: Smits et al. (2024) (links) en Iwantoro (2016) (rechts), beiden vóór de bouw van de Afsluitdijk. (Bron afbeeldingen: Jaksic et al 2024).

8.2 Huidige situatie

De Waddenzee is ondanks alle historische veranderingen nog steeds een overgangssysteem tussen zoet- en zoutwater, met gradiënten en overgangsgebieden. Door menselijke ingrepen zoals inpolderen, bedijking, de aanleg van dammen en afsluitingen, zijn de overgangszones in het gebied echter wel veel kleiner geworden en is de huidige Waddenzee relatief zout. Er stroomt nog steeds zoet water vanuit het achterland af naar de Waddenzee, er zijn echter nauwelijks meer open verbindingen met het achterland. Daarnaast is de afvoer van zoetwater naar de Waddenzee sterk gereguleerd door sluisen en gemalen. Door het afsluiten van de natuurlijke geleidelijke zoet-zoutovergangen, zijn de meeste die zo belangrijk waren voor vismigratie (De Beaufort, 1954; Wolff, 2000) verdwenen.

Figuur 8.4 laat de nu aanwezige overgangen zien. Deze zijn veelal abrupt en sterk gereguleerd met een scherpe overgang en harde grens tussen zoete en zoute omstandigheden zowel in tijd als in ruimte. Dit betekent dat brakke zones tussen zoet en zout niet altijd aanwezig en of geleidelijk genoeg zijn zoals in een volledig natuurlijk systeem. Hierdoor zijn de ecotopen die verwacht worden in een volwaardige estuariene overgang niet altijd aanwezig. Janssen (2000) noemde ze daarom ook wel zoet-zout wisselingen. Dit is ongunstig voor het ecologisch functioneren en heeft daarmee gevolgen voor de soorten in het gebied omdat ze van deze geleidelijke gradiënten afhankelijk zijn en zich moeilijk aan deze abrupte wijzigingen kunnen aanpassen.

Daarbij komt dat de aan- en afvoer van zoetwater vooral gereguleerd wordt voor de menselijke functies. In droge tijden houdt de mens bewust zoetwater vast in het achterland om als buffer te kunnen fungeren. In de winter wordt het water juist versneld afgevoerd om wateroverlast te voorkomen, waarmee de situatie onnatuurlijker is geworden. Door de verwachte piekneerslagen in de winter en droogte in de zomer door klimaatverandering, zal dit knelpunt waarschijnlijk toenemen.



Figuur 8.4 Overzicht van zoet-zoutovergangen in de Waddenzee (vernieuwd naar Philippart & Baptist, 2016)

De afvoer van zoetwater concentreert zich in de huidige situatie op een paar punten. In een gemiddeld jaar wordt circa 85% van het zoetwater aanbod naar de Waddenzee via de Afsluitdijk aangevoerd (Kok et al, 2024). Het Lauwersmeer is goed voor nog eens circa 8%. Het resterende zoetwater (minder dan 10%) wordt verdeeld over meer dan 10 kleinere locaties naar de Waddenzee aangevoerd. In droge (of natte) perioden kan de zoetwaterverdeling overigens heel anders zijn. Bijvoorbeeld omdat op het IJsselmeer water wordt gebufferd. Uiteraard is de afvoer van zoetwater ook afhankelijk van lokaal gevallen neerslag en de rivierafvoeren.

Daarnaast is de verdeling van de afvoer over het getij veranderd. Op de spuilocaties wordt rond laag water gespuid waarbij in korte tijd grote hoeveelheden zoetwater in de Waddenzee terecht komen. Bij hoog water is de ‘deur’ vervolgens dicht voor de aangetrokken vissen. Voor vismigratie is dit uiteraard minder gunstig dan een open verbinding waar vissen met de gradiënten mee kunnen bewegen. Op sommige locaties wordt wel visvriendelijk gespuid waarmee deze effecten enigszins worden tegengegaan.

Door de regulering van de zoetwater afvoer is de verdeling over de seizoenen voor vismigratie ook niet altijd optimaal. Voor de meeste vissoorten ligt de migratiepiek in het voorjaar (maart tot mei) terwijl het spuiregime van Kornwerderzand en Den Oever tussen het jaar 2000 en 2019 juist een patroon laat zien van overwegend hogere afvoeren in de herfst en winter en lagere afvoeren in voorjaar en zomer (Witteveen + Bos 2022).

Wanneer er sprake is van een open verbinding van zoet naar zout, is er naast een fluctuerende zone ook een constante brakwaterzone aanwezig. Bij een niet-open verbinding komt het water meer in pulsen (bijvoorbeeld tijdens het spuien) waardoor de kwaliteit van de brakwaterzone over het algemeen lager is. In de Eems-Dollard is nog wel een open overgang, waar de rivier de Eems uitmondt in de Dollard. Uiteraard is de zoetwaterafvoer van de Eems ook wel deels gereguleerd en onder invloed van waterbeheer in het achterland.

Het beschikbare zoete water in Nederland, afkomstig uit de aanvoer van rivieren en neerslag, wordt in grote mate beheerd en gestuurd. Daarbij wordt in de huidige situatie vooral gelet op de functies in het achterland. Denk aan drinkwatervoorziening, landbouw, peilbeheer (is ook voor de binnendijkse kwetsbare natuur van belang), energie, industrie en doorspoeling voor de waterkwaliteit. De uitdaging is

om goede afwegingen te maken tussen deze belangen en de kwaliteit van de verbindingen en overgangen naar de Waddenzee.

Om het ecologisch functioneren in de huidige situatie inhoudelijk verder te beschrijven, is voor dit systeemkenmerk naar drie elementen gekeken. Op het niveau van kombergingen wordt in de paragraaf hieronder vervolgens de belangrijkste knelpunten en opgaven voor deze elementen benoemd.

1. De **continuïteit** en **kwantiteit** van de zoetwater aanvoer naar de Waddenzee. Het gaat daarbij over de hoeveelheden zoetwater die de Waddenzee binnenkomen vanaf het vasteland en de eilanden. Dit bepaalt de schaal van de zoet-zoutovergang. Daarnaast is het van belang dat zoetwater zowel in tijd als ruimte geleidelijk af kan stromen naar de Waddenzee. De extremen in zout gehalten moeten niet te groot zijn en de zoutgehalten moeten bij voorkeur langzaam fluctueren in de tijd.
2. De **ecologische en chemische waterkwaliteit**. Het gaat daarbij om een goede kwaliteit van het naar de Waddenzee binnekomende water. Dit wordt o.a. jaarlijks beoordeeld voor de KRW. Het gaat hier vooral om de verontreinigende stoffen in het water. De balans tussen verschillende nutriënten wordt beschreven in hoofdstuk 9.
3. De **landschappelijke volledigheid** van de aanwezige estuariëne overgangen. Het gaat hier om de aanwezigheid van de volledige diversiteit van landschappen die bij een natuurlijke zoet-zoutovergang hoort inclusief een in tijd en ruimte geleidelijke fluctuerende overgang van zoet naar zouter water.

8.2.1 Zoetwater kwantiteit en continuïteit

De kwaliteit van een overgangszone van zoet naar zout water is afhankelijk van het aanbod van zoetwater en de verdeling in ruimte en tijd. In een natuurlijke situatie zijn de gradiënten in principe geleidelijk in tijd en ruimte, wat betekent dat soorten tijd en/of ruimte hebben om zich aan te passen en eventueel mee te bewegen. De hoeveelheid zoet water die instroomt, en de plek waar het instroomt zijn bepalend voor de aanwezigheid, schaal en kwaliteit van een overgangszone. Dit verschilt sterk in de verschillende kombergingsgebieden. Voor een goed functionerende zoet-zoutgradiënt of overgangsgebied is het belangrijk dat er een zekere continuïteit in de aanvoer van zoetwater aanwezig is. Fluctuaties zijn geen probleem, die zijn er ook in natuurlijke situaties, zeker bij extreme droogte. Echter, als er sprake is van een volledig gestremde afvoer tijdens droogte, heeft dit bijvoorbeeld grote gevolgen voor trekvissen als de lokstroom volledig is gestremd. Met name het spuien rond gemiddeld laag water (GLW) en de sterke fluctuaties over het jaar heen, leiden tot instabiliteit van de zoet-zoutgradiënt wat negatief uitpakt voor biota. Niet alle kombergingen hebben in hun huidige situatie even goede omstandigheden hiervoor.

Voor de analyse voor het aanbod van zoetwater is er gekeken naar de instroompunten per gebied (Waddenvier Basismonitoring),¹¹ de hoeveelheid zoet water die er binnen komt (Philippart et al., 2024) en in hoeverre deze wordt beïnvloed door menselijke ingrepen in het heden of verleden (RCE Dijkenkaart, 2021).¹² Daarnaast is gebruik gemaakt van gebiedskennis bij de auteurs.

De kombergingen Borndiep, Pinkegat en Lauwers kennen een relatief laag aanbod van zoetwater. Bij het Borndiep komt dat omdat het zoete water vanaf het vaste land maar in beperkte mate lokaal het Waddensysteem in kan: bij Zwarte Haan en via afvoer bij gemaal de Heining. Daarnaast stroomt water af van de Boschplaat en de vastelandskwelders van Friesland Bûtendyks. Dit zijn grote kwelder gebieden met ruimte voor (lokale) zoet-zout gradiënten. De kwaliteit hiervan is goed. Op de Boschplaat zijn volledig natuurlijke slenken aanwezig. Op de Friese kwelders zijn de watergangen vrij recht en minder natuurlijk en wordt zoetwater relatief snel afgevoerd. In het Pinkegat komt zoetwater niet het systeem in via de vastelandskust. Er zijn geen spuien of vispassages. Bij Ameland komt er vanuit de polder en via de kwelders zoet water binnen. Vanaf de kwelder is de afstroom natuurlijk: dit valt als een natuurlijk kleinschalig overgangsgebied te beschouwen. De zoetwaterstroom vanuit de polder is sterk gereguleerd en een overgangsgebied ontbreekt doordat de dijk zoet en zout scheidt. Dit is eigenlijk bij alle polders op

¹¹ <https://basismonitoringwadden.waddenzee.nl/datahuis-o/waddenvier/>, geraadpleegd op 15 mei 2024.

¹² <https://www.nationaalgeoregister.nl/geonetwork/srv/dut/catalog.search#/metadata/c46f802d-929e-4c59-b53f-of74b14724e4>, geraadpleegd op 14 mei 2024.

de eilanden het geval. De Lauwers kent enkel een kleine gereguleerde aanvoer via gemaal Noordpolderzijl. Invloed van zoet water vanaf de Rottums is qua hoeveelheid zeer beperkt.

De kombergingen Marsdiep, en Eems-Dollard hebben goede uitgangspunten voor wat betreft de zoetwaterkwantiteit. Er is aanbod van zoetwater vanuit het IJsselmeer en de Eems rivier. Hier zijn grote zoet-zout overgangen aanwezig. Voor het Marsdiep geldt dat de instroom niet natuurlijk is. Het zoete water wordt gespuid door de Afsluitdijk en is daardoor in tijd en ruimte beperkter dan in een natuurlijke situatie. Het gaat echter wel om verreweg de grootste hoeveelheden zoet water in de westelijke Waddenzee. De continuïteit van de aanvoer staat in droge tijden onder druk. In principe wordt er dan niet gespuid, alleen voor zover dat nodig is voor verziltingsbestrijding op het IJsselmeer. De afgelopen jaren neemt het aantal aaneengesloten dagen zonder spui geleidelijk toe. Met de vismigratierivier verbetert de connectiviteit voor vis maar niet automatisch de gewenste toevoer van zoet water naar de Waddenzee. Het Eems-Dollard gebied heeft jaarrond instroom van de rivier de Eems. Hierdoor is de continuïteit van het aanbod zoetwater goed te noemen. Daarnaast zijn er ook nog enkele lokale – veel kleinere – afvoeren naar de Eems-Dollard, welke nog aanvullend zoet water aanvoeren. Deze zijn wel sterk gereguleerd. Dit gebied is wel de meest natuurlijke zoet-zout overgang in het Waddengebied.

Ook in de komberging Zoutkamperlaag is er een grote instroom van zoet water via het Lauwersmeer. De continuïteit is hier redelijk goed, mede omdat in droge tijden zoetwater vanuit het IJsselmeer door de noordelijke provincies gestuurd wordt ten behoeve van verziltingsbestrijding en waterkwaliteit. Daardoor is er ook in droge tijden nog enig aanbod van zoet water. Op deze plek mist vooral de ruimte voor een geleidelijke overgang. De Lauwersmeerdijk zorgt nu voor een scherpe scheiding tussen zoet en zout water.

Naar het Eijerlandse Gat is sprake van zoetwater aanvoer vanaf het eiland Vlieland vanuit de Kroonspolders. Dit is vrij kleinschalig. Wel zijn hier fraaie overgangsgebieden aanwezig omdat zout water wordt ingelaten in de polders. Vanaf Texel stroomt ook beperkt zoet water naar de Waddenzee. Ook hier is de dijk een relatief harde scheiding tussen zoet en zout. Naar de komberging van de Eilanderbalg stroomt geheel geen zoetwater. Wel zijn er eilandkwelders en duinen, waar een natuurlijke overgang van zoet naar zoutwater aanwezig is.

8.2.2 Ecologische en chemische waterkwaliteit

Vanuit de KRW is het een Europese verplichting dat alle waterlichamen voor biologie en chemie een goede kwaliteit bereiken (Europees Parlement, 2000). De KRW biedt een raamwerk waarbinnen beoordeeld kan worden wat de huidige staat is van een aantal belangrijke parameters op het gebied van de (ecologische) waterkwaliteit die ook binnen het onderliggende streefbeeld essentieel zijn.

De ecologische en chemische waterkwaliteit wordt in vier waterlichamen in de Waddenzee (Eems-Dollard kustwater, Eems-Dollard overgangswater, Waddenzee, Waddenzee vastelandskust) gemonitord voor de KRW. Onder de ecologische waterkwaliteit vallen fysische-chemische en biologische parameters en specifiek verontreinigde stoffen. Onder de chemische waterkwaliteit vallen ubiquitaire stoffen,¹³ niet-ubiquitaire stoffen en nieuwe prioritair stoffen. De gemeten parameters zijn niet voor elk waterlichaam hetzelfde. De ecologische en chemische waterkwaliteit van alle waterlichamen in de Waddenzee zijn niet op orde. Vooral de chemische waterkwaliteit is ontoereikend (Ministerie van IenW, 2023). Dit komt onder andere door de aanwezigheid van arseen, chryseen, benzo(ghi)peryleen en kwik. Chemische vervuiling kan een negatieve impact hebben op flora en fauna in de Waddenzee. Ook de waterkwaliteit van het instromende water vanuit het achterland is niet overal optimaal.

¹³ Ubiquitaire stoffen zijn stoffen die niet meer geloosd worden, maar die door nalevering uit bijvoorbeeld het sediment nog lange tijd in het water kunnen worden aangetroffen.

8.2.3 Landschappelijke volledigheid estuariene overgang

Het gaat hier om het voorkomen van de volledige diversiteit van ecotopen die bij een zoet-zoutovergang verwacht mag worden. Dit betekent een brede zone waar geulen aanwezig zijn met een geleidelijke zoetzoutgradiënt. Deze gradiënt beweegt met de tijd, afhankelijk en onder invloed van het seizoen (Kok & Vollenbroek, 2024) en getij (Janssen, 2000). Door de aanwezigheid van deze verschillende gradiënten ontstaat een mozaïek van ecotopen, waardoor een divers heterogeen landschap ontstaat. Dit beperkt zich niet alleen tot saliniteit en waterkwantiteit maar ook stroomsnelheden, luwtes, diepte-zoneringen van sublitoraal tot en met gebieden boven +1m boven gemiddeld hoog water (GHW). Tezamen zouden deze gradiënten een mozaïek van landschappen moeten creëren die voor verscheidene soorten dienst doen als o.a. kinder- en kraamkamer, rustlocatie, voortplantingslocatie en doorgangszone.

Deze grote dynamische overgangsgebieden van zoet naar zout, maar ook van hoog naar laag en van nat naar droog, ontbreken als gevolg van de aanleg van de diverse dammen en dijken. Dat geldt ook voor de open verbinding met het achterland. Deze natuurlijke situatie kan uiteraard nooit teruggebracht worden in die vorm. Het betekent wel dat vergeleken met de oorspronkelijke natuurlijke situatie er relatief veel van dit type leefgebied mist. Zonder ruimte voor deze grotere gebieden is het moeilijk om kwalitatief hoogwaardige zoet-zoutovergangen te realiseren.

De landschappelijke volledigheid is het meest aangetast bij Vlie, Zoutkamperlaag en de Lauwers. Voor Vlie geldt dat er een zeer beperkte instroom is vanuit eilanden, door veel bedijking en dat de vastelandskust volledig is bedijkt. Bij de Zoutkamperlaag zijn de overgangen van zout naar zoet bedijkt en dus hard. Daarmee staan zoet en zout niet in directe verbinding met elkaar om een natuurlijke estuariene overgang te vormen. Bij de Lauwers zijn beperkte lange estuariene overgangen.

De belangrijkste knelpunten voor dit systeemkenmerk zijn

- een gehinderde zoetwaterinstroom;
- een zoetwaterinstroom die niet continu is en kwalitatief onvoldoende;
- de afwezigheid van grootschalige overgangsgebieden.

8.3 Invloed van klimaatverandering

Zeespiegelstijging

Door zeespiegelstijging zal zoetwater vanaf de rivieren en het achterland op lange termijn alleen nog kunnen worden afgevoerd via gemalen. Dit is een bedreiging voor nog bestaande overgangsgebieden, en eventueel nieuw aan te leggen verbindingen, tenzij polder en boezempeilen in het achterland mee gaan stijgen met de zeespiegel. Dit zal echter veel aanpassingen in het gebruik van het achterland vragen en lijkt minder waarschijnlijk. Uiteindelijk zorgt zeespiegelstijging er mogelijk voor dat alle (semi) open verbindingen potentieel verdwijnen.

Verder zal ook de afvoercapaciteit op spuilocaties teruglopen, omdat het beschikbare verval en het spuienster afnemen. Dit betekent dat er frequenter en zo lang mogelijk gespuid moet worden om overtollig zoetwater naar buiten te krijgen. Hoe dit precies uitpakt voor de ecologie is niet eenduidig.

Ook is het waarschijnlijk dat op meer plaatsen pompen en gemalen geplaatst gaan worden. Op de Afsluitdijk is dit in 2024 reeds gebeurd. Met pompen en gemalen kan zoetwater meer geleidelijk en continue worden afgevoerd. Dit kan gunstig zijn voor de ecologie omdat zoetwater ook bij negatief verval kan worden afgevoerd, waardoor een brakwater gebied permanent aanwezig kan zijn. Richting de toekomst zijn o.a. de te maken keuzes rondom de waterafvoer en zoet-zoutovergang bij het Lauwersmeer en in de Eems-Dollard, en ook de (toekomstige) inzet van de gemalen op de Afsluitdijk, belangrijk.

Zeespiegelstijging zorgt daarnaast voor een toename van de verzilting in het achterland. Op dit moment wordt veel zoet water gebruikt voor verziltingsbestrijding, o.a. in de Nieuwe Waterweg. De landelijke

keuzes rondom de verdeling van zoetwater bepalen mede hoeveel water er in de toekomst voor Noord Nederland beschikbaar zal blijven, en daarmee uiteindelijk voor de Waddenzee. In de huidige situatie is er in droge tijden zowel op de Afsluitdijk als bij Lauwersmeer nog regelmatig afvoer van zoetwater, vanwege doorspoeling voor de waterkwaliteit, maar de vraag is in hoeverre dit doorgaat als zoetwater schaarser wordt.

Toename van weersextremen

De zoetwateraanvoerpatronen zijn al sterk veranderd doordat in perioden van sterke neerslag water tegenwoordig sneller zeewaarts wordt afgevoerd, terwijl in de droge perioden (vooral in het voorjaar) meer wordt vastgehouden. Daarnaast zijn de gletsjers kleiner geworden, waardoor de Rijn meer karakteristiek krijgt van een regenrivier (Goergen et al, 2010). In de (nabije) toekomst zal er meer zoetwater nodig zijn voor het tegengaan van verzilting ten gevolge van bodemdaling, zeespiegelstijging en de verhoogde vraag naar drinkwater. Tijdens de droge zomermaanden zal er dus minder zoetwater richting de Waddenzee en het grondwater stromen (Kok & Vollenbroek, 2024) en zullen de verschillen in zoutgehalte tussen de seizoenen nog verder toenemen.

Nieuwe spuumiddelen Afsluitdijk

De grootste veranderingen in de westelijke Waddenzee tot 2050 zijn waarschijnlijk niet klimaatverandering, maar de inzet van pompen op de Afsluitdijk. Arcadis (2022) heeft inzichtelijk gemaakt hoe de afvoer van zoetwater naar de Waddenzee en de ruimtelijke verdeling daarvan kan wijzigen door het gebruik van de nieuwe afvoermiddelen. Belangrijkste conclusie is dat de oostelijke helft (tot wantij Terschelling) iets zouter wordt, en de westelijke helft, tot in de Noordzee, iets zoeter. Dat komt doordat er relatief meer water afgevoerd zal worden bij Den Oever. In een passende beoordeling (Witteveen + Bos, 2022) is vastgesteld dat dit geen significant negatieve effecten heeft. De vraag is of vanuit ecologisch optimaal functioneren (dit streefbeeld) ander beheer wenselijk zou kunnen zijn. Zo is bekend dat zoetwater langer in de westelijke Waddenzee verblijft als het via Kornwerderzand wordt afgevoerd.

8.4 Streefbeeld

De Waddenzee heeft een zo natuurlijk mogelijk en geleidelijke verlopende toevoer van zoetwater vanuit het achterland en de eilandkwelders. Er zijn meerdere grootschalige zoet-zoutverbindingen met het watersysteem in het achterland aanwezig. Bij de afvoer van water uit het achterland wordt rekening gehouden met het ecologisch belang van de Waddenzee. Doel is daarbij om zoveel mogelijk de lange en geleidelijke gradiënten in zowel tijd als ruimte na te bootsen zoals die in een meer natuurlijke situatie (zonder harde overgangen) in vrij afstromende gebieden voorkomen. De verdeling van de afvoer van zoetwater naar de Waddenzee wordt geoptimaliseerd voor het ecologisch functioneren, de verblijftijd van zoetwater in de huidige Waddenzee neemt toe.

Daarnaast stroomt zoetwater vanaf de eiland en vastelandskwelders op een natuurlijke wijze het gebied in. De watergangen op de kwelders zijn natuurlijk en worden niet onderhouden. De invloed van land-aanwinningwerken, waaronder greppels en sloten, wordt ongedaan gemaakt. Deze gebieden groeien op natuurlijke wijze mee met de zeespiegel om ook in de toekomst de aanwezige zoet-zout gradiënten te behouden en verzilting tegen te gaan.

Door aanwezigheid van baaien en geleidelijke overgangen is de Waddenzee een systeem waar een continue zoet-zout gradiënt aanwezig is die volgens de natuurlijke situatie over de seizoenen fluctueert. Hierdoor ontstaan er ecotopen die bijdragen aan de volledigheid van het landschap. De ecologische en chemische waterkwaliteit is goed, waardoor flora en fauna hierdoor ongehinderd in de Waddenzee kunnen groeien en bloeien.

Via de gezonde brakke leefgebieden kunnen grote delen van het achterland zonder onoverkomelijke hindernissen bereikt worden, o.a. voor vismigratie. Er zijn meerdere kleine(re) verbindingen aanwezig. Kwelders leveren op deze manier een belangrijke bijdrage, o.a. als leefgebied voor vissen. Deze grote en kleine verbindingen zijn, waar dat mogelijk is, open.

8.5 Mogelijke maatregelen

Herstel en behoud van grootschalige zoet-zoutovergangen

De ambitie is om grootschalige zoet-zoutovergangen te herstellen en te behouden. Het is het meest logisch om dat te doen op plaatsen waar vroeger ook een open verbinding met het achterland was. Belangrijk is verder om te realiseren dat wanneer er op te veel locaties een zoet-zoutovergang wordt gerealiseerd, deze potentieel allemaal niet werken tijdens droge periodes. Daarom kan beter gefocust worden op het creëren van een beperkt aantal open verbindingen met het achterland, zodat vissen naar hun brongebied kunnen trekken.

Op drie locaties worden daarvoor concrete mogelijkheden gezien. Het IJsselmeer met de Afsluitdijk, het Lauwersmeergebied en het Eems-Dollard estuarium (gele cirkels in Figuur 8.5). Deze gebieden zijn nu al belangrijk en er is potentie om de aanwezige brakke leefgebieden verder in kwantiteit en kwaliteit uit te breiden. Het gaat hier met name om het oligohaliene bereik (brak water met een saliniteit van 0,5 tot 3,3 promille). Via deze drie gebieden kunnen grote delen van het achterland bereikt worden, o.a. voor de vismigratie (zie bijvoorbeeld Figuur 2.6). In deze gebieden kan in principe voldoende ruimte geboden worden voor een overgangsgebied, zodat zoet-zout gradiënten geleidelijk kunnen zijn.

Vanuit de nationale zoetwater voorziening is het niet haalbaar om de Afsluitdijk te verwijderen. Op de Afsluitdijk moet het spuibeheer ecologisch zo optimaal mogelijk verlopen. Belangrijk is dat de inzet van de nieuwe afvoermiddelen geoptimaliseerd wordt voor vismigratie. Verder kan gekeken worden of er op en langs de dijk nog inrichtingsmaatregelen mogelijk zijn om leefgebied uit te breiden of te verbeteren. Bij het bepalen van de verdeling van de zoetwater afvoer is het van belang om de verblijftijd van zoetwater in de Waddenzee te optimaliseren en een toename van extreme toestanden van zoet en zout zoveel mogelijk te beperken. Het is belangrijk om de nieuwe vismigratierivier te monitoren om te kijken of er bijvoorbeeld aanvullende maatregelen mogelijk zijn die de negatieve effecten van de aanwezigheid van de Afsluitdijk kunnen compenseren.

Vanuit het ecologische belang van de Waddenzee, is het belangrijk dat ook op de langere termijn voldoende zoetwater naar het IJsselmeer blijft worden gevoerd waarbij niet mag worden vergeten dat zoetwater uit het IJsselmeer ook via Fryslân uiteindelijk in het Lauwersmeer komt en daar dus ook een (toekomstig) overgangsgebied faciliteert.

Voor het ecologisch functioneren van de Zoutkamperlaag is het belangrijk om de verbinding met het Lauwersmeer weer te herstellen. Er liggen daarbij ook kansen om de kwantiteit en kwaliteit van leefgebieden uit te breiden. Een open doorgang met werking van getij zou vanuit ecologie geredeneerd het meest te prefereren zijn. Ecologisch is dat het meest gewenst doch waarschijnlijk lastig te combineren met de inrichting van het Lauwersmeergebied.

De enige (semi) open grote zoet-zoutovergang die er momenteel is, is de Eems-Dollard. Het is van belang om deze zoet-zoutovergang te behouden en de kwaliteit ervan te verbeteren, in het bijzonder door de vertroebeling te verminderen (waar overigens al diverse maatregelen voor zijn genomen). De verbinding met de Eems rivier is open, maar wel beïnvloed door het Eems sperwerk. In Nederland is geen (grote) open verbinding maar er zijn wel mogelijkheden om een aantal kleinere verbindingen met het achterland te verbeteren zoals met de Westerwoldse Aa. Er wordt langs de Groningse kust nagedacht over de inrichting van natuurlijke slibinvang achter de dijken, waarbij ook mogelijkheden ontstaan voor nieuwe (kleinere) overgangsgebieden.

Amstelmeer heeft gezien de geringe natuurlijke toevoer van zoet water niet de potentie om als grootschalige verbinding te fungeren.

Grootschalig herstel en behoud van kleinschalige overgangen en gradiënten

Herstel van een individuele kleine natuurlijke overgang brengt ecologisch gezien niet direct een grote verandering voor het systeem als geheel. Echter, de totale bijdrage van de kleine(re) verbindingen is voor het systeem wel degelijk van belang. Het gaat hier overwegend om het oligohaliene en mesohaliene bereik (brak water met een saliniteit van 3,3 tot 18,1 promille).

Voor realisatie van het streefbeeld bieden de volgende maatregelen kansen:

- Herstel van kleinere estuariene overgangen aan de vastelandskust. Vanwege de huidige verbindingen naar het achterland en de nabijheid van geulen buitendijks liggen de beste kansen voor het maken van estuariene overgangen voor herstel bij Harlingen (verbinding naar de Friese boezem) en bij het Amstelmeer (zie groene cirkels in Figuur 8.5).
- Waar langs de kust kwelders liggen zijn er kansen voor het herstel van nieuw aan te leggen zoet-zoutverbindingen en is het van belang om bestaande te behouden (zie paarse cirkels in Figuur 8.5). Van de kwelders is bekend dat deze een belangrijke bijdrage leveren, o.a. voor vissen. Harde overgangen moeten daar waar het kan worden ingewisseld voor zachte overgangen, zodat het zoete water vrij af kan stromen. Zowel vanaf het vaste land, als vanaf de eilandkwelders zijn deze verbindingen essentieel. Het is dus van belang dat er genoeg verbindingen naar de Waddenzee zijn. Dit lijken per eiland kleine ingrepen, maar voor meerdere eilanden heeft het een effect wat bijdraagt aan de landschappelijke volledigheid. Ook bij deze kleinschalige overgangen moet aandacht zijn voor geleidelijke afvoer.

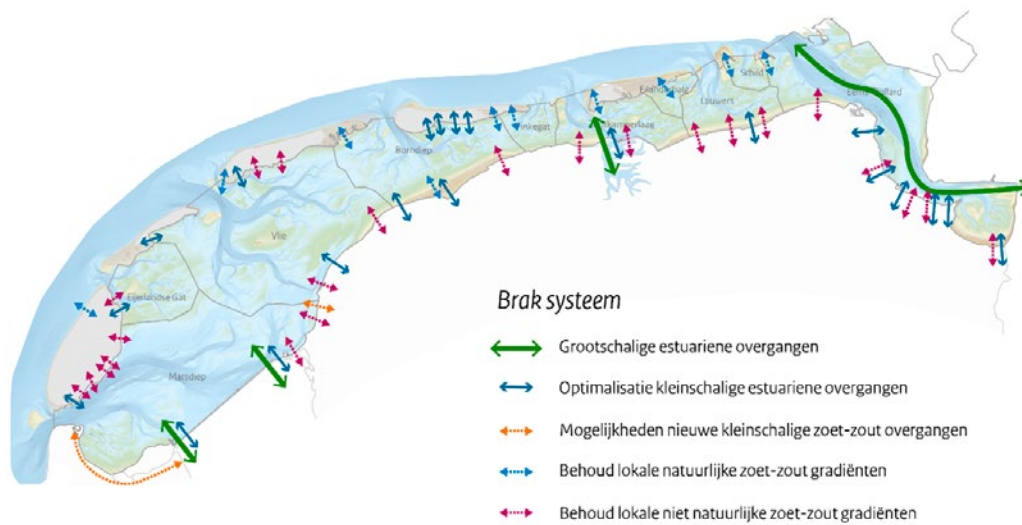
Ook hier is het belangrijk om rekening te houden met de (lokale) beschikbaarheid van zoetwater, ook op de langere termijn. De keuze zou moeten vallen op overgangen die met de huidige voorspellingen gevoed kunnen blijven met zoetwater. Mogelijk liggen er kansen om dit te combineren met binnendijkse inrichtingsmaatregelen waardoor er extra water gebufferd kan worden.

Zoetwater vasthouden en bufferen

Met klimaatverandering en verdere bodemdaling valt te verwachten dat het droger wordt, en verzilting toeneemt. Het belang van het vasthouden van water om zoutindringing en verdroging zoveel mogelijk te beperken zal daarmee alleen maar toenemen. Om de droogte te beperken is het belangrijk om zoetwater binnendijks vast te houden in plaats van snel af te voeren. Er is geen specifiek zoekgebied aan te wijzen, waardoor deze niet op de kaart van Figuur 8.5 is aangegeven.

Waterkwaliteit op orde brengen

Rijkswaterstaat analyseert of in het kader van de KRW het doelbereik voor de chemische en ecologische waterkwaliteit voor alle Nederlandse waterlichamen gehaald wordt en wat nodig is om het doelbereik dichterbij te brengen. Deze rapportage verschijnt na de zomer van 2024. De opgave voor het op orde brengen van de waterkwaliteit ligt binnen de KRW en wordt hier niet verder uitgewerkt. Ook de waterkwaliteit van het naar de Waddenzee afstromende water moet verbeterd worden. Het gaat daarbij vooral over nutriënten en milieuvreemde stoffen die steeds vaker in het water voorkomen (zie ook [hoofdstuk 9](#)).



Figuur 8.5 Mogelijke systeemingenrepen voor streefbeeld 'Brak systeem met goede waterkwaliteit'.

9 De Waddenzee als hoog productief systeem

9.1 Achtergrond

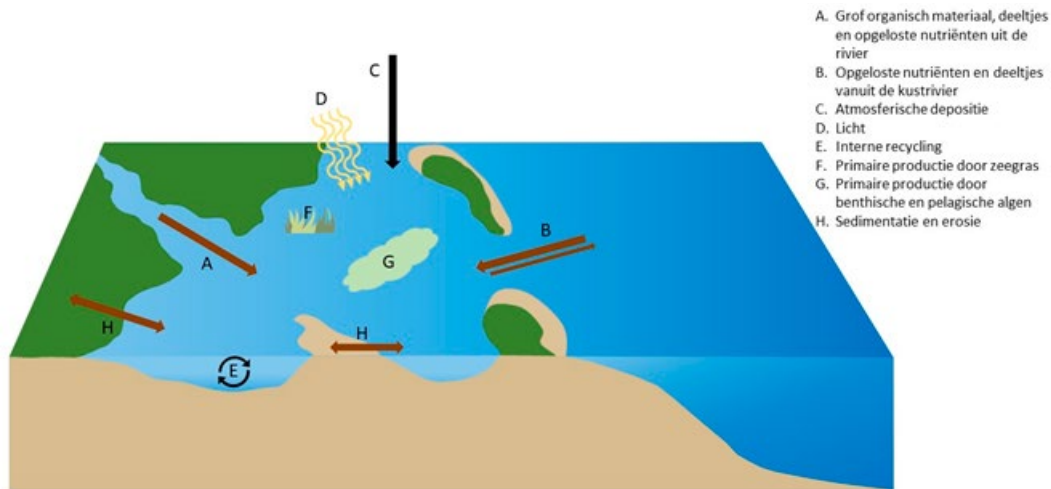
Estuariene systemen als de Waddenzee worden gekenmerkt door hoge concentraties aan voedingsstoffen, lange verblijftijden, een hoge productiviteit en daarmee een rijk en robuust voedselweb. Voedingsstoffen komen het systeem in via rivieren, zeegaten, de atmosfeer en via dieren die in het systeem leven (van Beusekom & de Jonge, 2002). Voedingsstoffen komen het systeem in als opgeloste nutriënten, als kleine deeltjes, en in een grove fractie (hele planten en bomen).

De opgeloste nutriënten vormen, in combinatie met voldoende licht, de basis voor de primaire productie van het systeem. Fytoplankton (algen in de waterkolom), microfytobenthos (algen op de wadbodem), macro-algen (zeewieren) en zeegras leggen deze nutriënten middels fotosynthese vast en zetten deze om in biomassa. Door het ondiepe karakter is de benthische productie in de Waddenzee, in tegenstelling tot veel andere kustsystemen, vrijwel net zo hoog als de productie door algen in de waterkolom (Baptist et al., 2007) en daarmee het hoogste van alle kustsystemen boven de 42° hoogtegraad (MacIntyre et al., 1996). Schelpdieren en bijvoorbeeld zoöplankton eten de algen en worden vervolgens zelf weer gegeten door vissen en vogels die op hun beurt ook weer ten prooi vallen aan predatoren hoger in de voedselketen.

Met het water dat vanuit de rivieren en de zeegaten de Waddenzee bereikt worden ook kleine deeltjes meegevoerd. Deze deeltjes zijn hoofdzakelijk sediment, algen en dood organisch materiaal (detritus). Zoetwateralgen die met het rivierwater meekomen vormen een belangrijke voedingsbron voor veel schelpdieren die in de Waddenzee leven (Jung et al., 2019). De deeltjes worden door schelpdieren en andere filteraars uit de waterkolom gefilterd en dienen zo als basis van het voedselweb. Op luwere plekken in baaien, op wadplaten en op kwelders vindt ophoping plaats van sediment en de meegevoerde deeltjes. Hier worden de in het slib en in poriewater aanwezige voedingsstoffen door zeegras (op platen) en kweldervegetatie (op kwelders) omgezet in biomassa. Het continue spel van aangroei en afslag van wadplaten en kwelders zorgt voor een continue nutriëntenpomp die als belangrijke motor geldt voor het ecosysteem van de Waddenzee (van Beusekom & de Jonge, 2002).

Naast opgeloste nutriënten en de kleine deeltjes wordt ook grover organisch materiaal in de vorm van dode bomen, plantresten en dode organismen aangevoerd via de rivier (Franken et al., 2023) en zeegaten. Planten en bomen die met de rivieren worden meegevoerd worden in een estuarium door bijvoorbeeld invertebraten afgebroken. Zij vormen op hun beurt weer een belangrijke schakel in de basis van het voedselweb (Dobson & Frid 1998).

In een gezond estuarium leidt de combinatie van de instroom van voedingsstoffen en een lange verblijftijd tot een hoog productief systeem met een grote draagkracht. Dit maakt het voedselweb van een gezonde Waddenzee robuust en veerkrachtig. Figuur 9.1 geeft een overzicht van de verschillende stromen.



Figuur 9.1 Schematische weergave van de nutriëntstromen en primaire producenten zoals die behandeld worden.

9.2 Huidige situatie

Het verstoren van de kenmerkende processen van instroom en retentie van voedingsstoffen kan tot negatieve effecten leiden op de ecologie van het systeem. Als gevolg van de menselijke verstoring is de nutriënthuishouding van de Waddenzee uit balans. Er komen door bemesting en lozing teveel opgeloste nutriënten het systeem in, het afsluiten van de zeearmen en het verharden van de randen zorgt ervoor dat minder nutriënten worden vastgehouden en er worden nutriënten aan het systeem onttrokken.

Om de huidige situatie te beoordelen zijn voor dit systeemkenmerk vier criteria onderscheiden.

1. De **instroom van voedingsstoffen** via rivieren en zeegaten.
2. De opslag (**retentie**) van voedingsstoffen op platen en in de randen (met name kwelders).
3. De uitstroom van voedingsstoffen via niet-natuurlijke **onttrekking**.
4. De **beschikbaarheid van voedingsstoffen** voor het voedselweb.

9.2.1 Instroom van voedingsstoffen

Opgeloste nutriënten en kleine deeltjes

Opgeloste nutriënten zijn in de Nederlandse Waddenzee voornamelijk afkomstig uit het rivierwater van de Rijn en de Maas (van Beusekom et al., 2012, 2019; Katwijk et al., 2024). Dit is zowel direct via het IJsselmeer, als indirect via het transport door de kustrivier. De input van nutriënten uit kleinere rivieren en door sluizen vanuit de polders speelt een beperktere rol (van Beusekom, 2001). De influx van opgeloste nutriënten nam vanaf de jaren '50 sterk toe (eutrofiëring) als gevolg van een hoge instroom van onder meer meststoffen, afvalwater en fosfaat houdende wasmiddelen vanuit de rivieren en de zee (van Beusekom & de Jonge, 2002; van Raaphorst & de Jonge, 2004). Dit leidde tot een bijna drie keer hogere primaire productie (van Beusekom & de Jonge, 2002).

In de historische situatie was de Waddenzee waarschijnlijk voornamelijk afhankelijk van interne productie van algen binnen het systeem aangevuld met fytoplankton uit de Noordzee (Jung et al., 2019; Reise, 2005). Productie en remineralisatiesnelheden (afbraak van dood organisch materiaal (detritus) door bacteriën tot nutriënten) lagen 4 tot 8 maal lager, de omzetting van organisch stof lag vijf keer lager maar de primaire productie was mogelijk door betere lichtomstandigheden hoger dan tegenwoordig (van Beusekom, 2005).

Naast de instroom van opgeloste nutriënten bereiken ook kleine deeltjes (sediment, algen, detritus) de Waddenzee. Deze instroom is afkomstig uit de rivieren en direct of indirect via de kusttrivier. De eutrofiëring van de rivieren leidde vanaf de jaren 50 ook tot algenbloei in de Noordzee (de Jonge & Postma, 1974; Postma & van Bennekom, 1974) en daarmee tot een verhoogde import van algen en detritus waardoor in toenemende mate algen en detritus de Waddenzee bereikten (van Katwijk et al., 2024).

De eutrofiëring vanaf de jaren '50 had tot gevolg dat het voornamelijk autochtone ecosysteem met een uitgestrekt intergetijdengebied werd getransformeerd tot een systeem dat afhankelijk is van een allochtoon aanbod van fytoplankton (Reise, 2005). In deze staat wordt het ecosysteem te veel gedomineerd door algen met een disbalans in het voedselweb en mogelijk zuurstofloosheid bij afbraak van de gevormde algen tot gevolg. Hierdoor wordt het voedselweb minder divers en robuust (Duffy, 2002).

Door actief beleid is sinds de jaren '80 de nutriëntentoevoer via rivieren sterk afgenomen (van Beusekom et al., 2008), ondanks dat deze nog steeds boven de historische achtergrondwaardes verkeert (van Beusekom, 2017) en voor de beoordeling onder de KRW nog steeds als 'matig' of 'ontoereikend' scoort (Ministerie van IenW, 2023). De opgeloste anorganische stikstofconcentraties (DIN) zijn in de Nederlandse Waddenzee nog 4 tot 7 keer hoger dan de achtergrondconcentraties. De fosfaatgehalten komen in de Nederlandse Waddenzee al wel in de buurt van de achtergrondconcentraties (van Beusekom et al., 2017). Door de afname van opgeloste nutriënten is de algenbloei sterk gedaald wat heeft geleid tot een meer gunstige ecologische staat (Beusekom et al., 2019).

Zoals in hoofdstuk 8 aangegeven, wordt de instroom van zoetwater gereguleerd door de gemalen en sluizen die als een barricade werken tussen het zoete en het zoute water. Onder meer als gevolg van het vasthouden van zoetwater volgt de instroom van nutriënten een niet natuurlijk patroon. Dit zorgt ervoor dat in periodes van grote droogte minder nutriënten de Waddenzee bereiken.

Grove fractie organisch materiaal

Zowel via de Zuiderzee als de Lauwerszee spoelde in het verleden met het zoete water ook grof organisch materiaal als plantenresten en dode bomen de Waddenzee in (Franken et al., 2023). Deze instroom van grof organisch materiaal is in de huidige situatie gehinderd. Deels komt dit doordat de rivieren voor grote delen bedijkt zijn en de uiterwaarden vegetatievrij worden gehouden in verband met de waterveiligheid (Verdonschot & Verdonschot, 2023; Rijkswaterstaat).¹⁴ Daarnaast worden dode bomen uit de rivier gehaald om de scheepvaart niet te belemmeren en om schade aan dijken te voorkomen (Rijkswaterstaat).¹⁵ Hierdoor wordt met hoogwater weinig organisch materiaal (bomen, struiken, opgehoopte planten uit rietvelden) meegenomen naar zee. De sluizen en gemalen vormen daarnaast een blokkade voor het grove organisch materiaal. De betekenis van de netto toevoeging van nutriënten afkomstig van dit grove organisch materiaal is te verwaarlozen (van der Meer, persoonlijke communicatie, 2024). Wel moet genoemd worden dat deze grove fractie van het organisch materiaal als voedselbron en als schuilplaats voor bepaalde soortgroepen van groot belang is. Toevoegen van perenbomen is één van de PAGW maatregelen die nu al worden uitgevoerd. Deze waarde wordt echter in dit hoofdstuk niet verder behandeld.

Fauna

Dieren die hun hele leven in de Waddenzee verblijven maken onderdeel uit van de nutriëntenkringloop maar leiden niet tot import of export van nutriënten. Voor dieren die periodiek in het Waddenzee gebied verblijven geldt dat zij zowel een netto import als export van voedingsstoffen kunnen betekenen. Als dieren vermagerd aankomen, opvetten in de Waddenzee en doortrekken zal er sprake zijn van netto export.

¹⁴ <https://www.rijkswaterstaat.nl/water/waterbeheer/bescherming-tegen-het-water/maatregelen-om-overstromingen-te-voorkomen/beheer-van-uiterwaarden-voor-een-veilig-rivierengebied>, geraadpleegd op 13 mei 2024.

¹⁵ <https://www.rijkswaterstaat.nl/water/waterbeheer/waterkwaliteit/maatregelen-waterkwaliteit/rivierhout#:~:text=Uit%20onderzoek%20is%20gebleken%20dat,dit%20zijn%20rivieren%20met%20scheepvaart>, geraadpleegd op 13 mei 2024.

Als dieren buiten de Waddenzee foerageren maar voornamelijk in de Waddenzee of op buitendijkse kwelders rusten en voortplanten zal het een netto import betekenen. Ditzelfde geldt voor dieren die van buiten de Waddenzee komen maar binnen de Waddenzee sterven. Van uitwerpselen van vogels is bekend dat zij plaatselijk een belangrijk onderdeel van de productie van de Waddenzee kunnen zijn (Reijers et al., 2020). Echter is ook hier sprake van een kringloop en niet direct van een import van nutriënten. Uitgangspunt is dat in een gezond estuarium er geen in- dan wel export van nutriënten door dieren is, maar dat dit bij benadering in balans is.

Kwelders en platen

In een dynamisch systeem als de Waddenzee is constant sprake van aangroei en afslag van stranden, duinen en kwelders. Daar waar organisch materiaal afslaat van buitendijkse kwelders of waar sediment van platen in beweging wordt gebracht komen voedingsstoffen in het water. Hier is echter op de schaal van het systeem geen sprake van additie van nutriënten. Het opnieuw ter beschikking komen van nutriënten die zijn opgeslagen in kwelders en op platen wordt gezien als retentie. Ditzelfde geldt voor interne recycling, het proces van afbraak van organisch materiaal tot opgeloste nutriënten die vervolgens weer door primaire producenten kunnen worden vastgelegd hetgeen een grote bijdrage levert aan de productiviteit van het Waddensysteem (Leote et al., 2016).

De analyse van het criterium 'instroom van voedingsstoffen' is tot stand gekomen aan de hand van diverse rapporten m.b.t. de eutrofiëring van de Waddenzee en kaartmateriaal van de kombergingen met betrekking tot de verharde randen en de aanwezige gemalen. Er is met name gekeken naar de instroom van opgeloste nutriënten en kleine deeltjes vanuit de zeegaten en de rivieren. Dit omdat de overige onderdelen van instroom van voedingsstoffen op de schaal van de stikstofbalans van de Waddenzee te verwaarlozen zijn.

Er zijn twee knelpunten: enerzijds zijn de concentraties opgeloste nutriënten en kleine deeltjes te hoog als gevolg van de eutrofiëring van het zoete water. Anderzijds wordt de instroom van nutriënten in de meeste kombergingen door de tijd gehinderd als gevolg van het periodiek spuien en het feit dat geen volledige/ geleidelijke brakke overgangen meer aanwezig zijn.

De kombergingen Vlie, Marsdiep en Eems-Dollard scoren op het gebied van de verhoogde instroom concentraties het slechtst. In deze kombergingen is sprake van grote hoeveelheden geëutrofeerd zoetwater dat de kombergingen bereikt. Voor de overige kombergingen die een vastlandskust hebben is sprake van verhoogde concentraties vanuit zeegaten en zoetwater maar in minder grote volumes.

De kombergingen Schild, Eijerlandse Gat en Eilanderbalg hebben geen verbinding met het vasteland en de instroom van nutriënten is hier zodoende al beperkter. Voor Schild en Eilanderbalg geldt dat voedingsstoffen alleen in verhoogde concentraties binnenkomen vanuit de zeegaten. Deze kombergingen scoren zodoende het beste.

9.2.2 Retentie van voedingsstoffen

Bij retentie van voedingsstoffen is een onderscheid gemaakt tussen retentie in sediment, in planten en in dieren. Retentie in sediment vindt plaats over de hele Waddenzee op platen en in geulen en wordt hier niet verder behandeld. Daar waar planten groeien vindt ook opslag plaats van nutriënten in de wortelstelsels van deze planten en in de planten zelf. Hierbij kan nog onderscheid gemaakt worden tussen planten op kwelders en zeegras op platen. Ten slotte biedt de Waddenzee onderdak en voedsel voor een rijk en complex voedselweb. In dit voedselweb zitten ook grote hoeveelheden nutriënten opgeslagen.

Retentie op kwelders

Voordat de zeearmen werden afgesloten en de randen van het Wad werden bedijkt waren er op grote schaal kwelders aanwezig langs de randen van het wad. Aangroeiende kwelders sloegen voedingsstoffen op en door afslag als gevolg van bijvoorbeeld springvloeden en stormen kwamen voedingsstoffen weer ter beschikking aan het systeem (Riedel et al, 2010). Zoals eerder beschreven zijn de oorspronkelijke kwelders met name door het bedijken van de randen van het Wad voor een belangrijk deel verdwenen.

Daarnaast hebben het afsluiten van de Lauwerszee en de Zuiderzee geleid tot een significante afname van het kwelderareaal en de randlengte van de Waddenzee. Dit geldt vooral voor de kombergingen Marsdiep en Vlie. Ondanks dat op veel plekken weer kwelders zijn aangelegd in het kader van de landwinningswerken is het areaal kwelders nog zeer beperkt (zie [hoofdstuk 7](#)). Doordat in de huidige situatie de Waddenzee op veel plekken direct overgaat in een harde dijk vindt geen op- en afslag van organisch materiaal meer plaats aan de randen van de Waddenzee. Als gevolg hiervan is de verblijftijd van voedingsstoffen in de Waddenzee korter.

Retentie op platen

Naast de opslag van voedingsstoffen in kwelders is de opslag in zeegras, in een gezond estuarium, een belangrijk onderdeel van nutriënt retentie op platen. Het voorkomen van zeegras is door menselijk toedoen sterk afgenomen. Deels is dit het gevolg van het oogsten van zeegras maar ook de (morfologische) verandering als gevolg van de aanleg van de Afsluitdijk hebben een effect gehad. Het zeegras heeft ook sterk te lijden gehad van een wierziekte (wasting disease) die in combinatie met het weer, in 1932 tot massaal afsterven leidde (Deltaexpertise).¹⁶ Op het moment wordt onderzocht of grootschalige herintroductie van zeegras haalbaar is. Lokaal heeft dit zeker geleid tot herstel maar er kan nog niet worden gesproken van grootschalig voorkomen. Mogelijk wordt het herstel nog ten dele beperkt door de te hoge stikstofconcentraties in het water (van Katwijk et al., 2024).

Retentie in het voedselweb

Opslag van voedingsstoffen vindt plaats in het volledige voedselweb, van primaire producenten (algen, microfytobenthos en planten) tot vogels, vissen en zeezoogdieren. Dit rijke voedselweb vormt de bovenste laag in het conceptuele model dat is behandeld in hoofdstuk 2. Hierbij geldt dat hoe robuuster het voedselweb, hoe hoger de retentie van voedingsstoffen in het voedselweb. Omdat het streefbeeld zich richt op de onderste lagen van het conceptuele model en zich ook in het handelingsperspectief wil richten op het verbeteren van de onderste lagen wordt de retentie van voedingsstoffen in het volledige voedselweb hier niet verder behandeld. Wel wordt in hoofdstukken 11 t/m 14 verder ingegaan op de Waddenzee als leefgebied voor (en door) biobouwers en de Waddenzee als leefgebied voor vogels, vissen en zeezoogdieren.

Waar het vastleggen van nutriënten in het systeem voorheen gebeurde door zowel algengroei als zeegrasvelden en kweldervegetaties, is het zwaartepunt door de afname van het kwelderareaal en massaal verdwijnen van zeegras, verschoven naar de algengroei. Op systeemniveau worden daarmee minder voedingsstoffen opgeslagen in het systeem en is de nutriëntcyclus sneller. Door zeespiegelstijging kan het areaal platen geschikt voor zeegrasvelden op de langere termijn mogelijk nog verder afnemen. Uit de analyse van de verschillende kombergingen blijkt vooral voor de kombergingen Marsdiep, Vlie en Eijerlandsegat dat er maar in zeer beperkte mate sprake is van kwelderareaal langs de randen van het vasteland en de eilanden. Hierdoor is de retentie van voedingsstoffen in de randen van de kombergingen sterk gehinderd. Voor de overige kombergingen (muv Eilanderbalg en Schild) geldt dat de retentie wordt gehinderd maar dat ook op diverse plekken nog wel sprake is van (meer) natuurlijke overgangen en daarmee van retentie van voedingsstoffen in de randen. Voor Schild en Eilanderbalg geldt dat de retentie in de randen nog op een manier functioneert die de natuurlijke situatie benadert.

9.2.3 Artificiële onttrekking

Nutriënten verlaten in de huidige situatie op verschillende manieren (versneld) het ecosysteem van de Waddenzee. De grootste bijdrage aan deze verliespost wordt geleverd door de garnalenvisserij en de mosselkweek die nog in verschillende kombergingen intensief plaatsvindt en grote hoeveelheden biomassa afvoert (Heidinga et al., 2023, Capelle & van Stralen, 2021, Turenhout et al., 2015). Daarnaast spoelen nutriënten ook uit door het omwoelen van de bodem bij baggerwerkzaamheden en bodemberoerende visserij en wordt maaisel afgevoerd vanaf de buitendijkse kwelders (Odijk, 2011).

¹⁶ https://www.deltaexpertise.nl/wiki/index.php/Zeegras_Groei_en_ontwikkeling_zeegras_in_de_Waddenzee, geraadpleegd op 13 mei 2024.

Ook wordt op het moment voor de Eems-Dollard verkend of het slib toegepast kan worden buiten het estuarium¹⁷ waardoor in potentie ook extra nutriënten het systeem verlaten. De jaarlijkse onttrekking van stikstof door visserij betreft naar verwachting iets meer dan 1% van de aanvoer van stikstof vanuit de rivieren (van der Meer, pers comm., 2024). Op de schaal van de nutriëntfluxen van de Waddenzee is de onttrekking van nutriënten daarmee een beperkte flux.

Aangezien de flux van onttrekking op het niveau van de totale stikstofbalans van de Waddenzee beperkt is wordt deze parameter niet beoordeeld als het gaat om de instroom van nutriënten. Wel moet benoemd worden dat onttrekking op andere onderdelen een groot effect kan hebben. Dit wordt in hoofdstukken 11 tot en met 14 verder toegelicht.

9.2.4 Beschikbaarheid voedingsstoffen en primaire productie

In zijn algemeenheid kan binnen een ecosysteem onderscheid worden gemaakt tussen vrij beschikbare voedingsstoffen en voedingsstoffen die opgeslagen zitten in sediment, planten en dieren. De vrij beschikbare nutriënten in de waterkolom van de Waddenzee zijn vervolgens beschikbaar voor de primaire producenten die, wanneer er voldoende licht aanwezig is, deze nutriënten optimaal kunnen gebruiken. De primaire producenten staan vervolgens aan de basis van de voedselketen van het rijke en complexe voedselweb van de Waddenzee.

De Waddenzee is door haar ondiepe en dynamische karakter van nature al een troebeler systeem dan een diepere zee of een oceaan. De morfologische verandering die door de mens zijn doorgevoerd (met name de aanleg van de Afsluitdijk en de aanleg en verdieping van de vaargeul in de Eems-Dollard) hebben er toe geleid dat het systeem nog troebeler is geworden (Smits, et al., 2024; Wanink & van der Graaf, 2008). Deze verhoogde troebelheid leidt tot een afname van de lichtinval in de waterkolom en beperkt de primaire productie van benthische (op de bodem) en pelagische (in de waterkolom) levende algen. Verder wordt door onder meer bodemberoerende visserij, het winnen van schelpen en het baggeren van vaarwegen de wadbodem omgewoeld waardoor minder licht doordringt in de waterkolom en de primaire productie gehinderd kan worden. Tegelijk zorgt deze omwoeling dat voedingsstoffen die in de bodem liggen opgeslagen (versneld) ter beschikking komen aan de primaire producenten. Of deze nutriënten ook door de primaire producenten kunnen worden gebruikt hangt af van welke parameter op dat moment de groei van algen beperkt.

Afhankelijk van de plek in het estuarium en de tijd van het jaar wordt de primaire productie in de Waddenzee beperkt door de aanwezigheid van licht, van fosfaat of door een combinatie van nutriënten (van Beusekom, 2017). Onder andere in de vroege zomer treedt mogelijk fosfaatlimitatie op (Loebl et al., 2009; Ly et al., 2014, Philippart et al., 2007; van Beusekom et al., 2019) ook al is het mogelijk dat de hoge fosfaatconcentraties in het sediment ten dele deze nutriëntlimitatie opheffen (Leote et al., 2016). Stikstoflimitatie treedt alleen op in de noordelijke Waddenzee en dus niet in het Nederlandse deel (Loebl et al., 2009). In de Nederlandse Waddenzee liggen de stikstofconcentraties nog veel te hoog.

Ten slotte is lichtlimitatie een belangrijk limiterende factor voor primaire productie in grote delen van het jaar en voor een groot deel van de Nederlandse Waddenzee (Colijn & Cadée, 2002; Loebl et al., 2009). Hoewel de biomassa van algen is afgenomen (Beusekom et al., 2019) en er tussen de jaren verschillen zijn in de beschikbaarheid van licht vertoont de Waddenzee daarin geen significante trends over de afgelopen 4 decennia (Philippart et al., 2013). De interacties tussen licht en nutriënten en het gebruik door organismen leveren dus een complexe situatie op met vele lokale effecten (Loebl et al., 2009). Vanuit het voorzorgsprincipe is de aanname dat het artificieel vergroten van de troebelheid lokaal een negatief effect kan hebben op de ecologie als gevolg van de toegenomen troebelheid en daarmee het beperken van de primaire productie.

¹⁷ <https://eemsdollard2050.nl/project/pilot-kleirijperij/> geraadpleegd op 25 april 2024.

In de analyse is er vanuit gegaan dat met name de westelijke Waddenzee als gevolg van de aanleg van de Afsluitdijk (en het verdwijnen van zeegras, zie hoofdstuk 11) troebeler is dan in een natuurlijke situatie het geval zou zijn. Daarnaast is de Eems-Dollard troebeler geworden door de disbalans in diepte en breedte als gevolg van de aanleg en verdere verdieping van de vaargeul. Aangezien de effecten van baggeren op de productiviteit nog worden onderzocht en de limiterende factoren van primaire productie verschillen per gebied en over de seizoenen, is de aanname dat het baggeren van sediment in de Waddenzee overall waar het plaatsvindt nog in zekere mate een lokaal effect kan hebben. Op plekken waar veel wordt gebaggerd is de kans groter dat negatieve effecten optreden op de primaire productie. Met name in de Eems-Dollard wordt veel gebaggerd en in mindere mate in het Borndiep (de Wit, 2022). Ook bij bodem-beroerende visserij, die in alle kombergingen behalve Schild plaatsvindt, zijn beperkte lokale effecten.

De beschikbaarheid van licht voor primaire productie in de Eems-Dollard is het slechtst (Baptist & Tamis, 2015). Voedingsstoffen kunnen hier door de primaire producten niet volledig benut worden omdat de lichtinval beperkt is. Hierdoor wordt de onderste laag van het voedselweb sterk gehinderd. Verder geldt voor Borndiep dat vanwege de intensieve baggeractiviteiten mogelijk eerder lokale effecten kunnen optreden door een verhoogde troebelheid. Verder geldt voor alle overige kombergingen dat soms licht de beperkende factor voor de productie is en soms nutriënten of een combinatie van factoren.

De belangrijkste knelpunten voor dit systeemkenmerk zijn

- de belemmerde instroom van voedingstoffen;
- eutrofiëring van zoetwater toevoer;
- de beperkte opslag van voedingstoffen door afname kwelderareaal en zeegravvelden;
- toegenomen troebelheid die de primaire productie hindert.

9.3 Invloed van klimaatverandering

Zeespiegelstijging

Laag dynamische litorale ecotopen zijn belangrijke gebieden voor de groei en productie van benthische algen (Billerbeck et al., 2007) die verantwoordelijk zijn voor 50% van de primaire productie (Baptist et al., 2007). Wanneer deze gebieden kleiner worden kan dit een negatief effect hebben op de primaire productie.

Veranderde neerslagpatronen

Grote hoeveelheden neerslag in de winter en weinig neerslag in de zomer zorgen nu al voor grote verschillen in de zoetwatertoevoer en daarmee de nutriënttoevoer. Bij meer neerslag in de winter kunnen meer voedingstoffen de Waddenzee bereiken via het IJsselmeer en de kusttrivier (Ebbens et al., 2021). In droge zomers zal er als gevolg van een afname in neerslag, maar ook als gevolg van een grotere retentie in verband met de drinkwatervoorziening naar verwachting nog minder gespuid worden. Een afname van zoetwaterinput in de Waddenzee kan er toe leiden dat de voedselbeschikbaarheid voor schelpdieren afneemt omdat die voor een groot deel afhankelijk zijn van zoetwateralgen als voedselbron (Jung et al., 2017). Daarnaast kunnen grote periodes van droogte ervoor zorgen dat de relatieve concentratie meststoffen in zoetwater verder verhoogd, (RIVM, 2021) waardoor in de periodes dat zoetwater nog wel de Waddenzee bereikt, de concentraties opgeloste nutriënten te hoog zullen zijn. Door veranderde neerslagpatronen ten gevolge van klimaatverandering, zal de mate van instroom van voedingstoffen dus sterker gaan fluctueren.

Aantal zonuren

In alle klimaatscenario's zal de zonnestraling in Nederland als gevolg van de klimaatverandering toenemen (Dorland et al., 2023). Door een toename van de zonnestraling kan op die plekken en in die periodes waar en wanneer nutriënten niet limiterend zijn een toename van de primaire productie optreden.

9.4 Streefbeeld

Het streven is dat de Waddenzee een zo natuurlijk mogelijke nutriënthuishouding en -instroom heeft. Een hoog productief systeem met zo min mogelijke menselijke eutrofiëring waar nutriënten op een natuurlijke manier het systeem bereiken via de rivieren en de kusttrivier vanaf de Noordzee. De nutriënt-cyclus is op orde; nutriënten worden opgeslagen in het sediment, de randen van de kwelders en in organismen en komen na een periode van retentie weer ter beschikking aan het systeem door het toelaten van erosie- en sedimentatieprocessen die voor afslag van kwelder- en plaatranden zorgen en door remineralisatie. Dit resulteert in een lange verblijftijd van nutriënten in het systeem, wat bijdraagt aan een robuust en complex voedselweb.

De instroom is zowel absoluut, als verhoudingsgewijs natuurlijk wat betekent dat de ratio tussen Stikstof (N), Fosfor (P) Silicium (Si) natuurlijk is. Een natuurlijke instroom betekent ook dat de instroom van voedingsstoffen door het jaar heen een natuurlijk patroon volgt.

Ecologisch gezien is het streven dat de beschikbaarheid van voedingsstoffen niet wordt verstoord door menselijke ingrepen. Dat betekent dat de primaire productie door fytoplankton niet gehinderd wordt door een verhoogde troebelheid als gevolg van bodemberoering maar dat deze ook niet wordt bevorderd door te hoge concentraties opgeloste nutriënten. Ook andere primaire producenten zoals zeegras, macroalgen en kwelders worden niet negatief gehinderd in de primaire productie. Als gevolg is de basis van het voedselweb robuust.

9.5 Mogelijke maatregelen

Natuurlijk patroon van instroom

Een natuurlijke instroom betekent dat de instroom van voedingsstoffen door het jaar heen een natuurlijk patroon volgt. Dit betekent dat de hoeveelheid zoetwater die het systeem bereikt (en daarmee de voedingsstoffen die dit water meevoert) mag fluctueren¹⁸ maar dat via de grote rivieren vrijwel altijd sprake is van een instroom van nutriënten. Voor de kleinere overgangen, die in een natuurlijke situatie meer kwel- en regenwater gevoed zijn, kan dit betekenen dat er perioden zijn waar niet tot nauwelijks voedingsstoffen afstromen.

Om deze opgave te realiseren kan op grote schaal winst worden behaald door het realiseren van grote overgangen bij het Lauwersmeer en het IJsselmeer. Hier kan bijvoorbeeld worden gedacht aan het verbeteren van de continuïteit van de instroom door het jaar (bijvoorbeeld door ecologisch spui-beheer). Voor de grootschalige overgang van de Eems geldt vooral dat dit open estuarium gekoesterd moet worden (Figuur 9.2).

Vergroten nutriënten retentie in kwelderareaal

Het streven is een Waddenzee waar voedingsstoffen lang in het systeem verblijven en de basis vormen voor een robuust en complex voedselweb. Dit vraagt om grote arealen kwelders die bijdragen aan een natuurlijke retentie van voedingsstoffen en waar processen van aangroei en afslag vrij spel krijgen. Voor Marsdiep, Vlie, Zoutkamperlaag en Eems-Dollard kan veel winst behaald worden door binnendijks ruimte te zoeken waar de processen van sedimentatie en afslag weer vrij spel krijgen (Figuur 9.2).

Ondanks dat het aanleggen van kwelders buitendijks hier in eerste instantie misschien een oplossing lijkt is dit niet het geval. Door een kwelder buitendijks aan te leggen wordt het getijddevolume van de komberging verkleint en gaat de aanleg van het kwelderareaal ten koste van intergetijdengebied. Wanneer dit op grote schaal gebeurt kan op termijn verstelling van de gradiënten optreden wat een nadelig effect heeft op het areaal intergetijdengebied. Een mechanisme dat in de Westerschelde al tot een aanzienlijke verslechtering van de ecologie leidt.

¹⁸ Of de rivier vooral smeltwater of meer regenwater gevoed is, is bepalend voor de watervoerendheid door het jaar heen.

Ook voor de overige kombergingen (met uitzondering van Eilanderbalg en Schild) geldt dat winst behaald kan worden door het areaal kwelders te vergroten, zei het dat in deze kombergingen in verhouding al meer (natuurlijke) kwelders aanwezig zijn. Voor Schild en Eilanderbalg geldt dat de huidige (vrijwel) natuurlijke situatie gekoesterd en beschermd moet worden.

Terugdringen eutrofiëring

Ondanks dat de concentraties opgeloste stoffen al sterk zijn afgenomen in de afgelopen jaren zijn met name de concentraties stikstof in de Waddenzee nog (veel) te hoog. Het is essentieel dat de concentraties opgeloste nutriënten die de Waddenzee bereiken worden teruggebracht. Hierbij kan de KRW maatlat "Opgeloste stikstof" als richtlijn genomen worden. Het rapport van Rönn et al. (2023) geeft een verdere duiding. Terugbrengen van de eutrofiëring dient vooral in het binnenland plaats te vinden waar de eutrofiëring van het zoete water optreedt. Maatregelen door heel Nederland, en in alle landen bovenstrooms, kunnen hieraan bijdragen. Immers al het zoete water stroomt uiteindelijk af naar zee en door de noordwaartse stroming komt een groot deel van al dat water uiteindelijk in de Waddenzee terecht.

Aandacht voor primaire productie

Zoals eerder aangegeven vraagt een primaire productie die een natuurlijk patroon volgt om een reductie van de eutrofiëring maar ook om een vermindering van de artificiële beperking van de lichtinval in delen van het estuarium. De hogere troebelheid als gevolg van de realisatie van de afsluitdijk kan niet worden teruggedraaid. Wel kan zeegrasherstel mogelijk leiden tot een plaatselijke toename in helderheid. Hiervoor moet wel de waterkwaliteit m.b.t. doorzicht en stikstofconcentraties eerst op orde zijn voordat grootschalig herstel mogelijk is (Katwijk et al., 2024). De druk op de primaire productie kan verder worden verminderd door artificiële omwoeling van sediment te verminderen. Door het beperken van het baggeren volgt de primaire productie ook een natuurlijk verloop en wordt deze nergens (extra) gehinderd door het beperken van de lichtinval in de waterkolom.



Figuur 9.2 Mogelijke systeemingenrepen voor realiseren streefbeeld 'hoog productief systeem als basis voor een robuust en complex voedselweb'.

10 De Waddenzee als systeem met landschappelijke kernkwaliteiten

10.1 Achtergrond

Het open landschap, de duisternis, de stilte en de rust zijn belangrijke en unieke waarden van de Waddenzee. De Agenda van het Waddengebied benoemt behoud van deze unieke waarden dan ook als een hoofddoelstelling: “Hoofddoelstelling voor de Waddenzee is ‘een duurzame bescherming en ontwikkeling van de Waddenzee als natuurgebied en het behoud van het unieke open landschap’. Conform de Structuurvisie Waddenzee blijft deze hoofdstelling onverminderd van kracht”. (Ministerie van IenW, 2020). Ook het Natura 2000-Doelendocument van de Waddenzee (Ministerie van LNV, 2006) refereert aan de landschappelijke samenhang en interne compleetheid. Als kernopgave is geformuleerd: “Behoud of herstel ruimtelijke samenhang diep water, kreken, geulen, ondiep water, platen, kwelders of schorren, stranden en bijbehorende sedimentatie- en erosieprocessen. Behoud openheid, rust en donkerte. Voor vogels betekent dit voldoende rust en ruimte om te foerageren en voldoende rustige hoogwatervluchtplaatsen op korte afstand van foerageergebieden in het intergetijdengebied”. Dit echter zonder precieze doelen in termen van te behalen kwaliteit en kwantiteit vast te stellen.

10.2 Huidige situatie

Verstoring van de landschappelijke kernkwaliteiten leidt tot verstoring van het natuurlijke gedrag van organismen. Oorspronkelijk waren verstoringen van natuurlijke aard, zoals een stormvloed of een naderend roofdier. Met het toenemen van de hoeveelheid en intensiteit van de menselijke aanwezigheid met o.a. industrialisatie, mobiliteit en recreatie vindt er in de Waddenzee vrijwel overal meer verstoring plaats. Voor het beoordelen van de huidige situatie voor dit systeemkenmerk is naar vier criteria gekeken.

1. **Stilte** onder- en bovenwater.
2. **Duisternis** als in de afwezigheid van kunstmatige lichtbronnen.
3. **Rust** als in het ontbreken van verstoring.
4. **Openheid** van het landschap

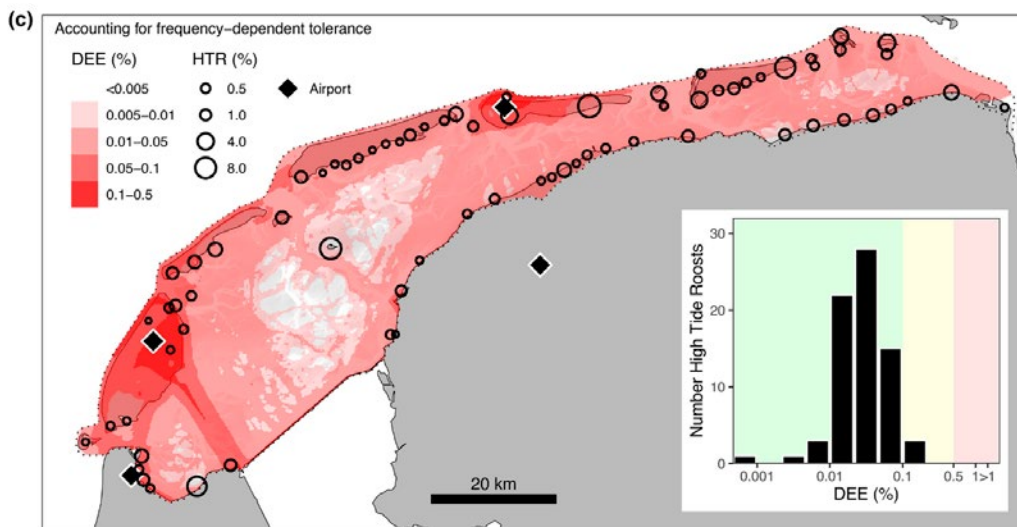
10.2.1 Stilte

Onderwatergeluid is fundamenteel voor het leven in zee. Mariene soorten zoals vissen, zeehonden en bruinvissen nemen geluiden waar en gebruiken die bij hun dagelijkse activiteiten (Baltzer et al., 2020). Via geluiden in hun omgeving vinden zeedieren voedsel en soortgenoten. Ook jagen ze of zoeken ze beschutting met behulp van geluid. Beperkt onderzoek suggereert dat geluid ook de fysiologie, het gedrag en de conditie van zoöplankton kan beïnvloeden (Prosnier, L., 2024). Naast het geluid wat dieren zelf voortbrengen zijn er ook geluiden van hydro-geologische oorsprong, zoals van golven, de branding en brekend ijs.

Geluidsvervuiling boven en onder het water leidt er toe dat natuurlijke geluiden van biologische oorsprong, zoals van zeezoogdieren, vissen en garnalen verstoord worden.¹⁹ De veranderde geluidsomstandigheden onder water (mede veroorzaakt door geluid boven water) hebben een negatieve invloed op mariene soorten en ecosystemen. De effecten kunnen reiken van gehoorschade tot beïnvloeding van het gedrag van zeezoogdieren (Duarte et al., 2021). Dit geldt zeker voor de bruinvis, één van de meest gehoorgevoelige zeezoogdieren,²⁰ die in 2022 binnen Natura 2000 is toegevoegd als habitatrictlijnsoort voor de Waddenzee (Ministerie van LNV, 2022). Er geldt op dit moment een doelstelling tot behoud van de populatie, de omvang en de kwaliteit van het leefgebied.

Boven water kan geluid veroorzaakt door menselijke activiteiten een negatieve invloed hebben op vogels (Krijgsveld et al., 2022) en zeehonden (Allen et al., 1984) door maskering en verstoring. Met name verkeerslawaai, maar ook meer of minder subtiele geluiden van recreatie in natuurgebieden zijn factoren die bijdragen aan verlaagde vogeldiversiteit en broedichtheden. Accumulatie van lawaai leidt tot habitatverslechtering en ieder extra evenement zal bijdragen aan een afname van de lokale vogelpopulatie op langere termijn (Krijgsveld et al. 2022).

Recent onderzoek naar de effecten van vliegtuiglawaai liet zien dat vogels kunnen wennen aan verstoring. Aan de hand van observaties in diverse delen van het Waddengebied aan diverse vliegtuigtypen en vogelsoorten werd vastgesteld dat de kans op verstoring lager is wanneer vliegtuigen frequenter overvliegen (Van der Kolk et al. 2024). Rekening houdend met gewinning is de verstoring van vliegtuigen op overwinterende scholeksters in de Waddenzee redelijk uniform verdeeld, met enkele hotspots bij de vliegvelden van Texel en Ameland (Figuur 10.1).



Figuur 10.1 Verdeling van het percentage extra dagelijkse energiekosten (DEE) voor overwinterende scholeksters over de Waddenzee, gecorrigeerd voor frequentie-afhankelijke tolerantie. Cirkels geven omvang van de hoogwatervluchtplaatsen (HTR). Bron: Van der Kolk et al. (2024).

Alle drie de Waddenprovincies hebben de Waddenzee als stiltegebied aangewezen waarbij bepaalde gedeelten zijn uitgezonderd zoals havens en vliegzones. In principe is het verboden om in een stiltegebied zonder noodzaak zoveel geluid voort te brengen, te doen of te laten voortbrengen dat de heersende natuurlijke rust in dat gebied verstoord wordt. Echter er worden geen concrete criteria benoemd. Overigens geldt het stiltegebied voor geluid boven water en zijn er geen richtlijnen voor onderwatergeluid.

¹⁹ <https://www.universiteitleiden.nl/nieuws/2021/02/geluidsvervuiling-beinvloedt-zeeleven-wereldwijd>, geraadpleegd op 19 april 2024.

²⁰ <https://www.noordzeeloket.nl/functies-gebruik/windenergie/ecologie/wind-zee-ecologisch-programma-wozep/newsletter-wozep/wozep-nieuwsbrief-5/onderwatergeluidniveaus-bruinvis/>, geraadpleegd op 19 april 2024.

Bij het beoordelen van de huidige situatie is een inschatting gemaakt op basis van bovenwatergeluid, omdat er nog maar zeer beperkt gegevens beschikbaar zijn voor onderwatergeluid voor de Waddenzee.²¹ Hierbij is vooral gekeken naar gegevens met betrekking tot scheepvaart en defensie (ontleend aan Heidinga et al. 2023) en mondelinge communicatie van de Waddenunit.

Verstoring van de stilte is vooral gerelateerd aan vaargeulen en dan met name aan het voorkomen van snelle vaartuigen zoals watertaxi's. Daarnaast treedt geluidsoverlast ook op door defensieactiviteiten en door vliegbewegingen van en naar de eilanden en de Noordzee. De stilte is het meest verstoord in Marsdiep, Vlie en Zoutkamperlaag. Hier liggen de belangrijkste vaargeulen (met snelvaren) en vinden defensie activiteiten plaats. De kombergingen Eilanderbalg, Lauwers, Schild en de Dollard lijken aan de landschappelijke kernkwaliteit voor stilte te voldoen.

10.2.2 Duisternis

Veel dieren en planten zijn afhankelijk van zogeheten bioritmen, die bepaald worden door externe fluctuaties zoals getij, springtij, de seizoenen, maar ook de dag- en nachtcyclus. Kunstmatige verlichting verstoort dit zo belangrijke ritme waardoor planten en dieren zich anders gedragen dan van nature. Vogels kunnen tijdens hun trek of tijdens nachtelijke vluchten gedesoriënteerd raken door felle verlichtingsconcentraties. Lichtvervuiling zorgt bij vleermuizen (die beschermd zijn) voor verlies van slaappleaatsen, fragmentatie van habitats, en hoogstwaarschijnlijk, voor een afname van het aantal insecten. Bij vissen is aangetoond dat zelfs lage lichtniveaus voldoende zijn om de productie van vishormonen te verstoren en planktonbewegingen te onderdrukken (Krop-Benesch, 2022).

De schatting is dat er wereldwijd een jaarlijkse toename is van kunstlicht gedurende de nacht met 2 tot 6%. De werkelijke toename kan nog hoger zijn omdat deze data gebaseerd zijn op satellietfoto's waarop LED lampen (met een golflengte minder dan 500nm) niet zichtbaar zijn (Krop-Benesch, 2022). Lichtuitstoot kan afhankelijk van het landschap over grote afstanden worden waargenomen zeker in het Waddengebied wat juist wordt gekenmerkt door zijn openheid. Gelukkig behoort het Waddengebied nog wel tot één van de meest donkere gebieden in ons land en is er veel aandacht voor het versterken van de duisternis. Er zijn zelfs twee Dark Sky Parken; op Terschelling en het Lauwersmeer en er is veel aandacht voor het bevorderen van de duisternis. Zo werken veel partijen aan het verminderen van lichtvervuiling door het aanpassen van armaturen. Er is echter nog wel sprake van verstoring van de duisternis door permanente verlichting bij o.a. veerdammen, havenhoofden, industriële clusters, kassencomplexen en windmolens.

Er gelden voor het Waddengebied op dit moment nog geen eenduidige regels of criteria voor duisternis.

Voor het beoordelen van de huidige situatie is vanuit de Waddenzee richting landzijde en zeezijde gekeken in hoeverre er sprake is van lichtemissie, waarbij gebruik is gemaakt van de Lichtemissie kaarten op basis van satelliet gegevens uit de Atlas Leefomgeving.²² Uit de analyse blijkt dat het Marsdiep en de Eems het minst duister zijn. Hier liggen de belangrijkste industriële clusters (Den Helder en de Eemshaven). Ook Vlie en Borndiep worden gekenmerkt door verstoring van duisternis.

10.2.3 Rust

Rust is te definiëren als het ontbreken van verstoringen. Stilte is apart benoemd omdat dat het ontbreken is van niet-natuurlijke geluiden. Geluidsoverlast kan ook leiden tot verstoring van rust, maar in het algemeen wordt de rust al verstoord bij de aanwezigheid van mensen en hun activiteiten. Het analyse-document basismonitoring Waddenzee "Verstoring natuur in de Waddenzee" (Bos, 2021) beschrijft verstoring als de reactie van een dier op een externe prikkel, waardoor deze tijd en/of energie verliest.

²¹ Middels het JOMOPANS, Interreg VB North Sea Region Programme zijn er wel meer data beschikbaar voor de Noordzee en er is eerste pilot studie uitgevoerd in de Waddenzee <https://open.rijkswaterstaat.nl/open-overheid/onderzoeksrapporten/@261065/pilot-study-underwater-sound-wadden-sea/>

²² <https://www.atlasleefomgeving.nl/kaarten>, geraadpleegd op 9 mei 2024.

Verstoring kan met het oog zichtbare (stoppen met foerageren of vluchten) en met het oog onzichtbare effecten (verhoogde hartslag of veranderende hormoonspiegels door stress) hebben (Krijgsveld et al., 2022). Beide typen effecten zijn een directe reactie op de individuele verstoringbron en hebben op korte termijn meestal weinig meetbare consequenties voor individu of populatie terwijl herhaalde verstoring mogelijk sturend kan zijn voor het lokaal voortbestaan van een soort. In sommige gevallen worden echter wel directe gevolgen verwacht. Dit geldt bijvoorbeeld voor zeehonden die gedurende de zoog- en ruiperiode op zandplaten verblijven en voor vogels die tijdens de rui minder goed kunnen vliegen. Op dat moment is de energiebehoefte groot en zijn rust en hoogwatervluchtplaatsen belangrijke vereisten (Arts & Meininger, 1997). Ook voor trekvogels kan verstoring tot verminderde voedselopname leiden terwijl het juist van cruciaal belang is dat zij binnen korte tijd voldoende energie tanken voor hun verdere trektocht.

Volgend op deze directe reacties kunnen op de langere termijn ook ernstiger indirecte gevolgen optreden, zoals effecten op verspreiding (bijvoorbeeld het vermijden van ‘gevaarlijke plaatsen’) en op reproductie en overleving. Dit heeft uiteindelijk ook effect op de populatiegrootte (Becker et al., 2011). Wanneer reproductie en overleving afnemen, en effecten op populatieniveau optreden, vermindert daarmee de draagkracht van het leefgebied voor die soort, en verslechtert het leefgebied (Krijgsveld et al., 2022).

Verstoring kan worden veroorzaakt door natuurlijke factoren, zoals predatoren of overstromingen, of door mensen. Daartussen bestaat wel een evolutionair verschil: wadvogels zijn aangepast aan verstoring door predatoren, getij en overstromingen (daar zijn ze al generaties op geselecteerd). Verstoring door mensen (en daar hoort ook de gevolgen van de huidige klimaatverandering bij) is evolutionair gezien een nieuw fenomeen waarop de soorten niet zijn aangepast. De aanwezigheid van de mens kan op zichzelf verstorend werken of de verstoring komt door het geluid of licht wat geproduceerd wordt. De mate van verstoring hangt af van de duur, de intensiteit, de frequentie van voorkomen, plaats van optreden en moment (tijd van de dag, seizoen). Zo zal de verstoring door recreatie in het relatief open Waddenlandschap over grote afstanden optreden en voor de vogels die op doortrek aanwezig zijn en daarmee in een kwetsbare jaarfase zitten sneller gevolgen hebben voor hun overlevingskansen (Krijgsveld et al., 2022).

Om de rust van vogels en zeehonden te beschermen zijn bepaalde gebieden in de Waddenzee een deel van het jaar en soms het gehele jaar, verboden terrein voor de mens. Dit worden de ‘artikel 2.5 -gebieden’ genoemd. Als gevolg van de (natuurlijke) dynamiek van het gebied is vrijwel ieder jaar actualisatie en aanpassing noodzakelijk van de begrenzing en de periode van afsluiting van deze gebieden. Wel dient te worden opgemerkt dat veel zeehondenligplaatsen buiten de gesloten gebieden liggen.

De evaluatie van het Natura 2000-Beheerplan (Heidinga et al., 2023) beschrijft dat er signalen zijn dat de recreatiedruk in het Waddengebied de afgelopen jaren is toegenomen alhoewel data veelal ontbreekt om dit goed weer te geven. Het aantal overtochten naar de Waddeneilanden neemt toe, net als de aantallen kitesurfers en de betredingen van hooggelegen platen. Veel recreatieve activiteiten worden echter niet gemonitord.²³ Wel zijn er (incomplete) cijfers beschikbaar over aantallen wadlopers, pleziervaart en uitgevoerde robbentochten en die weerspiegelen deze stijging niet. Waarschijnlijk zit de gestegen recreatiedruk in de losse andere activiteiten zoals aanlandingen op platen etc. Er is dus geen inzicht in de aantallen en verspreiding van menselijke activiteiten (potentiële verstoringbronnen) op het Wad (zowel in ruimte als in tijd). Daarom is het niet mogelijk het cumulatieve effect van verstoring door verschillende vormen van gebruik in de Waddenzee in kaart te brengen. Ook ontbreekt het aan monitoring van de daadwerkelijke verstoring.

In de beschrijving van de leefgebieden wordt er bij het beoordelen van de veiligheid voor zeezoogdieren en vogels (waarvoor rust zeer bepalend is) specifiek gekeken naar de verstoringbronnen voor deze groepen (zie [Hoofdstukken 12](#) en [14](#)).

²³ Rijkswaterstaat werkt aan het opzetten van monitoring.

Voor het analyseren van de landschappelijke kernkwaliteit rust is gekeken naar de verstoring door recreatie en dan met name door de robbentochten, droogvallers,²⁴ het aantal wadlopers en snelboten. Daarnaast is gekeken naar de frequentie van garnalenvisserij, de aanwezigheid van vaargeulen en mosselzaadpercelen die immers ook voor verstoring zorgen. Deze gegevens zijn ontleend aan Heidinga et al. (2023), Glorius (2023) en de Waddenunit (persoonlijke communicatie).

Uit de analyse blijkt dat verstoring het grootste probleem is in het Marsdiep, Vlie en in Zoutkamperlaag. In alle drie zijn vaargeulen en vindt veel garnalenvisserij plaats. In Marsdiep en Vlie bevinden zich ook mosselzaadpercelen. Daarnaast wordt in Vlie de verstoring veroorzaakt door droogvallers en robbentochten en in Zoutkamperlaag door bezoekers aan Engelsmanplaat en Richel. In het Borndiep, Pinkegat en Lauwers is de verstoring minder, maar desondanks nog relatief groot door wadlooptochten (met in Pinkegat ook bezoek aan het Rif). Alleen de Dollard voldoet aan de landschappelijke kernkwaliteit voor rust.

10.2.4 Openheid

De Waddenzee is weids en open en daarmee één van de weinige gebieden in Nederland die zich kenmerkt door een voor Nederlandse begrippen 'openheid' van formaat. Kenmerkend in het gebied zijn de vergezichten zonder enig menselijk object waardoor een onbelemmerde zonsopkomst en zonsondergang zijn te ervaren. Kijkend vanuit de Waddenzee en de Waddeneilanden naar de vastelandkust bepalen met name de contouren van de veelal groene zeevering, kerktorens en menselijke objecten bij de havens de horizon. Kijkend vanaf de vastelandkust naar de Noordzee begrenzen alleen de duinen en vuurtorens van de eilanden de horizon (de Vries, 2017). Hoe men de openheid van een landschap ervaart is niet alleen persoonlijk maar ook tijd- en plaatsgebonden. De perceptie over windmolens lijkt bijvoorbeeld te veranderen als burgers zelf direct profiteren van de opbrengst (de Vries, 2017).

Voor een aantal diersoorten zoals vogels blijkt de openheid van een landschap een belangrijke habitatvereiste (Vliet van der et al., 2016). Ongestoorde ruimte geeft voor dieren de mogelijkheid om over grote afstanden rond te kunnen kijken en eventuele gevaren op tijd op te merken. Ook biedt het organismen de mogelijkheid om zich op natuurlijke wijze te gedragen. Ze kunnen bijvoorbeeld gemakkelijker, en over een directere route, heen en weer gaan tussen (ei)landgebieden en de Waddenzee. Het belang van openheid voor vogelsoorten geldt voor een groot aantal verschillende habitats en voor een verscheidenheid aan levensfasen. Het lijkt erop dat vooral angst voor predatie resulteert in dit gebruik (Vliet van der et al., 2016).

De Agenda voor het Waddengebied 2050 hanteert ruimtelijke vertrekpunten en roept op om de gebieden waar openheid prevaleert ('vensters') te koesteren en de verschillen in rust en ruimte, gradaties in openheid en afwisseling in beleving van landschappen te respecteren. Zo bestaat de vastelandskust van de Waddenzee uit een ritme van stedelijke/economische clusters (Den Helder, Den Oever, Harlingen, Eemshaven en Delfzijl) met hoge bebouwing, boorplatforms en windturbines. Daartussen ligt een landelijke zone met een open horizon die door de zeevering, kerktorens en willekeurig geplaatste solitaire windmolens met een beperkte hoogte wordt bepaald. Lauwersoog met sluis en haven kan als een kleiner cluster worden gezien.

Het Compendium voor de Leefomgeving²⁵ geeft een overzicht van de openheid van het landschap. De mate van openheid van het landschap wordt bepaald door het wel of niet voorkomen van elementen hoger dan ooghoogte in de wijde omgeving: hellingen, opgaande begroeiing zoals bos, singels en houtwallen, en bebouwing van steden, dorpen en woningen en bedrijven. Het compendium laat voor het monitoringsjaar 2018 zien hoeveel hectare te overzien is vanuit een bepaalde plek; hoe groter het aantal hectares dat is te overzien, hoe groter de openheid.²⁶

²⁴ Boten die tijdens eb droogvallen op de wadplaten.

²⁵ Zie <https://www.clo.nl/indicatoren/nh02206-openheid-landschap>.

²⁶ <https://clo.nl/indicatoren/nh02206-openheid-landschap> geraadpleegd op 9 mei 2024.

De openheid is vanaf de Waddenzee bekeken. De inschatting op kombergingsniveau is voornamelijk gemaakt op basis van de kaart van het Compendium voor de Leefomgeving gecombineerd met de aanwezigheid van windmolens. De openheid is het meest aangetast in het Marsdiep en de Eems door windmolens en bebouwing. Die windmolens zijn vrijwel afwezig in het Vlie en Borndiep, maar toch is hier ook relatief veel bebouwing, waardoor deze kombergingen ook niet optimaal scoren op dit criterium. Het Eijerlandse Gat, Pinkegat en de Dollard kennen nog de grootste openheid.

Op dit moment komen de landschappelijke kernkwaliteiten rust, stilte, duisternis en openheid nog onvoldoende tot uiting in het Waddengebied. Belangrijkste oorzaken zijn

- geluidsverstoring door snelvaren en defensieactiviteiten;
- lichtvervuiling door havens en industrieclusters;
- verstoring door recreatie (door o.a. toenemende commerciële recreatievaart, wandelaars), vaarbewegingen, bagger, aanleg en onderhoudsactiviteiten.

10.3 Invloed van klimaatverandering

De verwachting is dat tot 2050 de invloed van klimaatverandering op de landschappelijke kernkwaliteiten beperkt zal zijn. Wel zullen juist om verdere klimaatverandering tegen te gaan, het aantal windmolens op het vasteland en de Noordzee toenemen wat de openheid beperkt en mogelijk de duisternis zal doen afnemen. Dit en de andere vormen van energie opwekking, baggerwerkzaamheden en verhoging van dijken, brengt onderhoud met zich mee hetgeen ook een negatief effect heeft op de rust in een gebied.

10.4 Streefbeeld

Het streven is een rustige, stille Waddenzee, met nachtelijke donkerte en weidse vergezichten. Waar de openheid is gegarandeerd door het behoud van de bestaande 'open vensters'. De Waddenzee heeft een hemelhelderheid van 21,2 magnitudes per square arc second. Er is meer rust en minstens 80% van het gebied wordt niet bloot gesteld aan continu onderwatergeluid (mediaanniveau SPL onder de 90 dB (re. 1 μ Pa)). Per jaar is er in minimaal 90% van het habitat geen impuls-onderwatergeluid en het bovenwatergeluid is minder dan 40 dB(A).

De Tweede Kamer motie Dik-Faber en de Groot (Kamerstuk 35 570, 93, 2020) vroeg om de kernwaarden rust, ruimte en stilte uit te werken in criteria, zodat een duidelijk afwegingskader ontstaat. Tot op heden zijn die kwantitatieve criteria voor streefwaarden voor deze verschillende kernkwaliteiten er nog niet. Voor dit streefbeeld is hier een eerste poging gedaan om streefwaardes te benoemen gebruikmakend van andere kaders.

Zo heeft de EU voor onderwatergeluid bepaald, dat niet meer dan 20 procent van een marien gebied mag worden blootgesteld aan continu onderwatergeluid (door met name de scheepvaart). Voor impuls onderwatergeluid geldt dat per dag maximaal 20 procent van een marien habitat mag worden blootgesteld aan impuls-onderwatergeluid. Ook is er een maximum van 10 procent voor een heel jaar (op basis van een berekening van de gemiddelde blootstelling).²⁷ Deze drempelwaarden zijn ontwikkeld in verband met de Kaderrichtlijn Mariene (KRM) strategie. Hoewel de Waddenzee anders is van karakter, is door het ontbreken van enig ander kader, gekozen voor aansluiting bij deze uitgangspunten. Een vaker voorkomende normering in stiltegebieden is dat bovengronds geluid niet luider mag zijn dan 40 db.

De International Dark Sky Association (IDA) hanteert verschillende richtlijnen. Voor Dark Sky Parken gaan zij uit van een kerngebied waar de hemelhelderheid (een maat voor hoe donker het is) gelijk is aan of donkerder is dan magnitude 21,2 per vierkant boogseconde (magnitudes per square arc second).

²⁷ [EU beperkt onderwatergeluid in zee \(hzowaternetwerk.nl\)](https://www.hzowaternetwerk.nl) geraadpleegd op 26 april 2024.

Alhoewel de gehele Waddenzee geen Dark Sky Park is (mariene gebieden worden tot nu toe niet als Dark Sky Park aangewezen) lijkt dit een redelijk criterium om te gebruiken voor de kern van de Waddenzee analoog aan de aanpak van de IDA Dark Sky parken.

10.5 Mogelijke maatregelen

Landschappelijke kernkwaliteiten behouden

Om deze opgave te realiseren is het nodig om in de vier relatief goed scorende kombergingen Eilanderbalg, Lauwers, Schild en Dollard te 'behouden wat er is en potentiële verslechtingen' tegen te gaan (Figuur 10.2).

Versterken stilte

In de kombergingen Marsdiep, Vlie en Zoutkamperlaag is het gewenst om meer stilte in het gebied terug te brengen (Figuur 10.2). In mindere mate geldt dit ook voor de Eems. Dit kan met name door vlieg- en vaarbewegingen en vaarsnelheid zoveel mogelijk te beperken, zodat de geluidsoverlast zoveel mogelijk wordt geminimaliseerd.

Versterken duisternis

Het gaat hier vooral om het Marsdiep en de Eems waar lichtvervuiling is door industriële clusters en windmolens (Figuur 10.2). Ook in de Zoutkamperlaag speelt lichtvervuiling een rol. Het is van belang om in deze gebieden de verlichting aan te passen, zodat de oorspronkelijke duisternis weer terug keert in het gebied. Mogelijk kan aanpassing van de armaturen en van de kleursamenstelling van het licht voldoende zijn om specifieke diergroepen te beschermen.

Versterken rust

Met name in de kombergingen Marsdiep, Vlie en Zoutkamperlaag zou de rust kunnen worden vergroot, door verstoring door recreatie en vaarbeweging (met o.a. snelvaren) te verminderen (Figuur 10.2). Dit geldt in mindere mate ook voor het Borndiep, Pinkegat en het Lauwers.



Figuur 10.2 Mogelijke maatregelen voor realiseren streefbeeld 'landschappelijke kernkwaliteiten'.

11 De Waddenzee als leefgebied voor biobouwers en biobrekers

11.1 Achtergrond

Diatomeeën-matten, zeegras, schelpdierbanken, kokerwormen, en pionier-kweldervegetatie behoren in de Waddenzee tot de groep van biobouwers. Deze groep van structuurbouwende organismen zijn zeer belangrijk voor de biodiversiteit van de Waddenzee. In het algemeen leiden ze tot extra netto sedimentatie, doordat ze de stroomsnelheid veranderen en, na depositie, de bodem minder gevoelig maken voor erosie en de waterkwaliteit verbeteren. Ze bieden vestigingssubstraat, schuilmogelijkheden, voortplantingshabitat en foerageermogelijkheden voor verschillende soorten. Zeegras en platte oesterriffen functioneren bijvoorbeeld als kraamkamer voor vis. Schelpkokerwormen zorgen voor bescherming van o.a. (plat)vis en macrofauna soorten en zijn de basis voor de vestiging van schelpdieren. Biobouwers zijn zelf ook een belangrijk onderdeel van het voedselweb. Onderwater zijn mosselen voedsel voor duikeenden en zeesterren en op droogvallende platen zijn mosselen voedsel voor vissen, krabben, garnalen en vogels. Schelpdierbanken dragen via hun feces bij aan een versnelde recycling van nutriënten. Doordat biobouwers zoveel verschillende functies vervullen, zijn ze kenmerkend voor een hoge biodiversiteit (Dekker & Drent, 2013; Troost et al., 2023) en daarmee dus ook voor de robuustheid van het ecosysteem (Levin & Lubchenko, 2008; Worm et al., 2006). Mosselen, schelpkokerwormen, ondergedoken groot zeegras en platte oesters zijn aangewezen als gidsoorten voor de zoute- en overgangswateren (Dulfer, 2023).

Daarnaast zijn er ook organismen die bekend staan als biobrekers. Zij zorgen dat de bodem wordt omgewoeld, zodat deze gevoeliger wordt voor erosie en sedimenttransport. Dat kan van belang zijn voor het verder transporteren van sediment in de Waddenzee die -ruwweg- werkt als een transportband voor sediment in de richting van de kusten en wantijen. Daaronder vallen deposit feeders zoals bepaalde schelpdieren (bijvoorbeeld de platte slijkgaper) en wormen (bijvoorbeeld de wadpier) die het sediment door hun spijsverteringssysteem voeren om er voedsel uit te halen. Maar ook wormen en krabben die in het sediment op jacht zijn naar voedsel woelen het sediment om. Diverse vogelsoorten, vissen en zeehonden staan ook bekend om hun bodem-omwoelende activiteiten, maar worden vaak niet gerekend tot de biobrekers. Vaak zijn biobrekers opportunistische soorten met een grote voortplantingssnelheid. Ze zijn beter aangepast aan wisselende omstandigheden, die stressvolle gebieden gemakkelijk kunnen bevolken. Doordat er op een aantal plaatsen bodemverstoring plaats vindt wordt vermoedelijk hun areaal kunstmatig vergroot (Piersma et al., 2001; Kraan et al., 2004; Rippen et al., 2020).

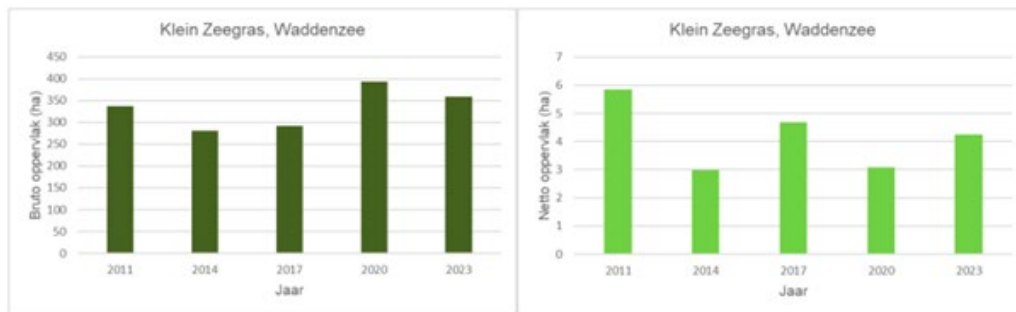
11.2 Huidige situatie

Een eeuw geleden waren biobouwer-structuren overall in de Waddenzee aanwezig: diatomeeën-matten, oesterbanken, zandkokerwormen (zand koraal), zeemos, mosselbedden en zeegrasvelden kwamen veelvuldig voor (Lotze, 2005). Gedurende de 20ste eeuw zijn veel van deze biobouwende soorten geëxploiteerd, vernietigd of hebben indirecte negatieve effecten ondervonden van de visserij (Michaelis & Reise, 1994 in Lotze et al., 2005), waardoor ook veel geassocieerde soorten verdwenen zijn (Reise et al., 1989). Hieronder worden de trends en de huidige situatie beschreven voor structuurvormende soorten die nog wel in meer of mindere mate in de Waddenzee voorkomen.

Zeegras

Zeegrasvelden zorgen voor een afremming van de waterbeweging, stabiliseren het sediment en zijn een zeer belangrijk habitat voor diverse biota, zoals zeenaalden (van Beek et al., 2021; Peletier & Janssen, 2004). In de historische Waddenzee kwamen zeegrasvelden in grote mate (met name in de westelijke Waddenzee) voor, waarbij de historische omvang van de sublitorale groot zeegrasvelden in de westelijke Waddenzee wordt geschat op 6.000-15.000 ha (van Katwijk, 2000; Wanink & van der Graaf, 2008). Door de wierziekte en de aanleg van de Afsluitdijk in de jaren '30 van de 20^{ste} eeuw zijn de populaties echter enorm afgenomen. Door het verdwijnen van de sublitorale zeegrasvelden, verdween ook de zeestekelbaars, eens een veelvoorkomende soort in de Waddenzee (Tamis & Baptist, 2024).

In het intergetijdengebied wordt zeegras vanaf 2011 om de drie jaar gemonitord waarbij er een onderscheid wordt gemaakt tussen bruto en netto areaal.²⁸ Na een toenemende trend in de jaren 2014-2017, laat klein zeegras in het jaar 2023 weer een afname zien (Figuur 11.1). Met uitzondering van Griend, is het bruto areaal in alle gebieden in de Waddenzee geslonken. Het netto-areaal klein zeegras kent in de Waddenzee een fluctuerende trend (Figuur 11.1). In 2023 is vooral de bedekkingsgraad langs de Groningse kust toegenomen. In 2023 is alleen klein zeegras in de kombergingen Vlie en Lauwers aangetroffen.



Figuur 11.1 Totaal areaal van Klein zeegras (afbeelding links: bruto oppervlakte en afbeelding rechts: netto oppervlakte in de gehele Waddenzee (Bron: Den Oever et al., 2023a).

Groot zeegras laat in 2020 een afname zien ten opzichte van 2017, maar is in 2023 weer sterk toegenomen, naar een bruto areaal van 96,6 ha en een netto areaal van 0,95 ha. Groot zeegras is met name aangetroffen bij Griend in het Vlie (82,4 ha bruto) en op de zandplaat Hond-Paap in de Eems-Dollard (13,68 ha). Hieruit blijkt dat de herstelproeven bij Griend succesvol zijn. In totaal is er over de gehele Waddenzee 1,6 ha groot zeegras met een bedekkingsgraad >5% waargenomen (den Oever et al., 2023b).

Schelpdierriffen

Schelpdierriffen gevormd door platte oesters, Japanse oesters en/of mosselbanken zorgen voor een afremming van de waterbeweging en stabiliseren het sediment. Door hun filtratie van slib uit het water en de depositie in de vorm van feces en pseudofeces, komt er ter plekke en in de omgeving veel slibrijk sediment tot bezinking. De structuren vormen een habitat voor diverse biota (van Beek et al., 2021).

Litorale mosselbanken zijn een belangrijke voedselbron voor vogels en schaaldieren. Sublitorale mosselbanken zijn daarnaast een belangrijke voedselbron voor vissen en duikende vogels. Mosselen hebben te maken gehad met overbevissing (Michaelis & Reise, 1994 in Lotze, 2005). Populaties op ondergedoken en droogvallende platen zijn sinds de jaren '70 enorm afgenomen (Lotze, 2005).

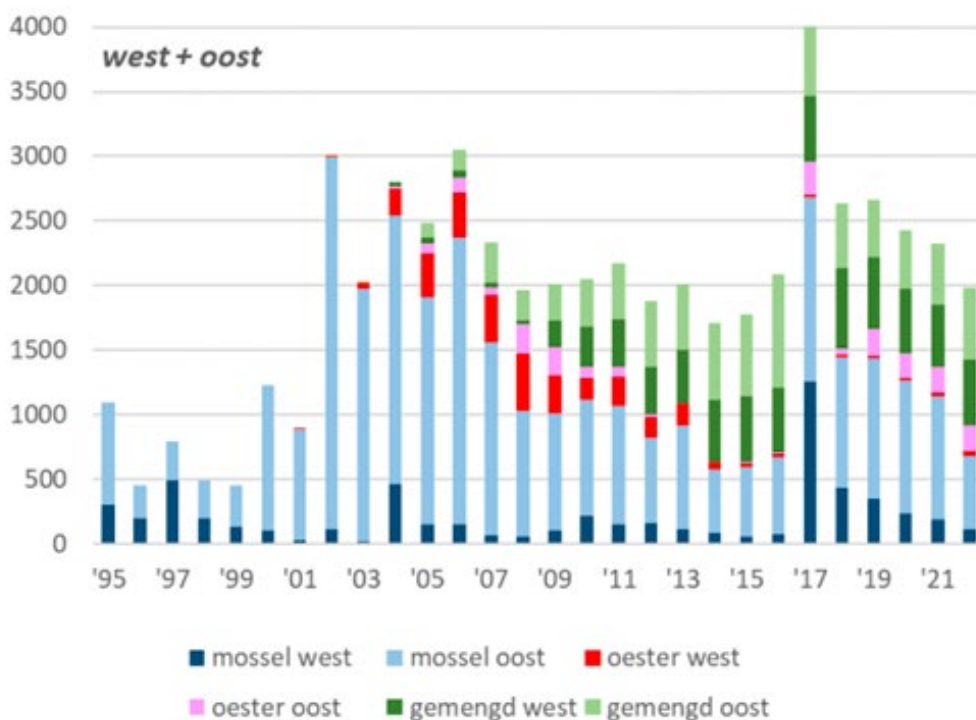
In de historische Waddenzee kwamen platte oesters veelvuldig in de internationale Waddenzee voor (Lotze, 2005; Wolff, 2005). Platte oesters zijn eeuwenlang overbevist, maar hebben ook te kampen gehad met ziektes en strenge winters (Drinkwaard, 1999), waardoor platte oesterriffen na 1950 verdwenen

²⁸ Voor de berekening van het bruto areaal zijn alle 20 x 20 m rastercellen (0,04 ha) waar een bedekking is gevonden (> 0%) geteld. Voor de berekening van het netto areaal is het oppervlak van een rastercel vermenigvuldigd met bijbehorende klassenmidden (bedekkingsgraad %) van de betreffende rastercel.

(Troost, 2010). Momenteel zijn er in de Waddenzee, op een kleine populatie na, geen platte oesters meer (Didderen et al., 2022).

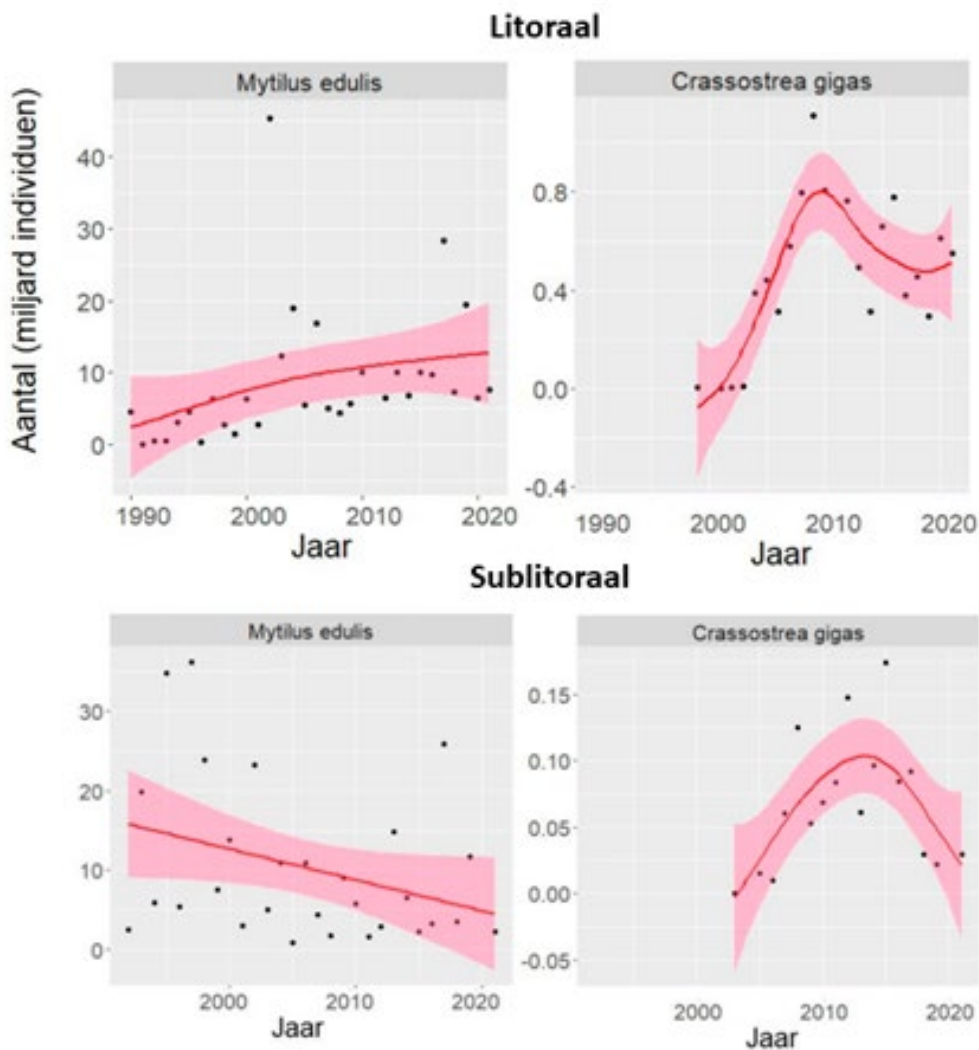
Na het verdwijnen van de platte oester heeft de Japanse oester, een exoot, zich gevestigd in de Waddenzee. Van deze soort werd gedacht dat de watertemperaturen in de Nederlandse Waddenzee te laag waren voor de voortplanting, maar de eerste natuurlijke broedvallen eind jaren '70/begin jaren '80 zorgden voor de komst van de eerste Japanse oesterbedden in de Waddenzee (Drinkwaard, 1999; Troost, 2010). De Japanse oester heeft blijk gegeven van een grote flexibiliteit: ze komt voor vastgehecht aan stenen in het litoraal en sublitoraal, als losse exemplaren of riffen op zand en als langgerekte exemplaren in slib. Ze leven in zoutgehalten van 20 tot 35‰ en watertemperaturen van -1,8 tot 35 °C.

Trends naar het voorkomen staan beschreven in Troost et al. (2023) en zijn hieronder kort samengevat. Op droogvallende platen is in 2022 een totaal van 1979 ha schelpdierbanken aangetroffen, waarvan ongeveer 676 ha pure mosselbanken, 238 ha pure oesterbanken en 1065 ha gemengde banken (Figuur 11.2). Het areaal droogvallende mosselbanken is in de oostelijke Waddenzee (560 ha) bijna vijf keer zo hoog als in de westelijke Waddenzee (116 ha). Pure oesterbanken komen ook meer voor in het oostelijk deel (192 ha) in vergelijking tot het westen (47 ha), maar het verschil is niet zo groot als bij mosselen. Gemengde oesterbanken en gemengde mosselbanken komen in beide delen van de Waddenzee voor en de verschillen in arealen zijn niet groot: voor beide typen banken 20 ha meer in de oostelijke Waddenzee.



Figuur 11.2 Ontwikkeling van het areaal schelpdierbanken (in ha) op droogvallende platen in de westelijke en oostelijke Waddenzee tezamen (Bron: Troost et al., 2022).

Op droogvallende platen tonen mosselen in het oostelijk deel van de Waddenzee dezelfde ontwikkeling als de bank-arealen: een plotselinge sprong rond 2000 naar een relatief hoger bestand (Figuur 11.3). In het westelijk deel is een stijgende trend te zien. De Japanse oester lijkt zijn maximum te hebben bereikt rond 2009, zowel in het oostelijke als westelijk deel waar de soort meer voorkomt (Figuur 11.3). Sublitoraal laat het mosselbestand een langjarige afname in aantallen zien (Figuur 11.3). Troost et al. (2023) wijten dit aan het minder frequent optreden van zeer omvangrijke broedvallen qua aantallen individuen. De trend in mosselbiomassa laat echter geen langjarige afname zien. In het sublitoraal is de Japanse oester na een sterke toename tussen ongeveer 2000-2010 ook over zijn piek heen.



Figuur 11.3 Trends van mosselen (*Mytilus edulis*) en de Japanse oester (*Crassostrea gigas*) op droogvallende platen (litoraal) en ondergedoken platen (sublitoraal) in de gehele Waddenzee, berekend over de geschatte populatie-omvang (het 'bestand') uitgedrukt als het aantal (miljard) individuen (Bron: Troost et al., 2023).

Kokerwormen

Zandkokerwormen zijn rifvormende soorten die kunnen zorgen voor een afremming van de waterbeweging, het sediment stabiliseren en habitat voor diverse biota vormen, o.a. een paaiplaats voor platvis (Rabaut et al., 2013). Zandkokerwormen (ook wel zandkoraal genoemd) kwamen in de historische Waddenzee veelvuldig voor in de geulen van de Noord Friese Waddenzee in Duitsland,, maar nu is er nauwelijks iets van deze soort in de Waddenzee overgebleven door bodemberoerende activiteiten (Michaelis & Reise, 1994 in Lotze, 2005). De soort komt nog wel voor in de Waddenzee, al worden in het Nederlandse deel tegenwoordig slechts sporadisch levende individuen gevonden in de kombergingen Marsdiep (in 2008), Vlie (in 2019), Eilanderbalg (1970) en Eems-Dollard (1952) (Baptist et al., 2024). In het Nederlandse deel van de Waddenzee kan deze soort als uitgestorven worden beschouwd, al is het niet zeker of deze soort ooit als rifvormend organisme in de Nederlandse Waddenzee aanwezig is geweest (Ssymank & Dankers, 1996; Baptist et al., 2024).

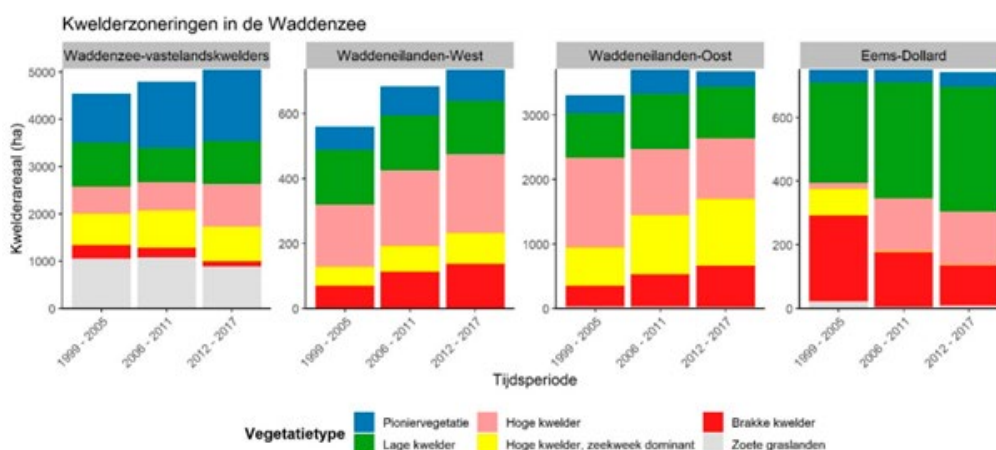
Schelpkokerwormen komen veelvuldig in het sublitorale deel en op laag litorale zandplaten van de Waddenzee voor (Peletier & Janssen, 2004; Ricklefs et al., 2022) en wordt in alle kombergingen aangetroffen (Compton et al., 2013; Holthuijsen, 2019, Ricklefs et al., 2022). Schelpkokerwormen zijn ook stapelvoedsel voor wadvogels en meeuwen (Dulfer, 2023). In de periode 1990-2022, is de trend in schelpkokerwormen met 13,8% (met een 95% betrouwbaarheidsinterval van 27,05%) toegenomen

(Bogaart et al., 2024). Ook op korte termijn (vanaf 2010) vond een sterke toename plaats van 14,1% ($\pm 27,64\%$) (Bogaart et al., 2024).

Pionier kweldervegetatie

De pionierskwelder is de meest lage zone van de kwelder. De pionierzone bevat slechts beperkt vegetatie. Door een dicht net van wortelstokken heeft met name Engels slijkgras een sediment stabiliserende functie (Meyer et al., 1997). Zeekraal en Engels slijkgras vormen een leefgebied voor Waddenzeesoorten (zeeduizendpoten, wadslakjes, jonge strandkrabben), maar ook voor landsoorten (wantsen, vliegen, kleine vlindersoorten), die leven op zeekraal (Ministerie van IenM & Rijkswaterstaat, 2016). Hierdoor is het gebied van groot belang voor foeragerende vogels als wintertalingen, wilde eenden en pijlstaarten die leven van deze prooidieren, maar ook van zaden van de pioniervegetatie (Ministerie van IenM & Rijkswaterstaat, 2016).

Trends in kweldervegetatie (incl. pionierzone) op basis van de VEGWAD-kartering over de periode 1999-2017 staan beschreven in Elschot et al. (2020) en zijn weergegeven in Figuur 11.4. Op de vastelandskwelders is het areaal aan pioniervegetatie het grootst en in de afgelopen twintig jaar toegenomen (Figuur 11.4). Hier valt echter ook 'secundaire pioniervegetatie' onder dat zich ontwikkelt op lage kwelder door bijvoorbeeld een combinatie van vernatting van de kwelder en vertrapping door vee (Elschot et al., 2020). Als er puur wordt gekeken naar de pionierzone die grenst aan het wad en de vastelandskust, is deze zone de afgelopen twaalf jaar ongeveer gelijk gebleven met een oppervlakte van 1000 ha. Op de eilanden en in de Eems-Dollard lijkt het areaal pioniervegetatie gelijk gebleven.



Figuur 11.4 Overzicht van het voorkomen van de verschillende vegetatietypes (in hectares) voor de verschillende deelgebieden in de Waddenzee, gebaseerd op de vegetatieclassificatie TMAP (Petersen et al. 2014). (Bron: Elschot et al., 2020).

Om de huidige situatie voor biobouwers en biobrekers te beoordelen, zijn er vier criteria onderscheiden.

1. **Voedsel** voor mosselbanken, oesterriffen en kokerwormen.
2. **Veiligheid** in relatie tot bodemberoerende activiteiten
3. **Vestigingshabitat**: de (a)biotische condities die nodig zijn om ergens te vestigen.
4. **Verbinding** tussen populaties.

11.2.1 Voedsel

Oesters, mosselen, zwaardschedes en schelpkokerwormen leven in de Waddenzee voornamelijk van fytoplankton, de algen die ze filteren uit de waterkolom. Over het algemeen is er in estuaria een sterke relatie tussen de jaarlijkse fytoplankton productie en de biomassa van grotere dieren (macrobenthos) die op de wadplaten leven, wat ook voor de Waddenzee en Eems-Dollard het geval is (Kemp et al., 2005). Naast fytoplankton eten deze biobouwers ook wel eens microfyto-benthos, de microalgen die leven op de wadplaten en slikken (Christianen et al., 2017). De bijdrage van elk van deze primaire

producenten is afhankelijk van de waterdiepte, waarbij het microfytobenthos belangrijker is in ondieper water (Ebenhöh et al., 2004).

Uit Bogaart et al. (2024) blijkt dat fytoplankton sinds de jaren '90 significant is afgenomen,²⁹ met uitzondering van het Huijbertgat (zeegat van de Eems-Dollard), waar de concentratie chlorofyl-A toeneemt. Toch zijn de fytoplankton concentraties in alle waterlichamen binnen de Waddenzee en Eems-Dollard nog te hoog volgens de maatlaten zoals die binnen de KRW zijn bepaald (Ministerie van IenW, 2023; Bogaart et al., 2024). Vooral de meetpunten in het Borndiep en Lauwers scoren slechter dan de overige meetpunten in de KRW-beoordeling.

Door Riegman (2014) zijn er verschillen tussen de westelijke en oostelijke Waddenzee waargenomen, die vooral verband houden met het verschil in slibgehalte. De westelijke Waddenzee is dieper, maar doordat het minder slib bevat is er meer licht beschikbaar voor algengroei. Hier is vooral 's zomers sprake van nutriënt gelimiteerde primaire productie, waardoor een verdere reductie in nutriëntentoevoer zal leiden tot een lagere primaire productie. De oostelijke Waddenzee is daarentegen veel slibrijker, waardoor de invloed van schommelingen in de beschikbaarheid van nutriënten veel kleiner is.

Menselijke activiteiten kunnen de mate van primaire productie, en dus het voedsel van biobouwers, op verschillende manieren beïnvloeden. De primaire productie wordt bepaald door de beschikbare hoeveelheid licht in de waterkolom en de beschikbaarheid van nutriënten (Kromkamp & Philippart, 2015). De nutriëntenconcentratie in de Waddenzee wordt bepaald door de intensiteit van de landbouw en lozingen van huishoudelijk en industrieel afvalwater die via de rivieren in de Waddenzee binnenkomt (van der Veer et al., 1989). Hoofdstuk 9 geeft aan dat de instroom van nutriënten het hoogst is in de kombergingen Vlie, Marsdiep en Eems-Dollard, terwijl de kombergingen die niet grenzen aan de vastelandskust logischerwijs de minste nutriënten ontvangen.

Het slibgehalte bepaalt de hoeveelheid licht in de waterkolom en heeft grote invloed op de primaire productie (Riegman, 2014). Menselijke activiteiten die lokaal een verhogend effect kunnen hebben op het slibgehalte door het veroorzaken van vertroebeling zijn bodemberoerende activiteiten als baggeren en verspreiden van bagger, mosselzaadvisserij en mosselpercelen, schelpdierwinning, garnalenvisserij en zandsuppleties (Riegman, 2014; Christianen et al., 2017; Heidinga et al., 2023). Omdat deze activiteiten ook de veiligheid voor biobouwers kunnen beïnvloeden worden deze behandeld onder het kopje 'veiligheid'. De primaire productie kan ook direct beïnvloed worden door mosselen in mosselweekpercelen in het Marsdiep en het Vlie, die concurreren om hetzelfde voedsel.

11.2.2 Veiligheid

Predatie en bodemberoerende activiteiten vormen de grootste bedreiging voor biobouwers. Nadat schelpdierlarven gesetteld zijn, is predatie door garnalen, zeesterren en krabben een belangrijke sterftefactor (van der Veer et al., 1998; Weerman et al., 2014; Agüera et al., 2020). Garnalen komen in de periode 2017-2021 algemeen voor in de Waddenzee,³⁰ terwijl krabben vooral voor kwamen in het zeegat van de Lauwers, Marsdiep, Borndiep en Eilanderbalg.³¹ In deze periode kwamen in de kombergingen Schild en Eems-Dollard de minste krabben voor. Zeesterren worden alleen in het sublitoraal van de westelijke Waddenzee gemonitord, waar ze wijdverspreid worden waargenomen.³² Bij een lage saliniteit neemt de abundantie van zeesterren af, waardoor er waarschijnlijk minder predatie is van zeesterren op sublitorale mosselen in brakke gebieden (Troost et al., 2023). Ook verschillende vogels prederen op schelpdieren (zie [hoofdstuk 11](#)).

²⁹ Fytoplankton wordt niet op kombergingsniveau in de Waddenzee gemonitord. Wel worden chlorofyl-A concentraties, als indicator van fytoplankton abundantie, vanaf 1990 op meerdere locaties 1 à 2 maal per maand bemonsterd in het MWTL-meetprogramma met één meetpunt in het Marsdiep, Borndiep en de Lauwers en drie in de Eems-Dollard. Ook worden chlorofyl-A concentraties gemonitord in het Marsdiep, bij het NIOZ.

³⁰ Zie Waddenviewer – Basismonitoring, <https://viewer.openeearth.nl/wadden-viewer/>.

³¹ Zie Schelpdiermonitor van Wageningen University & Research, <https://www.wur.nl/nl/artikel/Schelpdiermonitor.htm>.

³² Zie Schelpdiermonitor van Wageningen University & Research, <https://www.wur.nl/nl/artikel/Schelpdiermonitor.htm>.

Een menselijke drukfactor zijn bodemberoerende activiteiten als visserij, baggeren, het leggen en onderhouden van kabels en leidingen, delfstof- en schelpdierwinning. Deze activiteiten kunnen zorgen voor vertroebeling, omwoeling, bedelving en/of vernietiging van het substraat waar biobouwers op groeien. Sublitorale schelpdierbanken en kokerwormriffen zijn hoog kwetsbare (sensitieve en langzaam herstellende) soorten, waar bodemberoerende activiteiten een grote negatieve impact op kunnen hebben (Rippen et al., 2020).

Garnalenvisserij vindt overal in de Waddenzee plaats, maar is in de kombergingen Marsdiep, Vlie en Zoutkamperlaag het meest intens (Glorius, 2023). Daarbij wordt er voornamelijk in de hoogdynamische sublitorale geulen gevist en bijna niet in de laagdynamische sublitorale platen. Het is waarschijnlijk dat bij de laatste de impact langduriger merkbaar is.

Mosselvisserij op droogvallende platen is verboden in de gehele Nederlandse Waddenzee. Sinds 2014 is een groot deel van het sublitoraal voor mosselvisserij gesloten, maar mosselvisserij vindt nog wel plaats in de bevisbare gebieden in het Marsdiep en Vlie, waar ook de kweekpercelen liggen (Heidinga et al., 2023). Het Schild is de enige komberging die volledig is afgesloten voor visserij.

Relatief ten opzichte van de grootte van het gebied zijn baggerwerkzaamheden vooral substantieel in de Eems-Dollard en in het Borndiep. Daarnaast wordt ook lokaal gebaggerd in het Marsdiep, Vlie, Borndiep en Zoutkamperlaag. In de genoemde kombergingsgebieden liggen ook de meeste verspreidingslocaties voor bagger uit de geulen en havens (Rippen et al., 2020). In de geulen van kombergingen en buitendelta's van het Marsdiep, Vlie en de Zoutkamperlaag liggen schelpenwinningslocaties. De bedoeling is dat de groei van nieuwe schelpen de schelpenwinning moet compenseren. Morfologisch wordt de hersteltijd geschat op enkele maanden voor teruggestort sediment tot ruim een half jaar voor de winput. Sterfte van bodemdieren door opzuiging of bedekking is vooral belangrijk voor de sessiele bodemdieren. Herstel neemt enkele maanden tot enkele jaren in beslag. Over de effecten van winning van deze harde substraten is nog veel onbekend (Rippen et al., 2020). Een bijeffect kan zijn dat verwijdering van kalk met de schelpen, de Waddenzee gevoeliger zou kunnen maken voor verzuring door de toenemende CO₂ druk. Hoewel verzuring van de Noordzee wel optreedt, is dat in de Waddenzee tot nog toe vrij beperkt gebleven, vermoedelijk o.a. onder invloed van biogeochemische processen gerelateerd aan de algenbloei (Provoost et al., 2010). Daarnaast mag vermoed worden dat de grote hoeveelheid kalk in het Waddensediment ervoor zorgt dat de verzuring deels wordt tegengegaan.

Zandsuppleties worden over het algemeen toegepast voor de handhaving van de basiskustlijn. In de huidige situatie met een stijgende zeespiegel 'slijt' het zand van de kust zonder maatregelen geleidelijk weg en wordt het via de zeegaten naar binnen gevoerd. Dit zou leiden tot een gemiddelde lange termijn achteruitgang van 1 à 2 m/jaar. Door suppleties wordt de normale 'slijtage' van de zandige kust gekeerd via het toevoegen van extra zand. Dit gebeurt grotendeels aan de Noordzezijde. Het aangebrachte sediment hoort van een vergelijkbare korrelgrootteverdeling te zijn als het origineel aanwezige sediment. Bij erosie wordt dit sediment gesorteerd onder invloed van water- en wind-transport. Op slechts enkele plaatsen valt de basiskustlijn binnen de Waddenzee, zoals bijvoorbeeld op de westkop van Ameland en wordt dus gesuppleerd in de Waddenzee. Vaak betreft het steile hoog energetische kustprofielen waardoor verwacht mag worden dat de schade door sedimentbedekking relatief klein is. Soms wordt ook gesuppleerd voor natuurdoelen, zoals de Prins Hendrik Zanddijk en Griend (Rippen et al., 2020). Over de invloed van dit 'geknutsel' aan de natuur loopt momenteel veel onderzoek en discussie.

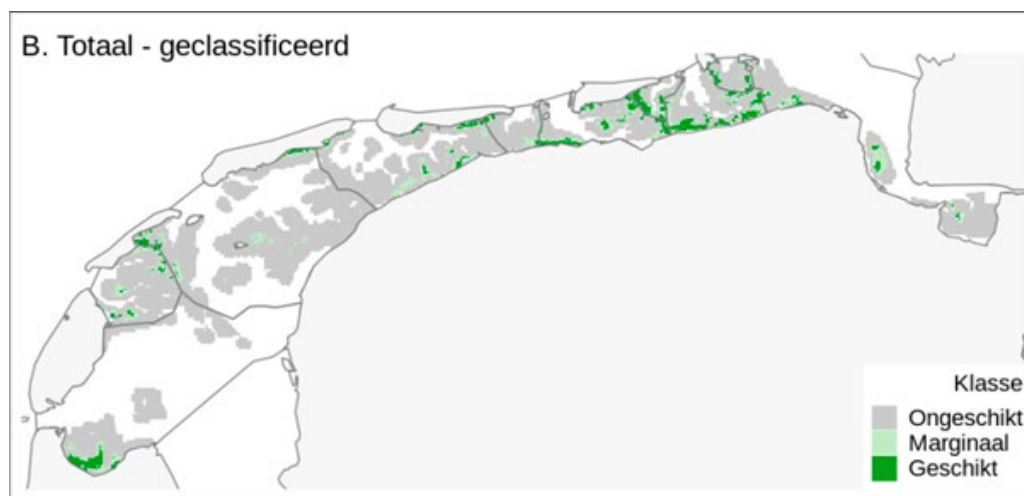
In het Waddengebied liggen ook diverse hoogspannings- en telecommunicatiekabels en water- en gasleidingen. Deze lopen tussen het vasteland en de eilanden in de kombergingen die aan de vastelandskust grenzen. Het aanleggen van kabels leidt lokaal tot habitat vernietiging. De recente onderzoeken van het NIOZ (persoonlijk communicatie W. van der Heide) met eerdere studies aan de effecten van kokkelvisserij (EVA-2) hebben aannemelijk gemaakt dat met name kabel-geulen in laagdynamische wadplaten, zoals wantijen, voor een forse tijdelijke aantasting zorgen die enkele jaren nodig heeft om

weer te herstellen. Het Programma Aansluiting Wind Op Zee – Eemshaven (PAWOZ-Eemshaven) onderzoekt mogelijke kabelroutes en waterstofleidingen door het Waddengebied voor de netaansluitingen van zowel de windparken Doordewind als Ten noorden van de Waddeneilanden.

11.2.3 Vestigingshabitat

Biobouwers kunnen zich alleen vestigen als de abiotische randvoorwaarden die zij nodig hebben op orde zijn. Dit gaat bijvoorbeeld om de mate van stroming, golfwerking, sediment, droogvalduur, beschikbaarheid van vestigingssubstraat en saliniteit. Biologische factoren zijn ook belangrijk, zoals de aanwezigheid van voedsel (zie paragraaf Voedsel), andere soorten en de aanwezigheid van larven en zaden (zie paragraaf Verbinding). Op basis van deze (a)biotische factoren zijn voor sommige biobouwers habitatgeschiktheidskaarten gemaakt (ook wel kansenkaarten), om te bepalen op welke locaties de randvoorwaarden op orde zijn voor mogelijk herstel.

Uit recent onderzoek naar de habitatgeschiktheid voor groot ondergedoken zee gras blijkt dat de geschiktheid, in de huidige (2017) situatie, in de gehele westelijke Waddenzee en in het bijzonder op de historische zee graslocaties is afgenomen ten opzichte van de historische (1927) condities (Smits et al., 2024). Voor ondergedoken zee gras lijken vooral het Balgzand (Marsdiep), de wadplaten in het Eijerlandse Gat en onder Vlieland geschikt te zijn, al kan het zijn dat deze geschiktheid wordt onderschat (Smits et al., 2024). De habitatgeschiktheid voor zee gras op droogvallende platen is door Folmer et al. (2019) in kaart gebracht en is weergegeven in Figuur 11.5. In alle kombergingen zijn geschikte locaties te vinden, maar de geschikte oppervlaktes zijn het grootste in het Marsdiep, Zoutkamperlaag en Lauwers (Figuur 11.5).



Figuur 11.5 Habitatgeschiktheidskaarten voor het litorale habitat voor zee gras. (Bron: Folmer et al., 2019).

Sublitorale mosselen worden alleen in de westelijke Waddenzee gemonitord, waar ook het habitat wordt gevonden dat het meest geschikt is voor de soort (Troost et al., 2015; van der Zee et al., 2017). Habitatgeschiktheidskaarten gaven aan dat ook geulen in de Eems-Dollard geschikt zijn, waarschijnlijk door de rustige condities en brakkere omstandigheden (Troost et al., 2015; van der Zee et al., 2017). Een grote kanttekening van deze kaarten is wel dat de slibconcentraties in de waterkolom niet zijn meegenomen in de geschiktheidsberekeningen, terwijl de hoge slibconcentratie in de Eems-Dollard te boek staat als het grootste probleem in het estuarium. Voor litorale mosselen is de habitatgeschiktheid door Troost et al. (2015) bekeken voor meerdere leeftijdsgroepen: zaadmosselen (< 1 jaar oud), halfwasmosselen (1 jaar, < 45 mm) en adulte mosselen (> 2 jaar oud, > 45 mm). Voor alle drie categorieën lijken de grootste arealen geschikte gebieden te liggen in het Marsdiep, Borndiep, Zoutkamperlaag, Lauwers en Eems-Dollard (Hond-Paap) (Troost et al., 2015).

Platte oesters vestigen zich vooral vanaf het lagere litoraal tot ongeveer 60 m waterdiepte waar bodemrust is en een beperkte dynamiek, voldoende hard vestigingssubstraat (schelpen), helder, zout water en voldoende platte oesterlarven. Andere (a)biotische randvoorwaarden zijn de afwezigheid van ziekten,

een goede waterkwaliteit en voldoende zuurstof (Didderen et al., 2022). Het Vlie heeft het grootste areaal (6.103 ha) dat potentieel het meest geschikt is voor de platte oester, gevolgd door het Borndiep (3.623 ha), Eijerlandse Gat (281 ha) en Marsdiep (1.921 ha) (Didderen et al., 2022). Kansrijke regio's voor de Japanse oester zijn ondiepere delen in het Marsdiep en uitlopers van de geultjes in alle kombergingsgebieden, met uitzondering van de Eems-Dollard die minder geschikt is (van der Zee et al., 2017).

Schelpkokerwormen zijn wijdverspreid in de Waddenzee en zijn in alle kombergingsgebieden (behalve buitendelta's) waargenomen (Peletier & Janssen, 2004; Holthuijsen, 2019). Ze vestigen zich vanaf de hoogwaterlijn tot een diepte van enkele tientallen meters, waarbij ze een voorkeur hebben voor zeer fijn tot fijn zand met voldoende schelpfragmenten om zich in te graven en een koker mee te bouwen (Tamis & Baptist, 2024). Er is geen habitatgeschiktheidskaart voor deze soort gemaakt. Waarschijnlijk omdat de soort zo veel voorkomt en er geen noodzaak is voor herstel.

Zandkokerwormen worden tegenwoordig nauwelijks aangetroffen in de Waddenzee. Wel worden geschikte milieuomstandigheden voor deze soort gevonden in een groot deel van de sublitorale geulen (geulwanden) in de Nederlandse Waddenzee en enkele delen van de buitendelta's, met name in voor visserij gesloten gebieden (Baptist et al., 2023 in Tamis & Baptist, 2024). Het Eijerlandse Gat, met name ten noorden van de Steenplaat, is bijvoorbeeld erg geschikt. De komberging Schild is vanwege de mediane korrelgrootte minder geschikt (Baptist et al., 2023 in Tamis & Baptist, 2024).

Kwelders ontstaan van nature op getijplaten met voldoende hoogte, maar binnen het bereik van het getij, met beschutting tegen golven en stroming en met voldoende aanvoer van sediment en van plantendelen of zaden (Dijkema et al., 2007). De randvoorwaarden voor kwelderaanwas langs de vastelandskust zijn in de oostelijke Waddenzee van nature veel gunstiger dan in de westelijke Waddenzee (Dijkema et al., 2007). Het areaal aan pionierzone in de Waddenzee is relatief stabiel (Elschot et al., 2020). Op veel plaatsen langs de vastelandskust van Friesland en Groningen in de oostelijke Waddenzee vindt netto sedimentatie plaats met enige uitbreiding van kwelderareaal (de Leeuw, 2020). Verwacht wordt dat er in de toekomst ook natuurlijke kwelderontwikkeling zal plaatsvinden in het Marsdiep (op het nu opslibbende Balgzand en ten zuiden van Harlingen) (de Leeuw, 2020).

11.2.4 Verbinding

Voor biobouwers gaat verbinding vooral om de connectiviteit tussen populaties. Hoe beter deze connectiviteit, hoe groter de kans dat robuuste populaties zich op nieuwe plekken kunnen vestigen. De mate van connectiviteit wordt tenminste door drie factoren bepaald: 1) de hoeveelheid zaden of larven die door een donorphopulatie worden geproduceerd ('propagule pressure'), 2) de mate waarin zaden en larven verspreid worden in het systeem door hydrodynamische condities, 3) de afstand van de donorphopulatie tot geschikt habitat waar de larven of zaden zich kunnen vestigen (zie o.a. Ens et al., 2007; van Katwijk et al., 2016; Kuusemäe et al., 2018; Didderen et al., 2022). Voor de daadwerkelijke vestiging van biobouwers spelen andere factoren, zoals de beschikbaarheid van geschikt vestigingshabitat (zie paragraaf Vestigingshabitat), de mate van rust op de zeebodem en de mate van predatie (zie paragraaf Veiligheid) uiteraard ook mee. Ook toeval speelt mee. Larven (ook al kunnen sommige soorten zich verticaal in de waterkolom verplaatsen) en zaden die rondrijven met de waterbewegingen komen niet altijd aan, in hun voor hen geschikt gebied. Het is niet voor niets dat er vaak grote hoeveelheden larven en zaden worden geproduceerd.

Kleine populaties van platte oesters komen in lage dichtheden voor in de kombergingsgebieden Eijerlandse gat en Vlie. Er zijn 20.000 platte oesters nodig om voldoende larven te produceren om een op zichzelf staande populatie te vormen (Kamermaans et al., 2020; Sas et al., 2020). Zandkokerwormen komen nog steeds voor in de Waddenzee, maar worden slechts sporadisch gevonden (Baptist et al., 2023 in Tamis & Baptist, 2024). Hieruit blijkt dat er waarschijnlijk geen grote zelfstandige populaties (meer) in de Waddenzee leven.

Klein zeegras is een meerjarige plant en niet afhankelijk van de jaarlijkse zaadproductie, in tegenstelling tot groot droogvallend zeegras (Versloot et al., 2023). Actief herstel van groot zeegras vindt nu plaats met behulp van donorzaad uit de Duitse Waddenzee.³³

11.3 Invloed van klimaatverandering

Weersveranderingen hebben reeds een grote invloed op biobouwers. Zo zijn schelpdieren gedurende hun hele levenscyclus gevoelig voor sterke stromingen en golven door stromen (Donker et al., 2015) en schurend ijs gedurende de winter (Büttger et al., 2013; Donker et al., 2015). Zeegras is gevoelig voor veranderingen in windrichting, waardoor de connectiviteit tussen verschillende geschikte zeegrashabitats kan veranderen (van Katwijk et al., 2009). Belangrijke veranderingen in windrichting of sterkte worden niet verwacht (KNMI, 2023).

Zeespiegelstijging

Zeespiegelstijging zal tot 2050 nog weinig effect hebben op de biobouwers van de Waddenzee. Op de langere termijn kan het karakter van de westelijke Waddenzee bij toenemende zeespiegelstijging transformeren naar dat van een baai (Huisman et al., 2022), wat een negatief effect zal hebben op het areaal droogvallende schelpdierbanken. Een toenemende zeespiegelstijging kan, wanneer dit gepaard gaat met een toename in golfenergie, ook leiden tot negatieve effecten op droogvallende schelpdierbanken en zeegrasbedden (Tang & Hadibarata, 2022).

Aantal zonuren

In alle klimaatscenario's zal de zonnestraling in Nederland als gevolg van de klimaatverandering toenemen (Dorland et al., 2023). Hierdoor kan op die plekken en in die periodes waar en wanneer nutriënten niet limiterend zijn een toename van de primaire productie optreden. Dit leidt tot een verhoogd voedselaanbod van algen voor schelpdieren en tot een verhoogde biomassaproductie door zeegras.

Temperatuurstijging

Aangezien een periode van kou een positief effect heeft op de voortplanting van schelpdieren, hebben de warmere winters naar verwachting een afname van voortplantingscapaciteit en daarmee de schelpdierbestanden tot gevolg (de Leeuw, 2020). Een toenemende watertemperatuur kan leiden tot een eerdere voortplanting van schelpdieren (Philippart, 2014). Wanneer dit gebeurt bestaat de kans dat de schelpdierlarven aanwezig zijn in een periode dat de aanvoer van zoetwateralgen nog beperkt is en de primaire productie in de Waddenzee nog niet op gang is gekomen. Dit kan leiden tot een temporele mismatch tussen de piek van schelpdierlarven en de beschikbaarheid van algen als voedselbron voor deze larven.

Zachte winters kunnen er ook toe leiden dat aanwezige schelpdieren niet meer in een winterslaap komen, maar actief blijven. Door het gebrek aan voedselaanbod uit primaire productie in de winter kunnen ze verhongeren. Ook profiteren predatoren van scheldierlarven van zachtere winters (Beukema & Dekker, 2020). Een verhoging van de watertemperatuur in de zomers kan daarnaast tot massasterfte van schelpdieren leiden (Hamer et al., 2023). Al met al moet rekening worden gehouden met dat de populaties van huidige schelpdieren af kunnen nemen. Gezien veel van deze biota ook een rol hebben in het vastleggen en omwerken van sediment is het waarschijnlijk dat temperatuurveranderingen hun weerklank kunnen gaan hebben op het dynamische systeem.

In hoeverre dit verlies door intrekende exoten uit warmere regio's kan worden aangevuld is vooral nog onbekend. Met name op de wadplaten, in de kwelders en mogelijk in de duinen die allen sterk bloot staan aan lucht en watertemperatuurstijgingen, moet verwacht worden dat bepaalde soorten er beter tegen bestand zijn en dat er een verschuiving binnen functionele groepen gaat optreden. Mogelijk zullen

³³ <https://www.rijkswaterstaat.nl/nieuws/archief/2023/03/inzaaien-en-inplanten-zeegras-waddenzee-gestart>, geraadpleegd op 12 juli 2024.

bepaalde functionele groepen zich ook minder goed kunnen handhaven. Dit zal haar weerslag hebben op de morfologische ontwikkeling. Hoe dit precies uitpakt is nog niet te voorspellen.

Een toename van de watertemperatuur kan leiden tot negatieve effecten op zeegrasbedden door een afname in overleving van jonge planten en bij extreme temperaturen massa sterfte (Zimmerman, 2021; Tang & Hadibarata, 2022).

Als gevolg van toenemende hitte en droogte, zal er waarschijnlijk minder Engels slijkgras in het Waddengebied zijn.³⁴ Dit wordt al waargenomen langs de Adriatische kust, waar zeekraal de plaats van Engelse slijkgras inneemt. Zeekraal is een minder goede biobouwer dan Engels slijkgras, omdat deze plantensoort minder effectief is in het vasthouden van klei- en zanddeeltjes. Wanneer dit ook gebeurt in de Waddenzee, zullen pionierskwelders waarin deze verschuiving van vegetatie is opgetreden, minder goed bestand zijn tegen zeespiegelstijging.

Veranderende neerslagpatronen

Naar verwachting zullen als gevolg van klimaatverandering er toenemende verschillen in saliniteit optreden over de seizoenen. Dit zal ervoor zorgen dat met name langs de Afsluitdijk, maar ook in de Eems het brakke karakter een deel van het jaar geheel of deels zal verdwijnen (met name in april-mei). Aangezien slechts een beperkt aantal soorten tegen sterke fluctuaties van saliniteit kunnen, zal de diversiteit in de huidige brakke gebieden (Afsluitdijk, Eems) teruglopen (Tamis & Baptist, 2024).

Een ander effect van een afname in saliniteit is dat de predatiedruk van zeesterren op sublitorale mossel- en oesterbanken zal toenemen (Troost et al., 2022). Een afname van de zoetwatertoevoer in het zomerhalfjaar zal ook een negatief effect hebben op die schelpdieren die voor hun voedsel voor een groot deel afhankelijk zijn van zoetwateralgen (Jung et al., 2019). Verder hebben experimenten laten zien dat een verhoging in zoutgehalte het kiemingspercentage van zeegras in de Waddenzee negatief kan beïnvloeden. Bij een saliniteit van 30 ‰ ontkiemt nog maar 40% van de zaden (van Katwijk et al., 2023). Pionier kweldervegetatie is bestand tegen een grote variëteit in zoutgehaltes, maar functioneren het beste in sterk brakke tot zoute condities (Ministerie van LNV, 2008a, b).

11.4 Knelpunten

Eutrofiëring

Volgens de KRW-maatlat zijn de fytoplankton concentraties te hoog, ook al is het aan het afnemen. De hoofdoorzaak van de hoge abundanties fytoplankton zijn (te) hoge concentraties van nutriënten (eutrofiëring) afkomstig van het vasteland (zie o.a. Cadée & Hegeman, 2002; van Beusekom & de Jonge, 2012; Leote et al., 2016).

Voor zover na te gaan lijkt er nog geen belemmerende werking uit te gaan van de daling van het fytoplankton op het functioneren van biobouwers. Voor macrobenthos - waar schelpdieren en kokerwormen onder vallen - en vogels staat de Waddenzee bekend als een voedsel-gelimiteerd systeem (Beukema & Cadée, 1986; Beukema et al., 1997, 2002), waarin soorten concurreren om voedsel. Dit komt echter niet duidelijk naar voren in recente studies. Jansen et al. (2019) geeft aan dat in de westelijke Waddenzee in de periode 2008-2012 de schelpdierbestanden zijn toegenomen, terwijl er geen afname in concentraties van voedsel zijn waargenomen. Daarnaast laten lange termijntrends voor het Balgzand en nabijgelegen sublitoraal in de westelijke Waddenzee zien, dat hoewel de nutriëntenconcentraties afnemen, de macrozoobenthos biomassa in dezelfde periode juist toeneemt (Drent et al., 2017). Dit duidt er op dat de biomassa van macrozoobenthos door andere factoren gereguleerd wordt.

³⁴ <https://www.naturetoday.com/intl/nl/nature-reports/message/?msg=23477>, geraadpleegd op 12 juli 2024.

Van Katwijk et al. (2024) hebben het effect van eutrofiëring in kaart gebracht voor zeegras op droogvallende platen. In de trilaterale Waddenzee was de populatie van zeegras op zijn laagst gedurende de eutrofiëringspiek in de jaren '80 (van Katwijk et al., 2024). In de Duitse regio Noord-Friesland, hebben populaties zeegras zich weer kunnen herstellen na het terugbrengen van nutriëntconcentraties. Hier kon de aanwezigheid van zeegras gerelateerd worden aan de totale stikstofconcentraties in de Rijn en in de Elbe. In ander regio's zijn de concentraties van nutriënten nog steeds te hoog. Zeegras wordt via verschillende mechanismes negatief beïnvloed door eutrofiëring. Het voornaamste is dat hoge nutriëntconcentraties kunnen leiden tot versnelde groei van epifyten op zeegrasbladeren en macroalgen (zeewier), waardoor zeegrasbladeren overschaduwde en overgroeid worden en onvoldoende licht kunnen opnemen. Toenemende fytoplankton concentraties als een resultaat van eutrofiëring hebben niet direct een impact op zeegras, omdat zeegras in de huidige Waddenzee alleen op droogvallende platen groeit, waardoor er genoeg licht beschikbaar is (van Katwijk et al., 2024).

Vertroebeling en opslibbing

Door vertroebeling kunnen algen minder licht invangen, wat een negatief effect kan hebben op de primaire productie. Dit speelt met name in de Eems-Dollard die een verhoogde troebelheid kent. Het Eems-estuarium kent een lange historie van inpolderingen en indijkingen, waardoor de komberging is verkleind en de oppervlakte van het estuarium enorm is afgenomen (van Maren et al., 2016; Vroom et al., 2022). Door deze historische ontwikkelingen en meer vaargeulverdiepingen en -onderhoudsbeheer is de Eems-Dollard sterk veranderd. Het gevolg is dat de vloedstroom richting de Eems-rivier groter is geworden, wat gepaard gaat met een grotere import van slib (Vroom et al., 2022). Er is hierdoor veel baggerwerk nodig om de vaargeul op diepte te houden (Schmidt et al., 2021). Al deze ontwikkelingen samen zorgen voor een verhoogde troebelheid. Deze verhoogde troebelheid heeft, samen met afname in nutriëntenlast, waarschijnlijk geleid tot een lagere primaire productie in het water (Brinkman & Jacobs, 2023). Vooral schelpdieren worden hierdoor beïnvloed en laten lagere aantallen zien (van der Zee et al., 2020).

Biobouwers worden hier door beïnvloed, maar ook door de opslibbing en verlaging van de platen. Tot en met 2004 waren er op de zandplaat Hond-Paap nog pure mosselbanken aanwezig, die transformeerden tot gemengde banken met Japanse oesters (Schmidt et al., 2019). Japanse oesters kunnen op opslibbende droogvallende platen beter overleven dan mosselen, omdat ze in verticale positie kunnen groeien.

Hoewel de zeegras-kansenkaart aangeeft dat de Eems-Dollard geschikt is voor zeegras (Folmer, 2019), komt er alleen op Hond-Paap zeegras voor in zeer lage dichtheden. Mogelijke oorzaken voor het lage zeegras-areaal zijn de hoge troebelheid van het water (en daarmee lichtlimitatie), de verslibbing van de wadplaat Hond-Paap en de daling van de plaat (Schmidt et al., 2021).

(Fysieke) verstoring van de zeebodem

Bodemberoerende activiteiten (baggeren, garnalenvisserij, mosselzaadvissers, schelpenextracties, supplementies) hebben met name een impact op biobouwers die in het sublitorale deel van de Waddenzee voorkomen. Dit kan bijvoorbeeld door mechanische beschadiging, bedelving of door het wegvangen (bijvangst) van bodemdieren. Biogene structuren gevormd door mosselen, oesters en zandkokerwormen zijn kwetsbaar. Stabiele banken van mosselen en Japanse oesters hebben na verstoring een relatieve lange (> 5 jaar) hersteltijd nodig (van der Meer et al., 2018; schelpkokerwormen minder (Rippen et al., 2020). Omdat biobouwers een omgeving vormen waar veel andere soorten van profiteren, kunnen de effecten ook negatief doorwerken naar de rest van de bodemgemeenschap. Over het algemeen is het effect het grootst op gemeenschappen die leven in laagdynamische gebieden (Rippen et al., 2020).

De intensiteit van bodemberoerende activiteiten is het hoogst in het Marsdiep, Vlie en de Zoutkamperlaag en baggeren vindt relatief intens plaats in het Borndiep en de Eems. Volgens de habitatgeschiktheidskaarten zijn gebieden in het Marsdiep (vier soorten) en het Eijerlandse Gat (drie soorten) de meest geschikte kombergingen voor biobouwers. In het Borndiep, Zoutkamperlaag en Lauwers ligt geschikt habitat voor twee soorten.

Onzelfredzame populaties

Voor de platte oester en zandkokerworm zijn de populaties in de Waddenzee waarschijnlijk te klein om zichzelf in stand te houden (Kamermaans et al., 2020; Sas et al., 2020; Didderen et al., 2022). Er zijn in de Nederlandse Waddenzee onvoldoende larven beschikbaar om op zichzelf staande populaties te vormen. Grotere donorpopulaties buiten de Nederlandse Waddenzee liggen te ver weg om transport van zaden of larven via hydrodynamische condities mogelijk te maken. Hierdoor kunnen populaties van platte oesters en strandkokerwormen zich niet op eigen kracht vestigen. In mindere mate geldt dit ook voor groot zeegras, waarvan populaties wel in de Waddenzee komen, maar er onvoldoende zaad in de Nederlandse Waddenzee aanwezig is om populaties op grote schaal te herstellen. Voor de platte oester zou uitzetten van een groot aantal exemplaren in onverstoorde, beschermde gebieden soelaas kunnen bieden om weer een zelfredzame populatie te vormen. Voor de zandkokerworm is dit minder duidelijk.

Beperking natuurlijke ontwikkeling pionierskwelders

Door inpolderingen en de aanleg van dammen, dijken en stuifdijken is een groot areaal dat ooit geschikt was voor kwelders nu niet meer beschikbaar voor kweldergroei (Dijkema et al. 2007; Dankers, 1990; Elschot et al., 2020). Langs de Friese kust is een geleidelijke uitbreiding van de kwelder te zien richting de buitenste, nog in onderhoud zijnde, rijzendammen, waardoor de pionierzone in de knel komt en afneemt (Elschot et al., 2020). De omstandigheden voor pioniervegetatie in particuliere kwelders in de Dollard zijn niet gunstig vanwege begreppeling (Bas Kers - Rijkswaterstaat, persoonlijke communicatie). Drainering zorgt voor opslibbing en minder vernatting, waardoor de condities minder optimaal zijn voor pioniervegetatie.

11.5 Streefbeeld

Het streven is een Waddenzee waarin mosselen, platte en Japanse oesters, groot en klein zeegras, schelpkokerwormen en zandkokerwormen in meerdere op zichzelf staande populaties kunnen functioneren, zowel onder als boven water. Door de aanwezigheid van biobouwers wordt op een natuurlijke manier lokaal het sediment gestabiliseerd, de stroming van het water afgeremd en de waterkwaliteit verbeterd. Biobouwers brengen op grote schaal weer structuur aan op de zeebodem en wadplaten, waar veel soorten hun leefgebied vinden.

Zeegras wordt niet meer geplaagd en overwoekerd door zeewier en epifyten omdat door afname van eutrofiëring de waterkwaliteit in grote mate is hersteld. Herstel van biobouwers is mede mogelijk omdat de rust op de zeebodem is weergekeerd en vertroebeling is verminderd. In de Eems-Dollard zijn meerdere grootschalige maatregelen genomen om de slibproblematiek op te lossen. Door de juiste omgevingsomstandigheden is er nu onder de biobouwers voldoende draagkracht voor zelfstandig en gezond functionerende populaties, waarmee ze voor meerdere soorten een mozaïek van leefgebieden creëren. Daarmee zijn ze een onmisbare schakel in een robuuste en gezonde Waddenzee.

Er zijn daarnaast meer pionier zones op de kwelders die (zwevend) sediment vastleggen. Het is daarmee een belangrijke schakel in de dynamische zonering van land naar water.

11.6 Mogelijke maatregelen

Herstel onderwaternatuur

Voor zeegras, platte oester, strandkokerworm zijn de populaties zo klein, dat ze zonder hulp zich niet kunnen ontwikkelen tot zelfstandige populaties. Habitatgeschiktheidskaarten kunnen aangeven waar een helpende hand effectief kan zijn. Een belangrijke factor is hierbij de beschikbaarheid van larven en zaad. Opkweken van zaad/larven kan daarbij behulpzaam om niet afhankelijk te zijn van donorpopulaties en het lokale reproductieproces niet te verstoren.

Voor de platte oester en zeegras zijn al diverse studies uitgevoerd (voor overzichten zie Didderen et al., 2022; Versloot et al., 2023), waardoor er reeds stappen zijn gezet om deze soorten te herstellen. Het is van belang om voor deze soorten op herstelwerkzaamheden te blijven inzetten.

Voor de zandkokerworm wordt er binnenkort een studie uitgebracht die de mogelijkheden onderzoekt voor herstel van deze soort in de Nederlandse Waddenzee (Baptist et al., 2024 in Tamis & Baptist, 2024). Omdat biobouwers zo belangrijk zijn voor de biodiversiteit, en dus robuustheid, van het Waddensysteem is het van belang om de mogelijke inzet op herstel mogelijkheden van deze soorten goed te verkennen. Het is belangrijk dat dit vroegtijdig gebeurt, omdat de effecten van herstel mogelijkheden pas jaren later zichtbaar kunnen zijn. Vanzelfsprekend dienen herstelde populaties goed beschermd te worden.

Creëren van betere condities voor pionierskwelders

Pionierskwelders zijn niet alleen belangrijk voor de biodiversiteit van het systeem, maar door hun sediment stabiliserende en -invangende functie vormen ze ook een natuurlijk manier om het land te beschermen tegen toekomstige zeespiegelstijgingen. Het Wadden Sea Quality Status Report geeft een aantal aanbevelingen voor het beheer van kwelders (Esselink et al., 2017) zoals de aangrenzende getijdenplaten onberoerd laten, het heropenstellen van zomerpolders, erosie en klifontwikkeling vrij laten verlopen, geen werkzaamheden uitvoeren, begreppeling beperken en toepassen van mozaïek beheer, waarin zo weinig mogelijk interventie plaatsvindt.

Vermindering nutriëntenaanvoer

De hogere troebelheid als gevolg van de realisatie van de Afsluitdijk kan niet worden teruggedraaid. Door verbeteren van de waterkwaliteit is er herstel van ondergedoken zeegras mogelijk. Ondergedoken zeegrasvelden en schelpdierbanken kunnen slib invangen en daardoor lokaal de troebelheid omlaag brengen, wat de omstandigheden voor zeegras mogelijk nog verder verbeterd. Hiervoor moeten echter eerst de stikstofconcentraties op orde zijn. Volgens van Katwijk et al. (2024) is het voor het herstel van ondergedoken zeegras nodig om stikstofbelasting in de Rijn (via het IJsselmeer) met 40% terug te brengen hetgeen vooral kan worden gerealiseerd door het verminderen van nutriëntlozing op de lokale en regionale watersystemen.

Vermindering van vertroebeling en opslibbing van de platen

Hoewel habitatgeschiktheidskaarten aangeven dat het Eems-estuarium geschikt is voor biobouwers, komen die nu erg beperkt voor. Voor biobouwers is het van belang dat de troebelheid in het systeem omlaag gebracht wordt en verdere opslibbing van de platen wordt beperkt. In het kader van Natura 2000 (Nederland en Duitsland), PAGW en ED2050 zijn er diverse maatregelen naar voren geschoven die positief kunnen bijdragen aan het verlagen van de troebelheid in het systeem. Een aantal van deze maatregelen zijn al uitgevoerd, maar een groot aantal zit nog in de (pre-)verkenningfase of in een nog vroeger stadium. Dit zijn bijvoorbeeld maatregelen als het vergroten van het kombergingsgebied, de omvang van de vaargeulen verkleinen, het creëren van ruimte voor opslibbing (slibinvang) en het slimmer baggeren en verspreiden (RHDHV & Rijkswaterstaat, 2023). Om de troebelheid in het estuarium te verlagen en verdere opslibbing van de platen te voorkomen, is het van belang dat zoveel mogelijk van deze maatregelen zo snel mogelijk wordt uitgevoerd.

Om het baggerbezwaar in de gehele Waddenzee te verminderen is het van belang om beter aan te sluiten op de natuurlijke dynamiek van de geulen, zodat er zoveel mogelijk van natuurlijke geulen gebruik wordt gemaakt conform de in de Agenda van het Waddengebied geformuleerde strategie.

Vermindering verstoring zeebodem

Om sublitorale biobouwers te herstellen, is het van belang dat de rust op de zeebodem zoveel mogelijk terugkeert. Het zou goed zijn te onderzoeken waar de habitatgeschiktheidskaarten en huidige locaties van biobouwers overlappen met huidige en toekomstige bodemberoerende activiteiten om vervolgens de meest kwetsbare gebieden te beschermen. In het Marsdiep en het Eijerlandse Gat vindt mogelijk de grootste overlap plaats tussen bodemberoerende activiteiten en de habitatgeschiktheid van biobouwers.

Voldoende zoetwater in de Waddenzee

Voor biobouwers als ondergedoken mosselbanken en zeegras is het van belang dat er voldoende zoetwater overblijft, zodat de Waddenzee niet te zout wordt en de predatiedruk op mosselen toeneemt en het kiemsucces van zeegras afneemt. Hiervoor is het nodig dat waterbeheerders rekening houden met de Waddenzee bij de verdeling van zoetwater en dat ze het water in de winter en in natte periodes beter vasthouden en een deel reserveren voor afvoer naar de Waddenzee.

Figuur 11.6 geeft een overzicht van de mogelijke maatregelen ten behoeve van het leefgebied voor biobouwers.



Figuur 11.6 Mogelijke maatregelen voor realiseren streefbeeld 'biobouwers'.

12 De Waddenzee als leefgebied voor vogels

12.1 Achtergrond

Op wereldschaal heeft het Waddengebied een sleutelpositie in de Oost-Atlantische vogeltrekroute (flyway). Het is een belangrijk tankstation voor trekvogels, die in de Waddenzee of verder noordelijk broeden, of verder zuidelijk overwinteren. De vogels die via de Waddenzee heen en weer trekken volgen ruwweg de kustlijnen van Afrika en Noord-Europa, maar slaan in het voorjaar ook af, richting IJsland en Groenland. Tijdens laag water zijn droogvallende platen van levensbelang voor voedselzoekende wadvogels. Tijdens hoogwater rusten deze vogels op hoger gelegen eilanden, zandplaten en de vastelandskust.

Het Waddengebied is ook een belangrijk gebied voor de voortplanting van vogels en tijdens de rui. Vogels broeden op de kwelders, op de stranden, in de duinen, in polders en weilanden waar ze leven van vis, bodemdieren, insecten, (andere) vogels, planten of knaagdieren. Oorspronkelijk was de relatieve dichtheid van vogels waarschijnlijk veel groter dan tegenwoordig (Lotze et al., 2007) en speelden vogels lokaal een belangrijke rol in de nutriëntenhuishouding van het gebied, bijvoorbeeld op locaties met grote broedkolonies. Dit wordt momenteel onderzocht in het project 'Avian nutrient pump' van Utrecht University en het NIOZ.³⁵

12.2 Huidige situatie

In de drie Waddenzee landen vindt monitoring plaats van aantallen vogels en broedparen. Figuur 12.1. laat de lange-termijn trends zien in de aantallen trekvogels in de internationale Waddenzee.

De soorten vogels kunnen op basis van trends in drie groepen verdeeld worden:

- Al drie decennia toenemend: lepelaar, pijlstaart, brandgans, drieteenstrandloper, bontbekplevier, slobbeend.
- Al drie decennia afnemend: kluut, zwarte ruit, wilde eend, scholekster, tureluur, bonte strandloper, bergeend.
- Stabiel of beter ten opzichte van de gehele vogeltrekroute: krombekstrandloper, bontbekplevier, zilverplevier, drieteenstrandloper, wintertaling, rosse grutto, steenloper, wulp en smient.

Deze trends komen grotendeels overeen met de trends van dezelfde soorten in de Nederlandse Waddenzee. Uitzonderingen zijn de kluut en de zwarte ruit, die in het Nederlands deel van de Waddenzee een stabiele trend kennen, en de bonte strandloper die in het Nederlandse deel van de Waddenzee een toenemende trend kent (Bogaart et al., 2024).

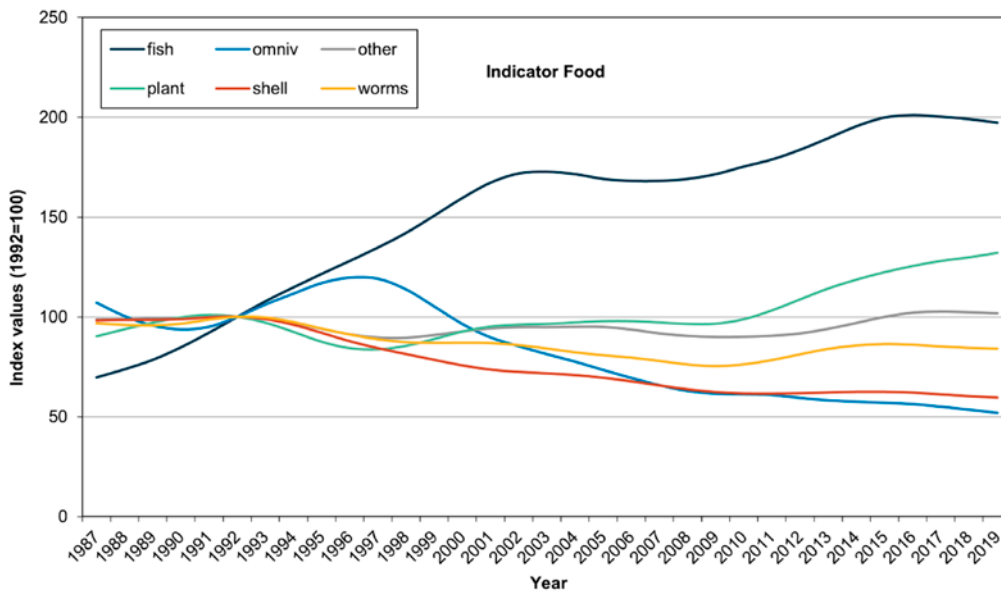
³⁵ <https://www.nioz.nl/en/research/uu-nioz-projects/avian-nutrient-pump>, geraadpleegd op 17 juni 2024.

Figuur 12.1 Lange en korte termijn trends voor trekvogels in de internationale Waddenzee (Bron: Kleefstra et al., 2022a).

Species	33 year trend 1997/98 - 2019/20	10 year trend 2010/11-2019/20	Flyway trend 2011-2020
Great Cormorant	↑↑	→	↑↑
Eurasian Spoonbill	↑↑	↑↑	↑↑
Barnacle Goose	↑↑	↑	↑
Brent Goose	↓	→	→
Common Shelduck	↓	↓	↓
Eurasian Wigeon	→	↑	→
Common Teal	→	↑	→
Mallard	↓	↓	↓
Northern Pintail	↑	↑	↑
Northern Shoveler	↑	↑	↑↑
Common Eider (29y trend)	↓	→	—
Eurasian Oystercatcher	↓	↓	↓
Pied Avocet	↓	↓	→
Common Ringed Plover	↑	↑	X
<i>C. p. psammodroma</i>	↑	↑	→
<i>C. p. hiaticula</i>	→	→	→
Kentish Plover	↓	—	—
European Golden Plover	→	—	X
Grey Plover	→	→	↓
Northern Lapwing	→	→	↓
Red Knot	↓	→	X
<i>C. c. islandica</i>	↓	→	↓
<i>C. c. canutus</i>	→	→	—
Sanderling	↑	↑	→
Curlew Sandpiper	→	—	↓↓
Dunlin	↓	↓	↓
Ruff	↓	↑	X
Bar-tailed Godwit	→	→	X
<i>L. l. lapponica</i>	→	→	↓
<i>L. l. taymyrensis</i>	→	→	↓
Whimbrel	→	→	→
Eurasian Curlew	→	→	→
Spotted Redshank	↓	↓	—
Common Redshank	→	→	X
<i>T. t. totanus</i>	↓	↓	→
<i>T. t. britannica</i>	↓	↓	↓
<i>T. t. robusta</i>	→	→	↑
Common Greenshank	→	↓	—
Ruddy Turnstone	→	↑	X
<i>NE Canada and Greenland</i>	↑	↑	→
<i>Fennoscandia and NW Russia</i>	→	→	—
C. Black-headed Gull	→	→	↓
Common Gull	→	→	↓
European Herring Gull	↓	→	↓
Great Black-backed Gull	↓	→	→

↓↓ strong decrease ↓ moderate decrease → stable — uncertain

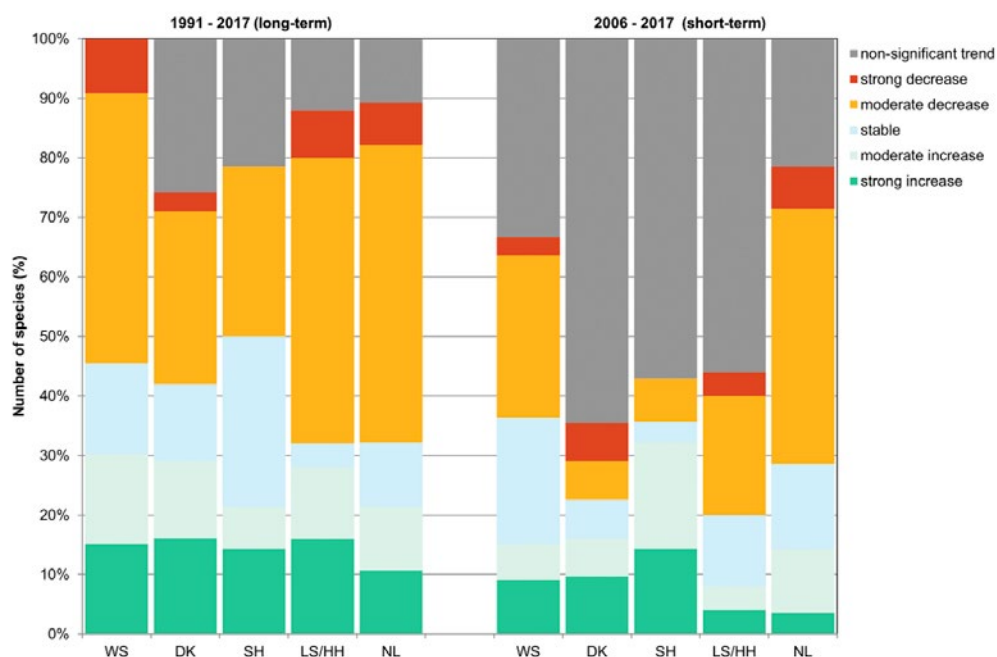
De trends in aantallen trekvogels zijn door Kleefstra et al. (2022a) geanalyseerd in zes dieetgroepen. Er moet worden vermeld dat sommige soorten moeilijk in één dieetgroep zijn in te delen, omdat sommige soorten tot op zekere hoogte omnivoren zijn en hun dieet seizoensgebonden en tussen verschillende foerageergebieden varieert. Viseters laten op lange termijn een toename zien, maar op de korte termijn een lichte afname. Op korte termijn lijken planteneters toe te nemen. De omnivoren en schelpdiereters laten een matige afname zien op de lange termijn. De trends voor deze groepen zijn respectievelijk onzeker en stabiel op de korte termijn, hoewel er maar één omnivore soort in voorkomt (grote mantelmeeuw). Wormeneters en vogels die op andere voedselbronnen foerageren vertonen beide een stabiele trend over de hele periode (Figuur 12.2).



Figuur 12.2 Trends in aantallen trekvogels per dieetgroep (Bron: Kleefstra et al., 2022a).

Een soortgelijke analyse is gemaakt voor alle vogels waar voor een Natura 2000-instandhoudingsdoelstelling geldt. Hier uit blijkt dat de trends voor planteneters (-0.3%), schelpdiereters (-1.9%) en viseters (-3.0%) in de periode 2010-2021 zijn afgenomen, terwijl voor wormeneters (+1.5%) en eters van andere invertebraten (+1.7%) de trends juist zijn toegenomen (Bogaart et al., 2024).

In het westelijke deel van de Waddenzee, (Nederland en Nedersaksen/Hamburg), bepaalt een afname in aantallen broedvogels het algemene beeld (56% en 57% van de onderzochte soorten, Figuur 12.3), terwijl in Sleeswijk-Holstein en Denemarken een meer evenwichtige populatiedynamiek wordt waargenomen. De laatste 12 jaar houdt dit patroon aan in de Nederlandse Waddenzee, terwijl in de andere delen niet-significante (dus fluctuerende) trends domineren. Het aantal soorten met een toename in Denemarken en Sleeswijk-Holstein blijft echter hoger in vergelijking met Nedersaksen/Hamburg en Nederland.



Figuur 12.3 Trends in broedvogels in de internationale Waddenzee (WS) in vergelijking met deelgebieden (DK Denemarken, SH Sleeswijk-Holstein, LS/HH Nedersaksen en Hamburg, NL Nederland) voor de gehele datareeks (1991-2017, lange termijn) en de periode 2006-2017 (korte termijn) (Bron: Koffijberg et al., 2022).

Voor de Nederlandse Waddenzee zijn door Bogaart et al. (2024) trends van beschermde broedvogels in de Nederlandse Waddenzee berekend over de periodes 1980-2021 en van af 2010. De resultaten staan weergegeven in Tabel 12.1.

Tabel 12.1 Trends per soort broedvogels in de Nederlandse Waddenzee voor de periodes 1990-2022 en 2010-2021. (Bron Bogaart et al. 2024).

Nederlandse naam	Trend 1990-2022			Vanaf 2010		
Lepelaar	+6,7%	±	13,13%	Matige toename	+0,5%	± 0,98% Stabiel
Kleine mantelmeeuw	+1,8%	±	3,53%	Matige toename	-1,2%	± -2,35% Stabiel
Grote stern	-3,6%	±	-7,06%	Matige toename	-11,5%	± -22,54% Matige afname
Visdief	-5,1%	±	-10,00%	Matige toename	-0,9%	± -1,76% Onzeker
Noordse stern	-3,9%	±	-7,64%	Matige toename	-5,6%	± -10,98% Onzeker
Dwergstern	+4,6%	±	9,02%	Matige toename	+11,2%	± 21,95% Matige afname
Eidereend	-1,3%	±	-2,55%	Matige toename	-1,9%	± -3,72% Onzeker
Bruine kiekendief	+1,7%	±	3,33%	Matige toename	-4,0%	± -7,84% Matige afname
Blauwe kiekendief	-6,4%	±	-12,54%	Matige toename	+0,0%	± 0,00% Stabiel
Kluut	-5,2%	±	-10,19%	Matige toename	+1,1%	± 2,16% Matige afname
Bontbekplevier	-2,7%	±	-5,29%	Matige toename	-2,4%	± -4,70% Onzeker
Strandplevier	-5,6%	±	-10,98%	Matige toename	+0,2%	± 0,39% Onzeker
Velduil	+0,0%	±	0,00%	Stabiel	-21,5%	± -42,14% Matige afname

Laag broedsucces is de belangrijkste oorzaak van de achteruitgang van populaties broedvogels (van der Jeugd et al., 2014; Koffijberg et al., 2022a). Broedvogels in kolonies met een hoge vogeldichtheid zijn erg gevoelig voor vogelgriep waardoor populatie bedreigende sterfte kan optreden (Rijks et al., 2022; Knief et al., 2024). Ook verstoring door de steeds toenemende recreatiedruk leidt tot een verminderd broedsucces, maar ook tot verminderde foerageertijd en verlies aan energie doordat vogels veiligheid op andere plekken moeten zoeken.

Om de huidige situatie te beoordelen, zijn er vier criteria onderscheiden voor het leefgebied voor vogels;

1. **Voedsel:** Voor verschillende categorieën vogels.
2. **Veiligheid:** De mogelijkheid om ongestoord te rusten, foerageren en broeden.
3. **Voortplantingshabitat:** De kwantiteit en kwaliteit van broedgebieden.
4. **Verbinding:** Verbinding tussen leefgebieden.

12.2.1 Voedsel

Op basis van het Quality Status Report is er voor vogels een onderverdeling gemaakt tussen planteneters, wormeneters, schelpdiereters en viseters. Omnivoren en vogels die foerageren op andere invertebraten zijn hier buiten beschouwing gelaten, omdat omnivoren op meerdere type voedsel foerageren en voor overige invertebraten geen data beschikbaar zijn. Voor de analyse van de huidige situatie is gekeken naar de beschikbaarheid van data in de Waddenzee, maar ook in de buitendelta en Noordzeekustzone (mits de data beschikbaar waren), omdat een aantal vogelsoorten ook op de Noordzee foerageren. Dit geldt bijvoorbeeld voor een aantal zee-eenden die daar foerageren op zwaardschedes en halfgeknotte strandschelpen en grote sterns die foerageren op vissoorten.

Planteneters

Voor planteneters is een inschatting van het voedselpotentieel gemaakt op basis van het beschikbare kwelderareaal per komberging. Op basis van de kaart uit Elschoot et al. (2020) is te zien dat de kusten van de kombergingen Pinkegat, Eilanderbalg en Lauwers volledig uit kwelders bestaan. Deze kombergingen bieden het beste voedselpotentieel voor deze groep vogels. Het Marsdiep, en in mindere mate de Eems-Dollard, bevatten het minste kwelderareaal.

Viseters

De belangrijkste prooidieren voor visetende vogels (zandspiering, sprong, jonge haring en grondels) worden in de Waddenzee en Noordzeekustzone niet structureel gemonitord. Wel zijn er resultaten van akoestische surveys beschikbaar (Swimway/Sovon) met gegevens van het voorkomen van pelagische vis in de zeegaten van Marsdiep, Vlie, Borndiep, Zoutkamperlaag, Lauwers en Eems-Dollard (Manche et al., 2022). Met betrekking tot voedselbeschikbaarheid voor visetende vogels is het ook van belang om rekening te houden met menselijke activiteiten. Als eerste met de intensiteit van garnalenvisserij (Heidinga et al., 2023), omdat haring en sprong deel kunnen uitmaken van de bijvangst (Eijsackers et al., 2023). Er zijn geen duidelijke aanwijzingen dat er een causaal verband bestaat tussen de aanwezigheid van zandspiering en de garnalenvisserij (Tulp et al., 2018). Dit is echter gebaseerd op gegevens van de Voordelta waar de verspreiding van zandspiering en garnalenvisserij ruimtelijk gescheiden zijn (Tulp et al., 2018). Spieringvisserij komt alleen in het Marsdiep voor (Heidinga et al., 2023).

Zandsuppleties komen ook voor in het Waddengebied (Rippen et al., 2022). Tot dusverre zijn er geen effecten van zandsuppleties op visstanden aangetoond (Schipper et al., 2020). Vertroebeling van het water kan potentieel een negatief effect hebben op zichtjagers (Baptist en Leopold, 2010), maar vertroebeling wordt niet structureel gemonitord in de Waddenzee. Of bijvoorbeeld broedende sterns last hebben van een suppletie voor hun kolonie, is nooit onderzocht.

Wormeneters

Structurele monitoring naar bodemdieren wordt uitgevoerd in verschillende meetprogramma's (WALTER, 2019).³⁶ Een inschatting van het voedselpotentieel voor wormetende vogels is gemaakt op basis van de beschikbare SIBES-gegevens (2008-2010) die per komberging gepresenteerd zijn in Compton et al. (2013). Voor deze categorie was alleen data beschikbaar voor de wadpier, de amberkleurige zeeduizendpoot en de veelkleurige zeeduizendpoot. Op basis van de beschikbare data komt naar voren dat de biomassa van wadpiere en zeeduizendpoten vooral erg hoog is in de Eems-Dollard en Vlie. Eilanderbalg bevat relatief weinig van deze soorten.

Er vindt mechanische pierenwinning plaats in het Marsdiep. Dit type visserij heeft echter geen meetbaar effect op de aantallen wadvogels op de naastgelegen hoogwatervluchtplaatsen (Jongbloed & Leopold, 2019).

Schelpdiereters

Litorale (gehele Waddenzee) en sublitorale (westelijke Waddenzee) schelpdierbestanden worden gemeten sinds 1990 door Wageningen Marine Research. Een inschatting van het voedselpotentieel voor schelpdiereters per komberging is gemaakt op basis van kaarten van de Schelpdiermonitor van Wageningen University & Research (Wijsman et al., 2023). Voor de Waddenzee is voor de jaren 2017-2022 gekeken naar de biomassa van mossels, kokkels en nonnetjes en de dichtheden van strandgapers en mesheften. Voor de Noordzeekustzone (incl. buitendelta's) is gekeken naar de dichtheid van de halfgeknotte strandschelp (jaren 2017-2022).

Visserij op droogvallende mosselbanken (eind jaren '80/begin jaren '90) en de mechanische kokkelvisserij hebben in het verleden een negatieve invloed gehad op de hoeveelheid schelpdieren in het gebied, maar spelen nu geen rol meer omdat deze vormen van visserij verboden zijn (van der Winden et al., 2008b). Wel is rekening gehouden met gesloten gebieden voor handkokkelvisserij. Kokkels vormen, samen met mosselen, het stapelvoedsel van veel schelpdier-etende overwinterende vogels in de Waddenzee. Een kaart van gesloten gebieden voor handkokkelvisserij is afkomstig uit Troost & van Asch (2018). Ook wordt er op halfgeknotte strandschelpen gevist.

Uit het gebruikte kaartmateriaal blijkt dat de komberging (inclusief buitendelta's) van het Borndiep relatief veel voedsel herbergt voor schelpdiereters. Dit komt vooral door grote dichtheden van de halfgeknotte strandschelp die alleen in de Noordzeekustzone van dit gebied te vinden is. In de Eems-Dollard is het minste voedsel voor schelpdiereters beschikbaar.

12.2.2 Veiligheid

Predatie (door landroofdieren en vogels), overstroming van nesten (door de ligging) en verstoring door menselijke activiteiten zijn de grootste oorzaken waardoor vogels niet veilig kunnen rusten, foerageren en broeden. Voor predatie en het overstromingsrisico zijn geen gegevens op kombergingsniveau beschikbaar. Wel is bekend dat beide factoren een groot effect kunnen hebben. Zo is op Griend de grootste kolonie grote sterns, ooit zo'n 20.000 broedparen sterk, verdwenen door de toegenomen aanwezigheid van en predatie door grote meeuwen (Brenninkmeijer, 2022). Ook een kolonie op Ameland (3.000 paar) is weggevaagd door predaterende grote meeuwen.

Met betrekking tot verstoring zijn er verstoringskaarten gemaakt door Folmer et al. (2022). Uit deze gegevens blijkt dat verstoring het grootste probleem is in de kombergingen Eierlandsche Gat, Vlie, Borndiep en Pinkegat. De kombergingen Eierlanderbalg, Schild en Lauwers zijn het minst verstoord.

³⁶ <https://research.wur.nl/en/projects/wadden-sea-long-term-ecosystem-research-walter-kb-24-002-019>, geraadpleegd op 21 juni 2024.

12.2.3 Voortplantingshabitat

Broedvogels broeden in de Waddenzee op stranden, duinen, kwelders of naastgelegen polders. Zowel het areaal broedbiotoop als de kwaliteit van de broedgebieden speelt een rol. Omdat er zoveel verschillende soorten zijn met zoveel verschillende broedgebieden en het broedsucces zelden wordt gemeten, is het onmogelijk om een ruimtelijk beeld te schetsen van de situatie in de kombergingen. Wel is af te leiden uit het Actieplan Broedvogels waar ruimte ligt voor verbetering voor broedgebieden van strandbroeders, roofvogels, duinvogels, koloniebroeders en kwelder- en weidevogels. Voor de kombergingen Borndiep en Zoutkamperlaag is verbetering nodig (in zowel kwaliteit als kwantiteit) van broedhabitats voor alle vijf soorten broedvogels. Schild is de enige komberging waar geen verbetering nodig is.

12.2.4 Verbinding

Voor de meeste vogels is van belang dat het foerageergebied in de nabijheid van het broedgebied of de hoogwatervluchtplaats ligt. Als dat niet zo is, wordt het voor vogels minder aantrekkelijk om van die constellatie gebruik te maken (Ens, 1992). Het kost energie om van het ene naar het andere leefgebied te vliegen, waardoor vogels meer moeten eten of langer moeten foerageren (Folmer et al., 2022).

De afstand die soorten tussen leefgebieden kunnen overbruggen verschilt per soort. Ook zijn de afstanden afhankelijk van de ligging van de kolonie. Vogels uit broedkolonies in het binnenland kunnen nog steeds in de Waddenzee en Noordzeekustzone foerageren, waarbij ze veelal veel grotere afstanden afleggen (Manche et al., 2023).

12.3 Invloed van klimaatverandering

Klimaatverandering heeft een effect op voedsel, veiligheid en voortplantingshabitat van vogels.

Zeespiegelstijging

Indien het areaal intergetijdengebied afneemt door zeespiegelstijging zal daarmee het areaal foerageergebied en hoogwatervluchtplaatsen voor diverse vogelsoorten afnemen (Reneerkens, 2020). Ook buitendijkse broedgebieden, bijvoorbeeld lager gelegen (schelpen)stranden en kwelders, kunnen hierdoor verdwijnen. Voorlopig zal hier nog geen sprake van zijn.

Temperatuurstijging

Temperatuurveranderingen hebben nu al een effect op de soortensamenstelling en abundantie van vogels. Zo hebben overwinterende vogels zich meer naar het noorden verspreid, waardoor er een toename is van vogels in het Waddengebied (Philippart et al., 2017). Door de gestegen temperatuur in het Waddengebied heeft bijvoorbeeld de zwartkopmeeuw zijn verspreidingsgebied vanuit het zuiden noordwaarts kunnen uitbreiden, maar hebben de eider en de dwergmeeuw zich meer noordwaarts terug getrokken.

Ook de timing van migratie kan door temperatuurstijgingen veranderen. Zo starten sommige vogels eerder de vogeltrek naar het Noorden, waardoor ze maar een korte tijd in de Waddenzee spenderen en minder tijd hebben om op te vetten (Rakhimberdiev et al., 2018). Daarnaast kan de ligging van broedgebieden verschuiven. De noordse stern en eider bevinden zich in de Waddenzee bijvoorbeeld aan de zuidgrens van hun broedareaal, waardoor het aannemelijk is dat deze soorten zich onder invloed van klimaatverandering meer naar het noorden zullen verplaatsen (Heidinga et al., 2023). De aantallen overwinterende eiders nemen af in de Waddenzee, omdat er steeds minder ijsvorming is in de Oostzee, waardoor de noodzaak tot wegtrek daar is afgenomen.

De combinatie van temperatuurstijgingen met droogte vormt een bedreiging voor voedsel voor vogels. De ondiepe Waddenzee warmt relatief snel op, waardoor het gebied erg gevoelig is voor temperatuurstijgingen. Een toenemende watertemperatuur kan leiden tot eerdere voortplanting van schelpdieren (Philippart 2014) en een temporele mismatch tussen de piek van schelpdierlarven en de beschikbaarheid van algen als voedselbron voor deze larven. Recente hoge zomertemperaturen in combinatie met

droogte had massale sterfte van kokkels op droogvallende platen tot gevolg (Hamer et al., 2023). Daarnaast kunnen warme winters leiden tot een vermindering van kokkelbroed en overleving van kokkellarven door een verhoogde predatie door garnalen (Beukema & Dekker, 2020). Een ander effect van temperatuurstijgingen is dat exoten zich mogelijk beter kunnen handhaven in de Waddenzee, wat een effect kan hebben op de soortensamenstelling van bodemdieren, en dus het voedsel van vogels.

Vissen zijn ook gevoelig voor temperatuurstijgingen, waardoor deze eerder richting de koelere en diepere Noordzee migreren (van der Veer et al., 2022). Dit geldt met name voor oudere jaarklassen platvissen (Heidinga et al., 2023), die niet direct het hoofdvoedsel voor vogels vormen. Wel kan klimaatverandering leiden tot variaties in visbestanden, waardoor het broedsucces beter is in het ene jaar dan in het andere jaar (Heidinga et al., 2023).

Toenemende extremen

Naar verwachting zullen als gevolg van klimaatverandering langere periodes van droogte optreden en zal sprake zijn van hogere piekafvoeren. Zeer hete periodes in de ei- en kuikenfase, zware, langdurige regen, zware hagelbuien, zomerstormen en stormvloed kunnen het broedsucces zware slagen toebrengen. Een toename van voorjaars- en zomerstormen door klimaatverandering zorgt ook voor een afname in veiligheid van de nesten (Reneerkens, 2020). Nu komt dat tweemaal in zeven jaar voor, terwijl dat vroeger hoogstens eens in de tien jaar voorkwam (Hoekstra & Philippart, 2021). Overstroming kan daarnaast leiden tot onderkoeling van de jongen en afname van voedselbeschikbaarheid, omdat insecten door een lagere temperatuur wegkruipen bij regen.³⁷ Dit kan leiden tot verhogering of verminderde groei van jonge vogels, die de hele dag door moeten eten om niet te verzwakken.

Langdurige periodes van droogte kunnen leiden tot hogere predatiedruk op de broedeilanden, omdat grondpredatoren niet meer gehinderd zijn door hoge waterstanden en toegang kunnen krijgen tot de eilanden (van der Winden et al., 2008b).

12.4 Knelpunten

Op basis van een inschatting van de huidige situatie blijkt dat de grootste opgaven voor vogels liggen in de kombergingen Vlie, Borndiep, Pinkegat en Zoutkamperlaag. Schild en Eilanderbalg lijken het minst problematisch te zijn voor vogels.

Afname in voedselbeschikbaarheid

Voor voedsel ligt de grootste opgave in de Eems-Dollard, waar de biomassa schelpdieren structureel laag is. Dit hangt mogelijk samen met het slibrijker worden van de bodem en de toegenomen troebelheid van het water (Schmidt et al., 2021) en/of de afname in beschikbare nutriënten (Compton et al., 2017). Door temperatuurverhogingen in combinatie met droogte, kan de voedselvoorraad voor vogels die leven van kokkels en nonnetjes in de toekomst een probleem zijn.

Voedseltekorten voor visetende vogels over de gehele Waddenzee is aangeduid als knelpunt in het Actieplan Broedvogels (PRW, 2018). Broedsucces, en zeker broedsucces in relatie tot voedselbeschikbaarheid is voor veel soorten, plaatsen en jaren echter onbekend, waardoor het onzeker is, of, en zo ja in welke mate, waar en wanneer, voedselvoorraden beperkend zouden kunnen zijn.

Voor roofvogels en duinvogels waren onvoldoende data beschikbaar om een inschatting te maken voor voedselbeschikbaarheid, maar dit speelt zeker een rol bij deze soorten. Deze soorten ondervinden een verlaging van dichtheid en vangbaarheid van prooien door een successie van duinvegetatie, intensivering van de landbouw en een afname van de konijnenstand (PRW, 2018).

³⁷ https://www.naturetoday.com/intl/nl/nature-reports/message/?utm_source=newsletter&utm_medium=e-mail&utm_campaign=user-mailing&msg=32468, geraadpleegd op 10 juli 2024.

Te kort aan veilige hoogwatervluchtplaatsen

Met betrekking tot veiligheid ligt de grootste opgave in het Eijerlandse Gat, Vlie, Borndiep en Pinkegat, waar de grootste verstoring is van rustende, broedende of foeragerende vogels. Dit gaat met name om die delen van de kust waar nu geen of nauwelijks buitendijkse kwelders zijn en waar op het wad foeragerende vogels in drukke landbouwtijden of met hoge/dichte gewassen weinig of geen plek vinden om te kunnen overtijen (Waadfûgelwurkgroep Fryske Feriening foar Fjilbiology (WWFFF), 2021). Langs de Friese kust zijn het gebied Harlingen-Westhoek en Wierum aandachtsgebieden (Folmer et al., 2022; Fieten et al., 2022). Op Terschelling (Striep-De Ans) en langs de Groningse kust rondom Watum speelt dit probleem ook (Folmer et al., 2022).

Dijken functioneren ook als hoogwatervluchtplaatsen, maar zijn op dit moment niet ideaal. Grote betonblokken (Afsluitdijk) en breuksteen vormen onneembare barrières en een schuilplaats voor ratten (persoonlijke communicatie E. Lofvers, Rijkswaterstaat). Hierdoor zijn diverse dijktafsluitingen nu minder begaanbaar voor jonge kuikentjes en is het risico op predatie groot. Daarnaast vindt verstoring plaats door fietsers en wandelaars (al dan niet met honden), maar ook door fotografen en vogelaars.

Te weinig broedareaal

De grootste opgaven voor broedgebieden liggen in het Borndiep en Zoutkamperlaag. Strand- en koloniebroeders hebben te kampen met een tekort aan geschikt broedareaal door het gebrek aan dynamiek, het verdwijnen van broedgebied door menselijk handelen (aanleg Afsluitdijk, inpoldering buitendijkse kwelders, verstoring door hoge recreatiedruk) en het verdwijnen van slenken en slikkige delen (kwelder- en weidevogels) (van der Hut et al., 2014; PRW, 2018; Reneerkens, 2020).

Voor duinvogels is er te weinig broedgelegenheid door de te lage konijnenstand (bergeenden en tapuiten broeden in konijnenholen. Drees, 2004; PRW, 2018), of is het broedgebied als gevolg van successie en begrazingsbeheer ongeschikt geworden met verdwijnen van de blauwe kiekendief tot gevolg. Sommige vogelsoorten zoals de scholekster passen zich aan zeespiegelstijging aan en gaan broeden op hoger gelegen delen die beter beschermd zijn tegen overstromingen (Munaretto en Klostermann, 2011).

Te lage kwaliteit broedgebieden

Ook voor de kwaliteit van de broedgebieden is er een opgave. Er is een hoge mate van verstoring op de stranden, eilandstaarten en kwelders en zijn huidige broedlocaties door vegetatiesuccessie ongeschikt geworden (PRW, 2018; Heidinga et al., 2023). Overige zaken die ook spelen zijn een hoge predatiedruk (ratten, vossen, katten, grote meeuwen), vertrapping door nesten door grote grazers, een toegenomen overstromingsrisico en het sneuvelen van kuikens en nesten door maaibeheer (PRW, 2018; Heidinga et al., 2023). De effecten van grondpredatoren, zoals huis- en verwilderde katten, is onvoldoende in beeld, maar vermoedelijk desastreus voor soorten als tapuit (Trouwborst & Somsen, 2020).

12.5 Streefbeeld

Het streven is een Waddenzee waarin vogels een overvloed aan voedsel kunnen vinden, waarmee het belang als stopover in de internationale flyway is toegenomen. Er zijn fors meer schelpdiereters mede doordat de biomassa van schelpdieren is toegenomen door een verbetering in abiotische omstandigheden. Drukfactoren die de biomassa van kokkels negatief beïnvloeden zijn verdwenen zodat de gevolgen van eventuele kokkelsterfte door hittestress en droogte nihil zijn. Ook visetende vogels zijn in aantallen toegenomen, omdat de leefgebieden voor vis in de Waddenzee zijn verbeterd. Er is een duidelijk opgaande trend waarneembaar in roofvogels, mede doordat het aantal prooidieren (muizen en konijnen) substantieel is toegenomen.

Vogels vinden in de nabijheid van foerageergebieden voldoende en rustige binnendijkse hoogwatervluchtplaatsen. Vogels hebben minder last van verstoring omdat dijken in de nabijheid van belangrijke foerageergebieden buitendijks niet meer bereikbaar zijn voor mensen. Ook zijn dijken vogelvriendelijk ingericht, zodat kuikens niet tussen de betonblokken of breuksteen vallen en ten prooi vallen aan predatoren zoals ratten.

Het areaal broedgebied is in het Waddengebied substantieel toegenomen door op meerdere manieren de dynamiek terug te brengen in het systeem. Zo zijn er op meerdere eilanden kerven in de duinenrij aangebracht en zijn oude washovers hersteld. Natuurlijke slenken zijn veelvuldig teruggekeerd in het kwelderlandschap. Langs het hele kustgebied is een parelsnoer van brakke natuurgebieden te vinden, dat naast broedgebied voor vele soorten functioneert als foerageergebied en hoogwatervluchtplaats.

De kwaliteit van huidige broedgebieden is toegenomen, doordat de rust op de eilandstaarten en kwelders is terug gebracht. Het predatierisico en vernietiging van de nesten door vertrapping of maaibeheer zijn geminimaliseerd door predatie- en nestbescherming.

Potentiële waarden

Wanneer aan dit streefbeeld voldaan wordt, kunnen vogels in groten getale van de Waddenzee gebruik maken. Door Dankers et al. (1990) is een schatting gemaakt van het aantal broedvogels dat in de toekomst aanwezig zou kunnen zijn (Tabel 12.2). Zij baseerden deze aantallen op historische aantallen, ontwikkelingen en omvang van populaties en mogelijk aanwezige aantallen bij betere bescherming (Dankers et al., 1990).

Ook in het Actieplan Broedvogels zijn streefdoelen voor het Waddengebied voor een aantal vogelsoorten bepaald (PRW, 2018; Tabel 12.2). Deze streefdoelen zijn veelal gebaseerd op de streefdoelen in het Beschermingsplan Duin- en Kustvogels die voor het hele kustgebied zijn vastgesteld (van der Winden et al., 2008b; Tabel 12.2). Deze streefwaarden zijn een mix van ambitie, habitatpotentie en realisme en zijn gebaseerd op behoud van de omvang van de populatie (anno 2008). Als de soort is afgenomen is er een gewenst toekomstig niveau gedefinieerd. Er is gekeken naar hoeveel broedparen er aanwezig waren in het begin van de 20ste eeuw. Echter, omdat een belangrijk deel van de dynamiek niet meer te realiseren valt door onomkeerbare processen, is ook gekeken naar de omvang van de populatie die nodig is om de uitsterfkans van een soort in Nederland te minimaliseren (van der Winden et al., 2008a). Hiervoor zijn duurzaamheidsnormen gehanteerd voor levensvatbare populaties (c.f. Foppen et al., 1998).

De mogelijke haalbare toekomstige populatiegrootte (Dankers, 1990) en streefwaardes voor het Waddengebied (PRW, 2018) zijn vaak vele malen hoger dan de huidige Natura 2000-doelstellingen (Tabel 12.2).

Tabel 12.2 Overzicht van soorten waarvoor streefwaarden geformuleerd zijn voor de Waddenzee in vergelijking met de Natura 2000-doelstellingen voor broedvogels (bron: Dankers, 1990; van der Winden et al., 2008a; PRW, 2018; Heidinga et al., 2023).

Soort	Natura 2000-doelstelling broedvogels Waddenzee (broedparen) (Heidinga et al., 2023)	Mogelijk haalbare toekomstige populatiegrootte (broedparen) (Dankers (1990))	Streefwaarde Waddengebied (broedparen) (PRW, 2018)	Streefwaarde Nederlandse kust (broedparen) (van der Winden et al., 2008a)
Eidereend	5.000	10.000	8.000	8.000
Bergeend	-	1.500	-	-
Scholekster	-	10.000	12.000	-
Strandplevier	50	500	75 (met sleutelpopulatie van 60 paar)	400 (in min. 6 sleutelpopulaties van elk 60 paar)

Soort	Natura 2000-doelstelling broedvogels Waddenzee (broedparen) (Heidinga et al., 2023)	Mogelijk haalbare toekomstige populatiegrootte (broedparen) (Dankers (1990))	Streefwaarde Waddengebied (broedparen) (PRW, 2018)	Streefwaarde Nederlandse kust (broedparen) (van der Winden et al., 2008a)
Bontbekplevier	60	500	200 (in min. 3 sleutelpopulaties van elk 60 paar)	400 paar (in min. 6 sleutelpopulaties van elk 60 paar)
Tureluur	-	4.000	3.500 (ruim de helft van 6.500)	6.500
Kluut	3.800	5.500	4.030	6.000
Zilvermeeuw	-	30.000	50.000	-
Stormmeeuw	-	3.000	5.000	-
Kokmeeuw	-	60.000	70.000-75.000	-
Visdief	5.300	20.000	12.500	25.000
Noordse stern	1.500	5.000	2.000	2.000
Dwergstern	200	1.000	400	800
Grote stern	16.000	25.000	12.500	25.000
Blauwe kiekendief	3	-	70 met sleutelpopulaties in de westelijke en oostelijke Waddenzee	70
Velduil	5	-	80 met min. 2 sleutelpopulaties	80
Tapuit	-	-	3 sleutelpopulaties met min. omvang van 120 paar per populatie	600
Paapje	-	-	1 sleutelpopulatie van 120 paar	600

12.6 Mogelijke maatregelen

Vergroten voedselbeschikbaarheid

Om deze streefwaarden te halen is het noodzakelijk dat de voedselbeschikbaarheid van de vogelsoorten voldoende is. Voor schelpdier etende vogels is het zaak om het aantal schelpdieren in o.a. de Eems-Dollard, die als slechtste komberging scoorde, te vergroten (Figuur 12.4). Dit vergt oplossing van de slibproblematiek zodat schelpdieren minder hinder ondervinden van een troebele waterkolom en verslibbing van de zandplaten. Het Natura 2000-Beheerplan Eems-Dollard (in wording) biedt hier handvatten voor (Rijkswaterstaat & Royal HaskoningDHV, 2023). Wanneer foerageergebieden door zeespiegelstijging onder druk komen te staan zal de foerageerdruk hoger worden op platen die nog wel droogvallen. Het is dan zaak om deze wadplaten zoveel mogelijk te beschermen, zodat de voedselvoorraad voor vogels hier zo groot mogelijk blijft.

Ook voor roofvogels dient de voedselbeschikbaarheid te worden vergroot. Dit kan bijvoorbeeld door duinhabitat te verbeteren, natuurinclusieve (vogelvriendelijke) landbouw en het aanleggen van vogelakkers. Het laten groeien van de populatie van de blauwe kiekendief is een grote opgave en vraagt om maatregelen in de duinen en landbouwgebied. Duinbeheer voor de blauwe kiekendief moet zich richten op het geschikt houden van de duinen voor broeden en foerageren. Daarvoor is een gevarieerd duinlandschap met een rijk voedselaanbod (konijnen, muizen, vogels) nodig. Via uitgekiende begrazingsprogramma's met maatwerk, kunnen zowel verruiging worden teruggedrongen als gunstige broed- en foerageerplekken worden gehandhaafd. In de praktijk komt dat er vooral op neer om op vrij kleine schaal méér te variëren met verschillende vormen van begrazing (wisselbegrazing, winterbegrazing, jaarrondbegrazing). Momenteel is een verhoogde sterfte in het eerste levensjaar een belangrijk knelpunt voor de soort. Onder dood gevonden blauwe kiekendieven bleek verhongering (vaak gepaard gaande met ziekte) een belangrijke doodsoorzaak. Een te gering voedselaanbod, vooral van veldmuis, is daarvan waarschijnlijk de oorzaak. Maatregelen in het landbouwgebied, waar de blauwe kiekendief vooral in het winterhalfjaar verblijft, moeten zich daarom richten op het vergroten van het voedselaanbod. Overigens blijkt uit recent onderzoek in Groningen (Bos, J., 2024) dat de vogels 's winters vooral boven gangbaar grasland jagen en daar net zoveel of zelfs meer prooien per uur vingen dan in de percelen met natuurmaatregelen terwijl in die laatste de aantallen muizen doorgaans aanzienlijk hoger zijn.

Voor viseters dient er voldoende vis te zijn (zie hiervoor ook [hoofdstuk 13](#)). Maatregelen met betrekking tot voedselbeschikbaarheid betreffen vooral maatregelen voor het beheer en gebruik van het Waddengebied.

Extra binnendijkse hoogwatervluchtplaatsen

Vogelpopulaties dienen voldoende veilige hoogwatervluchtplaatsen te vinden nabij voedselrijke gebieden. Op sommige locaties in het Waddengebied ontbreekt het nu aan veilige locaties waar vogels kunnen overtijen. Er kunnen hoogwatervluchtplaatsen gecreëerd of verbeterd worden hetgeen in sommige gebieden momenteel wordt opgepakt in het kader van tussentijdse maatregelen Natura 2000 Waddenzee (persoonlijke communicatie M. Bakker, Rijkswaterstaat). Het lijkt verstandig hoogwatervluchtplaatsen binnendijks aan te leggen, zodat ze niet onderlopen bij zeespiegelstijging.

De WWFFF beveelt aan om langs de Friese kust (tussen Harlingen en Lauwersoog) zones van 8-10 ha rondom dijkputten (afgegraven binnendijkse putten ten gunste voor grondwinning voor dijken) voor ecologische medegebruik in te richten (WWFFF, 2021). Naast het ecologisch inrichten van dijkputten zijn ook dubbele dijken of wisselpolder concepten geschikt om hoogwatervluchtplaatsen te creëren (Folmer et al., 2022), bijvoorbeeld bij Noord-Watum (Fieten et al., 2022). In Fieten et al. (2022) wordt de herinrichting van Polder Oost als hoogwatervluchtplaats (1.000 ha vernatten) als fysieke maatregel benoemd. In het kader van het project Wij- & Wadvogels is men bezig met de aanleg en herstel van diverse hoogwatervluchtplaatsen, zoals bijvoorbeeld in het Amstelmeer (persoonlijke communicatie G. Dommerholt, 9 mei 2024).

Dijken functioneren ook als hoogwatervluchtplaats. Dijken worden echter ook frequent gebruikt door fietsers, wandelaars (al dan niet met hond), fotografen en vogelaars en soms scooters, motoren en auto's. Bij de aanleg van een fietspad langs de dijk dienen zones met belangrijke concentraties vogels vermeden te worden, om verstoring te voorkomen (WWFFF, 2021). Om de veiligheid voor vogels op dijken verder te vergroten kunnen dijktafsluitingen verbeterd worden door andere materiaal te gebruiken dan betonblokken en breuksteen, waardoor deze beter begaanbaar worden voor kuikentjes en het predatierisico door ratten wordt teruggedrongen.

Herstel dynamiek kustgebieden

Er is ook behoefte aan voldoende broedgebieden van goede kwaliteit. Voor strandbroeders en koloniebroeders kan er nieuw broedgebied gecreëerd worden door het vergroten van de dynamiek op de eilanden en het herstel van slenken (PRW, 2018). Voor een sleutelgebied, waar een vogelpopulatie zich duurzaam kan handhaven, is een oppervlakte nodig van meerdere honderden hectares (Dulfer, 2023). Van der Winden et al. (2008a) stellen dat voor de gehele Nederlandse kust een vergroting van het oppervlak pionierbiotoop kustgebied nodig is van 1,5-3 keer het oppervlak in 2008 waar sterns, eenden en steltlopers van zouden kunnen profiteren.

In het door het OBN geïnitieerde onderzoek 'Inrichting en beheer van broedhabitat voor kustbroedvogels in Nederland' (Van de Boogaard et al., 2023) wordt aanbevolen bij herstel van kustvogelbroedgebieden de prioriteit te geven aan het terugbrengen van dynamiek in de intergetijdegebieden zodat door erosie en sedimentatie de vegetatiesuccessie voortdurend wordt teruggezet waardoor broedmogelijkheden en het broedproces op natuurlijke wijze positief worden beïnvloed. Ook voor binnendijkse gebieden geldt dat herstel van dynamiek de voorkeur heeft.

Het aanwezig zijn van geschikt habitat is niet de enige factor die de vestiging van kustbroedvogels bepaalt. In habitatkeuze spelen meerdere factoren mee, zoals geschiktheid van het substraat, competitie om broedhabitat, de predatiedruk en menselijke verstoring. Daarnaast speelt voor kolonievogels ook enerzijds het voordeel dat kan worden verkregen van broeden in een grote kolonie, waaronder bijv.. bescherming en anderzijds mogelijke nadelen, zoals een toegenomen kans op parasieten en infecties (vogelgriep) en competitie (Brown et al. 1990; Brown & Brown 2001).

De belangrijkste kansen voor permanente maatregelen liggen in het Waddengebied bij het Lauwersmeer (door herstel getijdenwerking en zoet-zout gradiënt), uitbreiding van de broedgelegenheden in de oostelijke Waddenzee en het ontpolderen van gebieden ten behoeve van pionierskwelders (van der Winden et al., 2008a). Het Actieplan Broedvogels geeft de zuidkust van Terschelling, Ameland, Amstelmeer, de Zürich Oostpolder, en de vastelandskust van Groningen (o.a. omgeving Dollard/Nieuw Statenzijl) en Friesland aan als belangrijkste zoekgebieden voor binnendijkse vergroting van areaal broedgebied voor strand – en koloniebroeders (PRW, 2018; Figuur 12.4). Ook zijn er diverse initiatieven voor broedeilanden (Amstelmeer, Schiermonnikoog, Vogelsand).

Het Groninger Landschap heeft ambities om een parelsnoer aan brakke parels aan de vastelandskust uit te breiden. Reeds verzilte gebieden vormen een goede mogelijkheid om deze binnendijkse brakke meren met broedeilanden te realiseren. Deze brakke parels kunnen tegelijkertijd dienen als klimaatbuffer, door bij veel neerslag water vast te houden hetgeen ook een uitkomst kan bieden tegen droge zomers.³⁸ Door klimaatbuffers te koppelen aan moeras- en waternatuur, tevens een mogelijke oplossing voor de verziltingsproblematiek, kunnen veel vogels profiteren.

Voor duinvogels is er ook pionierhabitat nodig. Volgens van der Winden et al. (2008a) dient voor de gehele Nederlandse kust de omvang van vochtige open duinvalleien 2,5 keer zo groot te worden en van open duinen wel 5 keer groter dan de situatie in 2008. Op de Waddeneilanden liggen vooral kansen voor het herstel van vochtige duinvalleien (van der Winden et al., 2008a). Kansen voor het herstel van dynamiek in duingebieden waarvan duinvogels zullen profiteren liggen vooral op Terschelling en op Schiermonnikoog (PRW, 2018), maar ook op andere eilanden. (zie ook [hoofdstuk 7](#)).

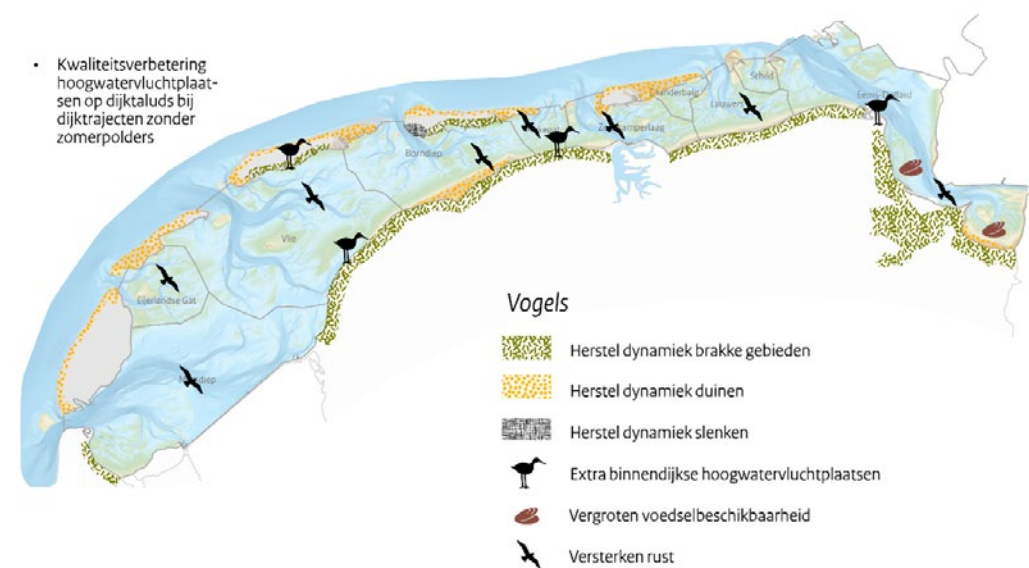
Kwelder- en weidevogels profiteren van extensieve, natte en kruidenrijke graslanden. Daarnaast profiteren kluut, scholekster en tureluur van het herstellen van oorspronkelijke slenken langs de Waddenkust (PRW, 2018). Bij handhaving en ontwikkeling van deze gebieden dienen natte ondiepe en slijkige delen en droge delen met wat vegetatie elkaar op kleine schaal af te wisselen (van der Winden et al., 2008b).

³⁸ https://www.naturetoday.com/intl/nl/nature-reports/message/?utm_source=newsletter&utm_medium=e-mail&utm_campaign=user-mailing&msg=32468, geraadpleegd op 10 juli 2024..

Wij&Wadvogels heeft reeds diverse initiatieven geïnitieerd om leefgebieden voor kwelder- en weidevogels te herstellen (persoonlijke communicatie G. Dommerholt, 9 mei 2024).

Verbetering kwaliteit broedgebieden

De kwaliteit van de huidige broedgebieden dient ook verbeterd te worden. Hiervoor zijn diverse beheermaatregelen mogelijk zoals (recreatie)zoning, uitrasteren van broedgebieden tegen vertrapping van vee en predatiedruk verminderen (PRW, 2018). Een deel van deze maatregelen is al opgepakt in het project Wij&Wadvogels, zoals nestbescherming van de tapuit in de Noordduinen, preventie van predatie in het Balgzand en de pilot dynamisch zoneren Westhoek en een groot project met anti-grondpredatiemaatregelen op diverse locaties in samenwerking met Rijkswaterstaat, Beheerautoriteit Waddenzee en Wij&Wadvogels (persoonlijke communicatie G. Dommerholt, 9 mei 2024). Voor de tweede fase van het project zijn nog meer initiatieven gepland.



Figuur 12.4 Mogelijke maatregelen voor realiseren streefbeeld voor leefgebieden van vogels. Deze kaart bevat geen beheersmaatregelen ten behoeve van het bevorderen van kwaliteit van broedgebieden (bijvoorbeeld Predatiebescherming, vegetatiebeheer). Zoekgebieden voor dit type maatregelen staan weergegeven in het Actieplan Broedvogels.

13 De Waddenzee als leefgebied voor vissen

13.1 Achtergrond

De Waddenzee is een belangrijk leefgebied voor vele vissoorten, die tenminste voor een deel van hun levenscyclus van de Waddenzee gebruik maken. Op grond van de periode in hun levenscyclus waarin vissen in de Waddenzee verkeren is de volgende indeling in visgildes te maken (Tulp et al., 2022):

- **Mariene juvenielen** (schol, tong, schar, wijting, kabeljauw, rode poon, zeebaars, haring): vissoorten die in de Waddenzee verblijven en er alleen in hun eerste levensfase opgroeien. Ze profiteren in de Waddenzee van de hoge voedselbeschikbaarheid en mogelijkheden om te schuilen tegen predatoren (van der Veer et al., 2000).
- **Estuariene residenten** (bot, puitaal, zeedonderpad, vijfdradige meun, harnasmannetje, zeenaald): vissoorten die hun hele levenscyclus in de Waddenzee doorbrengen.
- **Migrerende (diadrome) vissen** (aal, spiering, fint, rivierprik, zeebek, zalm, zeeforel, Noordzee houting): vissoorten die de Waddenzee als trekroute gebruiken.
- **Toevallige gasten en seizoensmigranten** (sprot, ansjovis, sardine): kleine pelagische vissoorten die alleen soms of binnen een bepaald seizoen in de Waddenzee verblijven.

Roggen (stekelrog en pijlstaartrog) kwamen vroeger veel voor in de Waddenzee (Wolff, 2000), maar de huidige verspreiding is onbekend. Grotendeels blijven deze soorten onder de radar, omdat ze niet worden gemonitord. Samen met de ruwe haai zijn dit de toppredatoren van de Waddenzee.

Vis is een essentiële schakel in het voedselweb. Kleine soorten vis en jonge jaarklassen zijn voedsel voor vogels (sterns, meeuwen, futen, zaagbekken en lepelaars). Grotere vissen (haring, platvis, zandspiering) zijn voedsel voor vissen (kabeljauw, haaien, roggen, zeebaars) en zeezoogdieren.

13.2 Huidige situatie

De totale biomassa van bodemvis laat in alle kombergingen hetzelfde patroon zien: een toename tussen 1970-1980, een piek midden in de jaren '80 en een sterke afname tot het jaar 2000 wanneer de trends zich stabiliseren (Tulp et al., 2017). De oorzaken van de afname zijn onduidelijk, maar de verhoogde watertemperatuur, schade aan habitats (door zandsuppletie, baggeren en visserij) en verhoogde predatie door toppredatoren worden genoemd als mogelijke oorzaken (PRW, 2015; van der Veer et al., 2015).

Lange-termijn trends in de internationale Waddenzee laten het volgende beeld zien voor de verschillende visgildes (Tulp et al., 2022):

- **Mariene juvenielen:** Afnames sinds begin jaren '80 gevolgd door een stabiele trend op laag niveau in de laatste één of twee decennia. In de Nederlandse Waddenzee neemt alleen de zeebaars nog significant af. Trends voor vier soorten zijn stabiel (bot, tong, schar, wijting) en voor drie soorten onzeker (kabeljauw, rode poon, haring) (Tabel 13.1).
- **Estuariene residenten:** Langjarige trends verschillen tussen internationale Waddenzee regio's en monitoringssurveys. In de Nederlandse Waddenzee laten alleen de zeedonderpad en het harnasmannetje negatieve trends zien. De trend voor de overige soorten (bot, puitaal, vijfdradige meun, zeenaalden) is stabiel (Tabel 13.1).
- **Diadrome soorten:** Aantallen van het merendeel van de soorten (glasaal, spiering (voor- en najaar), fint (voor- en najaar), zeebek, zeeforel) nam in de periode 2011-2020 significant af. Uitzonderingen

zijn de rivierprik (stabiele trend) en de houting (significante toename) (Tabel 13.1).

- **Toevallige gasten en seizoensmigranten:** Voor deze vissoorten zijn er alleen gegevens van de westelijke Waddenzee bekend. In de westelijke Waddenzee kent sprout een stabiele trend, ansjovis is lichtelijk afgenomen en sardine lijkt juist meer voor te komen.

Tabel 13.1 Samenvatting van trends (data van alle surveys samengenomen) per decennium in de Nederlandse Waddenzee. De trendschatting (toename, afname, stabiel of onzeker) is afgeleid door de modus van de schattingen per jaar en gebied te nemen (Tulp et al., 2022).

		Dutch Wadden Sea				
		1971-1980	1981-1990	1991-2000	2001-2010	2011-2020
Marine juvenile species						
<i>Pleuronectes platessa</i>	plaice	↑	↓	→	→	→
<i>Solea solea</i>	sole	↑	↓	↑	→	→
<i>Limanda limanda</i>	dab	→	→	↓	↓	→
<i>Merlangius merlangus</i>	whiting	↑	→	↓	→	→
<i>Gadus morhua</i>	cod	0	↓	→	0	0
<i>Chelidomchthys lucerna</i>	tub gurnard	0	0	0	0	0
<i>Dicentrarchus labrax</i>	sea bass	0	↑	↑	→	↓
<i>Clupea harengus</i>	herring	0	↑	→	↓	0
Estuarine resident species						
<i>Platichthys flesus</i>	flounder	→	→	→	→	→
<i>Zoarcetes viviparus</i>	eelpout	↑	↓	→	→	→
<i>Myoxocephalus scorpius</i>	bullrout	↑	↓	→	→	↓
<i>Ciliata mustela</i>	five-bearded rockling	→	→	→	→	→
<i>Agonus cataphractus</i>	hooknose	↑	→	↓	↑	↓
<i>Syngnathus sp.</i>	pipefishes	0	↑	→	→	→
Diadromous species						
<i>Anguilla anguilla</i>	eel	0	↓	0	0	0
<i>Anguilla anguilla</i> (young)	eel	↓	↓	↓	→	↓
<i>Osmerus eperlanus</i> (Apr-May)	smelt				↑	↓
<i>Osmerus eperlanus</i> (Aug-Oct)	smelt	0	0	0	0	↓
<i>Alosa fallax</i> (Apr-May)	twaites shad	↑	↓	→	0	↓
<i>Alosa fallax</i> (Aug-Oct)	twaites shad	0	→	→	↓	↓
<i>Lampetra fluviatilis</i>	river lamprey				↓	→
<i>Petromyzon marinus</i>	sea lamprey				↓	↓
<i>Salmon salar</i>	salmon					
<i>Salmo trutta</i>	sea trout	0	↓	→	→	↓
<i>Coregonus oxyrinchus</i>	houting				↑	↑
Marine adventitious and seasonal migrant species						
<i>Sprattus sprattus</i>	sprat	0	↑	↓	↓	0
<i>Engrau/is encrasicolus</i>	anchovy	0	0	0	0	0

↓ = afname → = stabiel ↑ = toename 0 = onzeker

Om de huidige situatie voor leefgebieden voor vissen in te schatten, zijn voor het leefgebied voor vissen vier criteria onderscheiden:

1. **Voedsel:** Voor verschillende soorten vissen.
2. **Veiligheid:** Blootstelling aan visserij en predatie van zeehonden.
3. **Voortplantingshabitat:** De aanwezigheid van paaisubstraat, kinderkamer- en kraamkamerhabitat
4. **Verbinding:** Tussen Waddenzee en achterland.

13.2.1 Voedsel

De visgemeenschap in de Waddenzee bestaat uit diverse soorten met verschillende voedselkeuzes, variërend van plankton, benthos, garnalen tot vis. Schelpdieren (mosselen, grote zwaardschede, kokkels, nonnetje) zijn een belangrijke bron voor voedsel voor vissen (Kellnreiter et al., 2012; Poiesz et al., 2020). Platvissen leven bijvoorbeeld van de syphons van deze dieren, maar eten ook wormen (Kellnreiter et al., 2012; Poiesz et al., 2020). Andere soorten leven van zoöplankton, krabben, wadkreeftjes, garnalen, kwallen en andere vissen (Kellnreiter et al., 2012; Poiesz et al., 2020). Roeipootkreeftjes (die deel uitmaken van het zoöplankton) en garnalen lijken over het algemeen de belangrijkste prooisoorten van vissen te zijn (Kellnreiter et al., 2012; Poiesz et al., 2020).

Om voedsel voor vissen te beoordelen is gekeken naar het voorkomen van verschillende prooidieren in de kombergingen waarvoor data beschikbaar zijn en tevens naar visserijgegevens, omdat prooidieren deel uit kunnen maken van de (bij)vangst. Data van plankton zijn ruimtelijk te beperkt om een inschatting te maken voor de voedselbeschikbaarheid voor vissen.

Bodemdieren (benthos) zijn voedsel voor platvissen. Echter sublitorale schelpdieren zijn niet meegenomen in de analyse omdat deze alleen in de westelijke Waddenzee (Marsdiep en Vlie) gemonitord worden. Wel is er vanuit het project Waddenmozaïek wellicht gebiedsdekkende data beschikbaar, maar deze data zijn (nog) niet gepubliceerd. Om de biomassa van kokkels, mosselen, nonnetjes en de dichtheid van zwaardschedes op droogvallende platen in kaart te brengen is gebruik gemaakt van gegevens in de Schelpdiermonitor³⁹ voor de jaren 2017-2022. Voor wormen op droogvallende platen zijn de gegevens uit de jaren 2008-2010 die gepubliceerd zijn in Compton et al. (2013) gebruikt.

Kreeftachtigen als garnalen en krabben worden ook veelvuldig gegeten voor vissen. Voor de beoordeling van krabben dienden de gegevens uit de Schelpdiermonitor 2017-2022 terwijl voor garnalen gebruik is gemaakt van gegevens uit de DFS-survey (jaarlijkse bodemvis monitoring) voor de vijf meest recente jaren (2017-2021) die gepubliceerd staan op de Waddenviewer.⁴⁰

Vis (en dus ook vis als prooi voor grote vissen) wordt in de Waddenzee gemonitord met de DFS-survey (bodemvis monitoring, de NIOZ-fuik waarbij in voor- en najaar op dagelijkse basis gemeten wordt, de fuikmonitoring bij Kornwerderzand voor trekvissen (voor- en najaar) en met de halfjaarlijkse voor- en najaar ankerkuilmonitoring in de Eems (voor een gedetailleerd monitoringoverzicht zie Tulp et al., 2022). Voor de beoordeling van vis als prooi wordt alleen gebruikt van de DFS-survey omdat dit de enige monitoring is die gebiedsdekkend plaatsvindt. Om een inschatting te maken van de belangrijkste prooisoorten van grote vissen (gemiddeld aantal exemplaren bot, tong, schol en haring in het monster) per komberging is de tijdreisfunctie van de Waddenviewer gebruikt.⁴¹ De score is gebaseerd op een gemiddelde van de vijf meest recente jaren waarvoor data beschikbaar was (de periode 2017-2021).

Visserij kan de voedselbeschikbaarheid voor vissen negatief beïnvloeden. In de Waddenzee komen verschillende vormen van visserij voor, zoals visserij met vaste vistuigen (staand want, de zegen, fuiken, kubben, spieringkamer, ankerkuil), mosselzaadvisserij, spieringvisserij en garnalenvisserij (Heidinga et al., 2023).

³⁹ <https://www.wur.nl/nl/artikel/schelpdiermonitor.htm>, geraadpleegd op 9 mei 2024.

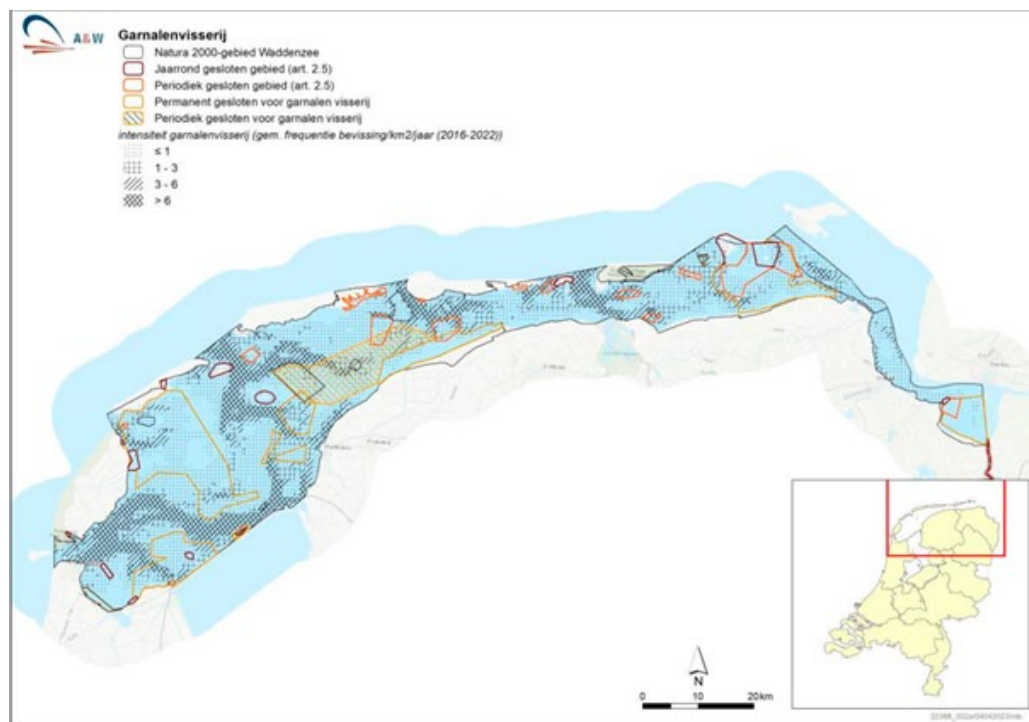
⁴⁰ <https://basisonderzoekwadden.waddenzee.nl/datahuis-o/waddenviewer/>, geraadpleegd op 9 mei 2024.

⁴¹ <https://basisonderzoekwadden.waddenzee.nl/datahuis-o/waddenviewer/>, geraadpleegd op 9 mei 2024.

Met vaste vistuigen wordt vooral Noordzeekrab gevangen, op grote afstand gevolgd door tong en kabeljauw (Heidinga et al., 2023 op basis van RVO vangstregistratie). Het is momenteel onduidelijk waar deze vorm van visserij precies plaatsvindt, omdat er in het beheerplan geen afspraken zijn gemaakt over het registreren van dit gebruik (Heidinga et al., 2023). Deze vorm van visserij is daarom niet meegenomen in de analyse.

Bij mosselzaadvisserij in de westelijke Waddenzee (kombergingen Marsdiep en Vlie) maken krabben een groot deel uit van de bijvangst. Verder heeft mosselzaadvisserij een negatief effect op de biomassa van mosselen in laagdynamische gebieden (Smaal et al., 2021).

Garnalenvisserij vindt in alle kombergingen plaats, maar in verschillende intensiteit (Glorius, 2023; Figuur 13.1). Naast een effect op de garnalenstand heeft garnalenvisserij, via bijvangst, mogelijk ook effect op de visbestanden (zie paragraaf Veiligheid). Om garnalenvisserij per komberging te beoordelen is gebruik gemaakt van een kaart van de gemiddelde intensiteit van garnalenvisserij (periode 2016-2022) (Glorius, 2023).



Figuur 13.1 Gemiddelde intensiteit garnalenvisserij in de periode 2016-2022 (WMR, Glorius, 2023) en gesloten gebieden. (Bron: Heidinga et al., 2023).

Garnalen zijn samen met zoöplankton de meest voorkomende prooisoot (Kellnreiter et al., 2012; Poiesz et al., 2020). Op basis van beoordeling van bovengenoemde data blijkt dat in de periode 2017-2021 garnalen in alle kombergingen te vinden waren. Van de kombergingen Eilanderbalg en Schild zijn geen gegevens beschikbaar, maar het is waarschijnlijk dat garnalen ook veelvuldig in deze kombergingen voorkomen. Krabben zijn over de jaren heen niet in alle kombergingen evenveel aanwezig. De meeste krabben zijn te vinden in het Lauwers en de minste krabben in de Eems-Dollard en Schild.

Schelpdieren komen in de periode 2017-2022 het meeste voor in de oostelijke Waddenzee (Borndiep, Pinkegat, Zoutkamperlaag, Eilanderbalg en Lauwers). Het Eijerlandse Gat en de Eems-Dollard herbergen minder schelpdieren. Wormen komen juist wel weer relatief veel voor in de Eems-Dollard en het Eijerlandse Gat, maar ook in het Vlie.

Voor grotere vissen (kabeljauw, ruwe haai) die ook andere vissoorten eten, blijkt op basis van de beschikbare data uit de periode 2017-2021 dat er vooral in het Eijerlandse Gat en Vlie relatief minder prooivissen voorkomen. De situatie is voor de kombergingen Eilanderbalg en Schild onbekend, omdat deze kombergingen geen bemonsteringslocaties bevatten. Door een gebrek aan monitoring is het niet in te schatten of deze kombergingen gelijke patronen vertonen met de andere kombergingen. Een vergelijking tussen kombergingen is op basis van deze data daarom lastig te maken en is niet bruikbaar.

In het Marsdiep en het Vlie spelen zowel de mosselzaadvisserij en garnalenvisserij (met hoge intensiteit) een rol. Dit is in de overige kombergingen (met uitzondering van de Zoutkamperlaag) niet het geval.

13.2.2 Veiligheid

Visserij is de belangrijkste bedreiging voor veiligheid van vis. Echter, een hoge visserij intensiteit betekent nog niet automatisch een groot effect op de vis populaties. Zoals in de [paragraaf 13.2.1](#) benoemd, komen er in de Waddenzee verschillende typen visserij voor. Mosselzaadvisserij heeft vooral effect op het voedsel van vissen (krabben) en niet op vis zelf. Daarom wordt mosselzaadvisserij niet meegenomen in deze analyse.

Garnalenvisserij wordt wel meegenomen. Uit bijvangstonderzoek in de periode 2012-2014 bleek dat 12,3% van de bijvangst bestond uit benthos en vis en 0,2% uit marktwaardige (aangelande) vis (van der Hammen et al., 2015). Bijvangst heeft vooral een effect op de mariene juvenielen, blijkt uit een literatuurreview door Eijsackers et al. (2023). Bijvangst door de garnalenvisserij zou kunnen leiden tot een reductie van de paaipopulaties van schol (12-17%), tong (5,3%), kabeljauw en wijting (ca. 1%) (Revill et al., 1999; van der Hammen et al., 2015). De overleving van jonge schol na bijvangst is slechts 20% (Berghahn & Purps, 1998). Trekvisserij behoren ook tot de bijvangst (Glorius et al., 2015; Steenbergen et al., 2015; van der Hammen et al., 2015), maar waarschijnlijk is dit niet bepalend voor de omvang van de populatie van deze soorten (Eijsackers et al., 2023). Daarnaast wordt jonge ruwe haai bijgevangen (persoonlijke communicatie S. van Lieshout, Rijkswaterstaat).

Om bijvangst te verminderen zijn garnalenvissers sinds het jaar 2000 verplicht om een zogenaamde 'zeeflap' te gebruiken. Deze 'zeeflap' houdt grote vissen tegen die vervolgens kunnen passeren via een ontsnappingsgat in de buik van het net. Kleine vissen belanden samen met de garnalen in het net (Eijsackers et al., 2023). Uit controles door schepen van de Waddenuit blijkt dat het nalevingsniveau 92% is (Eijsackers et al., 2023). Voor de analyse is gebruikt gemaakt van de gemiddelde intensiteit van garnalenvisserij (periode 2016-2022) (Glorius, 2023).

Spieringvisserij vindt alleen in het Marsdiep plaats, met name in de spuikommen Den Oever en Kornwerderzand bij de Afsluitdijk (Heidinga et al., 2023). Er wordt met name spiering gevangen, maar er is ook bijvangst van trekvisserij als fint, rivierprik en zeebek (van Rijssel et al., 2019).

Vissen worden gegeten door zeehonden. Onderwater spendeert de gewone zeehond de meeste tijd in de Noordzee (86%), maar toch kan de predatiedruk door de gewone zeehond in de Waddenzee aanzienlijk zijn (Aarts et al., 2019). Aarts et al. (2019) schatten in dat 43% van de jaarlijkse sterfte van vis in de Waddenzee wordt veroorzaakt door zeehondenpredatie. Echter, deze predatiedruk is gebaseerd op de bestandschattingen voor de visserij die waarschijnlijk een onderschatting geven van de werkelijke visbiomassa. In deze berekening ontbreekt ook het aandeel pelagische vis, wat waarschijnlijk aanzienlijk is. Om te weten wat de dieren werkelijk eten zou daarom zowel meer dieet monsters moeten worden onderzocht, als betere data over visbeschikbaarheid moeten worden verzameld. Op basis van de getelde zeehonden in de telgebieden blijkt dat de meeste gewone zeehonden⁴² en grijze zeehonden⁴³ voorkomen in het Marsdiep en Vlie.

⁴² <https://www.wur.nl/nl/show/populatie-gewone-zeehonden-in-de-nederlandse-waddenzee.htm>, geraadpleegd op 9 mei 2024.

⁴³ <https://www.wur.nl/nl/show/populatie-grijze-zeehonden-in-de-nederlandse-waddenzee.htm#:~:text=In%20het%20Nederlands%20deel%20van,is%20geweest%20in%20de%20Waddenzee.>, geraadpleegd op 9 mei 2024.

Over de functie van natuurlijke schuilmogelijkheden in de Waddenzee voor vis is vrij weinig bekend. Dat betekent echter niet dat schuilmogelijkheden niet van belang zijn. Wanneer de vijfdradige meun bijvoorbeeld moet kiezen tussen extreme temperaturen of een schuilmogelijkheid, heeft deze vissoort een voorkeur voor de schuilplaats (Dye et al., 2023). Schuilplaatsen zijn ook donkere, diepere wateren (pos, spiering) (Kranenbarg et al., 2022; Calle et al., 2020). Daarnaast is er een positieve correlatie gevonden tussen het voorkomen van zeesla en de vangst van zeenaalden, puitaal, zeedonderpad en botervis (Jak et al., 2020). Verder geeft Dulfer (2023) aan dat zeegrasvelden of schelpdierriffen van belang zijn voor leefgebieden van vis.

Uit de analyse blijkt dat vooral het Marsdiep, Vlie en Zoutkamperlaag onveilige kombergingen zijn voor vis omdat hier de visserij intensiteit het hoogst is. In de kombergingen Marsdiep en Vlie zijn ook relatief veel zeehonden te vinden.

13.2.3 Voortplantingshabitat

Onder het leefgebied dat nodig is voor voortplanting, wordt zowel het paaisubstraat, de kraamkamer en de kinderkamer verstaan. Er zijn weinig soorten die zich in de Waddenzee voortplanten. Dit betreft alleen de estuariene residenten zoals bijvoorbeeld bot, puitaal, zeedonderpad, vijfdradige meun, harnasmannetje en zeenaald. De zeedonderpad heeft een preferentie voor stenen en wieren om eitjes af te zetten (Wheeler, 1969 in Luksenburg et al., 2004). De vijfdradige meun en puitaal paaien op open zee, waarbij de eieren van de vijfdradige meun pelagisch zijn (MARE, 2001). Puitaal is levendbarend. De botervis legt zijn eitjes in een grote klomp op de zeebodem (Koop & Gibson, 2009).

Ook voor andere vissoorten is de Waddenzee een belangrijke kraamkamer. Zo zijn er in de westelijke Waddenzee eitjes van de ansjovis waargenomen, waarbij is aangenomen dat deze vooral in de geulen bij de Afsluitdijk paait waar het water brak is, waarna de eitjes door de waterkolom zweven (Boddeke & Vingerhoed, 1996). De zeegaten tussen de Waddeneilanden lijken een kraamkamer voor de ruwe haai⁴⁴ en paling⁴⁵ te zijn.

Andere soorten zoals tong, haring en sprout paaien op de Noordzee waar eitjes worden afgezet (vaak op de bodem) waarna de larven met de stroming de Waddenzee in drijven, waar ze opgroeien en hun eerste levensjaar verblijven (MARE, 2001). De Waddenzee vervult voor deze soorten een belangrijke functie als kinderkamer. Schol en haring hebben ondiep water nodig als opgroeigebied (van der Veer, 1990; MARE, 2001). Tong preferert modderige bodems van diepere getijdenplaten (PRW, 2015). Verder blijkt uit Duits onderzoek dat in kwelderkreken veel juveniele vis (met name grondels, platvis en haring) voorkomt (Friese et al., 2021). Ook in het kader van het Waddentools Swimway project is er in de Nederlandse kwelderkreken onderzoek gedaan naar het voorkomen van vis (Tulp et al., 2024). De resultaten van dit onderzoek worden eind 2024 verwacht.

Op dit moment is onvoldoende bekend hoe welk habitat gebruikt wordt en waar dit ligt (persoonlijke communicatie I. Tulp, Wageningen Marine Research). Daarom is het niet mogelijk om in te schatten of het voortplantingshabitat voor vis beperkend is of om aan te geven wat er nog nodig is.

⁴⁴ <https://www.wur.nl/nl/nieuws/zeegaten-tussen-waddeneilanden-lijken-kraamkamer-voor-ruwe-haai.htm>, geraadpleegd op 30 april 2024.

⁴⁵ <https://waddenvereniging.nl/nieuws/waddentools-symposium/>, geraadpleegd op 22 juni 2024.

13.2.4 Verbinding

Dit criterium is specifiek gericht op diadrome soorten die voor hun levenscyclus zowel van zoet als zout water afhankelijk zijn, zoals aal, bot, driedoornige stekelbaars, rivierprik, zeeprik en fint. Onder de diadrome soorten zijn er meer soorten met afnemende trends, dan soorten met stabiele of toenemende trends (Tulp et al., 2022). Om dit criterium te analyseren is gebruik gemaakt van de Nationale Visroutekaart⁴⁶ en kaarten in Philippart & Baptist (2016). Verbinding is alleen relevant voor kombergingen waar een verbinding met het achterland mogelijk is.

Alleen het Eems-estuarium heeft een geleidelijke overgang tussen zoet en zout water en vormt een belangrijke verbinding voor trekvis. Het is onbekend of de troebelheid in het Eems-estuarium een barrière vormt voor bijvoorbeeld trekvis. Wel is bekend dat trekvis (en andere vissoorten die ook in de Waddenzee voorkomen) nog veelvuldig voorkomen in het Gironde estuarium (bij Bordeaux) dat nog vele malen troebeler (zwevende stofgehalte van ≥ 200 mg/L; Savoye et al., 2012) is dan het Eems-estuarium (Chevillot et al., 2016; 2017). Verder zullen vissen die hun zicht gebruiken om op prooien te jagen grotere moeilijkheden ondervinden om hun prooien te vangen. Vermoedelijk zijn sterk beweeglijke soorten (haring, sprong en spiering) het sterkst afhankelijk van helder water (Baveco, 1988).

In het Marsdiep wordt gespuid (visvriendelijk spui-beheer) en is een grote zoete lokstroom mogelijk, maar deze verbinding is niet altijd beschikbaar. De Vismigratierivier bij de Afsluitdijk (nu in aanleg) kan zorgen voor een brakwater verbindingszone en zal de connectiviteit tussen zoet en zout voor migrerende vis verbeteren (van Donk et al., 2022). In het Pinkegat en Lauwers valt de meeste winst te behalen, omdat hier nog duidelijke knelpunten staan aangegeven op de Vismigratiekaart. Zo is noordoost Friesland nog niet goed verbonden met de Waddenzee en andere wateren in het achterland. Verder scoren Zoutkamperlaag, het Borndiep en Vlie ook niet optimaal, terwijl hier wel verbindingen liggen die echter door gemalen niet optimaal functioneren als zoet-zoutovergang voor vis.

13.3 Invloed van klimaatverandering

Klimaatverandering heeft een effect op voedsel, veiligheid, voortplanting en verbinding voor vissen.

Zeespiegelstijging

Voor vissen zal zeespiegelstijging niet direct een negatief effect hebben op het leefgebied. In tegendeel, het leefgebied wordt mogelijk op lange termijn juist vergroot doordat ondiepe delen permanent onder water zouden kunnen staan. Wel zal de connectiviteit voor vissen mogelijk beperkt worden wanneer er door zeespiegelstijging er maar over een korter deel van de dag kan worden gespuid onder vrij verval. Helemaal wanneer er in de toekomst steeds meer zoetwater afgevoerd moet worden door pompen (Jaksic et al., 2024).

Temperatuurstijging

De ondiepe Waddenzee warmt relatief snel op, waardoor het gebied erg gevoelig is voor temperatuurstijgingen. De gemiddelde watertemperatuur is in de periode 1960-2013 met ongeveer 2°C toegenomen, zowel in de winter, het voorjaar en in de zomer (van Walraven et al., 2017). Tegelijkertijd werden er in de NIOZ-fuik in het Marsdiep in deze periode veel minder puitalen en juist veel meer zeebaarsen gevangen (van Walraven et al., 2017). De Waddenzee ligt voor de puitaal aan de zuidelijke grens van het verspreidingsgebied, terwijl de Waddenzee juist de noordelijke grens is van het verspreidingsgebied van de zeebaars (van Walraven et al., 2017). Dit wijst erop dat temperatuurstijgingen kunnen leiden tot een verschuiving in het verspreidingsgebied van soorten en dat de soortensamenstelling van vissen hierdoor ook aan verandering onderhevig is.

⁴⁶ <https://storymaps.arcgis.com/stories/784f89c209bb4362b6453e6ad8f733be>, geraadpleegd op 30 april 2024.

Tegenwoordig vallen langdurige hoge zomertemperaturen buiten het optimum dat koud water vissoorten (schol, bot, schar) kunnen weerstaan (van der Veer et al., 2022). Sommige vissoorten zullen daarom eerder richting de koelere en diepere Noordzee migreren (van der Veer et al., 2022). Dit geldt met name voor oudere jaarklassen platvissen (van Keeken et al., 2007; Teal et al., 2008). Alleen jonge schol lijkt te profiteren van een langer groeiseizoen door de gestegen temperaturen, wat ook in de toekomst goed perspectief biedt voor de soort (van der Veer et al., 2022). Jonge schol zoekt bij hogere watertemperaturen verkoeling in de diepere delen van de Waddenzee, waar juist ook garnalenvisserij plaatsvindt (Freitas et al., 2016). Wanneer hittegolven vaker en langer voorkomen, zullen ook de jongere schol, en in mindere mate bot, mogelijk uit de Waddenzee verdwijnen (van der Veer et al., 2022) waarbij opgemerkt dat het ook mogelijk is dat door temperatuurstijgingen andere soorten juist de Waddenzee binnenkomen en dezelfde functie als jonge schol vervullen. Door het warmer wordende Noordzeewater trekken jonge haringen in het voorjaar juist steeds vroeger de Waddenzee op (Rademaker et al., 2024).

Hogere zeewatertemperaturen zorgen voor een verhoging van de stofwisseling van koudbloedige vissen. Vissen hebben daardoor meer eten nodig om te kunnen groeien, maar als dat er niet voldoende is, stagneert de groei in de loop van de zomer (Teal et al., 2008, 2012; Schram et al., 2013). Bij een hogere temperatuur zijn ook volwassen vissen kleiner (Ebbens et al., 2021; Hoekstra & Philippart, 2021) en mogelijk ook sneller, waardoor deze minder makkelijk te vangen zijn door predatoren (persoonlijke communicatie I. Tulp, Wageningen University & Research).

Stijging van de temperatuur kan ook leiden tot variaties in prooibestanden, hetgeen de voedselbeschikbaarheid van vissen kan beïnvloeden. Recente hoge zomertemperaturen in combinatie met droogte hebben tot massale sterfte van kokkels op droogvallende platen geleid (Hamer et al., 2023; Heidinga et al., 2023). Daarnaast kunnen warme winters leiden tot een vermindering van kokkelbroed en overleving van kokkelarven door een verhoogde predatie door garnalen (Beukema & Dekker, 2020). Warmer zeewater kan mogelijk nadelig zijn voor wadkreeftjes (Mouritsen et al., 2005).

Daarnaast lopen temperaturen in kwelderkreken vanwege hun geringe diepte relatief snel op, wat mogelijk leidt tot een vermindering van de kwaliteit van kwelderkreken als voortplantingshabitat en kinderkamer. Deze hypothese is nog niet onderzocht.

Verhoogde temperaturen hebben ook invloed op de timing van de voortplanting. Zo gaat de tong eerder paaieren in de Noordzee, waardoor de larven eerder aankomen in hun opgroeigebieden in de Waddenzee, waardoor ze door de nog lage temperaturen niet snel genoeg kunnen groeien. Dit heeft een negatief effect op de overlevingskans van juveniele tong (van de Wolfshaar et al., 2021).

Veranderde neerslagpatronen

Door veranderingen in winter- en zomerafvoeren, die in toenemende mate verwacht worden nemen de verschillen in saliniteit tussen zomer en winter toe, lokaal tot 5 – 8 PSU (Jaksic et al., 2024). Diadrome vissen kunnen vanwege hun levenscyclus grote variaties in zoutgehalte tolereren, maar het is wel belangrijk dat er geen plotselinge verandering in het zoutgehalte optreedt (Tangelder et al., 2017). De onregelmatigheid in afvoeren heeft ook een negatief effect op de connectiviteit, omdat het in stand houden van een zoete lokstroom hierdoor bemoeilijkt wordt en vissen minder goed de toegangspoort naar het achterland kunnen vinden (van Donk et al., 2022). Bij het wegvallen van afvoeren uit het IJsselmeer in de zomer zou de zout-zoet gradiënt in de Waddenzee zelfs grotendeels verdwijnen (Jaksic et al., 2024). Verwachte piekneerslagen in de winter kunnen zorgen voor veranderingen in zoutgehaltes wat mogelijk effect heeft op de verspreiding van vissen (Ebbens et al., 2021).

13.4 Knelpunten

Voor de gehele Waddenzee ligt er een opgave voor vis, zowel op het gebied van voedsel, veiligheid, voortplantingshabitat als verbinding. De knelpunten zijn per visgilde samengevat in Tabel 13.2.

Afname voedselbeschikbaarheid door klimaatverandering en visserij

Dit knelpunt speelt mogelijk bij meerdere visgildes. Stijgende zeewatertemperaturen hebben nu al een effect op prooidieren van vissen: met name schelpdieren (voedsel voor platvissen) en jonge vis (voedsel voor grote vissen). Platvissen lijken niet erg specifiek te zijn in hun dieet, waardoor ze mogelijk kunnen uitwijken naar andere prooidieren zoals wormen of zwaardschedes wanneer nonnetjes en kokkels minder aanwezig zijn. Nonnetjes en kokkels komen nu vooral veel voor in de oostelijke Waddenzee (met uitzondering van de Eems-Dollard).

Visbestanden kunnen in de toekomst ook veranderen. Zo is het mogelijk dat door verhoogde temperaturen sommige platvissen zoals schol en bot geheel uit de Waddenzee zouden kunnen verdwijnen (van der Veer et al., 2022). Daarnaast worden garnalen en vis ook (bij)gevangen. Het gaat hierbij om mosselen en krabben (mosselzaadvisserij), garnalen en vissen (garnalenvisserij). Het is onbekend of deze vormen van visserij een nijpend knelpunt zijn voor de voedselbeschikbaarheid van vissen.

(Bij)vangst door garnalen- en spieringvisserij

Visserij en predatiedruk door viseters zorgt ervoor dat veiligheid voor vissen in de kombergingen Marsdiep en Vlie in het geding komt. Predatiedruk is een natuurlijke drukfactor, maar visserij is dat niet. Ook andere kombergingen hebben te maken met één of beide van deze drukfactoren, maar in mindere mate. Bijvangst door garnalenvisserij is vooral een knelpunt voor mariene juvenielen en diadrome vissen (Tabel 13.2).

Mogelijk tekort aan schuilmogelijkheden, voortplantings- en opgroeihabitat

Temporele data laten zien dat de kinderkamerfunctie voor vis sinds de jaren '80 is afgenomen (van der Veer et al., 2022). Momenteel is het onduidelijk welk voortplantings- en opgroeihabitat vissen precies gebruiken, hoeveel daar van is en of er daadwerkelijk een tekort is aan voortplantingshabitat. Potentieel voortplantingshabitat wordt nu onderzocht in het project Swimway.

Wel is er voor enkele soorten bekend dat ze profiteren van een brakwaterzone (bijvoorbeeld haring en bot). Met uitzondering van de Eems-Dollard zijn deze brakwaterzones nauwelijks meer in de Nederlandse Waddenzee te vinden, terwijl deze in de historische Waddenzee veelvuldig voorkwam. Rond 1350 is geschat dat er ongeveer 200.000 ha brakwater in Nederland was (van Eerden, 2010).

Verbinding naar het achterland niet optimaal

Een veilige en constante verbinding naar het achterland is essentieel voor diadrome vissen. Het stroomgebied van noordoost Friesland is nog niet verbonden met de Waddenzee. Huidige verbindingen naar het achterland functioneren niet optimaal in Zoutkamperlaag, Borndiep en Pinkegat. Door klimaatverandering en de verdeling van zoetwater kan de verbinding van het IJsselmeer naar het Marsdiep onder druk komen te staan. De open verbinding naar de Eems-rivier wordt mogelijk bemoeilijkt door vertroebeling, veroorzaakt door bagger- en verspreidingsactiviteiten in het kader van de bereikbaarheid. Het is niet onderzocht of de troebelheid in de Eems-Dollard daadwerkelijk een knelpunt vormt voor diadrome vissen.

Zoet-zout gradiënt onder druk door klimaatverandering

Doordat het late voorjaar en de zomers gemiddeld steeds droger en warmer worden, voeren rivieren als de Eems, de Elbe en de Wezer in die tijd ook minder water af naar de Waddenzee (Philippart et al., 2022). In het IJsselmeer moeten de beheerders het water 's zomers ook steeds vaker vasthouden voor de landbouw en de drinkwatervoorziening. Recentelijk is de saliniteit in het Marsdiep toegenomen door een verminderde zoetwater toevoer, maar ook door meer verdamping en de omslag in stroming:

nu stroomt er netto meer Noordzee water het Marsdiep in dan dat er met eb uitstroomt (van der Molen et al., 2022). Het gevolg van deze ontwikkelingen is dat de natuurlijke, geleidelijke overgang van zoet naar zout op de Waddenzee weg valt.⁴⁷

Tabel 13.2 Samenvatting van de knelpunten per visgilde.

Gilde	Soorten	Knelpunten
Mariene juvenielen	Schol, tong, schar, wijting kabeljauw, rode poon, zeebaars, haring	<ul style="list-style-type: none"> Afname voedselbeschikbaarheid door klimaatverandering en visserij Bijvangst door de garnalenvisserij (schol, tong, kabeljauw, wijting) Tekort aan brakke zones als opgroeihabitat
Estuariene residenten	Bot, puitaal, zeedonderpad, vijdradige meun, harnasmannetje, zeenaald	<ul style="list-style-type: none"> Afname voedselbeschikbaarheid door klimaatverandering en visserij Tekort aan brakke zones als leefgebied
Migrerende (diadrome) vissen	Aal, spiering, fint, rivierprik, zeeprik, zalm, zeeforel, Noordzeehouting	<ul style="list-style-type: none"> Afname voedselbeschikbaarheid door klimaatverandering en visserij. (Bij)vangst door de garnalen- en spieringvisserij Verbinding naar het achterland ontbrekend of niet optimaal Zoete lokstroom onder druk door klimaatverandering
Toevallige gasten en seizoensmigranten	Sprot, ansjovis en sardine	

13.5 Streefbeeld

Het streven is een Waddenzee waarin vispopulaties in alle visgilden weer significant zijn toegenomen, met alle maten en leeftijden. Waarbij het belang voor de internationale Swimway is toegenomen. Vissen vinden voldoende voedsel in de Waddenzee en er is een compleet voedselweb waarin ook grote predatoren zoals haaien en roggen voorkomen.

Door herstel en behoud van grootschalige overgangen bij IJsselmeer, Lauwersmeer en Eems-Dollard is de habitatdiversiteit toegenomen en zijn er meer grote brakwaterzones. Daarnaast zijn er meerdere kleinere estuariene overgangen hersteld, waardoor Waddenzee breed meer areaal aan voortplantings- en opgroeihabitat en schuilmogelijkheden te vinden is. Door nieuwe overgangen naar binnendijksgebied zijn de binnenwateren in het achterland voor de vis ook beter te bereiken.

Huidige harde verbindingen tussen zoet en zoutwater (vispassages) zijn geoptimaliseerd en vispassages zijn visvriendelijker ingericht. Voor alle estuariene overgangen en intrekpunten is er door goed waterbeheer voldoende zoetwater voor de Waddenzee om in de migratieperiode van trekvis de zoet-zout gradiënten in stand te houden. Hierdoor blijft de zoete lokstroom in stand, wat bijdraagt aan het optimale functioneren van de intrekpunten. De open verbindingen van anno 2024 blijven behouden. Meanderende kwelder-kreken, die idealiter voldoende groot zijn met een zoetwaterafvoer, ontstaan en blijven in stand bij voldoende dynamiek van zee en afvoer van zoetwater en vervullen een belangrijke rol voor juveniele vis.

Door bescherming en het herstel van de natuurlijke processen in de Waddenzee, en het daarbij horende floreren van biobouwers is er door toename van riffen, zeegrasvelden en andere harde structuren zoals hout en keien belangrijk leefgebied voor vis bijgekomen. Daarnaast zijn er oplossingen gevonden om de mate van bijvangst van prooidieren van vissen door de visserij drastisch te verminderen.

⁴⁷ <https://www.nioz.nl/en/news/salt-gradient-in-the-wadden-sea-under-pressure-due-to-changing-climate>, geraadpleegd op 26 juni 2024.

13.6 Mogelijke maatregelen

Om het streefbeeld te bereiken zijn er diverse maatregelen te identificeren. Deze staan per visgilde samengevat in Tabel 13.3 en zijn daaronder uitgewerkt.

Tabel 13.3 Samenvatting van de mogelijke maatregelen per visgilde.

Gilde	Soorten	Knelpunten
Mariene juvenielen	Schol, tong, schar, wijting kabeljauw, rode poon, zeebaars, haring	<ul style="list-style-type: none"> Bescherming van kokkelpopulaties en/of vermindering visserijdruk op kokkels Aanleg brakwaterzones (bijvoorbeeld als onderdeel van grote en kleine estuariene overgangen) ten behoeve van opgroei-habitat haring Voldoende zoetwater voor behoud brakwaterzones Behoud van dynamiek op de kwelders ten behoeve van meanderende kwelderkreken als leefgebied voor juveniele vis Behoud open verbinding met de Noordzee Bijvangst van vis en prooidieren door garnalenvisserij substantieel verminderen Bescherming en herstel van biobouwers als leefgebied voor vis
Estuariene residenten	Bot, puitaal, zeedonderpad, vijdradige meun, harnasmannetje, zeenaald	<ul style="list-style-type: none"> Aanleg brakwaterzones (bijvoorbeeld als onderdeel van grote en kleine estuariene overgangen) Voldoende zoetwater voor behoud brakwaterzones Behoud, van dynamiek op de kwelders ten behoeve van meanderende kwelderkreken als leefgebied voor bot Bescherming en herstel van biobouwers als leefgebied voor vis
Migrerende (diadrome) vissen	Aal, spiering, fint, rivierprik, zeeprik, zalm, zeeforel, Noordzeehouting	<ul style="list-style-type: none"> Herstel grootschalige estuariene overgang Lauwersmeer Herstel van kleinschalige estuariene overgangen Westerwoldse Aa, Harlingen, Delfzijl en Den Oever. Optimaliseren huidige harde overgangen (inrichting als leefgebied, behoud zoete lokstroom en functionaliteit als vispassage) (Bij)vangst van vis door garnalen- en spieringvisserij substantieel verminderen Voldoende zoetwater voor behoud zoet-zout gradiënten
Toevallige gasten en seizoens-migranten	Sprot, ansjovis en sardine	<ul style="list-style-type: none"> Behoud open verbinding met de Noordzee

Herstel van grootschalige overgangen

Het herstel van estuariene gradiënten in het Waddengebied leidt tot een grotere diversiteit aan habitats en brakwaterzones (Janssen, 2000). In tegenstelling tot kleinschalige estuariene overgangen zijn grote estuariene overgangen veerkrachtiger omdat ze naar verwachting beter bestand zijn tegen klimaatverandering en zeespiegelstijging. Een grootschalige verbinding is het beste te realiseren wanneer een gebied voldoende zoetwater in het achterland heeft. Op drie locaties worden concrete mogelijkheden gezien. Het IJsselmeer met de Afsluitdijk, het Lauwersmeergebied en het Eems-Dollard estuarium (zie ook [paragraaf 8.5](#)). Voor het herstel van een grootschalige estuariene overgang met alle ecologische functies is een gebied van ordergrootte 10-100 km² nodig met een voldoende grote en constante watertoevoer.

Herstel/ontwikkeling van kleinschalige estuariene overgangen

De historische ontwikkeling van de Waddenzee laat zien dat er vroeger veel grote ondiepe overgangsgebieden waren waar veel vis voorkwam (Lotze et al., 2005; van Eerden, 2010; Vos & Knol, 2015). Deze estuariene gebieden zijn verloren gegaan. Diverse soorten maken gebruik van een brakwaterzone als voortplantingshabitat, kraamkamer of kinderkamer (zoals bot, haring en fint; Walker, 2015). Voor een brakwaterzone is zowel zout als zoetwater nodig.

De meest geschikte locaties zijn de plekken waar het zoute water met geulen dicht bij de dijk komt (zodat vissen ook met laagwater naar de dijk kunnen zwemmen) en waar binnendijs zoetwater is. Figuur 13.2 geeft een overzicht van de meest logische locaties. De Westerwoldse Aa biedt bijvoorbeeld potentie (Tamis & Baptist, 2024), maar ook Harlingen, Delfzijl, Den Helder en Amstelmeer/Wieringermeer. Verder is het van belang om noordoost Friesland te ontsluiten via bijvoorbeeld een intrepunt bij Wierum, zodat vissen de Friese binnenwateren kunnen bereiken en mogelijk kunnen doortrekken naar het Lauwersmeer en Friese Boezem om te paaien. Hoewel dit gaat om een kleinschalige verbinding, geeft het mogelijkheden om met inrichting verschillende voortplantings- en opgroei-habitat te ontwikkelen, met daarin diverse schuilmogelijkheden voor vissen.

Behoud en optimaliseren huidige visverbindingen naar het achterland en Noordzee

De grootschalige estuariene overgang naar de Eems-Dollard dient behouden te blijven. Vertroebeling in het Eems-estuarium mag geen barrière voor trekvis vormen of zichtjagers verhinderen in het vangen van prooien. Bestaande en geplande maatregelen ter vermindering van de troebelheid in het Eems-estuarium zijn daarom belangrijk.

Meanderende kwelderkreken vervullen een belangrijke functie als kinderkamer voor juveniele vis. Deze kwelderkreken ontstaan en blijven in stand bij voldoende dynamiek van de zee en afvoer van zoetwater. Deze dynamiek moet behouden blijven om de kwelderkreken in stand te houden.

De Waddenzee is op dit moment op meerdere punten via een harde overgang verbonden met het achterland (Philippart & Baptist, 2016). Het is zaak dat deze verbindingen behouden blijven en, zo mogelijk, deze te optimaliseren, zodat ze nog beter gaan functioneren als verbinding naar het achterland. Daarnaast kan onderzocht worden of deze verbindingen ook geoptimaliseerd kunnen worden als voortplantings- of opgroei-habitat, of plekken om te schuilen. Het zoekgebied betreft de gehele Nederlandse Waddenkust waar momenteel visverbindingen zijn. Philippart & Baptist (2016) bieden hiervoor een overzicht. Bij Kornwerderzand wordt momenteel een Vismigratierivier gemaakt om de verbinding naar het IJsselmeer te bevorderen. Ook dit geeft kansen om voor vissen voortplantingshabitat en schuilplekken te creëren.

De open verbinding naar de Noordzee moet behouden worden, omdat veel vissoorten in hun levenscyclus gebruik maken van beide wateren. Veel larven van mariene juvenielen komen vanuit de Noordzee. Als er iets veranderd in stromingen, kunnen larven wellicht de Noordzee niet meer bereiken. Recentelijk onderzoek heeft uitgewezen dat het Marsdiep een belangrijke migratie route is voor juveniele haring en sprot (Maathuis et al., 2023).

Voldoende zoetwater voor zoet-zout gradiënten

Door klimaatverandering komen zoet-zout gradiënten onder druk te staan. Voor trekvis is het in hun migratieperiode van belang dat er voldoende zoetwater overblijft om de zoet-zout gradiënt in stand te houden, zodat vissen de weg naar het zoete water kunnen blijven vinden.

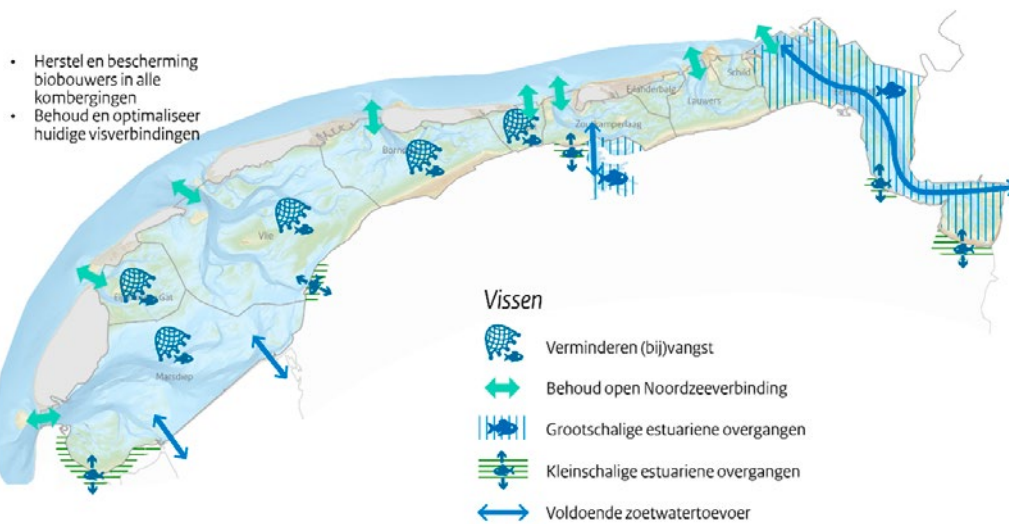
Verminderen van (bij)vangst van prooidieren en vis

Omdat sommige soorten schelpdieren en vissen als prooidieren onder klimaatverandering onder druk komen te staan, is het zaak om niet-natuurlijke mortaliteit van prooidieren zoveel mogelijk te voorkomen. Dit komt ook ten goede van de veiligheid voor vissen. Hierbij kan gedacht worden aan het verminderen van de bijvangst en verlagen van de visserijdruk (Walker, 2015), zowel op prooidieren (bijvoorbeeld kokkels) als op vis zelf.

Structuur aanbrengen

Structuur wordt door Dulfer (2023) en van Beek et al. (2021) benoemd als een belangrijke kwaliteitsvereiste voor het leefgebied van vissen. Dat structuur belangrijk is voor het leefgebied voor vissen is te zien aan resultaten van het Waddenmozaïk onderzoek, waarin vijf keer meer vis werd aangetroffen in de perenbomenriffen die in het Eijerlandse Gat op de waddenbodem werden gezet in vergelijking met

controle locaties van kale zandbodems (Dickson et al., 2023). Structuur is van nature in de Waddenzee aanwezig in de vorm van stenen, dode schelpen, schelpdierriffen, kokerwormriffen en zeegras. Op dit moment wordt de functie van sublitorale mosselbanken voor vis in het kader van het Waddentools Swimway project onderzocht. Het is van belang om deze soorten te beschermen, zodat deze riffen en zeegrasvelden niet in hun ontwikkeling gestoord worden. Dit kan bijvoorbeeld door beschermde gebieden in te stellen, zodat biobouwers rust krijgen om te herstellen (passief herstel).



Figuur 13.2. Mogelijke maatregelen voor realiseren streefbeeld voor leefgebieden van vissen.

14 De Waddenzee als leefgebied voor zeezoogdieren

14.1 Achtergrond

Drie soorten zeezoogdieren komen regelmatig in de Nederlandse Waddenzee voor; de bruinvis, de gewone zeehond en de grijze zeehond. Ze maken deel uit van grotere Noordzee populaties (Ministerie van LNV, 2014; Brasseur et al., 2022; Unger et al., 2022). Zeehonden foerageren in de Waddenzee en Noordzee op vis. Verbinding met de Noordzee is daarom voor zeehonden essentieel. Gedurende het hele jaar worden zandbanken, wadplaten en eilandstaarten door zeehonden gebruikt. Vooral in de rui- en zoogperiode (grijze zeehond: jan-april, gewone zeehond: mei-augustus) zijn de ligplaatsen extra belangrijk, omdat zeehonden dan het meest kwetsbaar zijn. Bruinvissen komen ook in zowel de Noordzee als in de Waddenzee voor. Er zijn aanwijzingen dat bruinvissen de Waddenzee gebruiken om te foerageren (Boonstra et al., 2013; IJsseldijk et al., 2015; Scheidat et al., 2024).

14.2 Huidige situatie

Vliegtuigtellingen van zeehonden op zandbanken in de internationale Waddenzee en Helgoland worden jaarlijks tijdens de rui- en pupperperiode gecoördineerd uitgevoerd in Nederland, Duitsland en Denemarken en gezamenlijk gerapporteerd.⁴⁸ Gewone zeehonden werden voor het eerst geteld in 1975 en de grijze zeehond is vanaf 2005 in het monitoringsprogramma opgenomen.⁴⁹

Gewone zeehond

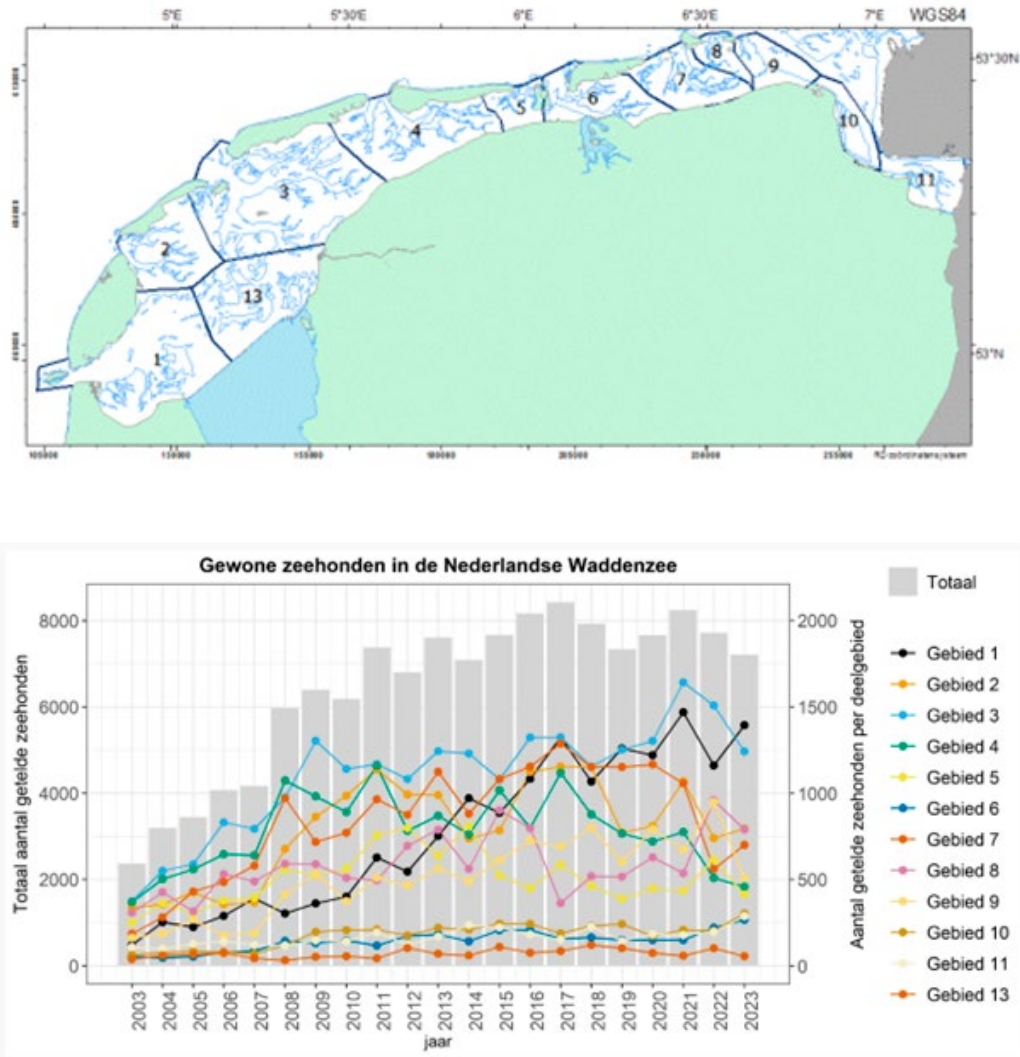
Sinds het begin van de ruitellingen is het aantal gewone zeehonden in de internationale Waddenzee gestaag toegenomen: van een kleine 4.000 zeehonden in 1975 tot 22.621 zeehonden in 2023 (Unger et al., 2022; Galatius et al., 2023). De populatie heeft twee keer te maken gehad met een virusuitbraak (PDV) in 1988 en 2002, waarna het aantal getelde zeehonden drastisch is afgenomen, maar daarna weer is toegenomen (Unger et al., 2022; Galatius et al., 2023).

De laatste 50 jaar is de Nederlandse Waddenzee steeds belangrijker geworden voor de populatie van de gewone zeehond in de trilaterale Waddenzee. Van de gehele Waddenzee populatie van de gewone zeehond is 25-30% in de ruiperiode in de Nederlandse Waddenzee te vinden, terwijl dat in de jaren '70/'80 slechts 12% was (Unger et al., 2022). Het aantal getelde gewone zeehonden in de Nederlandse deel van de Waddenzee is ten opzichte van het jaar 2022 met 11% afgenomen tot 6.703 dieren (Galatius et al., 2023). Het aantal getelde pups van de gewone zeehond nam in 2022 met 22% af, maar groeide in 2023 weer met 18% (Galatius et al., 2023). Sinds 2011 groeit de populatie nog maar 1% (Unger et al., 2022) en 2023 is het derde jaar op een rij dat het aantal getelde zeehonden, ondanks de hoge geboortecijfers, afneemt (Galatius et al., 2023). De meeste gewone zeehonden worden geteld in het Marsdiep en het Vlie (Figuur 14.1).⁵⁰

⁴⁸ www.wur.nl/nl/onderzoek-resultaten/onderzoeksinstituten/marine-research/show-marine/populatie-grijze-zeehonden-in-de-Nederlandse-Waddenzee_geraadpleegd_op_27_juni_2024.https://www.waddensea-worldheritage.org/seals_geraadpleegd_op_27_juni_2024.

⁴⁹ https://www.waddensea-worldheritage.org/seals_geraadpleegd_op_27_juni_2024.

⁵⁰ https://www.wur.nl/nl/show/populatie-gewone-zeehonden-in-de-nederlandse-waddenzee.htm_geraadpleegd_op_22_april_2024.

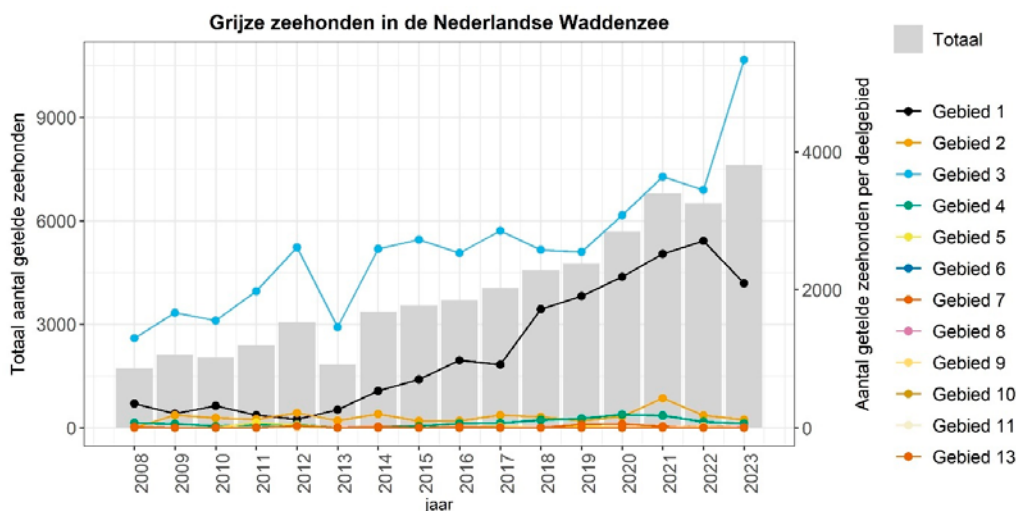


Figuur 14.1 Boven: Deelgebieden waarin zeehonden geteld worden. Onder: Aantal geteld gewone zeehonden in de Nederlandse Waddenzee (grijze kolommen) en in de Nederlandse deelgebieden (gekleurde lijnen) vanaf 2003 tot 2023. (Bron: Wageningen University en research).

Grijze zeehond

Sinds het begin van de tellingen is het aantal grijze zeehonden in de internationale Waddenzee gestaag toegenomen, van minder dan 2.000 dieren in 2008 tot ongeveer 11.515 dieren in 2024 (Schop et al., 2024). Wel lijkt de toename van grijze zeehonden af te vlakken. Tot 1980 kwamen grijze zeehonden maar af en toe voor in de Nederlandse Waddenzee nadat de populatie in de middeleeuwen was uitgeroeid. Tegenwoordig worden van de Noordzeepopulatie de meeste dieren in Nederland gezien (Basseur et al., 2015). Het aantal grijze zeehonden dat in de Nederlandse Waddenzee tijdens de rui is geteld is in 2023 met 17% gestegen ten opzichte van het jaar 2022, en bevat nu 7.613 dieren (Schop et al., 2023). De laatste vijf jaar zijn de aantallen gemiddeld met 11% toegenomen.⁵¹ Ruitellingen kunnen wel beïnvloed worden door grijze zeehonden uit het Verenigd Koninkrijk die in Nederland tijdelijk op bezoek zijn. Geboortecijfers geven daarom een duidelijker beeld van de lokale populatie en laten zien dat ook het aantal pups in de Nederlandse Waddenzee toeneemt (Schop et al., 2023). Omdat grijze zeehonden recentelijk vanuit het Verenigd Koninkrijk weer naar onze kusten zijn gekomen, worden grijze zeehonden vooral waargenomen op de platen in de Westelijke Waddenzee (Marsdiep, Vlie en het Eijerlandse Gat) (Figuur 14.2).

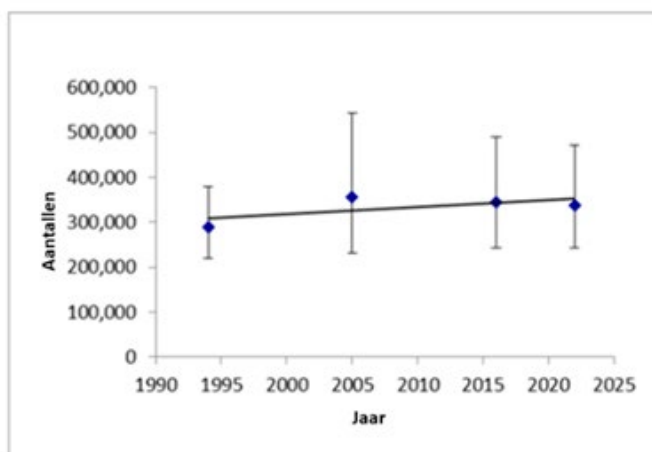
⁵¹ www.wur.nl/onderzoek-resultaten/onderzoeksinstituten/marine-research/show-marine/populatie-grijze-zeehonden-in-de-Nederlandse-Waddenzee, geraadpleegd op 27 juni 2024.



Figuur 14.2 Aantal getelde grijze zeehonden in de Nederlandse Waddenzee (grijze kolommen) en in de Nederlandse deelgebieden (gekleurde lijnen) vanaf 2003 tot 2023. Zie Figuur 14.1 voor deelgebieden waarin zeehonden worden geteld (Bron: Wageningen University & Research³⁴).

Bruinvis

Voor de bruinvis bestaat er nog geen trilateraal monitoringsprogramma in de Waddenzee. Wel worden bruinvissen in de gehele Noordzee gemonitord via zogenaamde SCANS-surveys.⁵² Hieruit blijkt dat de trend redelijk stabiel is en dat er in 2022 ongeveer 339.000 dieren in de gehele Noordzee te vinden waren (Gilles et al., 2023; Figuur 14.3).



Figuur 14.3 Schattingen van aantallen bruinvissen (incl. trendlijn) in de Noordzee. Schatting van jaarlijkse verandering van 0,51% (met een 95%-betrouwbaarheidsinterval -1,14; 2,20%) (Bron: Gilles et al., 2023).

Op basis van alle beschikbare data in de periode in 1990-2020 die zijn verzameld door middel van vliegtellingen, strandingen, passieve akoestische monitoring (PAM) en satelliet telemetrie, blijkt dat bruinvissen zowel de Noordzee wateren als getijdewateren gebruiken en dat er veel seizoensvariatie is in de verspreiding (Scheidat et al., 2024). Doordat sommige bruinvissen geen grote afstanden afleggen, is het waarschijnlijk dat er een aantal dieren een vaste verblijfplaats heeft in de Waddenzee. Hoewel er veel aanwijzingen zijn dat de Waddenzee met name als foerageergebied belangrijk is voor bruinvissen, is het bewijs nog niet waterdicht, omdat de variabiliteit tussen monitoringsstations nog te hoog is. Dit kan worden opgelost door meer monitoringsstations in de Waddenzee te plaatsen (Scheidat et al., 2024).

⁵² SCANS = Small Cetacean Abundance in the North Sea. Estimates of cetacean abundance in European Atlantic waters in summer 2022 from the SCANS-IV aerial and shipboards surveys.

Om de huidige situatie te beoordelen zijn voor het leefgebied van zeezoogdieren vier criteria onderscheiden.

1. **Voedsel** voor zeehonden en bruinvissen.
2. **Veiligheid** voor zeehonden en bruinvissen om ongestoord in de Waddenzee te kunnen bewegen en foerageren. Voor zeehonden tevens om ongestoord op de ligplaatsen te rusten en te zogen.
3. **Voortplantingshabitat** voor zeehonden in de verschillende kombergingen.
4. **Verbinding** tussen Waddenzee en Noordzee.

14.2.1 Voedsel

Er is naar verhouding weinig bekend over het dieet van zeehonden. Duidelijk is dat ze op de bodem foerageren en dus afhankelijk zijn van demersale soorten. Op basis van een aantal uitwerpselen verzameld op de platen in het Nederlandse deel van de Waddenzee is bepaald dat zeehonden voornamelijk platvissen eten (bot, tong, schol, schar), maar ook wel zandspiering, kabeljauw en wijting (Brasseur et al., 2004; Aarts et al., 2019). Grijs zeehonden prederen ook wel op bruinvissen, gewone zeehonden en soortgenoten (Bouveroux et al., 2014; van Neer et al., 2015; Leopold et al., 2015; Bishop et al., 2016; van Neer et al., 2020, 2021). Onderwater spendeert de gewone zeehond de meeste tijd in de Noordzee (86%), maar toch kan de predatiedruk door de gewone zeehond in de Waddenzee aanzienlijk zijn (Aarts et al., 2019). Aarts et al. (2019) schatten in dat 43% van de jaarlijkse sterfte van vis in de Waddenzee wordt veroorzaakt door zeehondenpredatie. Hierbij dient men wel aan te tekenen dat men alleen de bestandschattingen voor de visserij DFS/BTS⁵³ als data over de vissen ter beschikking had. Deze onderschatten schromelijk de werkelijke hoeveelheid vis biomassa die er is. Om te weten wat de dieren werkelijk eten zouden zowel meer dieet monsters moeten worden onderzocht, als betere data over visbeschikbaarheid moeten worden verzameld.

Bruinvissen hebben een brede prooikeuze. Het voedsel bestaat vooral uit vissen zoals wijting, grondels, sprot, haring, zandspiering en in mindere mate ook kabeljauw, makreel, horsmakreel en (kleine) platvis en inktvis (Leopold, 2015). De voedselkeuze is afhankelijk van het plaatselijke aanbod en verschilt regionaal. Jonge bruinvissen die net beginnen te foerageren eten het meest grondels, maar dit type vis is niet vet genoeg om ook de oudere bruinvissen van voldoende energie te voorzien (Leopold, 2015). Oudere grotere (oudere) individuen kunnen niet leven van grondels alleen en moeten grotere en vettere vissen eten om in hun energiebehoefte te kunnen voorzien (Leopold, 2015).

Visserij kan de voedselbestanden van zeezoogdieren beïnvloeden. Effecten van bijvangst van de garnalenvisserij kunnen leiden tot een reductie van het paaibestand van schol, tong, kabeljauw en wijting (Revill et al., 1999; van der Hammen, 2015) en daarmee de voedselvoorraad voor bruinvissen en zeehonden. Van andere vormen van visserij is de impact waarschijnlijk minimaal, omdat het hier gaat om andere doelsoorten of bijvangsten die geen deel uit maken van het voedsel van bruinvissen en zeehonden (zie [Hoofdstuk 13](#)).

Om een inschatting te maken van de belangrijkste prooi-soorten van zeezoogdieren (haring, schol, bot, tong, wijting, schar en sprot) per komberging is gebruik gemaakt van de tijdreisfunctie van de Waddenvier voor de periode 2017-2021 (de vijf meest recente jaren waarvoor data beschikbaar was).⁵⁴ Voor kabeljauw zijn er nauwelijks waarnemingen en voor zandspiering en grondels zijn er geen data beschikbaar.

Uit het beschikbare kaartmateriaal blijkt dat het aantallen gevangen vissen in de periode 2017-2021 in de DFS-survey erg laag zijn. Voor de DFS-data gaat dit echter om één monitoringmoment in het jaar. Daarnaast bevatten het Pinkegat, Eilanderbalg en Schild geen bemonsteringslocaties. Door een gebrek aan monitoring is het niet in te schatten of deze kombergingen gelijke patronen vertonen met de andere kombergingen. Een vergelijking tussen kombergingen is op basis van deze data daarom lastig te maken.

⁵³ DFS = Demersal Fish Survey, BTS = Beam Trawl Survey.

⁵⁴ <https://basisonderzoekwadden.waddenzee.nl/datahuis-o/waddenvier/>, geraadpleegd op 9 mei 2024

14.2.2 Veiligheid

Zeehonden maken gebruik van wadplaten om te rusten. Wanneer zeehonden verstoord worden, vluchten ze het water in. Menselijke activiteiten zijn de belangrijkste bedreiging voor veilige rustplaatsen. Om te zorgen dat deze verstoring minimaal is, worden rustplaatsen beschermd in de pup- en ruitijd. Buiten deze periodes hebben zeehonden behoefte aan rustplekken nadat ze op zee hebben gevoerageerd. De verstoringgevoeligheid van de gewone zeehond voor groot scheepvaartverkeer in de vaargeulen lijkt beperkt, mede door de aangehouden verstoringafstanden in vergunningvoorschriften (1.500 m) (Heidinga et al., 2023). Ook luchtverkeer werkt niet verstorend voor zeehonden, omdat deze over het algemeen op grote hoogte plaatsvinden (Bouma et al., 2010). Vaarrecreatie kan wel lokaal tot verstoring leiden (Meijles et al., 2019).

In de periode 2016-2018 heeft monitoring van vaarrecreatie plaatsgevonden. Gebaseerd op AIS-gegevens zijn er kaarten gemaakt van het aantal droogvallers en de vaarintensiteit van recreatievaart in het gebied, die zijn gepubliceerd in Ens et al. (2019). In de evaluatie van het Natura 2000-beheerplan staat een overzicht van de gemaakte robbentochten in 2021 in de verschillende deelgebieden (Heidinga et al., 2023). Uit deze kaarten blijkt dat in het Marsdiep en Vlie de meeste recreatievaart (met AIS-apparatuur) geregistreerd is, terwijl er in het Eijerlandse Gat de minste vaarrecreatie was. Wel dient hierbij te worden aangegeven dat lang niet alle recreatievaart AIS apparatuur aan boord heeft (Jong & Jansen, 2023) en er dus data ontbreekt.

De grootste bron van verstoring van bruinvissen is onderwatergeluid, waarbij zowel het geluidsniveau als de frequentie bepalend is.⁵⁵ (Ministerie van LNV, 2014). Bronnen van onderwatergeluid zijn bijvoorbeeld de scheepvaart, het laten exploderen van munitie of de constructie van een windpark. Voor onderwatergeluid in de Waddenzee zijn nog maar weinig gegevens bekend.⁵⁶ In een pilotstudie van TNO is al wel gekeken naar onderwatergeluid in twee transecten van vaargeulen nabij de havens van Schiermonnikoog en Harlingen; hoewel hier nog geen impact op het onderwaterleven is meegenomen liet de studie wel zien dat dergelijke studies waardevolle informatie kunnen opleveren over de mate en herkomst van onderwatergeluid (Jong & Jansen, 2023). Gezien het ontbreken van meer van dergelijke data op de schaal van de Waddenzee is op basis van kaarten van de dichtheid van route gebonden scheepvaartverkeer (op basis van AIS-data) over de periode 1 augustus 2018-2019 (Hermans et al., 2020) een inschatting gemaakt van de mate van verstoring door bruinvissen. Hieruit blijkt dat er vooral in het Vlie en Eems-Dollard drukke scheepsvaartroutes liggen. Ook het Marsdiep, Borndiep en de Zoutkamperlaag zijn druk bevaren.

Andere factoren die de veiligheid van bruinvissen en zeehonden negatief kunnen beïnvloeden zijn bijvangst door de (vooral staandwant)visserij en vervuiling zoals plastic zwerfafval waar bruinvissen in kunnen stikken (Ministerie van LNV, 2014). Ook chemische verontreiniging kan de overlevingskansen van zeezoogdieren beïnvloeden, waarbij de opname van Polychloorbifenylnyl (PCB's) in het blubber van deze soorten de hormoonbalans en het immuunsysteem kunnen beïnvloeden; voor bruinvissen wordt hier een verhoogde dodelijke infectiekans van 5% aan toebedeeld (Ministerie van LNV, 2020). Voor deze factoren is te weinig informatie beschikbaar om een gebiedsbrede analyse te doen. De best beschikbare informatie naar aantallen recreatieve staandwantsers is beschikbaar uit een survey in van der Hammen & de Bruijn (2020). Hieruit blijkt dat er meer dan 300 vergunningen zijn verstrekt, maar het is onbekend waar (en of) deze vorm van visserij precies plaatsvindt en of men zich aan de voorschriften houdt. Ook zijn lang niet alle recreatieve vissers met een ontheffing ook daadwerkelijk actief. Voor de commerciële staandwantsvisserij zijn er 83 geregistreerde vaartuigen waarvan niet alle schepen professioneel vissen.

⁵⁵ <https://www.noordzeeloket.nl/functies-gebruik/windenergie/ecologie/wind-zee-ecologisch-programma-wozep/newsletter-wozep/wozep-nieuwsbrief-5/onderwatergeluidniveaus-bruinvis/>, geraadpleegd op 28 juni 2024.

⁵⁶ Middels het JOMOPANS, Interreg VB North Sea Region Programme zijn er wel meer data beschikbaar voor de Noordzee.

Zwerfafval wordt jaarlijks gemonitord volgens de OSPAR-methodiek (OSPAR, 2010) op drie locaties in de Waddenzee: de Steenplaat (Eijerlandse Gat), Griend (Vlie) en Zuiderduintjes (Schild). Hierbij wordt alles meegenomen wat op het blote oog zichtbaar is. Uit de monitoring blijkt dat er jaarlijks honderden items aan zwerfafval worden gevonden en dat een groot deel uit plastic bestaat (Bravo Rebolledo et al., 2023).

In het algemeen kan worden gesteld dat er veel antropogene invloeden zijn zoals visserij, verontreiniging en geluidsverstoring op de overlevingskansen van zoogdieren; tegelijkertijd is er weinig bekend over de ruimtelijke en temporele voorkomens hiervan. In het bruinvisbeschermingsplan (Ministerie van LNV, 2020) wordt dan ook een hoge prioriteit gegeven om in de periode 2020-2026 de cumulatieve impact in relatie tot deze voorkomens beter in beeld te brengen.

14.2.3 Voortplantingshabitat

Voor bruinvissen is weinig bekend over het voortplantingshabitat. Wel laat een recente studie op basis van vliegtuigtellingen zien dat bruinviskalveren verspreid over de Noordzee worden waargenomen (Scheidat et al., 2024). Voor de Waddenzee is de verspreiding van bruinvissen en hun kalveren nog niet op een dergelijke manier in kaart gebracht.

Het voortplantingshabitat voor zeehonden is per komberging te berekenen door te kijken naar hoeveel zeehonden zich per hectare wadplaat bevinden. Idealiter zouden deze berekeningen gedaan worden met de getelde aantal pups om echt een idee te krijgen van het areaal voortplantingshabitat, maar deze gegevens zijn niet per telgebied beschikbaar.

Om het voortplantingshabitat voor zeehonden per komberging in kaart te brengen is gebruik gemaakt van de arealen van de ecotopenkaart (Baptist et al., 2022) en de telgegevens van de ruitellingen van de gewone en grijze zeehond van Wageningen Marine Research in de jaren 2008-2023.⁵⁷ Deze periode is gekozen omdat er voor deze jaren telgegevens van zowel gewone als grijze zeehonden beschikbaar zijn. Per komberging is berekend hoeveel zeehonden (totaal van gewone en grijze zeehonden) gemiddeld zijn geteld over de jaren 2008-2023 per ha wadplaat (totaal van de supralitorale en litorale ecotopen).⁵⁸ Daarbij wordt aangenomen dat zeehonden (supra)litorale ecotopen gebruiken als voortplantingshabitat.

De data en uitkomsten van de berekeningen zijn samengevat in Tabel 14.1. De kombergingen komen niet helemaal overeen met de begrenzing met de telgebieden, daarom zijn er soms telgebieden bij elkaar opgeteld (voor het Marsdiep en Eems-Dollard) of kombergingen samengevoegd (Eilanderbalg en Lauwers).

⁵⁷ <https://www.wur.nl/nl/show/populatie-gewone-zeehonden-in-de-nederlandse-waddenzee.htm> en <https://www.wur.nl/nl/show/populatie-grijze-zeehonden-in-de-nederlandse-waddenzee.htm>, geraadpleegd op 28 juni 2024.

⁵⁸ Idealiter zouden gegevens van de aantallen pups worden gebruikt, maar deze data is niet per telgebied beschikbaar.

Tabel 14.1

Overzicht van de gebruikte data om het gemiddeld aantal zeehonden per hectare voortplantingshabitat ((supra)litorale ecotopen) te berekenen. De data van ((supra)litorale ecotopen zijn afkomstig van Baptist et al. (2022). De zeehondendata zijn afkomstig van Wageningen Marine Research.

Komberging	Telgebied	Areaal wadplaat (ha)	Gem. aantal gewone zeehonden 2018-2023	Gem. aantal grijze zeehonden 2018-2023	Gem. aantal zeehonden 2018-2023	Gem. aantal zeehonden per ha
Marsdiep	1 en 13	15.707	1.000,9	1.107,6	2.108,5	0,13
Eijerlandse Gat	2	13.205	923,4	154,8	1.079,2	0,08
Vlie	3	25.469	1.247,8	2.918,9	3.866,7	0,15
Borndiep	4	13.783	846,9	72	918,9	0,07
Pinkegat	5	4.170	560,2	12,8	573,0	0,14
Zoutkamperlaag	6	9.955	168,9	1,3	170,2	0,02
Eilanderbalg/Lauwers	7	11.911	975,6	10,9	986,5	0,08
Schild	8	2.801	585,7	2,6	588,3	0,21
Eems-Dollard	9, 10, 11	29.695	466,2	1,3	467,5	0,02

De resultaten van de berekeningen laten zien dat gemiddeld het aantal zeehonden over de periode 2008-2023 per hectare wadplaat over het algemeen erg laag is (< 0,2 zeehond per hectare wadplaat). Alleen Schild steekt er bovenuit (0,21 zeehonden per hectare wadplaat). Opvallend is dat juist deze komberging als enige komberging volledig beschermd is. De Eems-Dollard, Zoutkamperlaag, Eilanderbalg/Lauwers en het Borndiep hebben gemiddeld het minste aantallen zeehonden per wadplaat, maar ook de andere kombergingen scoren minder goed dan Schild.

14.2.4 Verbinding

Zeezoogdieren komen zowel in de Waddenzee en Noordzee voor. Dit is niet alleen van belang voor de bewegingsvrijheid en de levenscyclus van zeehonden en bruinvissen, maar ook voor de connectiviteit tussen populaties. Elke komberging is via een zeegat verbonden met de Noordzee. Voor elke ligplaats en komberging zijn deze verbindingen verschillend. Het is niet onderzocht wat nodig is voor een voldoende verbinding met de Noordzee voor de twee soorten zeehonden en bruinvissen. Hiervoor zou men kunnen kijken naar bestaande zenderdata van de zeehonden (als deze niet is verouderd). Wellicht is het op deze manier mogelijk om inzicht te krijgen in hoe de dieren op de routes naar zee bewegen.

14.3 Invloed van klimaatverandering

Klimaatverandering heeft een effect op voedsel, veiligheid en voortplantingshabitat van zeezoogdieren.

Zeespiegelstijging

Indien er sprake is van een stijging van de zeespiegel waarbij het areaal aan droogvallende en permanent droge platen afneemt kan dit de beschikbaarheid van cruciale rust en voortplantingsgebieden voor zeehonden in gevaar brengen. Hier is echter voorlopig nog geen sprake van.

Temperatuurstijging

In de periode 1974 – 2009 is er een verschuiving in de voortplanting van zeehonden in de Waddenzee waargenomen. Zeehonden werden in 2009 gemiddeld 25 dagen eerder geboren dan in 1974 (Reijnders et

al., 2010; Osinga et al., 2012). Stijgende temperaturen kunnen ook een effect hebben op de voedselbeschikbaarheid voor zeehonden. Zoals eerder geschetst vallen langdurige hoge zomertemperaturen buiten het optimum dat koud water vissoorten (schol, bot, schar) kunnen weerstaan (van der Veer et al., 2022). Alleen jonge schol lijkt te profiteren van een langer groeiseizoen door de gestegen temperaturen, wat ook in de toekomst goed perspectief biedt voor de soort (van der Veer et al., 2022). Wanneer hittegolven vaker en langer voorkomen, zullen schol en schar, en in mindere mate bot, mogelijk uit de Waddenzee verdwijnen (van der Veer et al., 2022). Zeehonden zijn afhankelijk van de beschikbare demersale vis. Voor zover onderzocht, in Nederland en omliggende landen, maakten met name platvissen deel uit van het dieet van zeehonden (Brasseur et al., 2004; Aarts et al., 2019). Afhankelijk van de veranderingen in de demersale vis, zal dit consequenties hebben voor de voedselbeschikbaarheid en/of dieetsamenstelling voor zeehonden. Bruinvissen hebben weliswaar een bredere voedselkeuze en worden hierdoor minder beïnvloed, maar een significant effect op de voedselbeschikbaarheid kan hiermee niet worden uitgesloten.

Bij een hogere temperatuur zijn volwassen vissen ook kleiner (Ebbens et al., 2021; Hoekstra & Phillipart et al., 2021) en mogelijk sneller. Het is onduidelijk of en hoe dit gevolgen zal hebben voor zeezoogdieren of de predatiedruk van zeezoogdieren op vis.

Veranderende neerslagpatronen

Verandering in de zoetwatertoevoer (bijvoorbeeld gedurende piekneerslagen in de winter) kunnen zorgen voor veranderingen in zoutgehaltes wat mogelijk effect heeft op de verspreiding van vissen als prooidieren van zeezoogdieren (Ebbens et al., 2021).

14.4 Knelpunten

De grootste opgaven voor zeezoogdieren liggen vooral in het Vlie en de Eems-Dollard, waar meerdere knelpunten bij elkaar komen.

Afname voedselbeschikbaarheid

In de literatuur wordt een afname van voedselbeschikbaarheid in de Waddenzee als één van de mogelijke redenen genoemd voor het stagneren van de groeisnelheid van de populatie gewone zeehonden (Aarts et al., 2019) en de daling van het aantal pups in 2022 (Heidinga et al., 2023). Op dit moment is kennis van het dieet van zeehonden en visbiomassa te gelimiteerd om een uitspraak te kunnen doen over permanent voedselgebrek voor zeehonden. Wel is het bekend dat de garnalenvisserij prooivissen van zeehonden en bruinvissen als bijvangst kan hebben. De intensiteit van de garnalenvisserij is het hoogst in het Eijerlandse Gat en Vlie, gevolgd door het Marsdiep, Borddiep en Zoutkamperlaag. Een directe relatie van de voedselbeschikbaarheid voor zeehonden en de intensiteit van garnalenvisserij is echter niet aangetoond.

Gebrek aan onverstoorde ligplaatsen

Door de dynamische aard van de Waddenzee en de nog herstellende populaties grijze en gewone zeehonden verandert het gebruik van de platen door zeehonden continu (zij het langzaam). Beschermde gebieden zijn versnipperd (er zijn bijvoorbeeld doorgangen door gesloten gebieden), maar ook bevroren. Ook is het gebruik van het Waddengebied toegenomen. Onder andere hierdoor is in verschillende gebieden de bescherming op de platen niet meer adequaat.

Momenteel worden veel rustplaatsen verstoord door (recreatieve) scheepvaart (Meijles et al., 2019). Uit gegevens van 2018 blijkt dat er relatief veel recreatievaart is in de kombergingen Marsdiep en Vlie, maar dat het Eijerlandse Gat juist minder bezocht is. De Eems-Dollard is wat recreatie betreft rustiger, maar daar is juist veel scheepvaartverkeer. Daarnaast is er reden tot bezorgdheid betreffende de robbentochten. Vanuit toezicht en handhaving is de zorg uitgesproken dat iedereen met snelle motorboten tegenwoordig robbentochten kan uitvoeren (Heidinga et al., 2023). Er wordt regelmatig te snel gevaren op de vaarroutes en er worden vaak overtredingen geconstateerd bij Richel en Engelsmanplaat (waarbij

de wettelijke verstoringsafstand niet werd gerespecteerd) (Heidinga et al., 2023). Uit de Evaluatie van het Natura 2000-beheerplan blijkt verder dat niet alle voorwaarden voor robbentochten voldoende worden nageleefd, omdat zeehonden soms van te dichtbij worden genaderd (Heidinga et al., 2023).

Toename onderwatergeluid

Zowel bruinvissen als zeehonden kunnen negatieve effecten van onderwatergeluid ondervinden van bijvoorbeeld scheepvaart of hei-activiteiten ten behoeve van windmolenparken (Aarts et al., 2018; Wisniewska et al., 2018; Mikkelsen et al., 2019). De drukste scheepvaartroutes liggen in het Vlie en de Eems-Dollard, maar ook het Marsdiep en Borndiep en Zoutkamperlaag zijn druk bevaren. Geluidsverstoring kan leiden tot gedragsveranderingen of verminderen van het gehoor (Kastelein et al., 2016; Sills et al., 2020). Vooral voor bruinvissen, die echolocatie gebruiken om hun prooi te vinden, is een afname in gehoor een groot probleem, omdat ze dan hun prooien minder goed kunnen vinden.

Uit een effectenstudie van Brasseur et al. (2011) naar de bouw van het Energiepark in Eemshaven (op land en water) is gebleken dat tijdens peilen en baggeren meer zeehonden op de kant komen dan anders, terwijl er tijdens heien minder zeehonden op de kant liggen. Wanneer bouwactiviteiten gaande zijn, maken zeehonden minder gebruik van het gebied nabij de Eemshaven dan wanneer er geen bouwactiviteiten plaatsvinden. Ook werd de aanwezigheid van bruinvissen negatief beïnvloed door bouwactiviteiten.

De ambitie van de Nederlandse overheid is om in de toekomst nog meer windparken te bouwen, onder andere op de Noordzee ten noorden van de Waddeneilanden. Het Programma Aansluiting Wind Op Zee – Eemshaven (PAWOZ-Eemshaven) onderzoekt mogelijke kabelroutes door het Waddengebied voor de metaansluitingen van zowel Doordewind als Ten noorden van de Waddeneilanden (0,7 GW, uit de bestaande routekaart 2030). Hierin wordt ook naar ruimtelijke mogelijkheden gekeken voor aanlanding van extra kabelverbindingen of een waterstofbuisleiding voor de periode na 2031.⁵⁹ De aanleg van deze nieuwe windparken, dat gepaard gaat met een tijdelijke toename in scheepvaartverkeer, kan voor een grotere toename in onderwatergeluid leiden.

Bijvangst door visserij

Zeehonden en bruinvissen komen wel eens per ongeluk in de netten van vissers terecht. ICES ziet dit als een serieuze bedreiging voor de populaties (ICES, 2020). In België zijn in 2021 101 gestrande zeehonden gemeld. Een vervolgonderzoek waarbij gebruik werd gemaakt van zowel een uitvoerige necropsie op enkele kadavers als een vergelijking daarvan met foto's van de andere landingen wijst op 27 gevallen waarbij het vermoeden is dat bijvangst de primaire doodsoorzaak is. Vergelijkbare onderzoeken zijn echter niet voor Nederland beschikbaar. Meldingen van bijvangst van de bruinvissen of zeehonden door de staandwantvisserij worden niet gemaakt en het is onbekend of dit komt doordat er geen sprake van bijvangst is of omdat dit niet accuraat gemeld wordt (Heidinga et al., 2023). De meldingsplicht van bijvangst is wel een voorwaarde in de vergunning. Op dit moment werken experts van een OSPAR-werkgroep samen om de limieten voor bijvangsten van zeezoogdieren uit te werken (OSPAR, 2021).

Zwerfafval en vervuiling

Een andere factor die de veiligheid van zeehonden mogelijk nadelig beïnvloedt is verstikking door marien afval. Met name juveniele gewone zeehonden lijken hier slachtoffer van te worden (Salazar-Casals et al., 2022). Gestrande zeehonden worden in Nederland niet onderzocht. Daarmee is er onvoldoende data beschikbaar om een analyse te doen op kombergingsniveau en het is onduidelijk of dit een groot knelpunt is, maar het is wel een aandachtspunt.

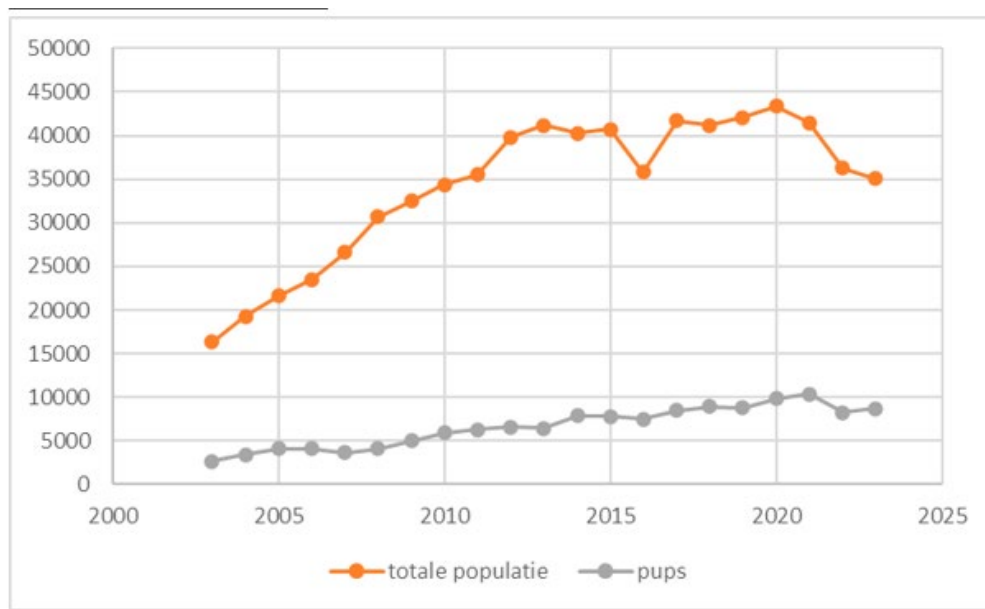
Plastic is ook in de magen van gestrande bruinvissen gevonden; in 7% van de magen van 654 gestrande bruinvissen in de periode van 2003-2013 (van Franeker et al., 2018) en in 12,5% van de magen van 40 gestrande bruinvissen in 2019, na de ramp met het containerschip MSC Zoë (Bravo Rebolledo, 2021).

⁵⁹ <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/kamerstukken/2022/06/10/aanvullende-routekaart-windenergie-op-zee-2030>, geraadpleegd op 1 juli 2024.

De chemische waterkwaliteit van de Waddenzee en Eems-Dollard voldoen niet aan de normen van de KRW (Ministerie van IenW, 2023). Over de effecten van vervuiling met (nieuwe) chemische stoffen op zeezoogdieren is nog niet veel bekend (Unger et al., 2022).

Onbekende oorzaak sterfte jonge zeehonden

Uit de tellingen blijkt dat de aantallen gewone zeehonden sinds ongeveer 2013 niet meer toeneemt (Figuur 14.4). Dit is opmerkelijk, omdat jaarlijks het aantal getelde pups naar schatting gemiddeld 20% uitmaken van de totale populatie (gemiddeld 8500 pups elk jaar en een totale populatie van gemiddeld ~40.000 dieren; persoonlijke communicatie S. Brasseur, Wageningen Marine Research). De meest waarschijnlijke verklaring op dit moment is dat de sterfte onder pups is toegenomen. Zonder nieuwe aanwas van nieuwe vrouwtjes die zelf pups kunnen krijgen daalt de totale populatie zeehonden. De vraag is dan waar en waaraan de pups sterven. Mogelijk sterven de pups op zee, dus wordt er maar een fractie op het strand gevonden. Het is van belang dat er onderzoek wordt gedaan naar het mechanisme achter de mogelijke sterfte.



Figuur 14.4 De schatting van de totale populatie gewone zeehonden (oranje) en getelde pups in de pupperiode (grijs) op basis van de internationale tellingen (Bron: Wageningen Marine Research).

Bedreiging van de verbinding met de Noordzee

Alle kombergingen hebben een open verbinding met de Noordzee, dus de Noordzee is in theorie goed bereikbaar voor zeehonden en bruinvissen. Het is mogelijk dat deze open verbinding door intensievere vaarbewegingen (Marsdiep) of andere menselijke activiteiten verstoord gaan worden bij toename van menselijke activiteiten op het water (recreatie, vaarbewegingen, energieopwekking).

14.5 Streefbeeld

Het streven is een Waddenzee waarin de zeezoogdieren beschikken over voldoende ongestoorde plaatsen om te rusten, zogen, ruien en op te groeien. Zowel zeehonden als bruinvissen kunnen voldoende voedsel vinden. De mate van bijvangst van prooidieren van zeezoogdieren door de garnalenvisserij is drastisch verminderd. Bruinvissen en zeehonden maken zelf ook geen deel meer uit van de bijvangst van visserij. Verstoring is teruggedrongen en de veiligheid verbeterd.

In meerdere gebieden zijn de aantallen zeehonden per hectare wadplaat gelijk of hoger dan op Schild zijn waargenomen. De oorzaak van de sterfte van jonge zeehonden is achterhaald en aangepakt.

Maatregelen hebben geholpen om het onderwatergeluid te verminderen. Het zwerfafval in de Waddenzee is drastisch afgenomen en de rustplaatsen worden minder verstoord.

De open verbinding met de Noordzee en de Dollard is behouden gebleven, waardoor zeezoogdieren nog steeds ongehinderd van beide gebieden kunnen profiteren. De grijze zeehond komt nu ook in alle kombergingen voor en ook de bruinvis is regelmatig in de kombergingen waar te nemen.

Potentiële waarden

In 1985 werd de eerste grijze zeehonden pup in Nederland geregistreerd. Voor de grijze zeehond was de verwachting van Dankers et al. (1990) dat indien er voldoende hooggelegen zandplaten voorkomen en er in het najaar en winter weinig verstoring optreedt, de toekomstige populatie enkele honderden individuen zou betreffen (Dankers et al., 1990). Dit blijkt zeker het geval te zijn, want in 2023 zijn er in de Nederlandse Waddenzee 7.613 grijze zeehonden geteld. De groei in aantallen is echter niet alleen afhankelijk van lokale aanwas, maar ook van een continue stroom van dieren die vanuit de veel grotere populatie in het Verenigde Koninkrijk hierheen komt en weer gaat (Brasseur et al., 2015). Ook de lokale pup productie groeit, blijkt uit het aantal pups dat jaarlijks geteld wordt. Echter het merendeel wordt op een plaat (Richel) geboren.

In 1990 verwachtten Dankers et al. (1990) dat de maximale populatiegrootte van de gewone zeehond ruim 7500 dieren zou bevatten. Dit werd bepaald aan de hand van schattingen van aantallen in 1900. Hierbij gingen zij uit van een normale hormoonhuishouding, een geringe mate van verstoring zodat gespeende jongen een goede overlevingskans hebben en verdrinken in fuiken voorkomen wordt (Dankers et al., 1990). In de Nederlandse Waddenzee werden in augustus 2023 tijdens de ruiperiode 6.706 gewone zeehonden geteld (Galatius et al., 2023). Dit aantal is echter een onderschatting, omdat er tijdens de tellingen altijd dieren in het water zijn. Voor de gewone zeehond is het van belang om eerst de oorzaak van de afname van de overleving van de pups te achterhalen alvorens aan oplossingsrichtingen gedacht kan worden. Hiervoor is momenteel een onderzoek gaande.

Voor bruinvissen zijn door Dankers et al. (1990) geen streefwaardes opgesteld. Wel schreef Dankers et al. (1990) destijds dat bruinvissen bijna geheel uit de Waddenzee verdwenen waren, terwijl deze nu juist weer regelmatig in de Waddenzee voorkomen (Scheidat et al., 2024).

14.6 Mogelijke maatregelen

Om het streefbeeld te bereiken zijn er diverse opgaven en kansen te identificeren. Deze betreffen vooral maatregelen voor het beheer en gebruik van de Waddenzee. Deze worden mogelijkerwijs verder uitgewerkt in het Beleidskader Natuur, het Natura 2000- beheerplan Waddenzee en/of het Integrale Beheerkader van de Beheerautoriteit Waddenzee.

Vermindering van verstoring/verbetering bescherming van ligplaatsen

Gezien de hoeveelheid overtredingen van snelvaarders (niet alleen toerisme) en robbentochten is het van belang om toezicht en handhaving aan te scherpen op de reeds beschermde ligplaatsen. Daarnaast kan overwogen worden om de beschermde gebieden voor de zeehonden uit te breiden, de grenzen van toegangsbeperkingsbesluiten aan te passen aan de steeds veranderende platen, en ook de geulen die vanuit de ligplaatsen hen toegang geeft tot de Noordzee door te lichten. Schild is reeds goed beschermd. Het is van belang deze mate van bescherming te behouden.

Vermindering onderwatergeluid Waddenzee

Het geluid van scheepvaart en geluid door de aanleg van windmolenparken kunnen een behoorlijke verstoringbron zijn voor zeezoogdieren. Er dient Waddenzee breed te worden ingezet op maatregelen die significante geluidsverstoring voor bruinvissen en zeehonden vermijden. Bijvoorbeeld door inzet van stillere schepen, het opleggen van snelheidsbeperkende zones, het gebruik van nieuwe heitechnieken of

het noordelijker leggen van de hoofdscheepvaartroute in de Noordzeekustzone. Pingers, die zelf wel geluid toevoegen, kunnen eventueel gebruikt worden, waarmee bruinvissen eerder worden afgeschrikt alvorens een gebied met vele geluidsbronnen te betreden.

Vermindering bijvangst van prooidieren

Voedselbeschikbaarheid is een knelpunt dat in de toekomst mogelijk verergert door de opwarming van zeewater. Het is van belang om te weten in hoeverre zeehonden vast zijn in hun dieet of wellicht kunnen overgaan op andere vis (dieet onderzoek). Daarnaast geldt dat het voedsel dat er is, beschikbaar is en bereikbaar blijft voor de dieren die het nodig hebben en niet belandt in de bijvangst van de visserij.

Sterfte zeezoogdieren inzichtelijk maken

Door het ontbreken van strandingsgegevens van zeehonden in Nederland is het onbekend in hoeverre zeehonden in bijvoorbeeld staandwant of ander vistuig sterven. Ook is niet bekend hoeveel (kleine) vistuigen er langs de kusten (in en net buiten) de Waddenzee gebruikt worden. Gegeven het hoge percentage zeehonden dat in België (waar het wel wordt onderzocht) mogelijk in een net sterft (>27 van alle 101 gevonden dieren), is het zaak alle visserij in de Waddenzee goed in kaart te brengen. Daarnaast zou het opzetten van een gedegen strandingsregistratie goed zijn.

Beperken van vervuiling en verontreiniging

Het zwerfafval dat gevonden wordt in de Waddenzee is divers. Om verstikking door marien afval te voorkomen, dient de afvoer van zwerfafval en microplastics (een belangrijke bron van PCB's) via de rivieren zoveel mogelijk te worden voorkomen. Ontwikkelingen als biologisch afbreekbaar vispluis, het afgeven van restanten paraffine in de haven⁶⁰ en regelmatige opruimacties dienen gestimuleerd te worden. Daarnaast is het van belang dat rampen zoals die met MSC Zoë niet vaker optreden. Hiervoor zijn drie handelingsperspectieven: 1) schepen met gevaarlijke lading verder zeewaarts verplichten te varen op de Noordzee, zodat er meer reactietijd is; 2) rampenbestrijding beter op orde brengen; 3) toezicht sterk aanscherpen en 4) boetes aanzienlijk verhogen (zie ook Raad voor de Veiligheid). Dit speelt Waddenzee breed en niet in een specifieke komberging. Het verhogen van de monitoringsgegevens omtrent bioaccumulatie van chemische verontreiniging wordt ook aanbevolen om hier beter op te kunnen sturen.

Adequate bescherming pupperiode

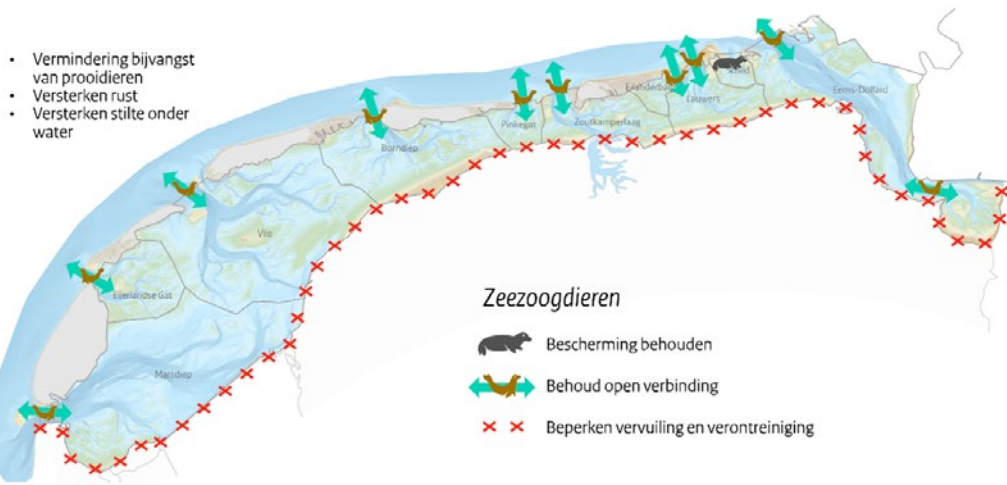
Gezien de dalende trend in de gewone zeehondenpopulatie, en de grote kans dat dit een relatie heeft met het overleven van vooral de jongen, zal er met betrekking tot bescherming in de pupperiode wellicht meer gedaan moeten worden. Daarnaast leidt minder verstoring tot meer zoogtijd, dus sterkere, weerbaarder pups. Het is tot nu toe onbekend wat exact het mechanisme is achter de jeugd sterfte en in welke kombergingsgebieden dit hoger is. Gaandeweg zijn de activiteiten overal in de Waddenzee toegenomen en daarmee ook de verstoringdruk. Nu dat de Noordzeekustzone ook intensiever gebruikt wordt, raken de zeehonden wellicht in de knel. Dit is niet zomaar op te lossen, maar vanuit de Waddenzee kan men er in ieder geval voor zorgen dat de jongen zo weerbaar mogelijk zijn. Kritisch is nu om de gebieden waar pups geboren en gezoogd worden goed te evalueren en daar waar mogelijk, de effecten van bijvoorbeeld verstoring te minimaliseren.

Behoud van de verbinding naar de Noordzee

Zeehonden en bruinvissen maken zowel van de Noordzee als de Waddenzee gebruik. Foerageren voor zeehonden gebeurt met name in de Noordzee (Aarts et al., 2019). Voor bruinvissen lijkt ook de Waddenzee een belangrijk foerageergebied te zijn (Scheidat et al., 2024). Het is de daarom van groot belang dat de open verbinding tussen (de ligplaatsen in) de Waddenzee met de Noordzee behouden blijft. Dit geldt ook voor de verbinding naar de Dollard.

⁶⁰ <https://www.rijkswaterstaat.nl/nieuws/archief/2022/04/toename-zwerfafval-waddenzee>, geraadpleegd op 1 juli 2024

Figuur 14.5 geeft een overzicht van de mogelijke kansen ten behoeve van het leefgebied zeezoogdieren.



Figuur 14.5 Mogelijke maatregelen voor realiseren streefbeeld voor leefgebieden van zeezoogdieren

15 Een voorzet voor kwantificering van de opgave

15.1 Inleiding

In voorgaande hoofdstukken is beschreven dat de Waddenzee de afgelopen eeuwen flink is gekrompen, en dat het gebied is ingesnoerd waardoor de dynamiek beperkt is en de overgangen tussen de Waddenzee en land en zoet water abrupt zijn. Ook zijn essentiële kwaliteiten als duisternis, rust en stilte achteruitgegaan en zijn biobouwers in areaal afgenomen. Daarnaast mag verwacht worden dat vooral na 2050 door zeespiegelstijging er toenemende behoefte is aan meer sedimentaanvoer naar wadplaten en kwelders.

In dit hoofdstuk volgt een eerste kwantitatieve inschatting voor de opgave tot systeemherstel met de benodigde arealen voor diverse habitats. Het betreft hier een verkenning die nader kan worden aangevuld middels additioneel wetenschappelijke ondersteuning door WMR en Deltares.

Een belangrijke boodschap is dat veel bereikt kan worden met een kwaliteitsverbetering binnen het huidige areaal van de Waddenzee, richting een systeem waar de belangrijkste biotische en abiotische processen zich op een natuurlijkere wijze kunnen voltrekken. Knelpunten blijven er echter langs de randen van de Waddenzee: op de eilanden en het vasteland. Dit laatste kan worden opgelost door ruimte te geven aan het ontstaan van gradiënten, het daar weer toelaten van dynamiek door wind en water, en het verbeteren van verbindingen. Om de gradiënten en dynamisering ook echt de ruimte te geven betekent dit dat binnendijkse gebieden in rechtstreekse verbinding moeten staan met de Waddenzee. Bij overgangen tussen zoete en zoute wateren betekent dit herstel van brakke gradiënten. Bij overgangen tussen de waddenkwelders/platen en binnendijkse gebieden betekent dit een verbinding, waardoor water met sediment kan bewegen. Waar dit niet, of alleen minimaal een optie is, zal toegevoegd gebied vooral moeten dienen als leefgebied en geen toevoeging kunnen vormen aan dynamiek. De precieze vorm zal in alle gevallen maatwerk zijn, waarbij economische ontwikkeling en natuur op elkaar worden afgestemd.

15.2 Binnendijkse ruimte voor gradiënten

Zeker in gebieden waar in het verleden veel insnoering van kwelders heeft plaatsgevonden, is er behoefte aan ruimte voor natuurlijke processen. Het zoekgebied ligt primair binnendijks om te voorkomen dat de Waddenzee niet verder ingesnoerd wordt, hetgeen overigens ook door internationale verplichtingen niet wordt toegestaan.

Dijkema (1987) stelde indicatorwaarden vast voor het oppervlakte aan kwelders in de Waddenzee. Hij berekende het kwelderoppervlak als een percentage van de totale oppervlakte van een kombergingsgebied. Als referentie gebruikte Dijkema het aandeel kwelders tussen 1600 en 1800. Alhoewel er toen ook al dijken aanwezig waren, benaderde de kweldergradiënt nog wel de oorspronkelijke natuurlijke kwelder met lange overgangen. Het gebied is echter sinds die tijd wel verder ingesnoerd, wat de komberging verder heeft verkleind (De Leeuw, C., 2020).

Voor het gebied vanaf het wantij van Terschelling oostwaarts tot aan het wantij van het Pinkegat onder Ameland werd het referentiepercentage eilandkwelders en vastelandkwelders vastgesteld op respectievelijk 1,4% en 4,2%, terwijl in 1985 deze verhoudingen op respectievelijk 4,5% en 1,4% lagen. Voor het gebied vanaf de Zoutkamperlaag oostwaarts tot en met het Nederlandse deel van de Eems-Dollard werd het referentiepercentage eilandkwelders en vastelandkwelders vastgesteld op respectievelijk 0,6% en 9,7% terwijl in 1985 deze verhoudingen op respectievelijk 1,2% en 3,7% lagen (zie Tabel 15.1).

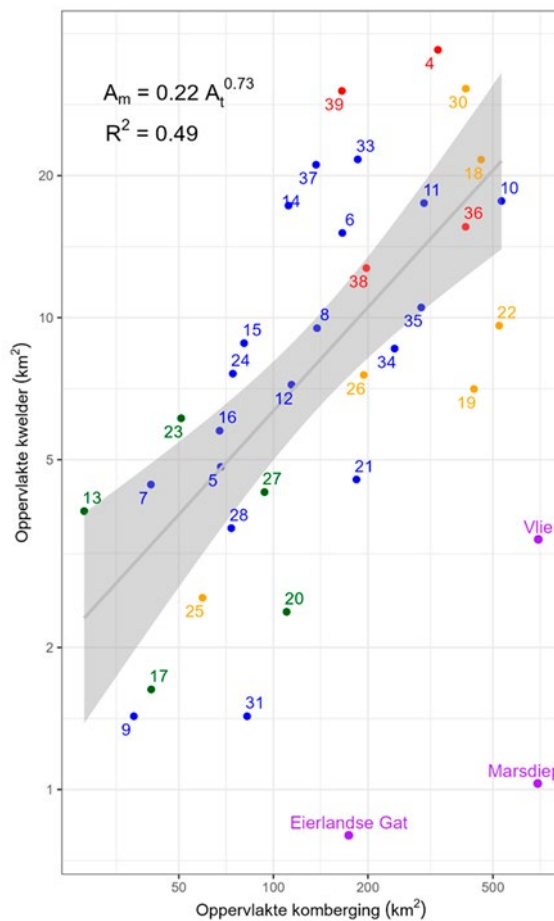
Tabel 15.1 Indicatorwaarden voor kwelders in het oostelijke Nederlandse Waddengebied (gebaseerd op Dijkema (1987) en Dijkema et al., (2001))

	Referentie- waarde percentage eiland kwelders 1600-1800	Percentage eiland kwelders 1985	Referentie- waarde percentage vaste-land- kwelders 1600-1800	Percentage vasteland kwelders 1985
Wantij Terschelling – Zoutkamperlaag	1,4	4,5	4,2	1,4
Vanaf Pinkegat oostwaarts inclusief NL Eems-Dollard	0,6	1,2	9,7	3,7

Voor de westelijke Waddenzee tot het wantij van Terschelling was het aandeel kwelders slecht in kaart te brengen en zag Dijkema (1987) ervan af om een streefwaarde vast te stellen. Bovendien was in de periode 1600-1800 de getijslag in de westelijke Waddenzee relatief klein, wat niet bevorderlijk is voor kwelder-
vorming. Na de aanleg van de Afsluitdijk in 1932 nam de getijslag toe, waardoor er sindsdien een verbeterde
potentie voor kwelders is. Voor de westelijke Waddenzee is de opgave daarom berekend op basis van de
trilaterale ecotopenkaart van de Waddenzee (Baptist et al., 2019; 2022, persoonlijke communicatie).
De huidige verhouding oppervlak aan kwelders en het totaal oppervlak van het kombergingsgebied is voor
ieder kombergingsgebied in de trilaterale Waddenzee geanalyseerd (Figuur 15.1).⁶¹ Daarbij is een
exponentieel verband vastgesteld tussen het oppervlak kwelder (A_m) en de totale oppervlakte van de
komberging (A_t) volgens $A_m = 0,22 \times A_t^{0,73}$ met een redelijk hoge verklaarde variantie.

⁶¹ Deze relatie geeft de huidige verhoudingen weer. Dit levert een wat lagere schatting op dan de benadering van Dijkema zou hebben opgeleverd, omdat in 1600 en 1800 er nog grote kweldergebieden onbedijkt waren.

Figuur 15.1:



Oppervlakte van kwelders als functie van de oppervlakte van kombergingsgebieden in de internationale Waddenzee. Data afkomstig van Baptist et al. (2022).

Uit de analyse blijkt dat de Waddenzee in het verleden sterk is ingepolderd, en dat daarmee ruimte is verloren voor kweldergradiënten. Om de processen van erosie en sedimentatie weer vrij spel te geven, waardoor langere gradiënten kunnen ontstaan, is meer ruimte nodig. Dit kan bereikt worden door de dijken landinwaarts te verplaatsen. Daarnaast bestaat er een tekort aan leefgebied. Leefgebied kan ook binnendijks gevonden worden, waardoor binnendijks kwelderareaal ontstaat. Dit heeft echter minder tot geen effect op de dynamisering, afhankelijk van of en hoe groot de connectie tussen de Waddenzee en het binnendijkse gebied is.

Terwijl het kwelderareaal (inclusief pionierzone) nu ca. 3 procent van het totale Waddenzee areaal beslaat is een uitbreiding gewenst waarbij het totale areaal (binnendijks en buitendijks) dan ca 6,5% zou beslaan. Deze gebieden zullen ook een belangrijke rol spelen in nutriëntenopslag en -afgifte en dienen als leefgebied voor vogels en vissen. Het toevoegen van dergelijke gradiënten is alleen mogelijk als de kwelders sneller dan of net zo snel aanslibben als de zeespiegel stijgt. Dit impliceert dat toevoegingen voor 2100 gerealiseerd moeten worden.

15.3 Grootschalige en kleinschalige zoet-zout overgangen

In dit streefbeeld wordt behoud en het verbeteren van het Eems-Dollard estuarium (vooral conform ED2050 (Programma Eems-Dollard 2050) en Natura 2000) en herstel van 2 grootschalige zoet-zout verbindingen bij Lauwersmeer en Afsluitdijk voorgesteld. Alleen in deze drie gebieden is er voldoende zoetwateraanvoer om een grootschalige zoet-zout overgang mogelijk te maken (Oost, 2021). Hier kunnen duurzaam lange gradiënten ontstaan met een geleidelijke overgang van zoet naar zout. Voor de

Eems-Dollard betreft dit het gehele Nederlandse deel met waar mogelijk aansluiting op binnendijkse waterlopen. Dit sluit aan bij de visie ED2050 (2016)). Bij het Lauwersmeer en de Afsluitdijk gaat het om verandering van al bestaande binnendijkse zoetwater gebieden in nieuwe zoet-zout overgangen. Het gaat hier met name om het oligohaliene bereik (brak water met een saliniteit van 0,5 tot 3,3 promille). Daarnaast is het van belang dat er jaarrond voldoende zoetwater wordt geloosd om de ca 40.000 ha grote brakwaterzone buitendijks voor de Afsluitdijk te behouden.

Voor kleinschalige overgangen gaat het om twee soorten zoet-zoutovergangen. De 18 bestaande nog natuurlijke zoet-zoutovergangen op de eilanden, zoals de Slufter op Texel en de kwelderslenken op Terschelling, moeten behouden blijven en waar mogelijk versterkt. Daarnaast zijn er 11 zoetwater-uitlaatpunten bij gemalen op het vasteland, waar vaak in het verleden al aan is gewerkt om ze beter passeerbaar te maken voor vis. Echter, veel van de passages kunnen beter worden ingericht (Philippart & Baptist, 2016), ook voor andere groepen dan vis. Het gaat hier overwegend om het oligohaliene en mesohaliene bereik (brak water met een saliniteit van 3,3 tot 18,1 promille). Ook hier betreft het een verbetering van buitendijks gebied en verandering van binnendijkse zoetwater gebieden naar zoet-zout overgangen. Het spreekt voor zich dat bij de ontwikkeling van nieuwe inrichtingsplannen/studies de mogelijkheden voor kleine zoet-zout overgangen moeten worden meegenomen. Waarbij het belangrijk is dat er genoeg water beschikbaar is voor afwatering.

15.4 Optimalisatie inhammen en baaien

Een belangrijke verbetering is gelegen in extra aandacht voor de ontwikkeling van inhammen en baaien, zoals besproken in hoofdstuk 7. Voor de ruimtelijke opgave is uitsluitend gekeken naar het oppervlak van de bestaande baaien en inhammen in de Waddenzee, die door maatwerkbeheer, -beleid en -inrichting verder kunnen worden ontwikkeld. Het betreft mogelijkheden op de volgende locaties: Mokbaai (Texel), Prins Hendrikzanddijk (Texel), Zandkes (Texel), Posthuiswad (Vlieland), Strip-'t Schaal (Terschelling), Ballumerbocht (Ameland), Rede-Veerdam (Schier), Balgzand, Noard-Fryslân Bûtendyks, Peazemerlannen, Vierhuizergat-bocht, Noord Polder, Emma Polder, Eemshaven inham en de Dollard. In totaal gaat het om een gebied dat overeenkomt met ca 10% van het Waddenzee areaal waar op deze manier de ecologische kwaliteit kan worden verbeterd. Het ruimtebeslag dat een eventueel verder kartelen van de kust (door dijken afwisselend vooruit en achteruit te leggen zonder dat het totale areaal van de Waddenzee wordt beperkt) met zich meebrengt is hier niet uitgewerkt.

15.5 Dynamiek op de eilanden

Dynamiek door wind en water op de eilanden is niet alleen van belang voor het kunnen meegroeien van duinen en kwelders met de zeespiegelstijging, maar grootschalige dynamiek is ook van belang voor de ecologie van de Waddenzee. Hier is de focus uitsluitend op het totaal aan buitendijks gebied op de eilanden, dat wil zeggen: zeewaarts van de primaire waterkering (de kering die bescherming biedt tegen overstroming door de Noordzee). Binnen het buitendijks gebied is op basis van eigen analyse, een onderscheid gemaakt tussen:

- al bestaand hoog dynamisch buitendijks, waar de krachten van de natuur vrij spel hebben;
- dynamisch buitendijks waar wel dynamiek is, maar die nog versterkt zou kunnen worden;
- laag dynamisch buitendijks waar hier en daar dynamiek aanwezig is, maar die grotendeels ontbreekt.

Uit de inventarisatie blijkt dat er in totaal zo'n 33% buitendijks gebied is dat nu al een hoog dynamisch karakter heeft. Dat betreft met name de stranden, embryonale duinvlakten, strandvlakten, eilandstaarten en sluffers. De laag dynamische en dynamische gebieden -grotendeels door menselijke ingrepen- vormen samen 67% van het buitendijkse areaal. Dit impliceert dat er nog een zeer grote potentie aanwezig is om de buitendijkse gebieden qua abiotische dynamiek, meegroeivermogen ten opzichte van zeespiegelstijging en natuurwaarden te versterken, voor een deel via grootschalige dynamiseringsmaatregelen.

Tabel 15.2: Indicatie van de diverse oppervlakten aan eilandgebieden bij benadering (in ha)

	Totaal oppervlakte eiland	Totaal buitendijks	Hoog dynamisch buitendijks	Percentage hoog dynamisch buitendijks	Dynamisch buitendijks	Percentage dynamisch buitendijks	Laag dynamisch buitendijks	Percentage laag dynamisch buitendijks
Texel	16.226	3.467	1.277	37%	98	3%	2.092	60%
Vlieland	4.016	3.563	1.496	42%	157	4%	1.910	54%
Terschelling	8.413	5.788	690	12%	1.558	27%	3.540	61%
Ameland	5.691	2.372	569	24%	492	21%	1.311	55%
Schiermonnikoog	4.159	3.269	2.127	65%	789	24%	353	11%
Eindtotalen	38.505	18.459	6.159	33%	3.094	17%	9.206	50%

De inschatting is dat ca. 32% van het totale eilandoppervlakte potentieel in aanmerking komt voor dynamisering. Hierbij gaat het om ca. ¼ van bestaande kwelder- en strandvlaktegebieden die tot de Waddenzee behoren en ca. ¾ duingebied.

Deze opgave vergt wel een langere uitvoeringstermijn en een goede programmering waarbij gekeken wordt waar dynamisering de grootste meerwaarde heeft. Gezien de veelal bescheiden hoogte van de duinen en eventueel achterliggende kwelders verdient het aanbeveling om de dynamisering rond 2200 te hebben afgerond.

15.6 Schelpdierbanken

De schelpdierbanken waarop de aandacht is gericht zijn de belangrijke biobouwers: pure mosselbanken, pure oesterbanken en gemengde banken. Deze komen zowel litoraal als sublitoraal voor. Voor wat betreft de rol van mosselen in de voedselvoorziening van schelpdier etende vogels is een bepaald areaal aan banken ‘gedomineerd door mosselen’ (pure mosselbanken plus de gemengde banken waarvan de meerderheid uit mosselen bestaat) gewenst; de grote Japanse oesters zijn voor veel vogels niet geschikt als voedselbron.

Litoraal

Natuurlijke litorale mosselbanken fluctueren sterk tussen 10 miljoen en 200 miljoen kg, met maximale berekende oppervlakten in 1975/78 van 3200-4150 ha (Dankers et al., 1990; Oost, 1995). Dankers et al (2003) hebben een overzicht gemaakt en schatten dat in de jaren 70 en 80 het areaal tussen de 1.000 en 5.600 ha lag. Gezien de morfologische veranderingen is het wel de vraag of deze maximale arealen nog wel gehaald kunnen worden. Daarnaast is het de vraag of deze hoge aantallen mogelijk zijn vlak na een grote broedval zijn opgetreden. Uit Figuur 11.2 in hoofdstuk 11 (Troost et al., 2022) valt af te leiden dat het areaal pure mosselbanken plus gemengde oester-mosselbanken sinds 2002 nooit lager is geweest dan 1.300 ha en schommelt rond de 2.000 ha. De streefwaarde voor litorale mosselbanken plus gemengde oester-mosselbanken wordt dan ook gesteld op minimaal 2.000 ha tot 4.000 ha (conform de KRW).

Uit Figuur 11.2 valt ook af te lezen dat litorale banken van puur Japanse oesters plus de gemengde banken (= banken gedomineerd door oesters) sinds 2011 minimaal zo’n 1.000 ha in beslag nemen. Dit wordt hier ook als streefgetal gehanteerd.

Sublitoraal

Tot 1978 schommelde het totaal gewicht voor sublitorale natuurlijke mosselbanken tussen 40 en 165 miljoen kg bij niet te intensieve bevissing (Oost, 1995). Ervan uitgaande dat de sublitorale mosselbanken eenzelfde dichtheid hebben als de litorale zou dit bij maximaal gewicht resulteren in een oppervlak van maximaal 3.400 ha. Dit komt goed overeen met het verspreidingsareaal van mosselzaad sinds 1992

(Troost et al 2022, pers com.). Uit het MEGMA onderzoek blijkt dat sinds 2015 het totale areaal van sublitorale mosselen rond de 1.000 ha ligt (Craeymeersch et al 2021). Er is hier gekozen om 3.400 ha als streefwaarde te hanteren hetgeen wel nadere analyse vergt.

Uit Figuur 11.3 valt af te leiden dat de sublitorale populatie van Japanse oesters circa 8 maal kleiner is dan de litorale populatie. Uitgaande van een vergelijkbare dichtheid en eenzelfde verhouding van gemengde banken en oesterbanken in het sublitoraal als het litoraal is geschat dat het oppervlak van gemengde banken dan maximaal zo'n 134 ha bedraagt en van oesterbanken 94 ha.

Voor een zelfstandig functionerende populatie van platte oesters zijn tenminste 20.000 platte oesters nodig (Kamermans et al., 2020; Sas et al., 2020), waarmee circa 200 m² in beslag wordt genomen. Meerdere van deze populaties strategisch verspreid over de Waddenzee in beschermde gebieden maken de soort minder gevoelig voor uitroeiing. Ervan uitgaande dat er met circa 20 populaties een robuuste populatie zou zijn, komt dit overeen met een areaal van 0,4 ha in het sublitoraal.⁶² Dit getal wordt voorlopig aangehouden als streefbeeld voor 2050. Of de verspreiding ooit weer gelijk kan worden aan die in de 18e en 19e eeuw, is gezien de vele veranderde factoren onbekend.

Bovenstaand resulteert in een gewenste oppervlakte van 3.000 tot 5.000 ha litorale schelpdierbanken en 3.600 ha voor sublitorale schelpdierbanken hetgeen in totaal overeenkomt met circa 2,2 tot 2,9 % van het totale Waddenzee areaal, terwijl het huidige areaal geschat kan worden op 1%.

Tabel 15.3: Streefwaarden voor schelpdierbanken

Opgave	Oppervlak (in ha)	Bron
Litorale banken gedomineerd door mosselen	2.000 - 4.000	Dankers et al., (1990); Oost, (1995); Dankers et al (2003); Troost et al (2022); Van der Meer (2024)
Litorale banken gedomineerd door oesters	1.000	Troost et al., (2022)
Scheldierbanken litoraal totaal	3.000 - 5.000	
Mosselbanken sublitoraal ⁶³	3.400	Oost, (1995); Craeymeersch et al (2021); Troost et al (2022)
Sublitorale banken gedomineerd door oesters ⁶⁴	228	Troost et al., (2022)
Platte oester populaties	0,4	Kamermans et al., (2020); Sas et al., (2020)
Scheldierbanken sublitoraal totaal	3.628,4	

15.7 Zeegrasvelden

De KRW-doelstelling voor het waterlichaam Waddenzee is gesteld op 8.187 ha zeegras (2,7% van de Waddenzee) (Rijkswaterstaat, 2023). Echter, deze doelstelling maakt geen onderscheid tussen droogvallend en ondergedoken zeegras, terwijl de hersteluitdagingen voor beide typen zeegras verschillend zijn. De KRW vereist voorts een vrij hoge zeegrasbedekking van >5%, met een verdeling van 1/3 groot zeegras en 2/3 klein zeegras.

⁶² Gebaseerd op 1 dm² per adulte oester en een dichte bedekking.

⁶³ Uitgaande van gelijke dichtheden als in litoraal.

⁶⁴ Uitgaande van een vergelijkbare dichtheid en eenzelfde verhouding van gemengde banken en oesterbanken in het sublitoraal als het litoraal.

Momenteel is er een bruto areaal van circa 350 ha klein zeegras en 100 ha groot zeegras aanwezig (gebaseerd op de karteringen volgens de KRW benadering) hetgeen ongeveer overeen komt met ca 0,15% van het Waddenzeeareaal. Er loopt een evaluatie door Rijkswaterstaat waarbij er onder meer gekeken wordt of een meer gedifferentieerde aanpak nodig is waarbij onderscheid wordt gemaakt tussen sublitoraal en litoraal groot en klein zeegras. Vooralsnog wordt voor dit streefbeeld de KRW doelstelling overgenomen, tot de discussie hierover is afgerond.

Voor herstel van zeegras is een verdere reductie van de stikstofbelasting noodzakelijk, met ongeveer 40% (34-36%) (Van Katwijk et al., 2024). Dit zou resulteren in zomer chlorofylconcentraties tussen 86-92 kton per jaar (december-augustus). Deze lage concentraties worden momenteel alleen in zeer droge jaren bereikt, wanneer de stikstofaanvoer via rivierafvoer beperkt is. Na deze significante afname in stikstofbelasting wordt zeegrasherstel haalbaarder. Voor duurzaam herstel van zeegras is het wenselijk dat niet alleen materiaal van elders wordt geïmporteerd; er wordt daarvoor ook wel gedacht aan kwekerijen voor donormateriaal tot er een duurzame populatie aanwezig is.

15.8 Rust, duisternis en stilte

Het streven is een rustige, stille Waddenzee, met nachtelijke duisternis en weidse vergezichten. Dit zijn waarden die gelden voor 100% van de Waddenzee. Ook zou de verstoring langs de randen van de Waddenzee, dus in het omringende Waddengebied terug moeten worden gedrongen, omdat dit invloed heeft op de waarden in het gebied. Tabel 15.4 geeft een overzicht van de genoemde streefwaarden.

Tabel 15.4: Streefwaarden voor duisternis en geluid

Kwaliteit	Streefwaarde	Referentie
Duisternis	Hemelhelderheid van minimaal 21,2 magnitudes per vierkante boogseconde	International Dark Sky Associaton criterium voor selectie als National Dark Sky Park
Geluid onder water	Minstens 80% van het gebied wordt niet bloot gesteld aan continu onderwatergeluid (mediaanniveau SPL onder de 90dB). In minimaal 90% van gebied is, er per jaar, geen impuls-onderwatergeluid (op basis van een berekening van de gemiddelde blootstelling).	Kaderrichtlijn Mariene Strategie
Geluid boven water	Minder dan 40 db (A)	Normering in stiltegebieden

Omdat rust, duisternis en stilte algemene opgaven zijn voor de hele Waddenzee en haar randen, wordt deze niet meegenomen in het totaaloverzicht van de benodigde oppervlakten (paragraaf 15.9). Wanneer zoneringen of inrichtingsmaatregelen worden uitgevoerd wordt aanbevolen om te zien of rust, duisternis of stilte daar kunnen worden versterkt.

15.9 Totaaloverzicht

Tabel 15.5 geeft een samenvattend overzicht van de kwantificering systeemmaatregelen streefbeeld Waddenzee. Het betreft hier een eerste verkenning. Nader onderzoek is gewenst. Eventuele realisatie van een aantal opgaven zal zeker meer tijd vergen dan tot 2050. Opvallend is dat al veel bereikt kan worden binnen de natuurgebieden in de Waddenzee/Eems-Dollard en de eilanden. Daarbij gaat het vooral om herstel van natuurlijke dynamiek en verbindingen en optimalisatie van inhammen en baaien. Daarnaast ligt er nog een opgave voor herstel van geleidelijke overgangen langs de kusten, waarvan herstel en optimalisatie zoet-zout overgangen veelal zoetwater natuurgebieden betreft. Tenslotte is er nog een opgave voor herstel van geleidelijke kweldergradiënten.

Tabel 15.5 Verzameltabel eerste verkenning kwantificering systeemmaatregelen streefbeeld Waddenzee

	Huidige situatie	Streefbeeld	Bron en opmerkingen
Herstel geleidelijke kweldergradiënten in binnendijkse gebieden als percentage van het totale huidige Waddenzee areaal	3 %	6,5%	Dijkema, 1987; Dijkema e.a., 2001; Baptist e.a., 2022. Huidige situatie betreft huidige areaal buitendijkse kwelders en pionierzone.
Herstel en behoud grootschalige zoet-zout overgangen Waddenzee	Aantal: 1	Aantal: 3	Oost, 2021; Oost e.a., 2022
Optimalisatie/uitvoering kleinschalige bestaande zoet-zout overgangen	Aantal: 29	Aantal: 29	Oost, 2021; Oost e.a., 2022, Philippart & Baptist, 2016. Betreft behoud 18 kleine natuurlijke zoet-zoutovergangen op de eilanden en optimaliseren 11 vispassages bij gemalen.
Dynamisch buitendijkse gebied als percentage van totale eiland areaal	16 %	48 %	Dit streefbeeld
Optimaliseren bestaande inhammen en baaien als percentage van het totale huidige Waddenzee areaal	Huidige status niet bekend	10,4 %	Dit streefbeeld. Alleen sprake van kwaliteitsverbetering.
Schelpdier-banken sublitoraal als percentage van het totale huidige Waddenzee areaal	0,4 %	1,2 %	Dankers et al., 1990; Oost, 1995; Kamermans e.a. , 2020; Sas, e.a. 2020; ; Tamis & Baptist, 2024. Huidig percentage gebaseerd op 2022
Schelpdier-banken litoraal als percentage van het totale huidige Waddenzee areaal	0,7 %	1 - 1,7 %	Dankers et al., 1990; Oost, 1995; Kamermans e.a. , 2020; Sas, e.a. 2020; ; Tamis & Baptist, 2024. Huidig percentage gebaseerd op 2022.
Groot en klein zeegras sublitoraal en litoraal als percentage van het totale huidige Waddenzee areaal	0,2 %	2,7 %	KRW Doelstellingen tot discussie is afgerond. Huidig percentage gebaseerd op 2023.

Literatuur

- Aarts, G., Brasseur, S. & Kirkwood, R. (2018). Response of grey seals to pile-driving. Wageningen, Wageningen Marine Research (University & Research centre), Wageningen Marine Research report Coo6/18.
- Aarts, G., Brasseur, S., Poos, J. J., Schop, J., Kirkwood, R., Kooten, T., Mul, E., Reijnders, P., Rijnsdorp, A. D., Tulp, I. (2019). Top down pressure on a coastal ecosystem by harbor seals. *Ecosphere*, 10(1). <https://doi.org/10.1002/ecs2.2538>.
- Agüera, A., Jansen, J. M., Smaal, A. C. (2020). Blue mussel (*Mytilus edulis* L.) association with conspecifics affects mussels size selection by the common seastar (*Asterias rubens* L.). *Journal of Sea Research* 164:101935.
- Allen, S. G., Ainley, D. G., Page, G. W., and Ribic, C. A. (1984). The Effect of Disturbance on Harbor Seal Haul out Patterns at Bolinas Lagoon, California. *Fishery Bulletin*, 82: 493-500.
- Arcadis (2022). Saliniteitseffecten gebruik Nieuwe Spuimiddelen Afsluitdijk. Achtergrondrapport bij de natuuranalyse. Levvel & Rijkswaterstaat.
- Arts, F. A., Meiningering, P. L. (1997). Ecologisch profiel van de Strandplevier *Charadrius alexandrinus*. Bureau Waardenburg rapport 97.01, Rijksinstituut voor Kust en Zee Rapport RIKZ 97.002. Culemborg/Middelburg.. 10.13140/RG.2.2.27420.59520.
- Baart, F., Rongen, G., Hijma M., Kooi, H., De Winter, R. Nicolai, R. (2019). Zeespiegelmonitor 2018; de stand van zaken rond de zeespiegelstijging langs de Nederlandse kust. Deltares, rapport 11202193-000-ZKS-0004, Delft.
- Baltzer, J., Maurer, N., Schaffeld, T., Ruser, A., Schnitzler, J. G., Siebert, U. (2020). Effects of underwater noise from anchor vibration operations in the Wadden Sea. *Journal of Sea Research* 162: 101912.
- Baptist, M.J., Dankers, N., Smit. (2007). The Outstanding Universal Values of the Wadden Sea: an ecological perspective. IMARES. C037/07.
- Baptist, M. J., Leopold, M. F. (2010). Prey capture success of sandwich terns *Sterna sandvicensis* varies non-linearly with water transparency. *Ibis* 152:815-825.
- Baptist, M. J., & Tamis, J. E. (2015). Review van ecologische probleembeschrijvingen voor het Eems estuarium (No. C076/15). IMARES.
- Baptist, M. J., van der Wal, J. T., de Groot, A. V., Ysebaert, T. J. W. (2016). Ecotopenkaart Waddenzee volgens de ZES.1 typologie. <https://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/526035>.
- Baptist, M. J., van der Wal, J. T., Folmer, E. O., Gräwe, U., Elschot, K. (2019). An ecotope map of the trilateral Wadden Sea. *Journal of Sea Research* 152:101761, <https://doi.org/10.1016/j.seares.2019.05.003>
- Baptist, M. J., van der Wal, J. T., Folmer, E. O., Gräwe, U., Elschot, K. (2022). Corrigendum to “An ecotope map of the trilateral Wadden Sea” [*Journal of Sea Research* 152 (2019) 101761]
- Baptist, M. J., Coolen, J. W. P., Bos, O. G., Verdaat, J. P., Meijboom, A., Bittner, O., Peck, N., van der Weide, B. (2024). Restoration of the bio-engineer *Sabellaria* spp. In the Wadden Sea. Wageningen Marine Reserach.
- Baptist, M. J., Verhoogt, A., Bos, O., Coolen, J. W. P. (2023). Herstel van *Sabellaria*-riffen in de Waddenzee (concept versie).
- Bastmeijer, K. (red), Boerema, L., Gilissen, H.K., Kistenkas, F., Miltenburg, L., van Rijswijk, M., Trouwborst, A., Verschuuren, J., & Zwier, W. De Europees- en internationaalrechtelijke status van de Waddenzee. 2024.
- Baveco, J.M. (1988). Vissen in troebel water. De effecten op visuele predatoren van verhoogde troebelheid en zwevend-stofgehaltenes als gevolg van baggerwerkzaamheden. Literatuuronderzoek, RDD Aquatic Ecosysteem, Groningen. 61 pp.
- Becker, B. H., Press, D. T., and Allen, S. G. (2011). Evidence for long-term spatial displacement of breeding and pupping harbour seals by shellfish aquaculture over three decades. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 21: 247-260.

- Berghahn, R., Waltemath, M., Rijnsdorp, A. (1992). Mortality of fish from the by catch of shrimp vessels in the North Sea. *Journal of Applied Ichthyology* 8: 293-306.
- Berghahn, R., Purps, M. (1998). Impact of discard mortality in Crangon fisheries on year-class strength of North Sea flatfish species. *Journal of Sea Research* 40: 83-91.
- Beukema, J. J., Cadée, G. C. (1986). Zoobenthos responses to eutrophication of the dutch wadden sea. *Ophelia* 26:55-64.
- Beukema, J. J., Cadée, G. C., Dekker, R. (1997). How Two Large-Scale “Experiments” Illustrate the Importance of Enrichment and Fishery for the Functioning of the Wadden Sea Ecosystem. *Senckenbergiana Maritima*, 29:37-44.
- Beukema, J. J., Cadée, G. C., Dekker, R. (2002). Zoobenthic biomass limited by phytoplankton abundance: Evidence from parallel changes in two long-term data series in the Wadden Sea. *Journal of Sea Research* 48:111-125.
- Beukema, J. J., Dekker, R. (2020). Winters not too cold, summers not too warm: Long-term effects of climate change on the dynamics of a dominant species in the Wadden Sea: the cockle *Cerastoderma edule* L. *Marine Biology*, 167:44.
- Biggs, R. Schlüter, M., and Schoon M.L. Principles for Building Resilience: sustaining ecosystem services in social-ecological systems, 2015.
- Billerbeck, M., Røy, H., Bosselmann, K., & Huettel, M. (2007). Benthic photosynthesis in submerged Wadden Sea intertidal flats. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 71(3-4), 704-716.
- Bishop, A. M., Onoufriou, J., Moss, S., Pomeroy, P. P., Twiss, S. D. (2016). Cannibalism by a male grey seal (*Halichoerus grypus*) in the North Sea. *Aquat. Mamm.* 42: 137-143.
- Boddeke, R., Vingerhoed, B. (1996). The anchovy returns to the Wadden Sea. *ICES Journal of Marine Sciences* 53:1003-1007.
- Bogaart, P., Brandenburg, K., Philippart, K. (2024). Staat van de Waddenzee (fase 1). Concept 19 juni 2024. CBS en Waddenacademie.
- Boonstra, M., Radstake, Y., Rebel, K., Aarts, G., Camphuysen, C.J. (2013). Harbour porpoises (*Phocoena phocoena*) in the Marsdiep area, the Netherlands: new investigations in a historical study area. *Lutra* 56:59-71.
- Bos, J. (2024). Blauwdruk voor de blauwe kiekendief. Vogelbescherming Nederland. Zeist.
- Bos, D. (2021). Analysedocument ‘verstoring natuur in de Waddenzee’. <https://basismonitoringwadden.waddenzee.nl/werkwijze/analysedocumenten/verstoring-natuur-waddenzee/>.
- Bouma, S. M. J. M., Lengkeek, W., van den Boogaard, B., Waardenburg, H. W. (2010). Reageren zeehonden op de Razende Bol op langsvarende baggerschepen? Inclusief reacties op andere menselijke activiteiten. Bureau Waardenburg.
- Bouveroux, T., Kiszka, J., Heithaus, R., Jauniaux, T., Pezeryl, S. (2014). Direct evidence for gray seal (*Halichoerus grypus*) predation and scavenging on harbor porpoises (*Phocoena phocoena*). *Marine Mammal Science* 30: 1542-1548.
- Brasseur, S. M. J. M., Tulp, I., Reinders, P. J. H., Smit, C. J., Dijkman, E. M., Cremer, J. S. M., Kotterman, M. J. J., Meesters, H. W. G. (2004). Voedseleecologie van de gewone en grijze zeehond in de Nederlandse kustwateren; I onderzoek naar de voedseleecologie van de gewone zeehond; II literatuurstudie naar het dieet van de grijze zeehond. Alterra-rapport 905.
- Brasseur, S. M., Aarts, G., Rebolledo, E. B., Cremer, J., Fey-Hofstede, F., Geelhoed, S., Lindeboom, H. J., Lucke, K., Machiels, M. A. and Meesters, H. W. G. (2011). Zeezoogdieren in de Eems: studie naar de effecten van bouwactiviteiten van GSP, RWE en NUON in de Eemshaven in 2010 (herzien).
- Brasseur, S. M. J. M., van Polanen, T. D., Gerrodette, T., Meesters, E. H. W. G., Reijnders, P. J. H., Aarts, G., (2015). Rapid recovery of Dutch gray seal colonies fueled by immigration. *Marine Mammal Science* 31:405-426.
- Brasseur, S. M. J. M., Evans, P., Van Neer, A., Galatius, A., Gilles, A., Haelters, J., Kavanagh, A., Roma Banga, A. F., Berrow, S., Biuw, M., Bjørge, A., Brownlow, A., Carlsson, A., Carlström, J., Fernández, D., Rogan, E., Russell, D., Saavedra Penas, C., Puig Lozano, R., Jauniaux, T. (2022). ICES Scientific Reports of Working Group on Marine Mammal Ecology (WGMME). *ICES Scientific Reports*, 4(61). <https://research.wur.nl/en/publications/working-group-on-marine-mammal-ecology-wgmme-3>.

- Bravo Rebolledo, E. L. (2021). Afval in bruinvismagen Afval in bruinvismagen - Voor en na de MSC Zoë containerramp.
- Bravo Rebolledo, E. L., de Gier, P. J., Haringa, J., Dijkstra, A. R. (2023). Zwerfvuilmonitoring Waddenzee 2022. Waardenburg Ecology 23-068.
- Brenninkmeijer, A. (2022). Effect van herstelwerkzaamheden op broedvogels en overtuigende vogels van Griend in 1964-2021. A&W-rapport 2410. Altenburg & Wymenga ecologisch onderzoek, Feanwâlden.
- Brinkman, A. G., Jacobs, P. (2023). Gross pelagic primary production in the Eems-Dollard estuary. *Netherlands Journal of Sea Research* 192:102362.
- Brown, C.R. & M.B. Brown (2001). Avian coloniality: progress and problems. *Current ornithology*. 1-82.
- Brown, C.R., B.J. Stutchbury & P.D. Walsh (1990). Choice of colony size in birds. *Trends in Ecology & Evolution*. 5(12): 398-403.
- Buitenkamp, M., van Beek, I., Firet, M. (2021). Concretisering streefbeeld onderwaternatuur Waddenzee. Losse bijlage B bij het advies. Programma naar een Rijke Waddenzee.
- Bureau Risicobeoordeling & onderzoek (2024). Advies over exoten op Waddeneilanden. trcvwa/2023/4208.
- Buschbaum, C., Lackschewitz, D., Reise, K., et al., 2012. Nonnative macrobenthos in the Wadden Sea ecosystem. *Ocean & Coastal Management* 68 (2012) 89-101.
- Büttger H., Christoph S., Buschbaum C., Gittenberger A., Jensen K., Kabuta S., & Lackschewitz D. (2022) Alien species. In: Wadden Sea Quality Status Report . Eds.: Klopper S. et al., Common Wadden Sea Secretariat, Wilhelmshaven, Germany. Last updated 01.02.2023. <https://qsr.waddensea-worldheritage.org/reports/alien-species>.
- Büttger, H., Nehls, G., Witte, S. (2011). High mortality of Pacific oysters in a cold winter in the North-Frisian Wadden Sea. *Helgoland Marine Research* 65:525-532.
- Büttger H., Nehls G. & Stoddard P. (2013) The history of intertidal blue mussel beds in the North Frisian Wadden Sea in the 20th century: Can we define reference conditions for conservation targets by analysing aerial photographs? *Journal of Sea Research* 87: 91-102.
- Cadée, G.C., and J. Hegeman. (2002). Phytoplankton in the Marsdiep at the end of the 20th century 30 years monitoring biomass, primary production, and Phaeocystis blooms. *Journal of Sea Research* 48: 97-110.
- Calle, P., Calle, L., Kranenbarg, J., Van Der Velden, J., Meijer, A., De Boois, I., Dubbeldam, M., Jacobusse, C. (2020). *Vissen in Zeeland: visatlas*.
- Capelle, J. J., van Stralen, M. R. (2021). Bestandsopname van mosselen op mosselkweekpercelen in de Waddenzee in januari 2021. (Wageningen Marine Research rapport; No. C018/21). Wageningen Marine Research. <https://doi.org/10.18174/543137>.
- Centraal Bureau voor de Statistiek (CBS), Planbureau voor de Leefomgeving (PBL), Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), Wageningen University and Research (WUR) (2024). Fauna in de Waddenzee, 1990-2015 (indicator 1597, versie 01, 30 oktober 2017). www.clo.nl.
- Chevillot, X., Pierre, M., Rigaud, A., Drouineau, H., Chaalali, A., Sautour, B., Lobry, J. (2016) Abrupt shifts in the Gironde fish community: an indicator of ecological changes in an estuarine ecosystem. *Marine Ecology Progress Series* 549:137-151.
- Chevillot, X., Drouineau, H., Lambert, P., Carassou, L., Sautour, B., Lobry, J. (2017). Toward a phenological mismatch in estuarine pelagic food web? *PloS One* (12): e0173752.
- Christianen, M. J. A., Middelburg, J. J., Holthuijsen, S. J., Jouta, J., Compton, T. J., van der Heide, T., Piersma, T., Sinninghe Damsté, J. S., van der Veer, H. W., Schouten, S., Olf, H. (2017). Benthic primary producers are key to sustain the Wadden Sea food web: stable carbon isotope analysis at landscape scale. *Ecology* 98:1498-1512.
- Colijn, F., Cadée, G. C. (2003). Is phytoplankton growth in the Wadden Sea light or nitrogen limited? *Journal of Sea Research*, 49:83-93.
- Colina Alonso, A. (2024). Sand-Mud Morphodynamics, PhD dissertation, TU Delft Research. <https://research.tudelft.nl/en/publications/sand-mud-morphodynamics>.

- Compton, T. J., Holthuijsen, S., Koolhaas, A., Dekinga, A., ten Horn, J., Smith, J., Galama, Y., Brugge, M., van der Wal, D., van der Meer, J., van der Veer, H., Piersma, T. (2013). Distinctly variable mudscapes: Distribution gradients of intertidal macrofauna across the Dutch Wadden Sea. *Netherlands Journal of Sea Research* 82:103-116.
- Compton, T. J., Holthuijsen, S., Mulder, M., van Arkel, M., Schaars, L. K., Koolhaas, A., Dekinga, A., ten Horn, J., Luttikhuisen, P. C., van der Meer, J., Piersma, T., van der Veer, H. W. (2017). Shifting baselines in the Ems Dollard estuary: A comparison across three decades reveals changing benthic communities. *Netherlands Journal of Sea Research* 127:119-132.
- Cooper, K M, M. Curtis, W.M.R. Wan Hussin, C.R.S. Barrio Froján, E.C. Defew, V. Nye & D.M. 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* 62:2087-2094.
- Craeymeersch, J., Troost, K., van den Ende, D., van Es, Y., van Ascha, M., Perdon, J., Glorius, S., van Stralen, M. (2021). Ontwikkeling van bodemdieren in de voor mosselzaad- en garnalenvisserij gesloten gebieden in de westelijke Waddenzee: Evaluatie na zeven jaar monitoring (2015-2021).
- Crespi, E., Burnap, R., Chen, J., Das, M., Gassman, N., Rosa E., Simmons, R., Wada, H., Wang, Z. Q., Xiao, J., Yang, B., Yin, J., Goldstone, J. V. (2021). Resolving the rules of robustness and resilience in biology across scales. *Integrative and comparative biology* 61:2163-2179, <https://doi.org/10.1093/icb/icab183>.
- Dankers, N., Dijkema, K. S., Reijnders, P. J. H., & Smit, C. J. (1990). De Waddenzee in de toekomst-waarom en hoe te bereiken?
- Dankers N.M.J.A., Meijboom, A., Cremer, J.S.M., Dijkman, E.M., Hermes, Y., te Marvelde L. (2003). Historische ontwikkeling van droogvallende mosselbanken in de Nederlandse Waddenzee.
- de Beaufort, L.F. (ed.). (1954). Veranderingen in de flora en fauna van de Zuiderzee (thans IJsselmeer) na de afsluiting in 1932. Verslag van de onderzoeken, ingesteld door de Zuiderzee-commissie der Nederlandse Dierkundige Vereniging. v/h C. de Boer jr., Den Helder, 359 pp.
- de Jonge, V.N. & Postma, H. (1974). Phosphorus compounds in the Dutch Wadden Sea. *Netherlands Journal of Sea Research*. Volume 8, Issues 2-3, pages 139-153.
- de Kluijver, A., Brinkman, A. G., van Duren, L. A., Fey, F. (2015). Effecten van slib op de ecologische doelstellingen van de KRW. 1220102-000-0009, Deltares, Delft.
- de Leeuw, C. de, Grootjans, A.P., Lammerts, E.J., Esselink, P., Stal, L., Stuyfzand, P.J., Turnhout, C. van, Haaf, M.E. ten & Verbeek, S.K., 2008. Ecologische effecten van Duinboog- en Washoverherstel. Report University of Groningen.
- de Leeuw, C., (2020). Duurzame bescherming en ontwikkeling van dynamische Waddenzeenatuur – Brochure 1: Morfologische veranderingen. Uitgave Rijkswaterstaat Noord-Nederland, Leeuwarden
- de Leeuw, C. (2021). Zoetwaterschokken en verdrinking: wat doet klimaatverandering met het Waddengebied? Waddenacademie.
- de Vries, G. (2017). Gesprekspaper Open landschap en ruimtegebruik t.b.v. Gebiedsagenda Wadden 2050.
- de Wit, 2022. Driejaarlijkse tussenevaluatie verspreidingslocaties Waddenzee 2017-2019 (inclusief 2020 en 2021).
- den Oever, A., van Son, L., Schepp, K. (2023a). Zeegraskartering MWTL Waddenzee en Oosterschelde 2023. Rapport 23-372.2 deel A. Waardenburg Ecology, Culemborg.
- den Oever, A., van Son, L., Schepp, K. (2023b). Digitale Basisrapportage. Zeegraskartering MWTL Waddenzee en Oosterschelde 2023. Rapport 23-372.2 deel B. Waardenburg Ecology, Culemborg.
- Dekker, R., Drent, J. (2013). The macrozoobenthos in the subtidal of the western Dutch Wadden Sea in 2008 and a comparison with 1981-1982. Royal Netherlands Institute for Sea Research, report 2013-5.
- Deltares (2019a). Klimaatscan. https://publications.deltares.nl/11203733_000_0006a.pdf.
- Deltares (2019b). Klimaatscan, Wat zijn de gevolgen van klimaatverandering voor het ecologisch functioneren van de Nederlandse Grote Wateren?, https://publications.deltares.nl/11203733_000_0006.pdf.

- Dickson, J., Franken, O., Watson, M. S., Monnich, B., Holthuijsen, S., Eriksson, B. K., Govers, L. L., van der Heide, T., Bouma, T. J. (2023). Who lives in a pear tree under the sea? A first look at tree reefs as a complex natural biodegradable structure to enhance biodiversity in marine systems. *Frontiers in Marine Science* 10:1213790. <https://doi.org/10.3389/fmars.2023.1213790>.
- Didderen, K., van der Have, T. M., Bakker, E. G. R., Japink, M. (2022). Platte oester Waddenzee. Aanzet strategie en plan van aanpak voor herstel. Bureau Waardenburg Ecologie & Landschap.
- Dijkema, K.S. (1987). Changes of salt-marsh area in the Netherlands Wadden Sea after 1600. In: A.H.L. Huiskes, C.W.P.M. Blom en J. Rozema (eds) *Vegetation between land and sea*. Junk, Dordrecht: pp. 42-49.
- Dijkema, K. S., van Duin, W. E., Dijkman, E. M., van Leeuwen, P. W. (2007). Monitoring van Kwelders in de Waddenzee. Alterra, rapport 1574.
- Dijkema, K.S. (1975) Vegetatie en beheer van de kwelders en landaanwinningswerken aan de Waddenkust van Noord-Groningen. *Nederlands tijdschrift voor de veldbiologie* 78:5.
- Dijkema, K.S. (1987). Changes in salt-marsh area in the Netherlands Wadden Sea after 1600. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-94-009-4065-9_4?utm_source=chatgpt.com.
- Dijkema, K.S. (2001), Nicolai A., De Vlas J., Smit C., Jongerius H. & Nauta H. (2001). Van landaanwinning naar kwelderwerken. Rijkswaterstaat directie Noord-Nederland.
- Dijkenkaart Rijksdienst voor Cultureel Erfgoed <https://www.nationaalgeoregister.nl/geonetwork/srv/dut/catalog.search#/metadata/c46f802d-929e-4c59-b53f-of74b14724e4>.
- Dittmann, S. (1999). *The Wadden Sea Ecosystem* (S. Dittmann, Ed.). Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-60097-5>.
- Dobson M. and Frid C. (1998). *Ecology of aquatic systems*. Addison Wesley Longman Limited: Edingburgh, (England). p. 222.
- Donatelli, C., Duran-Matute, M., Gräwe, U. & Gerkema, T., 2022-b. Statistical Detection of Spatio-Temporal Patterns in the Salinity Field Within an Inter-Tidal Basin. *Estuaries and Coasts*, Issue 45, pp. 2345-2361.
- Donker, J. J. A., van der Vegt, M., Hoekstra, P. (2015). Erosion of an intertidal mussel bed by ice- and wave action. *Continental Shelf Research* 106:60-69.
- Donohue et al. On the dimensionality of ecological stability. *Ecology Letters* (2013) 16: 421-429
- Dorland, van R., Beersma, J., Bessembinder, J., Bloemendaal, N., Brink, van den H., Brotons Blanes, M., Drijfhout, S., Haarsma, R., Keizer, I., Krikken, F., Le Bars, D., Lenderink, G., Meijgaard, van E., Meirink, J.F., Reerink, T., Selten, F., Severijns, C., Siegmund, P., Sterl, A., Overbeek, B., H. de Vries, Wichers Schreur, B., van der Wiel, K. (2023) 23-02 KNMI National Climate Scenarios 2023 for the Netherlands.
- Drees, M. (2004). Epidemieën onder wilde konijnen en de gevolgen. *Vakblad Bos Natuur en landschap februari*: 9-11.
- Drent, J., Bijkerk, R., Herlyn, M., Grotjahn, M., Voß, J., Carausu, M.-C., & Thieltges, D. W. (2017). *Wadden Sea Quality Status Report Macrozoobenthos*.
- Drinkwaard, A. C. (1999). Introductions and developments of oysters in the North Sea area: a review. *Helgoländer Meeresuntersuchungen* 52:301-308.
- Duarte, C. M., Chapuis, L., Collin, S. P., Costa, D. P., Devassy, R. P., Eguiluz, V. M., Erbe, C., Gordon, T. A. C., Halpern, B. S., Harding, H. R., Havlik, M. N., Meekan, M., Merchant, D., Miksis-Olds, J. L., Parsons, M., Predagovic, M., Radford, A. N., Radford, c. A., Simpson, S. D., Slabbekoorn, H., Staaterman, E., Van Opzeeland, I. C., Winderen, J., Zhang, X., Juanes, F. (2021). The soundscape of the Anthropocene ocean. *Science* 371(6529), eaba4658. <https://doi.org/10.1126/science.aba4658>.
- Duffy, J. E. (2002). Biodiversity and ecosystem function: the consumer connection. *Oikos*, 99(2), 201-219.
- Dulfer, W. (2023). *Leidraad waterkwaliteit en natuur zoute en overgangswateren*. Rijkswaterstaat.
- Dunne, J.A., Williams, R.J. and Martinez, N.D. (2002), Network structure and biodiversity loss in food webs: robustness increases with connectance. *Ecology Letters*, 5: 558-567.
- Dye, B., Tulp, I., van Leeuwen, A., Blom, E., Schram, E. (2023). A rockling's choice: The trade-off between thermal preference and physical structure in the five bearded rockling, *Ciliata mustela*. *Journal of experimental Marine Biology and Ecology* 570:151959.

- Ebbens, E., de Haan, M., Jungerling, K., Mulder, S., Schipper, C.A. (2021). Verkenning effecten klimaatdrukfactoren op de natuur van de grote wateren, Rijkswaterstaat WVL, opdracht in het kader van het Kennisprogramma Zeespiegelstijging.
- Ebenhöh, W., Kohlmeier, C., Baretta, J. W., Flöser, G. (2004). Shallowness may be a major factor generating nutrient gradients in the Wadden Sea. *Ecological Modelling*, 174:241–252. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2003.07.011>.
- Eijsackers, H. J. P., Eriksson, B. D. H. K., van der Heide, T., Herman, P. M. J., van der Meer, J., Polet, H., Tulp, I. (2023). Beoordeling van ecologische effecten van garnalenvisserij op bodem en biota. Wageningen Marine Research & Waddenacademie, rapport Co56/23.
- Elias, E. P. L., van der Spek, A. J. F., Wang, Z. B., de Ronde, J. (2012). Morphodynamic development and sediment budget of the Dutch Wadden Sea over last century. *Netherlands Journal of Geosciences – Geologie en Mijn bouw* 91:293–310. <https://doi.org/10.1017/S0016774600000457>.
- Elschot K., M.E.B. Van Puijenbroek, D.D.G. Lagendijk, J-T. Van der Wal, C. Sonneveld (2020). Long-term development of salt marsh in the Wadden Sea (1960–2018). Wageningen, The Statutory Research Task Unit for Nature and the Environment (WOT Natuur & Milieu), WOT-technical report 182/ Wageningen Marine Research rapport Co23/20.
- Ens, B. J. (1992). The social prisoner: Causes of natural variation in reproductive success of the oystercatcher. Het open boek.
- Ens, B. J., Craeymeersch, J. A., Fey, F. E., Heessen, H. J. L., Smaal, A. C., Brinkman, A. G., Dekker, R., van der Meer, J., & van Stralen, M. R. (2007). Sublitorale natuurwaarden in de Waddenzee. Een overzicht van bestaande kennis en een beschrijving van een onderzoekopzet voor een studie naar het effect van mosselzaadvisserij en mosselkweek op sublitorale natuurwaarden.
- Ens, B., Nederland, S. V., Meijles, E., Sijtsma, F., Vroom, M., Heslinga, J., van der Tuuk, B. (2019). Monitoring vaarrecreatie en natuur Waddenzee. Samenvatting vaarseizoen 2018. Programma naar een Rijke Waddenzee.
- Esselink P., van Duin W.E., Bunje J., Cremer J., Folmer E.O., Frikke J., Glahn M., de Groot A.V., Hecker N., Hellwig U., Jensen K., Körber P., Petersen J. & Stock M. (2017) Salt marshes. In: Wadden Sea Quality Status Report. Eds.: Kloepper S. et al., Common Wadden Sea Secretariat, Wilhelmshaven, Germany.
- Europees Parlement (2000). Kaderrichtlijn Water (KRW). Richtlijn 2000/60/EG van het Europese Parlement en de Raad tot vaststelling van een kader voor communautaire maatregelen betreffende het waterbeleid. Brussel.
- Fieten, N., Frauendorf, M., Ens, B. J. (2022). ‘Quickscan’ handelingsperspectief voor hoogwatervluchtplaatsen in de Nederlandse Waddenzee. Mogelijke maatregelen ten aanzien van menselijke verstoring. A&W-rapport 21-416.
- Firet M.J., Sas, H., Kangeri, A., Heusden, van W., Walker, P., Tentij, M., Janssen, G. (2018) Samen werken aan een veerkrachtig Voedselweb. Behoud en ontwikkeling voedselweb, biobouwers, flyway en swimway Wadden. Uitwerking discussiepaper. https://rijkwaddenzee.nl/Uitwerking_bij_Veerkrachtig_voedselweb_def.pdf.
- Flemming & Nyadwi, 1994. Land reclamation as a cause of fine-grained sediment depletion in backbarrier tidal flats (Southern North Sea) / *Sediment and Particle Dynamics*. https://link.springer.com/article/10.1007/BF02334198?utm_source=chatgpt.com.
- Flow Productions, Deltares (2021). Help, de Waddenzee verdrinkt! <https://waddeninzicht.flowsproductions.nl/>.
- Folmer, E. (2019). Update habitatkaart litoraal zeegras in de Nederlandse Waddenzee. Een aanscherping van de trilaterale zeegras habitatkaart voor de Nederlandse Waddenzee op basis van een analyse van de effecten van golfwerking, sediment en wadpieren op zeegras. *Ecospace spatial ecology*.
- Folmer, E., Ens, B., van der Zee, E. (2022). Analysis of high tide roost use and benthos availability for twelve shorebird species in the Dutch Wadden Sea. A&W-rapport 16-469, Sovon-rapport 21/52. In opdracht van Wij & Wadvogels.
- Foppen R., J. Graveland, M. de Jong, Beintema, A. (1998). Naar levensvatbare populaties moerasvogels, vertaling van ruimtelijke samenhang en kwaliteit van moerassen in duurzaamheidsnormen voor moerasvogels. Achtergronddocument Voor Beschermingsplan moerasvogels van Vogelbescherming Nederland. IBN rapport 393. IBN-DLO, Wageningen.

- Franken et al., (2023). Hard substraat Waddenzee houvast voor 17 soorten. *De Levende natuur* 124(3), 124-129.
- Freitas, V., Witte, J. I. J., Tulp, I., van der Veer, H. W. (2016). Shifts in nursery habitat utilization by o-group plaice in the western Dutch Wadden Sea. *Journal of Sea Research* 111:65-75.
- Friese, J.D.S., Salt Marshes for Nekton in the Wadden Sea habitat mosaic (2020). Institute of Marine Ecosystem and Fisheries Science, University of Hamburg.
- Friese, J. D. S., Temming, A., Dänhardt, A. (2021). Preference, avoidance or coincidence? How fish and crustaceans use intertidal salt-marsh creeks in the German Wadden Sea. *Estuarine, coastal and shelf science* 255: 107297.
- Galatius, A., Brasseur, S. M. J. M., Hamm, T., Jeß, A., Meise, K., Meyer, J., Schop, J., Siebert, U., Stejskal, O., Teilmann, J., Thøstesen, C. B. (2023). Survey Results of Harbour Seals in the Wadden Sea in 2023. Common Wadden Sea Secretariat, Wilhelmshaven, Germany.
- Gilles, A., Authier, M., Ramirez-Martinez, N. C., Araújo, H., Blanchard, A., Carlström, J., Eira, C., Dorémus, G., Fernández-Maldonado, C., Geelhoed, S. C. V., Kyhn, L., Laran, S., Nachtsheim, D., Panigada, S., Pigeault, R., Sequeira, M., Sveegaard, S., Taylor, N. L., Owen, K., Saavedra, C., Vázquez-Bonales, J. A., Unger, B., Hammond, P. S. (2023). Estimates of cetacean abundance in European Atlantic waters in summer 2022 from the SCANS-IV aerial and shipboard surveys. Final report published 29 September 2023. pp 64. <https://tinyurl.com/3ynt6swa>.
- Gittenberger, A., Rensing, M., Stegenga, H., & Hoeksema, B. (2010). Native and non-native species of hard substrata in the Dutch Wadden Sea. *Nederlandse Faunistische Mededelingen*, 33, 21-76.
- Gittenberger, A., Wesdorp, K. H., & Rensing, M. (2017). Biofouling as a transport vector of non-native marine species in the Dutch Delta, along the North Sea coast and in the Wadden Sea.
- Glorius, S., Craeymeersch, J., Van der Hammen, T., Rippen, A., Cuperus, J., Van der Weide, B., Steenberg, J., Tulp, I. (2015). Effecten van garnalenvisserij in Natura 2000 gebieden. IMARES rapport Co13/15.
- Glorius, S.T. (2023). Briefrapportage en GIS-bestanden bevisingsfrequenties garnalenvisserij 2016-2022. Wageningen Marine Research.
- Goergen, K., Beersma, J., Brahmer, G., Buiteveld, H., Carambia, M., de Keizer, O., Krahe, P., Nilson, E., Lammersen, R., Perrin, C., Volken, D. (2010). Assessment of climate change impacts on discharge in the Rhine River Basin: Results of the RheinBlick2050 project.
- Gollasch, S., 2002. The importance of ship hull fouling as a vector of species introductions into the North Sea. *Biofouling* 18(2): 105-121.
- Grasmeijer, B., Pasmans, I. (2013). Hydromorfologie Eems-Dollard estuarium; Achtergrondstudie t.b.v. OTB MER vaarweg Eemshaven. Emmeloord, Arcadis Nederland B.V.
- Grasmeijer D., Jaksic L., Vroom J. (2022). Verkenning morfologische ontwikkeling westelijke Waddenzee. Deltares.
- Gunderson, L. H. (2000). Ecological resilience-in theory and application. *Annual reviews of ecological systems* 31:425-439.
- Haasnoot, M., L. Bouwer, F. Diermanse, J. Kwadijk, A. van der Spek, G. Oude Essink, J. Delsman, O. Weiler, M. Mens, J. ter Maat, Y. Huismans, K. Sloff, E. Mosselman, 2018. Mogelijke gevolgen van versnelde zeespiegelstijging voor het Deltaprogramma. Een verkenning, Deltares rapport 11202230-005-0002.
- Haelters, J., Kerckhof, F., & Brasseur, S. M. J. M. (2022). High prevalence of head and neck lesions in stranded seals: cause of death? *Lutra*, 65(2), 271-283. https://www.zoogdierverseniging.nl/sites/default/files/2023-05/lutra_652_haelters_et_al_2022.pdf.
- Hamer, A., Tangelder, M., de Vré, D., van der Ouderaa, I., Suykerbuyk, W., Walles, B. (2023). Hittestress bij schelpdieren op intergetijdenplaten van de Oosterschelde in 2021 en 2022. Wageningen Marine Research rapport; No. Co66/23. <https://doi.org/10.18174/640397>.
- Hamer, A., Tangelder, M., de Vré, D., van der Ouderaa, I., Suykerbuyk, W., Walles, B. (2023). Hittestress bij schelpdieren op intergetijdenplaten van de Oosterschelde in 2021 en 2022. Wageningen Marine Research rapport; No. Co66/23. <https://doi.org/10.18174/640397>.
- Heidinga, D., Schilt, B., Versloot, F., Gotjé, W., Bijkerk, W., Latour, J. B. (2023). Ecologische evaluatie Natura 2000 Beheerplan Waddenzee. Witteveen + Bos, Altenburg & Wymenga.

- Hermans, M., Kauffman, K., Indah-Everts, S., Maritime Operations (MO) (2020). Netwerkevaluatie Noordzee 2018-2019. Analyse van het scheepvaartverkeer in de periode 1 juni 2018—31 mei 2019. (Nr. 32091-1-MO-rev.1; p. 210). MARIN
- Heron, S, Day, J.C., Zijlstra, R., Engels, B., Weber, A., Marencic, H., Busch, J.A., (2020). Workshop report: Climate Risk Assessment for Wadden Sea World Heritage property. Application of the Climate Vulnerability Index – Outstanding Universal Value (OUV) Vulnerability. Common Wadden Sea Secretariat, Wilhelmshaven, Germany, 68 pp.
- Hoekstra, P., Philippart, C. J. M. (2021) Klimaatverandering en ecologie. Position Paper Waddenacademie en Omgevingsberaad Waddengebied 2021-01.
- Holthuijsen, S. (2019). Waddenmozaïek Cruise report bemonstering sublitoraal Nederlandse Waddenzee 2019. NIOZ. <https://www.waddenmozaiek.nl/wp-content/uploads/2024/03/Cruisereport-Waddenmozaiek-2019.pdf>.
- Holzhauser H., B.W. Borsje, P.M.J. Herman, C.A. Schipper & K.M. Wijnberg, 2022. The geomorphology of an ebb-tidal-delta linked to benthic species distribution and functionality. *Ocean and Coastal Management* 216 (2022) 105938\.
- Huisman, Y., van der Spek, A., Lodder, Q., Zijlstra, R., Elias, E., Wang, Z.B. (2022) Development of intertidal flats in the Dutch Wadden Sea in response to a rising sea level: Spatial differentiation and sensitivity to the rate of sea level rise. *Ocean & Coastal Management* 216:105969. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2021.105969>.
- Hunsicker, M. E., Ciannelli, L., Bailey, K. M., Buckel, J. A., White, J. W., Link, J. S., Essington, T. E., Gaichas, S., Anderson, T. W., Brodeur, R. D., Chan, K. S., Chen, K., Englund, G., Frank, K. T., Freitas, V., Hixon, M. A., Hurst, T., Johnson, D. W., Kitchell, J. F., Zador, S. (2011, December). Functional responses and scaling in predator-prey interactions of marine fishes: Contemporary issues and emerging concepts. In *Ecology Letters* (Vol. 14, Issue 12, pp. 1288–1299). <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2011.01696.x>.
- IJsseldijk, L. Camphuysen, C.J., Nauw, J., Aarts, G. (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.
- ICES (2020). Workshop on fisheries Emergency Measures to minimize BYCatch of short-beaked common dolphins in the Bay of Biscay and harbour porpoise in the Baltic Sea (WKEMBYC). ICES Scientific Reports 2(43).
- IPCC (2021a). Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 3–32, <https://doi.org/10.1017/9781009157896.001>.
- IPCC (2021b). Regional fact sheet – Europe. In: *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/factsheets/IPCC_AR6_WGI_Regional_Fact_Sheet_Europe.pdf.
- IPCC (2023) *Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, pp. 35-115, <https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647>.
- Iwantoro, A., 2016. The Effect Of Afsluitdijk Construction To The Wadden Sea Salinity And Fine Sediment Dynamics, Delft: Internship report Deltares.
- Jager, Z., Kleef, H.L., Tydeman, P. (1993). The distribution of o-group flatfish in relation to abiotic factors on the tidal flats in the brackish Dollard (Ems estuary, Wadden Sea)., *Journal of Fish Biology* 43 (Supplement A): 31-43.

- Jak, R. G., Lubsch, A., Beier, U. (2020). Haalbaarheid van het aanlanden van zeesla uit de Waddenzee: Randvoorwaarden en richtlijnen voor het oprichten van een commerciële aanvoerstroam. <https://doi.org/10.18174/522760>.
- Jak, R. G., van Walraven, L. (2022). Sleutelaspect zoöplankton: Analysedocument Basismonitoring Wadden. Wageningen Marine Research.
- Jaksic, L., Rienstra, J., Meijers, C., Blaauw, A. (2024). Invloed afvoerregimes IJsselmeer op saliniteit Waddenzee. Modelstudie en voorzichtige doorvertaling naar ecologische effecten. *Deltares* 11209267-007.
- Janssen, G. M. (2000). Herstel van estuariene gradiënten in het waddengebied. Een onderbouwing van de ecologische meerwaarde van dit herstel en een eerste aanzet tot uitwerking.
- Jansen, H., Kamermans, P., Glorius, S., & van Asch, M. (2019). Draagkracht van de Oosterschelde en westelijke Waddenzee voor schelpdieren: Evaluatie van veranderingen in de voedselcondities en schelpdierbestanden in relatie tot de mosselkweek in de periode 1990-2016. <https://doi.org/10.18174/504079>.
- Jong, C.A.F., Jansen H.W. (2023), Pilot study underwater sound Wadden Sea, TNO 2023 R11336.
- Jongbloed R. H., Leopold M. F. (2019). Aanvulling op de passende beoordeling mechanische winning van pieren door Arenicola B.V. op de Vlakte van Kerken (Waddenzee). Wageningen University & Research rapport C125/19, 45p. <https://doi.org/10.18174/50885>.
- Jung, A.S., Brinkman, A.G., Folmer, E.O., Herman, P.M.J., Van der Veer, H.W., Philippart, C.J.M. (2017). Long-term trends in nutrient budgets of the western Dutch Wadden Sea (1976-2012). *Journal of Sea Research*. Volume 127, September 2017, Pages 82-94.
- Jung, A. S., van der Veer, H. W., van der Meer, M. T. J., Philippart, C. J. M. (2019) Seasonal variation in the diet of estuarine bivalves. *PLoS ONE* 14(6): e0217003. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0217003>.
- Kamermans, P., Blanco, A. & Van Dalen, P. (2020). Sources of European flat oysters (*Ostrea edulis* L.) for restoration projects in the Dutch North Sea. Wageningen University & Research report Co85/20.
- Kastelein, R. A., Helder-Hoek, L., Covi, J. and Gransier, R. (2016). Pile driving playback sounds and temporary threshold shift in harbor porpoises (*Phocoena phocoena*): Effect of exposure duration. *The Journal of the Acoustical Society of America* 139: 2842-2851.
- Kats, R. (2011). Konijnen en koeien in de duinen. *WadWeten Waddenacademie* 16 december 2011.
- Kellnreiter, F., Pockberger, M., Asmus, H. (2012). Seasonal variation of assemblage and feeding guild structure of fish species in a boreal tidal basin. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 97-108.
- Kemp, W. M., Boynton, W. R., Adolf, J. E., Boesch, D. F., Boicourt, W. C., Brush, G., Cornwell, J. C., Fisher, T. R., Glibert, P. M., Hagy, J. D., Harding, L. W., Houde, E. D., Kimmel, D. G., Miller, W. D., Newell, R. I. E., Roman, M. R., Smith, E. M., Stevenson, J. C. (2005). Eutrophication in Chesapeake Bay: historical trends and ecological interactions. *Marine Ecology Progress Series* 303:1-29.
- Kleefstra R., Bregnballe T., Frikke J., Günther K., Hälterlein B., Hansen M.B., Hornman M., Meyer J. & Scheiffarth G. (2022a). Migratory birds. In: Wadden Sea Quality Status Report. Eds.: Kloepper S. et al., Common Wadden Sea Secretariat, Wilhelmshaven, Germany. Last updated: 06.09.2022. Downloaded 17.06.2024. <https://qsr.waddensea-worldheritage.org/reports/marine-mammals>.
- Kleefstra, R., Bregnballe, T., Frikke, J., Günther, K., Hälterlein, B., Hansen, M. B., Hornman, M., Ludwig, J., Meyer, J., Scheiffarth, G. (2022b) SHOULD BE Trends of Migratory and Wintering Waterbirds in the Wadden Sea 1987/1988 - 2019/2020. CITED AS Wadden Sea Ecosystem No. 41. Common Wadden Sea Secretariat, Expert Group Migratory Birds, Wilhelmshaven, Germany.
- Knief, U., Bregnballe, T., Alfarwi, I., Ballmann, M., Brenninkmeijer, A., Bzoma, S., Chabrolle, A., Dimmlich, J., Enge, I. E., Fijn, R., Fischer, K., Hälterlein, B., Haupt, M., Hennig, V., Herrmann, C., in't Veld, R., Kirchhoff, E., Kristersson, M., Kühn, S., Larsson, K., Larsson, R., Lawton, N., Leopold, M., Lilipaly, S., Lock, L., Marty, R., Matheve, H., Meissner, W., Morisson, P., Newton, S., Olofsson, P., Packmor, F., Pedersen, K. T., Redfern, C., Scarton, F., Schenk, F., Scher, O., Serra, L., Smith, J., Smith, W., Sterup, J., Stienen, E., Strassner, V., Valle, R. G., van Bemmelen, R. S. A., Veen, J., Vervaeke, M., Weston, E., Wojcieszek, M., Courtens, W. (2024). Highly pathogenic avian influenza causes mass mortality in Sandwich tern *Thalasseus sandvicensis* breeding colonies across northwestern Europe. *Bird Conservation International* 34:1-11. <https://doi.org/10.1017/S0959270923000400>.

- KNMI (2023). KNMI'23 klimaatscenario's voor Nederland, KNMI, De Bilt, KNMI-Publicatie 23-03.
<https://www.knmi.nl/kennis-en-datacentrum/achtergrond/knmi-23-klimaatscenario-s>.
- Koffijberg, K., Bregnballe, T., Frikke, J., Hälterlein, B., Bentzon Hansen, M., Meyer, J., Reichert, G., Umland, J., van der Meij, T. (2022). Breeding birds. In: Wadden Sea Quality Status Report. Eds.: Kloepper, S. & Meise, K., Common Wadden Sea Secretariat, Wilhelmshaven, Germany.
<https://qsr.waddensea-worldheritage.org/>.
- Kok, A., Vollenbroek, R. (2024). Waterbeschikbaarheid Noord-Nederland; Analyse voor de periode 2010 - 2022. Rapport 2024-03, Waddenacademie, Leeuwarden.
- Koop, J. H., Gibson, R. N. (2009). Distribution and movements of intertidal butterflyfish *Pholis gunnellus*. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 71:127-136.
- Kraan, C., et al. (2004). Spatial ecology of intertidal macrobenthic fauna in a changing Wadden Sea.
www.waddenacademie.nl/Proefschriften/Thesis_Casper_Kraan.
- Kranenbarg, J., Herder, J. E., van Emmerik, W. A. M., Groen, M., (red). (2022). Visatlas van Nederland. Stichting RAVON, Sportvisserij Nederland en Noordboek, Gorredijk.
- Krijgsveld, K. L., Klaassen, B., van der Winden, J. (2022). Verstoring van vogels door recreatie. Literatuurstudie van verstoringsgevoeligheid en overzicht van maatregelen. Deel 1 hoofdrapport & deel 2 soortbesprekingen. Uitgave Vogelbescherming Nederland, Zeist.
- Kromkamp, J. C., Philippart, C. J. M. (2015). Primaire productie in het waddengebied: Meten en berekenen.
- Kroon, J. W. (2009). Kennisdocument bot, *Platichthys flesus* (Linnaeus, 1758). Sportvisserij Nederland.
- Krop-Benesch, A. (2022). Influence of Artificial Light at Night (ALAN) on the Outstanding Universal Value (OUV) of the Wadden Sea World Heritage. Programma naar een Rijke Waddenzee.
- Kuusemäe, K., von Thenen, M., Lange, T., Rasmussen, E.K., Potho_, M., Sousa, A.I. & Flindt, M.R. (2018). Agent Based Modelling (ABM) of eelgrass (*Zostera marina*) seedbank dynamics in a shallow Danish estuary. *Ecological Modelling* 371:60-75.
- Leopold, M. F. (2002). Eiders *Somateria mollissima* scavenging behind a lugworm boat. *Journal of Sea Research* 47:75-82.
- Leopold, M. F., Begeman, L., van Bleijswijk, J. D., IJsseldijk, L. L., Witte, H. J. and Gröne, A. (2015). Exposing the grey seal as a major predator of harbour porpoises. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 282(1798): 20142429.
- Leote, C., Mulder, L. L., Philippart, C. J. M., Epping, E. H. G. (2016). Nutrients in the western Wadden Sea: Freshwater input versus internal recycling. *Estuaries and Coasts* 39:40-53.
<https://doi.org/10.1007/s12237-015-9979-6>.
- Leote, C., Mulder, L. L., Philippart, C. J., Epping, E. H. (2016). Nutrients in the western Wadden Sea: Freshwater input versus internal recycling. *Estuaries and Coasts*, 39:40-53.
- Levin, S. A., Lubchenco, J. (2008). Resilience, Robustness, and Marine Ecosystem-based Management. *BioScience* 58: 27-32, <https://doi.org/10.1641/B580107>.
- Loebl, M., Colijn, F., van Beusekom, J. E. E., Baretta-Bekker, J. G., Lancelot, C., Philippart, C. J. M., Rousseau, V., Wiltshire, K. H. (2009). Recent patterns in potential phytoplankton limitation along the Northwest European continental coast. *Journal of Sea Research* 61:34-43.
- Lotze, H.K., Reise, K., Worm, B., van Beusekom, J. E. E., Busch, M., Ehlers, A., Heinrich, D., Hoffman, R. C., Holm, P., Jensen, C., Knottnerus, O. S., Langhanki, N., Prummel, W., Vollmer, M., Wolff, W. J. (2005). Human transformations of the Wadden Sea ecosystem through time: a synthesis. *Helgoland Marine Research* 59:84-95. <https://doi.org/10.1007/s10152-004-0209-z>.
- Lotze, H. K. (2005). Radical changes in the Wadden Sea fauna over the last 2,000 years. *Helgoland Marine Research* 59:71-83.
- Lotze, H. K. (2007). Rise and fall of fishing and marine resource use in the Wadden Sea, southern North Sea. *Fisheries research* 87:208-218.
- Lotze, H. K., Reise, K., Worm, B., van Beusekom, J. E. E., Busch, M., Ehlers, A., Heinrich, D., Hoffmann, R. C., Holm, P., Jensen, C., Knottnerus, O. S., Langhanki, N., Prummel, W., Wolff, W. J. (2005). Human transformations of the Wadden Sea ecosystem through time: a synthesis. *Helgoland Marine Research* 59:84-95.

- Luksenburg, J. A., Pedersen, T., Falk-Petersen (2004). Reproduction of the shorthorn sculpin *Myoxocephalus scorpius* in northern Norway. *Journal of Sea Research* 51: 157-166.
- Ly, J., Philippart, C. J., M., Kromkamp, J. C. (2014). Phosphorus limitation during a phytoplankton spring bloom in the western Dutch Wadden Sea. *Journal of Sea Research* 88:109-120.
- Maathuis, M. A. M., Couperus, B., Molen, J. van der, Poos, J. J., Tulp, I., & Sakinan, S. (2023). Resolving the variability in habitat use by juvenile small pelagic fish in a major tidal system by continuous echosounder measurements. *Marine Ecology Progress Series*, SPF2. <https://doi.org/10.3354/meps14368>.
- MacIntyre, H., R.J. Geider & D.C. Miller, (1996). Microphytobenthos: The Ecological Role of the “Secret Garden” of Unvegetated, Shallow-Water Marine Habitats. I. Distribution, Abundance and Primary Production. *Estuaries* 19, No. 2A, 186-201.
- Mahoney P.C., Bishop M.J. (2017). Assessing risk of estuarine ecosystem collapse, *Ocean & Coastal management*, Volume 140.
- Manche, P., Schekkerman, H., & van Roomen, M. (2022). Verdiepende monitoring van kustbroedvogels in Wij&Wadvogels: Jaarrapportage 2021 (Sovon-rapport 2022/25). Sovon Vogelonderzoek Nederland.
- Manche P., Poot M., Kleefstra R., Koffijberg K., Maathuis M., Schekkerman H., van Roomen, M. (2023). Aantallen en verspreiding van visetende broedvogels in het Nederlandse Waddengebied in mei-juni 2022. Sovon-rapport 2023/33. Sovon Vogelonderzoek Nederland, Nijmegen.
- MARE (2001). De visgemeenschap en de visserij in het Nederlandse kustgebied en de Westelijke Waddenzee. Perceel 5, Deelproduct 1, RIVO Co47/01.
- Meijers, C., R. van Weerdenburg, B. Grasmeyer, K. Lenstra, J. Cleveringa, 2024. Knelpuntanalyse Glinder en Groote Siege Conceptueel model en handelingsperspectief voor knelpunten in de vaargeul Lauwersoog-Schiermonnikoog, Deltares 11209267-004-ZKS-0001, 67 pp.
- Meijles, E., van der Veen, E., Sijtsma, F., Ens, B. J., van der Zee, E., Vroom, M., van der Tuuk, B. (2019). Recreatievaart en natuur in de Waddenzee–seizoen 2018. Programma naar een Rijke Waddenzee.
- Meininger P.L., Arts, F. A., van Swelm, N. D. (2000). Kustbroedvogels in het Noordelijk Deltagebied. Ontwikkelingen knelpunten potenties. Rapport RIKZ/2000.052, Middelburg.
- Meyer D. L., Townsend E. C., Thayer, G. W. (1997). Stabilization and erosion control value of oyster cultch for intertidal marsh. *Restoration Ecology* 5: 93-99.
- Michaelis H., Reise, K. (1994). Langfristige Veränderungen des Zoobenthos im Wattenmeer. In: Lozan, J. L., Rachor, E., Reise, K., von Westernhagen, H., Lenz, W., (eds). *Wärnsignale aus dem Wattenmeer*. Blackwell, Berlin, pp 106-116.
- Mikkelsen, L., Johnson, M., Wisniewska, D. M., van Neer, A., Siebert, U., Madsen, P. T., Teilmann, J. (2019). Long-term sound and movement recording tags to study natural behavior and reaction to ship noise of seals. *Ecology and evolution* 9: 2588-2601.
- Ministerie van Infrastructuur en Milieu & Rijkswaterstaat Noord-Nederland (2016). Natura 2000-beheerplan Waddenzee. Periode 2016-2022.
- Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (2020). Agenda voor het Waddengebied 2050. Koersen naar een veilig, vitaal en veerkrachtig Waddengebied in 2050.
- Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (IenW) (2023). Factsheet Kader Richtlijn Water (KRW) – Behorende bij Stroomgebiedbeheerplannen 2022-2027. Tussentijdse versie v6 2023-02-23.
- Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit (LNV), Natura 2000 doelen-document (2006). <https://www.natura2000.nl/sites/default/files/Bibliotheek/Doelen/Natura%202000%20doelendocument%20%28LNV%2C%202006%29.pdf>.
- Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit (2008a). Profieldocument H1310 Eénjarige pioniersvegetaties van slik- en zandgebieden met *Salicornia* spp. en andere zoutminnende soorten. Versie 1.
- Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit (2008b). Profieldocument H1320 Schorren met slijkgrasvegetaties (*Spartinion maritmae*) Versie 1.
- Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit (LNV) (2014). Profieldocument H1351 Bruinvis (*Phocoena phocoena*). Versie 1.
- Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit (LNV) (2020). Updated Conservation Plan for the Harbour Porpoise *Phocoena phocoena* in the Netherlands Maintaining a Favourable Conservation Status.

- Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit (LNV) (2022). Bekendmaking wijzigingsbesluit Habitatrichtlijngebieden vanwege aanwezige waarden. Staatscourant Nr. 29279, 25 november 2022.
- Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit (LNV) (2022), Updated Conservation Plan for the Ministeries van VROM, LNV, VenW, EZ (2007). Ontwikkeling van de wadden voor natuur en mens. Deel 4 van de planologische kernbeslissing Derde Nota Waddenzee, tekst na parlementaire instemming.
- Mouritsen, K. N., Tompkins, D. M., & Poulin, R. (2005). Climate warming may cause a parasite-induced collapse in coastal amphipod populations. *Oecologia*, 146(3), 476–483. <https://doi.org/10.1007/s00442-005-0223-0>.
- Munaretto, S., Klostermann, J. E. M. (2011). Assessing adaptive capacity of institutions to climate change: A comparative case study of the Dutch Wadden Sea and the Venice Lagoon. *Climate Law* 2:219-250.
- Noordhuis, R., van Geest, G., Maarsse, M., Vergouwen, S., Boon, A., (2020). Klimaatscan.
- Odijk, V. (2011) Begrazing op kwelders, Wat voor positieve en negatieve effecten brengt begrazing op kwelders met zich mee?. Studentrapport van Hall Larenstein.
- Oost, A. P., Kleine Punte, P. A. H. (2003). Autonome morfologische ontwikkeling westelijke Waddenzee. Rapport RIKZ/2004.021
- Oost, A.P. (2021) Voorzet onderbouwing voor het herstel van grote estuariene overgangen in het Waddengebied. Staatsbosbeheer. 54 pp.
- Oost, A.P., Goedknecht, A., Zijlstra, R., de Kluijver, A., Korporaal, M., Fennema, F. (2022). Eindrapportage PAGW haalbaarheidsstudie grootschalige verbindingen Waddenzee, RVO Utrecht.
- Oost, A.P. (1995). Dynamics and sedimentary developments of the Dutch Wadden Sea with a special emphasis on the Frisian Inlet: a study of the barrier islands, ebb-tidal deltas, inlets and drainage basins. <https://research-portal.uu.nl/en/publications/dynamics-and-sedimentary-developments-of-the-dutch-wadden-sea-wit>.
- Oost, A.P. (2017). Geomorphology. <https://qsr.waddensea-worldheritage.org/reports/geomorphology>.
- Osinga, N., Pen, I., De Haes, H. A. U., Brakefield, P. M. (2012). Evidence for a progressively earlier pupping season of the common seal (*Phoca vitulina*) in the Wadden Sea. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 92: 1663-1668. <https://doi.org/10.1017/S0025315411000592>.
- OSPAR Commission (2010). Guideline for Monitoring Marine Litter in the Beaches in the OSPAR Maritime Area. <https://www.ospar.org/documents?v=7260>.
- OSPAR (2021). Proposal for a threshold for common indicator M6 (marine mammal bycatch). Agenda Item 4.3, BDC 21/4/7 Add3, draft.
- Peletier, H., Janssen, G. M. (2004). De levende natuur als ecosystemevormer in kustgebieden. Rapport RIKZ/2004.005.
- Philippart C.J.M. & M.J. Baptist (2016). An exploratory study into effective measures to strengthen diadromous fish stocks in the Wadden Sea. Position Paper WaddenAcademy 2016-02, www.waddenacademie.nl.
- Philippart, C.J.M., Bruins Slot, E., Kleinhans, M., van Leeuwen, S., Oost, A en Zijlstra R. Het belang van zoet water voor de Waddenzee natuur. 2023.05.22 Philippart ea [Belang zoetwater Waddenzeenatuur DEF v2.pdf](#).
- Philippart, C.J.M., Baptist, M. J., Bastmeijer, C. J., Bregnballe, T., Buschbaum, C., Hoekstra, P., Laursen, K., van Leeuwen, S. M., Oost, A. P., Wegner, Zijlstra, R. (2024). Climate change. In: Wadden Sea Quality Status Report. Eds.: Kloepper S. et al., Common Wadden Sea Secretariat, Wilhelmshaven, Germany. <https://qsr.waddensea-worldheritage.org/reports/climate-change>.
- Philippart, C.J.M., Beukema, J.J., Cadée, G.C. et al. Impacts of Nutrient Reduction on Coastal Communities. *Ecosystems* 10, 96–119 (2007). <https://link.springer.com/article/10.1007/s10021-006-9006-7>.
- Philippart, C.J.M., Van Bleijswijk, J. D., Kromkamp, J. C., Zuur, A. F., & Herman, P. M. (2014). Reproductive phenology of coastal marine bivalves in a seasonal environment. *Journal of Plankton Research*, 36(6), 1512-1527.
- Philippart, C.J.M., Mekkes, L., Buschbaum, C., Wegner, K.M., Laursen, K. (2017). Climate Ecosystems In: Wadden Sea Quality Status Report 2017. Eds.: Kloepper S. et al., Common Wadden Sea Secretariat, Wilhelmshaven, Germany. <https://qsr.waddensea-worldheritage.org/reports/climate-ecosystems-2017>.

- Philippart, C.J.M., Salama, M. S., Kromkamp, J. C., van der Woerd, H. J., Zuur, A. F., Cadée, G. C. (2013). Four decades of variability in turbidity in the western Wadden Sea as derived from corrected Secchi disk readings. *Journal of sea research* 82:67-79.
- Piersma, T., et al., (2001). Long-term indirect effects of mechanical cockle-dredging on intertidal bivalve stocks in the Wadden Sea. <https://besjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1046/j.1365-2664.2001.00652.x>.
- Poiesz, S. S. H., Wittte, J. IJ. Van der Veer, H. (2020). Only a few key prey species fuel a temperate coastal fish food web. *Marine Ecology Progress Series* 653:153-166.
- Postma, H. & van Bennekom, A.J. (1974). Budget aspects of biologically important chemical compounds in the Dutch wadden sea. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S007757974900222>.
- Programma Eems-Dollard 2050 (2016), Meerjarig adaptief programma voor ecologische verbetering.
- Programma naar een Rijke Waddenzee (2015). Species Fact Sheets for the Wadden Sea Fish Strategy. <https://rijkwaddenzee.nl/wp-content/uploads/2016/03/NHPoogo-factsheets-DEF-ONLINE-LOW2.pdf>.
- Programma naar een Rijke Waddenzee (2018). Naar herstel Actieplan Broedvogels Waddenzee van gezonde broedpopulaties in de Waddenzee. https://rijkwaddenzee.nl/wp-content/uploads/2018/05/Actieplan-Broedvogels-Waddenzee-2018_DEF_MET_voorwoord.pdf.
- Prosnier, L., Zooplankton as a model to study the effects of anthropogenic sounds on aquatic ecosystems. *Science of the Total Environment*. 2024. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.172489>.
- Provoost et al., (2010). Seasonal and long-term changes in pH in the Dutch coastal zone. <https://bg.copernicus.org/articles/7/3869/2010/>.
- Rabaut, M., Audfroid Calderón, M., van de Moortel, L, van Dalfsen, J., Vincx, M., Degraer, S., Desroy, N. (2013). The role of structuring benthos for juvenile flatfish. *Journal of Sea Research* 84:70-76.
- Rademaker, M., Peck, M. A., van Leeuwen, A. (2024). Local reflects global: Life stage-dependent changes in the phenology of coastal habitat use by North Sea herring. *Global change biology* 30:e17285.
- Rakhimberdiev, E., Duijns, S., Karagicheva, J., Camphuysen, C. J., Dekinga, A., Dekker, R., Gavrilov, A., Jukema, J., Saveliev, A., Soloviev, M., Tibbitts, T. L, van Gils, J. A., Piersma, T. (2018). Fueling conditions at staging sites can mitigate Arctic warming effects in a migratory bird. *Nature communications* 9:4263.
- Reijers, V., Govers, L.,aura, Heide, T., Temmink, R., Bouma, T., Luna M.B., Nauta, J., Heusinkveld, J. Gräfnings, M., Hijner, N., Lamers, L., Christianen, M., Penning, E., Fivash, G., Smeele, Q., Zwarts, M., Hoesmakers, D., Wiersema, H., Lengkeek, W., Eijk, A.,(2020). Op Griend gaat de natuur voor. *Levende natuur* 121. 156-175.
- Reijnders, P. J. H., Brasseur, S. M. J. M., Meesters, H. W. G. (2010). Earlier pupping in harbour seals, *Phoca vitulina*. *Biology Letters*, 6(6), 854-857. <https://doi.org/10.1098/rsbl.2010.0468>.
- Reise, K. (2005). Coast of change: Habitat loss and transformations in the Wadden Sea. *Helgoland Marine Research* 59:9-21. <https://hmr.biomedcentral.com/articles/10.1007/s10152-004-0202-6>.
- Reise, K., Buschbaum, C., Lackschewitz, D., Thieltges, D. W., Waser, A. M., & Wegner, K. M. (2023). Introduced species in a tidal ecosystem of mud and sand: curse or blessing? *Marine Biodiversity*, 53(1), 5.
- Reise, K., N. Dankers & K. Essink. 2005. Introduced Species. *Wadden Sea Ecosystem* No. 19 155-161.
- Reise, K., Herre, E., Sturm, M. (1989). Historical changes in the benthos of the Wadden Sea around the island of Sylt in the North Sea. *Helgoland Meeresuntersuchungen* 43:417-433.
- Reneerkens, J. (2020). Climate change effects on Wadden Sea birds along the East-Atlantic flyway. Position Paper. Waddenacademie.
- Revill, 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.
- Ricklefs, K., Franken, O., Glorius S., Mascioli F., Nielsen P., Reimers H.-C. & Trampe, A. (2022). Subtidal habitats. In: *Wadden Sea Quality Status Report*. Eds.: Kloepper S. et al., Common Wadden Sea Secretariat, Wilhelmshaven, Germany.

- Riedel, K., Lettmann, K., Beck, M., Brumsack, H. J. (2010). Tidal variations in groundwater storage and associated discharge from an intertidal coastal aquifer. *Journal of geophysical research* 115, <https://doi.org/10.1029/2009JC005544>.
- Riegman, R. (2014). Schatting van de primaire productie in de Waddenzee in de laatste drie decennia. IMARES. <https://edepot.wur.nl/300646>.
- Rijks, J. M., Leopold, M. F., Kühn, S., in't Veld, R, Schenk, F., Brenninkmeijer, A., Lilipaly, S. J., Ballmann M. Z., Kelder, L., de Jong J.W., Courtens, W., Slaterus, R., Kleyheeg, E., Vreman, S., Kik, M. J. L., Gröne A., Fouchier, R. A. M., Engelsma, M., de Jong, M. C. M., Kuiken, T., Beerens, N. (2022). Mass mortality caused by highly pathogenic influenza A(H5N1) virus in Sandwich terns, the Netherlands, 2022. *Emerging Infectious Diseases* 28: 2538-2542. <https://doi.org/10.3201/eid2812.221292>.
- Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), 2021, Landbouwpraktijk en waterkwaliteit op landbouwbedrijven aangemeld voor derogatie in 2019, RIVM-rapport 2021-0057.
- Rijkswaterstaat & Royal HaskoningDHV (2023). Supplement Natura 2000-beheerplan Eems-Dollard. Ontwerpbeheerplan 2024-2030. Versie 1, 21-11-2023.
- Rijkswaterstaat (2021). Duurzame bescherming en ontwikkeling van dynamische Waddenzeenatuur – Brochure 1: Morfologische veranderingen.
- Rippen, A., van der Zee, E., Fieten, N., Latour, J., & Wymenga, E. (2020). Review effecten natuurlijke bodemdynamiek en menselijke bodembroering in de sublitorale Waddenzee (Programma naar een Rijke Waddenzee). Altenburg & Wymenga ecologisch onderzoek.
- Rönn, L., Antonucci di Carvalho, J., Blauw, A., Hillebrand, H., Kerimoglu, O., Lenhart, H., Prins, T., Gholamreza, S., Tack, L., Thewes, D. & T. Troost (2023): Harmonisation of the Phytoplankton Assessment in the German and Dutch Wadden Sea. Interreg V A project “Wasserqualität - Waterkwaliteit” - Synthesis Report. Report prepared on behalf of NLWKN and Rijkswaterstaat, Oldenburg/Lelystad, 2023, 141 pp.
- Salazar-Casals, A., de Reus, K., Greskewitz, N., Havermans, J., Geut, M., Villanueva, S., Rubio-Garcia, A. (2022). Increased Incidence of Entanglements and Ingested Marine Debris in Dutch Seals from 2010 to 2020. *Oceans*, 3(3), 389–400. <https://doi.org/10.3390/oceans3030026>.
- Sas, H., B. Deden, Kamermans, P., zu Ermgassen, P. S. E., Pogoda, B., Preston, J., Helmer, L., Holbrook, Z., Arzul, I., van der Have, T., Villalba, A., Colsoul, B., Lown, A., Merk, V., Zwerschke, N. and Reuchlin, E. (2020): Bonamia infection in native oysters (*Ostrea edulis*) in relation to European restoration projects, *Aquatic Conservation-Marine and Freshwater Ecosystems*, 30 (11), pp. 2150-2162. <https://doi.org/10.1002/aqc.3430>.
- Savoye, N., David, V., Morisseau, F., Etcheber, H., Abril, G., Billy, I., Charlier, K., Oggian, G., Derriennic, H., Sautour, B. (2012). Origin and composition of particulate organic matter in a macrotidal turbid estuary: The Gironde Estuary, France. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*: 108:16-28.
- Scheidat, M., Teilmann, J., Baltzer, J., Thøstesen, C., Diederichs, B., Dietz, R., Geelhoed, S. C. V., Gilles, A., IJsseldijk, L. L., Keijl, G. O., Nabe-Nielsen, J., Ruser, A., Schnitzler, J., Sveegaard, S., Vrooman, J. and Siebert, U. (2024). Status of harbour porpoise in the Wadden Sea World Heritage Site and requirements for trilateral monitoring. *Marine Biodiversity* 54:42.
- Schipper, C. (2020). Memo ecologische effecten van zandsuppleties. Workshop effecten van suppleties op ecologie. 03-02-2020_V2.
- Schmidt, C., Iedema, W., van Es, K., Onwezen, M., Haarman, F. (2019). ED2050 Meerjarig adaptief programma Eems-Dollard 2050. De toestand van de natuur, projecten en het programma in 2020.
- Schmidt, C., van Bentum, F., van Es, K., Onwezen, M., Brenninkmeijer, A. (2021). ED2050 Meerjarig adaptief programma Eems-Dollard 2050. De toestand van de natuur, de projecten en het programma in 2050.
- Schmidt, C., van Bentum, F., van Es, K., Onwezen, M., Brenninkmeijer, A. (2021). ED2050 Meerjarig adaptief programma Eems-Dollard 2050. De toestand van de natuur, projecten en het programma in 2020.
- Schop, J., Brasseur, S., Galatius, A., Hamm, T., Jeß, A., Meise, K., Meyer, J., Stejskal, O., Siebert U., Teilmann, J., Thøstesen, C. B. (2023). Grey Seal Numbers in the Wadden Sea and on Helgoland in 2022-2023. Common Wadden Sea Secretariat, Wilhelmshaven, Germany.

- Schop J., Brasseur S., Galatius A., Hamm T., Jeß A., Meise K., Meyer J., Stejskal O., Siebert U., Teilmann J., Thøstesen C.B. (2024). Grey Seal Numbers in the Wadden Sea and on Helgoland in 2023-2024. Common Wadden Sea Secretariat, Wilhelmshaven, Germany.
- Schram, E., Bierman, S., Teal, L. R., Haenen, O., van de Vis, H., Rijnsdorp, A. D. (2013). Thermal preference of juvenile Dover sole (*Solea solea*) in relation to thermal acclimation and optimal growth temperature. *PloS One* 8:e61537.
- Schroor, M. (eindredactie) (2018). De Bosatlas van de Wadden. Uitgeverij Noordhoff, Groningen.
- Schuttenhelm, R. (2017). De toekomst van de Waddenzee; Een stijgende zeespiegel over een dalende bodem. Rapport Waddenvereniging.
- Sierdsma, F., Mulder, S., Dankers, P. (2022). Cumulatieve effecten baggeren en verspreiden op habitattypen H1130 in de Eems-Dollard. Deel 2: biotische effecten. Royal Haskoning DHV, B11678-WM-RP-220419-1315.
- Sills, J. M., Ruscher, B., Nichols, R., Southall, B. L. and Reichmuth, C. (2020). Evaluating temporary threshold shift onset levels for impulsive noise in seals. *The Journal of the Acoustical Society of America* 148: 2973-2986.
- Smaal, A.C., Craeymeersch, J.A., van Stralen, M.R. (2021). The impact of mussel seed fishery on the dynamics of wild subtidal mussel beds in the western Wadden Sea, The Netherlands. *Journal of Sea Research* 167 (2021) 101978.
- Smits, B., Jaksic, L., Dijkstra, J., Vroom, J., Franken, O., Reilmeyer, R., (2024). Modelling van abiotiek voor en na afsluiting Zuiderzee: relevantie voor herstel ondergedoken groot zee gras, Rapport Deltares, 11209267-006-ZKS-0001.
- Speelman, H., Oost, A., Verweij, H., Wang, Z. B. (2009). De ontwikkeling van het Waddengebied in Tijd en Ruimte. Position Paper Geowetenschap. 0582339030.
- Steenbergen, J., J. Ulleweit, R. Machiels, R. Nijman, Panten, K., van Helmond, E. (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, <https://edepot.wur.nl/329757>.
- Stolte, W., Vroom, J., Santinelli, G., Veenstra, J., Van Oeveren, C., Van Zelst, V. and Dijkstra, J. (2023). Digitale Systeemrapportage van de Waddenzee, versie 1.0. <https://systeemrapportage.nl/wadden/>.
- Symank, A., Dankers, N. (1996). Red List of Biotopes and Biotope Complexes of the Wadden Sea Area 50:9-37.
- Tamis, J.E., Baptist, M.J. (2024) Onderwaternatuur Waddenzee, Literatuurstudie ter onderbouwing van het streefbeeld voor een veerkrachtige en robuuste Waddenzee – Tussenrapportage conceptversie juni 2024.
- Tang, K. H. D., Hadibarata, T. (2022). Seagrass meadows under the changing climate: A review of the impacts of climate stressors. *Research in Ecology* 4:27-36.
- Tangelder, M., Winter, E., Nolte, A., Ysebaert, T. (2020). Ecologische betekenis van zoet-zoutovergangen en evaluatie van herstel met modelstudie Volkerak Zoommeer. *Water matters* 8-11.
- Tangelder, M., Winter, E., Ysebaert, T. (2017). Ecologie van zoet-zout overgangen in deltagebieden : literatuurstudie en beoordeling van een scenario in het Volkerak-Zoommeer. <https://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/534356>.
- Teal, L. R., de Leeuw, J. J., van der Veer, H. W., Rijnsdorp, A. D. (2008). Effects of climate change on growth of o-group sole and plaice. *Marine Ecology Progress Series* 358:219-230.
- Teal, L. R., van Hal, R., van Kooten, T., Ruardij, P., Rijnsdorp, A. D. (2012). Bio-energetics underpins the spatial response of North Sea plaice (*Pleuronectes platessa* L.) and sole (*Solea solea* L.) to climate change. *Global Change Biology* 18:3291-3305.
- Troost, K. (2010). Causes and effects of a highly succesful marine invasion: Case-study of the introduced Pacific oyster *Crassostrea gigas* in continental NW European estuaries. *Journal of Sea Research* 145-165.
- Troost, K., van Asch, M. (2018). Effecten van handkokkelvisserij op het kokkelbestand in de Waddenzee: Een theoretische benadering. Wageningen Marine Research. <https://doi.org/10.18174/461158>.
- Troost, K., van Asch, M., Cornelisse, S., Glorius, S., van den Ende, D., van Es, Y., Keur, M., Perdon, K. J., van der Pool, J., Suykerbuyk, W., van Zweeden, C., van Zwol, J. (2023). Schelpdierbestanden in de Nederlandse kustzone, Waddenzee en zoute deltawateren in 2022. <https://doi.org/10.18174/588755>.

- Troost, K., van der Meer, J., van Stralen, M. (2022). The longevity of subtidal mussel beds in the Dutch Wadden Sea. *Journal of Research*, 181.
- Troost, K., van Stralen, M., van Zweeden, C., Brinkman, B. (2015). Ruimtelijke verspreiding van mosselen en Japanse oesters in de Waddenzee in de periode 1992-2013. IMARES Wageningen UR. Rapport Co62/15.
- Troost, K., van den Bogaart L., Janssen H. (2019). Effecten van gebiedssluiting voor schelpdiervisserij op ontwikkeling meerjarige mosselbanken en bodemdiergemeenschap Helpdeskvraag 1b in het kader van mosseltransitie (KD-2019-028) <https://edepot.wur.nl/497048>.
- Trouwborst, A., Somsen, H. (2020). Domestic Cats (*Felis catus*) and European Nature Conservation Law—Applying the EU Birds and Habitats Directives to a Significant but Neglected Threat to Wildlife. *Journal of Environmental Law* 32: 391–415, <https://doi.org/10.1093/jel/eqz035>.
- Tulp, I., van der Veer, H. W., Walker, P., van Walraven, L., Bolle, L. J. (2017). Can guild- or site-specific contrasts in trends or phenology explain the changed role of the Dutch Wadden Sea for fish? *Netherlands Journal of Sea Research* 127:150-163. <https://doi.org/10.1016/j.seares.2016.10.001>.
- Tulp, I., T. C. Prins, J. A. M. Craeymeersch, Ijff, S., v.d. Sluis, M. T. (2018). Syntheserapport PMR NCV. IJmuiden, Wageningen Marine Research, WMR rapport nummer Co14/18, Deltares rapport nr 1230156-000-ZKS-0004, <https://doi.org/10.18174/496768> en http://publications.deltares.nl/1230156_000.pdf.
- Tulp, I., Bolle, L. J., Chen, C., Dänhardt, A., Haslob, H., Jepsen, N., van Leeuwen, A., Poiesz, S. S. H., Scholle, J., Vrooman, J., Vorberg, R., Walker, P. (2022). Fish. Wadden Sea Quality Status Report.
- Tulp, I., Griffioen, B., E, W., Couperus, B., Knaap, I. van der, J, H., Eriksson, K., Mathijssen, D., & Jager, Z. (2024). Het functioneren van het Eems estuarium voor vis: Literatuurstudie en meerjarig onderzoeksplan. Wageningen Marine Research.
- Turenhout, M. N. J., van Oostenbrugge, J. A. E., Beukers, R. (2015). Economische kengetallen garnalenvisserij: Aanvulling op 'Expert judgement garnalenvisserij'. (Nota / LEI Wageningen UR; No. 2015-138). LEI. <https://edepot.wur.nl/375414>.
- Unger, B., Baltzer, J., Brackmann, J., Brasseur, S., Brüggemann, M., Diederichs, B., Galatius, A., Geelhoed, S.C.V., Huus Petersen, H., IJsseldijk, L. L., Jensen, T. K., Jess, A., Nachtsheim, D., Philipp, C., Scheidat, M., Schop, J., Siebert, U., Teilmann, J., Thøstesen, C.B., van Neer, A. (2022). Marine mammals. In: Wadden Sea Quality Status Report. Eds.: Klopper S. et al., Common Wadden Sea Secretariat, Wilhelmshaven, Germany. Last updated: 06.09.2022. Downloaded 27.06.2024. <https://qsr.waddensea-worldheritage.org/reports/marine-mammals>.
- Valk, C., Velthoven, P., de Vries, H., van Weele, M., Wichers Schreur, B., van der Wiel, K. (2023). KNMI national climate scenarios 2023 for the Netherlands, KNMI, De Bilt, WR 23-02.
- van Aken, H. M. (2008). Variability of the salinity in the western Wadden Sea on tidal to centennial time scales. *Journal of Sea Research* 59:121-132.
- van Beek, I., Buitenkamp, M., Firet, M. (2021). Onderwaternatuur Waddenzee Advies concretiserend streefbeeld onderwaternatuur. Programma Rijke Waddenzee. <https://rijkewaddenzee.nl/wp-content/uploads/2021/09/210928-Advies-concretiserend-streefbeeld-onderwaternatuur-def.pdf>.
- van Beusekom, J.E.E., De Jonge, V.N., (2002). Long-term changes in Wadden Sea nutrient cycles: importance of organic matter import from the North Sea, in: Orive, E., Elliott, M., De Jonge, Victor N. (Eds.), *Nutrients and Eutrophication in Estuaries and Coastal Waters*. Springer Netherlands, Dordrecht, pp. 185–194. https://doi.org/10.1007/978-94-017-2464-7_15.
- van Beusekom, J.E.E., de Jonge, V. N. (2012). Dissolved organic phosphorus: An indicator of organic matter turnover? *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 108:29-36.
- van Beusekom, J. E. (2005). A historic perspective on Wadden Sea eutrophication. *Helgoland Marine Research* 59:45-54.
- van Beusekom, J. E. E., Buschbaum, C., & Reise, K. (2012). Wadden Sea tidal basins and the mediating role of the North Sea in ecological processes: Scaling up of management? *Ocean and Coastal Management*, 68, 69–78.

- van Beusekom, J. E. E., Carstensen, J., Dolch, T., Grage, A., Hofmeister, R., Lenhart, H., Kerimoglu, O., Kolbe, K., Patsch, J., Rick, J., Ronn, L., & Ruiter, H. (2019). Wadden Sea eutrophication: Long-term trends and regional differences. *Frontiers in Marine Science*, 6, 370.
- van Beusekom, J. E., Weigelt-Krenz, S., Martens, P. (2008). Long-term variability of winter nitrate concentrations in the Northern Wadden Sea driven by freshwater discharge, decreasing riverine loads and denitrification. *Helgoland Marine Research* 62:49-57.
- van Beusekom, J. E. E., Bot, P., Carstensen, J., Grage, A., Kolbe, K., Lenhart, H.-J., Pätsch, J., Petenati, T., Rick, J. (2017) Eutrophication. In: Wadden Sea Quality Status Report. Eds.: Kloepper S. et al., Common Wadden Sea Secretariat, Wilhelmshaven, Germany.
- van Beusekom, J. E. E., Carstensen, J., Dolch, T., Grage, A., Hofmeister, R., Lenhart, H., Kerimoglu, O., Kolbe, K., Pätsch, J., Rick, J., Rönn, L., Ruiter, H. (2019) Wadden Sea Eutrophication: Long-Term Trends and Regional Differences. *Frontiers in Marine Science* 6:370. <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00370>.
- van de Wolfshaar, K. E., Barbut, L., Lacroix G. (2021). From spawning to first-year recruitment: the fate of juvenile sole growth and survival under future climate conditions in the North Sea. *ICES Journal of Marine Science*, <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsab025>.
- van den Boogaard, B. et al. (2023). Inrichting en beheer van broedhabitat voor Kustbroedvogels in Nederland. Rapport nummer OBN-2020-116-DK. Kennisnetwerk OBN. Driebergen.
- van der Hammen, T., de Bruijn, P. (2020). Recreatieve staandwantsurvey 2018 -2019. Stichting Wageningen Research, Centrum voor Visserijonderzoek (CVO). <https://doi.org/10.18174/516509>.
- 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 Co13/15.
- Van der Have, T.M. & L. Anema. 2022. Alien species on Dutch Wadden Sea islands 2015-2020. Bureau Waardenburg Rapport nr.21-333. Bureau Waardenburg, Culemborg.
- van der Heide, T., van Nes, E. H., Geerling, G. W., Smolders, A. J., Bouma, T. J., & van Katwijk, M. M. (2007). Positive feedbacks in seagrass ecosystems: implications for success in conservation and restoration. *Ecosystems* 10:1311-1322.
- van der Hoeven, P.T.C., (1982). Watertemperatuur en Zoutgehaltewaarnemingen van het Rijksinstituut voor Visserij Onderzoek (RIVO): 1860 – 1981. Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut, Wetenschappelijk rapport W.R. 82- 8
- van der Hut, R. M. G., Folmer, E. O., Koffijberg, K., van Roomen, M., van der Zee, E., Stahl, J. (2014). Vogels langs de randen van het Wad, Verkenning van knelpunten en kansen op broedlocaties en hoogwatervluchtplaatsen. A&W-rapport 1982, Sovon rapport 2014/2.
- van der Jeugd, H.P, Ens, B.J., Versluijs, M., Schekkerman, H. (2014). Geïntegreerde monitoring van vogels van de Nederlandse Waddenzee. Vogeltrekstation rapport 2014-01. Vogeltrekstation, Wageningen; CAPS-rapport 2014-01; Sovon-rapport 2014/18, Sovon Vogelonderzoek Nederland, Nijmegen.
- van der Kolk, H.J., Smit, C.J., Allen, M.A., Ens, B.J., van de Po M., (2024) Frequency-dependent tolerance to aircraft disturbance drastically alters predicted impact on shorebirds, *Ecology letters*, <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/ele.14452>.
- van der Meer, J. N. Dankers, B. Ens, M. van Stralen, K. Troost & A.M. Waser (2018). 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 Meer, J. (2010). Mapping habitat suitability of subtidal mussels *Mytilus edulis* in the Dutch western Wadden Sea.
- van der Meer et al (2024) Mapping habitat suitability of subtidal mussels *Mytilus edulis* in the Dutch western Wadden Sea (in preparation).
- van der Molen, J., Groeskamp, S. & Maas, L.R. (2022). Imminent reversal of the residual flow through the Marsdiep tidal inlet into the Dutch Wadden Sea based on multiyear ferry-borne acoustic Doppler current profiler (ADCP) observations. *Ocean Science* 18:1805-1816.
- van der Veer, H. W., Pihl, L. Bergman, M. J. N. (1990). Recruitment mechanisms in North Sea plaice *Pleuronectes platessa*. *Marine Ecology Progress Series* 64: 1-12.

- van der Veer, H. W., Berghahn, R., Miller, J. M., van Rijnsdorp, A.D. (2000). Recruitment in flatfish, with special emphasis on North Atlantic species: Progress made by the Flatfish Symposia. *Ices Journal of Marine Science* 57:202-215.
- van der Veer, H. W., Dapper, R., Henderson, P. A., Jung, A. S., Philippart, C. J. M., Witte, J. I. J., & Zuur, A. F. (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.
<https://doi.org/10.1016/j.ecss.2014.12.041>.
- van der Veer, H. W., Tulp, I., Witte, J. I. J., Poiesz, S. S. H., Bolle, L. J. (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 Veer, H. W., van Raaphorst, W., Bergman, M. J. N. (1989). Eutrophication of the Dutch Wadden Sea: External nutrient loadings of the Marsdiep and Vliestroom basin. *Helgoländer Meeresuntersuchungen* volume 43:501–515.
- van der Veer, H. W., Felier, R. J., Weber, A., Witte, J. I. J. (1998). Importance of predation by crustaceans upon bivalve spat in the intertidal zone of the Dutch Wadden Sea as revealed by immunological assays of gut contents. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 231:139-157.
- van der Winden, J., Krijgsveld, H., Inberg, H., Rijn, R. C. (2008a). Beschermingsplan Duin- en kustvogels. Basisrapport deel A. Achtergronddocument. Bureau Waardenburg bv/Vogelbescherming Nederland.
- van der Winden, J., Krijgsveld, H., Inberg, H., Rijn, R. C. (2008b). Beschermingsplan Duin- en kustvogels. Basisrapport deel B. Soortenteksten. Bureau Waardenburg bv/Vogelbescherming Nederland.
- van der Zee, E., Rippen, A., Latour, J. (2017). Natuurwaarden sublitorale Waddenzee.
<http://www.waddenzeevismonitor.nl/>.
- van der Zee, E., Rippen, A., Latour, J. (2017). Mooi Werk. Mooi Wad. Natuurwaarden sublitorale Waddenzee. Programma naar een Rijke Waddenzee, Altenburg & Wymenga Ecologisch Onderzoek, rapportnummer 2292.
- van der Zee, E., Rippen, A., Bos, D. (2020). Kennispaper ecologie ED2050. Altenburg & Wymenga ecologisch onderzoek, rapport 2558.
- van Donk, S. I., Hamer, A., Tangelder, M. (2022). Zout-zout overgangen in Nederland onder de loep. Typering, functioneren, ecologische sleutelfactoren en aanbevelingen voor beheer. Wageningen MarineResearchCo19/22.<https://research.wur.nl/en/publications/zoet-zoutovergangen-in-nederland-onder-de-loop-typering-functione>.
- van Eerden, M. R., Lenselink, G., Zijlstra, M. (2010). Long-term changes in wetland area and composition in The Netherlands affecting the carrying capacity for wintering waterbirds. *Ardea* 98:265-282.
- van Franeker, J. A., Rebolledo, E. L. B., Hesse, E., IJsseldijk, L. L., Kühn, S., Leopold, M., Mielke, L. (2018) Plastic ingestion by harbour porpoises *Phocoena phocoena* in the Netherlands: Establishing a standardised method. *Ambio*: 1-11.
- van Geest et al. (2022). <https://research.wur.nl/en/publications/systeemkennis-brakke-wateren>.
- van Katwijk, M. M. (2000). Possibilities for restoration of *Zostera marina* beds in the Dutch Wadden Sea.
- van Katwijk, M. M., van Beusekom, J. E. E., Folmer, E. O., Kolbe, K., de Jong, D. J., Dolch, T. (2024). Seagrass recovery trajectories and recovery potential in relation to nutrient reduction. *Journal of Applied Ecology* 00:1-21.
- van Katwijk, M. M., Bos, A. R., De Jonge, V. N., Hanssen, L. S. A. M., Hermus, D. C. R., and De Jong, D. J. (2009). Guidelines for seagrass restoration: importance of habitat selection and donor population, spreading of risks, and ecosystem engineering effects. *Marine Pollution Bulletin* 58: 179-188.
- van Katwijk, M.M., Cronau, R.J.T., Lamers, L.P.M., Kamermans, P., van Tussenbroek, B.I., de Jong, D.J. (2023). Salinity-Induced Extinction of *Zostera marina* in Lake Grevelingen? How Strong Habitat Modification May Require Introduction of a Suitable Ecotype. *Sustainability* 15:3472.
- van Katwijk, M. M., Thorhaug, A., Marba, N., Orth, R. J., Duarte, C. M., Kendrick, G. A., Althuisen, I. H. J., Balestri, E., Bernard, G., Cambridge, M. L., Cunha, A., Durance, C., Giesen, W., Han, Q. Y., Hosokawa, S., Kiswara, W., Komatsu, T., Lardicci, C., Lee, K. S., Verduin, J. J. (2016). Global analysis of seagrass restoration: The importance of large-scale planting. *Journal of Applied Ecology* 53: 567–578.

- van Keeken, O.A., van Hoppe, M., Grift, R. E., Rijnsdorp, A. D. (2007). The implications of changes in the spatial distribution of juveniles for the management of North Sea plaice (*Pleuronectes platessa*). *Journal of Sea Research* 57:187–197.
- van Maren, D. S., Oost, A. P., Wang, Z. B., Vos, P. C. (2016). The effect of land reclamations and sediment extraction on the suspended sediment concentration in the Ems estuary. *Marine Geology* 376: 147-157.
- van Neer, A., Jensen, L. F., Siebert, U. (2015). Grey seal (*Halichoerus grypus*) predation on harbour seals (*Phoca vitulina*) on the island of Helgoland Germany. *Journal of Sea Research* 97:1–4.
- van Neer, A., Gross, S., Kesselring, T., Grilo, M. L., Ludes-Wehrmeister, E., Roncon, G., Siebert, U. (2020). Assessing harbour porpoise carcasses potentially subjected to grey seal predation. *Scientific Reports* 10: 16345. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-73258-y>.
- van Neer, A., Gross, S., Kesselring, T., Grilo, M. L., Ludes-Wehrmeister, E., Roncon, G., Siebert, U. (2021). Assessing seal carcasses potentially subjected to grey seal predation. *Scientific Reports*, 11: 694. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-80737-9>.
- van Raaphorst, W., de Jonge, V. N. (2004). Reconstruction of the total N and P inputs from the IJsselmeer into the western Wadden Sea between 1935–1998. *Journal of Sea Research* 51:109-131.
- van Rijssel, J., van den Puijenbroek, M., Schilder, K., & Winter, E. (2019). Impact van verschillende visserijvormen op trekvisserij. Wageningen Marine Research. <https://doi.org/10.18174/476384>.
- van Roomen, M., Agblonon, G., Citegetse, G., Crowe, O., Langendoen, T., Nagy, S., Schekkerman, H., van Winden, E. (2022). East Atlantic Flyway. In: Wadden Sea Quality Status Report. Eds.: Kloepper, S. et al. Common Wadden Sea Secretariat, Wilhelmshafen, Germany.
- van Walraven, L., Dapper, R., Nauw, J. J., Tulp, I., Witte, J. J., van der Veer, H. W. (2017). Long-term patterns in fish phenology in the western Dutch Wadden Sea in relation to climate change. *Journal of Sea Research* 127:173-181.
- Verdonschot, P. F., Verdonschot, R. (2023). Ecological Functions and Management of Large Wood in Fluvial Systems. *Current Forestry Reports* 10:39-55.
- Versloot, F., Weisscher, S., Marijt, M.A.T., Weissscher, S., Van der Werf, T., Govers, L.L. (2023). Rapportage kennisontwikkeling Klein zeegrass NN (Rapport: 129454_23-001.002). Witteveen + Bos.
- Vliet van der, R. E., van Dijk, J., Wassen, M. J. (2016). Het belang van open landschap voor vogels. *Landschap* 2016/4.
- Vos, P. C., Knol, E. (2015). Holocene landscape reconstruction of the Wadden Sea area between Marsdiep and Weser. Explanation of the coastal evolution and visualisation of the landscape development of the northern Netherlands and Niedersachsen in five palaeogeographical maps from 500 BC to present. *Netherlands Journal of Geosciences – Geologie en Mijnbouw* 94:157-183.
- Vos, P., M. van der Meulen, H. Weerts en J. Bazelmans 2018: Atlas van Nederland in het Holoceen. Landschap en bewoning vanaf de laatste ijstijd tot nu, Amsterdam (Prometheus).
- Vroom, J. (2012). Een Dijk van een Kwelder : een verkenning naar de golfreducerende werking van kwelders. <https://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/421592>.
- Vroom, J., de Vries, B., Dankers, P., van Maren, B. (2022). Cumulatieve effecten baggeren en verspreiden op habitattypen H1130 in het Eems estuarium. *Deltares rapport 11206835-ZKS-0005*.
- Vroom, J., van Maren (2024). De slibdynamiek in het Eems-estuarium; Een heldere beschrijving van veranderingen door de eeuwen heen. *Deltares 11208080-000-ZKS-0001*, 49 pp.
- Waadfûgelwurkgroep Fryske Feriening foar Fjilbiology (2021). Advies waadfûgelwurkgroep Fryske Feriening foar Fjilbiology over het project 'Op Paad lâns it Waad'. Aanleg fietspad van Harlingen naar Lauwersoog.
- Walker, B. , Meyers, J. A. (2004). Thresholds in ecological and social–ecological systems: a developing database. *Ecology and Society* 9: 3. <https://www.ecologyandsociety.org/vol9/iss2/art3/>.
- Walker, P. (2015). Werken aan de Waddenzee. 'Programma naar een Rijke Waddenzee' zet zich in voor vissen. *Visionair* nr. 38, december 2015.
- Wanink, J. H., van der Graaf, A. J. (2008). Zeegrass in de Waddenzee. Rol in de Waddenzee en in Nederland, kansen in de toekomst en wettelijk kader. Koeman en Bijkerk BV, rapport 2008-002.
- Waye-Barker, G. A., P. McIlwaine, S., Lozach, Cooper, K. M. (2015). The effects of marine sand and gravel extraction on the sediment composition and macrofaunal community of a commercial dredging site (15 years post-dredging). *Marine Pollution Bulletin* 99: 207-215.

- Weerman, E. J., Eriksson, B. K., Olff, H., van der Heide, T. (2014). Predation by native brown shrimp on invasive Pacific oyster spat. *Journal of Sea Research* 85:126-130.
- Wereld Natuur Fonds. (2017). Living Planet Report. Zoute en zilte natuur in Nederland. (9789074595247). https://www.wwf.nl/globalassets/pdf/lpr/lpr-nl_rapport_2017_zoute_en_zilte_natuur.pdf.
- Westerlaan, P. (2010). Resilience in the Wadden ecosystem A case study on the resilience approach in addressing uncertainties in climate adaptation. Master thesis, Utrecht University.
- WG-AS & Gittenberger, A. (2019), Trilateral Wadden Sea Management and Action Plan for Alien Species (MAPAS), Wilhelmshaven, Germany.
- Wheeler A. (1969). The fishes of the British Isles and North-West Europe. Macmillan, London, Engeland.
- Wiersma, P., Hoenders, T., Roelofs, Y. (2022). Vogelakkers – diversiteit en effectiviteit. Rapport nummer OBN-2020-120-CU Kennisnetwerk OBN, Driebergen, GKA2022-6 Grauwe Kiekendief – Kenniscentrum Akkervogels, Zuidlaren.
- Wijsman, J. (2023) Schelpdieren in de Nederlandse kustzone. Schelpdiermonitor <https://www.wur.nl/nl/artikel/schelpdiermonitor.htm>, geraadpleegd op 17 juni 2024.
- Wisniewska, D. M., Johnson, M., Teilmann, J., Siebert, U., Galatius, A., Dietz, R. and Madsen, P. T. (2018). High rates of vessel noise disrupt foraging in wild harbour porpoises (*Phocoena phocoena*). *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 285(1872): 20172314.
- Witteveen + Bos (2022), Passende Beoordeling aanleg en gebruik Project Versterking Afsluitdijk. <https://www.rvo.nl/sites/default/files/2022-06/Passende%20Beoordeling%20aanleg%20en%20gebruik%20ospuisluizen%20Afsluitdijk.pdf>.
- Wolff, W. J. (2000). Causes of Extirpations in the Wadden Sea, an Estuarine Area in The Netherlands. *Conservation Biology* 14, 876–885. <https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.2000.98203.x>.
- Wolff, W. J. (2005). The exploitation of living resources in the Dutch Wadden Sea: A historical overview. *Helgoland Marine Research* 59:31–38. <https://hmr.biomedcentral.com/articles/10.1007/s10152-004-0204-4>.
- Wolff, W.J., 2005. Non-indigenous marine and estuarine species in the Netherlands. – *Zoologische Mededelingen* 79: 1-116.
- Worm, B., Barbier, E. B., Beaumont, N., Duffy, J. E., Folke, C., Halpern, B. S., Jackson, J. B. C., Lotze, H. K., Micheli, F., Palumbi, S. R., Sala, E., Selkoe, K. A., Stachowicz, J. J., Watson, R. (2006). Impacts of Biodiversity Loss on Ocean Ecosystem Services. *Science* 314:787–790. <https://doi.org/10.1126/science.1132294>.
- Zimmerman, R. C. (2021). Scaling up: Predicting the impacts of climate change on seagrass ecosystems. *Estuaries and Coasts* 44:558-576.

Colofon

Dit rapport is opgesteld door Rijksdienst voor Ondernemend Nederland, Staatsbosbeheer en Rijkswaterstaat in het kader van de Programmatische Aanpak Grote Wateren, in opdracht van het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat en het Ministerie van Landbouw, Visserij, Voedselzekerheid en Natuur.

Foto omslag:

Rottumerplaat bij eb. Aaldrik Pot

Referentievermelding:

PAGW, april 2025, Ecologisch Streefbeeld Waddenzee inclusief Eems-Dollard; Een ecologische visie richting 2050.

www.pagw.nl