

Verkenning van de effecten van medegebruik in windparken op de draagkracht van de Noordzee

Verkenning van de effecten van medegebruik in windparken op de draagkracht van de Noordzee

Auteur(s)

Theo Prins

Lisa Schneider

Willem Stolte

Verkenning van de effecten van medegebruik in windparken op de draagkracht van de Noordzee

Opdrachtgever	Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat
Contactpersoon	mevrouw Schoutendrs. P. Schouten-de Groot
Referenties	WBK 10 2023
Trefwoorden	Noordzee, wind op zee, medegebruik, Kaderrichtlijn Mariene Strategie

Documentgegevens

Versie	1.0
Datum	23-01-2024
Projectnummer	11209249-000
Document ID	11209249-000-ZKS-0003
Pagina's	55
Classificatie	
Status	definitief

Auteur(s)

	Theo Prins	
	Lisa Schneider	
	Willem Stolte	

Samenvatting

Nederland streeft naar het mogelijk maken van vormen van medegebruik in windparken. Vormen van commercieel medegebruik die mogelijk zijn in windparken, zijn maricultuur (zeewier, schelp- en schaaldieren), hernieuwbare energie (bijv. zonne-energie, energie uit water, energie-opslag), passieve visserij en natuurherstel en -ontwikkeling. Medegebruik van windparken op zee heeft een effect op de mariene ecologie. Deze ecologische effecten zijn nog nauwelijks onderzocht. De Nederlandse overheid streeft naar het mogelijk maken van vormen van medegebruik in windparken. Daarom is op verzoek van het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat een verkennend onderzoek uitgevoerd naar de ecologische randvoorwaarden voor medegebruik.

Dit rapport beschrijft de resultaten van dat onderzoek voor drie vormen van medegebruik van windparken op de Noordzee: zeewierkweek, mosselkweek en opwekking van zonne-energie (zon op zee). In een bureaustudie is geïnventariseerd wat de mogelijke effecten van deze vormen van medegebruik zijn en is een kwalitatieve inschatting gemaakt van de grootte van de risico's op de draagkracht van de Noordzee. Hierbij waren de doelen van de Kaderrichtlijn Mariene Strategie (KRM) het uitgangspunt. Ook is nagegaan welk onderzoek al is uitgevoerd of loopt in het Nederlands deel van de Noordzee en wat de belangrijkste kennisleemtes zijn. Recent zijn eerste kwantitatieve schattingen gemaakt van de effecten van zeewierkweek en mosselkweek op nutriënten en fytoplankton productie, op basis van modelberekeningen. Vooral voor zeewierkweek is de inschatting dat negatieve effecten op de primaire productie van fytoplankton, door competitie om nutriënten, over een relatief groot oppervlak kunnen optreden.

Er is nog een groot aantal kennisleemtes, ook omdat tot nu toe alleen in kleinere pilot projecten onderzoek is gedaan naar ecologische effecten van medegebruik. Voor maricultuur (zeewierkweek, mosselkweek) ontbreekt het aan kennis over de daadwerkelijke risico's op introductie en verspreiding van niet-inheemse soorten, pathogenen en parasieten. Onbekend is ook in hoeverre zeewierkweek, door de introductie van gekweekte stammen, van invloed kan zijn op de genetische samenstelling van natuurlijke populaties. Effecten van maricultuur op nutriënten en fytoplankton kunnen van belang zijn, maar zijn met behulp van ecosysteemmodellen goed in te schatten. Over de doorwerking op het voedselweb en hogere trofische niveaus is meer onzekerheid.

Voor zon op zee is één van de grootste kennisleemtes wat de effecten van de installaties op de hydrografische eigenschappen zullen zijn en hoe deze effecten doorwerken op de lagere trofische niveaus via effecten op nutriënten en primaire productie. Ook het gecombineerde effect van schaduwwerking en veranderingen in de hydrodynamiek op fytoplanktongroei is nog niet onderzocht.

Voor zowel zeewierkweek, mosselkweek als zon op zee is onduidelijk wat het effect is van de installaties op biodiversiteit en voedselweb. De toename in oppervlak voor aangroei (vooral bij zon op zee) kan namelijk zowel een aantrekkende als versturende werking op zeezoogdieren, vissen en vogels hebben. De risico's op verspreiding van zwerfval en microafval vanuit de installaties zijn op dit moment evenmin goed in te schatten.

Om ecologische grenzen voor medegebruik te kunnen vaststellen, is het enerzijds noodzakelijk meer kennis te ontwikkelen over de effecten van medegebruik, inclusief de cumulatieve effecten. Anderzijds is een betere definitie nodig van de ecologische doelen voor de Noordzee, omdat voor veel van de indicatoren, die nu in de beoordeling voor de KRM worden gebruikt, nog geen normen zijn vastgesteld. Ook andere wettelijke kaders, zoals de eisen vanuit Natura2000, moeten hierin meegenomen worden.

Summary

The Netherlands aim to enable forms of co-use in wind farms. Forms of commercial co-use that are possible in wind farms are mariculture (seaweed, shellfish), renewable energy (e.g. solar energy, energy from water, energy storage), passive fishing and nature restoration and development. Co-use of offshore wind farms influences marine ecology. So far, these ecological effects have hardly been studied. The Dutch government aims to enable forms of co-use in wind farms. Therefore, at the request of the Ministry of Infrastructure and Water Management, an exploratory study was carried out on the ecological preconditions for co-use. This report describes the results of that study for three forms of co-use of wind farms in the North Sea: seaweed farming, mussel farming and solar energy generation (solar at sea). A desk study was done to make an inventory of the potential effects of these forms of co-use and a qualitative assessment of the magnitude of the risks on the carrying capacity of the North Sea. This was based on the objectives of the Marine Strategy Framework Directive (MSFD). We also examined what research has already been conducted or is ongoing in the Dutch part of the North Sea and what the main knowledge gaps are. Recently, first quantitative estimates were made of the effects of seaweed and mussel culture on nutrients and phytoplankton production, based on model calculations. Especially for seaweed, it is estimated that negative effects on phytoplankton primary production, through competition for nutrients, could occur over a relatively large area.

There are still many knowledge gaps, also because research has so far only been conducted in smaller pilot projects. For mariculture (seaweed and mussel culture), knowledge on the actual risks of introduction and spread of non-indigenous species, pathogens and parasites is lacking. It is also unknown to what extent seaweed culture, by introducing cultured strains, may affect the genetic composition of natural populations. Effects of mariculture on nutrients and phytoplankton may be important but can be estimated using ecosystem models. There is more uncertainty about the knock-on effects on the food web and higher trophic levels. For offshore solar, one of the biggest knowledge gaps is what the effects of solar installations on hydrographic properties will be and how these effects will impact lower trophic levels via effects on nutrients and primary production. Also, the combined effect of shading and changes in hydrodynamics on phytoplankton growth has not yet been studied.

For both seaweed culture, mussel culture and offshore solar, it is unclear what the effect of the installations is on biodiversity and food web, through increased surface area for fouling (especially for offshore solar) and through attraction or disturbance of marine mammals, fish and birds. The risks of spreading marine litter and microlitter from the installations are also difficult to assess at present.

To establish ecological limits for co-use, on the one hand, it is necessary to develop more knowledge on the effects of shared use, including cumulative effects. On the other hand, a better definition of ecological objectives for the North Sea is needed, as targets or thresholds have not yet been defined for many of the indicators currently used in the MSFD assessment. Other legal frameworks, such as the requirements from Natura2000, also need to be included.

Inhoud

	Samenvatting	4
	Summary	5
1	Inleiding	8
1.1	Windparken op zee en commercieel medegebruik	8
1.2	Doel van dit onderzoek	8
1.3	Aanpak en afbakening	9
1.4	Leeswijzer	10
2	Effecten op draagkracht	11
2.1	Definities van draagkracht	11
2.2	Welke aanknopingspunten biedt de KRM?	11
2.3	Wat is een goede indicator?	12
2.4	Relevante KRM indicatoren voor effecten van medegebruik	13
2.5	Inschatting van de effecten van medegebruik	15
3	Het Noordzee ecosysteem	16
4	Maricultuur	18
4.1	Zeewierkweek	18
4.1.1	Effecten op het ecosysteem	18
4.1.2	Kwalitatieve inschatting van de effecten in relatie tot de doelen van de KRM	20
4.1.3	Kwantificering van effecten	23
4.1.4	Kennisleemtes	24
4.2	Mosselkweek	24
4.2.1	Effecten op het ecosysteem	24
4.2.2	Kwalitatieve inschatting van de effecten in relatie tot de doelen van de KRM	25
4.2.3	Kwantificering van effecten	28
4.2.4	Kennisleemtes	28
5	Zon op zee	29
5.1	Effecten op het ecosysteem	29
5.2	Kwalitatieve inschatting van de effecten in relatie tot de doelen van de KRM	30
5.3	kwantificering van effecten	34
5.4	Kennisleemtes	34
6	Slotbeschouwing	35
6.1	Kennis over effecten van medegebruik	35
6.2	Kwantificering van de effecten van medegebruik	36

6.3	Toetsing van de effecten van medegebruik	36
6.4	Aanbevelingen	38
7	Referenties	39
A	Overzicht van KRM indicatoren	42
B	Overzicht van lopende en geplande onderzoeksprojecten	46

1 Inleiding

1.1 Windparken op zee en commercieel medegebruik

De effecten van windparken op de Noordzee worden al enige jaren via monitoring en onderzoek bestudeerd. In het kader van het *Wind op zee ecologisch programma* (Wozep)¹ wordt uitgebreid onderzoek gedaan aan de directe effecten van windparken op zee op soorten met een beschermde status. Daarnaast is gekeken naar de effecten van de toekomstige grootschalige uitrol van windparken op het ecosysteem zelf via een verkennende studie (Boon *et al.* 2018) en een vervolgonderzoek naar effecten op stratificatie, hydrodynamica, fijn sediment, primaire productie en algenbloei (van Duren *et al.* 2021, Zijl *et al.* 2023). Bovenstaand onderzoek is veelal beperkt tot beschrijven en voorspellen van de effecten van de windparken. De Nederlandse overheid streeft naar het mogelijk maken van vormen van medegebruik in windparken. Vormen van commercieel medegebruik die conform het Programma Noordzee 2022-2027 (PNZ; IenW 2022) mogelijk zijn in windparken, zijn maricultuur (zeewier, schelp- en schaaldieren), hernieuwbare energie (bijv. zonne-energie, energie uit water, energie-opslag), passieve visserij en natuurherstel en -ontwikkeling. In het huidige beleid wordt via een Handreiking gebiedspaspoort voor alle toegestane vormen van medegebruik aangegeven op welke locatie in het windpark zij de voorkeur krijgen. Commercieel medegebruik van windparken op zee heeft, net als iedere vorm van gebruik, een effect op de mariene ecologie. De effecten van dat medegebruik en vooral ook de effecten bij de geplande grootschalige uitbreiding van windparken met medegebruik zijn nog nauwelijks onderzocht, ook omdat er nu nog nauwelijks sprake is van actief medegebruik en de mogelijkheid voor onderzoek in de praktijksituatie dus beperkt is. Het voorliggende rapport beschrijft een inventariserend onderzoek naar de ecologische randvoorwaarden voor medegebruik van windparken op de Noordzee.

1.2 Doel van dit onderzoek

Er zijn nog veel onzekerheden over het effect van commerciële vormen van medegebruik op het mariene ecosysteem. Die onzekerheid betreft niet alleen de directe effecten van medegebruik in een windpark op het ecosysteem, maar ook de effecten van schaalvergroting van dit medegebruik en vooral ook de cumulatieve effecten met andere vormen van gebruik, zoals wind op zee maar ook ander menselijk gebruik.

Om die effecten en de onzekerheden mee te kunnen nemen in de besluitvorming is het daarom noodzakelijk dat er een beoordelingskader komt, dat zich richt op de effecten van medegebruik in een windpark op het Noordzee ecosysteem, rekening houdend met de nu geldende regelgeving. Voor de besluitvorming is het ook van belang meer inzicht te krijgen in de huidige kennisleemtes.

Als eerste stap om te komen tot een onderbouwde beoordeling van de effecten van de geplande grootschalige uitbreiding van windparken op het Noordzee ecosysteem, zijn de volgende onderzoeksvragen geformuleerd:

- Welke (model)onderzoeken zijn er uitgevoerd naar ecologische draagkracht in relatie tot medegebruik?
- Is met behulp van deze onderzoeken een eerste indicatie van (de bandbreedte van) de ecologische begrenzing te berekenen (in volume/oppervlakte)?
- Welke kennisleemtes zijn beperkend om de ecologische begrenzing scherper te krijgen? En met welk onderzoek kunnen deze kennisleemtes worden opgelost?

¹ <https://www.noordzeeloket.nl/functies-gebruik/windenergie/ecologie/wind-zee-ecologisch-programma-wozep/>

1.3 Aanpak en afbakening

We hebben een bureaustudie uitgevoerd waarmee een inventarisatie is gemaakt van de huidige kennis over effecten van een aantal vormen van medegebruik: maricultuur (zeewierkweek, schelpdierkweek) en zon op zee. Passieve visserij is niet meegenomen omdat er bij de start van deze studie nog teveel onduidelijkheid was over vistechnieken en beoogde doelsoorten.

Dit leverde een beschrijving van de mogelijke effecten per (medegebruiks)activiteit, met een inschatting van de omvang van de effecten per medegebruik. Cumulatieve effecten, ook in relatie tot de effecten van de windparken zelf, zijn in dit stadium niet meegenomen. In overleg met IenW richt dit rapport zich op de effecten van medegebruik op de vereisten vanuit de Kaderrichtlijn Mariene Strategie (KRM) aangezien dit één van de relevante beleidskaders is. In een latere fase zou dit nog uitgebreid kunnen worden naar andere kaders, zoals bijvoorbeeld Natura2000.

Bij een inschatting van de effecten is het van belang inzicht te hebben in de ruimtelijke en de temporele schaal van de effecten, de omvang van de effecten op fysica, chemische en biologische processen, de mate waarin effecten specifiek zijn voor een ecosysteem component en het niveau van kennis over de effecten (Dannheim et al. 2019). Bij die inschatting speelt ook een rol in welk deel van de Noordzee de activiteiten zich zullen concentreren, of de activiteiten seizoensgebonden of jaarrond zijn.

Aangezien de toepassing van commercieel medegebruik in windparken nog maar net in ontwikkeling is, ontbreekt het aan kennis over de effecten in de praktijk. Voor deze eerste verkenning hebben we o.a. gebruik gemaakt van publicaties die een inschatting geven van de mogelijke effecten, veelal gebaseerd op literatuuronderzoek en expert judgement (o.a. Cheney et al. 2010, McKindsey et al. 2013, Jansen et al. 2019, van den Burg et al. 2020, Tonk et al. 2021, Vilmin & van Duren 2021, O'Shea et al. 2022, Schneider et al. 2023). Ook zijn resultaten van (model)onderzoek hiervoor gebruikt. Op basis van geselecteerd (model)onderzoek en expert judgement is een eerste doorvertaling gemaakt naar ecologische effecten op systeemniveau bij opschaling naar een veel groter oppervlak van medegebruik.

Daarbij moet opgemerkt worden dat we er voor maricultuur van uit zijn gegaan dat alleen gebruik wordt gemaakt van de bestaande natuurlijke bronnen en er geen sprake is van bijvoorbeeld bemesting (wierenkweek) of aanvoer van voedsel (schelpdierkweek). Ook nemen we aan dat gebruik van verontreinigende stoffen niet is toegestaan. Echter, het kan niet uitgesloten worden dat uitloging of beschadiging van materialen (bijvoorbeeld zonnepanelen) toch kan leiden tot het vrijkomen van stoffen. Hier is al onderzoek aan gedaan in zoetwater (Mathijssen et al. 2020) en een onderzoeksproject naar mogelijke emissies vanuit windparken is recent gestart (ANEMOI project, zie bijlage B).

Bij de inschatting van de effecten op het ecosysteem hebben we gekeken naar de medegebruiksactiviteiten tijdens de operationele fase. De effecten van aanleg en constructie of verwijderen van de installaties voor medegebruik hebben we niet in beschouwing genomen. Het effect van scheepvaart die verbonden is aan gebruik en onderhoud hebben we eveneens buiten beschouwing gelaten. Enerzijds omdat scheepvaart een algemene drukfactor is die samenhangt met zowel de exploitatie van windparken als met medegebruik in de windparken en anderzijds omdat de omvang van de scheepsbewegingen op dit moment erg onzeker is en afhangt van de uiteindelijke werkwijze. Effecten van scheepvaart betreffen o.a. onderwatergeluid, verontreinigende stoffen en verstoring en kunnen van belang zijn (Tonk et al. 2021).

Met die doorvertaling naar ecologische effecten op systeemniveau bij opschaling is een kwalitatieve inschatting gemaakt of de ecologische effecten (na opschaling) dusdanig zijn dat doelen van de KRM descriptoren aangetast worden. Voor de uiteindelijke beoordeling van de effecten is het ook nodig dat duidelijke doelen zijn geformuleerd voor de indicatoren waarop de beoordeling gebaseerd wordt. Dit is nog niet voor elk KRM indicator het geval. Waar mogelijk is de inschatting van effecten op basis van de beschikbare informatie meer kwantitatief onderbouwd.

Ten slotte is nagegaan welke onderzoeksprojecten op dit moment lopen of gepland zijn en in hoeverre die projecten al aandacht schenken aan de kennisleemtes. We gaan in op de onzekerheden en kennisleemtes over de effecten van medegebruik. Op basis daarvan doen we aanbevelingen voor een prioritering van kennisleemtes en vervolgonderzoek.

1.4 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 gaan we in op het begrip draagkracht, de vereisten van de KRM en de gebruikte methodiek om effecten van medegebruik op de elementen van de KRM te vertalen. Hoofdstuk 3 geeft een beschrijving van de meest relevante eigenschappen van het Nederlands deel van de Noordzee.

De effecten van maricultuur (zeewierkweek, schelpdierkweek) en de kennisleemtes ten aanzien van die effecten worden beschreven in hoofdstuk 4.

Hoofdstuk 5 gaat in op de effecten en kennisleemtes met betrekking tot zon op zee.

Hoofdstuk 6 gaat in op de belangrijkste conclusies en vervolgstappen

2 Effecten op draagkracht

2.1 Definities van draagkracht

Het begrip draagkracht is veelomvattend, kan op veel verschillende manieren ingevuld worden en gedefinieerd en is daarom sterk afhankelijk van de context (Del Monte-Luna *et al.* 2004, van der Meer *et al.* 2023). De draagkracht van een ecosysteem voor een populatie van een specifieke soort is iets anders dan de draagkracht van dit systeem voor een bepaalde gemeenschap of voor een activiteit zoals visserij of aquacultuur. Vanuit het oogpunt van visserijbeheer en voedselproductie wordt draagkracht gedefinieerd als de maximale opbrengst van een soort die duurzaam geëxploiteerd kan worden. Vanuit een oogpunt van zeewierkweek of schelpdierkweek kan met draagkracht dus de optimale productie voor de gekweekte soorten bedoeld worden (de “productie-draagkracht, McKindsey *et al.* (2006)). Vanuit het oogpunt van behoud van biodiversiteit en ecosysteemfuncties kun je tot een andere definitie van draagkracht komen, waar meerdere ecologische aspecten worden meegewogen. In de context van duurzaam beheer kan draagkracht dus beschreven worden als de maximale bestandsgrootte of productie van een soort zonder dat deze negatieve invloed heeft op het ecosysteem functioneren (van der Meer *et al.* 2023), dit wordt ook wel de “ecologische draagkracht” genoemd (McKindsey *et al.* 2006). In aanvulling daarop kan je ook nog spreken van de sociale draagkracht, waarbij ook nog de belangen van andere belanghebbenden worden meegewogen.

In relatie tot medegebruik van de Noordzee is uitgesproken dat “gebruik moet passen binnen de ecologische draagkracht van de Noordzee” (IenW 2022). Echter, het begrip ecologische draagkracht is niet verder gedefinieerd en roept nog veel discussie op, zowel in de wetenschap als in het beleid. In het kader van het MONS programma is de noodzaak van een definitiestudie vastgesteld (Asjes *et al.* 2021). Om de ecologische draagkracht te kunnen vaststellen, zijn keuzes noodzakelijk over welke ecologische aspecten moeten worden beschouwd en hoe die tegen elkaar moeten worden afgewogen. Vooralsnog wordt voor dit rapport over effecten van medegebruik het begrip draagkracht gekoppeld aan de elf descriptorren van de Kaderrichtlijn Mariene Strategie (KRM). Het doel van de Kaderrichtlijn Mariene Strategie is het bereiken en behouden van een ‘goede milieutoestand’ van het mariene milieu in Europese zeeën. De Europese lidstaten zijn verplicht om actie te nemen om de goede milieu toestand te bereiken. Voor alle elf descriptorren zijn criteria en indicatoren ontwikkeld of nog in ontwikkeling die een kwantitatieve of kwalitatieve beoordeling van de milieutoestand mogelijk maken. Dus voor dit rapport wordt draagkracht gedefinieerd als het niveau waarbij de KRM indicatoren een verslechtering laten zien die het behalen van de GMT in gevaar brengt.

2.2 Welke aanknopingspunten biedt de KRM?

Voor de beoordeling van de milieutoestand zijn 11 descriptorren gedefinieerd om de actuele toestand te beschrijven. Voor die beschrijving zijn, per descriptor, criteria vastgesteld. Voor alle descriptorren zijn criteria vastgesteld op basis waarvan de milieutoestand beschreven moet worden (EC 2017); in totaal zijn er 42 primaire of secundaire criteria. Voor die criteria zijn indicatoren ontwikkeld of nog in ontwikkeling. Die indicatoren moeten een kwantitatieve of kwalitatieve beoordeling mogelijk maken. Nederland heeft samen met de andere Noordzeelanden, in OSPAR-verband, gewerkt aan de uitwerking van indicatoren die passen bij die descriptorren en criteria en die de mogelijkheid moeten bieden voor een zo kwantitatief mogelijke beoordeling van de milieutoestand. Een volledig overzicht van de KRM descriptorren, criteria en indicatoren is opgenomen in Bijlage A.

De KRM schrijft voor dat lidstaten elke zes jaar de Mariene Strategie moeten actualiseren. Er wordt nu gewerkt aan de actualisatie van de Mariene Strategie deel 1, die de huidige milieutoestand, de goede milieutoestand en de milieudoelen met bijbehorende indicatoren

beschrijft. In juli 2024 moet dit deel 1 van de Mariene Strategie worden vastgesteld en daarna aan de Europese Commissie worden gerapporteerd. In de conceptversie zijn de criteria en indicatoren beschreven die gebruikt worden voor de beschrijving van de milieutoestand. Deze indicatoren zijn al gebruikt voor het Quality Status Report van OSPAR (OSPAR 2023). In dit rapport hebben we die indicatoren en de vastgestelde doelen, voor zover beschikbaar, gebruikt als uitgangspunt.

2.3 Wat is een goede indicator?

Om de KRM descriptoren, criteria en indicatoren goed te kunnen gebruiken bij de beoordeling van de effecten van medegebruik en het stellen van ecologische grenzen aan medegebruik, is het noodzakelijk dat indicatoren voldoen aan een aantal eisen (Rice 2003, ICES 2005).

Een goede indicator is:

- Meetbaar
- Indicatoren moeten in de praktijk en in theorie meetbaar zijn. Ze moeten meetbaar zijn met behulp van bestaande instrumenten, monitoringprogramma's en analyse-instrumenten die in de regio's beschikbaar zijn, en op de tijdschalen die nodig zijn om het beheer te ondersteunen. Ze moeten een minimale of bekende bias hebben en het signaal moet van ruis te onderscheiden zijn.
- Kosteneffectief
- Indicatoren moeten kosteneffectief zijn omdat de middelen voor monitoring beperkt zijn
- Concreet
- Het is wenselijk dat indicatoren direct waarneembaar en meetbaar zijn in plaats van abstracte eigenschappen weer te geven die alleen indirect kunnen worden geschat. Concrete indicatoren zijn namelijk gemakkelijker te interpreteren.
- Interpreteerbaar
- Indicatoren moeten eigenschappen weergeven die van belang zijn voor belanghebbenden, en hun betekenis moet worden begrepen door een zo breed mogelijk scala van belanghebbenden. Het begrip van de indicator door het publiek moet consistent zijn met de technische betekenis ervan.
- Theoretisch gefundeerd
- Indicatoren moeten kenmerken van ecosystemen en menselijke invloeden weerspiegelen die relevant zijn voor het bereiken van operationele doelstellingen. Ze mogen niet gebaseerd zijn op theoretische verbanden die slecht gedefinieerd of gevalideerd zijn.
- Gevoelig
- Tendensen in de indicator dienen gevoelig te zijn voor veranderingen in de ecosysteemeigenschappen of -effecten die de indicator beoogt te meten.
- Responsief
- Indicatoren moeten reageren op effectieve beheersmaatregelen en snelle en betrouwbare feedback geven over de gevolgen van beheersmaatregelen.
- Specifiek
- Indicatoren moeten eerder reageren op de eigenschappen die zij beogen te meten dan op andere factoren en/of het moet mogelijk zijn de effecten van andere factoren te scheiden van de waargenomen respons.

De KRM indicatoren (Bijlage A) voldoen in het algemeen wel aan een aantal van deze eisen. Met het oog op de bruikbaarheid van indicatoren voor het vertalen naar effecten op het ecosysteem is vooral een duidelijke en meetbare relatie tussen een drukfactor (*pressure*) veroorzaakt door een menselijke activiteit en de reactie van een indicator van belang. Dan gaat het dus om aspecten als meetbaar, concreet, responsief en specifiek. Voor minder dan de helft van de nu beschikbare indicatoren (zie Bijlage A) is een drempel- of grenswaarde bepaald op basis waarvan kwantitatief getoetst kan worden of de goede milieutoestand behaald is. Voor de andere indicatoren is soms een kwalitatieve toetsing mogelijk, maar dat geldt niet voor alle indicatoren. De descriptor D1 Biodiversiteit -inktvissen en -pelagische habitats, D2 Niet-inheemse soorten, D6 Zeebodintegriteit en D11 Onderwatergeluid hebben vrijwel geen ontwikkelde indicatoren of toepasbare drempel- of grenswaardes.

De huidige lijst van indicatoren laat ook zien dat in een aantal gevallen de indicatoren maar een beperkt aantal aspecten van een descriptor betreffen. Dit geldt bijvoorbeeld voor descriptor D4 Voedselwebben waar alleen indicatoren voor plankton en voor vissen beschikbaar zijn, met alleen voor vissen één indicator met een vastgestelde drempelwaarde. Dit betekent dat het vaststellen van ecologische grenzen op basis van die indicatoren in beperkte mate mogelijk is.

2.4 Relevante KRM indicatoren voor effecten van medegebruik

In de volgende hoofdstukken proberen we, op basis van de huidige kennis over mogelijke effecten van de verschillende vormen van medegebruik, een eerste inschatting te maken welke processen een rol spelen en wat het mogelijke effect zou kunnen zijn op de KRM indicatoren. Op grond van expert judgement is een eerste selectie gemaakt van de criteria en indicatoren die naar inschatting het meest relevant zijn voor de effecten van commercieel medegebruik in windparken op de KRM doelen. De selectie van criteria en indicatoren betreft de descriptor D1, D2, D4, D5, D6, D7, D8 en D10 (Tabel 2-1).

De descriptor D3 (Commercieel geëxploiteerde vis, schaal- en schelpdieren) is specifiek gericht op de effecten van visserij op commerciële bestanden en is daarom niet relevant voor de effecten van zeewier- of mosselkweek of zon op zee. Descriptor D9 (Verontreinigingen in visserijproducten) is ook minder van toepassing. Descriptor D11 (Toevoer van energie: Onderwatergeluid) zou relevant kunnen zijn bij de aanleg of verwijdering van installaties en bij scheepvaart, maar ligt voor nu buiten de scope van dit rapport.

Om in te schatten wanneer ecologische grenzen bereikt worden als gevolg van medegebruik, is het nodig dat er een duidelijke definitie is van wat wordt verstaan onder de Goede Milieutoestand. Met de huidige invulling van de indicatoren is het vaststellen van ecologische grenzen op basis van die indicatoren in beperkte mate mogelijk. Om te kunnen kwantificeren wat de ecologische grenzen zijn die volgen uit de KRM, is het daarnaast ook nodig dat er een goed begrip is van de causale relatie tussen medegebruik en de effecten op de indicatoren. Die kennis ontbreekt in sommige gevallen of de relaties zijn onzeker. In veel gevallen staan de indicatoren onder invloed van meerdere menselijke activiteiten.

Tabel 2-1 Lijst met selectie van KRM criteria en indicatoren die zijn ingeschat als relevant voor de effecten van commercieel medegebruik. De vetgedrukte indicatoren hebben een vastgestelde drempelwaarde op grond waarvan de status bepaald kan worden. Voor de overige indicatoren kan alleen de trend bepaald worden.

KRM Descriptor	KRM Criterium	KRM Indicator
D1 Biodiversiteit: Zeezoogdieren	D1C5 Kwaliteit leefgebied	Op basis van Habitatrichtlijn en OSPAR beoordeling
D1 Biodiversiteit: Zeevogels	D1C5 Kwaliteit leefgebied	<i>in ontwikkeling</i>
D1 Biodiversiteit: Vissen	D1C2 Populatieabundantie	Populatie (Habitatrichtlijn)
D1 Biodiversiteit: Inktvissen	D1 Biodiversiteit inktvissen	<i>in ontwikkeling</i>
D1 Biodiversiteit: Pelagische habitats	D1C6 Pelagische habitats	PH1 veranderingen in fyto- en zoöplanktongemeenschap
		PH2 Veranderingen in plankton biomassa en/of abundantie
		PH3 Veranderingen in plankton biodiversiteit
D2 Niet-inheemse soorten	D2C1 Aantal introducties van niet-inheemse soorten	NIS3 Aantal introducties van niet-inheemse soorten
D4 Voedselwebben	D4C1 Diversiteit van trofische gilden	FW5 Veranderingen in fyto- en zoöplanktongemeenschap
	D4C2 Evenwicht tussen trofische gilden	FW5 Veranderingen in fyto- en zoöplanktongemeenschap
	D4C4 Productiviteit van trofische gilden	FW2 Productie van fytoplankton
D5 Eutrofiëring	D5C1 Nutriënten	Nutriëntenconcentraties (winter DIN en DIP)
	D5C2 Chlorofyl-a	Concentraties chlorofyl-a (groeiseizoen)
	D5C5 Zuurstof nabij de zeebodem	Zuurstofconcentraties bij de zeebodem
D6 Zeebodemintegriteit	D6C1 Fysiek verlies van de zeebodem	BH4 Area of habitat loss
	D6C2 Verstoring van de zeebodem	Zandwinning en overige fysieke verstoring (nationaal)
	D6C4 Fysiek verlies van habitats	BH4 Area of habitat loss
	D6C5 (Aantasting) kwaliteit habitats	BH2b relatieve Margalef diversiteit / BISI-index
D7 Hydrografische eigenschappen	D7C1 Omvang permanente verandering in hydrografie	Omvang permanente wijzigingen hydrografie
	D7C2 Aangetaste habitats door permanente verandering in hydrografie	Omvang verlies en verstoring bentische habitats door hydrografische wijzigingen
D8 Verontreinigende stoffen	D8C1 Verontreinigende stoffen in water, sediment en biota	Concentraties prioritare en specifieke verontreinigende stoffen in water en biota
	D8C2 Effecten van verontreinigingen	Imposex in mariene slakken (OSPAR)
D10 Zwerfvuil	D10C1 Zwerfvuil kust en zeebodem	Zwerfafval op het strand (OSPAR)
		Zwerfafval op de zeebodem (OSPAR)
	D10C2 Microafval	Microplastics in zeebodemsediment (OSPAR)
D10C3 (Micro)afval in zeedieren	Plastic in magen van noordse stormvogels (OSPAR)	

2.5 Inschatting van de effecten van medegebruik

Meerdere methodieken zijn ontwikkeld om de effecten van verschillende menselijke activiteiten op mariene ecosystemen semi-kwantitatief te beschrijven en te vergelijken. Halpern *et al.* (2007) hebben een methodiek ontwikkeld waarmee op gestructureerde wijze de effecten van veel verschillende menselijke activiteiten kunnen worden ingeschat. Dit is o.a. toegepast in een beschrijving van de mondiale impact van menselijke activiteiten op het mariene milieu (Halpern *et al.* 2008). In de methodiek wordt gekeken naar een aantal criteria die de ruimtelijke schaal, frequentie, duur en zwaarte van de effecten beschrijven. In het EU FP7 project ODEMM (“*Options for Delivering Ecosystem-Based Marine Management*”) is een methodiek ontwikkeld om de cumulatieve effecten van menselijke activiteiten in het mariene milieu in te schatten (Knights *et al.* 2015), op basis van een aantal criteria die grotendeels vergelijkbaar zijn met de criteria van Halpern *et al.* (2007). Deze methodiek is ook toegepast in een eerste inschatting van de effecten van zeevierkweek (Tonk *et al.* 2021) en in het EU project UNITED waarin gekeken is naar effecten van medegebruik (Kerkhove *et al.* 2021).

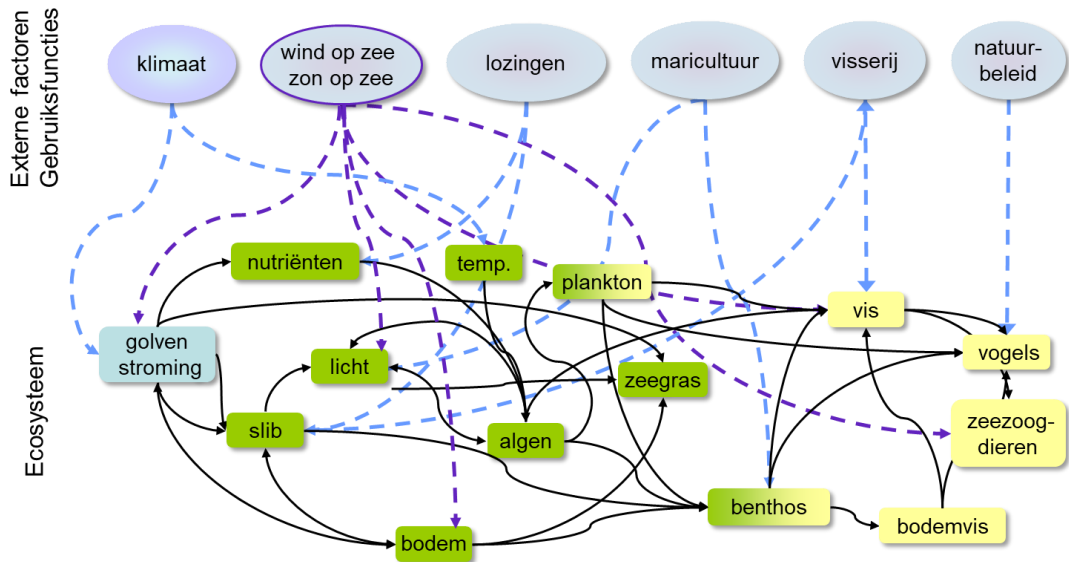
Op basis van deze voorbeelden hebben we vijf criteria gebruikt voor een kwalitatieve score van de mogelijke effecten van medegebruik in Nederlandse windparken, geordend per KRM descriptor en indicator. Aan deze inschatting hebben we daarnaast een inschatting van de mate van zekerheid toegevoegd. Tabel 2-2 geeft de gebruikte criteria weer.

Tabel 2-2 Gebruikte criteria om de effecten van medegebruik te classificeren.

Criteria voor effectbeschrijving			Score				
Halpern <i>et al.</i> (2007)	Tonk <i>et al.</i> (2021)	deze studie	0	1	2	3	4
Scale (km ²)	Spatial extent	Ruimtelijke schaal	Locatie medegebruik	Windpark of directe omgeving (<5 km)	Ruime omgeving windpark (<30 km)	Groot deel EEZ (<10,000 km ²)	Hele EEZ
Frequency	Frequency and duration	Frequentie en duur	Nooit	Zelden	Ieder seizoen	Groot deel van het jaar	Continu
Functional impact		Reikwijdte van effect	Geen effect	Effect op enkele soorten	Effect op één trofisch niveau	Effect op meerdere trofisch niveaus	Effect op gehele systeem
Resistance	Severity	Ernst van effect	Geen impact	Laag	Kleine impact	Grote impact	
Recovery time	Resilience	Hersteltijd	Geen impact	<2 jaar	2-10 jaar	10-100 jaar	>100 jaar
Certainty		Mate van zekerheid	Zeer goed	Goed; ruime kennis beschikbaar	Redelijk; enige kennis beschikbaar	Laag; weinig tot geen empirische kennis	Nihil

3 Het Noordzee ecosysteem

Het ecosysteem van de Noordzee is een complex systeem met interacties tussen fysische, biogeochemische en biologische processen en populaties op verschillende niveaus in het voedselweb, van bacteriën tot zeezoogdieren. Het ecosysteem staat onder invloed van externe processen (bijvoorbeeld klimaat) en menselijke drukfactoren. Die menselijke drukfactoren kunnen directe effecten op delen van het ecosysteem hebben, maar werken vaak indirect door via de relaties binnen het ecosysteem. Figuur 3-1 is illustratief voor de complexiteit van relaties binnen het Noordzee ecosysteem (van Duren *et al.* 2021).

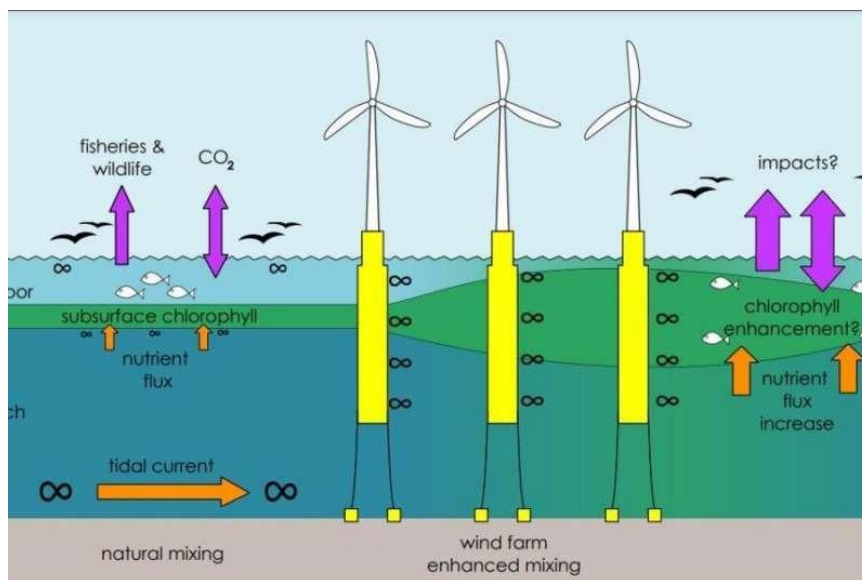


Figuur 3-1 Illustratie van de relaties binnen het Noordzee ecosysteem en de directe en indirecte effecten van menselijke activiteiten. Aangepast naar: van Duren *et al.* (2021). De blauwe, gestreepte pijlen laten de interacties tussen menselijke activiteiten en het ecosysteem zien. De paarse, gestreepte pijlen de interacties tussen wind/zonne-energie op zee en het ecosysteem. De zwarte pijlen geven de interacties tussen verschillende ecosysteem componenten weer.

De Noordzee kan, op grond van hydrodynamische eigenschappen, in een aantal deelgebieden onderscheiden worden die ook biologische verschillen vertonen, zoals verschillen in soortensamenstelling en productie van fytoplankton (van Leeuwen *et al.* 2015).

In het Nederlands deel van de Noordzee komt seizoenstratificatie voor in het diepe, meest noordelijk deel, ruwweg ten noorden van 54° NB. In de winter is de waterkolom volledig gemengd, maar tijdens de zomermaanden treedt er temperatuurstratificatie op, waarbij een warme oppervlaktelaag ontstaat boven de koelere diepe waterlaag. In het gebied met seizoenstratificatie heeft de warme oppervlaktelaag een minder grote mengdiepte, waar de groei van fytoplankton nutriënt-gelimiteerd is.

Het Friese Front vormt de overgangszone tussen het diepe noordelijk deel van de EEZ en het ondiepe zuidelijk deel en kan invloed ondervinden van veranderingen in stratificatie. De Zuidelijke Bocht van de Noordzee ligt grotendeels in de zogenaamde ROFI (*Region of Freshwater Influence*), de rivierpluim in de kustzone waar alleen kortdurend wel eens stratificatie voorkomt, veroorzaakt door zoetwatertoevoer.



Figuur 3-2 Deze illustratie toont de potentiële impact van windinfrastructuur in gelaagd water. Strooming langs de funderingen zal turbulentie veroorzaken die koud, voedselrijk dieper water kan vermengen met warm, voedselarm oppervlaktewater, waardoor de gelaagdheid wordt verzwakt en mogelijk de groei van plankton wordt bevorderd. Deze verbetering van de menging zou fundamentele gevolgen kunnen hebben voor het functioneren van ecosystemen, de natuur en de visserij. Bron: <https://phys.org/news/2022-09-environmental-impact-turbulence-deep-water-farms.html>.

De aanwezigheid van windturbines of andere installaties kan effecten hebben op waterstromingen en turbulentie en deze stratificatie deels of geheel opheffen, waardoor nutriënten uit de diepere waterlaag beschikbaar komen en de fytoplanktonproductie bevorderen en de soortensamenstelling verandert (; zie ook Figuur 3-2). Voor de effecten van medegebruik van windparken, is het daarom van belang om onderscheid te maken tussen het diepe noordelijke deel met seizoenstratificatie en het ondiepe zuidelijke deel met sterkere menging.

Sommige effecten van de verschillende vormen van medegebruik zijn specifiek voor die gebruiksvorm. Daarnaast zijn er veel effecten die aanvullend zijn op de effecten van windparken. Dit betekent dat het voor veel aspecten niet eenvoudig is om de inschatting van de kwalitatieve of kwantitatieve effecten van medegebruik te scheiden van de effecten die windparken zelf al hebben. Ook inschatting van de cumulatieve effecten is onzeker, zeker bij de grote opschaling die tot 2030 en daarna gaat plaatsvinden.

4 Maricultuur

Bij maricultuur als commercieel medegebruik in windparken wordt op dit moment vooral gekeken naar de kweek van zeewier of van schelpdieren. De meest waarschijnlijke toepassing is het gebruik van hangcultures (Steenbergen *et al.* 2023).

Voor deze vormen van maricultuur is niet het gehele Nederlandse deel van de Noordzee (de Nederlandse EEZ) even geschikt. Op basis van een eerste inschatting van de groeiomstandigheden leek het meest noordelijk deel van de Nederlandse EEZ minder geschikt dan de zuidelijke Noordzee (van den Bogaart *et al.* 2020). Deze inschatting is recent geactualiseerd op basis van nieuwe data en modeltoepassingen (Steenbergen *et al.* 2023). In dit laatste rapport is specifiek gekeken naar de geschiktheid van de bestaande, reeds geplande en nog aan te wijzen windparkgebieden voor voedselproductie als medegebruiksfunctie. Daarbij is gekeken naar drie inheemse soorten zeewier (suikerwier, vingerwier, knotswier) en naar kweek van mossel en platte oester.

De inschatting van de geschiktheid van windparken is gebaseerd op abiotische randvoorwaarden. Voor zeewierkweek is de inschatting dat, op grond van de beschikbaarheid van nutriënten, de windparken in het zuidelijke deel van de Noordzee dichtbij de kust (Borssele, Hollandse kust Zuid, Egmond aan Zee, Prinses Amalia, Luchterduinen) het meest geschikt zijn voor zeewierkweek. De meest noordelijke zoekgebieden (globaal de gebieden ten noorden van 54° NB) zijn niet geschikt voor zeewierkweek van de geselecteerde soorten. Voor schelpdierkweek is de inschatting gebaseerd op het voedselaanbod (aanvoer van fytoplankton). De inschatting is dat alleen de meest noordelijk gelegen zoekgebieden voor windparken (ten noorden van 54° NB) ongeschikt zijn voor schelpdierkweek vanwege het lage voedselaanbod.

Voor maricultuur is dus de inschatting dat de geschikte windparken in het zuidelijk deel van de Noordzee dicht bij de kust liggen, op basis van de randvoorwaarden voor voldoende groei (Steenbergen *et al.* 2023). Dit zijn voor zeewier met name de windparken Borssele, Hollandse Kust Zuid en Noord. Verder van de kust gelegen parken zijn minder geschikt voor zeewierkweek, maar nog wel voor schelpdierkweek (Hollandse kust west, IJmuiden Ver, Lagelander, Nederwiek). Overigens betekent dit nog niet dat al deze locaties ook vanuit bijvoorbeeld technisch of economisch oogpunt geschikt zijn. Dit zuidelijk deel van de Noordzee is het gebied waar de waterkolom goed gemengd is. Effecten op stratificatie zijn daarom voor deze gebruiksvormen niet van toepassing en zijn ook niet meegenomen in de inschatting van mogelijke effecten.

4.1 Zeewierkweek

4.1.1 Effecten op het ecosysteem

De inschatting van de effecten van zeewierkweek op het Noordzee ecosysteem is gebaseerd op gepubliceerde reviews en een aantal rapporten over zeewierkweek van Wageningen Marine Research (Campbell *et al.* 2019, Jansen *et al.* 2019, Tonk & Jansen 2019, Visch *et al.* 2020, Tonk *et al.* 2021). Deze studies geven een uitgebreid overzicht van mogelijke effecten van zeewierkweek, met daarbij een kwalitatieve inschatting van de risico's. Een meer kwantitatieve inschatting van de effecten is gebaseerd op modelberekeningen (Vilmin & van Duren 2021).

De effecten van zeewierkweek in windparken zijn enerzijds effecten die het gevolg zijn van het kweken van zeewier zelf en anderzijds de effecten die het gevolg zijn van de voor de kweek noodzakelijke installaties en menselijke activiteiten zoals onderhoud. De effecten zijn op te splitsen in effecten op de fysica, op fysisch-chemische parameters en op biologische processen. Figuur 4-1 geeft de belangrijkste effecten van zeewierkweek weer, waarbij de

gekleurde pijlen aangeven of er een toename (rood) of een afname (groen) te verwachten is. Als het effect onbekend of onzeker is, is de pijl blauw gekleurd.

Bij effecten op de fysica gaat het om effecten van de kweekinstallatie op de waterbeweging en golven. Die veranderingen in hydrodynamische omstandigheden kunnen doorwerken op het pelagisch voedselweb, bijvoorbeeld via veranderingen in de planktonsamenstelling, maar kunnen ook effecten hebben op sedimentatie en resuspensie van materiaal en op het benthos. In de geschikte gebieden voor zeewierkweek in de Nederlandse EEZ zal dit naar verwachting niet van belang zijn omdat die geschikte windparken al in een dynamisch gebied liggen.

Daardoor zijn de effecten op fysica niet mee genomen in Figuur 4-1.

Zeewierkweek is afhankelijk van de aanvoer van nutriënten en voldoende beschikbaarheid van licht. Dit stelt beperkingen aan de omvang van de zeewierkweek die mogelijk is in de Noordzee (zie hieronder in §4.1.3). Zeewierkweek betekent derhalve concurrentie om nutriënten en licht met andere primaire producenten. Het gaat hierbij vooral om negatieve effecten op fytoplanktongroei. Dit kan doorwerken op de soortensamenstelling van het fytoplankton en zou kunnen leiden tot lagere primaire productie van het fytoplankton. Veranderingen in de samenstelling van het fytoplankton en in de primaire productie kunnen doorwerken op de voedselbeschikbaarheid voor hogere trofische niveaus, zoals bodemdieren, zoöplankton en vis.

Bezinking van organisch materiaal (o.a. wieren maar ook aangroei) uit de kweekinstallatie kan leiden tot een hogere aanvoer van organisch materiaal naar de bodem. Dit kan resulteren in een hogere zuurstofvraag als gevolg van afbraakprocessen, met negatieve effecten op de kwaliteit van de bodemdiergemeenschap. Tegelijkertijd kan de vermindering van fytoplanktongroei leiden tot een lagere aanvoer van organisch materiaal. Op welke ruimtelijke schaal dit de aanvoer van organisch materiaal naar de bodem beïnvloedt, is afhankelijk van de hydrodynamische omstandigheden. Veranderingen in de flux van organisch materiaal naar de bodem kan ook effecten hebben op de samenstelling van de bodemdiergemeenschap.

De directe effecten van zeewierkweek zelf hangen natuurlijk erg af van de praktijk van de kweek. We gaan er hier van uit dat er gebruik wordt gemaakt van de natuurlijke omstandigheden en er geen bemesting plaats zal vinden. Ook is het uitgangspunt dat het gaat om drie soorten wieren die geschikt worden geacht als voedsel, geschikt zijn voor kweek op de Noordzee en van nature in Nederland voorkomen (Steenbergen *et al.* 2023): suikerwier (*Saccharina latissima*), vingervier (*Laminaria digitata*) en knotswier (*Ascophyllum nodosum*). Ook als voor inheemse soorten wordt gekozen, kan de kweek van zeewier invloed hebben op de genetische diversiteit van bestaande populaties. Door selectieve kweek kan de genetische samenstelling van de gekweekte soort gaan afwijken van de natuurlijke populatie en op termijn, door uitwisseling tussen de gekweekte wieren en de natuurlijke populatie, leiden tot genetische veranderingen in de populatie. Kweek kan daarnaast leiden tot een verschuiving in het aandeel van verschillende soorten.

Afhankelijk van hoe de kweek in zijn werk gaat en hoe het kweekmateriaal wordt aangevoerd, bestaat het risico op de introductie van niet-inheemse soorten die meeliften met het kweekmateriaal. Verder kunnen kweekinstallaties een 'stepping stone' zijn voor de introductie en verspreiding van niet-inheemse soorten. De wieren zelf en de kweekinstallatie, in aanvulling op het substraat dat al gevormd wordt door de windmolens en de steenbestortingen rond de voet van de windmolens, bieden een habitat voor veel soorten waaronder potentieel ook niet-inheemse soorten. De onderlinge afstanden en de ligging en ruimtelijke verspreiding in de Noordzee bepalen waarschijnlijk hoe groot het risico is. Ten slotte zijn kweekinstallaties een bron van afval. Dit zal sterk afhangen van het type materiaal dat gebruikt wordt en de werkwijze.

Een zeewierkweekinstallatie vormt ook een potentieel nieuw habitat, zowel voor lagere trofische niveaus (plankton, bodemdieren) als voor hogere trofische niveaus als vissen, vogels en mogelijk zeezoogdieren. Dit habitat wordt gevormd doordat er substraat is voor aangroei en doordat de kweekinstallatie een beschutte omgeving biedt en foerageermogelijkheden. Tegelijkertijd kan zeewierkweek ook bestaande habitats verstoren door de ankerlijnen en door bezinking van organisch materiaal.

De interacties tussen alle bovengenoemde effecten zijn met de huidige kennis niet in te schatten. Deze interacties kunnen zowel tot afname van componenten van het voedselweb als tot toename leiden en hangen sterk af van de omvang van de zeewierkweek. Voor veel van de hierboven beschreven mogelijke effecten geldt ook, dat er deels een overlap is met effecten die ook al door windparken zelf worden veroorzaakt en er dus sprake kan zijn van cumulatieve effecten.

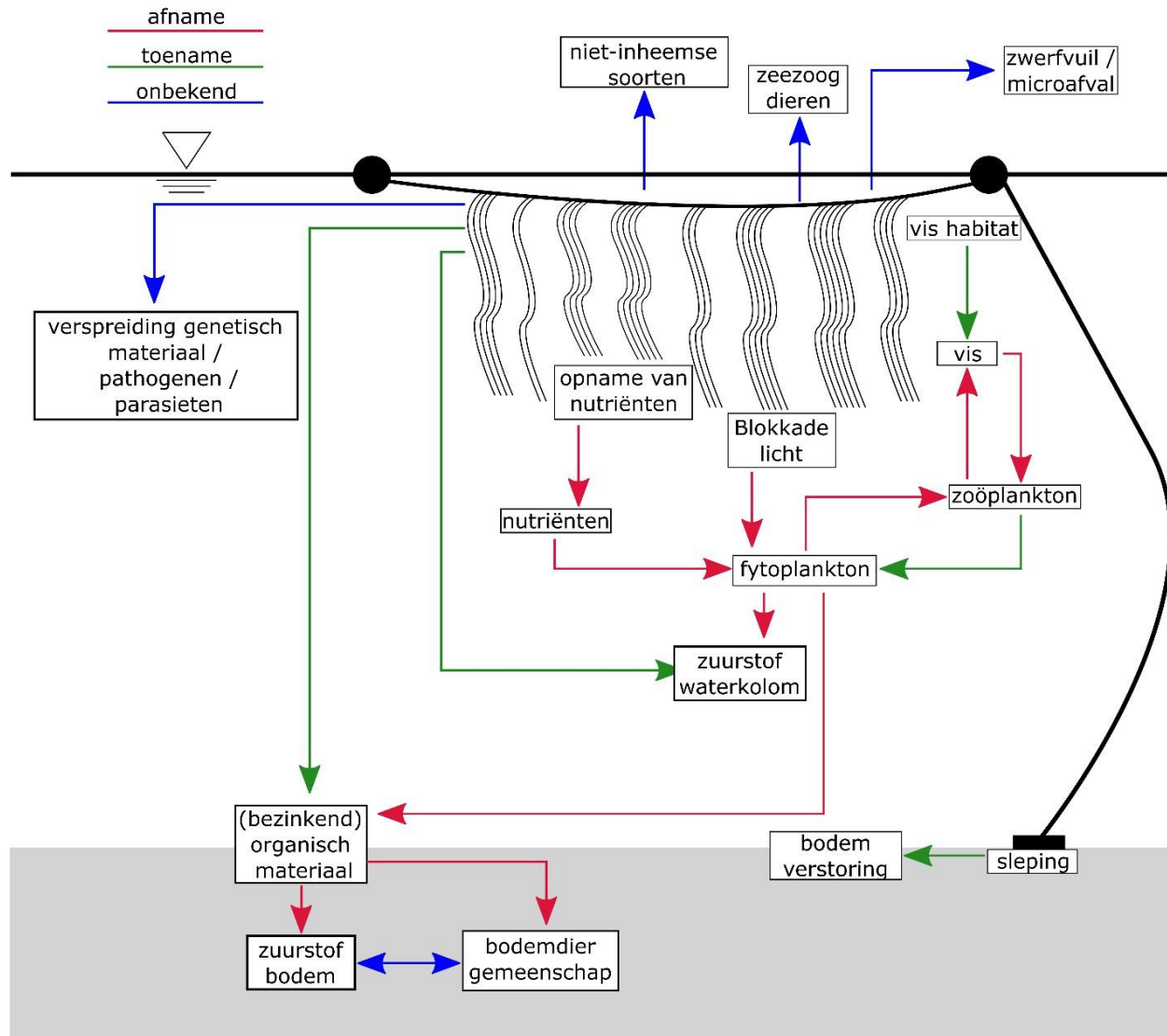
4.1.2 **Kwalitatieve inschatting van de effecten in relatie tot de doelen van de KRM**

In de voorgaande paragraaf is een beschrijving gegeven van de mogelijke effecten van zeewierkweek. In Tabel 4-1 zijn deze effecten vervolgens zoveel mogelijk vertaald naar de descriptorren en bijbehorende criteria van de KRM. Verder geeft Tabel 4-1 een kwalitatieve inschatting van het risico van zeewierkweek als vorm van medegebruik op de KRM descriptorren. Deze inschatting is gebaseerd op eerdere risico-inschattingen van zeewierkweek (Campbell *et al.* 2019, Tonk *et al.* 2021) en met behulp van de criteria beschreven in §2.3 ingevuld. Tevens is een inschatting gegeven van de mate van onzekerheid als gevolg van kennisleemtes.

Aantrekkende werking op zeezoogdieren, vissen en vogels door zeewierkweek kan een groot deel van het jaar optreden. In hoeverre dit negatieve effecten heeft op populaties (bijvoorbeeld risico van verstrengeling voor zeezoogdieren) of ook positieve effecten (bijvoorbeeld door toename van foerageermogelijkheden) is niet bekend. Naar inschatting is er sprake van geringe effecten en alleen op lokale schaal. Het effect op pelagische habitats, nutriënten- en fytoplanktonconcentraties en -productie via effecten op het lichtklimaat en competitie om nutriënten, kan op relatief grote ruimtelijke schaal en een groot deel van het jaar doorwerken en ook voedselweb-effecten hebben. Voor zeewier wordt gewerkt aan veredeling van kweekmateriaal, dat als minuscule 'zaailing' onder gecontroleerde omstandigheden op de kweeklijnen wordt aangebracht. Dit kan leiden tot introductie van plantmateriaal dat genetisch afwijkt van de natuurlijke populaties, ook al is er sprake van inheemse soorten. Introducties van niet-inheemse soorten, pathogenen en parasieten vinden waarschijnlijk niet vaak plaats maar hebben potentieel grote ecologische effecten op een groot deel van de Noordzee. Kennis over inktvis in de Noordzee en mogelijke effecten van medegebruik ontbreekt.

De verankering van kweekinstallaties heeft naar inschatting een groot effect op de zeebodem, maar dit effect is zeer lokaal. De kweekinstallatie kan een bron zijn van zwerfvuil en micro-afval wat op grote ruimtelijke schaal en op meerdere trofische niveaus effecten zou kunnen hebben. We verwachten dat de kweekinstallatie een meer constante bron is van micro-afval en meer incidenteel van groter zwerfvuil.

Onzekerheid over de effecten door leemtes in kennis is het grootst voor wat betreft introducties van soorten, effecten op de genetische samenstelling van zeewierpopulaties en de risico's van verspreiding van zwerfvuil en microafval.



Figuur 4-1 Schematisch overzicht van de belangrijkste effecten van zeewierkweek.

Tabel 4-1 Overzicht van het ingeschatte potentiële effect van zeewierkweek per KRM descriptor/criterium. Effecten zijn ingeschat op een schaal van 0 (geen/verwaarloosbaar effect) tot 4 (groot effect) (zie Tabel 2-2). Lege cel: effect onbekend. Zekerheid van kennis over de effecten is ingeschat op een schaal van 0 (zeer goed) tot 4 (nihil).

KRM Descriptor	KRM Criterium	Belangrijkste processen	Effecten Zeewierkweek					Mate van zekerheid
			Ruimtelijke schaal	Frequentie	Reikwijdte van effect	Ernst van effect	Hersteltijd	
D1 Biodiversiteit: Zeezoogdieren	D1C5 Kwaliteit leefgebied	gebruik installatie als rust- en foerageerplaats	0	3	1	1	0	2
D1 Biodiversiteit: Zeevogels	D1C5 Kwaliteit leefgebied	gebruik installatie als rust- en foerageerplaats	0	3	1	1	0	2
D1 Biodiversiteit: Vissen	D1C2 Populatieabundantie	gebruik installatie als habitat	0	3	1	1	0	2
D1 Biodiversiteit: Inktvissen	D1 Biodiversiteit: Inktvissen							4
D1 Biodiversiteit: Pelagische habitats	D1C6 Pelagische habitats	competitie om licht, nutriënten	3	3	3	3	1	1
		introductie microbiele pathogenen, parasieten	3	1	1	3	3	4
D2 Niet-inheemse soorten	D2C1 Aantal introducties van niet-inheemse soorten	stepping stone, meeliften niet-inheemse soorten	4	1	2	3	4	4
D4 Voedselwebben	D4C1 Diversiteit van trofische gilden	competitie nutriënten	3	2	3	3	1	1
		genetische veranderingen zeewierpopulatie	3	4	1	3	3	4
	D4C2 Evenwicht tussen trofische gilden	competitie nutriënten	3	2	3	3	1	1
	D4C4 Productiviteit van trofische gilden	verlaging fytoplanktonbiomasa en primaire productie	3	2	3	3	1	1
D5 Eutrofiëring	D5C1 Nutriënten	onttrekking nutriënten	3	2	3	3	1	0
	D5C2 Chlorofyl-a	verlaging fytoplanktonbiomasa en primaire productie	3	2	3	3	1	0
	D5C5 Zuurstof nabij de zeebodem	verlaging door bezinking organisch materiaal	1	2	3	3	2	1
D6 Zeebodemintegriteit	D6C1 Fysiek verlies van de zeebodem	invloed van verankering	0	4	2	4	2	1
	D6C2 Verstoring van de zeebodem	invloed van verankering	0	4	2	4	2	1
	D6C4 Fysiek verlies van habitats	invloed van verankering	0	4	2	4	2	1
	D6C5 (Aantasting) kwaliteit habitats	negatief effect van bezinking organisch materiaal	1	2	3	3	2	1
D7 Hydrografische eigenschappen	D7C1 Omvang permanente verandering in hydrografie	niet van toepassing in geschikte gebieden	0	0	0	0	0	1
	D7C2 Aangetaste habitats door permanente verandering in hydrografie	niet van toepassing in geschikte gebieden	0	0	0	0	0	1
D8 Verontreinigende stoffen	D8C1 Verontreinigende stoffen in water, sediment en biota	verontreiniging door uitloging materialen	2	1	2	1	1	3
	D8C2 Effecten van verontreinigingen	verontreiniging door uitloging materialen	2	1	2	1	1	3
D10 Zwerfvuil	D10C1 Zwerfvuil kust en zeebodem	zwerfvuil van kweekinstallatie	3	2	3	2	2	3
	D10C2 Microafval	microafval van kweekinstallatie	3	4	3	2	2	3
	D10C3 (Micro)afval in zeedieren	microafval van kweekinstallatie	3	4	3	2	2	3

4.1.3 Kwantificering van effecten

Voor zeewierkweek geldt dat er voor een aantal aspecten wel een eerste kwantitatieve inschatting gemaakt kan worden, ook al is er nog niet veel ervaring met offshore toepassingen. Het gaat dan vooral om effecten op stofstromen, zoals opname van nutriënten door zeewier en effecten op chlorofylconcentraties en primaire productie.

In de rapporten van van den Bogaart *et al.* (2020) en Steenbergen *et al.* (2023) is, voor de tot 2030 geplande windparken in het Nederlands deel van de Noordzee, een inschatting gemaakt wat de potentie is voor zeewierkweek. De berekening van de maximale capaciteit door van den Bogaart *et al.* (2020) is gebaseerd op het uitgangspunt dat van de totale hoeveelheid stikstof die jaarlijks in het Nederlands deel van de Noordzee komt via aanvoer vanuit de Atlantische Oceaan of via rivierafvoeren, niet meer dan 5% wordt vastgelegd in zeewierbiomassa. Dit stelt een maximum aan de hoeveelheid zeewier die gekweekt kan worden, in de orde van 145 km² kweekoppervlak, met een maximale opbrengst van ca. 25.000 ton drooggewicht (van Duren *et al.* 2019).

Bij zo'n oppervlak aan zeewierkweek wordt dan op jaarbasis, maximaal 5% van de nieuw aangevoerde, hoeveelheid stikstof opgebruikt. Deze berekening geeft een eerste ordeschatting van het effect. Hierbij is geen rekening gehouden met het feit dat zeewierkweek waarschijnlijk beter mogelijk is in de meer nutriëntenrijke zone in de Zuidelijke Bocht van de Noordzee. Het relatieve effect op stikstofconcentraties kan in die nutriëntenrijkere zone van de Noordzee anders zijn. Evenmin is in deze benadering rekening gehouden met effecten op de fosfaatconcentraties, die al veel sterker gedaald zijn in dit deel van de Noordzee en, vooral in de kustzone, in het voorjaar limiterend zijn voor fytoplankton. Daarnaast spelen veranderingen gedurende het seizoen in de groei van zeewier en in de beschikbaarheid van nutriënten een rol.

Een onderzoek met een gekoppeld hydrodynamisch/ecologisch model met verschillende scenario's voor zeewierkweek in Nederlandse windparken (Vilmin & van Duren 2021) laat zien dat zeewierkweek op grote schaal aanzienlijke effecten kan hebben op de primaire productie in het Nederlandse deel van de Noordzee. Zeewierkweek in windparken die in gebieden liggen met relatief lage chlorofylconcentraties (bijvoorbeeld windparken ten noorden van de Waddeneilanden) heeft relatief een sterker verminderend effect op primaire productie dan zeewierkweek van gelijke intensiteit in de meer productieve kustzone (bijvoorbeeld windpark Borssele).

Het totale effect van zeewierkweek hangt sterk samen met de omvang van de kweek op een locatie en op de spreiding van de zeewierkweek locaties. Zeewierkweek in windparken op een oppervlak van <1 km² heeft nauwelijks effecten buiten die windparken. Kweek op een oppervlak van 25% van het oppervlak van windpark Borssele (oppervlak zeewierkweek van 87 km²) leidt tot een verlaging van de primaire productie van meer dan 5% over een oppervlak van meer dan 2500 km² en een verlaging van meer dan 1% over een oppervlak van bijna 20.000 km², van windpark Borssele tot het gebied ten noorden van de Waddeneilanden. Kweekinstallaties in meerdere windparken die in elkaars 'pluim' liggen leiden tot nog sterkere effecten.

Uitgaande van bovenstaande inschattingen is duidelijk dat zeewierkweek op een schaal van meer dan 100 km², zeker wanneer dit in meerdere windparken gebeurt, over een relatief groot deel van de EEZ effecten zal hebben op primaire productie. Het is waarschijnlijk dat de relatieve effecten op hogere trofische niveaus kleiner zullen zijn dan het effect op primaire productie. Andere effecten van zeewierkweek zoals genoemd in §4.1.2, zijn zonder aanvullende kennis uit de praktijk, op dit moment niet goed te kwantificeren.

4.1.4 Kennisleemtes

De grootste onzekerheden in kennis hebben betrekking op de effecten op zeewierpopulaties via veranderingen van de genetische samenstelling en de introductie van niet-inheemse soorten, pathogenen of parasieten. Ook hoe groot de risico's op verspreiding van zwerfvuil en microafval zijn is op dit moment niet goed bekend. Het effect van aantrekkende werking van de kweekinstallatie op hogere trofische niveaus wordt door Tonk *et al.* (2021) genoemd als een belangrijke kennisleemte.

In onderzoeksprojecten is al veel aandacht besteed aan de invloed van zeewierkweek op nutriëntenconcentraties en effecten op fytoplankton (Bijlage B), maar aan andere aspecten is nog weinig aandacht besteed. Modelkennis om de fysische effecten van de kweekinstallaties in te schatten is in principe beschikbaar. Verder is er enige praktijkervaring opgedaan met zeewierkweek, bijvoorbeeld in de Oosterschelde, maar het ontbreekt nog aan ervaringen en meetgegevens van toepassing in de Noordzee.

4.2 Mosselkweek

4.2.1 Effecten op het ecosysteem

Evenals bij zeewierkweek in windparken, geldt voor schelpdierkweek dat er enerzijds effecten zijn die het gevolg zijn van het kweken van schelpdieren zelf en anderzijds effecten die het gevolg zijn van de voor de kweek noodzakelijke installaties en onderhoudsactiviteiten. Ook voor schelpdierkweek geldt dat er nog nauwelijks praktische ervaring is opgedaan in de Noordzee. De inschatting van de effecten van schelpdierkweek op het Noordzee ecosysteem is gebaseerd op literatuur (o.a. Kemper *et al.* 2003, Cheney *et al.* 2010, McKindsey *et al.* 2013, Lansbergen & Capelle 2022). Figuur 4-2 geeft de belangrijkste effecten van schelpdierkweek weer, waarbij de gekleurde pijlen aangeven of er een toename (rood) of een afname (groen) te verwachten is. Als het effect onbekend of onzeker is, is de pijl blauw gekleurd.

Effecten op de fysica vloeien voort uit effecten van de kweekinstallatie op de waterbeweging en golven met gevolgen voor de verticale menging en mogelijk effecten op het pelagisch voedselweb, sedimentatie en resuspensie. Voor de gebieden die het meest geschikt zijn voor schelpdierkweek wordt dit als minder belangrijk ingeschat vanwege de ligging in het nabij de kust, dynamische en goed gemengde deel van de zuidelijke Noordzee.

Schelpdierkweek is afhankelijk van de aanvoer van voedsel (fytoplankton). Bij hangcultures van schelpdieren wordt fytoplankton gefiltreerd wat leidt tot een verlaging van de fytoplankton concentraties en lagere primaire productie benedenstreams van de kweeklocatie. Dit kan doorwerken op de voedselbeschikbaarheid voor zoöplankton en uiteindelijk op hogere trofische niveaus zoals vis.

Verder biedt schelpdierkweek waarschijnlijk ook een habitat voor hogere trofische niveaus. Zowel benthische als pelagische vis kan aangetrokken worden door de structuur van de kweekinstallatie als door het extra voedselaanbod dat op de bodem onder de kweekinstallatie ontstaat. De kweekinstallatie kan dienen als rustplaats en uitvalsbasis voor foerageren voor vogels, zoals aalscholvers en andere duikende vogels, maar ook als directe voedselbron voor duikende vogels zoals eidereend en zwarte zee-eend. Over effecten op zeezoogdieren is weinig bekend. Mogelijke effecten van schelpdierkweek zijn verlies van habitat door de aanwezigheid van de installatie of door verstoringen en risico's op verstrengeling. Hoe deze effecten doorwerken op biodiversiteit en het mariene voedselweb is nu niet in te schatten.

Schelpdieren produceren feces en pseudofeces (biodepositie) die deels zullen bezinken in de omgeving van de kweeklocatie. Bezinking van dit organisch materiaal leidt tot een hogere aanvoer van organisch materiaal naar de bodem en kan leiden tot een hogere zuurstofvraag als gevolg van afbraakprocessen met negatieve effecten op de kwaliteit van de bodemdiergemeenschap. Het organisch materiaal kan ook dienen als voedsel voor de bodemdiergemeenschap met effecten op de samenstelling van die bodemdiergemeenschap. Nutriënten die vrijkomen bij de afbraak van biodepositie kunnen leiden tot een verhoging van de nutriëntenbeschikbaarheid. Verlies van een deel van de gekweekte mosselen of oesters uit

de kweek die op de zeebodem terecht komen, kan ook resulteren in een verandering in de bodemdiergemeenschap, waaronder vorming van schelpdierbanken op de zeebodem. Dit kan worden gezien als verrijking van de zeebodemhabitat (Ysebaert *et al.* 2008, Gentry *et al.* 2020, Bridger *et al.* 2022, Sean *et al.* 2022). De schelpdierbanken kunnen ook mobiele bodemdieren (o.a. zeesterren, krabben) aantrekken. Deze effecten op de zeebodem zijn het meest onderzocht in baaien en beschutte gebieden. De effecten op de zeer dynamische zeebodem voor de Hollandse kust zullen vermoedelijk beperkt zijn.

De praktijk van de kweek is van invloed op de mogelijke effecten. Wordt er gebruik gemaakt van inheemse soorten of worden ook niet-inheemse soorten gebruikt, wordt er gebruik gemaakt van de aanwezige natuurlijke omstandigheden of wordt extra voedsel uit bijvoorbeeld algenkweek toegevoegd. We zijn hier uitgegaan van kweek van de inheemse soorten platte oester en mossel volgens de gangbare methode in hangcultures, waarbij geen additioneel voedsel wordt gebruikt (van den Bogaart *et al.* 2019, Steenberg *et al.* 2023). Aanvoer van kweekmateriaal van elders vormt een risico op het introduceren van niet-inheemse soorten of verspreiding van pathogenen en parasieten.

Kweekinstallaties kunnen ook een 'stepping stone' zijn voor de introductie en verspreiding van niet-inheemse soorten. De grootschalige introductie van hard substraat, in aanvulling op het substraat dat al gevormd wordt door de windmolens en de steenbestortingen rond de voet van de windmolens, biedt ook een habitat voor flora en fauna, waaronder mogelijk ook niet-inheemse soorten. De onderlinge afstanden en de ligging en ruimtelijke verspreiding ten opzichte van de resterende waterbeweging in de Noordzee bepalen waarschijnlijk hoe groot het risico is op verdere verspreiding van niet-inheemse soorten.

Kweekinstallaties zijn waarschijnlijk een bron van afval door verlies van materiaal dat in de kweek gebruikt wordt. Hoe groot dit effect is zal sterk afhangen van het type materiaal dat gebruikt wordt en de werkwijze.

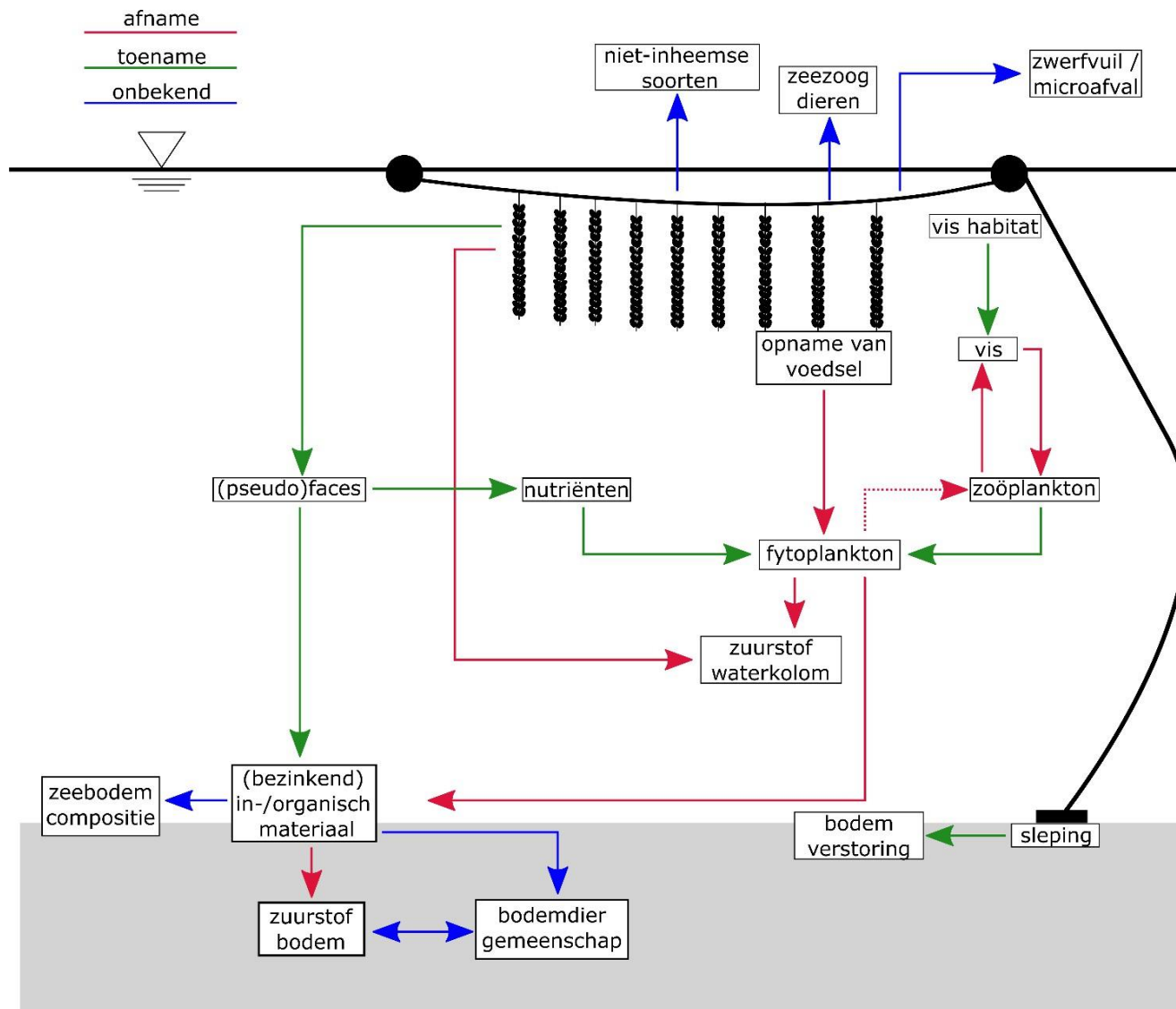
4.2.2 Kwalitatieve inschatting van de effecten in relatie tot de doelen van de KRM

In de voorgaande paragraaf is een overzicht gegeven van de mogelijke effecten van schelpdierkweek. In Tabel 4-2 zijn deze effecten vervolgens zoveel mogelijk vertaald naar de descriptoren en bijbehorende indicatoren van de KRM. Verder geeft Tabel 4-2 een kwalitatieve inschatting van het risico van schelpdierkweek als vorm van medegebruik op de KRM descriptoren. Deze inschatting is met behulp van de criteria beschreven in §2.3 ingevuld. Tevens is een inschatting gegeven van de mate van onzekerheid als gevolg van kennisleemtes.

Evenals bij zeewierkweek, kan aantrekkende werking op zeezoogdieren, vissen en vogels door schelpdierkweek een groot deel van het jaar optreden en zowel positieve als negatieve effecten op de populatie hebben, maar naar inschatting zijn de effecten gering en alleen op lokale schaal. Het effect op pelagische habitats, fytoplanktonconcentraties en -productie als gevolg van begrazing kan op relatief grote ruimtelijke schaal en een groot deel van het jaar doorwerken en ook voedselweb-effecten hebben. Introducties van niet-inheemse soorten, pathogenen en parasieten vinden waarschijnlijk niet vaak plaats maar hebben potentieel grote ecologische effecten op een groot deel van de Noordzee. De verankering van kweekinstallaties heeft naar inschatting een groot effect op de zeebodem, maar dit effect is zeer lokaal. Kennis over inktvis en mogelijke effecten van medegebruik ontbreekt.

De kweekinstallatie kan een bron zijn van zwerfvuil en micro-afval wat op grote ruimtelijke schaal en op meerdere trofische niveaus effecten zou kunnen hebben. We verwachten dat de kweekinstallatie een meer constante bron is van micro-afval en meer incidenteel van groter zwerfvuil.

Onzekerheid over de effecten door leemtes in kennis is het grootst voor wat betreft introducties van soorten en de risico's van verspreiding van zwerfvuil.



Figuur 4-2 Schematisch overzicht van de belangrijkste effecten van schelpdierkweek.

Tabel 4-2 Overzicht van ingeschatte potentiële effect van schelpdierkweek per KRM descriptor/criterium. Effecten zijn ingeschat op een schaal van 0 (geen/verwaarloosbaar effect) tot 4 (groot effect) (zie Tabel 2-2). Lege cel: effect onbekend. Zekerheid van kennis over de effecten is ingeschat op een schaal van 0 (zeer goed) tot 4 (nihil).

KRM Descriptor	KRM Criterium	Relevante processen	Effecten Schelpdierkweek					Mate van zekerheid
			Ruimtelijke schaal	Frequentie	Reikwijdte van effect	Ernst van effect	Hersteltijd	
D1 Biodiversiteit: Zeezoogdieren	D1C5 Kwaliteit leefgebied	gebruik installatie als foerageerplaats	0	3	1	1	0	2
D1 Biodiversiteit: Zeevogels	D1C5 Kwaliteit leefgebied	gebruik installatie als rust- en foerageerplaats	0	3	1	1	0	2
D1 Biodiversiteit: Vissen	D1C2 Populatieabundantie	gebruik installatie als habitat	0	3	1	1	0	2
D1 Biodiversiteit: Inktvissen	D1 Biodiversiteit: Inktvissen							4
D1 Biodiversiteit: Pelagische habitats	D1C6 Pelagische habitats	competitie om licht, nutriënten	2	2	3	1	1	1
		introductie microbiele pathogenen, parasieten	3	1	1	3	3	4
D2 Niet-inheemse soorten	D2C1 Aantal introducties van niet-inheemse soorten	stepping stone, meeliften niet-inheemse soorten	4	1	2	3	4	4
D4 Voedselwebben	D4C1 Diversiteit van trofische gilden	filtratie fytoplankton, effecten op zooplankton	2	2	3	3	1	1
	D4C2 Evenwicht tussen trofische gilden	filtratie fytoplankton, effecten op zooplankton	2	2	3	3	1	1
	D4C4 Productiviteit van trofische gilden	verlaging fytoplanktonbiomasa en primaire productie	2	2	3	3	1	1
D5 Eutrofiëring	D5C1 Nutriënten	Lichte verhoging via remineralisatie biodepositie	1	2	2	1	1	1
	D5C2 Chlorofyl-a	verlaging fytoplanktonbiomasa en primaire productie	2	2	3	3	1	1
	D5C5 Zuurstof nabij de zeebodem	verlaging door bezinking biodepositie	1	2	3	3	2	1
D6 Zeebodemintegriteit	D6C1 Fysiek verlies van de zeebodem	invloed van verankering	0	4	2	4	2	1
	D6C2 Verstoring van de zeebodem	invloed van verankering	0	4	2	4	2	1
	D6C4 Fysiek verlies van habitats	invloed van verankering	0	4	2	4	2	1
	D6C5 (Aantasting) kwaliteit habitats	negatief effect van bezinking biodepositie	1	2	3	3	2	1
D7 Hydrografische eigenschappen	D7C1 Omvang permanente verandering in hydrografie	niet van toepassing in geschikte gebieden	0	0	0	0	0	1
	D7C2 Aangetaste habitats door permanente verandering in hydrografie	niet van toepassing in geschikte gebieden	0	0	0	0	0	1
D8 Verontreinigende stoffen	D8C1 Verontreinigende stoffen in water, sediment en biota	verontreiniging door uitloging materialen	2	1	2	1	1	3
	D8C2 Effecten van verontreinigingen	verontreiniging door uitloging materialen	2	1	2	1	1	3
D10 Zwerfvuil	D10C1 Zwerfvuil kust en zeebodem	zwerfvuil van kweekinstallatie	3	2	3	2	2	3
	D10C2 Microafval	microafval van kweekinstallatie	3	4	3	2	2	3
	D10C3 (Micro)afval in zeedieren	microafval van kweekinstallatie	3	4	3	2	2	3

4.2.3 Kwantificering van effecten

In het rapport van van den Bogaart *et al.* (2020) is ook een berekening gemaakt van de potentiële mogelijkheden voor mosselkweek. Uitgaande van maximaal 25% bezetting van het oppervlak van windparken met mosselkweek en een schatting van de omzetting van primaire productie naar mosselproductie met een efficiëntie van 10% (Herman *et al.* 1999), komen van den Bogaart *et al.* (2020) op een maximale productie van 50-100 ton drooggewicht per km², bij een primaire productie die varieert tussen 200-400 g C m², afhankelijk van de locatie. Uit de berekening volgt dat bij die maximale productie 25% van de primaire productie in een windpark zou worden opgebruikt voor de productie van mosselen. Het totaal beschikbare areaal geschikt voor mosselkweek is geschat op 758 km² (Tabel 10 in van den Bogaart *et al.* 2020) wat overeenkomt met ca. 1% van het totale oppervlak.

Op de schaal van de EEZ zijn de effecten van mosselkweek mogelijk beperkt. Echter, op een kleinere schaal kan mogelijk wel depletie van fytoplankton en verlaging van primaire productie optreden. In het EU project FutureMARES is met een gekoppeld hydrodynamisch/ecologisch model een aantal scenario's berekend met zeewierkweek, mosselkweek en een combinatie van zeewier- en mosselkweek (Shin & van Duren 2023). In de scenario's is gerekend met mosselkweek in alle windparken die tot 2030 in gebruik komen in de zuidelijke Noordzee (Borssele, Hollandse kust, IJmuiden Ver, Nederwiek). In deze schatting was gerekend met mosselkweek met een totaal oppervlak van 145 km², verdeeld over de windparken, met een opbrengst van ca. 1 kg drooggewicht per m² aan het eind van een kweekcyclus. Onder die condities leidde mosselkweek tot een sterke afname van chlorofylconcentraties in het groeiseizoen in de nabijheid van de windparken voor de Hollandse kust. Op grotere afstand van de windparken is het effect gering. De combinatie van zeewier- en mosselkweek leidt, door competitie om nutriënten tussen zeewier en fytoplankton en door begrazing van fytoplankton door mosselen, tot sterke afname van chlorofylconcentraties die optreedt over grote afstand benedenstrooms, tot in het gebied ten noorden van de Waddeneilanden.

4.2.4 Kennisleemtes

De grootste onzekerheden in kennis hebben betrekking op de introductie van niet-inheemse soorten, pathogenen of parasieten. De risico's op verspreiding van zwerfvuil en microafval zijn op dit moment niet goed gekend. Het effect van aantrekkende werking van de kweekinstallatie op hogere trofische niveaus is een belangrijke kennisleemte.

Kennis over de effecten van schelpdierkweek op nutriëntenconcentraties en effecten op fytoplankton is goed beschikbaar, maar aan andere aspecten is nog weinig aandacht besteed. Modelkennis om de fysische effecten van de kweekinstallaties in te schatten is in principe beschikbaar. Een pilot met schelpdierkweek in de Noordzee gaat van start in windpark Borssele.

5 Zon op zee

Bij het medegebruik van windparken voor de opwekking van zonne-energie, wordt gedacht aan zonnepanelen die ofwel zelf drijven op het water ofwel op drijvers geïnstalleerd worden. De techniek is nog in ontwikkeling en er lopen op dit moment pilots met de toepassing van zonne-energie op zee (SolarDuck² en Oceans of Energy³).

Op dit moment wordt uitgegaan van een te onderzoeken ambitie voor 3 GWp wat overeenkomt met 15-30 km². Per windpark lijkt gebruik van 10-15% van het totale oppervlak voor zonne-energie het maximum, rekening houdend met de capaciteit van de energie-infrastructuur van het windpark (Ruben Prins, Min EZK, pers.med.)

Voor zon op zee zijn in principe alle nieuwere windparken (d.w.z. alle windparken die vanaf 2021 in gebruik genomen zijn of worden) geschikt, ook de parken in het noordelijk deel van de Nederlandse Noordzee, waar in de zomer stratificatie optreedt. De effecten van zon op zee op de hydrodynamica in gestratificeerde gebieden zijn daarom van belang.

5.1 Effecten op het ecosysteem

Voor de toepassing van zonnepanelen in windparken zijn de technieken nog in ontwikkeling. Gebruik van zonnepanelen in binnenwateren is al verder ontwikkeld en in een literatuurreview beschreven (Dionisio Pires & Loos 2020). In eerste instantie kunnen ervaringen in binnenwateren wel worden gebruikt om effecten van zonnepanelen in windparken te bepalen. De kanttekening daarbij is dat effecten die op binnenwater kunnen optreden of verwacht worden, anders zullen zijn dan de effecten op zee, vanwege het feit dat het bij toepassingen op binnenwateren veelal gaat om ondiepere, kleinere en stagnante watersystemen. De relatieve effecten zullen daarom in de binnenwateren groter zijn dan bij toepassing op de Noordzee.

Schneider *et al.* (2023) hebben recent een review over de effecten van zonnepanelen offshore gepubliceerd. Offshore zullen de effecten van zonnepanelen erg afhankelijk zijn van de schaalgrootte. Verder zal de gebruikte techniek in zekere mate bepalen wat de mogelijke effecten zijn. Zonnepanelen die op drijvers worden geïnstalleerd en op afstand van het wateroppervlak worden gemonteerd, hebben deels andere effecten dan op het water drijvende zonnepanelen. Zonnepanelen die horizontaal worden geplaatst verschillen deels in effecten van zonnepanelen die in een schuine hoek worden geplaatst.

Omdat zon op zee nog volop in ontwikkeling is, is er nog weinig kennis opgedaan en zijn er nog veel kennisleemtes. Figuur 5-1 visualiseert de effecten van zonnepanelen op het mariene ecosysteem. De gekleurde pijlen geven aan of er een toename (rood) of een afname (groen) te verwachten is. Als het effect nog niet bekend is, is de pijl blauw gekleurd. Dus de blauwe pijlen geven de belangrijkste kennisleemtes aan.

Een belangrijk effect van zon op zee is het verminderen of blokkeren van windwerking en waterstromen, verlaging van zonne-instraling en van de uitwisseling tussen de atmosfeer en de waterkolom. De veranderingen in wind en golven hebben effect op de turbulentie en menging van de waterkolom en mogelijk ook op resuspensie en bezinking van slib. De hydrodynamische veranderingen kunnen effect hebben op stratificatie in de waterkolom, afhankelijk van de condities (gemengde waterkolom of gestratificeerde waterkolom) ter plaatse. Een direct effect van drijvende zonnepanelen is schaduwwerking, wat de beschikbaarheid van licht voor fytoplankton vermindert en daardoor de primaire productie lokaal negatief beïnvloedt (Karpouzoglou *et al.* 2020). Omdat licht een belangrijke bepalende

<https://solarduck.tech/offshore-pilot-merganser-to-be-tested-at-north-sea-farmers-offshore-test-site/>

³ <https://oceansofenergy.blue/>

factor is voor de primaire productie, is het negatieve effect waarschijnlijk evenredig aan het geïnstalleerde oppervlak aan zonnepanelen. Schaduwwerking kan ook het temperatuurklimaat beïnvloeden en leiden tot lagere temperaturen in de waterkolom bij zonnepanelen die niet direct op het water drijven, wat weer invloed op stratificatie zou kunnen hebben. Anderzijds kunnen op het water drijvende zonnepanelen warmte afgeven aan het water en daarmee de watertemperatuur verhogen.

De zonnepanelen kunnen door een afdekkende werking vis aantrekken (bijv. vanwege bescherming tegen predatie door vogels) maar kunnen ook een aantrekkende werking op vogels en zeezoogdieren hebben. Dit zou kunnen doorwerken op de lagere trofische niveaus zoals zoöplankton/fytoplankton en in het geval van zeezoogdieren ook op vissen. Bij grote aantallen vogels kunnen de panelen vervuild raken met vogelpoep. Dit kan extra schoonmaak en inzet van middelen betekenen, maar kan ook leiden tot lokale bemesting van de waterkolom wat de groei van fytoplankton zou kunnen bevorderen.

Verder bieden zon op zee installaties substraat voor aangroei van flora en fauna, waaronder niet-inheemse soorten. Die aangroei kan invloed hebben op de lagere trofische niveaus, door begrazing van fytoplankton en zoöplankton. Bij hoge biomassa is mogelijk ook opname van zuurstof door die aangroei van invloed op de zuurstofconcentraties in de waterkolom.

Bezinking van, door de aangroei, geproduceerde feces en pseudofeces leidt tot een hogere aanvoer van organisch materiaal naar de bodem en kan leiden tot een hogere zuurstofvraag als gevolg van afbraakprocessen met negatieve effecten op de kwaliteit van de bodemdiergemeenschap. Het organisch materiaal kan ook dienen als voedsel voor de bodemdiergemeenschap met effecten op de samenstelling van die bodemdiergemeenschap. Die samenstelling kan ook veranderen door losgeraakte aangroei die naar de bodem valt. Die veranderingen in de bodemdiergemeenschap, waaronder vorming van schelpdierbanken op de zeebodem kan worden gezien als verrijking van de zeebodemhabitat (Gentry *et al.* 2020, Bridger *et al.* 2022, Sean *et al.* 2022). Tegelijkertijd heeft de verankering van de installaties met zonnepanelen effecten als uitschuring van de bodem met mogelijke effecten op de bodemgemeenschap in de directe omgeving. Verder is het niet uitgesloten dat de zon op zee installaties ook een bron van zwerfafval en microafval zouden kunnen zijn.

Interacties tussen alle bovengenoemde effecten zijn met de huidige kennis niet in te schatten. Interacties kunnen zowel tot afname van componenten van het voedselweb als tot toename leiden. Voor veel van de hierboven beschreven mogelijke effecten geldt ook, dat er deels een overlap is met effecten die ook al door windparken zelf worden veroorzaakt en er dus sprake kan zijn van cumulatieve effecten.

5.2 Kwalitatieve inschatting van de effecten in relatie tot de doelen van de KRM

In Tabel 5-1 zijn de effecten van zon op zee zoveel mogelijk vertaald naar de descriptoren en bijbehorende indicatoren van de KRM. Verder geeft de tabel een kwalitatieve inschatting van het risico van zon op zee als vorm van medegebruik op de KRM descriptoren. Deze inschatting is met behulp van de criteria beschreven in §2.3 ingevuld. Tevens is een inschatting gegeven van de mate van onzekerheid als gevolg van kennisleemtes.

Het grote oppervlak van de installatie kan belemmerend werken op stromingen, golfwerking en menging en dit kan zeker in gestratificeerde gebieden een groot effect hebben. Dit effect op hydrodynamica zou ook kunnen doorwerken op lagere trofische niveaus. Verder kan vermindering van instraling van zonlicht effect hebben op pelagische habitats, fytoplanktonconcentraties en -productie op relatief grote ruimtelijke schaal. Dit effect kan doorwerken op het voedselweb en zou een groot deel van het jaar kunnen optreden.

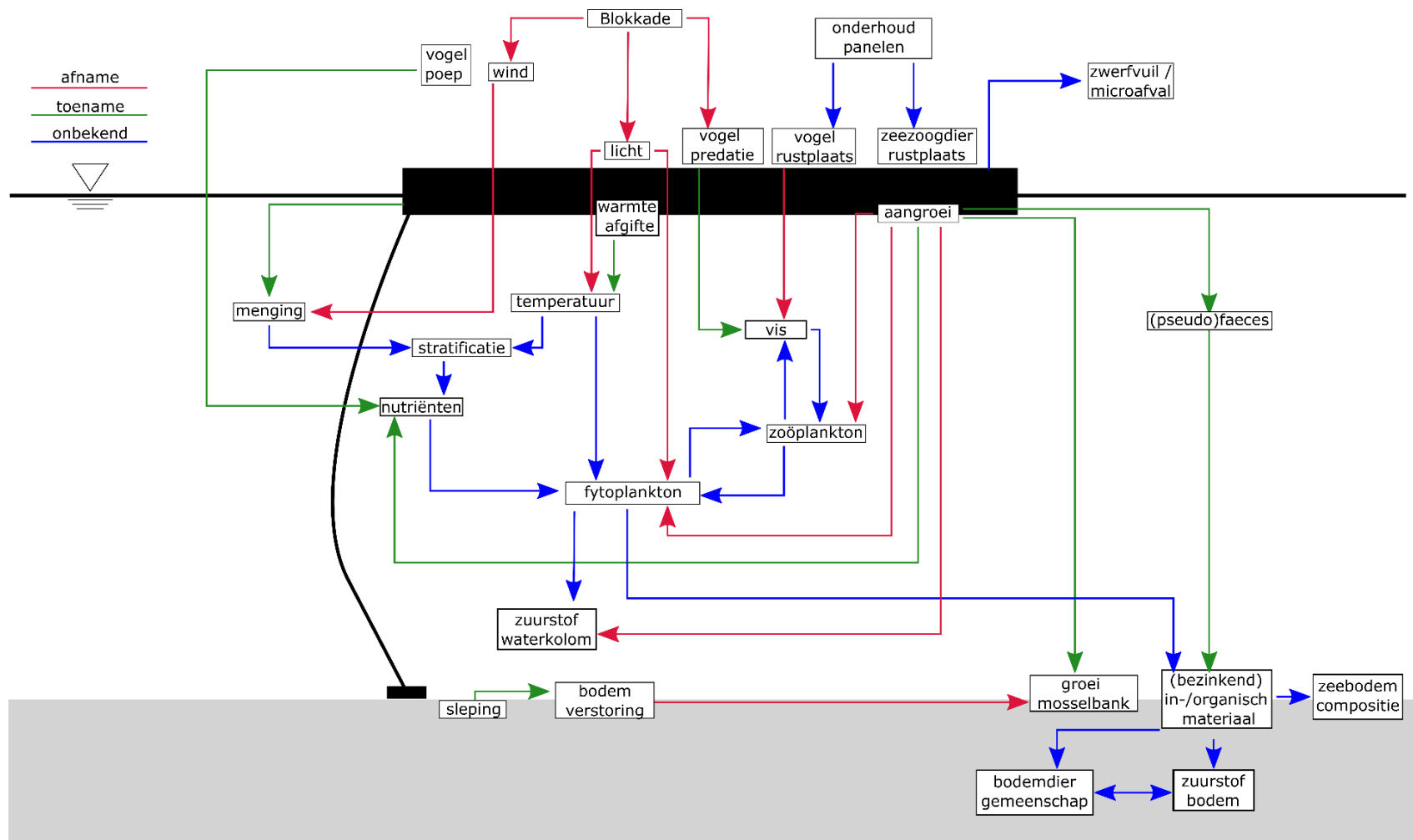
Kennis over inktvis en mogelijke effecten van medegebruik ontbreekt.

Evenals bij zeewier- en schelpdierkweek, kan aantrekkende werking op zeezoogdieren, vissen en vogels door de zon op zee installatie een groot deel van het jaar optreden en zowel positieve als negatieve effecten op de populatie hebben. Ook hier schatten we in dat de effecten gering zijn en alleen op lokale schaal optreden. Installaties voor zonne-energie bieden

veel aangroeioppervlak en kunnen verspreiding van niet-inheemse soorten bevorderen, wat potentieel grote ecologische effecten heeft op een groot deel van de Noordzee. De verankering van kweekinstallaties heeft naar inschatting een groot effect op de zeebodem, maar dit effect is zeer lokaal.

De installatie kan een bron zijn van zwerfvuil en micro-afval wat op grote ruimtelijke schaal en op meerdere trofische niveaus effecten zou kunnen hebben. We verwachten dat er sprake zal zijn van een meer constante bron van micro-afval en meer incidenteel van groter zwerfvuil. Mogelijk zijn de installaties ook een bron van verontreinigingen door uitloging en lekkage van de zonnepanelen.

Onzekerheid over de effecten door leemtes in kennis is groot voor veel van bovengenoemde aspecten, ook doordat er nog nauwelijks ervaring met de toepassing op grotere schaal op zee is opgedaan.



Figuur 5-1 Schematisch overzicht van de belangrijkste effecten van zon op zee.

Tabel 5-1 Overzicht van ingeschatte potentiële effect van zon op zee per KRM descriptor/criterium, en de processen die daarbij een rol spelen. Effecten zijn ingeschat op een schaal van 0 (geen/verwaarloosbaar effect) tot 4 (groot effect) (zie Tabel 2-2). Lege cel: effect onbekend. Zekerheid van kennis over de effecten is ingeschat op een schaal van 0 (zeer goed) tot 4 (nihil).

KRM Descriptor	KRM Criterium	Belangrijkste processen	Effecten Zon op Zee					Mate van zekerheid
			Ruimtelijke schaal	Frequentie	Reikwijdte van effect	Ernst van effect	Hersteltijd	
D1 Biodiversiteit: Zeezoogdieren	D1C5 Kwaliteit leefgebied	gebruik installatie als rust- en foerageerplaats	0	4	1	1	0	3
D1 Biodiversiteit: Zeevogels	D1C5 Kwaliteit leefgebied	gebruik installatie als rust- en foerageerplaats	0	4	1	1	0	3
D1 Biodiversiteit: Vissen	D1C2 Populatieabundantie	gebruik installatie als schuil- en foerageerplaats	0	4	1	1	0	3
D1 Biodiversiteit: Inktvissen	D1 Biodiversiteit: Inktvissen							4
D1 Biodiversiteit: Pelagische habitats	D1C6 Pelagische habitats	Blokkade van lichtinstraling	3	4	3	3	1	4
D2 Niet-inheemse soorten	D2C1 Aantal introducties van niet-inheemse soorten	Aangroeimogelijkheid, stepping stone	4	4	3	3	4	3
D4 Voedselwebben	D4C1 Diversiteit van trofische gilden	Aangroei, Blokkade lichtinstraling	3	4	3	3	1	4
	D4C2 Evenwicht tussen trofische gilden	Aangroei, Blokkade lichtinstraling	3	4	3	3	1	4
	D4C4 Productiviteit van trofische gilden	Blokkade lichtinstraling	3	4	3	3	1	4
D5 Eutrofiëring	D5C1 Nutriënten	Vogelpoep	1	3	2	1	0	4
	D5C2 Chlorofyl-a	Blokkade lichtinstraling	3	4	3	3	1	4
	D5C5 Zuurstof nabij de zeebodem	Sedimentatie organisch materiaal	2	2	3	3	2	4
D6 Zeebodemintegriteit	D6C1 Fysiek verlies van de zeebodem	Effect verankering	1	4	2	4	2	1
	D6C2 Verstoring van de zeebodem	Verandering erosie, sedimentatie	1	4	2	4	2	1
	D6C4 Fysiek verlies van habitats	Verandering erosie, sedimentatie	1	4	2	4	2	1
	D6C5 (Aantasting) kwaliteit habitats	Verandering erosie, sedimentatie	1	4	2	4	2	1
D7 Hydrografische eigenschappen	D7C1 Omvang permanente verandering in hydrografie	Blokkade wind- en golfinvloed, effect op stratificatie, temperatuur	3	4	3	3	1	4
	D7C2 Aangetaste habitats door permanente verandering in hydrografie	Blokkade wind- en golfinvloed, effect op stratificatie, temperatuur	3	4	3	3	1	4
D8 Verontreinigende stoffen	D8C1 Verontreinigende stoffen in water, sediment en biota	Uitloging, lekkage panelen	2	1	2	2	1	3
	D8C2 Effecten van verontreinigingen	Uitloging, lekkage panelen	2	1	2	2	1	3
D10 Zwerfvuil	D10C1 Zwerfvuil kust en zeebodem	Verlies materialen	3	2	3	2	2	3
	D10C2 Microafval	Verlies materialen	3	4	3	2	2	3
	D10C3 (Micro)afval in zeedieren	Verlies materialen	3	4	3	2	2	3

5.3 wantificering van effecten

Bij gebrek aan gegevens is een kwantitatieve inschatting van effecten op dit moment nog erg lastig. Een eerste inschatting van de effecten op het lichtklimaat in de Noordzee kan gemaakt worden op basis van een aantal aannames: bij een oppervlak van 15% per windpark bezet met zonnepanelen en het totale oppervlak van de huidige en op langere termijn geplande windparken kom je op vele honderden km², wat ongeveer 1% van het Nederlands deel van de Noordzee zou kunnen zijn. Beoordeeld op die schaal is het niet waarschijnlijk dat er spraken zal zijn van een belangrijk effect. Op kleinere ruimtelijke schaal zal het effect groter zijn en is er mogelijk een invloed op de primaire productie, niet alleen op de locatie van het zonnepark maar ook op een groter gebied daaromheen als gevolg van de waterbeweging. Om beter te kunnen inschatten tot hoever het effect van schaduwwerking reikt zijn berekeningen met een 3-dimensionaal hydrodynamisch-ecologisch model nodig. Op basis van een eerste verkenning (met een waterkolom model, dus zonder waterbeweging) komen Karpouzoglou *et al.* (2020) tot een inschatting van de grens waarbij de effecten op primaire productie beperkt blijven: de bedekking met zonnepanelen zou niet groter zou moeten zijn dan 20%, over een lengte gelijk aan de afstand waarover het water getransporteerd wordt door het getij (de 'tidal excursion'). Die transportafstand hangt af van de locatie en kan variëren van enkele tot meer dan 10 kilometer.

Er is onderzoek gedaan naar mogelijke uitloging van materialen (o.a. metalen) vanuit zonnepanelen. Die effecten lijken gering, zelfs bij toepassing in kleinere binnenlandse watersystemen (Mathijssen *et al.* 2020).

5.4 Kennisleemtes

Voor zon op zee is één van de grootste kennisleemtes, wat de effecten van de installaties op de hydrografische eigenschappen zullen zijn, zowel in het goed gemengde zuidelijk deel als in de 's zomers gestratificeerde centrale Noordzee. Daarbij is ook de vraag hoe deze effecten doorwerken op de lagere trofische niveaus via effecten op nutriënten en primaire productie. Ook het gecombineerde effect van schaduwwerking en veranderingen in de hydrodynamiek op fytoplankton groei is nog niet goed onderzocht. De grote vraag is ook wat het effect van de installaties is op biodiversiteit en voedselweb, doordat er potentieel een groot oppervlak voor aangroei ontstaat en de installaties een aantrekkende of versturende werking op zeezoogdieren, vissen, vogels (rust- en foerageerplaats, verlies van habitat).

6 Slotbeschouwing

Het doel van dit rapport is een antwoord te geven op de volgende vragen:

1. Welke (model)onderzoeken zijn uitgevoerd naar ecologische draagkracht in relatie tot medegebruik?
2. Is met behulp van deze onderzoeken een eerste indicatie van (de bandbreedte van) de ecologische begrenzing te berekenen (in volume/oppervlakte)?
3. Welke kennisleemtes zijn beperkend om de ecologische begrenzing scherper te krijgen? En met welk onderzoek kunnen deze kennisleemtes worden opgelost?

Voor beantwoording van de eerste vraag, is een overzicht gemaakt van de huidige kennis over de effecten van de verschillende vormen van medegebruik.

Om de tweede vraag te kunnen beantwoorden, is het niet alleen nodig om die effecten te kunnen kwantificeren, maar is het ook nodig dat er een goed gedefinieerd doel is waaraan de effecten getoetst kunnen worden. De kennisleemtes zijn geïnventariseerd via een overzicht van lopende en geplande onderzoeksprojecten.

6.1 Kennis over effecten van medegebruik

We hebben een overzicht gemaakt van de kennis over de effecten van zeewierkweek, schelpdierkweek en zon op zee op het mariene ecosysteem, toegespitst op het Nederlandse deel van de Noordzee. Er zijn diverse publicaties en rapporten beschikbaar waarin die effecten beschreven worden. Die effectbeschrijvingen zijn voornamelijk gebaseerd op expert judgement en modeltoepassingen voor een aantal specifieke gevolgen van deze vormen van medegebruik. Er zijn nog vrijwel geen data beschikbaar uit monitoring of onderzoek, omdat op dit moment medegebruik nog niet in praktijk is gebracht en er alleen pilots zijn opgestart. Bijlage B geeft een overzicht van lopende onderzoeksprojecten en van projecten die in de opstartfase zitten waarin medegebruik aan de orde komt. De projecten die in Bijlage B worden beschreven richten zich ofwel alleen op de Nederlandse situatie of betreffen bredere onderzoeksprojecten waarin ook onderzoek wordt gedaan in het Nederlands deel van de Noordzee. In de projecten komen veel aspecten van medegebruik aan de orde, maar in ieder geval deels ook de ecologische effecten van medegebruik. In veel gevallen zijn het langlopende projecten waarvan meer resultaten pas de komende jaren beschikbaar zullen komen. Welke ecologische effecten van medegebruik precies zullen worden onderzocht is voor veel van deze projecten nog niet duidelijk geformuleerd, waardoor het onbekend is in hoeverre kennisleemtes die in de voorgaande hoofdstukken zijn beschreven, worden meegenomen.

De nu beschikbare inschattingen over mogelijke kwantitatieve effecten van medegebruik, zoals zeewier- en mosselkweek, zijn gebaseerd op modelberekeningen en betreffen tot nu toe vooral de effecten op de beschikbaarheid van nutriënten en effecten op fytoplanktongroei. Vooral voor zon op zee zijn de kennisleemtes nog groot, maar ook voor zeewier- en mosselkweek zijn er nog grote kennisleemtes als het gaat om bijvoorbeeld:

- Effecten op hydrodynamiek en fysische omstandigheden (hier vooral bij zon op zee)
- Effecten op soortensamenstelling van de lagere trofische niveaus in het voedselweb
- Effecten op productie van de hogere trofische niveaus en betekenis voor het voedselweb
- Effecten op gedrag van vogels, vissen en zeezoogdieren en effecten op de populaties
- Effecten op introducties en verspreiding van nieuwe en niet-inheemse soorten of genetisch afwijkende stammen (bij zeewier)
- Effecten op zwerfvuil, microafval en verontreinigingen

Naast de kennis van deze effectketens, ontbreekt het aan inzicht in de cumulatieve effecten van verschillende vormen van medegebruik, de cumulatie met effecten van de windparken en de cumulatie met andere menselijke activiteiten.

De verschillende vormen van medegebruik zullen waarschijnlijk een uiteenlopende ruimtelijke verdeling hebben. Kweek van zeewier en schelpdieren zal zich concentreren in de productieve en voedselrijke kustzone van de zuidelijke Noordzee. Voor zon op zee is de locatie minder van belang en deze toepassing kan zowel in de goed gemengde zuidelijke Noordzee als in de 's zomers gestratificeerde centrale Noordzee voorkomen. Dit betekent dat zowel voor de individuele effecten van medegebruik als voor de cumulatieve effecten de verschillende delen van de Noordzee onderscheiden zullen moeten worden en keuzes voor een ruimtelijke verdeling van de verschillende vormen van medegebruik ook van invloed kunnen zijn op de uiteindelijke effecten.

6.2 Kwantificering van de effecten van medegebruik

Een kwantitatieve inschatting van de effecten van zeewier- en schelpdierkweek is tot nu toe beperkt gebleven tot een aantal processen, zoals de nutriëntenkringloop en productie van fytoplankton, op basis van ecosysteemmodellen. Bij gebrek aan kennis over de werkelijke toepassingen in de praktijk, zijn aannames gedaan over de omvang van het medegebruik. Uit de nu uitgevoerde studies komen aanwijzingen dat zeewier- en mosselkweek duidelijke effecten kunnen hebben op nutriëntenbeschikbaarheid en biomassa en productie van fytoplankton, wat potentieel door kan werken op hogere trofische niveaus.

Voor zeewierkweek zijn berekeningen gemaakt van het effect van zeewierkweek bij verschillende omvang van de kweek en toepassing in verschillende locaties. Uit die berekening bleek een duidelijk effect (verlaging van de primaire productie van meer dan 5% over een oppervlak van meer dan 2500 km²) bij zeewierkweek op een oppervlak van 87 km² in windpark Borssele (§4.1.3). Hoe dit effect beoordeeld moet worden is een andere vraag. Voor wat betreft eutrofiëring, voldoet de milieutoestand van delen van de Nederlandse Noordzee nog niet door overschrijding van de normen van de KRM voor nutriënten en chlorofyl (OSPAR 2023). Verlaging van nutriënten- en chlorofylconcentraties als gevolg van zeewierkweek zou voor de descriptor D5 Eutrofiëring dus positieve effecten kunnen hebben. Tegelijkertijd kan echter verlaging van de primaire productie negatieve effecten hebben op andere KRM descriptorren als D1 Biodiversiteit of D4 Voedselwebben.

Voor mosselkweek geven vergelijkbare berekeningen aan dat het effect op fytoplankton, bij mosselkweek over een oppervlak van 145 km² en verdeeld over meerdere winparken voor de Hollandse kust, kleiner is dan het effect van zeewierkweek.

Voor zon op zee ontbreekt het nog geheel aan doorrekening van mogelijke scenario's van toepassing en de effecten.

6.3 Toetsing van de effecten van medegebruik

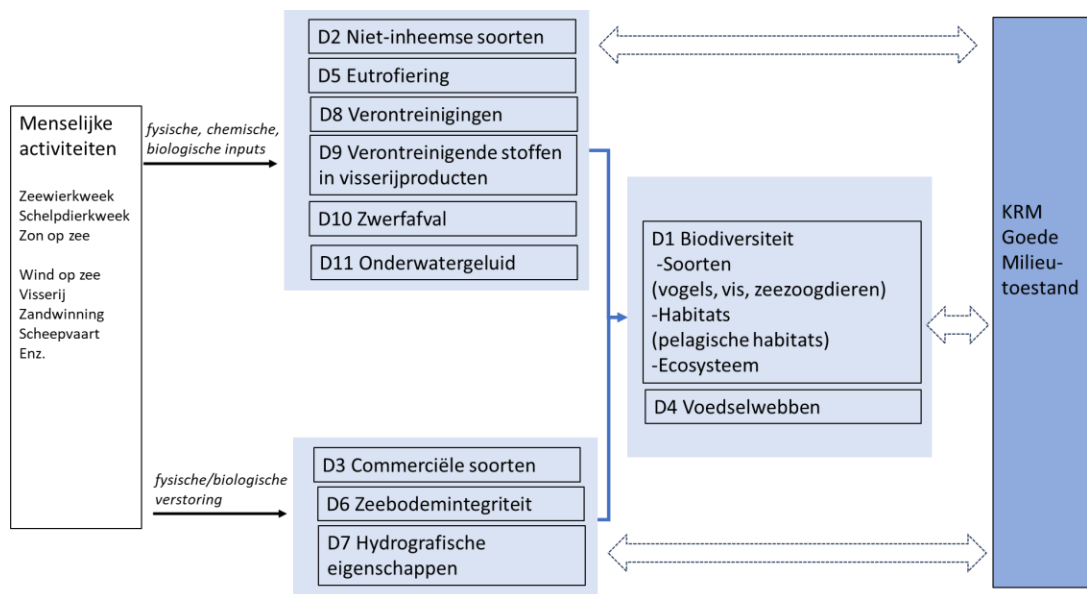
Toetsing van de gevolgen van medegebruik voor het ecosysteem vraagt om inzicht in enerzijds de drukfactoren die het gevolg zijn van medegebruik en de effecten daarvan op de ecologie, en anderzijds in de ecologische doelen die voortvloeien uit het huidige beleid. Figuur 6-1 laat dit schematisch zien.

De Kaderrichtlijn Mariene Strategie heeft als doel de Goede Milieutoestand (GMT) te halen. Die GMT wordt bepaald door de staat van 11 descriptorren met daarbij behorende indicatoren. Een groep van descriptorren wordt vooral beïnvloed door drukfactoren die leiden tot fysische, chemische of biologische toevoer van energie, stoffen of soorten. Een andere groep van descriptorren wordt vooral beïnvloed door fysieke of biologische verstoring. De descriptorren Biodiversiteit en Voedselwebben zijn meer overkoepelend maar kunnen ook direct beïnvloed worden door verstoring. Omdat er nog niet voor alle descriptorren goed uitgewerkte indicatoren zijn en niet alle indicatoren een toetswaarde hebben, is de GMT nog niet eenvoudig direct toepasbaar als toetskader voor menselijke activiteiten.

In de huidige beoordeling voor de KRM is voor vrijwel alle descriptors en indicatoren de conclusie dat de toestand in het Nederlandse deel van de Noordzee niet voldoet aan de goede milieutoestand (OSPAR 2023, concept Actualisatie Mariene Strategie deel I). Daaruit zou geconcludeerd kunnen worden dat er alleen ruimte is voor menselijke activiteiten die geen negatief effect hebben op de KRM doelen. Om dat te kunnen beoordelen is kennis van die effecten noodzakelijk. Voor wat betreft die menselijke activiteiten, is in veel gevallen de kennis van oorzaak-effect relaties, die de effectketen activiteit → menselijke druk → respons van indicator beschrijven, onvoldoende te kwantificeren. Dat geldt zeker voor de cumulatie van effecten van verschillende activiteiten. Dat gebrek aan kennis maakt het ook lastig om al een goede inschatting te maken van een ecologische begrenzing.

In aanvulling op de beoordeling van effecten per descriptor, ontbreekt het op dit moment ook aan een methodiek om te komen tot een integrale beoordeling van de milieutoestand gebaseerd op alle descriptors samen. Hoe worden de verschillende descriptors tegen elkaar afgewogen? Heeft een meer alomvattende descriptor als D1 Biodiversiteit meer gewicht dan andere descriptors die op een bepaalde menselijke druk gericht zijn? Gaat de beoordeling via one-out-all-out? Hoe weeg je positieve en negatieve effecten tegen elkaar af? Als voorbeeld, als een vorm van medegebruik leidt tot meer biodiversiteit, maar ook meer zwerfvuil en onderwatergeluid, hoe kom je dan tot een gewogen eindoordeel?

Kort samengevat, de beoordeling wanneer de milieutoestand goed is en wanneer een activiteit er toe leidt dat die classificering verandert, is nu nog niet goed te maken. In het project ECOAMARE (zie Bijlage B) en ook in het kader van MONS is de noodzaak van een definitiestudie van het begrip ecologische draagkracht genoemd. In de tussentijd is het van belang om voor de kennisleemtes over drukfactoren en processen die in §6.1 zijn genoemd, vast te gaan stellen welke onderzoeksvragen geformuleerd kunnen worden en welke onderzoeksaanpak daarbij past.



Figuur 6-1 Schematische weergave van de samenhang tussen de 11 descriptors die gezamenlijk de Goede Milieutoestand van de KRM bepalen, en de invloed van menselijke activiteiten op die descriptors.

6.4 Aanbevelingen

In dit rapport is alleen aandacht geschonken aan de doelen die gesteld worden vanuit de KRM als aanknopingspunt voor een ecologische begrenzing van medegebruik. Ook andere wettelijke kaders, zoals de wet Natuurbescherming als uitwerking van de Vogel- en Habitatrichtlijn, moeten meegewogen worden, evenals effecten op aangrenzende gebieden zoals de Waddenzee.

In de vergunningverlening voor windparken is een toetsingskader ontwikkeld dat kijkt naar de cumulatieve effecten van windparken op beschermde natuur (het Kader Ecologie en Cumulatie (KEC), RWS 2019). Die inschatting is echter beperkt tot het cumulatieve effect van verdere uitbreiding van windparken. In het KEC zijn de eisen vanuit de KRM niet verwerkt vanwege het ontbreken van duidelijk toetsbare doelen. Een verdere definitie van de doelen voor het Noordzee ecosysteem en van het begrip draagkracht, die zowel de eisen vanuit de KRM als vanuit Natura 2000 omvat, is daarom noodzakelijk. Daarbij past ook de keuze voor geschikte indicatoren en normen.

Van groot belang is ook de verdere uitwerking van een methodiek voor het vaststellen van cumulatieve effecten, in het bijzonder die van windparken en verschillende vormen van medegebruik in die windparken, maar ook de cumulatie met ander gebruik zal moeten worden beoordeeld.

Voor de inschatting van de effecten van de vormen van medegebruik die in dit rapport aan de orde zijn gekomen (zeewier- en mosselkweek, zon op zee) ontbreekt in veel gevallen nog aan voldoende kennis, zoals beschreven in de voorgaande hoofdstukken. De komende jaren is een aantal nationale en Europese onderzoeksprojecten gepland waarin via verder onderzoek en pilots waarschijnlijk een deel van die kennisleemtes worden ingevuld. In het nu opgestelde overzicht hebben we ons beperkt tot projecten die geheel of gedeeltelijk gericht zijn op het Nederlands deel van de Noordzee. Uiteraard vindt er meer onderzoek plaats, elders in Europa, waarvan geleerd zou kunnen worden. Daarnaast kunnen inzichten uit het onderzoek aan de effecten van wind op zee ook zeer bruikbaar zijn. Een andere belangrijke kanttekening is dat in het kader van dit project er onvoldoende tijd was voor een uitgebreid literatuuronderzoek, dat in ieder geval deels zou kunnen helpen bij het beantwoorden van kennisleemtes.

We hebben via een kwalitatieve inschatting van de grootste effecten en risico's van medegebruik en van de onzekerheid in kennis een voorzet gedaan voor prioritering van de belangrijkste kennisleemtes. Die prioritering zou gebruikt moeten worden om verder na te gaan in hoeverre die kennisleemtes in al lopende en geplande onderzoeksprojecten aan de orde komen. Vervolgens moet een selectie worden gemaakt van de ecologische aspecten die de hoogste prioriteit van onderzoek zijn. Dit laatste kan gebaseerd worden op de descriptorren van de KRM, aangevuld met Natura 2000 soorten of habitats.

7 Referenties

- Asjes, J., H. Merkus, O.G. Bos, J. Steenbergen, S. Stuijzand, I. van Splunder, T. van Kooten, S. Rivero and G.A.J. Vis, Eds. (2021). *Monitoring en Onderzoek Natuurversterking en Soortenbescherming (MONS)*, Noordzeeoverleg - Overlegorgaan Fysieke Leefomgeving.
- Boon, A.R., S. Caires, I.L. Wijnant, R. Verzijlbergh, F. Zijl, J.J. Schouten, S. Muis, T. van Kessel, L. van Duren and T. van Kooten (2018). Assessment of system effects of large-scale implementation of offshore wind in the southern North Sea. Delft, Deltares, 11202792-002-ZKS-0006, 61 pp.
- Bridger, D., M.J. Attrill, B.F.R. Davies, L.A. Holmes, A. Cartwright, S.E. Rees, L.M. Cabre and E.V. Sheehan (2022). The restoration potential of offshore mussel farming on degraded seabed habitat. *Aquaculture, Fish and Fisheries* 2: 437-449.
- Campbell, I., A. Macleod, C. Sahlmann, L. Neves, J. Funderud, M. Øverland, A.D. Hughes and M. Stanley (2019). The Environmental Risks Associated With the Development of Seaweed Farming in Europe - Prioritizing Key Knowledge Gaps. *Frontiers in Marine Science* 6.
- Cheney, D., R. Langan, K. Heasman, B. Friedman and J. Davis (2010). Shellfish Culture in the Open Ocean: Lessons Learned for Offshore Expansion. *Marine Technology Society Journal* 44: 55-67.
- Dannheim, J., L. Bergström, S.N.R. Birchenough, R. Brzana, A.R. Boon, J.W.P. Coolen, J.-C. Dauvin, I. De Mesel, J. Derweduwen, A.B. Gill, Z.L. Hutchison, A.C. Jackson, U. Janas, G. Martin, A. Raoux, J. Reubens, L. Rostin, J. Vanaverbeke, T.A. Wilding, D. Wilhelmsson and S. Degraer (2019). Benthic effects of offshore renewables: identification of knowledge gaps and urgently needed research. *ICES Journal of Marine Science* 77: 1092-1108.
- Del Monte-Luna, P., B.W. Brook, M.J. Zetina-Rejón and V.H. Cruz-Escalona (2004). The carrying capacity of ecosystems. *Global Ecology and Biogeography* 13: 485-495.
- Dionisio Pires, M. and S. Loos (2020). Zonnesystemen op water. Delft, Deltares, rapport nr. 11204838-002-ZS-0001 27 pp.
- EC (2017). Commission Decision (EU) 2017/848 laying down criteria and methodological standards on good environmental status of marine waters and specifications and standardised methods for monitoring and assessment, and repealing Decision 2010/477/EU *Official Journal of the European Union* L 125/43.
- Gentry, R.R., H.K. Alleway, M.J. Bishop, C.L. Gillies, T. Waters and R. Jones (2020). Exploring the potential for marine aquaculture to contribute to ecosystem services. *Reviews in Aquaculture* 12: 499-512.
- Halpern, B., K. Selkoe, F. Micheli and C. Kappel (2007). Evaluating and Ranking the Vulnerability of Global Marine Ecosystems to Anthropogenic Threats. *Conservation biology : the journal of the Society for Conservation Biology* 21: 1301-1315.
- Halpern, B.S., S. Walbridge, K.A. Selkoe, C.V. Kappel, F. Micheli, C. D'Agrosa, J.F. Bruno, K.S. Casey, C. Ebert, H.E. Fox, R. Fujita, D. Heinemann, H.S. Lenihan, E.M.P. Madin, M.T. Perry, E.R. Selig, M. Spalding, R. Steneck and R. Watson (2008). A global map of human impact on marine ecosystems. *Science* 319: 948-952.
- Herman, P.M.J., J.J. Middelburg, J. Van de Koppel and C.H.R. Heip (1999). Ecology of estuarine macrobenthos. *Advances in Ecological Research* 29: 195-240.
- ICES (2005). Guidance on the application of the ecosystem approach to management of human activities in the European marine environment. ICES Cooperative Research Report 273, 22 pp.
- lenW (2022). Programma Noordzee 2022 – 2027. Den Haag, maart 2022, 161 pp.
- Jansen, H., L. Tonk, A. van der Werf, I. van der Meer, S. Van Tuinen, S. van der Burg, J. Veen, L. Bronswijk and E. Brouwers (2019). Development of Offshore Seaweed Cultivation: food safety, cultivation, ecology and economy: synthesis report 2018. Yerseke, Wageningen Marine Research, Report C012/19, 17 pp.

- Karpouzoglou, T., B. Vlaswinkel and J. van der Molen (2020). Effects of large-scale floating (solar photovoltaic) platforms on hydrodynamics and primary production in a coastal sea from a water column model. *Ocean Sci.* 16: 195-208.
- Kemper, C., D. Pemberton, M. Cawthorn, S. Heinrich, J. Mann, B. Würsig and P. Shaughnessy (2003). Aquaculture and marine mammals: co-existence or conflict? *Marine mammals: fisheries, tourism and management issues* P. N. Gales, M. Hindell and R. Kirkwood. Melbourne, CSIRO 208-225.
- Kerkhove, T., S. Degraer, M. Rozemeijer, R. Jak, M. Poelman, A. Declercq, N. Nevejan, M. Lago, A. Araujo, A. Ziamba, R. Santjer, E. de Korte, E. Strothotte, L. Ivana and I. Drigkopoulou (2021). Assessment framework to determine ecological feasibility of multi-use platforms. Deliverable 4.2 UNITED, 59 pp.
- Knights, A.M., G.J. Piet, R.H. Jongbloed, J.E. Tamis, L. White, E. Akoglu, L. Boicenco, T. Churilova, O. Kryvenko, V. Fleming-Lehtinen, J.-M. Leppanen, B.S. Galil, F. Goodsir, M. Goren, P. Margonski, S. Moncheva, T. Oguz, K.N. Papadopoulou, O. Setälä, C.J. Smith, K. Stefanova, F. Timofte and L.A. Robinson (2015). An exposure-effect approach for evaluating ecosystem-wide risks from human activities. *ICES Journal of Marine Science* 72: 1105-1115.
- Lansbergen, R. and J. Capelle (2022). Effecten van mosselhangculturen op biodiversiteit, bodemgesteldheid en waterkwaliteit. Yerseke, Wageningen Marine Research, WMR rapport C032/22, 31 pp.
- Mathijssen, D., B. Hofs, E. Spierenburg-Sack, R. van Asperen, B. van der Wal, J. Vreeburg and H. Ketelaars (2020). Potential impact of floating solar panels on water quality in reservoirs; pathogens and leaching. *Water Practice and Technology* 15: 807-811.
- McKindsey, C., P. Archambault, M. Callier and F. Olivier (2013). Influence of suspended and off-bottom mussel culture on the sea bottom and benthic habitats: A review. *Canadian Journal of Zoology* 89: 622-646.
- McKindsey, C.W., H. Thetmeyer, T. Landry and W. Silvert (2006). Review of recent carrying capacity models for bivalve culture and recommendations for research and management. *Aquaculture* 261: 451-462.
- O'Shea, R., A. Collins, C. Howe and (2022). Offshore Multi-use setting: Introducing integrative assessment modelling to alleviate uncertainty of developing Seaweed Aquaculture inside Wind Farms. 8: 100559.
- OSPAR (2023). Quality Status Report 2023. London, OSPAR.
- Rice, J. (2003). Environmental health indicators. *Ocean & Coastal Management* 46: 235-259.
- RWS (2019). Kader Ecologie en Cumulatie; Beschrijving en beoordeling van cumulatieve effecten bij uitvoering van de routekaart windenergie op zee 2030. Den Haag, Rijkswaterstaat Zee en Delta, Versie 3.0, 25 pp.
- Schneider, L., S. Heye and T. Troost (2023). Impact of offshore floating solar on the marine environment Delft, Deltares, Rapport nr 11208338-000-ZKS-0008, 31 pp.
- Sean, A.-S., A. Drouin, P. Archambault and C.W. McKindsey (2022). Influence of an Offshore Mussel Aquaculture Site on the Distribution of Epibenthic Macrofauna in Îles de la Madeleine, Eastern Canada. *Frontiers in Marine Science* 9.
- Shin, Y. and L. van Duren (2023). Projections of the impacts of scenarios of climate change and nature-inclusive harvesting policies on fisheries and aquaculture species. FutureMares Deliverable D4.3.
- Steenbergen, J., R. van Hal, P. Kamermans, R. Nauta, L. Schneider, T. Vallina, S. Heye and L. van Duren (2023). Kansrijke windenergiegebieden voor maricultuur en passieve visserij. IJmuiden, WMR, Deltares, Wageningen Marine Research rapport C015/23, 71 pp.
- Tonk, L. and H.M. Jansen (2019). Notitie: Potentiële effecten van duurzame zeewierproductie op de biodiversiteit in de Noordzee. Yerseke, Wageningen Marine Research, rapport C013/19, 15 pp.
- Tonk, L., H.M. Jansen, M. Poelman, R.W. Nauta, R.G. Jak, J.E. Tamis and R.H. Jongbloed (2021). Development of a framework and toolbox for measuring and evaluating ecosystem interactions of seaweed aquaculture. Wageningen Marine Research, Wageningen University & Research report C069/21, 89 pp.

- van den Bogaart, L., M. Poelman, L. Tonk, S. Neitzel, J.T. van der Wal, J.W.P. Coolen, M. Machiels, M. Rozemeijer, I. de Boois, S. Vergouwen and L. van Duren (2019). Geschiktheid zeewindparken voor maricultuur en passieve visserij : Een kwalitatieve beoordeling van geschiktheid van windparklocaties voor voedselproductie. Wageningen Marine Research rapport C044/19, 76 pp.
- van den Bogaart, L., J.T. van der Wal, L. Tonk, O. Bos, J. Coolen, M. Poelman, S. Vergouwen, L. van Duren, H. Janssen and K. Timmermans (2020). Geschiktheid zeewindparken voor maricultuur en passieve visserij : een kwantitatieve beoordeling van de kansrijkheid van de gebieden voor de potentiële productiviteit van een selectie aan commercieel interessante soorten. Yerseke, WMR, Deltares, NIOZ, Wageningen Marine Research Rapport C127/19A, 68 pp.
- van den Burg, S.W.K., C. Röckmann, J.L. Banach and L. van Hoof (2020). Governing Risks of Multi-Use: Seaweed Aquaculture at Offshore Wind Farms. *Frontiers in Marine Science* 7.
- van der Meer, J., M. Callier, G. Fabi, L. van Hoof, J.R. Nielsen and S. Raicevich (2023). The carrying capacity of the seas and oceans for future sustainable food production: Current scientific knowledge gaps. *Food and Energy Security* 12: e464.
- van Duren, L., M. Poelman, H. Jansen and K. Timmermans (2019). Een realistische kijk op zeewierproductie in de Noordzee. Wageningen Marine Research, Deltares, NIOZ, Memo BO-43-023.03-005, 11 pp.
- van Duren, L.A., F. Zijl, T. van Kessel, V.T.M. van Zelst, L.M. Vilmin, J. van der Meer, G.M. Aarts, J. van der Molen, K. Soetaert and A.W. Minns (2021). Ecosystem effects of large upscaling of offshore wind on the North Sea - Synthesis report. Delft, Deltares, NIOZ, WMR, 11203731-004-ZKS-0010, 42 pp.
- van Leeuwen, S., P. Tett, D. Mills and J. van der Molen (2015). Stratified and nonstratified areas in the North Sea: Long-term variability and biological and policy implications. *Journal of Geophysical Research: Oceans* 120: 4670-4686.
- Vilmin, L. and L. van Duren (2021). Modelling seaweed cultivation on the Dutch continental shelf. Delft, Deltares, 11205769-002-ZKS-0001, 50 pp.
- Visch, W., M. Kononets, P.O.J. Hall, G.M. Nylund and H. Pavia (2020). Environmental impact of kelp (*Saccharina latissima*) aquaculture. *Marine Pollution Bulletin* 155: 110962.
- Ysebaert, T., M. Hart and P.M.J. Herman (2008). Impacts of bottom and suspended cultures of mussels *Mytilus* spp. on the surrounding sedimentary environment and macrobenthic biodiversity. *Helgoland Marine Research* 63: 59-74.
- Zijl, F., S. Laan, L. Leummens, T. Zijlker, T. van Kessel, V. van Zelst, L. Jaksic, L. Vilmin, L. Schneider and L. van Duren (2023). Scenario studies on potential ecosystem effects in future offshore wind farms in the North Sea. Delft, Deltares, Report 11208071-001-ZKS-0010, 84 pp.

A Overzicht van KRM indicatoren

(deel)descriptor	criterium	indicator	drempel- of grenswaarde	meeteenheid
D1 Biodiversiteit: Zeezoogdieren	D1C1 Incidentele bijvangst	M6 Incidentele bijvangst zeezoogdieren	kwantitatief	aantal exemplaren per soort
	D1C2 Populatieabundantie	abundantie en verspreiding cetacea (M4), zeehonden (M3)	kwantitatief	aantal exemplaren per soort, trend
		'Populatie' (HR) bruinvis, gewone zeehond, grijze zeehond	kwantitatief	aantal exemplaren per soort, trend
	D1C3 Demografische kenmerken	Pupproductie grijze zeehond, gewone zeehond	kwantitatief (alleen grijze zeehond)	verandering (%) aantal geboren zeehonden
	D1C4 Verspreidingsgebied	Verspreidingsgebied bruinvis, gewone zeehond, grijze zeehond	kwantitatief	aantal / 15*15 km hokken
	D1C5 Kwaliteit leefgebied	obv Habitat Richtlijn en OSPAR thematic assessment	kwalitatief	n.v.t.
D1 Biodiversiteit: Zeevogels	D1C1 Incidentele bijvangst	niet beschikbaar	niet beschikbaar	niet beschikbaar
	D1C2 Populatieabundantie	abundantie vogels (OSPAR/nationaal)	kwantitatief	aantal exemplaren of broedparen per soort
	D1C3 Demografische kenmerken	B3 Broedsucces zeevogels	kwantitatief	aantal vliegvlugge jongen geproduceerd per broed-paar/nest, per jaar
	D1C5 Kwaliteit leefgebied	kwalitatief (expert judgment)	niet beschikbaar	
D1 Biodiversiteit: Vissen	D1C1 Incidentele bijvangst	in ontwikkeling	in ontwikkeling	in ontwikkeling
	D1C2 Populatieabundantie	Populatie (HR)	kwantitatief	aantal/trends
		FC1 kwetsbare vissoorten	trend	trend
		Haaien en roggen	in ontwikkeling	in ontwikkeling

(deel)descriptor	criterium	indicator	drempel- of grenswaarde	meeteenheid
		commercieel geëxploiteerde soorten (zie D3)	kwantitatief	zie D3
	D1C4 Verspreidingsgebied	obv HR voor trekvissen	kwalitatief	
	D1C5 Kwaliteit leefgebied	obv HR voor trekvissen	kwalitatief	
D1 Biodiversiteit: Inktvissen	D1 Biodiversiteit: Inktvissen	in ontwikkeling	in ontwikkeling	in ontwikkeling
D1 Biodiversiteit: Pelagische habitats	D1C6 Pelagische habitats	PH1 veranderingen in planktongemeenschappen	niet voorzien	aantal/l
		PH2 Veranderingen in plankton biomassa en/of abundantie	niet voorzien	aantal/l
		PH3 Veranderingen in biodiversiteit	niet voorzien	aantal/l
D2 Niet-inheemse soorten	D2C1 Aantal introducties van niet-inheemse soorten	NIS3 Aantal introducties van niet-inheemse soorten	in ontwikkeling	aantal/jaar
D3 Commercieel geëxploiteerde vis, schaal- en schelpdieren	D3C1 Sterfte commercieel geëxploiteerde soorten	Visserijsterfte commercieel geëxploiteerde bestanden	kwantitatief	F (visserijsterfte)
	D3C2 Paaibiomassa commercieel geëxploiteerde soorten	Paaibiomassa commercieel geëxploiteerde bestanden	kwantitatief	SSB (ton)
D4 Voedselwebben	D4C1 Diversiteit van trofische gilden	FW5 Veranderingen in fyto- en zoöplankton	niet voorzien	n/l
	D4C2 Evenwicht tussen trofische gilden			
		FW7 Visbiomassa en abundantie van voedselgilden	trend	Biomassa (kg per km ²) van gilden en soortenrijkdom binnen gilden
	D4C3 Grootteverdeling binnen gilden	FC2 Aandeel grote vissen	kwantitatief	Large Fish Index
		FC3 Gemiddelde maximale lengte van vissen	trend	Mean maximum length (cm)
		FW3 Groottesamenstelling in visgemeenschap	trend	Typical length (cm)

(deel)descriptor	criterium	indicator	drempel- of grenswaarde	meeteenheid
	D4C4 Productiviteit van trofische gilden	FW2 Production of phytoplankton	trend	Primaire productie
D5 Eutrofiëring	D5C1 Nutriënten	Nutriëntenconcentraties (winter DIN en DIP)	kwantitatief	µmol/l
	D5C2 Chlorofyl-a	Concentraties chlorofyl-a (groeiseizoen)	kwantitatief	µg/l
	D5C5 Zuurstof nabij de zeebodem	Zuurstofconcentraties bij de zeebodem	kwantitatief	mg/l
D6 Zeebodemintegriteit	D6C1 Fysiek verlies van de zeebodem	BH4 Area of habitat loss	n.v.t.	km2
	D6C2 Verstoring van de zeebodem	Visserijdruk: BH3 Physical damage to predominant and special habitats	n.v.t.	%
		Zandwinning en overige fysieke verstoring (nationaal)	n.v.t.	%
	D6C3 Aangetaste habitats door fysieke verstoring	Impact van fysieke verstoring volgens OSPAR BH3 (Physical damage to predominant and special habitats)	in ontwikkeling	%
		Registratie suppleties en ondiepe zandwinning	in ontwikkeling	in ontwikkeling
	D6C4 Fysiek verlies van habitats	BH4 Area of habitat loss	kwantitatief	%
	D6C5 (Aantasting) kwaliteit habitats	BH2b relatieve Margalef diversiteit / BISI-index	in ontwikkeling	EKR
D7 Hydrografische eigenschappen	D7C1 Omvang permanente verandering in hydrografie	Omvang permanente wijzigingen hydrografie	n.v.t.	km2
	D7C2 Aangetaste habitats door permanente verandering in hydrografie	Omvang verlies en verstoring bentische habitats door hydrografische wijzigingen	kwantitatief (nationale waarde)	km2
D8 Verontreinigende stoffen	D8C1 Verontreinigende stoffen in water, sediment en biota	Concentraties prioritaire en specifieke verontreinigende stoffen in water (KRW)	kwantitatief	µg/l

(deel)descriptor	criterium	indicator	drempel- of grenswaarde	meeteenheid
		Concentraties prioritaire en specifieke verontreinigende stoffen in biota (KRW)	kwantitatief	µg/kg
		Metalen, PAK, PBDE, PCBs in biota (OSPAR)	kwantitatief	µg/kg
		Metalen, organotin, PAK, PBDE, PCBs in sediment (OSPAR)	kwantitatief	µg/kg
	D8C2 Effecten van verontreinigingen	Imposex in mariene slakken (OSPAR)	kwantitatief	stadium
	D8C3 Ernstige acute verontreinigingen (D8C4 n.v.t.)	Verontreinigingen met olie en olieachtige stoffen (Bonn Overeenkomst)	n.v.t.	
		Registratie ernstige acute verontreinigingen (nationaal)	n.v.t.	
D9 Verontreinigingen in visserijproducten	D9 Verontreinigingen in visserijproducten + D9C1	Concentraties van dioxines, PCBs, PAK en metalen (cadmium, lood, kwik) in visserijproducten (Verordening 1881/2006/EG)	kwantitatief	mg/kg
D10 Zwerfvuil	D10C1 Zwerfvuil kust en zeebodem	Zwerfafval op het strand (OSPAR)	kwantitatief	Aantal zwerfvuil-items (macro-afval en identificeerbaar meso-afval) per 100m strandlengte
		Zwerfafval op de zeebodem (OSPAR)	in ontwikkeling	Percentage vistreks met zeebodem-afval
	D10C2 Microafval	Microplastics in zeebodemsediment (OSPAR)	in ontwikkeling	µg, per kg (droog) sediment
	D10C3 (Micro)afval in zeedieren	Plastic in magen van noordse stormvogels (OSPAR)	kwantitatief	gram
D11 Toevoer van energie: Onderwatergeluid	D11C1 Impulsief geluid	Verspreiding van impuls geluid in zee (OSPAR)	n.v.t.	km ² *dag
		Risico op verstoring van bruinvis door impuls geluid in zee (OSPAR)	in ontwikkeling	aantal/dag
	D11C2 Continu geluid	Niveau en verspreiding van continu geluid in zee (OSPAR)	in ontwikkeling	km ² *dag

B Overzicht van lopende en geplande onderzoeksprojecten

Hieronder wordt een overzicht gegeven van in Nederland lopende projecten gericht op medegebruik en van een aantal Europese projecten waarin ook onderzoek gebeurt rond medegebruik in het Nederlands deel van de Noordzee. Een aantal projecten gericht op wind op zee waarvan de resultaten ook bruikbaar kunnen zijn voor de inschatting van de effecten van medegebruik zijn ook in de lijst opgenomen.

UNITED

Multi-Use offshore platforms demonStrators for boosting cost-effecTive and Eco-friendly proDuction in sustainable marine activities

Website	https://www.h2020united.eu/
Looptijd	2020-2023
Financiering	EU Horizon 2020
Doel	Het UNITED-project zal bewijs leveren voor de levensvatbaarheid van meervoudig gebruik door de ontwikkeling van vijf demonstratiepilots in het Europese mariene milieu. UNITED zal: <ul style="list-style-type: none">• De huidige knelpunten met betrekking tot de grootschalige installatie van medegebruik activiteiten aanpakken;• Bedrijfssynergieën en voordelen van meervoudig gebruik aantonen;• een routekaart bieden voor de invoering in toekomstige locaties voor meervoudig gebruik en potentiële belemmeringen voor schaalvergroting die moeten worden aangepakt door middel van "best practices" en "lessons learnt"
Vormen van medegebruik in project	Energie productie en opslag, zeevier productie, versterken biodiversiteit, cumulatieve effecten
Resultaten	Voor de beoordeling van die effecten wordt een beoordelingssysteem uitgewerkt (Kerkhove <i>et al.</i> 2021). De definitieve resultaten van het project komen eind 2023 beschikbaar.

FutureMARES

Climate change and Future Marine Ecosystem Services and Biodiversity

Website	https://www.futuremares.eu/
Looptijd	2021-2024
Financiering	EU Horizon 2020
Doel	Het project onderzoekt de relaties tussen klimaatverandering, mariene biodiversiteit en ecosysteemdiensten. In het project wordt onder meer gekeken naar natuurherstel, natuurbescherming en natuurinclusief oogsten.
Vormen van medegebruik in project	Eén van de vragen die onderzocht worden betreft het effect van grootschalige uitbreiding van aquacultuur (mossel- en oesterkweek, zeewierkweek) in de Noordzee, op nutriënten en primaire productie onder een aantal klimaatscenario's. Voor beantwoording van deze vraag worden modelberekeningen uitgevoerd.
Resultaten	Resultaten komen beschikbaar vanaf najaar 2023

NWA Effects of windfarms on the marine ecosystem, and implications for governance

Website	https://www.nwo.nl/projecten/nwa123618001-0
Looptijd	2020-2023
Financiering	NWO
Doel	Kwantificeren van effecten van windparken op fytoplankton en sediment
Vormen van medegebruik in project	Geen. Het project onderzoekt hoe aangroei op windmolens van invloed is op fytoplankton en sediment, die informatie kan van toepassing zijn op schelpdierkweek als medegebruik
Resultaten	Brandao <i>et al.</i> 2023. Effects of offshore wind farms on suspended particulate matter derived from satellite remote sensing. <i>Science of The Total Environment</i> 866: 161114

DEI+ Merganser

Website	https://solarduck.tech/wp-content/uploads/2022/11/Press-release-SolarDuck-Merganser-consortium-receives-7.8M-for-Offshore-Floating-Solar-pilot-221117.pdf
Looptijd	2022-2025
Financiering	RVO DEI+
Doel	Het ontwikkelen, testen en valideren van het Merganser zonne-energie systeem in uitdagende weersomstandigheden in de Noordzee
Vormen van medegebruik in project	Zon op zee. Literatuurstudies naar ecologische effecten, o.a. primaire productie, vogels en modelstudie naar de ecologische effecten van zon op zee
Resultaten	Review van mogelijke ecologische effecten van zon op zee: Schneider <i>et al.</i> (2023): https://pub.kennisbank.deltares.nl/Details/fullCatalogue/1000021472

ECOAMARE

ECosystem-base d Adaptive MAnagement for REnewable energy in a sustainable North Sea

Website	https://www.nwo.nl/en/news/new-nwa-funding-eu25-million-nwa-research-energy-transition-and-ecology-north-sea
Looptijd	2023-2025
Financiering	NWO / NWA Onderzoeksprogramma Wind op Zee
Doel	ECOAMARE ondersteunt de ontwikkeling van strategisch beleid met betrekking tot de uitbreiding van offshore windenergie. ECOAMARE maakt een overzicht van de kennis over de milieueffecten van offshore windenergie, inclusief een beoordeling van de cumulatieve effecten en hoe deze kennis kan worden aangepast aan de behoeften van beleidsmakers en belanghebbenden. Vervolgens identificeert ECOAMARE conflicten en synergieën tussen offshore-activiteiten, beoordeelt strategieën om conflicten op te lossen of te verminderen of synergieën te bevorderen, en analyseert afwegingen tussen activiteiten waarbij conflicten niet kunnen worden opgelost. Tot slot analyseert ECOAMARE barrières en mogelijkheden voor het afwegen van belangen en het ontwikkelen van strategisch beleid in wettelijke kaders en beleidsprocessen
Vormen van medegebruik in project	Diverse vormen van medegebruik, niet nader gespecificeerd. Werkpakket 2 richt zich op het in kaart brengen van ecologische kennis, kennisleemtes en onzekerheden met betrekking tot wind op zee en andere vormen van menselijk gebruik, met aandacht voor draagkracht en cumulatieve effecten
Resultaten	-

ProSeaWeed

Website	https://www.wur.nl/en/project/ProSeaWeed-LCA-evaluation-of-Dutch-seaweed-food-products-.htm
Looptijd	2020-2021
Financiering	LNV
Doel	Ontwikkeling van een onderzoeksprogramma op het gebied van de toepassing van zeewier voor voedsel en diervoeder. Onderdeel van het project was een studie naar draagkracht van de Noordzee voor zeewierkweek en de ruimtelijke schaal van de ecologische impact
Vormen van medegebruik in project	Zeewierkweek
Resultaten	Rapportage met uitkomsten modelstudie (Vilmin & van Duren 2021) Rapportage met voorstel voor indices voor draagkracht (Nauta <i>et al.</i> 2021)

SENSE Hub

Solar Enhanced North Sea Energy Hub

Website	https://projecten.topsectorenergie.nl/projecten/solar-enhanced-north-sea-energy-hub-37440
Looptijd	2023-2026
Financiering	RVO
Doel	Het doel van het SENSE Hub project is om inzicht te krijgen in de voordelen/uitdagingen voor het verbeteren van energiesystemen in de Noordzee met een tweede, aanvullende energieopwekkingsbron (offshore zonne-energie). SENSE-Hub richt zich op de integratie van verschillende energiesysteem-modules en de validatie van het concept door zich te richten op de technische, economische, ecologische en juridische implicaties. De validatie van het SENSE-Hub concept wordt vanuit verschillende invalshoeken en dimensies benaderd: testen op kleine schaal (kW) bij SWITCH Lab TNO, offshore testen van de zonne- en windprofielen bij 1 MW electrolyser bij Neptune Q13a, en offshore op MW-schaal bij het NS2 offshore zonnepark, en het gebruik van de inputs om het gedrag te voorspellen en de economie te optimaliseren op GW-schaal door middel van uitgebreide modelleringsinspanningen.
Vormen van medegebruik in project	Zon op zee. Er wordt gekeken naar de synergie tussen offshore wind, zonnepanelen en waterstofproductie op zee
Resultaten	-

ULTFarms

circUlar Low Trophic Offshore Aquaculture in wind farms and Restoration of Marine Space

Website	https://ultfarms.eu/
Looptijd	2023-2026
Financiering	EU Horizon Europe
Doel	ULTFARMS wil de capaciteit van de Europese laagtrofische aquacultuur (LTA) vergroten door middel van innovatieve processen die de productie in uitdagende offshore-omstandigheden optimaliseren. Door laagtrofische aquacultuursystemen te integreren in offshore windmolenparken, wil ULTFARMS zorgen voor milieuverantwoorde en commercieel levensvatbare LTA-producten. Door de ontwikkeling van nieuwe kweekstructuren, kweeksystemen en milieuvriendelijke ontwerpen betekent ULTFARMS een belangrijke stap voorwaarts in de duurzame offshore aquacultuur, die zowel het milieu als de economie ten goede komt.
Vormen van medegebruik in project	Zes pilot projecten, o.a. gericht op mosselkweek (windpark Borssele) en mossel- en zeewierkweek (België)
Resultaten	-

Nautical Sunrise

Survivability assessment, cost reduction pathways and environmental evaluation of offshore installed floating solar energy farms

Website	-
Looptijd	2024-2027
Financiering	EU Horizon Europe Innovation Action
Doel	De uitrol en commercialisering van OFPV-systemen op GW-schaal mogelijk maken, zowel stand-alone als geïntegreerd in offshore windparken, de technische, financiële en ecologische levensvatbaarheid ervan aantonen en verifiëren.
Vormen van medegebruik in project	Zon op zee. Er wordt gekeken naar de synergie tussen offshore wind en zonnepanelen en de effecten zich zouden kunnen door werken op de verschillende trofische niveau
Resultaten	-

Floating future

Website	https://www.nwo.nl/en/researchprogrammes/dutch-research-agenda-nwa/research-along-routes-by-consortia-nwa-orc/nwa-orc-2018-2022/awards/2022
Looptijd	2024-2027
Financiering	NWO
Doel	<i>Hoe kunnen we ons dichtbevolkte land leefbaar houden? Er is een toenemende vraag naar ruimte voor wonen, industrie, energietransitie en voedselproductie. Op dit moment is ongeveer 60% van Nederland overstromingsgevoelig en door klimaatverandering neemt de dreiging van overstromingen toe. Het water kan echter ook een kans bieden voor het creëren van veilige ruimte: grootschalige drijvende ontwikkelingen. "Floating Future" integreert bestuur, technologie en ecologie om te onderzoeken hoe we grootschalige drijvende ontwikkelingen kunnen realiseren en wat de maatschappelijke acceptatie zou zijn. We ontwikkelen klimaatadaptieve pilotcases voor toepassingen in het binnenland (IJmeer), aan de kust (havenstad) en offshore (Noordzee).</i>
Vormen van medegebruik in project	Energie productie en opslag, zeewier productie, versterken biodiversiteit
Resultaten	-

ANEMOI

Towards minimal chemical pollution of offshore wind farms

Website	https://www.interregnorthsea.eu/anemoi
Looptijd	2023-2026
Financiering	EU Interreg
Doel	Het Anemoi project bestudeert de chemische emissies van offshore windparken (OWF's) en hun impact op ecosystemen en aquacultuur. Samen met de uitbreiding van OWF's in de Noordzee wordt de milieu-impact van OWF's routinematig gecontroleerd door het effect van de introductie van nieuwe habitats, de uitsluiting van visserij of de introductie van energie te beoordelen. De mogelijke vervuiling van het mariene milieu door opgeloste en deeltjesvervuilende stoffen, bijvoorbeeld door corrosiebeschermingssystemen, wordt echter grotendeels over het hoofd gezien. Anemoi beoogt daarom (1) relevante chemische emissies van OWF's te identificeren, (2) het effect op ecosysteem- en aquacultuuractiviteiten te beoordelen en (3) oplossingen en mogelijkheden voor te stellen om chemische emissies van OWF's te verminderen
Vormen van medegebruik in project	Geen. Resultaten mogelijk bruikbaar voor doorvertaling naar medegebruiksvormen.
Resultaten	-

Footprint

Effects of offshore wind farms on sediments in the Coastal North Sea

Website	https://www.nwo.nl/en/projects/nwa123618003
Looptijd	2021-2024
Financiering	NWO
Doel	Huidige en geplande windmolenparken in de Noordzee bevinden zich in gebieden met zandgolven. Met behulp van veldwerk en wiskundige modellen zullen we onderzoeken hoe windmolenparken deze zandgolven veranderen en hoe dit het functioneren van het sediment beïnvloedt. Onze instrumenten zullen worden toegepast om "best practices" af te bakenen om de milieueffecten te verminderen
Vormen van medegebruik in project	Geen
Resultaten	Damveld et al. (2023): Episodical sand wave migration: analysis of high temporal resolution bathymetry. In A. Valance, T. Garlan, A. Crave, & A. Gangloff (Eds.), 7th Marine and River Dune Dynamics

SEASEEDS

Seaweed Attachment onto Substrates and Economic Embedding into Dutch Society

Website	https://www.wur.nl/nl/nieuws/onderzoek-naar-grootschalige-zeewierproductie-op-zee.htm
Looptijd	2022-2028
Financiering	NWO
Doel	Zeewier is een veelbelovende maar nauwelijks geëxploiteerde bron van biomassa en eiwitten. Kleinschalige teeltproeven tonen aan dat grote en variabele losslag van zeewier resulteert in inefficiënte en onvoorspelbare teelt met hoge economische risico's en een onbekende impact op de mariene ecologie. Hierdoor trekt de sector geen investeringen aan, wat de opschaling die nodig is voor winstgevendheid bemoeilijkt. De onderzoekers gaan de aanhechting van suikerkelp (zeewier) verbeteren, de gevolgen van grootschalige zeewiercultuur op de mariene ecologie kwantificeren en businessmodellen voor Nederlands zeewier creëren. Deze inspanningen leiden tot de economische kansen en het maatschappelijk bewustzijn dat nodig is voor de transitie naar een duurzame blauwe economie.
Vormen van medegebruik in project	zeewierkweek
Resultaten	-

Sea to Society

From Sea to Society

Website	https://www.nioz.nl/en/news/from-sea-to-society-project-awarded
Looptijd	2022-2028
Financiering	NWO
Doel	Er is een dringende behoefte aan een alternatieve productieketen van eiwitten, en daarom wordt hier het initiatief genomen voor een mariene, efficiënte, duurzame, laag trofische aquacultuurketen (LTA), die gebaseerd is op biomassa van gecombineerde off-shore teelt van zeewier en mosselen. Sociale innovatie en waardecreatie van deze eiwitproductieketen hebben hierbij topprioriteit. Ze zullen worden ondersteund door doorbraken vanuit de levenswetenschappen, zoals veredeling van steriele zeewieren, innovatieve bio-raffinage en inzicht in de draagkracht van het natuurlijke mariene ecosysteem. De vergaarde kennis en kunde zal worden samengebracht in een FS2S-“learning community”, die ook de continuïteit van de LTA zal waarborgen.
Vormen van medegebruik in project	Zeewierkweek, mosselkweek
Resultaten	-

CircAqua

Regional innovation for circular low trophic aquaculture production in the Dutch North Sea

Website	
Looptijd	2023-2028
Financiering	NWO
Doel	De combinatie van mosselhangcultuur en zeewierkweek biedt rijke kansen voor het ontwikkelen van circulaire voedselketens en natuurinclusief produceren op de Nederlandse Noordzee. CIRCAQUA draait om cross-sectorale innovatie door ondersteuning van het ontwerp en de organisatie van mossel- en zeewierkweek binnen de mogelijkheden van de natuurlijke draagkracht en het sociale speelveld. Het project ontwikkelt ook een visie en strategie zodat laag-trofische aquacultuur een duidelijke plek krijgt op de Noordzee 2050 Gebiedsagenda. Door het stroomlijnen van beleid, regelgeving, financiering en risicoafdekking zal CIRCAQUA innovatie van de mossel- en zeewiersector ondersteunen, met het oog op het opschalen van een natuurinclusieve en circulaire productie.
Vormen van medegebruik in project	Zeewierkweek, mosselkweek
Resultaten	-

SPARKLES

SPARKing a nature-positive future of floating solar for humans and nature across LandscapES

Website	https://nioo.knaw.nl/en/news/consortium-investigates-nature-inclusive-use-of-floating-solar-panels
Looptijd	2023-2026
Financiering	NWO
Doel	Zonne-energie systemen worden op steeds grotere schaal toegepast om aan de vraag naar duurzame energie te voldoen, onder andere door ze op binnenwateren te plaatsen. SPARKLES verenigt wetenschappers en belanghebbenden uit verschillende domeinen (energie, ecologie, maatschappij) om natuurpositieve oplossingen te ontwikkelen voor drijvende zonne-energie systemen voor mens en natuur. Door de natuur centraal te stellen zoeken we naar integratieve oplossingen die meerdere problemen in de leefomgeving oplossen, in plaats van compromissen te sluiten tussen mens en natuur
Vormen van medegebruik in project	Zon op zee
Resultaten	-

Effects of seaweed cultivation on carbon sequestration

Website	-
Looptijd	2022-2025
Financiering	Amazon
Doel	Onderzoek naar: <ul style="list-style-type: none">• Beperking van klimaatverandering door vastlegging van koolstof door gekoppelde zeewier-sedimentsystemen.• Behoud van biodiversiteit door het creëren van de facto beschermde mariene gebieden en habitat voor mariene organismen door het opzetten van offshore zeewierboerderijen.• Herstel van de waterkwaliteit in de Noordzee door het verwijderen van overtollige voedingsstoffen door zeewier te kweken.
Vormen van medegebruik in project	Zeewierkweek; berekening van transport in de Noordzee van delen van zeewier vanaf kweekinstallatie
Resultaten	-

Deltares is een onafhankelijk kennisinstituut voor toegepast onderzoek op het gebied van water en ondergrond. Wereldwijd werken we aan slimme oplossingen voor (mens) milieu en maatschappij.

Deltares