

**Verkenning toekomstig  
medegebruik windparken**



## **Verkenning toekomstig medegebruik windparken**

Bas Bolman  
Arjen Boon  
Maaïke Maarse  
Tom Roetert  
Jan-Joost Schouten  
Sophie Vergouwen

## Titel

Verkenning toekomstig medegebruik windparken

## Project

11203133-002

## Kenmerk

11203133-002-ZKS-0007

## Pagina's

74

## Trefwoorden

windparken, medegebruik, kabels, leidingen, scheepvaart, duurzame energie, aquacultuur

## Samenvatting

Het eerste doel van deze studie was het verkennen van toekomstig typen medegebruik in bestaande en geplande windparken. Het tweede doel was het verkennen van mogelijkheden voor medegebruik in bestaande en geplande windparken binnen het NCP en welk aspecten in een afweegkader en ruimtelijke zonering daarbij een rol kunnen spelen.

Via een literatuurstudie en expert judgement is invulling gegeven aan het eerste doel. De meeste (innovatieve) technologische ontwikkelingen richten zich op het gebruik van het wateroppervlak (drijvend) en de waterkolom (hangend). Het gaat dan om duurzame energie en aquacultuur. Dit betekent dat de meeste vormen van medegebruik de doorvaart mogelijkheden in windparken belemmeren. De ruimtelijke voetafdruk (potentiële gebruiksruimte) is het grootst voor zeewierkweek (ambitie van 500 km<sup>2</sup>), schelpdierkweek (mosselen – tientallen km<sup>2</sup>) en zonne-energie (tientallen km<sup>2</sup>). De ruimtelijke voetafdruk in termen van onderhoudszone is het grootst van kabels en leidingen (500 tot 750 meter aan weerszijden). Drijvende en statische energie-eilanden en enkele typen van duurzame energie nemen een veiligheidszone van 500 meter in beslag. Voor zeewierkweek en zonne-energie is inschatting dat de veiligheidszone 50 meter zal bedragen. De kleinste veiligheidszones komt het meest voor bij aquacultuur (ca. 50 meter).

Kansen die voortkomen uit de (innovatieve) technologische ontwikkeling bestaan uit het gebruik van bestaande elektriciteitsinfrastructuur voor duurzame energie. Het opwekken van duurzaam energie zou gebaat zijn bij een zekere systeemintegratie met de OHVS-en aanlandingskabel van TenneT. De vraag is wel of de huidige infrastructuur voldoende capaciteit heeft. Drijvende en statische energie-eilanden (incl. schepen) bieden kansen voor opslag en omvorming van energie. Voor aquacultuur is voornamelijk het beschikbare areaal een kans voor opschaling ten opzichte van de huidige beschikbare locaties in de Oosterschelde en de Waddenzee. Voor windparken en andere vormen van medegebruik bestaan de kansen uit het delen van de elektriciteitsinfrastructuur (kostenbesparing), diversifiëring, delen van faciliteiten, bevoorrading, onderhoud & beheer, dataverzameling en hulpverleningsdiensten.

Risico's voor duurzame energie zijn storingen in de elektriciteitsinfrastructuur. Het loslaten van materiaal, aanvaringen en beperking van onderhoudsruimte zijn risico's die voor bijna alle toekomstige vormen van medegebruik van toepassing zullen zijn. Lekkages zijn een risico bij leidingen en drijvende en statische energie-eilanden. Aquacultuur zorgt voor risico's zoals ziekten, parasieten voor alle typen van aquacultuur. Ontsnappingsen, medicijnen, eutrofiering en schadelijke algenbloei zijn risico's die specifiek met viskweek geassocieerd worden. Risico's van (innovatieve) technologische ontwikkelingen voor de windparken en andere vormen van medegebruik bestaan in bijna alle gevallen uit aanvaringen, beperking van de onderhoudsruimte en het loslaten van materiaal.

Via de ontwikkeling van scenario's en een matrix is invulling gegeven aan het tweede doel. De scenario's zijn toegepast op de windenergiegebieden Hollandse Kust Noord (HKN) en Hollandse Kust Zuid (HKZ). Bij de eerste drie scenario's is geëxperimenteerd met

## Titel

Verkenning toekomstig medegebruik windparken

## Project

11203133-002

## Kenmerk

11203133-002-ZKS-0007

## Pagina's

74

verschillende breedtes (50, 100 en 250 meter) van onderhoudszones van de infield kabels. In het vierde scenario is geëxperimenteerd met de ruimte voor medegebruik in HKN en HKZ. In het vijfde scenario is geëxperimenteerd met de beschikbare ruimte voor doorvaartpassages. De matrix is gebruikt om in kaart te brengen hoe verschillende vormen van medegebruik zich onderling verhouden.

Voor HKN varieert de beschikbare ruimte voor medegebruik van 58 km<sup>2</sup> tot 89 km<sup>2</sup>. Voor HKZ varieert de beschikbare ruimte voor medegebruik van 116 km<sup>2</sup> tot 190 km<sup>2</sup>. De potentiële locaties voor medegebruik in HKN tonen aan dat er voor hangcultures en mosselzaadinvanginstallaties (MZI's) relatief weinig ruimte beschikbaar is. Dit komt door de layout van de strings en de vereiste oriëntatie van kweeklijnen. In het geval van HKZ is er door dezelfde reden juist relatief veel ruimte beschikbaar voor hangcultures en MZI's. Indien de modules voor zeewierkweek in de toekomst ook parallel op de stroming komen te staan zal de huidige layout van HKN weinig ruimte bieden voor deze vorm van medegebruik en in het geval van HKZ juist meer ruimte. De ruimte voor zonne-energie in zowel HKN als HKZ is enigszins gelimiteerd i.v.m. de plaatsing in een radiaal rondom het Offshore High Voltage Substation. Een dergelijke plaatsing zorgt voor een minimalisering van kabel kruisingen. De kweek van oesters en mantels is het meest flexibel; deze kunnen op elke locatie in het windpark geplaatst worden. Uit de potentiële routes voor doorvaartpassages kan voor zowel HKN als HKZ handig gebruikt gemaakt worden van de vrijgehouden onderhoudszones voor telecom- en elektriciteitskabels. De oost-west oriëntatie van de kabels is ideaal voor met name recreatievaart.

De wijze waarop verschillende vormen van medegebruik zich onderling verhouden is uiteen gezet in de matrix. Natuurontwikkeling en de meeste vormen van aquacultuur zijn uitstekend combineerbaar zijn in tijd en ruimte. Uitzondering is viskweek dat door de uitstoot van stoffen voor extra druk op het ecosysteem zorgt. Natuurontwikkeling en windparken zijn goed combineerbaar onderwater. Bovenwater is dat niet het geval in verband met vogels en vleermuizen die tegen de wieken kunnen vliegen. Het statisch energie-eiland is goed combineerbaar met andere vormen van medegebruik zoals microalgenkweek en passieve visserij. In iets mindere mate kan het eiland gecombineerd worden met duurzame energie en als offshore haven voor vaartuigen. Vormen van medegebruik die niet goed te combineren zijn vallen in de categorie duurzame energie. Dit komt door de vaste locaties die nodig zijn, waardoor overlap met een andere activiteit in tijd en/of ruimte lastig is.

## Dankwoord

De auteurs danken de opdrachtgevers, Rijkswaterstaat en het Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties, voor de samenwerking gedurende het project. In het bijzonder danken we Erik-Jan de Ridder en Floor Spaargaren van MARIN voor de feedback die zij gaven op het overzicht van de technologische (innovatieve) ontwikkelingen. Ook dank aan Eef Brouwers van Stichting Noordzeeboerderij voor het commentaar op het onderdeel zeewierkweek.

**Titel**

Verkenning toekomstig medegebruik windparken

**Project**

11203133-002

**Kenmerk**

11203133-002-ZKS-0007

**Pagina's**

74

| Versie | Datum     | Auteur                                                                              | Paraaf                                                                            | Review                        | Paraaf                                                                            | Goedkeuring     | Paraaf                                                                              |
|--------|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| 1.0    | Jan. 2018 | Bas Bolman<br>Arjen Boon<br>Maaïke Maarse<br>Jan-Joost Schouten<br>Sophie Vergouwen |  | Luca van Duren<br>Anouk Blauw |  | Frank Hoozemans |  |

**Status**

definitief

## Inhoud

|                       |                                                                                   |            |
|-----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>1</b>              | <b>Introductie</b>                                                                | <b>1</b>   |
| 1.1                   | Doel van deze studie                                                              | 2          |
| 1.2                   | Leeswijzer                                                                        | 2          |
| <b>2</b>              | <b>Overzicht van (innovatieve) technologieën voor medegebruik</b>                 | <b>4</b>   |
| 2.1                   | Methode                                                                           | 4          |
| 2.2                   | Resultaten                                                                        | 5          |
| 2.3                   | Conclusie                                                                         | 32         |
| 2.4                   | Discussie                                                                         | 37         |
| <b>3</b>              | <b>Verkenning van opties en mogelijke zonering van de ruimte voor medegebruik</b> | <b>39</b>  |
| 3.1                   | Methode                                                                           | 39         |
| 3.2                   | Resultaten                                                                        | 48         |
| 3.3                   | Conclusie                                                                         | 66         |
| 3.4                   | Discussie                                                                         | 68         |
| <b>4</b>              | <b>Conclusie, advies en discussie</b>                                             | <b>69</b>  |
| <br><b>Bijlage(n)</b> |                                                                                   |            |
| <b>A</b>              | <b>Summary in English</b>                                                         | <b>A-1</b> |
| <b>B</b>              | <b>Overzicht van projecten in relatie tot meervoudig ruimtegebruik</b>            | <b>B-1</b> |
| <b>C</b>              | <b>Technology Readiness Levels</b>                                                | <b>C-1</b> |
| <b>D</b>              | <b>Randvoorwaarden voor aquacultuur op de Noordzee</b>                            | <b>D-1</b> |
| <b>E</b>              | <b>Referenties</b>                                                                | <b>E-1</b> |
| <b>F</b>              | <b>Interactie matrix</b>                                                          | <b>F-1</b> |

## 1 Introductie

Efficiënt en meervoudig ruimtegebruik is een belangrijke doelstelling van het beleid voor de Noordzee. Eind 2015 is in het kader van de Beleidsnota Noordzee 2016-2021, onderdeel van het NWP 2016-2021 besloten tot een beleidswijziging met betrekking tot het doorvaarbaar zijn van en medegebruik in windparken op zee. Sinds 1 mei 2018 is de “Beleidsregel Instelling Veiligheidszone Windparken op Zee” in werking getreden (Staatscourant, 2018). Vanaf die datum is voor drie van de operationele windparken op zee doorvaart onder voorwaarden mogelijk gemaakt. Het gaat om het Offshore Windpark Egmond aan Zee, Prinses Amalia Windpark en Luchterduinen. Ook is sindsdien niet-vergunningplichtig medegebruik in de vorm van hengelvissers toegestaan in de windparken.

In beginsel is ander medegebruik binnen de veiligheidszone<sup>1</sup> van een windpark op zee mogelijk, mits hiervoor een vergunning verkregen is op grond van artikel 6.5 lid c Waterwet juncto artikel 6.13 Waterbesluit. Tijdens het vergunningverleningsproces worden afwegingen gemaakt tussen de verschillende belangen waaronder de risico's als het gaat om mogelijke hinder en schade aan het windpark. In de toekomst kan vergunningplichtig medegebruik in windparken vaker en meer structureel voorkomen. Enerzijds omdat er meer windparken komen (dus meer kansen voor combinaties), anderzijds door de toenemende ruimtedruk op de Noordzee. Om voorbereid te zijn op deze toenemende interactie tussen wind en ander gebruik wordt er door het Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties en Rijkswaterstaat gewerkt aan een afwegingskader om te bepalen onder welke voorwaarden en mogelijkheden vergunningplichtig medegebruik in windparken kan plaatsvinden. Een afwegingskader biedt vooraf (op hoofdlijnen) transparantie voor belanghebbenden. Dat vergroot de basis en de acceptatie van keuzes die de overheid maakt i.r.t. het al dan niet vergunnen van een activiteit/ medegebruiksvorm op een bepaalde locatie.

In opdracht van het Ministerie van Economische Zaken en Klimaat is een second opinion uitgevoerd. Het doel van de second opinion was om in kaart te brengen in hoeverre het aan de beleidsregel gekoppelde maatregelenpakket toereikend is om vergunningplichtig medegebruik mogelijk te maken. Ten aanzien van medegebruik in de vorm van getijdenenergie en aquacultuur of vormen van passieve visserij werd o.a. de volgende conclusie getrokken (Groenendijk, 2018):

- De mogelijke risico's [van medegebruik] zijn hiervoor nog niet voldoende ingeschat. Er is nog geen volledig beeld van alle relevante risico's en de voorgestelde voorschriften zijn nog niet allesomvattend. De reden hiervoor is onder andere dat er een grote verscheidenheid aan mogelijke technologieën is die voor dit medegebruik gebruikt zou kunnen worden. De voorgestelde maatregelen en voorschriften zouden daar beter op moeten inspelen;
- De risico's voor passieve visserij met manden en korven zijn nog te beperkt ingeschat. Dit maakt dat met de voorgestelde voorschriften nog niet alle risico's afdekken of kunnen verminderen, met name die voor de onderzeese kabels van de windparken.

---

<sup>1</sup> Volgens het besluit van de Minister van Infrastructuur en Waterstaat is “het verboden [...] zich in de veiligheidszone te bevinden of in de veiligheidszone enig voorwerp te hebben of te doen hebben.” Uitzonderingen zoals inspectie, exploitatie en onderzoek zijn van toepassing (Staatscourant, 2018).

### 1.1 Doel van deze studie

In de context van het nieuwe afwegingskader en de second opinion is door het Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties en Rijkswaterstaat aan Deltares gevraagd om een studie uit te voeren met de volgende twee doelen:

1. Het verkennen van toekomstig medegebruik in bestaande en geplande windparken binnen het Nederlands Continentaal Plat (NCP). Hierbij gaat het om het in kaart brengen van denkbare typen en categorisering van (innovatieve) technologieën die in 2030 operationeel kunnen zijn.
2. Het verkennen van eventuele zonering van de ruimte voor medegebruik in bestaande en geplande windparken binnen het NCP. Hierbij gaat het om het in kaart brengen van de mogelijkheden voor zonering binnen bestaande en geplande windparken (in ruimte en/of tijd) en eventuele differentiatie tussen windparken.

### 1.2 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 wordt het overzicht van (innovatieve) technologieën voor medegebruik behandeld. Dit hoofdstuk geeft antwoord op de volgende vragen:

- a. Welke technologische ontwikkelingen komen op ons af?
- b. Wat is de status van de ontwikkeling in TRL (Technology Readiness Level<sup>2</sup>) en wat is de implementatiemogelijkheid<sup>3</sup>?
- c. Wat zijn de fysieke kenmerken en de hanteerbaarheid van de verschillende (toekomstige) typen technologieën/ technieken (bv dynamisch, statisch, drijvend net onder waterlijn)? (De categorieën worden gerelateerd aan de drie categorieën van belemmering voor doorvaart). Het gaat hier om het vinden van een balans tussen een diversiteit aan fysieke kenmerken van technieken en hanteerbaarheid/ detailniveau van het afwegingskader.
- d. Welke ruimtelijke voetafdruk hebben de technologieën/ technieken? De ruimtelijke voetafdruk is opgesplitst in 1) grootte object, 2) potentiële gebruiksruimte en 3) veiligheidszone<sup>4</sup>.
- e. Welke kansen en risico's nemen die technieken met zich mee? Op zichzelf en voor windparken en t.o.v. ander medegebruik.
- f. Welke aandachtspunten, handvatten en vuistregels levert dit voor het Afwegingskader voor Vergunningplichtig Medegebruik?

In hoofdstuk 3 wordt de verkenning en zonering van de ruimte voor medegebruik behandeld. Dit hoofdstuk geeft antwoord op de volgende vragen:

- a. De ruimte (per windpark) die redelijkerwijs beschikbaar is voor medegebruik, rekening houdend met de voor windexploitatie benodigde ruimte;
- b. De potentiële locaties voor medegebruik (welke soorten medegebruik, per categorie van techniek, in welke windparken en waar binnen die parken?);
- c. De situering van medegebruik ten opzichte van potentiële routes voor doorvaart (onderscheid tussen <24 m, <45 m en <80 m);
- d. Hoe verschillende vormen van medegebruik (inclusief natuurontwikkeling) zich tot elkaar verhouden in ruimte en tijd? Zitten ze elkaar in de weg? Zijn er functiecombinaties mogelijk? Zijn er functiecombinaties die elkaar negatief beïnvloeden?

---

<sup>2</sup> De TRL indeling is te vinden in bijlage C

<sup>3</sup> Deze vraag was geen onderdeel van de opdracht maar is later toegevoegd door het onderzoeksteam zodat het duidelijk wordt in welke ontwikkelingsfase technologische (innovatieve) ontwikkelingen zich bevinden. Het gaat om de TRL in relatie tot toepassing in de Noordzee. De implementatiemogelijkheid geeft een indruk van de kans dat de techniek zelf geïmplementeerd wordt. Ook wordt de kans dat de techniek in combinatie met windparken geïmplementeerd wordt meegenomen.

<sup>4</sup> De veiligheidszone betreft de extra marge aan ruimte die nodig is om een activiteit veilig uit te voeren. Het gaat dus niet om een handhavingszone.



In deze studie is gekeken naar typen medegebruik waarvoor naar verwachting een vergunning op basis van artikel 6.5 van de Waterwet nodig zal zijn. In hoofdstuk 2 worden vormen van medegebruik die onder de Waterwet niet vergunningplichtig zijn, zoals passieve visserij, buiten beschouwing gelaten. Het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit bekijkt - naast natuurinclusief bouwen - de mogelijkheden van medegebruik van passieve visserij en aquacultuur in bredere zin en werkt daarbinnen ook aan het voorbereiden van een pilot.

## 2 Overzicht van (innovatieve) technologieën voor medegebruik

### 2.1 Methode

Dit hoofdstuk geeft een overzicht van (innovatieve) technologieën voor medegebruik tot en met 2030. De studie beperkt zich tot wat er anno 2018 bekend is op het gebied van (innovatieve) technologieën die tot en met 2030 ontwikkeld worden. De focus ligt aldus op het in kaart brengen van denkbare typen van medegebruik. De zes onderzoeksvragen behorende bij het overzicht van (innovatieve) technologieën voor medegebruik (zie hoofdstuk 1) worden beantwoord middels een combinatie van expert judgement (Deltares experts) aangevuld met een beperkte deskstudie (grijze en wetenschappelijke literatuur). Voor de deskstudie is o.a. gebruik gemaakt van publicaties uit projecten onder het EU 7<sup>e</sup> kaderprogramma (FP7) en Horizon 2020 (zie bijlage B). Het gaat nadrukkelijk om een quickscan. Dit houdt in dat op hoofdlijnen antwoord wordt gegeven op de vragen en niet in de hoogst mogelijke mate van detail. Om de antwoorden op de vragen weer te geven is per vorm van medegebruik een tabel opgezet waarmee op gestructureerde wijze informatie verzameld is over de verwachte technologische (innovatieve) ontwikkelingen. Onderzoekers van MARIN hebben tevens feedback gegeven op de tabellen. Stichting Noordzeeboerderij heeft feedback gegeven op de tekst en de tabel voor zeewierkweek.

Conform afspraken met de opdrachtgever richt dit hoofdstuk zich op de volgende vormen van vergunningplichtig medegebruik:

- a. Kabels en leidingen
- b. Scheepvaart
- c. Duurzame energie
- d. Aquacultuur

In paragraaf 2.4 (discussie) staat beschreven welke vormen van medegebruik niet zijn meegenomen, inclusief de argumentatie. De ecologische en economische haalbaarheid zijn situationeel bepaald en worden niet in vol detail meegenomen in deze studie.

## 2.2 Resultaten

In deze paragraaf worden de technologische (innovatieve) ontwikkelingen t/m 2030 gekarakteriseerd aan de hand van vier vormen van medegebruik zoals omschreven in paragraaf 2.1. Per technologische (innovatieve) ontwikkeling wordt eerst uiteengezet wat de trends zijn. Daarna worden in een tabel de specificaties aangegeven aan de hand van onderzoeksvragen a t/m e uit hoofdstuk 1.

### a. Kabels en leidingen

Nieuwe technologische (innovatieve) ontwikkelingen binnen het thema “kabels en leidingen” zijn naar verwachting beperkt. In het komende decennium is het de verwachting dat bestaande gasleidingen zullen worden gebruikt voor het transport van stoffen zoals CO<sub>2</sub>, waterstof, methaan, ammoniak, mierenzuur en/of methanol. Carbon Capture and Storage (CCS) is het afvangen van CO<sub>2</sub>-uitstoot door de industrie, gevolgd door het transport van CO<sub>2</sub> via de bestaande (of nieuwe) gasinfrastructuur en opslag in geologische formaties. CO<sub>2</sub> wordt geïnjecteerd in poreuze gesteenten van bijvoorbeeld (bijna) lege gasvelden of diepe zoutwaterhoudende formaties (IPCC, 2005; Van der Veer et al., 2018).

Alhoewel er anno 2018 nog geen sprake is van overtollige elektriciteit van offshore windparken, is de verwachting dat dit in de toekomst wél gaat gebeuren. In dat geval is het van belang om gebruik te maken van Power-to-X (PtX), ofwel de conversie van overtollige elektriciteit naar energiedragers zoals waterstof, methaan, ammoniak, mierenzuur of methanol (Van der Veer et al., 2018).

De karakterisering van het thema is te vinden in Tabel 2.1.

Tabel 2.1: karakterisering van kabels en leidingen

| Onderzoeksvraag                                           | Onderdeel | Omschrijving                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|-----------------------------------------------------------|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Technologische ontwikkeling                               | a         | Gebruik gasleiding voor andere stoffen (CO <sub>2</sub> , waterstof, methaan, ammoniak, mierenzuur en methanol). Van shore naar offshore en vice versa.                                                                                                                                                                                                     |
| TRL                                                       | b         | 7-9                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| Implementatiemogelijkheid techniek                        | b         | Grotendeels bewezen technologie. Transport van gas/vloeistof is relatief nieuw.                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Implementatiemogelijkheid windpark                        | b         | Grotendeels bewezen technologie. Transport van gas/vloeistof is relatief nieuw.                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Technische specificatie                                   | c         | Ingegraven in de bodem                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Interactie doorvaart                                      | c         | Niet of nauwelijks de doorvaart belemmerend                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Ruimtelijke voetafdruk – grootte object                   | d         | Diameter pijpen ordegrootte 30-100 cm                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Ruimtelijke voetafdruk – potentiële gebruikruimte         | d         | Diameter pijpen ordegrootte 30-100 cm                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Ruimtelijke voetafdruk – veiligheidszone / onderhoudszone | d         | Leidingen en elektriciteitskabels 500 m, telecomkabels 750 m. I.v.m. het magneetveld zit tussen elektriciteitskabels onderling een afstand die overeenkomt met de waterdiepte (Global Wind Support, 2009). Voor infield kabels is vanuit expert judgement bepaald dat tweemaal de waterdiepte aan weerszijden van de kabels van toepassing zou moeten zijn. |
| Kansen algemeen                                           | e         | Gebruik zelfde infrastructuur.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| Kansen windparken                                         | e         | Betere aansluitingen tussen elektriciteitsinfrastructuur; PtX oplossingen kunnen bijdragen aan betere afstemming tussen vraag en aanbod naar energie.                                                                                                                                                                                                       |

|                            |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|----------------------------|---|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Kansen ander medegebruik   | e | Vormen van medegebruik die energie opwekken kunnen baat hebben bij infrastructuur voor omvorming van energie.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Risico's algemeen          | e | Lekkages: potentiële effecten op ecologie. Beheer, onderhoud en reparatie lastig tijdens lekkages.<br>Blootligging: in morfodynamische gebieden kunnen kabels en leidingen bloot komen te liggen door zaken als stroming en bodemschuifspanning. Kabels en leidingen kunnen sneller beschadigd raken.                                                                                                                                                                                                                                              |
| Risico's windparken        | e | Lekkages: potentiële aantasting coating, afhankelijk van de chemische samenstelling van de gelekte stof. Onderhoud en beheer lastig tijdens lekkages.<br>Blootligging: in morfodynamische gebieden kunnen kabels en leidingen bloot komen te liggen door zaken als stroming en bodemschuifspanning. Hierdoor kunnen de elektriciteitskabels in het windpark sneller beschadigd raken.                                                                                                                                                              |
| Risico's ander medegebruik | e | Lekkages: voor aquacultuur zijn lekkages een risico i.v.m. potentieel effect op organismen en gezondheid van mensen. Onderhoud en beheer lastig voor alle vormen van medegebruik tijdens lekkages.<br>Blootligging: in morfodynamische gebieden kunnen kabels en leidingen bloot komen te liggen door zaken als stroming en bodemschuifspanning, waardoor kans op schade en lekkages toeneemt.<br>Corrosie gasleidingen: de EM-velden van E-kabels kunnen tot corrosie van nabij gelegen gasleidingen leiden. Dit verhoogt het risico op lekkages. |

## b. Scheepvaart

Onder de categorie scheepvaart zijn twee vormen van medegebruik geanalyseerd:

1. Zaai- en oogstvaartuigen
2. Autonome vaartuigen

### *Zaai- en oogstvaartuigen*

Onderhouds- en inspectievaartuigen voor windparken zijn reeds operationeel; daarom zijn deze vaartuigen niet meegenomen in de analyse. De ontwikkeling van zaai- en oogstvaartuigen zal zich parallel ontwikkelen aan offshore aquacultuur. Op dit moment zijn dergelijke vaartuigen nog niet operationeel op de Noordzee. Voor zeewierkweek zijn er al wel prototypes voor oogstmachines ontwikkeld die op bestaande vaartuigen geïnstalleerd kunnen worden. Voor schelpdierkweek (mosselen) wordt verwacht dat de huidige vaartuigen (mosselkotters van 30 tot 40 meter) zullen worden gebruikt.

IHC en Vuyk Engineering Rotterdam hebben een zeewieroogstmachine ontwikkeld ter grootte van ruim 6 meter. In 2016 werd het prototype getest in Noorwegen; 6 ton zeewier werd in een uur geoogst. Een kleinere versie is ontwikkeld voor de West-Europese markt. In 2017 is de machine gebruikt voor het oogsten van 100 kilogram zeewier bij de proeflocatie op Scheveningen. Er werd toen gebruik gemaakt van een vaartuig van de Rijksrederij. IHC is tevens bezig met de ontwikkeling van een zaaimachine voor zeewierkweek (IHC, 2017). Het mechanisch oogsten van zeewier op de Noordzee gaat als volgt: het vaartuig vaart langs de constructie van 25 meter lang en 4 meter diep. De constructie bestaat uit één lang touw dat langs twee steunlijnen gevlochten wordt. Op het touw groeit het zeewier, dat in 5 maanden tijd van 2 millimeter tot 1,5 meter groeit. Een katrol sleept het touw uit het water waarna het zeewier automatisch wordt afgesneden. De verwerking van het product, zoals wassen, verpakken en/of invriezen, gebeurt nog wel met de hand (De Ingenieur, 2017). Zolang deze

vorm van aquacultuur zich in de test- en demonstratiefase bevindt is de verwachting dat zaai- en oogstmachines op conventionele vaartuigen toegepast worden. Indien zeewierkweek in windparken op de Noordzee op grote en commerciële schaal gaat plaatsvinden dan zouden speciale zaai- en oogstvaartuigen ontwikkeld kunnen worden; de schaal van dergelijke vaartuigen zal vergelijkbaar zijn met een kleine boomkorkotter (30 meter). De karakterisering van het thema is te vinden in Tabel 2.2.

Tabel 2.2: karakterisering van zaai- en oogstvaartuigen

| Onderzoeksvraag                                   | Onderdeel | Omschrijving                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|---------------------------------------------------|-----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Technologische ontwikkeling                       | a         | Zaai- en oogstvaartuigen                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| TRL                                               | b         | 4-5                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| Implementatiemogelijkheid techniek                | b         | Zodra zeewierkweek en offshore mosselkweek economisch rendabel wordt is de implementatiemogelijkheid aanzienlijk                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Implementatiemogelijkheid windpark                | b         | De ambitie van publieke en private partijen is om zeewierkweek vooral in windparken toe te passen dus er is een aanzienlijke implementatiemogelijkheid dat zaai- en oogstvaartuigen operationeel worden in windparken                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| Technische specificatie                           | c         | Varend                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Interactie doorvaart                              | c         | (Niet of nauwelijks) de doorvaart belemmerend                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| Ruimtelijke voetafdruk – grootte object           | d         | Ordegrootte > 24 meter (indien commercieel)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| Ruimtelijke voetafdruk – potentiële gebruikruimte | d         | N.v.t.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Ruimtelijke voetafdruk – veiligheidszone          | d         | N.v.t.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Kansen algemeen                                   | e         | Multifunctionele vaartuigen; delen van faciliteiten, bevoorrading, Onderhoud & Beheer (O&B), dataverzameling (metocean), hulpverleningsdiensten                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| Kansen windparken                                 | e         | Multifunctionele vaartuigen; delen van faciliteiten, bevoorrading, O&B, dataverzameling (metocean), hulpverleningsdiensten                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| Kansen ander medegebruik                          | e         | Multifunctionele vaartuigen; delen van faciliteiten, bevoorrading, O&B, dataverzameling (metocean), hulpverleningsdiensten                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| Risico's algemeen                                 | e         | Losslaan: materialen aan boord van zaai- en oogstvaartuigen kunnen van boord slaan en de vaartuigen beschadigen.<br>Aanvaringen: door zaai- en oogstvaartuigen tegen windturbines en installaties van andere vormen van medegebruik.<br>Lekkages: bij schade aan het vaartuig is er kans op lekkage van bijvoorbeeld stookolie wat een risico vormt voor mens en milieu.<br>Overboord slaan van personen: veiligheidsrisico tijdens zware weersomstandigheden<br>Radarverstoring: verstoring van radar door bijv. windturbines vormt een veiligheidsrisico tijdens navigatie |
| Risico's windparken                               | e         | Losslaan: materialen aan boord van zaai- en oogstvaartuigen kunnen van boord slaan en de windturbines beschadigen.<br>Aanvaringen: door zaai- en oogstvaartuigen tegen windturbines.<br>Lekkages: bij schade aan het vaartuig is er kans op lekkage van bijvoorbeeld stookolie; dit vormt een risico voor onderhoud en beheer aan windturbines<br>Radarverstoring: verstoring van de radar door bijv. windturbines vormt een veiligheidsrisico tijdens navigatie                                                                                                             |
| Risico's ander medegebruik                        | e         | Losslaan: materialen aan boord van zaai- en oogstvaartuigen kunnen van boord slaan en installaties van andere vormen van medegebruik beschadigen.<br>Aanvaringen: door zaai- en oogstvaartuigen tegen installaties van andere vormen van medegebruik.<br>Lekkages: voor aquacultuur zijn lekkages een risico i.v.m.                                                                                                                                                                                                                                                          |

|  |  |                                                                                                                                                                                                                                                  |
|--|--|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  |  | potentieel effect op organismen en volksgezondheid. Onderhoud en beheer lastig voor alle vormen van medegebruik tijdens lekkages.<br>Radarverstoring: verstoring van radar door bijv. windturbines vormt een veiligheidsrisico tijdens navigatie |
|--|--|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

### Autonome vaartuigen

Autonoom varen ontwikkelt zich in snel tempo vanwege de verwachte kostenbesparing. De technologische ontwikkelingen gaan vooral snel in het goederenvervoer omdat dit de grootste afzetmarkt is. De verwachting is dat autonome vaartuigen het huidige goederenvervoer op zee met dertig tot veertig procent goedkoper kan maken. Dit heeft te maken met besparingen op brandstof en arbeid (TUDelft, 2018). In het Joint Industry Project Autonomous Shipping werken bijna twintig Nederlandse kennisinstellingen, bedrijven en overheden samen. Het doel is om bestaande, beschikbare technologieën die nodig zijn om autonoom te kunnen varen te integreren en te demonstreren. Naast een literatuurstudie wordt er ook getest door middel van simulaties en demonstraties; ook wordt fysiek aan boord getest (NMT, 2017). In Noorwegen gaan de ontwikkelingen sneller; het kunstmestbedrijf Yara werkt aan een feeder<sup>5</sup> die volledig elektrisch en autonoom kan varen. In 2019 zal de Yara Birkeland nog met bemanning varen; in 2020 is de bedoeling dat het vaartuig volledig autonoom vaart.

Het is zeer onwaarschijnlijk dat autonoom goederenvervoer met grote schepen in windparken gaat plaatsvinden. Wel is het zo dat de technologische ontwikkelingen in het maritieme goederenvervoer sneller gaan dan in andere sub-sectoren van de scheepvaart. Wat wél waarschijnlijk is, is dat de technologie voor autonoom varen op termijn wordt toegepast op kleinere vaartuigen die gebruikt worden voor activiteiten zoals inspectie, bevoorrading, onderhoud en dataverzameling voor windparken en verschillende vormen van medegebruik in windparken. De karakterisering van het thema is te vinden in Tabel 2.3.

Tabel 2.3: Karakterisering van autonome vaartuigen

| Onderzoeksvraag                                    | Onderdeel | Omschrijving                                                                                                                                                                                                                                 |
|----------------------------------------------------|-----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Technologische ontwikkeling                        | a         | Autonome vaartuigen                                                                                                                                                                                                                          |
| TRL                                                | b         | 3-4                                                                                                                                                                                                                                          |
| Implementatiemogelijkheid techniek                 | b         | Gemiddelde implementatiemogelijkheid omdat dit afhangt van technologische ontwikkelingen in goederenvervoer                                                                                                                                  |
| Implementatiemogelijkheid windpark                 | b         | Gemiddeld implementatiemogelijkheid; implementatie is met name interessant bij risicovolle operaties                                                                                                                                         |
| Technische specificatie                            | c         | Varend                                                                                                                                                                                                                                       |
| Interactie doorvaart                               | c         | Niet of nauwelijks de doorvaart belemmerend                                                                                                                                                                                                  |
| Ruimtelijke voetafdruk – grootte object            | d         | Tientallen meters                                                                                                                                                                                                                            |
| Ruimtelijke voetafdruk – potentiële gebruiksruimte | d         | N.v.t.                                                                                                                                                                                                                                       |
| Ruimtelijke voetafdruk – veiligheidszone           | d         | N.v.t.                                                                                                                                                                                                                                       |
| Kansen algemeen                                    | e         | Veiliger door minder kans op aanvaringen door minder interferentie van menselijk handelen.<br>Minder emissies.<br>Multifunctionele vaartuigen. Delen van faciliteiten, bevoorrading, O&B, dataverzameling (metocean), hulpverleningsdiensten |
| Kansen windparken                                  | e         | Multifunctionele vaartuigen; delen van faciliteiten, bevoorrading,                                                                                                                                                                           |

<sup>5</sup> Containerschip dat vracht voor andere schepen naar een containerhaven brengt

|                            |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|----------------------------|---|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                            |   | O&B, dataverzameling (metocean), hulpverleningsdiensten                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| Kansen ander medegebruik   | e | Multifunctionele vaartuigen; delen van faciliteiten, bevoorrading, O&B, dataverzameling (metocean), hulpverleningsdiensten                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Risico's algemeen          | e | Losslaan: materialen aan boord van autonome vaartuigen kunnen van boord slaan en de vaartuigen beschadigen.<br>Aanvaringen: door autonome vaartuigen tegen windturbines.<br>Lekkages: bij schade aan het vaartuig is er kans op lekkage van bijvoorbeeld stookolie wat een risico vormt voor mens en milieu.<br>Overboord slaan van personen: veiligheidsrisico tijdens zware weersomstandigheden<br>Radarverstoring: verstoring van radar door bijv. windturbines vormt een veiligheidsrisico tijdens navigatie                                                               |
| Risico's windparken        | e | Losslaan: materialen aan boord van autonome vaartuigen kunnen van boord slaan en de windturbines beschadigen.<br>Aanvaringen: door autonome vaartuigen tegen windturbines en installaties van andere vormen van medegebruik.<br>Lekkages: bij schade aan het vaartuig is er kans op lekkage van bijvoorbeeld stookolie; dit vormt een risico voor onderhoud en beheer aan windturbines<br>Radarverstoring: verstoring van radar door bijv. windturbines vormt een veiligheidsrisico tijdens navigatie                                                                          |
| Risico's ander medegebruik | e | Losslaan: materialen aan boord van autonome vaartuigen kunnen van boord slaan en installaties van andere vormen van medegebruik beschadigen.<br>Aanvaringen: autonome vaartuigen tegen windturbines en installaties van andere vormen van medegebruik.<br>Lekkages: voor aquacultuur zijn lekkages een risico i.v.m. potentieel effect op organismen en gezondheid van mensen.<br>Onderhoud en beheer lastig voor alle vormen van medegebruik tijdens lekkages.<br>Radarverstoring: verstoring van radar door bijv. windturbines vormt een veiligheidsrisico tijdens navigatie |

### c. Duurzame energie

Onder duurzame energie zijn zeven vormen van medegebruik in kaart gebracht:

1. Getijdenenergie (turbines)
2. Getijdenenergie (onderwater vliegers)
3. Airborne Wind Energy (vliegers)
4. Golfenergie
5. Zonne-energie
6. Drijvend energie-eiland
7. Statisch energie-eiland

#### *Getijdenenergie (turbines)*

Getijdenenergie in de kustzone van de internationale Noordzee vindt reeds plaats, zij het veelal in de testfase; er zijn geen voorbeelden van offshore getijdenenergie in de Nederlandse Noordzee. In de kustzones van de Noordzee worden al wel getijdenenergiecentrales getest; sommigen zijn reeds operationeel. Getijdenenergie opgewekt via turbines vindt in Nederland op experimentele schaal plaats. Het bedrijf

Tocado<sup>6</sup> heeft op de Afsluitdijk (300 kW) en de Oosterscheldekering (1,2 MW) testturbines geïnstalleerd (Tocado, 2018). De start-up EQA Projects is op dit moment vooral gericht op waterrad oplossingen in zoetwatersystemen. Op langere termijn is toepassing op zee wellicht ook mogelijk (EQA, 2018). De grootste getijdenenergiecentrale van Europa is de Rance Tidal Power Station aan de kust van Brittannië in Frankrijk. Deze centrale is voltooid in 1966 en heeft een capaciteit van 240 MW. De centrale is 750 meter lang en 13 meter hoog; het gedeelte waar energie wordt opgewekt is 330 meter lang. Deze locatie is gekozen door het getijdenverschil dat gemiddeld 8 meter is; tijdens springtij kan dit oplopen tot 13,5 meter (Greenage, 2018). De karakterisering van het thema is te vinden in Tabel 2.4.

Tabel 2.4: Karakterisering van getijdenenergie (turbines)

| Onderzoeksvraag                                   | Onderdeel | Omschrijving                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|---------------------------------------------------|-----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Technologische ontwikkeling                       | a         | Getijden (turbines)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| TRL                                               | b         | 6-7                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Implementatiemogelijkheid techniek                | b         | Laag op de meeste Nederlandse sites i.v.m. lage stromingssnelheid                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Implementatiemogelijkheid windpark                | b         | Laag op de meeste Nederlandse sites i.v.m. lage stromingssnelheid                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Technische specificatie                           | c         | Fundering op bodem; turbine bovenste gedeelte waterkolom                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| Interactie doorvaart                              | c         | De doorvaart belemmerend en/of blokkerend/geen doorvaart mogelijk                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Ruimtelijke voetafdruk – grootte object           | d         | Ordegrootte 10x20 m per unit.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| Ruimtelijke voetafdruk – potentiële gebruikruimte | d         | Opschaalbaar                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| Ruimtelijke voetafdruk – veiligheidszone          | d         | Inschatting $\geq 50$ m (statisch object) <sup>7</sup>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Kansen algemeen                                   | e         | Gebruik elektriciteitsinfrastructuur windturbines                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Kansen windparken                                 | e         | Delen van faciliteiten, bevoorrading, O&B, dataverzameling (metocean), hulpverleningsdiensten                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| Kansen ander medegebruik                          | e         | Delen van faciliteiten, bevoorrading, O&B, dataverzameling (metocean), hulpverleningsdiensten                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| Risico's algemeen                                 | e         | Storingen op de elektriciteitsinfrastructuur: storingen op de bestaande infrastructuur waarvan getijdenturbines mogelijk gebruik gaan maken vormen een risico voor het transport van elektriciteit<br>Aanvaring: van onderhoud en beheer vaartuigen tegen getijdenturbines.<br>Losslaan: materialen van getijdenturbines kunnen losslaan en daarmee een risico vormen voor onderhoud en beheer van getijdenturbines    |
| Risico's windparken                               | e         | Beperking onderhoudsruimte: door inbeslagname van ruimte in het windpark is er minder ruimte voor onderhoud en beheer aan elektriciteitskabels en windturbines.<br>Losslaan: materialen van getijdenturbines kunnen losslaan en daarmee een risico vormen voor onderhoud en beheer van windturbines.<br>Fundering windturbines: toename stroming rondom getijdencentrale kan invloed hebben op fundering windturbines. |

<sup>6</sup> Begin 2018 heeft Tocardo een doorstart gemaakt dankzij een investering van het Participatiefonds Duurzame Energie Noord-Holland (Cobouw, 2018).

<sup>7</sup> Voor statische objecten is aangenomen dat die een vergelijkbare veiligheidszone zullen krijgen als windturbines (50 meter)



|                            |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|----------------------------|---|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Risico's ander medegebruik | e | <p>Vermindering stroming (advectie<sup>8</sup>): hierdoor hebben mosselen bijv. minder toegang tot algen. Dit effect zal klein zijn gegeven de totale inhoud van de Noordzee t.o.v. de verlaging van de aanvoer.</p> <p>Losslaan: materialen van getijdenturbines kunnen losslaan en daarmee een risico vormen voor onderhoud en beheer van andere vormen van medegebruik</p> <p>Beperking onderhoudsruimte: door inbeslagname van ruimte in windpark is er minder ruimte voor onderhoud en beheer voor andere vormen van medegebruik.</p> <p>Aanvaringen: vaartuigen voor beheer en onderhoud van getijdenturbines kunnen in aanvaring komen met andere vormen van medegebruik.</p> |
|----------------------------|---|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

### Getijdenenergie (onderwater vlieger)

Getijdenenergie kan tevens opgewekt worden via onderwater vliegers. Een voorbeeld is de Deep Green van het Zweedse bedrijf Minesto. De vlieger maakt door de stroming en hydrodynamische liftkracht op de vleugel (spanwijdte 12 meter) een S-vormige curve. Water stroomt door een kleine turbine in het apparaat waardoor elektriciteit opgewekt wordt (Figuur 2.1). In de zomer van 2018 is er voor het eerst een prototype te water gelaten in noordwest Wales. De verwachting is dat het apparaat na optimalisatie een vermogen zou moeten hebben van 0,5 MW (Minesto, 2018). In Nederland wordt aan soortgelijke technologie gewerkt door het bedrijf SeaCurrent. De "TidalKite" is onlangs getest in één van de bassins van MARIN, in samenwerking met de Rijksuniversiteit Groningen (SeaCurrent, 2018). De karakterisering van het thema is te vinden in Tabel 2.5.



Figuur 2.1: Demonstratieproject in noordwest Wales met een onderwater vlieger van het bedrijf Minesto (Minesto, 2018)

Tabel 2.5: karakterisering van getijdenenergie (onderwater vlieger)

| Onderzoeksvraag             | Onderdeel | Omschrijving                  |
|-----------------------------|-----------|-------------------------------|
| Technologische ontwikkeling | a         | Getijden (onderwater vlieger) |

<sup>8</sup> Advectie is het horizontaal transport van energie of opgelost / gesuspendeerd materiaal door grootschalige stroming.

|                                                    |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|----------------------------------------------------|---|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| TRL                                                | b | 3-4                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Implementatiemogelijkheid techniek                 | b | Laag op de meeste sites i.v.m. lage stromingssnelheid. Benodigde diepte 60 – 120 m maakt de Noordzee ongeschikt.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| Implementatiemogelijkheid windpark                 | b | Laag op de meeste sites i.v.m. lage stromingssnelheid.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Technische specificatie                            | c | Verankerd aan de bodem.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| Interactie doorvaart                               | c | Blokkerend/ geen doorvaart mogelijk                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Ruimtelijke voetafdruk – grootte object            | d | Unit heeft spanwijdte van 12 m                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Ruimtelijke voetafdruk – potentiële gebruiksruimte | d | Ca. 10.000 m <sup>2</sup> per unit                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| Ruimtelijke voetafdruk – veiligheidszone           | d | Inschatting ≥500 m (bewegend object) <sup>9</sup>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| Kansen algemeen                                    | e | Gebruik elektriciteitsinfrastructuur windturbines                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| Kansen windparken                                  | e | Delen van faciliteiten, bevoorrading, O&B, dataverzameling (metocean), hulpverleningsdiensten                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Kansen ander medegebruik                           | e | Delen van faciliteiten, bevoorrading, O&B, dataverzameling (metocean), hulpverleningsdiensten                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Risico's algemeen                                  | e | Storingen op de elektriciteitsinfrastructuur: storingen op de bestaande infrastructuur waarvan onderwater vliegers mogelijk gebruik gaan maken vormen een risico voor het transport van elektriciteit<br>Aanvaring: van onderwater vlieger tegen onderhoud en beheer vaartuigen<br>Losslaan: materialen van onderwater vlieger kunnen losslaan en daarmee een risico vormen voor onderhoud en beheer van de onderwater vlieger.                                                                                                           |
| Risico's windparken                                | e | Beperking onderhoudsruimte: door inbeslagname van ruimte in windpark is er minder ruimte voor onderhoud en beheer aan elektriciteitskabels en windturbines.<br>Loslaten materiaal/turbines: materialen van de onderwater vlieger kunnen losslaan en daarmee een risico vormen voor onderhoud en beheer van windturbines.                                                                                                                                                                                                                  |
| Risico's ander medegebruik                         | e | Vermindering stroming (advectie): hierdoor hebben mosselen bijv. minder toegang tot algen. Dit effect zal klein zijn gegeven de totale inhoud van de Noordzee t.o.v. de verlaging van de aanvoer.<br>Loslaten materiaal/turbines: materialen van de onderwater vlieger kunnen losslaan en daarmee een risico vormen voor onderhoud en beheer van andere vormen van medegebruik .<br>Beperking onderhoudsruimte: door inbeslagname van ruimte in windpark is er minder ruimte voor onderhoud en beheer voor andere vormen van medegebruik. |

### Airborne Wind Energy

Airborne Wind Energy (AWE) wordt nog niet commercieel toegepast op dit moment. Wel is de TUDelft aan het testen met een 20 kW vlieger op het voormalig vliegveld van Valkenburg (TUDelft, 2016). Dit gebeurt in het kader van het Europese project REACH (Resource Efficient Automatic Conversion of High-Altitude Wind), onderdeel van het Horizon 2020 programma (zie bijlage B). Het Nederlandse bedrijf Ampyx Power doet ook mee aan REACH; het doel van dit bedrijf is om de enorme windkracht op grote hoogte (200-450 meter) te

<sup>9</sup> Omdat bewegende objecten een grotere actieradius hebben en afhankelijk zijn van wind, stroming en getijden brengen deze objecten meer risico met zich mee voor andere vormen van medegebruik. Daarom is de inschatting dat een veiligheidszone van minimaal 500 meter nodig is voor bewegende objecten.

benutten met veel minder materiaal dan gebruikt wordt voor conventionele windturbines. Het concept bestaat uit een soort autonoom vliegtuig die met een kabel verbonden is met een generator op de grond. Door de beweging van het toestel wordt aan de kabel getrokken waardoor de generator gaat draaien. Prototype AP2 is getest in Kraggenburg en prototype 3 gaat getest worden op een testlocatie van E.ON in Ierland. De AP4 wordt het nieuwste model en zal een vermogen hebben van 2 MW. De ambitie van Ampyx Power is om de eerste generatie wind turbines waarvan de levensduur afloopt te vervangen door AWE (Ampyx Power, 2018a; Ampyx Power, 2018b). Naast Ampyx zijn er ook nog andere bedrijven die vergelijkbare technologie ontwikkelen. Voorbeelden zijn KitePower (Nederland) en SkySails (Duitsland). De karakterisering van het thema is te vinden in Tabel 2.6.

Tabel 2.6: karakterisering van AWE

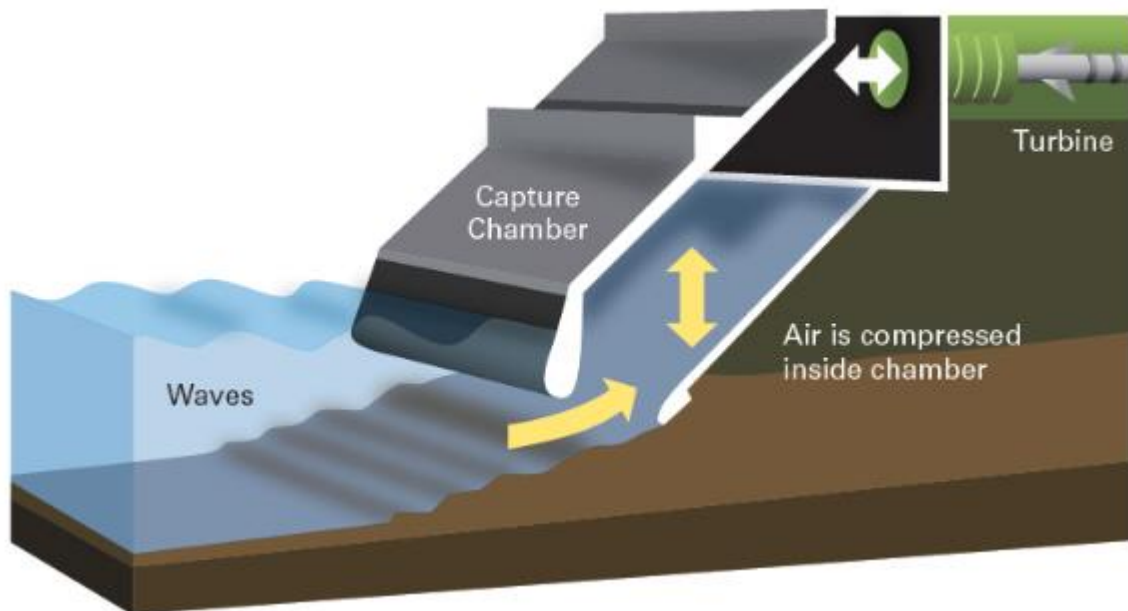
| Onderzoeksvraag                                   | Onderdeel | Omschrijving                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|---------------------------------------------------|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Technologische ontwikkeling                       | a         | AWE                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| TRL                                               | b         | 3-4                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| Implementatiemogelijkheid techniek                | b         | Laag zolang traditionele turbines operationeel zijn                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| Implementatiemogelijkheid windpark                | b         | Laag (zeer lastig te combineren met windturbines)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Technische specificatie                           | c         | Vliegend; verankerd aan object                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| Interactie doorvaart                              | c         | De doorvaart belemmerend                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Ruimtelijke voetafdruk – grootte object           | d         | Unit is 24 m in doorsnee                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Ruimtelijke voetafdruk – potentiële gebruikruimte | d         | Ca. 20.000 m <sup>2</sup> per unit                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Ruimtelijke voetafdruk – veiligheidszone          | d         | Inschatting ≥500m (bewegend object)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| Kansen algemeen                                   | e         | Gebruik elektriciteitsinfrastructuur windturbines                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Kansen windparken                                 | e         | Alternatief voor turbines die aan vervanging toe zijn. Delen van faciliteiten, bevoorrading, O&B, dataverzameling (metocean), hulpverleningsdiensten                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| Kansen ander medegebruik                          | e         | Delen van faciliteiten, bevoorrading, O&B, dataverzameling (metocean), hulpverleningsdiensten                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Risico's algemeen                                 | e         | Storingen op de elektriciteitsinfrastructuur: storingen op de bestaande infrastructuur waarvan AWE mogelijk gebruik gaat maken vormen een risico voor het transport van elektriciteit<br>Aanvlieg gevaar: lijn en vlieger kunnen in botsing komen met bijvoorbeeld onderhoud en beheer vaartuigen.<br>Losslaan/heerstorten: materialen van AWE kunnen losslaan en daarmee een risico vormen voor onderhoud en beheer van AWE. |
| Risico's windparken                               | e         | Beperking onderhoudsruimte: door inbeslagname van ruimte in windpark is er minder ruimte voor onderhoud en beheer aan elektriciteitskabels en windturbines.<br>Loslaten materiaal: materialen van de vlieger kunnen losslaan en daarmee een risico vormen voor (onderhoud en beheer van) windturbines.<br>Interactie wieken: lijn van de vlieger kan interacteren met wieken van turbines.                                    |

|                            |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|----------------------------|---|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Risico's ander medegebruik | e | Beperking onderhoudsruimte: door inbeslagname van ruimte in windpark is er minder ruimte voor onderhoud en beheer voor andere vormen van medegebruik.<br>Loslaten materiaal/neerstorten: materialen van de vlieger kunnen losslaan en daarmee een risico vormen voor onderhoud en beheer van andere vormen van medegebruik .<br>Ruimte voor medegebruik: indien de statische turbines van windparken worden vervangen door AWE zal dit invloed hebben op de beschikbare ruimte voor ander medegebruik. |
|----------------------------|---|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

### Golfenergie

Golfenergie is energie die te winnen is uit de snel wisselende waterhoogte op zee door de golven (Deltares, 2018). Er bestaan een tiental verschillende methoden om golfenergie op te wekken, onder te verdelen in vaste en drijvende installaties. De vijf meest relevante methoden waar op dit moment mee geëxperimenteerd wordt zijn hieronder beschreven.

1. Drijvende slang die verankerd is aan de bodem;
2. Drijvende boei die in beweging wordt gebracht door de golven;
3. Bewegende klep op de zeebodem, die uitsteekt boven het wateroppervlak;
4. Luchtturbine functionerend o.b.v. verplaatsing van lucht door golfslag (Figuur 2.2);
5. Opvangen van overslaande golven boven zeeniveau in een reservoir; bij laagwater stroomt het water langs turbines naar beneden.



Figuur 2.2: Luchtturbine functionerend o.b.v. verplaatsing van lucht door golfslag (ESRU, 2018)

Deze vijf methoden bevinden zich in de testfase of worden op kleine schaal toegepast. De enige commerciële installatie in Europa maakt gebruik van de derde methode. Het gaat om een initiatief van het bedrijf Aquamarine Power bij Orkney, Schotland, welke een vermogen heeft van 315 kW (EMEC, 2012; EMEC, 2018; De Breul, 2014). De karakterisering van het thema is te vinden in Tabel 2.7.

Tabel 2.7: karakterisering van golfenergie

| Onderzoeksvraag                                    | Onderdeel | Omschrijving                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|----------------------------------------------------|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Technologische ontwikkeling                        | a         | Golfenergie                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| TRL                                                | b         | 4-5                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Implementatiemogelijkheid techniek                 | b         | Matige implementatiemogelijkheid i.v.m. het feit dat alle methoden zich in de testfase bevinden. Grote technische uitdagingen i.v.m. bewegende delen en zoute omgeving.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Implementatiemogelijkheid windpark                 | b         | Matige implementatiemogelijkheid omdat deze techniek vooral bedoeld is voor toepassing in kustzones waar windparken niet staan/gepland worden.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| Technische specificatie                            | c         | Drijvend/net onder de waterlijn/op de bodem                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Interactie doorvaart                               | c         | (Niet of nauwelijks) de doorvaart belemmerend / blokkerend/ geen doorvaart mogelijk – afhankelijk van methode                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| Ruimtelijke voetafdruk – grootte object            | d         | Ordegrootte enkele tientallen meters per unit (verschilt per methode)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| Ruimtelijke voetafdruk – potentiële gebruiksruimte | d         | Opschaalbaar                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Ruimtelijke voetafdruk – veiligheidszone           | d         | Inschatting 50-500 m (statisch of bewegend object) <sup>10</sup>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| Kansen algemeen                                    | e         | Gebruik elektriciteitsinfrastructuur windturbines                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Kansen windparken                                  | e         | Reductie golfbelasting, afhankelijk van schaal. Delen van faciliteiten, bevoorrading, O&B, dataverzameling (metocean), hulpverleningsdiensten                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| Kansen ander medegebruik                           | e         | Reductie golfbelasting, afhankelijk van schaal. Delen van faciliteiten, bevoorrading, O&B, dataverzameling (metocean), hulpverleningsdiensten                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| Risico's algemeen                                  | e         | Minder golven: bij grootschalig gebruik minder golven in centrum windpark.<br>Storingen op de elektriciteitsinfrastructuur: storingen op de bestaande infrastructuur waarvan golfenergie mogelijk gebruik gaat maken vormen een risico voor het transport van elektriciteit.<br>Aanvaring: onderhoud en beheer vaartuigen kunnen in aanvaring komen met bewegende delen van golfenergie.<br>Losslaan: materialen van golfenergie kunnen losslaan en daarmee een risico vormen voor onderhoud en beheer van golfenergie. |
| Risico's windparken                                | e         | Aanvaring: onderhoud en beheer vaartuigen kunnen in aanvaring komen met windturbines<br>Beperking onderhoudsruimte: door inbeslagname van ruimte in windpark is er minder ruimte voor onderhoud en beheer aan elektriciteitskabels en windturbines.<br>Loslaten materiaal: materialen van de installatie kunnen losslaan en daarmee een risico vormen voor (onderhoud en beheer van) windturbines.                                                                                                                      |
| Risico's ander medegebruik                         | e         | Aanvaring: onderhoud en beheer vaartuigen kunnen in aanvaring komen met andere vormen van medegebruik<br>Beperking onderhoudsruimte: door inbeslagname van ruimte in windpark is er minder ruimte voor onderhoud en beheer van andere vormen van medegebruik.<br>Loslaten materiaal: materialen van de installatie kunnen losslaan en daarmee een risico vormen voor (onderhoud en beheer van) andere vormen van medegebruik.                                                                                           |

<sup>10</sup> De veiligheidszones voor de verschillende methoden van golfenergie verschillen. Bovendien is er sprake van extra risico's i.v.m. bewegende delen. Daarom is gekozen voor een veiligheidszone van 50-500 m.

### Zonne-energie

Anno 2018 bestaan de offshore zonne-energie ontwerpen uit clusters van drijvende zonnepanelen; er bestaan nog geen drijvende offshore zonneparken. Wel is een Nederlands consortium bestaande uit ECN, TNO, MARIN, TAQA en Oceans of Energy bezig met de ontwikkeling van een offshore zonnepark. De verwachting is dat de opbrengst 15% hoger zal zijn dan op land, vanwege de weerkaatsing van zonlicht op het water en het afkoelende effect van het water. De bedoeling is dat het park 2.500 m<sup>2</sup> wordt met een piekvermogen van 50 kW (Technisch Weekblad, 2018). Drijvende zonneparken worden overigens wel al toegepast, echter niet op volle zee. Het grootste drijvende zonnepark bevindt zich anno 2018 in de provincie Anhui, China (Figuur 2.3). Het park drijft in een kunstmatig meer en heeft een vermogen van 40 MW (Smithsonian, 2017). De karakterisering van het thema is te vinden in Tabel 2.8.



Figuur 2.3: drijvend zonnepark in de provincie Anhui, China (Caixing, 2017)

Tabel 2.8: karakterisering van zonne-energie

| Onderzoeksvraag                                    | Onderdeel | Omschrijving                                                                                                                              |
|----------------------------------------------------|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Technologische ontwikkeling                        | a         | Zonne-energie                                                                                                                             |
| TRL                                                | b         | 3-4                                                                                                                                       |
| Implementatiemogelijkheid techniek                 | b         | Gemiddelde implementatiemogelijkheid omdat de technologie nog in de testfase zit. Bovendien zijn er nog geen tests gedaan op volle zee.   |
| Implementatiemogelijkheid windpark                 | b         | Gemiddelde implementatiemogelijkheid omdat de technologie nog in de testfase zit. Bovendien zijn er nog geen tests gedaan op volle zee.   |
| Technische specificatie                            | c         | Drijvend (verankerd)                                                                                                                      |
| Interactie doorvaart                               | c         | Blokkerend/geen doorvaart mogelijk                                                                                                        |
| Ruimtelijke voetafdruk – grootte object            | d         | Huidige panelen 1,65m x 0,991m / 1,956m x 0,992m. Formaat voor offshore gebruik kan afwijken.                                             |
| Ruimtelijke voetafdruk – potentiële gebruiksruimte | d         | 15 ha (80.000 panelen) om 20 miljoen kwh/jaar te produceren. Dit is dezelfde hoeveelheid energie die een 9 MW turbine per jaar produceert |
| Ruimtelijke voetafdruk – veiligheidszone           | d         | Inschatting ≥50m (statisch object)                                                                                                        |
| Kansen algemeen                                    | e         | Minder golfbelasting. Gebruik elektriciteitsinfrastructuur windturbines.                                                                  |
| Kansen windparken                                  | e         | Diversifiëring energiebedrijven; minder afhankelijk van                                                                                   |

|                            |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|----------------------------|---|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                            |   | windkracht; energieproductie bij weinig wind. Reductie golf belasting, afhankelijk van schaal. Delen van faciliteiten, bevoorrading, O&B, dataverzameling (metocean), hulpverleningsdiensten                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| Kansen ander medegebruik   | e | Elektriciteitsvoorziening andere vormen medegebruik. Reductie golf belasting, afhankelijk van schaal. Delen van faciliteiten, bevoorrading, O&B, dataverzameling (metocean), hulpverleningsdiensten                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Risico's algemeen          | e | Onderhoud: schoonmaken panelen door zoutaanslag & vogelpoep vermindert rendement. Bijzondere coating noodzakelijk.<br>Loslaten materiaal: materialen van panelen kunnen losslaan en daarmee een risico vormen voor onderhoud en beheer van zonne-energie.<br>Aanvaringen: onderhoud en beheer vaartuigen kunnen in aanvaring komen met drijvende panelen.<br>Storingen op de elektriciteitsinfrastructuur: storingen op de bestaande infrastructuur waarvan zonne-energie mogelijk gebruik gaat maken vormen een risico voor het transport van elektriciteit.                                                                                          |
| Risico's windparken        | e | Schaduwwerking: kan een risico vormen voor primaire productie/ecologie bij grote uitrol, dit kan invloed hebben op de natuurontwikkeling in het windpark.<br>Aanvaring: onderhoud en beheer vaartuigen kunnen in aanvaring komen met windturbines<br>Beperking onderhoudsruimte (minder extreem dan golf energie): door inbeslagname van ruimte in windpark is er minder ruimte voor onderhoud en beheer aan elektriciteitskabels en windturbines.<br>Loslaten materiaal: materialen van de installatie kunnen losslaan en daarmee een risico vormen voor (onderhoud en beheer van) windturbines.                                                      |
| Risico's ander medegebruik | e | Schaduwwerking: kan een risico vormen voor primaire productie/ecologie bij grote uitrol.<br>Aanvaringen: onderhoud en beheer vaartuigen kunnen in aanvaring komen met andere vormen van medegebruik<br>Beperking onderhoudsruimte: door inbeslagname van ruimte in windpark is er minder ruimte voor onderhoud en beheer van andere vormen van medegebruik.<br>Loslaten materiaal: materialen van de installatie kunnen losslaan en daarmee een risico vormen voor (onderhoud en beheer van) andere vormen van medegebruik.<br>Onderhoud infield kabels: indien zonneparken boven kabels wordt toegestaan beperkt dit de mogelijkheden voor onderhoud. |

#### *Drijvend energie-eiland*

Drijvende energie-eilanden bestaan op dit moment nog niet. Drijvende energie-eilanden zijn vooral interessant als tijdelijke oplossing (enkele maanden tot jaren). Voor een oplossing op de lange termijn moet men denken aan statische energie-eilanden (zie hieronder). Tevens wordt aan de tekentafel gedacht aan hybride energiehubbs waarvan een deel drijvend is, bijvoorbeeld voor de bouw van een windpark. Dat deel wordt na afronding van de bouw verwijderd. Het andere deel is statisch en wordt gebruikt voor O&B, faciliteiten (overnachtingen personeel), beheer en als tankstation voor bestemmingsverkeer. Het concept van het drijvende energie-eiland is in 2008 bedacht door Dominic Michaelis. Het oorspronkelijke concept bestaat uit een 600 meter breed platform met een Ocean Thermal Energy Conversion (OTEC) centrale in het midden. Rondom de OTEC centrale zijn windturbines en zonnepanelen geplaatst. Tevens zou er gebruik gemaakt worden van golf-

en getijdenenergie, voedselproductie en wonen. In totaal zou dit eiland 250 MW aan energie moeten opwekken (Live Science, 2008). MARIN testte in 2017 een drijvend eiland. Het eiland bestaat uit grote drijvende driehoeken die flexibel aan elkaar verbonden zijn. Met elkaar vormen ze een flexibel drijvend eiland dat in werkelijkheid – buiten windparken - 800.000 m<sup>2</sup> groot kan worden. Deze schaal is moeilijk realiseerbaar binnen een windpark. Naast het ontwikkelen, opwekken, opslaan en onderhouden van duurzame energie op zee (offshore wind, getijdenenergie, golfenergie, drijvende zonnepanelen) zou het eiland ook gebruikt kunnen worden als overslaghaven in gebieden met weinig infrastructuur. Verder zou het kweken van zeewier en vis toegevoegd kunnen worden aan het concept, evenals wonen en recreëren (MARIN, 2017). Als laatste zou een drijvend energie-eiland ook gebruikt kunnen worden voor gasproductie, conversie en opslag (Floating Production, Storage and Offloading). De karakterisering van het thema is te vinden in Tabel 2.9.

Tabel 2.9: karakterisering van drijvende energie-eilanden

| Onderzoeksvraag                                    | Onderdeel | Omschrijving                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|----------------------------------------------------|-----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Technologische ontwikkeling                        | a         | Drijvend energie-eiland                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| TRL                                                | b         | 3-4                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| Implementatiemogelijkheid techniek                 | b         | Redelijk tot hoog. Drijvende technologie heeft grote interesse van de offshore industrie. Het hergebruik en de mogelijkheid tot verplaatsing zorgt voor een brede toepassing en mogelijk een hoge vraag naar deze oplossing. Nog niet getest op volle zee.                                                                                                                                                                           |
| Implementatiemogelijkheid windpark                 | b         | Laag. Drijvende technologie zal eerder in nabijheid van windpark geïmplementeerd worden.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Technische specificatie                            | c         | Drijvend; verankerd aan de bodem                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Interactie doorvaart                               | c         | Blokkerend/geen doorvaart mogelijk                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| Ruimtelijke voetafdruk – grootte object            | d         | Huidige testmodule is ca. 6m x 10m                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| Ruimtelijke voetafdruk – potentiële gebruiksruimte | d         | Opschaalbaar tot 1,5 x 2,5 km (3,75 km <sup>2</sup> )                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| Ruimtelijke voetafdruk – veiligheidszone           | d         | Inschatting ≥500m (statisch object)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| Kansen algemeen                                    | e         | Ontsluiting met elektriciteitsinfrastructuur. Minder golfbelasting.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| Kansen windparken                                  | e         | Safe haven O&B. Interessant voor windparken die ver uit de kust liggen i.v.m. hogere kosten. Reductie golf belasting, afhankelijk van schaal. Delen van faciliteiten, bevoorrading, dataverzameling (metocean), hulpverleningsdiensten                                                                                                                                                                                               |
| Kansen ander medegebruik                           | e         | Combinaties met zonne-energie en aquacultuur. Delen van faciliteiten, bevoorrading, O&B, dataverzameling (metocean), hulpverleningsdiensten                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| Risico's algemeen                                  | e         | Aanvaringen: vaartuigen die het drijvende energie eiland als bestemming hebben kunnen in aanvaring komen met het eiland. Lekkages: bij schade aan eiland en/of bestemmingsverkeer is er kans op lekkage van vloeistoffen (stookolie) wat een risico vormt voor mens en milieu.<br>Loslaten materiaal: materialen van drijvende panelen kunnen losslaan en daarmee een risico vormen voor onderhoud en beheer van drijvende eilanden. |
| Risico's windparken                                | e         | Aanvaringen: vaartuigen die drijvend energie eiland als bestemming hebben kunnen in aanvaring komen met windturbines. Het drijvend eiland zelf kan tevens in aanvaring komen met turbines indien verankering loslaat tijdens zware omstandigheden.<br>Lekkages: bij schade aan eiland en/of bestemmingsverkeer is er kans op lekkage van vloeistoffen (stookolie) wat een risico vormt voor beheer en onderhoud van het windpark.    |



|                            |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|----------------------------|---|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                            |   | Beperking onderhoudsruimte: door inbeslagname van ruimte in windpark is er minder ruimte voor onderhoud en beheer van het windpark.<br>Loslaten materiaal: materialen van drijvende panelen kunnen losslaan en daarmee een risico vormen voor onderhoud en beheer van windparken.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Risico's ander medegebruik | e | Aanvaringen: vaartuigen die het drijvende energie eiland als bestemming hebben kunnen in aanvaring komen met andere vormen van medegebruik. Het drijvende eiland zelf kan tevens in aanvaring komen met medegebruik indien verankering loslaat tijdens zware omstandigheden. .<br>Lekkages: bij schade aan eiland en/of bestemmingsverkeer is er kans op lekkage van vloeistoffen (stookolie) wat een risico vormt voor beheer en onderhoud van medegebruik.<br>Beperking onderhoudsruimte: door inbeslagname van ruimte in windpark is er minder ruimte voor onderhoud en beheer van andere vormen van medegebruik.<br>Loslaten materiaal: materialen van de installatie kunnen losslaan en daarmee een risico vormen voor (onderhoud en beheer van) andere vormen van medegebruik. |

### Statische energie-eilanden<sup>11</sup>

Statische energie-eilanden zijn kunstmatig aangelegde eilanden in zee. Het meest concrete plan voor de Noordzee wordt op dit moment getrokken door TenneT. Het gaat om de zogenoemde North Sea Wind Power Hub; een kunstmatig eiland dat dient als een knooppunt (hub) om noodzakelijke energie-afvoerinfrastructuur te faciliteren (Figuur 2.4). Voorbeelden zijn elektriciteitsverbindingen of infrastructuur voor de omzetting van stroom in andere stoffen. Het eiland zou ook ruimte kunnen bieden aan operationele en onderhoudsactiviteiten voor windparkontwikkelaars en als tankstation voor bestemmingsverkeer. Bovendien kan het eiland onderlinge windparken in verschillende landen verbinden via elektriciteitsinfrastructuur. De beoogde locatie van het energie-eiland is de Doggersbank, wat tevens een beschermd gebied is onder Natura 2000<sup>12</sup>. Het consortium van onder andere TenneT, Gasunie en Havenbedrijf Rotterdam onderzoekt op dit moment de haalbaarheid van het plan (TenneT, 2017a). Het plan voor de Doggersbank staat niet op zichzelf. Het bedrijf Offshore Service Facilities (OSF) is opgericht met het doel om een service eiland te ontwikkelen voor IJmuiden-Ver, ca. 100 kilometer uit de kust. Middels het eiland moet de energietransitie en de ontwikkeling van grootschalige windenergie op de Noordzee versneld worden. Een concept MER startnotitie zal worden opgesteld en worden ingediend bij het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (Chris Westra Consulting, 2017). De karakterisering van het thema is te vinden in Tabel 2.10.

<sup>11</sup> Omdat de huidige ontwerpen van kunstmatige eilanden zich op energie richten is er voor gekozen om dit concept onder het thema duurzame energie te plaatsen. Er zijn ook concepten voor kunstmatige eilanden mogelijk zonder energie.

<sup>12</sup> Deze locatie staat ter discussie. Visserijorganisaties zijn tegenstander vanwege het verder inperken van visgronden. Milieuorganisaties verschillen van standpunt. Stichting de Noordzee wil eerst concrete plannen zien terwijl Greenpeace voorstander is vanwege het sluiten van visgronden voor bodemberoerende visserij (Bright, 2016; Volkskrant, 2017).



Figuur 2.4: Artist impression van de North Sea Wind Power Hub (TenneT, 2017b)

Tabel 2.10: karakterisering van statische energie-eilanden

| Onderzoeksvraag                                    | Onderdeel | Omschrijving                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|----------------------------------------------------|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Technologische ontwikkeling                        | a         | Statisch energie-eiland                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| TRL                                                | b         | 5-6                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Implementatiemogelijkheid techniek                 | b         | Redelijk i.v.m. condities op Noordzee en kosten. Wel is er interesse vanuit marktpartijen.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| Implementatiemogelijkheid windpark                 | b         | Laag. Statische eilanden zullen eerder in de nabijheid van windpark geïmplementeerd worden.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Technische specificatie                            | c         | Statisch                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| Interactie doorvaart                               | c         | Blokkerend/geen doorvaart mogelijk                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Ruimtelijke voetafdruk – grootte object            | d         | Inschatting 2,5 x 2,5 km (6,25 km <sup>2</sup> - North Sea Wind Power Hub)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| Ruimtelijke voetafdruk – potentiële gebruiksruimte | d         | Inschatting 2,5 x 2,5 km (6,25 km <sup>2</sup> - North Sea Wind Power Hub)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| Ruimtelijke voetafdruk – veiligheidszone           | d         | Inschatting ≥500m (statisch object)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Kansen algemeen                                    | e         | Opslag & omvorming energie. Ontsluiting met elektriciteitsinfrastructuur.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| Kansen windparken                                  | e         | Haven voor O&B. Opslag en omvorming elektriciteit. Reductie golf belasting maar dit hangt af van de schaal. Delen van faciliteiten, bevoorrading, dataverzameling (metocean), hulpverleningsdiensten                                                                                                                                                                                                                    |
| Kansen ander medegebruik                           | e         | Delen van faciliteiten, bevoorrading, O&B, dataverzameling (metocean), hulpverleningsdiensten                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| Risico's algemeen                                  | e         | Stranding: vaartuigen kunnen in aanvaring komen met het nieuwe eiland.<br>Lekkages: bij schade aan eiland en/of bestemmingsverkeer is er kans op lekkage van vloeistoffen (stookolie) wat een risico vormt voor mens en milieu.<br>Conformiteit met Natura 2000 (North Sea Wind Power Hub): het aanleggen van infrastructuur in beschermde gebieden kan in strijd zijn met instandhoudingsdoelen en verbeteringsdoelen. |
| Risico's windparken                                | e         | Stranding: vaartuigen (bestemmingsverkeer van/naar statische energie-eilanden) kunnen in aanvaring komen met windturbines.<br>Lekkages: bij schade aan het eiland en/of bestemmingsverkeer is er kans op lekkage van vloeistoffen (stookolie) wat een risico vormt voor onderhoud en beheer aan windturbines.                                                                                                           |

|                            |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|----------------------------|---|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                            |   | Beperking onderhoudsruimte: door inbeslagname van ruimte in/bij windpark is er minder ruimte voor onderhoud en beheer van het windpark.<br>Loslaten materiaal: materialen van het eiland kunnen losslaan en daarmee een risico vormen voor onderhoud en beheer van windparken.                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| Risico's ander medegebruik | e | Stranding: vaartuigen kunnen in aanvaring komen met het nieuwe eiland.<br>Lekkages: bij schade aan eiland en/of bestemmingsverkeer is er kans op lekkage van vloeistoffen (stookolie) wat een risico vormt voor onderhoud en beheer van andere vormen van medegebruik.<br>Beperking onderhoudsruimte: door inbeslagname van ruimte in/bij windpark is er minder ruimte voor onderhoud en beheer van andere vormen van medegebruik.<br>Loslaten materiaal: materialen van het eiland kunnen losslaan en daarmee een risico vormen voor onderhoud en beheer van andere vormen van medegebruik. |

#### d. Aquacultuur

Onder aquacultuur zijn een vijftal vormen van medegebruik geïdentificeerd:

1. Microalgenkweek
2. Zeewierkweek
3. Schelpdierkweek
4. Viskweek
5. Integrated Multi-Trophic Aquaculture

##### *Microalgenkweek*

Microalgen ofwel fytoplankton, zijn zeer kleine plantaardige organismen tussen de 1-50 micrometer groot. In totaal bestaan er ca. 800.000 soorten, waarvan er enkele tienduizenden bekend zijn in de wetenschap. Naast het gebruik voor het maken van biobrandstof zijn microalgen van nut voor de chemische en levensmiddelenindustrie door de aanwezigheid van vetzuren, carotenen en andere kleurstoffen, antioxidanten, eiwitten en zetmeel (Wolkers et al., 2011). Op laboratoriumschaal is aangetoond dat de biomassa van algen kan worden omgezet in biobrandstof; het is nog niet duidelijk of dit ook op grote schaal plaats kan vinden (WUR, 2018). De karakterisering van het thema is te vinden in Tabel 2.11.

Tabel 2.11: karakterisering van microalgenkweek

| Onderzoeksvraag                         | Onderdeel | Omschrijving                                                                                                                                  |
|-----------------------------------------|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Technologische ontwikkeling             | a         | Microalgenkweek                                                                                                                               |
| TRL                                     | b         | 2-3                                                                                                                                           |
| Implementatiemogelijkheid techniek      | b         | Laag. Op land is de vraag of microalgen ooit commercieel gekweekt gaan worden; op zee is dit zelfs een grotere uitdaging i.v.m. hogere kosten |
| Implementatiemogelijkheid windpark      | b         | Zeer laag; uitrol op zee is nog ver weg; toepassing in windparken is een nog grotere uitdaging                                                |
| Technische specificatie                 | c         | Drijvend / hangend net onder waterlijn                                                                                                        |
| Interactie doorvaart                    | c         | Blokkerend/geen doorvaart mogelijk                                                                                                            |
| Ruimtelijke voetafdruk – grootte object | d         | Onbekend (schaalbare modules)                                                                                                                 |
| Ruimtelijke voetafdruk –                | d         | Onbekend (schaalbare modules)                                                                                                                 |

|                                          |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|------------------------------------------|---|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| potentiële gebruiksruimte                |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Ruimtelijke voetafdruk – veiligheidszone | d | Inschatting ≥50m (statisch object)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| Kansen algemeen                          | e | Groter oppervlakte beschikbaar in vergelijking tot land. Op land meer last van verschillen in luchttemperatuur; op zee fluctueert de temperatuur van het water minder (temperatuurbuffering)                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Kansen windparken                        | e | Delen van faciliteiten, bevoorrading, O&B, dataverzameling (metocean), hulpverleningsdiensten                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| Kansen ander medegebruik                 | e | Delen van faciliteiten, bevoorrading, O&B, dataverzameling (metocean), hulpverleningsdiensten                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| Risico's algemeen                        | e | Risico's tijdens onderhoud en oogsten: tijdens onderhoud en oogsten zijn zaai- en oogstvaartuigen nodig, die risico's met zich meebrengen zoals aanvaringen en verliezen van oogst. Loslaten materiaal: materialen van de installatie kunnen losslaan en daarmee een risico vormen voor onderhoud en beheer. Draagkracht ecosysteem (nutriënten): gebruik nutriënten kan concurreren met natuurontwikkeling (in windpark).                                                                      |
| Risico's windparken                      | e | Aanvaringen: zaai- en oogstvaartuigen kunnen in aanvaring komen met windturbines. Beperking onderhoudsruimte: door inbeslagname van ruimte in/bij windpark is er minder ruimte voor onderhoud en beheer. Loslaten materiaal: materialen van de installatie kunnen losslaan en daarmee een risico vormen voor onderhoud en beheer. Draagkracht ecosysteem (nutriënten): gebruik nutriënten kan concurreren met natuurontwikkeling (in windpark).                                                 |
| Risico's ander medegebruik               | e | Aanvaringen: zaai- en oogstvaartuigen kunnen in aanvaring komen met andere vormen van medegebruik. Beperking onderhoudsruimte: door inbeslagname van ruimte in/bij windpark is er minder ruimte voor onderhoud en beheer. Loslaten materiaal: materialen van de installatie kunnen losslaan en daarmee een risico vormen voor onderhoud en beheer van andere vormen van medegebruik. Draagkracht ecosysteem (nutriënten): gebruik nutriënten kan concurreren met andere vormen van aquacultuur. |

### Zeewierkweek

Zeewier valt onder de categorie macroalgen. De bekende soorten die op de Noordzee gekweekt kunnen worden zijn suikerwier (*Saccharina latissima*) en vingerwier (*Laminaria sp.*) (Reith et al., 2005). In de toekomst kunnen mogelijk tevens dulse (*Palmaria sp.*), zeesla (*Ulva sp.*), zee-eik (*Fucus sp.*) en knotswier (*Ascophyllum sp.*) gekweekt worden (Bikker et al., 2013). Deze soorten zullen niet allemaal even geschikt worden bevonden voor kweek midden op de Noordzee.

Stichting Noordzeeboerderij, als onafhankelijk vertegenwoordiger van de zeewiersector in Nederland, probeert al enige jaren voortgang te boeken met duurzame teelt op de Noordzee. In eerste instantie met eigen demonstratieprojecten. Er worden twee systemen ontwikkeld voor op de Noordzee. 1) een lijnsysteem, genaamd SMAC (Scalable Macro Algae Cultivation) module en 2) een 2-dimensioneel doekensysteem, ontwikkeld door het bedrijf AT-SEA uit België (zie bijlage B). Het SMAC systeem wordt al sinds 2014 met succes getest op de Noordzee. In oktober 2017 werd bij de testlocatie bij Scheveningen suikerwierzaad van enkele millimeters uitgezet waarbij gebruik werd gemaakt van de 25 meter lange SMAC module. In mei 2018 was het suikerwier gegroeid tot 1,5 meter en werd de eerste 100 kilo geoogst (2 à 3 kilo per meter). Het doekensysteem heeft zich bewezen in fjorden alsook de Atlantische Oceaan (Golf van Biskaje). De eerste test loopt nu voor de kust van Nieuwpoort in België, welke goed lijkt te verlopen. Beide systemen zijn in principe schaalbaar

(Noordzeeboerderij, 2018a; Noordzeeboerderij, 2018b; Brouwers, 2018 persoonlijke communicatie).

Stichting Noordzeeboerderij heeft namens de zeewiersector in Nederland de ambitie neergelegd om vanaf 2030 500 km<sup>2</sup> productieareaal te realiseren voor zeewierteelt op de Noordzee. Deze ruimte wordt gezocht door van elk windpark dat in 2030 operationeel is op het Nederlandse deel van de Noordzee 25% te reserveren voor zeewierteelt. Hiermee kan dan maximaal 10 miljoen ton aan vers zeewier per jaar worden geproduceerd (theoretisch maximum) (Noordzeeboerderij, 2018a; Noordzeeboerderij, 2018b; Brouwers, 2018 persoonlijke communicatie). Of 500 km<sup>2</sup> aan zeewier in windparken technisch en economisch haalbaar en ecologisch aanvaardbaar is moet nog onderzocht worden.

Momenteel is Stichting Noordzeeboerderij bezig met een vergunningsprocedure voor een grotere test locatie nabij Scheveningen, het North Sea Innovation Lab. Stichting Noordzeeboerderij stelt daarbij testruimte beschikbaar voor ondernemers om innovaties voor medegebruik op een veilige manier te ontwikkelen en te demonstreren. Op basis van de testresultaten uit het North Sea Innovation Lab wordt samen hen vastgelegd wat goede en haalbare randvoorwaarden voor medegebruik binnen windparken zijn (Noordzeeboerderij, 2018a; Noordzeeboerderij, 2018b; Brouwers, 2018 persoonlijke communicatie). Voor de overige randvoorwaarden van zeewierkweek in de Noordzee wordt verwezen naar bijlage D. De karakterisering van het thema is te vinden in Tabel 2.12.

Tabel 2.12: karakterisering van zeewierkweek

| Onderzoeksvraag                                   | Onderdeel | Omschrijving                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|---------------------------------------------------|-----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Technologische ontwikkeling                       | a         | Zeewierkweek                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| TRL                                               | b         | 6-8                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| Implementatiemogelijkheid techniek                | b         | Hoog. Er worden succesvolle tests gedaan op de Noordzee.                                                                                                                                                                                                                                           |
| Implementatiemogelijkheid windpark                | b         | Hoog. Het business model van zeewier steunt vooral op het medegebruik van ruimte in windparken.                                                                                                                                                                                                    |
| Technische specificatie                           | c         | Drijvend / hangend net onder waterlijn (verankerd)                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Interactie doorvaart                              | c         | Blokkerend/geen doorvaart mogelijk                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Ruimtelijke voetafdruk – grootte object           | d         | Kleine optie ca. 200 x 300 meter; grote optie ca. 800-1250 meter. Diepte ca. 2 meter (Brouwers, 2018 persoonlijke communicatie)                                                                                                                                                                    |
| Ruimtelijke voetafdruk – potentiële gebruikruimte | d         | 500 km <sup>2</sup> (ambitie Stichting de Noordzeeboerderij)                                                                                                                                                                                                                                       |
| Ruimtelijke voetafdruk – veiligheidszone          | d         | Inschatting ≥50m (statisch object)                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Kansen algemeen                                   | e         | Duurzame voedsel en grondstoffenproductie (veevoer, materialen, energie). Groot oppervlakte beschikbaar. Golfbelasting lager in windpark. Potentieel minder verzuring in Noordzee door CO <sub>2</sub> opname (in specifieke waterlagen).                                                          |
| Kansen windparken                                 | e         | Delen van faciliteiten, bevoorrading, O&B, dataverzameling (metocean), hulpverleningsdiensten                                                                                                                                                                                                      |
| Kansen ander medegebruik                          | e         | Kraamkamer functie voor vis. Reductie eutrofiering is voordelig voor viskweek. Delen van faciliteiten, bevoorrading, O&B, dataverzameling (metocean), hulpverleningsdiensten                                                                                                                       |
| Risico's algemeen                                 | e         | Draagkracht ecosysteem (nutriënten): gebruik van nutriënten door zeewier kan concurreren met natuurontwikkeling (in windpark). Ziektes en parasieten: gezondheidsrisico's voor de mens; ecologische risico's voor soorten en habitats. Risico's tijdens onderhoud en oogsten: tijdens onderhoud en |

|                            |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|----------------------------|---|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                            |   | oogsten zijn zaai- en oogstvaartuigen nodig, die risico's met zich meebrengen zoals aanvaringen en verliezen van oogst.<br>Loslaten materiaal: materialen van de installatie kunnen losslaan en daarmee een risico vormen voor onderhoud en beheer.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| Risico's windparken        | e | Aanvaring: zaai- en oogstvaartuigen kunnen in aanvaring komen met windturbines.<br>Beperking onderhoudsruimte: door inbeslagname van ruimte in/bij windpark is er minder ruimte voor onderhoud en beheer.<br>Loslaten materiaal: materialen van de installatie kunnen losslaan en daarmee een risico vormen voor de turbines, onderhoud en beheer.<br>Draagkracht ecosysteem (nutriënten): gebruik nutriënten kan concurreren met natuurontwikkeling (in windpark).                                                                                                                                                                                |
| Risico's ander medegebruik | e | Aanvaring: zaai- en oogstvaartuigen kunnen in aanvaring komen met installaties van andere vormen van medegebruik.<br>Beperking onderhoudsruimte: door inbeslagname van ruimte in/bij windpark is er minder ruimte voor onderhoud en beheer.<br>Loslaten materiaal: materialen van de installatie kunnen losslaan en daarmee een risico vormen voor onderhoud en beheer van andere vormen van medegebruik.<br>Draagkracht ecosysteem (nutriënten): gebruik van nutriënten door zeewier kan concurreren met aquacultuur.<br>Onderhoud infield kabels: indien zeewierkweek boven kabels wordt toegestaan beperkt dit de mogelijkheden voor onderhoud. |

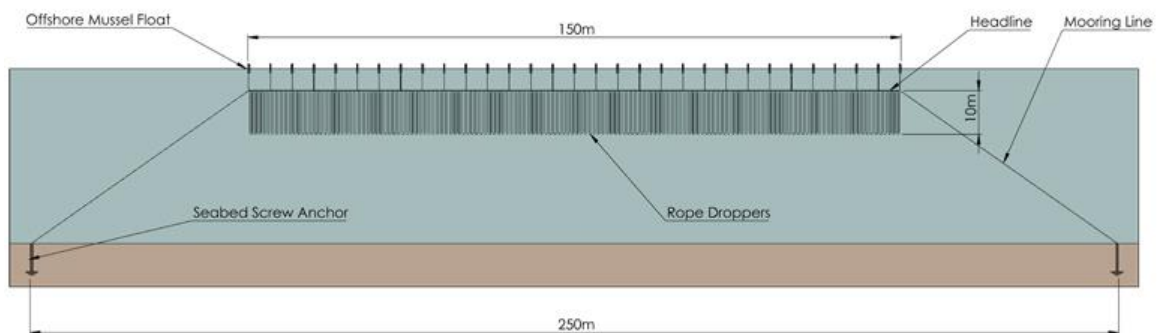
#### Schelpdierkweek

Schelpdierkweek in offshore windparken zal zich waarschijnlijk richten op een viertal soorten. De meest kansrijke soort is de gewone mossel (*Mytilus edulis*) (Reijs et al., 2008). Deze soort is kansrijk vanwege de juiste fysische omstandigheden, de huidige waardeketen die zeer efficiënt is ingericht en een goed marktpotentieel. In Nederland is nog geen ervaring opgedaan met het kweken van mosselen in offshore windparken. In België zijn sinds 2017 een tweetal proeven gestart in de windparken van C-Power en Belwind. In het windpark van C-Power gaat het om een biologisch testplatform. Het doel is om mosselzaad in te vangen en de groei van mosselen te bestuderen. In het windpark van Belwind gaat het om een zgn. krachtlijn, waarmee de impact van stroming, golven en getij op de verankering, het draagtouw en de mosselsok wordt gemeten (Engineeringnet, 2018).

In het zuiden van het Verenigd Koninkrijk is sinds 2016 een drijvende mosselkwekerij gelanceerd op 5 à 10 kilometer uit de kust door Offshore Shellfish Ltd en Fusion Marine Ltd (Figuur 2.5 en Figuur 2.6). Het is de eerste grootschalige mosselkwekerij in Europa dat gebruik maakt van offshore hangcultures (conventionele hangcultures worden al meer dan 100 jaar gebruikt). Binnen 4 jaar moet het systeem een productie leveren van 10.000 ton per jaar (Fusion Marine, 2016).



Figuur 2.5: De eerste offshore mosselkwekerij in Europa, Lyme Bay, Verenigd Koninkrijk (Fusion Marine, 2016)



Figuur 2.6: Schematische weergave van een hangculture systeem zoals toegepast door Offshore Shellfish Ltd en Fusion Marine Ltd (Fusion Marine, 2018)

De commerciële kweek van de platte oester (*Ostrea edulis*) is tevens interessant in windparken. Stichting Noordzeeboerderij is voornemens om proeven uit te voeren binnen het EU project IMPAQT met mosselen en mogelijk tevens met het kweken van platte oesters. Als laatste is de grote mantel (*Pecten maximus*) ook een optie om te kweken in de Noordzee (Reijs et al., 2008).

Voor de overige randvoorwaarden van schelpdierkweek in de Noordzee wordt verwezen naar bijlage D. De karakterisering van het thema is te vinden in Tabel 2.13.

Tabel 2.13: karakterisering van schelpdierkweek (mosselen<sup>13</sup>)

| Onderzoeksvraag                                    | Onderdeel | Omschrijving                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|----------------------------------------------------|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Technologische ontwikkeling                        | a         | Schelpdierkweek                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| TRL                                                | b         | 6-7                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| Implementatiemogelijkheid techniek                 | b         | Gemiddeld tot hoog. Eerste commerciële offshore mosselkwekerij gestart in Verenigd Koninkrijk                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| Implementatiemogelijkheid windpark                 | b         | Redelijk tot gemiddeld; eerst moet offshore techniek verder ontwikkeld worden alvorens deze toegepast kan worden in windparken.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Technische specificatie                            | c         | Drijvend/hangend. Midden waterkolom ( <i>Mytilus edulis</i> ; <i>Pecten maximus</i> ; <i>Ostrea edulis</i> ). Verankerd.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| Interactie doorvaart                               | c         | De doorvaart belemmerend / blokkerend/ geen doorvaart mogelijk                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| Ruimtelijke voetafdruk – grootte object            | d         | Hangcultures van 150m lang en 10m diep per unit (Fusion Marine, 2018)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Ruimtelijke voetafdruk – potentiële gebruiksruimte | d         | 4.000 ha (ca. 10.000-12.500 ton mosselen - Lagerveld et al., 2014)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Ruimtelijke voetafdruk – veiligheidszone           | d         | Inschatting ≥50m (statisch object)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Kansen algemeen                                    | e         | Nieuwe areaal uitbreiding voor schelpdierkweek. Golfbelasting lager in windpark.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Kansen windparken                                  | e         | Delen van faciliteiten, bevoorrading, O&B, dataverzameling (metocean), hulpverleningsdiensten                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| Kansen ander medegebruik                           | e         | Kraamkamer functie voor vis. Reductie eutrofiering is voordelig voor viskweek. Delen van faciliteiten, bevoorrading, O&B, dataverzameling (metocean), hulpverleningsdiensten. Reductie eutrofiering is voordelig voor viskweek.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Risico's algemeen                                  | e         | Plastics: komen vrij door mosselkweek via mosselzaadinstallatie (MZI) touwen. Risico voor ecologische effecten en accumulatie in voedselketen. Draagkracht risico's (plankton): grootschalige mosselkweek kan leiden tot afname van de beschikbaarheid van plankton. Dit kan concurreren met natuurontwikkeling. Ziektes en parasieten: gezondheidsrisico's voor de mens; ecologische risico's voor soorten en habitats. Risico's tijdens onderhoud en oogsten: tijdens onderhoud en oogsten zijn zaai- en oogstvaartuigen nodig, die risico's met zich meebrengen zoals aanvaringen en verliezen van oogst. Loslaten materiaal: materialen van de installatie kunnen losslaan en daarmee een risico vormen voor onderhoud en beheer. |
| Risico's windparken                                | e         | Aanvaring: zaai- en oogstvaartuigen kunnen in aanvaring komen met windturbines. Beperking onderhoudsruimte: door inbeslagname van ruimte in/bij windpark is er minder ruimte voor onderhoud en beheer. Loslaten materiaal: materialen van de installatie kunnen losslaan en daarmee een risico vormen voor onderhoud en beheer. Draagkracht risico's (plankton): grootschalige mosselkweek kan leiden tot afname van de beschikbaarheid van plankton. Dit kan concurreren met natuurontwikkeling (in windpark).                                                                                                                                                                                                                       |
| Risico's ander medegebruik                         | e         | Aanvaring: zaai- en oogstvaartuigen kunnen in aanvaring komen met installaties van andere vormen van medegebruik. Beperking onderhoudsruimte: door inbeslagname van ruimte in/bij windpark is er minder ruimte voor onderhoud en beheer.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |

<sup>13</sup> De karakterisering richt zich op mosselen de meeste potentie om te kweken op de Noordzee. Zie bijlage D voor meer informatie.



|  |  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|--|--|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  |  | Loslaten materiaal: materialen van de installatie kunnen losslaan en daarmee een risico vormen voor onderhoud en beheer van andere vormen van medegebruik.<br>Draagkracht ecosysteem (plankton): grootschalige mosselkweek kan leiden tot afname van de beschikbaarheid van plankton. Dit kan leiden tot concurrentie tussen verschillende vormen van schelpdierkweek.<br>Onderhoud infield kabels: indien schelpdierkweek boven kabels wordt toegestaan beperkt dit de mogelijkheden voor onderhoud. |
|--|--|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

### Viskweek

Viskweek in offshore windparken zal in het komende decennium misschien in beperkte mate mogelijk zijn. Mogelijke soorten voor kweek in de Noordzee zijn de kabeljauw (*Gadus morhua*) en de zeebaars<sup>14</sup> (*Dicentrarchus labrax*). Anno 2018 vinden er experimenten plaats in Nederland (Jacobahaven) met de kweek van kabeljauw; in Noorwegen vindt kabeljauwkweek in fjorden op commerciële basis plaats (450 ton in 2016). De temperatuur in het Nederlandse deel van de Noordzee is in de zomer feitelijk te hoog om kabeljauw te kweken (FAO, 2018; Jansen et al., 2016; Reijs et al., 2008). Het kweken van zeebaars gebeurt op dit moment niet op de Noordzee; echter wel in warmere wateren zoals de Middellandse Zee. Turkije (80.847 ton in 2016), Griekenland (42.465 ton) en Spanje (21.500 ton) zijn op dit moment de grootste producenten van zeebaars (FAO, 2018). Op de Noordzee vindt anno 2018 in zeer beperkte vorm offshore aquacultuur plaats. In Noorwegen wordt op dit moment een testfaciliteit voor zalm (*Salmo salar*) uitgetest op ware grootte (Figuur 2.7). De installatie heeft een hoogte van 68 meter, een diameter van 110 meter, een volume van 250.000 m<sup>3</sup> en een capaciteit voor 1,5 miljoen zalmen. De kosten voor de testfaciliteit waren 300 miljoen dollar (Salmar, 2018; Bloomberg, 2018). Zalmkweek is niet erg waarschijnlijk in Nederlandse wateren. Het ondiepe water is in de zomer te warm en te troebel voor zalmkweek. Het oordeel van Reijs et al. (2008) over viskweek in het Nederlandse deel van de Noordzee is dat de economische en technologische vooruitgang niet voldoende wordt meegenomen om de biologische grenzen voor groei en productie van vissen in de Nederlandse Noordzee te overwinnen.

Voor de overige randvoorwaarden van viskweek in de Noordzee wordt verwezen naar bijlage D. De karakterisering van het thema is te vinden in Tabel 2.14.

<sup>14</sup> Zeebrasem (*Diplodus sargus* & *Sparus aurata*) is hier niet meegenomen vanwege het feit dat ze een hogere watertemperatuur prefereren (14 -25 °C en 18 – 26 °C resp. – Davaasuren et al., 2013). De zwarte brasem (*Spondyliosoma cantharus*) komt voor ten zuiden van het Verenigd Koninkrijk (British Seafishing, 2018). Deze soort wordt sporadisch gesignaleerd in Nederland. Er is een toename van zeebrasem in de Noordzee die wordt toegeschreven aan klimaatverandering.



Figuur 2.7: De OceanFarm1 wordt naar de bestemming gesleept (Salmar, 2018; Bloomberg, 2018).

Tabel 2.14: karakterisering van viskweek

| Onderzoeksvraag                                   | Onderdeel | Omschrijving                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|---------------------------------------------------|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Technologische ontwikkeling                       | a         | Viskweek                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| TRL                                               | b         | 6-7. Slechts 1 voorbeeld van offshore testfaciliteit voor zalm bekend (Noorwegen)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| Implementatiemogelijkheid techniek                | b         | Redelijk. Kosten zijn veel hoger in vergelijking tot kweken in kustzone. Ondiep water (minimaal 40 meter) zorgt voor gebrek aan volume in kooien. Ongunstige water temperatuur voor enkele soorten.                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Implementatiemogelijkheid windpark                | b         | Matig. Eerst moet offshore technologie verder ontwikkeld worden alvorens toepassing in windparken plaats kan vinden.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Technische specificatie                           | c         | Drijvend/hangend. Midden waterkolom                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Interactie doorvaart                              | c         | Blokkerend/geen doorvaart mogelijk                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| Ruimtelijke voetafdruk – grootte object           | d         | Vierkante kooien: 5 x 5m tot 35 x 35m. Cirkelvormige kooien met omtrek tot 90m (FAO, 2004).                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Ruimtelijke voetafdruk – potentiële gebruikruimte | d         | Opschaalbaar                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Ruimtelijke voetafdruk – veiligheidszone          | d         | Inschatting $\geq 50m$ (statisch object)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| Kansen algemeen                                   | e         | Golfbelasting lager in windpark.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| Kansen windparken                                 | e         | Delen van faciliteiten, bevoorrading, O&B, dataverzameling (metocean), hulpverleningsdiensten                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| Kansen ander medegebruik                          | e         | Extra nutriënten voor zeewierkweek en schelpdierkweek. Delen van faciliteiten, bevoorrading, O&B, dataverzameling (metocean), hulpverleningsdiensten met bijv. zeewierkweek.                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Risico's algemeen                                 | e         | Ontsnapping: potentiële ecologische effecten voor soorten, habitats en voedselketen.<br>Ziektes en parasieten: gezondheidsrisico's voor de mens; ecologische risico's voor soorten en habitats.<br>Gebruik van medicijnen zoals antibiotica: gezondheidsrisico's voor de mens; ecologische risico's voor soorten en habitats.<br>Risico's tijdens onderhoud en oogsten: tijdens onderhoud en oogsten zijn zaai- en oogstvaartuigen nodig, die risico's met zich |

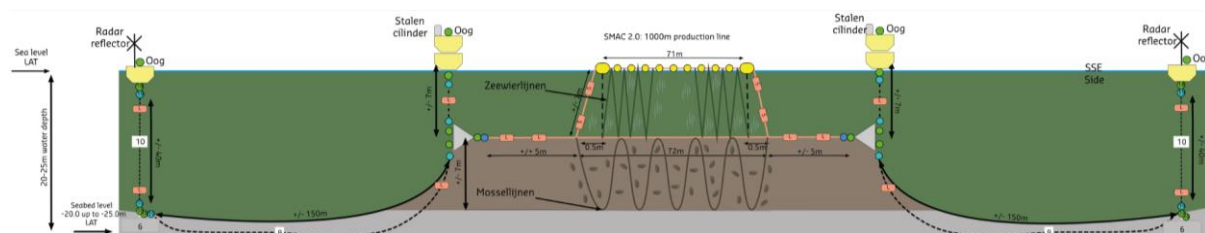
|                            |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|----------------------------|---|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                            |   | <p>meebrengen zoals aanvaringen en verliezen van oogst.</p> <p>Eutrofiering en schadelijke algenbloei: ontlasting van vissen en restanten visvoer kunnen voor teveel nutriënten in het systeem zorgen, wat kan leiden tot schadelijke algenbloei. Door toxische effecten kan schadelijke algenbloei effect hebben op de gezondheid van de mens en mariene soorten en habitats.</p> <p>Loslaten materiaal: materialen van de installatie kunnen losslaan en daarmee een risico vormen voor onderhoud en beheer.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| Risico's windparken        | e | <p>Aanvaring: zaai- en oogstvaartuigen kunnen in aanvaring komen met windturbines.</p> <p>Beperking onderhoudsruimte: door inbeslagname van ruimte in/bij windpark is er minder ruimte voor onderhoud en beheer.</p> <p>Loslaten materiaal: materialen van de installatie kunnen losslaan en daarmee een risico vormen voor onderhoud en beheer.</p> <p>Eutrofiering en schadelijke algenbloei: ontlasting van vissen en restanten visvoer kunnen voor teveel nutriënten in het systeem zorgen, wat kan leiden tot schadelijke algenbloei. Door toxische effecten kan schadelijke algenbloei effect hebben op natuurontwikkeling in windparken.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| Risico's ander medegebruik | e | <p>Gebruik van medicijnen zoals antibiotica: ecologische risico's voor andere vormen van aquacultuur.</p> <p>Aanvaring: zaai- en oogstvaartuigen kunnen in aanvaring komen met installaties van andere vormen van medegebruik.</p> <p>Beperking onderhoudsruimte: door inbeslagname van ruimte in/bij windpark is er minder ruimte voor onderhoud en beheer.</p> <p>Loslaten materiaal: materialen van de installatie kunnen losslaan en daarmee een risico vormen voor onderhoud en beheer van andere vormen van medegebruik.</p> <p>Eutrofiering en schadelijke algenbloei: ontlasting van vissen en restanten visvoer kunnen voor teveel nutriënten in het systeem zorgen, wat kan leiden tot schadelijke algenbloei. Door toxische effecten kan schadelijke algenbloei effect hebben op andere vormen van aquacultuur zoals schelpdierkweek.</p> <p>Onderhoud infield kabels: indien viskweek boven kabels wordt toegestaan beperkt dit de mogelijkheden voor onderhoud.</p> |

#### *Integrated Multi-Trophic Aquaculture (IMTA)*

De laatste categorie van aquacultuur is IMTA. In dit concept dienen de bijproducten, inclusief afval, van de ene aquatische soort als input (meststoffen, voedsel) voor de andere soort. In dit systeem worden combinaties gezocht om de kringloop van aquacultuur zoveel mogelijk te sluiten. Dat betekent dat biologische en chemische processen zoveel mogelijk in balans worden gebracht met elkaar (Figuur 2.8). Gedacht kan worden aan combinaties tussen extractieve aquacultuur (zeewierkweek, schelpdierkweek, wormenkweek) en gevoerde aquacultuur (viskweek) (Chopin et al., 2001; Chopin, 2006). Op dit moment bevindt IMTA zich nog in de onderzoeksfase. In o.a. Noorwegen en Canada is in de afgelopen jaren op kleine schaal praktijkervaring opgedaan met IMTA (zie bijvoorbeeld Bellona, 2017 en DFO, 2007). De karakterisering van het thema is te vinden in Tabel 2.15.



Figuur 2.8: artist impression van IMTA (Bfirst, 2017)



Figuur 2.9: technische en schematische dwarsdoorsnede van zeewierweek gecombineerd met hangcultures (Noordzeeboerderij 2018c; bewerkt door Deltares).

Tabel 2.15: karakterisering van IMTA

| Onderzoeksvraag                    | Onderdeel | Omschrijving                                                                  |
|------------------------------------|-----------|-------------------------------------------------------------------------------|
| Technologische ontwikkeling        | a         | Integrated Multi-Trophic Aquaculture                                          |
| TRL                                | b         | 4-5                                                                           |
| Implementatiemogelijkheid techniek | b         | Redelijk. Nog geen commerciële toepassingen. Business case nog niet sluitend. |
| Implementatiemogelijkheid          | b         | Redelijk. Mosselen en zeewier worden mogelijk gecombineerd in                 |

|                                                    |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|----------------------------------------------------|---|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| windpark                                           |   | windparken.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| Technische specificatie                            | c | Drijvend/hangend. Midden tot top waterkolom. Bodem.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| Interactie doorvaart                               | c | Blokkerend/geen doorvaart mogelijk                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Ruimtelijke voetafdruk – grootte object            | d | Onbekend                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Ruimtelijke voetafdruk – potentiële gebruiksruimte | d | Onbekend                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Ruimtelijke voetafdruk – veiligheidszone           | d | Inschatting $\geq 50\text{m}$ (statische objecten)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Kansen algemeen                                    | e | Circulair, kringlopen meer gesloten. Minder impact op de omgeving. Potentieel minder kans op ziekten. Golfbelasting lager in windpark.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| Kansen windparken                                  | e | Delen van faciliteiten, bevoorrading, O&B, dataverzameling (metocean), hulpverleningsdiensten                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Kansen ander medegebruik                           | e | Delen van faciliteiten, bevoorrading, O&B, dataverzameling (metocean), hulpverleningsdiensten.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| Risico's algemeen <sup>15</sup>                    | e | Ontsnapping: potentiële ecologische effecten voor soorten, habitats en voedselketen.<br>Ziektes en parasieten: gezondheidsrisico's voor de mens; ecologische risico's voor soorten en habitats.<br>Gebruik van medicijnen zoals antibiotica: gezondheidsrisico's voor de mens; ecologische risico's voor soorten en habitats.<br>Risico's tijdens onderhoud en oogsten (aanvaringen; verlies oogst): tijdens onderhoud en oogsten zijn zaai- en oogstvaartuigen nodig, die risico's met zich meebrengen zoals aanvaringen en verliezen van oogst.<br>Loslaten materiaal: materialen van de installatie kunnen losslaan en daarmee een risico vormen voor onderhoud en beheer. |
| Risico's windparken                                | e | Aanvaring: zaai- en oogstvaartuigen kunnen in aanvaring komen met windturbines.<br>Beperking onderhoudsruimte: door inbeslagname van ruimte in/bij windpark is er minder ruimte voor onderhoud en beheer.<br>Loslaten materiaal: materialen van de installatie kunnen losslaan en daarmee een risico vormen voor onderhoud en beheer.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| Risico's ander medegebruik                         | e | Gebruik van medicijnen zoals antibiotica: ecologische risico's voor andere vormen van aquacultuur.<br>Aanvaring: zaai- en oogstvaartuigen kunnen in aanvaring komen met installaties van andere vormen van medegebruik.<br>Beperking onderhoudsruimte: door inbeslagname van ruimte in/bij windpark is er minder ruimte voor onderhoud en beheer.<br>Loslaten materiaal: materialen van de installatie kunnen losslaan en daarmee een risico vormen voor onderhoud en beheer van andere vormen van medegebruik.<br>Onderhoud infield kabels: indien IMTA boven kabels wordt toegestaan beperkt dit de mogelijkheden voor onderhoud.                                           |

<sup>15</sup> Schadelijke algenbloei is ontbreekt bij de risico-inventarisatie van IMTA. Bij een gebalanceerd IMTA systeem is de kringloop gesloten en komen er geen extra nutriënten in het ecosysteem.

## 2.3 Conclusie

In deze paragraaf wordt op hoofdlijnen antwoord gegeven op de onderzoeksvragen behorende bij het overzicht van (innovatieve) technologieën voor medegebruik. Eerst worden de aandachtspunten, handvatten en vuistregels behandeld. Vervolgens wordt onderzoeksvraag de onderbouwing gegeven van de aandachtspunten, handvatten en vuistregels.

### *Aandachtspunten, handvatten en vuistregels*

- De volgende (innovatieve) technologische ontwikkelingen maken meer kans om geïmplementeerd te worden t/m 2030 (in willekeurige volgorde): leidingen voor het transport van stoffen, zaai- en oogstvaartuigen, autonome vaartuigen voor beheer en onderhoud, zonne-energie, drijvend energie-eilanden, statische energie-eilanden, zeewierkweek en schelpdierkweek (mosselen, oesters, grote mantel).
- (Innovatieve) technologische ontwikkelingen die minder kans maken om geïmplementeerd te worden t/m 2030 zijn (in willekeurige volgorde): getijdenenergie met turbines en onderwater vliegers, Airborne Wind Energy, golfenergie, microalgenkweek, viskweek en Integrated Multi-Trophic Aquaculture.
- Naar verwachting zullen de meeste (innovatieve) technologische ontwikkelingen zich richten op het gebruik van het wateroppervlak (drijvend) en de waterkolom (hangend). Dit ruimtegebruik komt voort uit de fysieke kenmerken van voornamelijk duurzame energie en aquacultuur.
- Duurzame energie en aquacultuur belemmeren in bijna alle gevallen de doorvaartmogelijkheden in een windpark; bij kabels en leidingen, zaai- en oogstvaartuigen en autonome vaartuigen is de belemmering van doorvaart het laagst en tijdelijk van aard.
- De ruimtelijke voetafdruk (potentiële gebruiksruimte) is het grootst voor zeewierkweek, schelpdierkweek (mosselen) en zonne-energie. Voor zeewierkweek is door Stichting de Noordzeeboerderij de ambitie neergelegd om 500 km<sup>2</sup> aan ruimte binnen windparken te ontwikkelen.
- De benodigde ruimte voor schelpdierkweek is een stuk kleiner dan die voor zeewierkweek, maar is naar verwachting nog steeds minimaal enkele tientallen km<sup>2</sup> om economisch rendabel te kunnen zijn. Dezelfde hoeveelheid ruimte zal nodig zijn om significante hoeveelheden zonne-energie op te wekken.
- De veiligheidszone van kabels en leidingen is met 500 tot 750 meter aan weerszijden van de infrastructuur het grootst. Drijvende en statische energie-eilanden en enkele typen van duurzame energie nemen een veiligheidszone van 500 meter in beslag. De kleinste veiligheidszone komt voor bij aquacultuur (ca. 50 meter).
- Kansen die voortkomen uit de (innovatieve) technologische ontwikkeling bestaan uit het gebruik van bestaande elektriciteitsinfrastructuur voor duurzame energie. Dit brengt wel weer extra vraagstukken met zich mee zoals voldoende capaciteit op het net en aanpassing van de Elektriciteitswet. Drijvende en statische energie-eilanden bieden kansen voor opslag en omvorming van energie. Voor aquacultuur is voornamelijk het beschikbare areaal een kans voor opschaling.
- Voor windparken en andere vormen van medegebruik bestaan de kansen uit het delen van de elektriciteitsinfrastructuur (kostenbesparing), diversifiëring, delen van faciliteiten,

bevoorrading, onderhoud & beheer, dataverzameling (metocean) en hulpverleningsdiensten.

- Risico's voor duurzame energie zijn storingen in de elektriciteitsinfrastructuur. Het loslaten van materiaal, aanvaringen en beperking van onderhoudsruimte zijn risico's die voor bijna alle toekomstige vormen van medegebruik van toepassing zullen zijn. Lekkages zijn een risico bij leidingen en drijvende en statische energie-eilanden.
- Aquacultuur brengt weer een heel ander type risico's zoals ziekten, parasieten voor alle typen van aquacultuur en ontsnappingen, medicijnen, eutrofiering en schadelijke algenbloei met name voor viskweek. Zeewierkweek en schelpdierkweek onttrekken nutriënten resp. plankton aan het systeem dat potentiële effecten heeft op natuurontwikkeling in windparken. Viskweek voegt juist weer nutriënten toe aan het systeem wat tot schadelijke algenbloei kan leiden.
- Risico's van (innovatieve) technologische ontwikkelingen voor de windparken en andere vormen van medegebruik bestaan in bijna alle gevallen uit aanvaringen, beperking van de onderhoudsruimte en het loslaten van materiaal.

#### *a. (Innovatieve) technologische ontwikkelingen*

De volgende (innovatieve) technologische ontwikkelingen die toegepast kunnen worden in windparken komen op ons af. De vier categorieën zijn van te voren vastgesteld in overleg met de opdrachtgever. Vervolgens is per categorie in kaart gebracht welke (innovatieve) technologische ontwikkelingen potentieel relevant zijn voor uitrol binnen windparken op zee.

1. Kabels en leidingen
  - Transport van CO<sub>2</sub>, waterstof, methaan, ammoniak, mierenzuur en methanol
2. Scheepvaart
  - Zaai- en oogstvaartuigen
  - Autonome vaartuigen
3. Duurzame energie
  - Getijdenenergie (turbines)
  - Getijdenenergie (onderwater vliegers)
  - Airborne Wind Energy
  - Golfenergie
  - Zonne-energie
  - Drijvend energie-eiland
  - Statisch energie-eiland
4. Aquacultuur
  - Microalgenkweek
  - Zeewierkweek
  - Schelpdierkweek
  - Viskweek
  - Integrated Multi-Trophic Aquaculture

#### *b. TRL en implementatiemogelijkheid*

De TRL en de implementatiemogelijkheid van de (innovatieve) technologische ontwikkelingen varieert aanzienlijk. Met uitzondering van TRL 0 (ideefase) en 1 (eerste basis onderzoek) komen alle niveaus (2 t/m 9) voor. Dat laatste betekent dat de ene (innovatieve) technologie nog in de kinderschoenen staat terwijl de andere gereed is voor uitrol in de markt. Microalgenkweek kent de laagste TRL (2-3; formulering van technologie en validering van



behoefte); dit hangt samen met het feit dat commerciële kweek op land al grote uitdagingen met zich mee brengt. Op zee zijn deze uitdagingen nog veel groter. De TRL van kabels en leidingen is het hoogst (7-9; demonstratiesystemen, eerste commerciële systemen, volledig commerciële toepassing). Dat komt omdat de implementatiemogelijkheid hoog is vanwege de bestaande infrastructuur en bovendien is er een grote behoefte om overvloedige elektriciteit om te kunnen zetten naar energiedragers zoals waterstof, methaan, ammoniak, mierenzuur en methanol.

*c. Fysieke kenmerken en belemmering doorvaart in windparken*

De (innovatieve) technologische ontwikkelingen hebben de volgende fysieke kenmerken:

- Bodem
- Verankerd
- Waterkolom
- Net onder de waterlijn
- Drijvend
- Statisch
- Vliegend

De technische specificatie “statisch” komt slechts één keer voor, namelijk in het geval van statische energie-eilanden. Ook de technische specificatie “vliegend” komt één keer voor, namelijk in het geval van Airborne Wind Energy. De technische specificatie drijvend en/of hangend in de waterkolom komt het meest voor. Drijvende (innovatieve) technologische ontwikkelingen zijn te relateren aan duurzame energie (enkele typen van golfenergie, zonne-energie en drijvende energie-eilanden). Aquacultuur kent de meeste vormen van drijvend / hangend in de waterkolom (microalgenkweek, zeewierkweek, schelpdierkweek en viskweek).

Als gevolg van de fysieke kenmerken (drijvend en net onder de waterlijn) gaan duurzame energie en aquacultuur lastig samen met doorvaart. In bijna alle beschreven (innovatieve) technologische ontwikkelingen in relatie tot duurzame energie en aquacultuur bleek dat de doorvaart volledig geblokkeerd wordt en dus niet mogelijk is als deze in bedrijf zijn. Uitzondering hierop zijn schelpdieren die op de bodem gecultiveerd worden, zoals de platte oester. Ontwikkelingen die de doorvaart niet of nauwelijks belemmeren vinden op de bodem plaats (kabels en leidingen) of kunnen zich relatief eenvoudig verplaatsen (zaai- en oogstvaartuigen, autonome vaartuigen). Deze vormen van medegebruik vormen alleen een tijdelijke belemmering waarmee met doorvaart wel rekening moet worden gehouden (afstand houden i.v.m. veiligheidszone en tijdelijk omvaren).

*d. Ruimtelijke voetafdruk*

De ruimtelijke voetafdruk (potentiële gebruiksruimte) van (innovatieve) technologische ontwikkelingen is het kleinst voor kabels en leidingen (30-100 cm doorsnee) en het grootst voor ontwikkelingen zoals zeewier (500 km<sup>2</sup>). Om de kweek van schelpdieren (mosselen) rendabel te maken zal minimaal 4.000 hectare nodig zijn om 10.000-12.500 ton mosselen te produceren; bij succes is de verwachting dat een factor vier aan ruimte nodig zal zijn (160 km<sup>2</sup>). Ook zonne-energie kan veel ruimte in beslag nemen; om een vergelijkbare hoeveelheid energie van een grote turbine (9 MW) op te wekken is 15 hectare nodig (80.000 panelen). Om significante hoeveelheden zonne-energie op te wekken is een oppervlakte nodig die honderden malen groter is (ordegrootte enkele tientallen km<sup>2</sup>).

De onderhoudszone van kabels en leidingen is juist weer groot: dat verschilt van 500 meter (leidingen en elektriciteitskabels) tot 750 meter (telecomkabels) aan weerszijden van de infrastructuur. Voor infields kabels geldt een onderhoudszone van de waterdiepte maal twee



aan weerszijden van de kabel. Objecten zoals drijvende en statische energie-eilanden naar verwachting een veiligheidszone van 500 meter in beslag. Deze hoeveelheid ruimte is waarschijnlijk ook nodig voor sommige vormen van duurzame energie (getijdenenergie en AWE). De (innovatieve) technologische ontwikkelingen met de kleinste veiligheidszones komen voor bij aquacultuur. Een veiligheidszone van ca. 50 meter is waarschijnlijk, afgebakend met kardinaal boeien.

*e. Kansen en risico's*

Kansen en risico's zijn op drie niveaus in kaart gebracht:

1. Kansen en risico's voor (innovatieve) technologische ontwikkeling zelf
2. Kansen en risico's voor windparken
3. Kansen en risico's t.a.v. ander medegebruik

Kansen die voortkomen uit de (innovatieve) technologische ontwikkelingen bestaan vooral voor duurzame energie; daarbij kan gebruik worden gemaakt van de bestaande elektriciteitsinfrastructuur. Bij deze kansen komen ook uitdagingen kijken. Een voorwaarde is dat de ontsluitende infrastructuur van TenneT voldoende capaciteit biedt<sup>16</sup>. Het garanderen van voldoende capaciteit is weer essentieel om tegemoet te komen aan eventuele bezwaren van windparkeigenaren. Bovendien zal de Elektriciteitswet uit 1998 aangepast moeten worden om dit mogelijk te maken. Drijvende en statische energie-eilanden bieden kansen voor de opslag en omvorming van energie, iets waar grote behoefte aan is zodra vraag en aanbod naar energie niet in evenwicht zijn. Voor aquacultuur bestaan de kansen vooral uit een groot beschikbaar areaal; dit geldt voor schelpdierkweek en nog meer voor zeewierkweek. Opschaling naar enkele honderden vierkante kilometers is cruciaal wil deze sector zich ontwikkelen naar een economisch rendabele sector.

Kansen voor de windparken die voortkomen uit (innovatieve) technologische ontwikkelingen bestaan enerzijds uit het delen van de elektriciteitsinfrastructuur met andere vormen van duurzame energie. Andere vormen van duurzame energie zouden tevens een stuk diversifiëring met zich mee kunnen brengen voor windexploitanten, zodat men minder afhankelijk wordt van de windkracht op zee. Andere kansen bestaan uit het zoeken naar slimme combinaties, zoals het delen van faciliteiten, bevoorrading, onderhoud & beheer, dataverzameling (metocean) en hulpverleningsdiensten.

Voor andere vormen van medegebruik zijn er ook kansen. De meest voorkomende kansen bestaan, net als bij de exploitatie van windparken, uit het delen van faciliteiten, bevoorrading, onderhoud & beheer, dataverzameling (metocean) en hulpverleningsdiensten. Zeewierkweek en schelpdierkweek bieden vooral kansen voor de kraamkamerfunctie en natuurherstel. Multifunctionele vaartuigen zijn ook een kans voor medegebruik; gedacht kan worden aan vaartuigen die ingezet kunnen worden voor zaai- en oogstactiviteiten in de zeewierkweek die tevens ingezet kunnen worden voor de schelpdierkweek of het onderhoud en beheer van andere vormen van duurzame energie. Deze laatste groep heeft ook vooral baat bij de conversie van overtollige elektriciteit naar energiedragers zoals waterstof, methaan,

---

<sup>16</sup> Tennet werkt voor de ontsluiting van de elektriciteit van windparken naar land met platformen en kabels die een capaciteit van 700 MW hebben. Deze infrastructuur is iets over gedimensioneerd om goed met kleine variaties in de benodigde transport capaciteit om te kunnen gaan; dynamic loading. Dit is geen gegarandeerde capaciteit volgens het Kwaliteits- en Capaciteitsdocument 2017 van TenneT. Daarnaast leveren de windparken niet continu vol vermogen.

ammoniak, mierenzuur of methanol, wat gefaciliteerd kan worden door bestaande of nieuwe leidingen.

Risico's die voortkomen uit de (innovatieve) technologische ontwikkelingen gelden bijvoorbeeld voor het thema duurzame energie: het potentieel delen van elektriciteitsinfrastructuur zorgt voor afhankelijkheid. Zodra er storingen optreden in de elektriciteitsinfrastructuur hebben de verschillende typen duurzame energie daar direct last van. Het loslaten van materiaal, aanvaringen en beperking van onderhoudsruimte zijn risico's die voor bijna alle toekomstige vormen van medegebruik van toepassing zullen zijn. Lekkages zijn risico's die voorkomen bij leidingen en drijvende en statische energie-eilanden. In de aquacultuur zijn er risico's zoals ziekten en parasieten. Vooral viskweek brengt extra risico's met zich mee, zoals ontsnapping van niet-inheemse soorten, gebruik van medicijnen, eutrofiering en schadelijke algenbloei. Vormen van medegebruik met drijvende/hangende eigenschappen vormen risico's voor het onderhoud aan kabels en leidingen door de inbeslagname van ruimte.

Risico's van (innovatieve) technologische ontwikkelingen voor de windparken en andere vormen van medegebruik bestaan in bijna alle gevallen uit aanvaringen, beperking van de onderhoudsruimte en het loslaten van materiaal. In sommige gevallen is er sprake van extra risico's door de kans op aanvaringen, bijvoorbeeld door bestemmingsverkeer zoals zaai- en oogstvaartuigen en autonome vaartuigen die assisteren bij onderhoud en beheer.

## 2.4 Discussie

### *Algemeen*

Het in kaart brengen van technologische (innovatieve) ontwikkelingen tot en met 2030 is een uitdaging. We weten immers niet wat we nog niet weten. Met de huidige kennis en ontwikkelingservaring het niet mogelijk is om verder dan 2030 te kijken. Tegelijkertijd hebben de huidige windparken een verwachte levenscyclus van 30 tot 40 jaar. Een compleet beeld zoals benoemd in de second opinion van Arcadis (zie hoofdstuk 1) is daarmee een te hoog doel. In dit rapport is de uitgangspositie dat technologische (innovatieve) ontwikkelingen minimaal al op de tekentafel moeten staan (TRL 1 of hoger). Voor de technologische ontwikkelingen die zich in TRL 6-9 bevinden is de kans groter dat concepten commercieel worden toegepast; echter de term TRL zegt niets over de mate waarin een concept succesvol zal zijn op de markt (Market Readiness Level). Kortom, een innovatie kan een technisch succes zijn maar falen in de markt omdat de innovatie bijvoorbeeld niet voldoende aansluit bij de behoefte van de markt. Duijn (2009) schrijft in dit kader dat het ontwikkelen en toepassen van nieuwe technologieën in een publiek-private context is niet eenvoudig is. Het is een grote uitdaging om potentiële gebruikers aan te trekken zoals overheidsinstanties om nieuwe, nog niet bewezen technologie, toe te passen. De reden voor deze terughoudendheid is gebaseerd op risicoaversie, wettelijke vereisten voor technologie en de perceptie van gebrek aan urgentie. Deze barrières maken het voor de ontwikkelaars van technologie moeilijk om de business case achter hun nieuwe technologie te 'bewijzen'. Het gevolg is weer dat investeerders terughoudend zijn om te investeren in technologie waarvoor geen degelijk business plan of markt potentieel kan worden geschetst.

### *Schaarste van ruimte*

Een andere uitdaging is het schaars worden van ruimte. Anno 2018 is enkel doorvaart voor vaartuigen tot 24 meter (lengte over alles) mogelijk. Zodra andere vormen van medegebruik of grotere schepen (met bijvoorbeeld een grotere diepgang) hun intrede doen in de windparken bestaat de mogelijkheid dat de beschikbare ruimte ook in windparken schaarser wordt. Een positief effect daarvan is dat de waarde van ruimte toeneemt wat nieuwe investeringen in vormen van medegebruik kan betekenen. De mate waarin dit effect zal doorwerken hangt vooral af van het juridisch kader van vergunningen (Bolman, 2007). Een ander effect bij schaarser wordende ruimte is de verdeling van die ruimte. Dit bevestigt het belang van de ontwikkeling van een afwegingskader zodat RWS in staat wordt gesteld om op transparante wijze de beschikbare ruimte te doseren onder potentiële gebruikers, zodat nieuwe markten stapsgewijs kunnen ontwikkelen.

### *Vormen van (vergunningplichtig) medegebruik die niet zijn meegenomen in deze studie*

- Drijvende windparken omdat deze niet worden toegepast binnen windparken met statische turbines.
- De elektriciteitsinfrastructuur, ook wel North Sea Offshore Grid genoemd, wordt niet meegenomen in deze studie omdat de toepassing ervan niet binnen maar tussen windparken plaatsvindt.
- Alternatieve voortstuwing van vaartuigen, zoals goederenvervoer met zeilschepen of vliegtuigen vanwege verschillende redenen: het gaat het om bewezen technologie en de kans dat goederenvervoer met alternatieve voortstuwing door windparken zal plaatsvinden is zeer klein.
- Energie uit osmose omdat er te weinig zoetwater beschikbaar is op zee. Regengal is bij lange na niet genoeg om osmose haalbaar te maken op zee. Volgens Lako et al., (2010) is er ca. 1 m<sup>3</sup> spuistroom per seconde nodig om 1 MW te produceren. Ter vergelijking: de

gemiddelde neerslag in Nederland is 880 millimeter per  $\text{m}^2$  op jaarbasis, ofwel  $0,88 \text{ m}^3$  per  $\text{m}^2$  per jaar (CLO, 2016).

- Ocean Thermal Energy Conversion (OTEC) omdat een verschil in watertemperatuur van minimaal  $20^\circ\text{C}$  nodig is (Mitsui, 1983). Daarom is OTEC kansrijk in tropische gebieden, tussen 20 graden ten noorden en 20 graden ten zuiden van de evenaar (Kempener & Neumann, 2014).
- Het Plan Lieveense. Dit plan is gebaseerd op het concept van een omgekeerd stuwmeer; een eiland dat als het ware een gapend gat is, omringd door een dijk. Bij meer aanbod dan vraag naar energie wordt zeewater omhoog gepompt; bij meer vraag dan aanbod komt het zeewater naar beneden en wordt energie opgewekt (Volkskrant, 2007). Omdat het eiland een grootte zou moeten hebben van 6 bij 10 kilometer is de combinatie met een windpark niet mogelijk.
- Thermische energie uit oppervlaktewater (TEO), omdat deze technologie uitsluitend op land wordt toegepast. Het is niet de verwachting dat TEO in de komende decennia op zee wordt toegepast i.v.m. de aanzienlijk hogere kosten.
- Bodem beroerende visserij en passieve visserij (vissen met manden, korven en staand want) is hier bewust niet in meegenomen omdat dit geen vergunningplichtig medegebruik betreft vanuit het perspectief van de Waterwet.

### 3 Verkenning van opties en mogelijke zonering van de ruimte voor medegebruik

#### 3.1 Methode

Het doel van hoofdstuk 3 is om op basis van hoofdstuk 2 te verkennen van hoe medegebruik zich in bestaande en geplande windparken binnen het NCP zou kunnen vertalen of uitwerken. Hierbij gaat het om het in kaart brengen van de mogelijkheden binnen bestaande en geplande windparken (in ruimte en/of tijd) en welke interactie, afstemming en zonering daarbij relevant kunnen zijn. In overleg met de opdrachtgevers (Rijkswaterstaat en het Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties) is besloten om dit doel verder af te bakenen tot een verkenning van de zonering voor medegebruik in de windenergiegebieden Hollandse Kust Noord (HKN) en Hollandse Kust Zuid (HKZ). In HKN komt er één windpark van 700MW, in HKZ komen er vier windparken van 350MW. In HKN wordt niet het hele windenergiegebied gebruikt. Er is voor deze afbakening gekozen omdat de inrichting van deze windenergiegebieden gedeeltelijk al bekend zijn en naar verwachting naar ruimte ook meer kritisch zal zijn dan bij latere parken (schaalvergroting).

Er wordt ingegaan op 4 onderzoeksvragen:

- De ruimte (per windpark) die redelijkerwijs beschikbaar is voor medegebruik, rekening houdend met de voor windexploitatie benodigde ruimte (inclusief veiligheid).
- De potentiële locaties voor medegebruik (welke soorten medegebruik, per categorie van techniek, in welke windparken en waar binnen die parken?)
- De situering van medegebruik ten opzichte van potentiële routes voor doorvaartpassages (onderscheid tussen <24 m, <45 m<sup>17</sup> en <80 m);
- Hoe verschillende vormen van medegebruik (inclusief natuurontwikkeling) zich tot elkaar verhouden in ruimte en tijd. Zitten ze elkaar in de weg? Zijn er functiecombinaties mogelijk? Zijn er functiecombinaties die elkaar negatief beïnvloeden?

Onderzoeksvragen a t/m c worden beantwoord d.m.v. de ontwikkeling van 5 ruimtelijke scenario's. Hiervoor is ArcGIS software gebruikt (Tabel 3.1).

Tabel 3.1: overzicht van ruimtelijke scenario's en onderzoeksvragen

| Scenario # | Onderzoeks-Vraag | Omschrijving                                                       |
|------------|------------------|--------------------------------------------------------------------|
| 1          | a                | Beschikbare ruimte medegebruik; 50m onderhoudszone infield kabels  |
| 2          | a                | Beschikbare ruimte medegebruik; 100m onderhoudszone infield kabels |
| 3          | b                | Beschikbare ruimte medegebruik; 250m onderhoudszone infield kabels |
| 4          | c                | Potentiële locaties voor medegebruik                               |
| 5          | c                | Potentiële routes voor doorvaartpassages                           |

Voor onderzoeksvraag d is ervoor gekozen om geen scenario te ontwikkelen maar een matrix waaruit duidelijk wordt in welke mate activiteiten combineerbaar zijn. Hieronder volgt voor de vier onderzoeksvragen (a t/m d) een toelichting over de gekozen aanpak. De resultaten zijn te vinden in de volgende paragraaf (3.2).

<sup>17</sup> Doorvaart van 45 en 80 meter gaan verder dan het huidige beleid (max. 24 meter). Dit is gedaan om in het kader van dit verkennend onderzoek robuust voor mogelijke opties in de toekomst. Over doorvaart meer dan 24 meter moet nog besloten worden.

- a. De ruimte (per windpark) die redelijkerwijs beschikbaar is voor medegebruik, rekening houdend met de voor windexploitatie benodigde ruimte (scenario's 1,2 en 3)

Deze onderzoeksvraag is geoperationaliseerd in drie scenario's. De scenario's verschillen enkel met betrekking tot de grootte van de onderhoudszones van de infield kabels. Alhoewel er geen regelgeving is die bepaalt hoe groot de onderhoudszone dient te zijn, wordt veelal de maatstaf twee maal de waterdiepte aan weerszijden van de kabel gehanteerd. Of dat voldoende is hangt af van verschillende factoren zoals het type en de lengte van het vaartuig dat voor reparaties gebruikt wordt en de karakterisering van verschillende vormen van medegebruik. Daarbij moet ook rekening worden gehouden met schaalvergroting. Middels de drie scenario's is het mogelijk om inzichtelijk te maken in welke mate de grootte van de onderhoudszones van infield kabels invloed heeft op de beschikbare ruimte voor medegebruik. De drie scenario's zijn uitgewerkt in Tabel 3.2. De scenario's zijn toegepast op de huidige situatie in HKN en HKZ zoals weergegeven in Figuur 3.1 en Figuur 3.2.

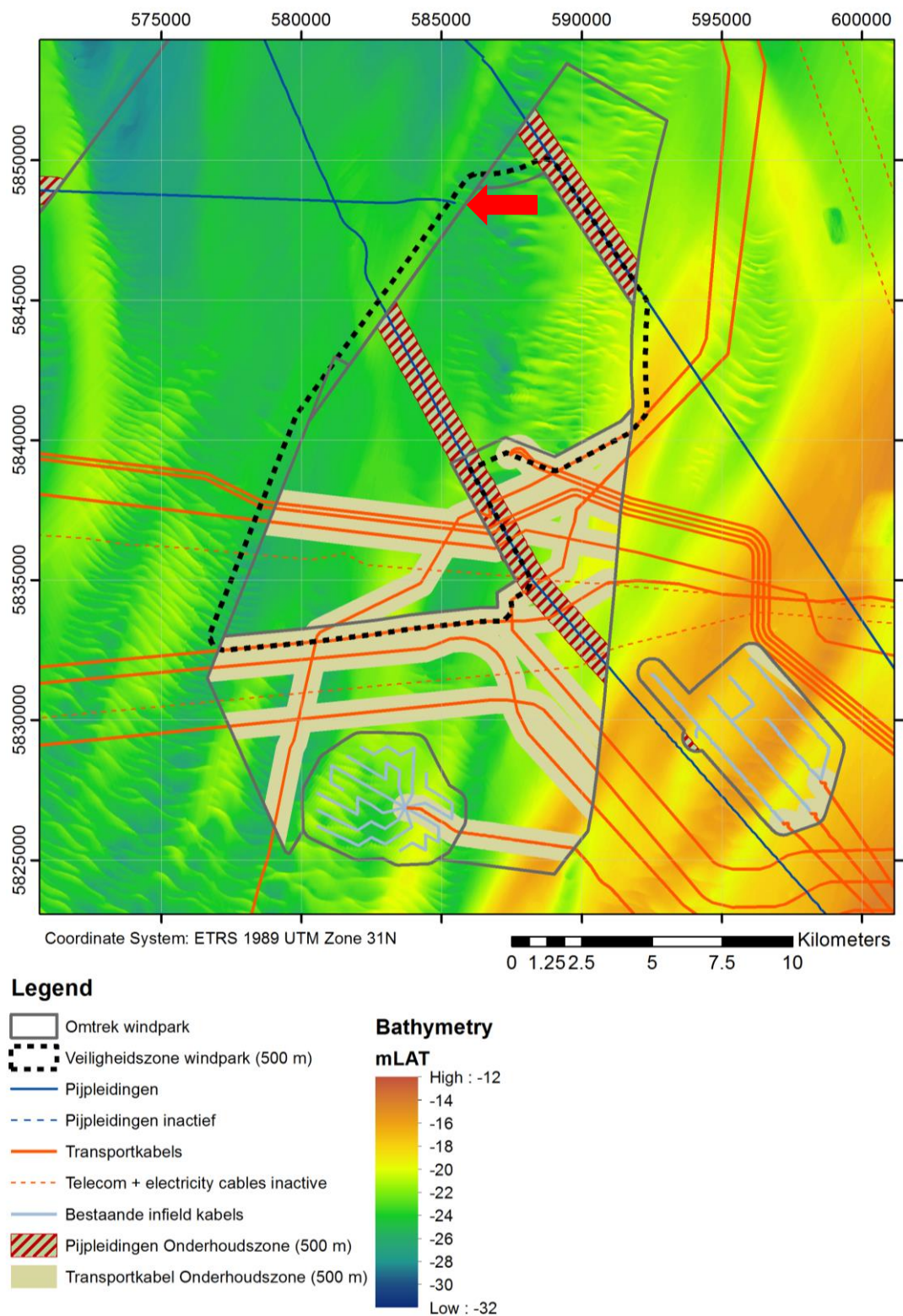
Tabel 3.2: scenario's voor het in kaart brengen van beschikbare ruimte voor medegebruik

| Omschrijving                                                                              | Scenario 1                           | Scenario 2                           | Scenario 3                           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| Onderhoudszone infield kabels <sup>a</sup>                                                | 50 meter <sup>b</sup>                | 100 meter <sup>b</sup>               | 250 meter <sup>b</sup>               |
| Medegebruik in onderhoudszone infield kabels niet mogelijk op/in <sup>c</sup>             | Bodem, waterkolom, water oppervlakte | Bodem, waterkolom, water oppervlakte | Bodem, waterkolom, water oppervlakte |
| Veiligheidszone windturbines (geen medegebruik mogelijk) <sup>d</sup>                     | 50 meter                             | 50 meter                             | 50 meter                             |
| Onderhoudszone windturbines <sup>e</sup>                                                  | 100 meter                            | 100 meter                            | 100 meter                            |
| Veiligheidszone transformatorstations/platforms (geen medegebruik mogelijk) <sup>f</sup>  | 500 meter                            | 500 meter                            | 500 meter                            |
| Onderhoudszone telecom kabels & olie/gas leidingen (alleen passage mogelijk) <sup>g</sup> | 500 meter                            | 500 meter                            | 500 meter                            |
| Beschikbare ruimte voor medegebruik                                                       | Groene gebieden                      | Groene gebieden                      | Groene gebieden                      |

Toelichting op de letters in de tabel:

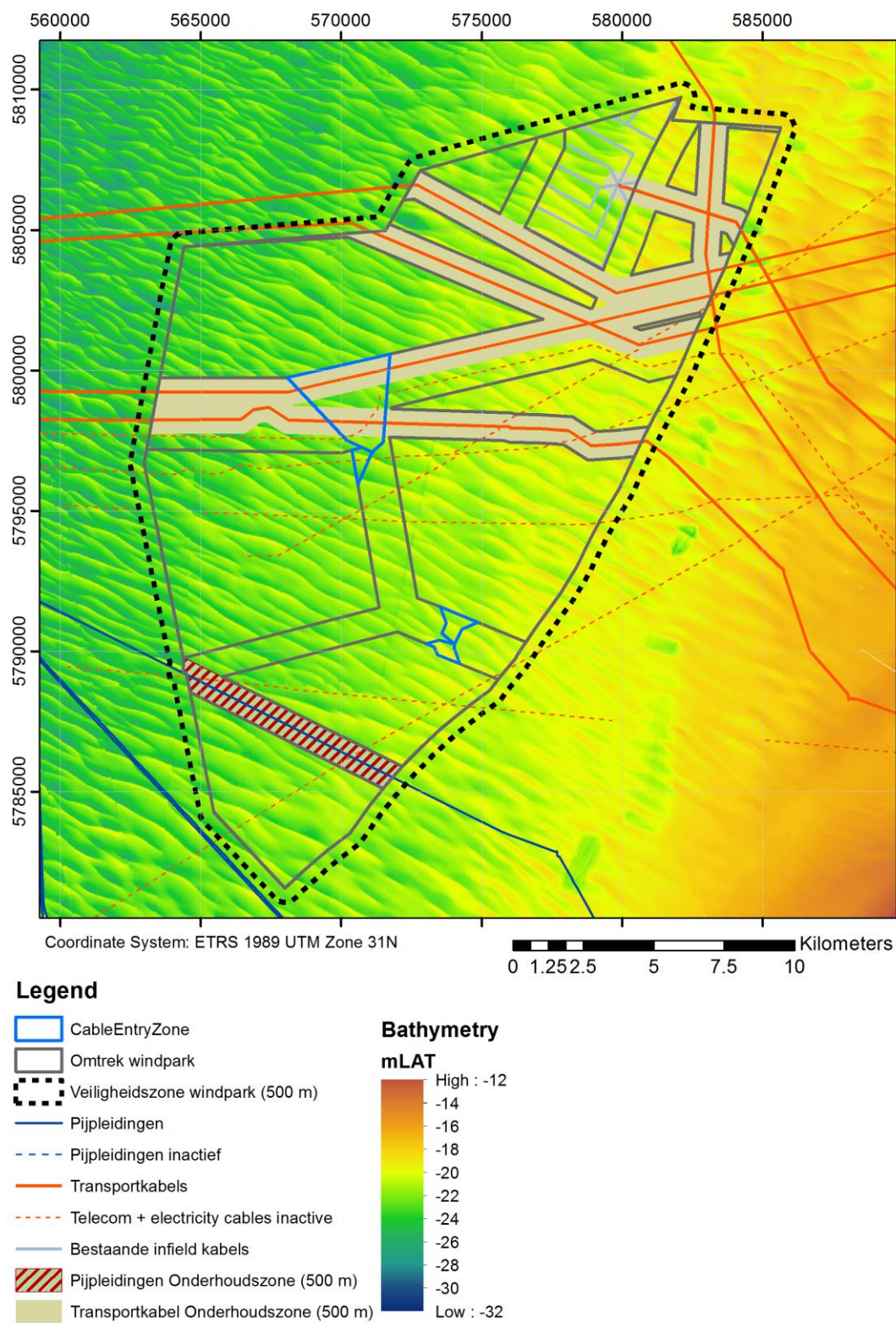
- Deze zone is niet vastgelegd in de regelgeving. De infield kabels zijn in principe ingegraven maar er is geen specifieke maatstaaf voor hoe diep de infield kabels begraven moeten zijn en hoeveel gronddekking ten alle tijden er minimaal op de infield kabels dient te zijn.
- De breedte van de onderhoudszone van infield kabels hangt samen met de waterdiepte. De minimale vereiste is dat de onderhoudszone van infield kabels 2 maal de waterdiepte is (ca. 25 meter), dus 50 meter aan weerszijden van de kabel (scenario 1). Voor scenario 2 is 4 maal de waterdiepte genomen (100 meter) en voor scenario 3 is 10 maal de waterdiepte genomen (250 meter).
- In overleg met de opdrachtgever is besloten dat onderhoudszones van de infield kabels in deze scenario's niet toegankelijk zijn voor medegebruik activiteiten met een vaste/statische constructie. Doorvaart voor vaartuigen kleiner dan 24 meter en vaartuigen voor onderhoud, inspectie, zaaien en oogsten is toegestaan.
- Deze zone is vastgelegd in de regelgeving (Staatscourant, 2018).
- Deze zone is niet vastgelegd in de regelgeving. Er is gekozen voor een onderhoudszone van 100 meter voor windturbines vanwege de benodigde ruimte voor vaartuigen om grootschalige reparaties uit te voeren, zoals het vervangen van een wieken. De onderhoudszone van 100 meter voor windturbines is enkel zichtbaar in scenario 1, omdat de onderhoudszone van infield kabels kleiner is (50 meter). In scenario's 2 en 3 vallen de onderhoudszones van de turbines binnen de onderhoudszones van de infield kabels.
- Deze zone is vastgelegd in de regelgeving (Staatscourant, 2018).

- g. Deze zone is vastgelegd in de regelgeving (Staatscourant, 2018). Het verschil in de grootte van de onderhoudszones tussen infield kabels en telecom kabels en olie/gas leidingen is deels risico gedreven. In het geval van telecom kabels en olie/gas leidingen gaat het om bestaande regelgeving.



Figuur 3.1: huidige situatie in HKN welke de basis vormt voor het toepassen van de scenario's. De rode pijl verwijst naar een pijpleiding die niet meer actief is. Daarom is deze niet zichtbaar op de andere kaarten in het rapport. In de hiernavolgende kaarten van HKN is ervoor gezorgd dat er geen turbines geplaatst zijn in de 500 meter zone van deze pijp.





Figuur 3.2: huidige situatie in HKZ welke de basis vormt voor het toepassen van de scenario's.

De onderliggende keuzes die gemaakt zijn bij het maken van GIS kaarten voor scenario's 1, 2 en 3 zijn hieronder weergegeven:

- De polygonen van de gebieden en restrictiegebieden (kabels, pijpleidingen) zijn afkomstig van de websites <http://offshorewind.rvo.nl/generalnh> en <http://offshorewind.rvo.nl/generalzh>
- Er wordt uitgegaan van 9 – 9.5 MW turbines op basis van de huidige markt. Borssele 3-4 en Northwester 2 worden met deze turbines gebouwd. Inschattingen van Ecofys voor de LCOE berekening (Levelised Cost of Energy) worden gemaakt op basis van 9 MW turbines voor HKN.  
(<https://offshorewind.rvo.nl/file/view/55039340/Hollandse+Kust+%28noord%29+Levelised+Cost+of+Energy%2C+Baseline+and+Scenarios+-+Ecofys>).
- De afstand tussen turbines varieert van 1100-1300 m. Deze afstand is gebaseerd op basis van de huidige markt en het rapport van Ecofys. Bij het ontwikkelen van de scenario's verschillen de onderlinge afstanden tussen turbines door de optimalisering van het ruimtegebruik door turbines en infield kabels. Er wordt vanuit gegaan dat bij latere windparken met grotere turbines de ruimte tussen de turbines gelijk of naar verwachting groter is.
- Het aantal turbines per string<sup>18</sup> is gemaximaliseerd op 7. Dit is conform de werkwijze in de huidige markt en het rapport van Ecofys. Tevens speelt de maximale capaciteit op de strings een rol; deze capaciteit is 66kv.
- De turbine layout voor HKN is grotendeels gebaseerd op alternatief 4C van het Ecofys rapport. Echter door veranderingen in het kabeltracé van Hollandse Kust (west) via Hollandse Kust (noord) naar de kust en de gevolgen voor de locatie van het TenneT platform zijn de turbines verschoven. Aan de randen van het park zijn de turbines verschoven om ervoor te zorgen dat de wieken niet buiten het windpark komen.
- Voor Hollandse Kust (zuid) zijn willekeurige turbinelocaties toegevoegd, inachtnemend de afstand tussen de turbines en een totale capaciteit van ~1400 MW. Daarnaast is de kabel layout door Deltares geoptimaliseerd om medegebruik te stimuleren (scenario's 2 en 3).
- In het geval van HKN de pijpleiding tussen 4QA en 4QB niet meer actief. Deze is aangegeven met de rode pijl in Figuur 3.1. Deze pijpleiding is weggelaten in de hiernavolgende scenario's, maar er is wel rekening gehouden met de onderhoudszone van deze kabel.

- b. De potentiële locaties voor medegebruik (welke soorten medegebruik, per categorie van techniek, in welke windparken en waar binnen die parken?) (scenario 4)

De potentiële locaties voor medegebruik in HKN en HKZ zijn weergegeven in scenario 4. De volgende onderliggende keuzen en aannames zijn gedaan bij het maken van scenario 4:

- Scenario 3 (Tabel 3.2) is als uitgangspunt genomen voor het ontwikkelen van scenario 4.
- Het is op dit moment nog niet duidelijk welke grootte van de onderhoudszone voor infield kabels noodzakelijk is; daarom is er op dit moment nog geen beleid. In België houdt men een onderhoudszone van 250 meter aan in de windparken. Vanuit de elektriciteitskabelaars is de wens om naar een optie te kijken die groter is dan 50 of 100 meter. Verder moet rekening worden gehouden met een verdere schaalvergroting waardoor er in de toekomst meer ruimte nodig is voor onderhoud dan nu het geval is. Vandaar dat in scenario 4 gewerkt wordt met een onderhoudszone voor infield kabels van 250 meter.
- De kansrijke vormen van medegebruik uit paragraaf 2.3 zijn als uitgangspunt genomen. Vervolgens is van deze selectie bepaald waarom vormen van medegebruik wel of niet relevant zijn voor de medegebruikscenario's (zie Tabel 3.3)<sup>19</sup>.

<sup>18</sup> Een string bestaat uit infield kabels en turbines die verbonden is met de OHVS

- Bij het maken van de kaarten is geprobeerd om versnippering tegen te gaan en clusters te stimuleren. Dit vanwege de spreiding van verschillende soorten technische en ecologische risico's.
- Voor de vormen van medegebruik die mee zijn genomen in scenario 4 wordt aangenomen dat een veiligheidszone van 50 meter geldt. Voor andere vormen van medegebruik die niet zijn meegenomen in dit scenario kan een andere veiligheidszone gelden. Zie ook paragraaf 2.2.
- De ontwikkelde scenario's voor medegebruik zijn nadrukkelijk bedoeld als voorbeeld en verkenningsopties t.b.v. het komen tot een reëel afweegkader. Het zijn nadrukkelijk geen voorstellen voor een concrete ruimtelijke inrichting op zee of invulling van medegebruik.

Tabel 3.3: geselecteerde vormen van medegebruik voor het in kaart brengen van potentiële locaties

| Medegebruik              | Wel/niet meenemen                           | Argument                                                                                                                                                                                                                      | Randvoorwaarden                                                                                                                                                                                                                                                           |
|--------------------------|---------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Kabels en leidingen      | Niet                                        | Alhoewel het transport van stoffen zoals waterstof kansrijk is ligt het niet in de verwachting dat nieuwe leidingen in het windpark aangelegd zullen worden. Eerder zal bestaande infrastructuur benut worden <sup>20</sup> . |                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| Zaai- en oogstvaartuigen | Wel (als onderdeel van andere activiteiten) | Deze vaartuigen zijn onmisbaar voor aquacultuur                                                                                                                                                                               | Vaartuigen mogen in onderhoudszones van strings varen, maar niet ankeren. Uitzondering t.a.v. varen in geval van (spoed)reparatie aan infield kabels.                                                                                                                     |
| Autonome vaartuigen      | Wel (als onderdeel van andere activiteiten) | Deze vaartuigen zullen in de toekomst ingezet worden voor monitoring                                                                                                                                                          | Vaartuigen mogen in onderhoudszones van strings varen, maar niet ankeren. Uitzondering t.a.v. varen in geval van (spoed)reparatie aan infield kabels.                                                                                                                     |
| Zonne-energie            | Wel                                         | Zonne-energie op zee kan zeer nuttig zijn om tekort op te vangen bij weinig wind                                                                                                                                              | Panelen worden bij voorkeur in een radiaal vanaf het van Offshore High Voltage Substations (OHVS's) geplaatst in verband met het minimaliseren kabel kruisingen. Aangenomen wordt dat aansluiting op OHVS mogelijk is <sup>21</sup> . Extra ruimte reserveren voor beheer |

<sup>19</sup> Golfenergie is niet meegenomen omdat dit geen kansrijke vorm van medegebruik is. Theoretisch zou de zuidwestkant van HKN en HKZ de optimale locatie zijn i.v.m. golfhoogte. Uit paragraaf 2.2 blijkt dat onderwater vliegers en Airborne Wind Energy een actieradius van 10.000 m<sup>2</sup> hebben. Dit blijkt niet inpasbaar in HKN en HKZ.

<sup>20</sup> Tegelijkertijd is de verwachting van telecom-kabelaars dat er nog veel kabels bijkomen op de Noordzee.

<sup>21</sup> De OHVS en hoofdtransportkabels van TenneT worden altijd licht overgedimensioneerd. Dit betreft volgens de KCD geen langdurig gegarandeerde capaciteit. Bij zonne-energie geldt een zekere mate van complementaire transportbehoefte ten opzichte van windenergie gegeven de weersomstandigheden.

|                                                                |      |                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|----------------------------------------------------------------|------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                |      |                                                                                                                         | en onderhoud door vaartuigen (ca. 25 m). Aanneمة dat onderhouds- en beheervaartuigen gebruik maken van veiligheidszone.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Drijvend energie-eilanden                                      | Niet | HKN en HKZ liggen dichtbij de kust. De kosten van aanleg wegen naar verwachting niet op tegen de baten.                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| Statische energie-eilanden                                     | Niet | HKN en HKZ liggen dichtbij de kust. De kosten van aanleg wegen naar verwachting niet op tegen de baten.                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| Zeewierkweek                                                   | Wel  | Succesvolle proeven op Noordzee; opschaling in komende jaren                                                            | De kleinschalige testmodules van Stichting de Noordzeeboerderij liggen op moment dwars op de stroming. Bij opschaling zou het kunnen zijn dat de modules parallel aan de stroming geplaatst worden. Dit is nog onzeker. Voor scenario 4 is ervoor gekozen om te experimenteren met een oriëntatie parallel aan de stroming (noordoost-zuidwest). Extra ruimte reserveren voor zaai- en oogstvaartuigen (ca. 45m). Vindt in de winter plaats dus combinatie met mosselkweek mogelijk. Aanneمة dat zaai- en oogstvaartuigen gebruik maken van veiligheidszone. |
| Schelpdierkweek (mosselzaadinvangsinstallatie en hangcultures) | Wel  | Nieuwe ruimte voor mosselsector; is nog wel wat terughoudend ivm angst om huidige percelen kwijt te raken <sup>22</sup> | Oriëntatie parallel aan stroming (noordoost-zuidwes). Extra ruimte reserveren voor zaai- en oogstvaartuigen (ca. 45m). MZI's worden in de zomer gebruikt, wanneer er geen zeewier gekweekt wordt. Hangcultures het jaar rond (ook onder zeewierinstallaties). Dus combinatie met zeewierkweek mogelijk. Aanneمة dat zaai- en oogstvaartuigen gebruik maken van veiligheidszone.                                                                                                                                                                              |
| Schelpdierkweek (oester)                                       | Wel  | Er worden reeds experimenten gedaan in windparken met platte oesters in het kader van natuurontwikkeling. De            | Flexibel; systemen kunnen op willekeurige locaties geplaatst worden. Aanneمة dat zaai- en oogstvaartuigen gebruik maken van veiligheidszone.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |

<sup>22</sup> Het project Noordzee Aquacultuur in Vlaanderen is een voorbeeld van offshore mossel en oester productie in windparken. In september 2018 zijn de eerste mosselen succesvol geoogst (ILVO, 2018).

|                          |     |                                                                          |                                                                                                                                                                     |
|--------------------------|-----|--------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                          |     | verwachting is dat er tevens aquacultuur gaat plaatsvinden.              |                                                                                                                                                                     |
| Schelpdierkweek (mantel) | Wel | Nog geen kweek in Nederland; mogelijk nieuwe markt voor schelpdiersector | Flexibel; systemen kunnen op willekeurige locaties geplaatst worden. Aannee dat zaai- en oogstvaartuigen gebruik maken van veiligheidszone maar mogen niet ankeren. |

- c. De situering van medegebruik ten opzichte van potentiële routes voor doorvaartpassages (onderscheid tussen <24 m, <45 m en <80 m) (scenario 5)

Voor de situering van medegebruik ten opzichte van potentiële routes voor doorvaartpassages in HKN en HKZ is scenario 5 ontwikkeld. De volgende onderliggende keuzen en aannames zijn gedaan bij het maken van scenario 5:

- In overleg met de opdrachtgever is scenario 3 (Tabel 3.2) als uitgangspunt genomen voor het ontwikkelen van scenario 5.
- De potentiële routes voor doorvaartpassages zijn gebaseerd op de aanname dat vooral oost-west verbindingen interessant zijn voor de recreatievaart.
- In overleg met de opdrachtgever is besloten dat doorvaartpassages minimaal 500 meter breed moeten zijn.
- Vaartuigen van <80 meter zijn als uitgangspunt genomen voor scenario 5, in de veronderstelling dat deze ruimte tevens voldoende is voor vaartuigen van <24 meter en <45 meter.
- De veiligheidszones voor windturbines zijn vergroot van 50 meter naar 100 meter. Dit is gedaan om een extra veiligheidsbuffer in te bouwen in het geval vaartuigen van <80 meter gebruik maken van de doorvaartpassage.

- d. Hoe verschillende vormen van medegebruik (inclusief natuurontwikkeling) zich tot elkaar verhouden in ruimte en tijd? Zitten ze elkaar in de weg? Zijn er functiecombinaties mogelijk? Zijn er functiecombinaties die elkaar negatief beïnvloeden?

Voor het in kaart brengen van de mate waarin verschillende vormen van medegebruik zich tot elkaar verhouden in ruimte en tijd zijn de volgende onderliggende keuzen en aannames gemaakt:

- Een matrix is opgesteld (zie bijlage F) waarin de verschillende vormen van medegebruik op de x-as en y-as vermeld staan. Met kleuren is aangegeven in hoeverre er sprake is van synergie of conflict tussen 2 vormen van medegebruik:

Er zijn mogelijkheden om twee activiteiten te combineren in ruimte/tijd

De twee activiteiten zijn combineerbaar maar leveren geen extra synergie op

Mogelijkheden voor combinaties tussen activiteiten, maar met beperkingen in ruimte/tijd

Een combinatie tussen de twee activiteiten is niet mogelijk in ruimte/tijd

- De kleur van elke combinatie tussen 2 vormen van medegebruik wordt bepaald door de karakterisering in paragraaf 2.2. Per gekleurde cel is met steekwoorden beargumenteerd waarom de cel een bepaalde kleur heeft.
- Door de combinaties en de kleuren te kwantificeren zijn de vormen van medegebruik gerangschikt. Donkergroen levert 3 punten, lichtgroen 2 punten, oranje 1 punt en rood 0 punten.

- Aanvullend op de gekarakteriseerde vormen van medegebruik die zijn overgenomen uit paragraaf 2.2 om de matrix te vullen, zijn offshore windparken, recreatievaart, natuurontwikkeling en passieve visserij ook meegenomen in de matrix. Deze activiteiten zijn apart vermeld in de matrix.

### 3.2 Resultaten

In dit hoofdstuk worden de antwoorden gegeven op de vier onderzoeksvragen zoals benoemd in hoofdstuk 1.

- De ruimte (per windpark) die redelijkerwijs beschikbaar is voor medegebruik, rekening houdend met de voor windexploitatie benodigde ruimte (scenario's 1, 2 en 3)

In de GIS kaarten van Figuur 3.3 t/m Figuur 3.10 is de beschikbare ruimte weergegeven (in groen) voor medegebruik in de drie scenario's in HKN en HKZ. Voor HKN varieert de beschikbare ruimte voor medegebruik van 58 km<sup>2</sup> (46% van het totale oppervlakte van HKN in scenario 3) tot 89 km<sup>2</sup> (71% van het totale oppervlakte van HKN in scenario 1). Voor HKZ varieert de beschikbare ruimte voor medegebruik van 116 km<sup>2</sup> (54% van het totale oppervlakte van HKZ in scenario 3) tot 190 km<sup>2</sup> (79% van het totale oppervlakte van HKZ in scenario 1). In Tabel 3.4 en Tabel 3.5 is de beschikbare ruimte voor medegebruik in HKN en HKZ te vinden voor scenario's 1, 2 en 3. Het is van belang om te vermelden dat niet alle vormen van medegebruik kunnen plaatsvinden op elke willekeurige beschikbare locatie. Dit wordt nader toegelicht in onderdeel b hieronder.

Tabel 3.4: beschikbare ruimte voor medegebruik in HKN in scenario 1, 2 en 3<sup>23</sup>.

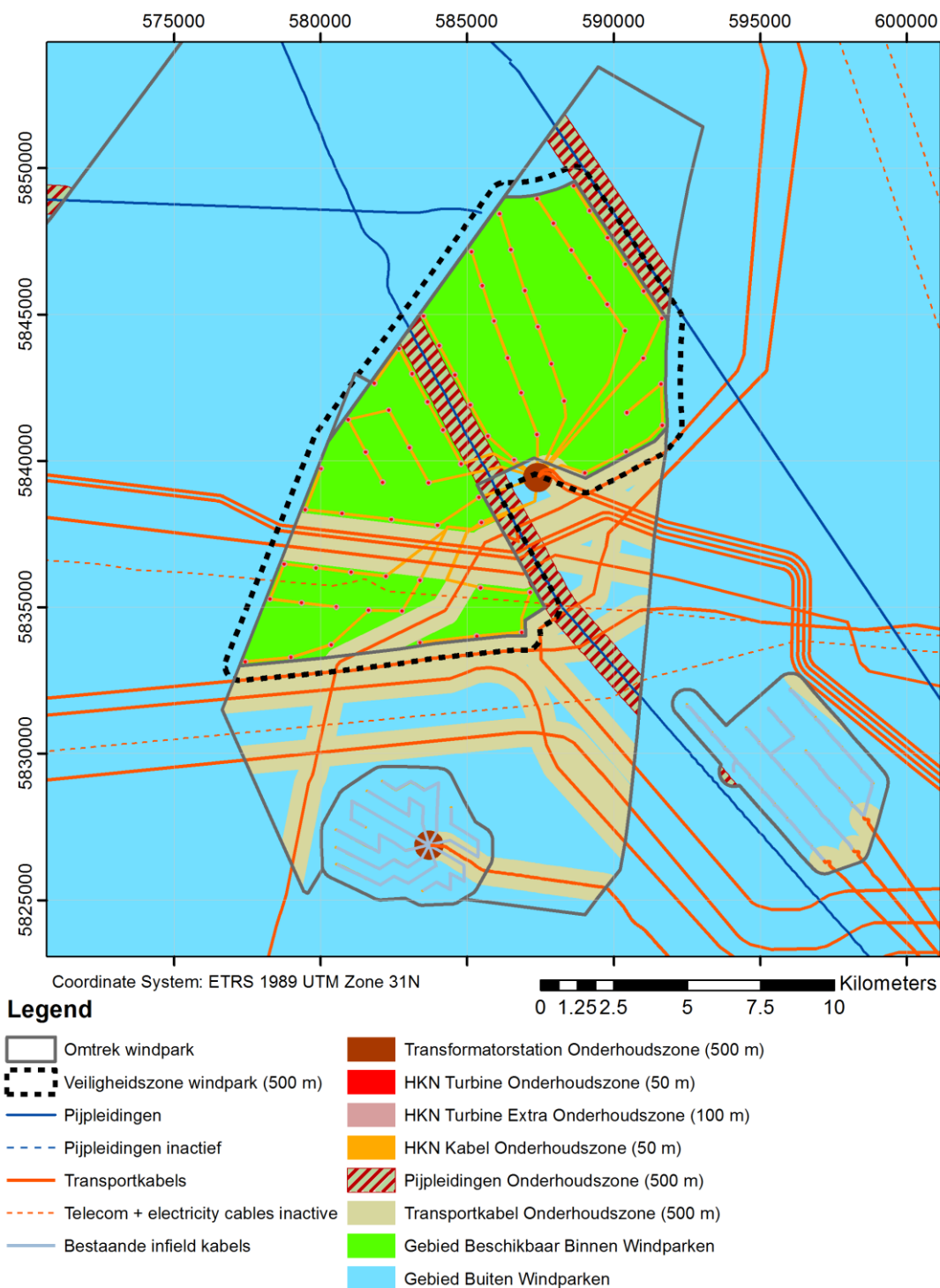
|            | Totaal opp. HKN     | Opp. medegebruik (groene gebieden) | Totaal opp. overig gebruik, met name wind energie |
|------------|---------------------|------------------------------------|---------------------------------------------------|
| Scenario 1 | 126 km <sup>2</sup> | 89 km <sup>2</sup>                 | 37 km <sup>2</sup>                                |
| Scenario 2 | 126 km <sup>2</sup> | 81 km <sup>2</sup>                 | 45 km <sup>2</sup>                                |
| Scenario 3 | 126 km <sup>2</sup> | 58 km <sup>2</sup>                 | 68 km <sup>2</sup>                                |

Tabel 3.5: beschikbare ruimte voor medegebruik in HKZ in scenario 1, 2 en 3

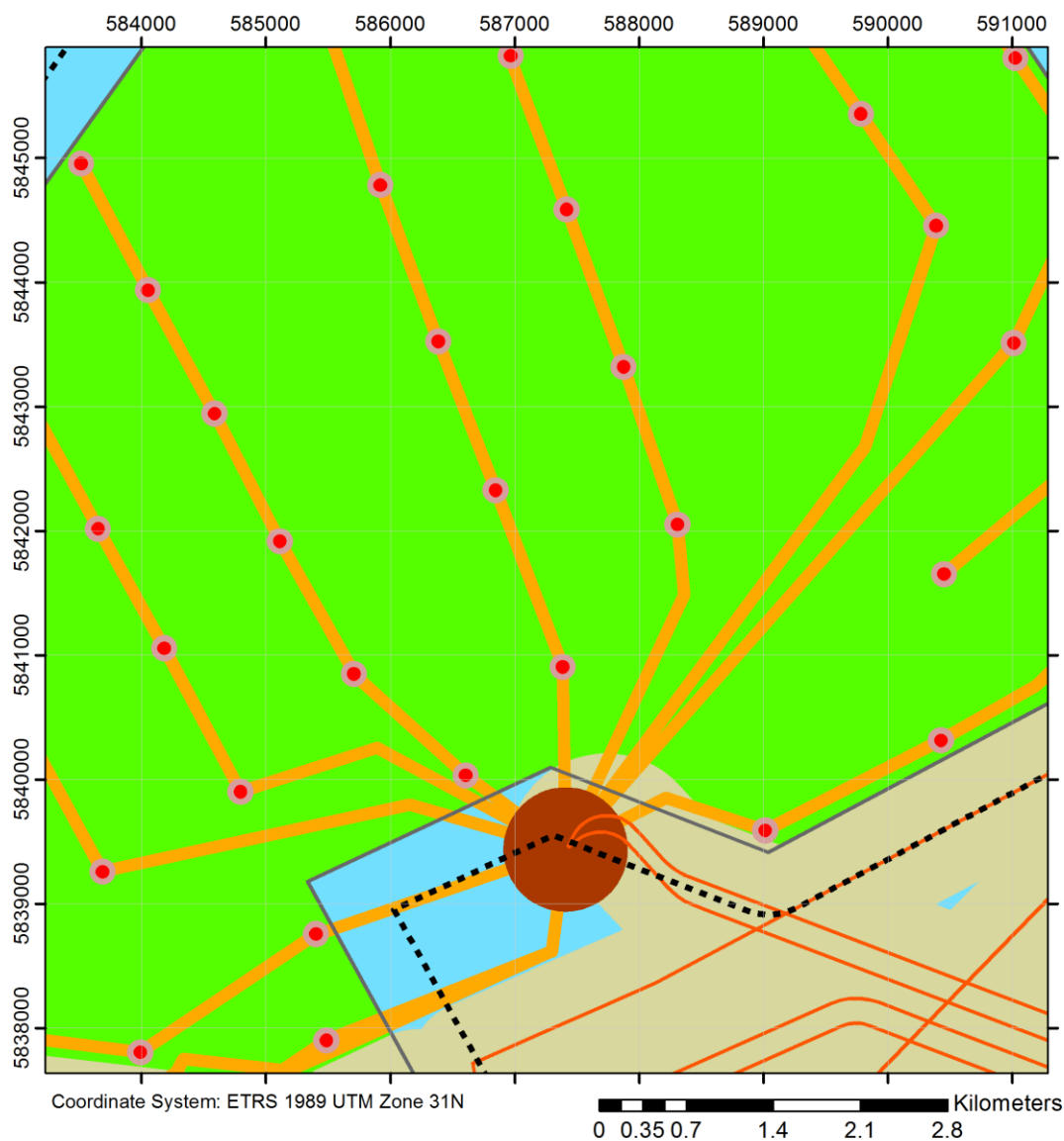
|            | Totaal opp. HKZ     | Opp. medegebruik (groene gebieden) | Totaal opp. overig gebruik, met name wind energie |
|------------|---------------------|------------------------------------|---------------------------------------------------|
| Scenario 1 | 214 km <sup>2</sup> | 190 km <sup>2</sup>                | 24 km <sup>2</sup>                                |
| Scenario 2 | 214 km <sup>2</sup> | 171 km <sup>2</sup>                | 43 km <sup>2</sup>                                |
| Scenario 3 | 214 km <sup>2</sup> | 116 km <sup>2</sup>                | 98 km <sup>2</sup>                                |

<sup>23</sup> De scenario's verschillen in de onderhoudszones van de infield kabels: scenario 1: 50 meter, scenario 2: 100 meter en scenario 3: 250 meter.





Figuur 3.3: Scenario 1, HKN, met een onderhoudszone van 50 meter aan weerszijden van de infield kabels.

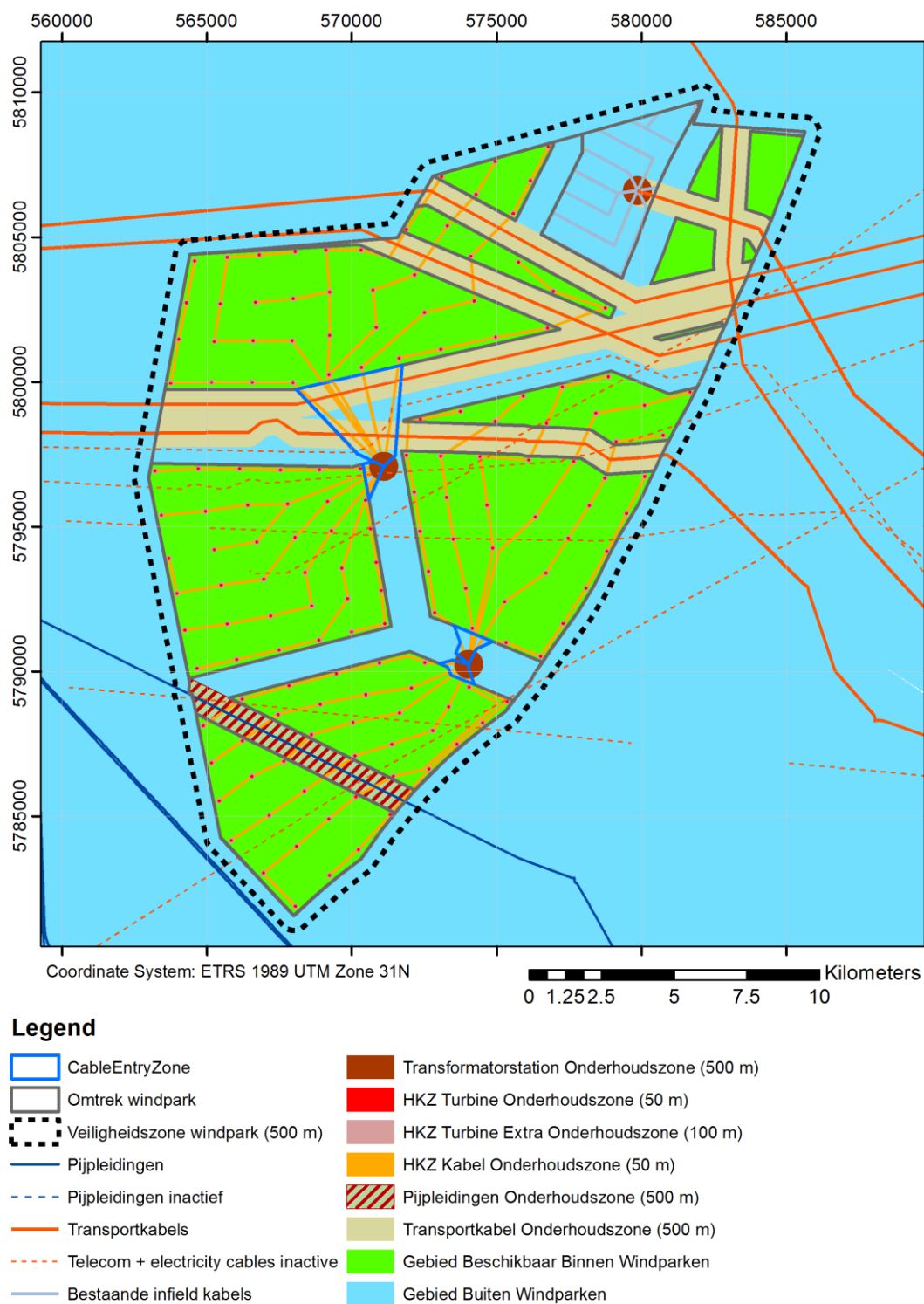


### Legend

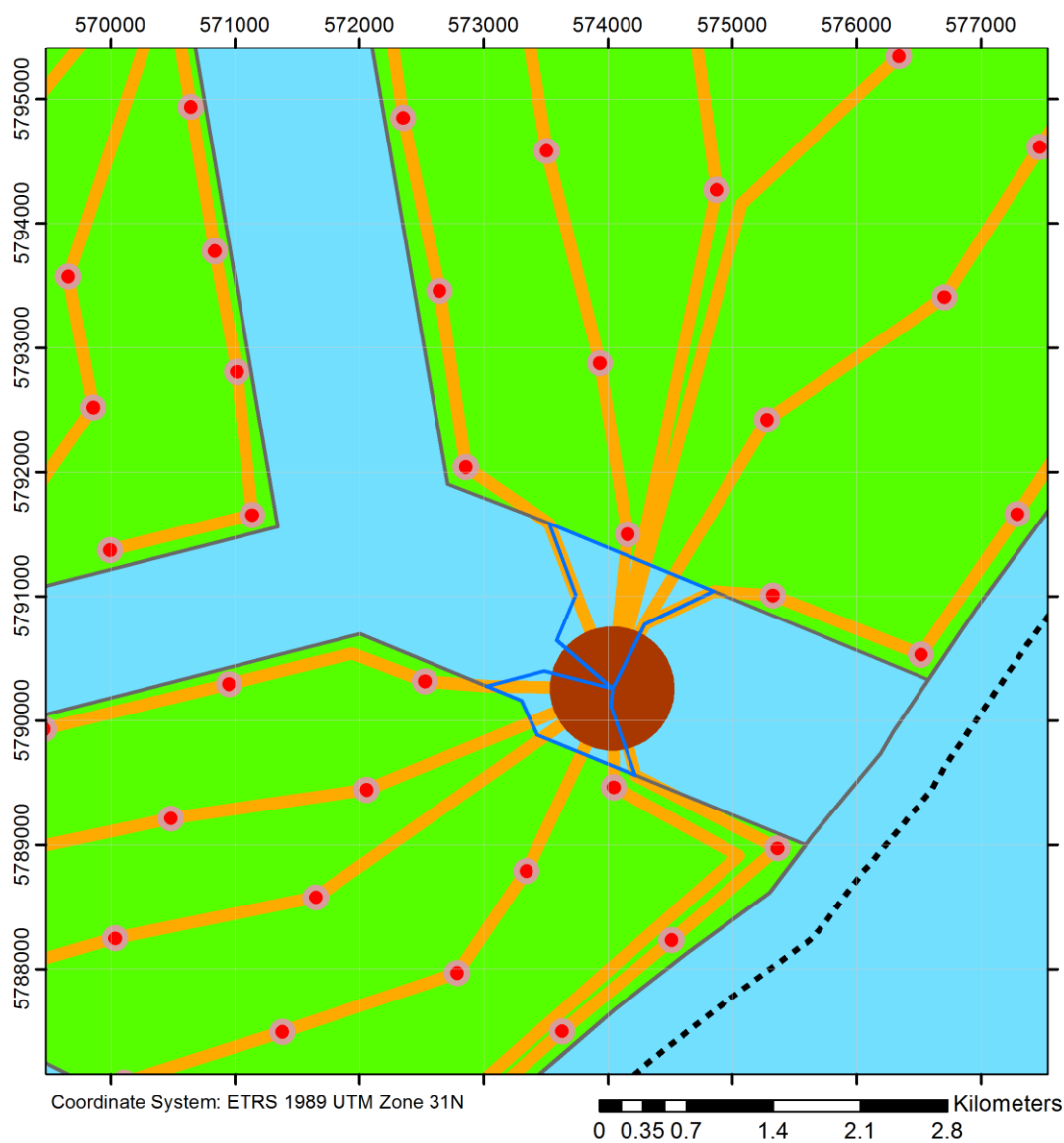
- |                                  |                                             |
|----------------------------------|---------------------------------------------|
| CableEntryZone                   | Transformatorstation Onderhoudszone (500 m) |
| Omtrek windpark                  | HKN Turbine Onderhoudszone (50 m)           |
| Veiligheidszone windpark (500 m) | HKN Turbine Extra Onderhoudszone (100 m)    |
| Transportkabels                  | HKN Kabel Onderhoudszone (50 m)             |
|                                  | Transportkabel Onderhoudszone (500 m)       |
|                                  | Gebied Beschikbaar Binnen Windparken        |
|                                  | Gebied Buiten Windparken                    |

Figuur 3.4: Scenario 1, HKN, met een onderhoudszone van 50 meter aan weerszijden van de infield kabels. Uitsnede van het midden van het windpark.





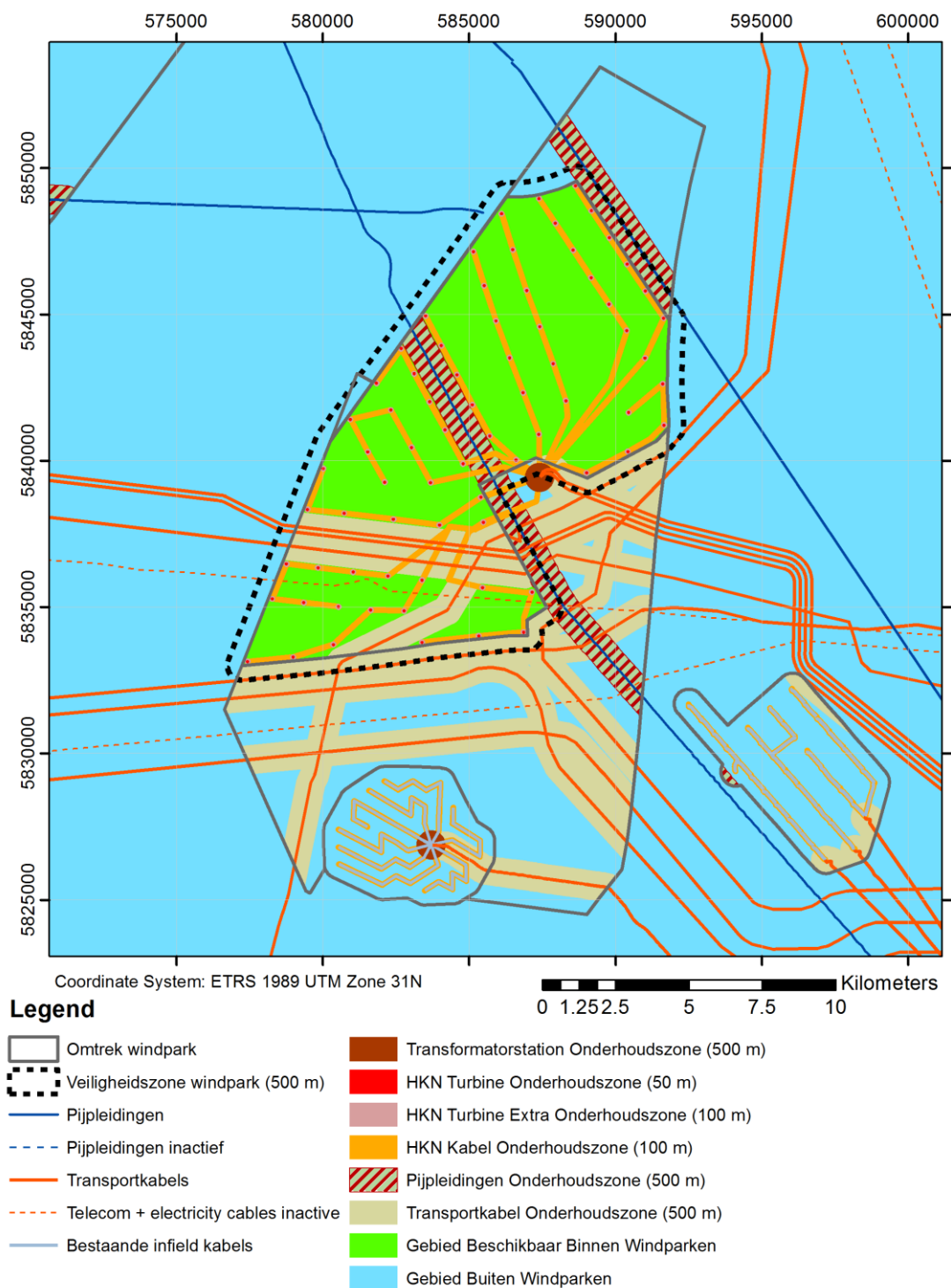
Figuur 3.5: Scenario 1, HKZ, met een onderhoudszone van 50 meter aan weerszijden van de infield kabels.



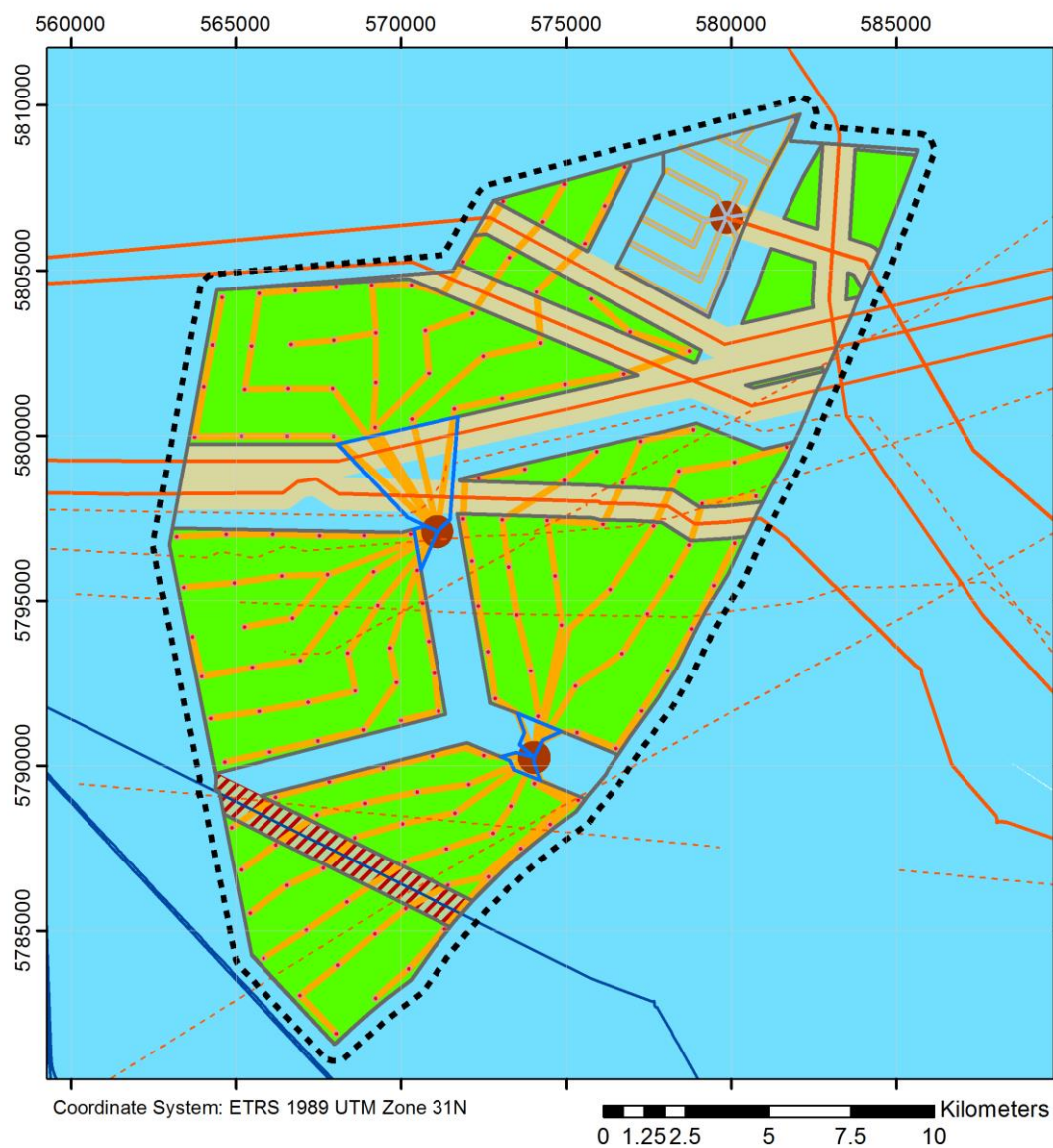
### Legend

- |                                  |                                             |
|----------------------------------|---------------------------------------------|
| CableEntryZone                   | Transformatorstation Onderhoudszone (500 m) |
| Omtrek windpark                  | HKZ Turbine Onderhoudszone (50 m)           |
| Veiligheidszone windpark (500 m) | HKZ Turbine Extra Onderhoudszone (100 m)    |
|                                  | HKZ Kabel Onderhoudszone (50 m)             |
|                                  | Gebied Beschikbaar Binnen Windparken        |
|                                  | Gebied Buiten Windparken                    |

Figuur 3.6: Scenario 1, HKZ, met een onderhoudszone van 50 meter aan weerszijden van de infield kabels. Uitsnede van het zuidoosten van het windpark.



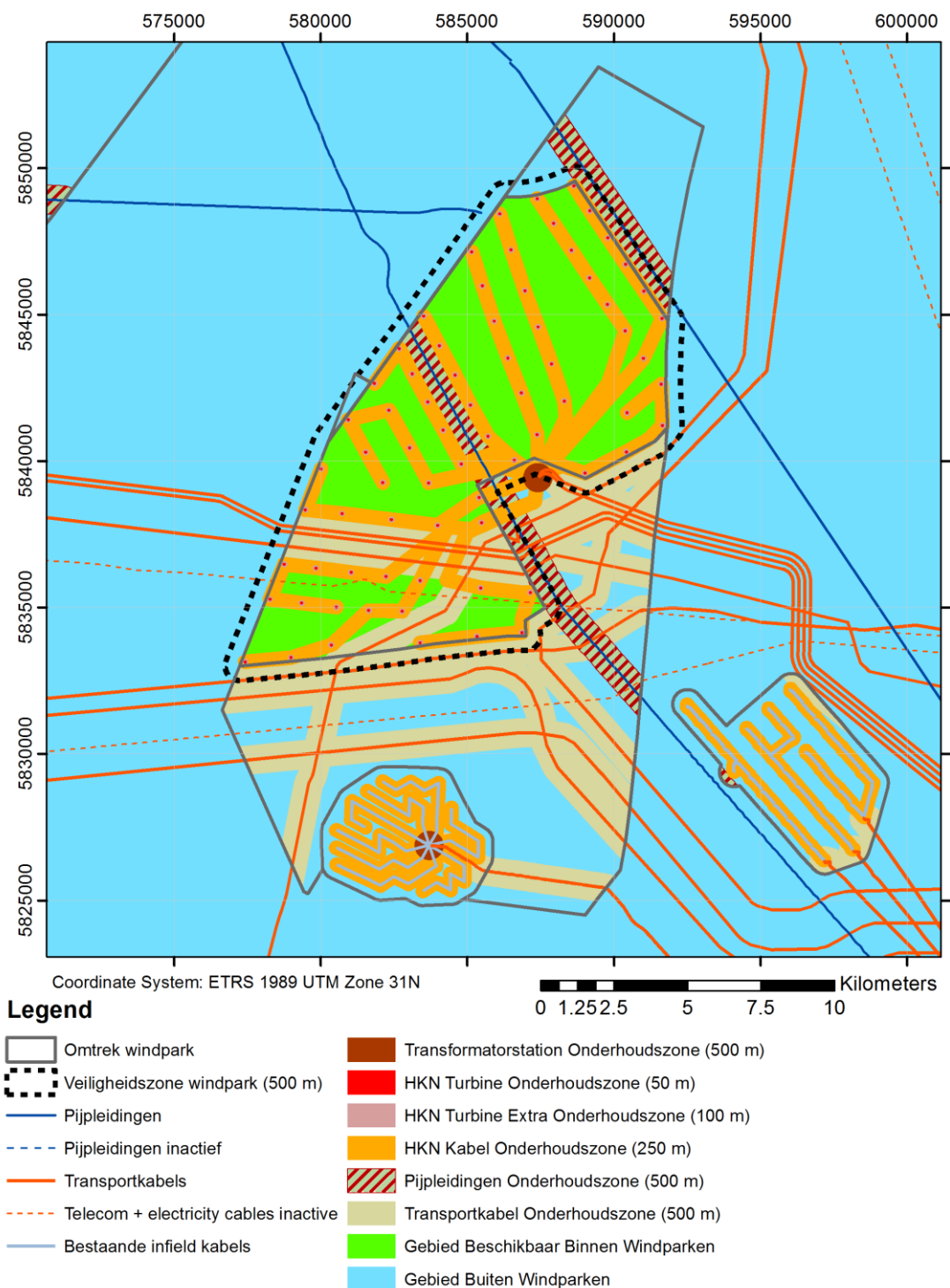
Figuur 3.7: Scenario 2, HKN, met een onderhoudszone van 100 meter aan weerszijden van de infield kabels.



### Legend

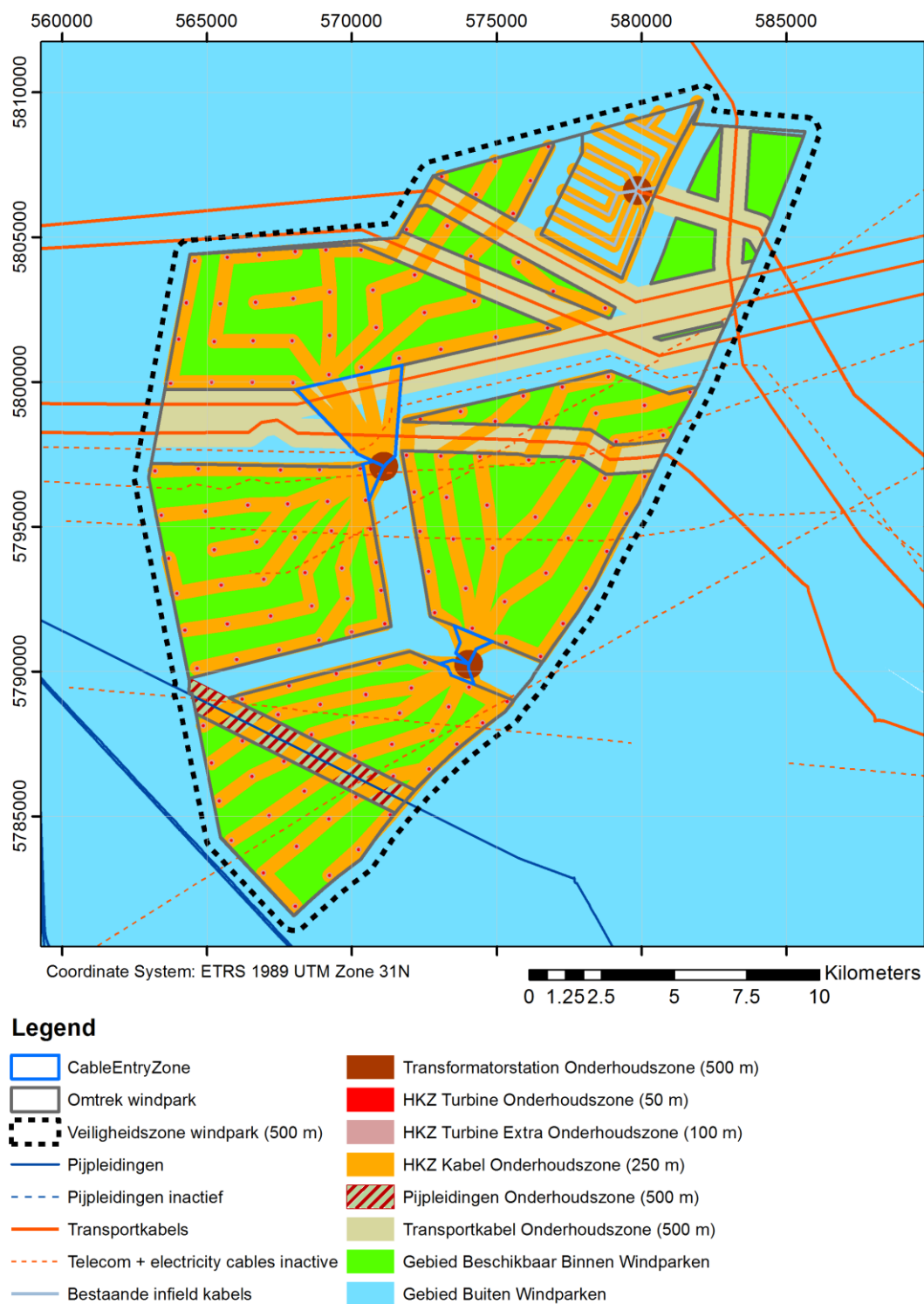
|                                       |                                             |
|---------------------------------------|---------------------------------------------|
| CableEntryZone                        | Transformatorstation Onderhoudszone (500 m) |
| Omtrek windpark                       | HKZ Turbine Onderhoudszone (50 m)           |
| Veiligheidszone windpark (500 m)      | HKZ Turbine Extra Onderhoudszone (100 m)    |
| Pijpleidingen                         | HKZ Kabel Onderhoudszone (100 m)            |
| Pijpleidingen inactief                | Pijpleidingen Onderhoudszone (500 m)        |
| Transportkabels                       | Transportkabel Onderhoudszone (500 m)       |
| Telecom + electricity cables inactive | Gebied Beschikbaar Binnen Windparken        |
| Bestaande infield kabels              | Gebied Buiten Windparken                    |

Figuur 3.8: Scenario 2, HKZ, met een onderhoudszone van 100 meter aan weerszijden van de infield kabels.



Figuur 3.9: Scenario 3, HKN, met een onderhoudszone van 250 meter aan weerszijden van de infield kabels.





Figuur 3.10: Scenario 3, HKZ, met een onderhoudszone van 250 meter aan weerszijden van de infield kabels.

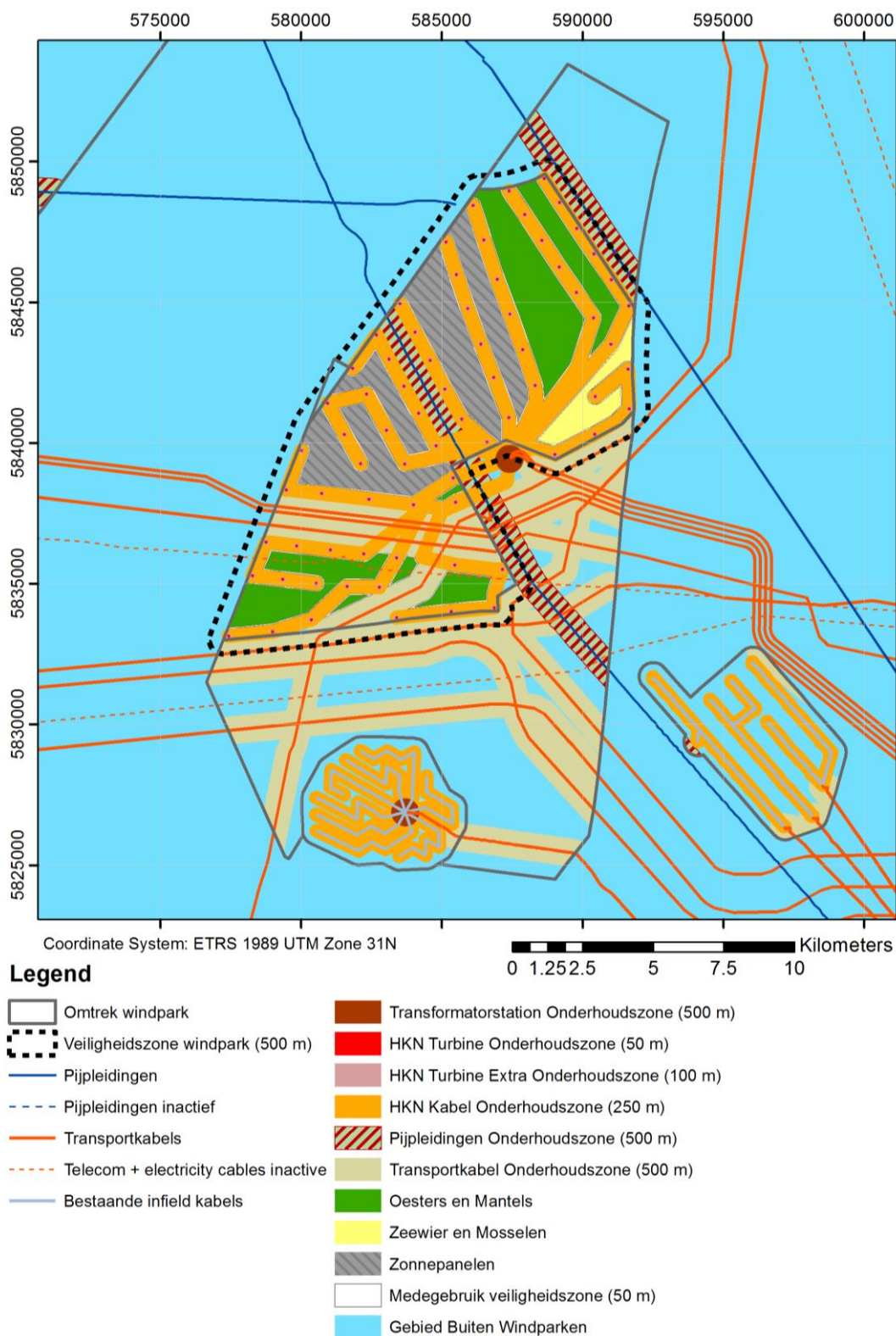
- b. De potentiële locaties voor medegebruik (welke soorten medegebruik, per categorie van techniek, in welke windparken en waar binnen die parken?) (scenario 4)

In de GIS kaarten van Figuur 3.11 en Figuur 3.12 zijn de potentiële locaties weergegeven voor medegebruik in scenario 4 in HKN en HKZ. Zoals aangegeven in paragraaf 3.1 zijn de locaties voor zeewier en mosselen afhankelijk van de layout van de strings. Door de noordoost-zuidwest oriëntatie die noodzakelijk is voor zeewierkweek, hangcultures en MZI's en de layout van de strings in HKN is er relatief weinig ruimte beschikbaar voor zeewierkweek, hangcultures en MZI's. In het geval van HKZ zijn er juist veel strings met een noordoost-zuidwest layout; hierdoor is relatief veel ruimte beschikbaar voor zeewier, hangcultures en MZI's. De ruimte voor zonne-energie in zowel HKN als HKZ is enigszins gelimiteerd vanwege de voorkeur om in een radiaal van een OHVS geplaatst te worden, zodat het aantal kabel kruisingen tot een minimum beperkt wordt. De kweek van oesters en mantels is het meest flexibel; door de technische specificatie (hangend aan verticale lijnen in de waterkolom) kunnen oesters en mantels op elke locatie in het windpark geplaatst worden. De beschikbare ruimte per vorm van medegebruik is te vinden in Tabel 3.6. Door de toegepaste veiligheidszone van 50 meter rondom de gebieden voor medegebruik zijn de totalen lager dan die in scenario 3 van Tabel 3.4 en Tabel 3.5.

Tabel 3.6: oppervlakte per vorm van medegebruik voor HKN en HKZ in scenario 4, als resultaat van de toegepaste randvoorwaarden zoals benoemd in paragraaf 3.1<sup>24</sup>

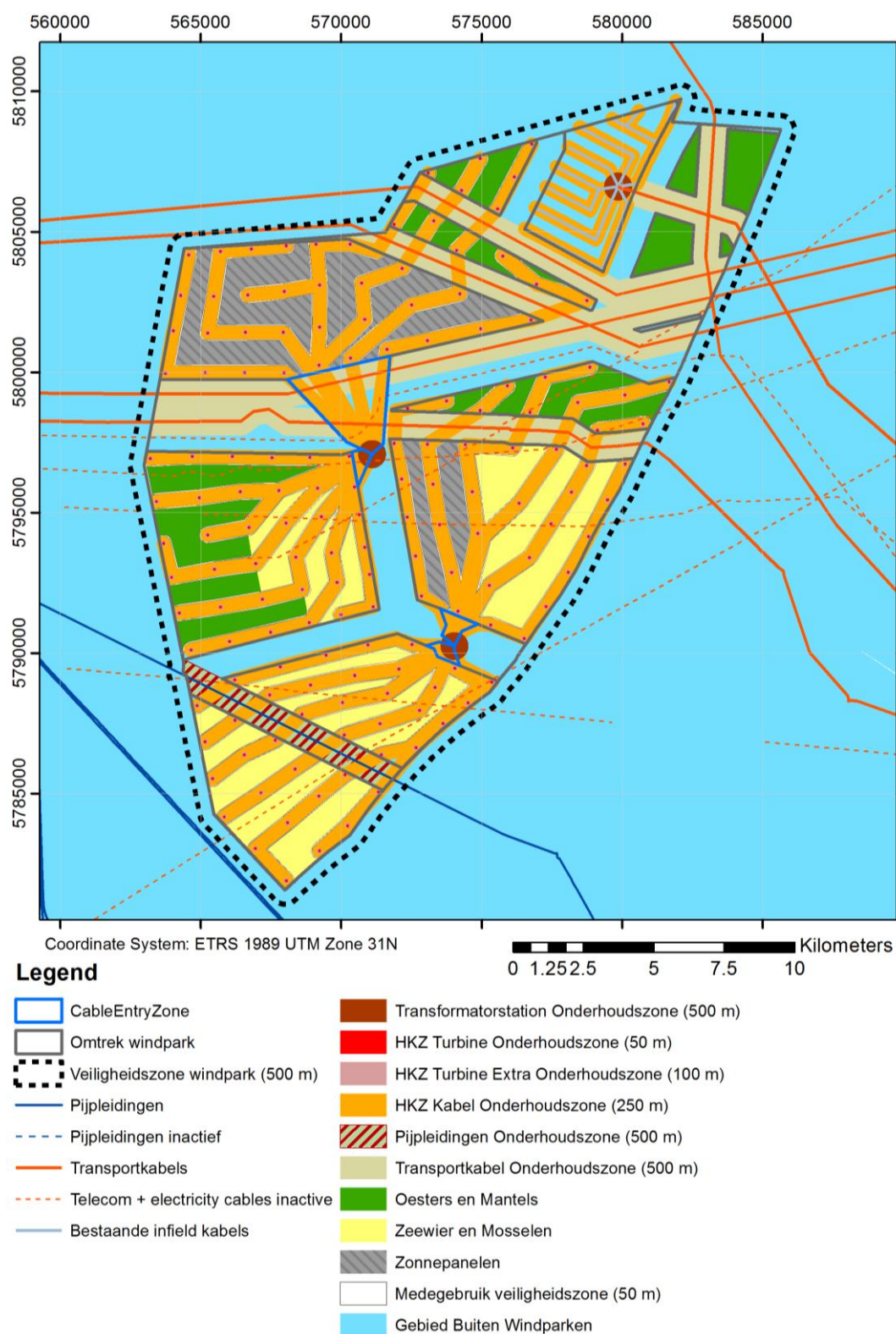
| Type medegebruik | HKN                | HKZ                |
|------------------|--------------------|--------------------|
| Oesters/mantel   | 23 km <sup>2</sup> | 32 km <sup>2</sup> |
| Zeewier/mosselen | 4 km <sup>2</sup>  | 39 km <sup>2</sup> |
| Zonnepanelen     | 24 km <sup>2</sup> | 27 km <sup>2</sup> |
| Totaal           | 51 km <sup>2</sup> | 98 km <sup>2</sup> |

<sup>24</sup> Oesters, mantel en mosselen vallen allen onder schelpdierkweek. Zie paragraaf 2.2 voor meer informatie.



Figuur 3.11: Scenario 4, HKN, potentiële locaties voor medegebruik

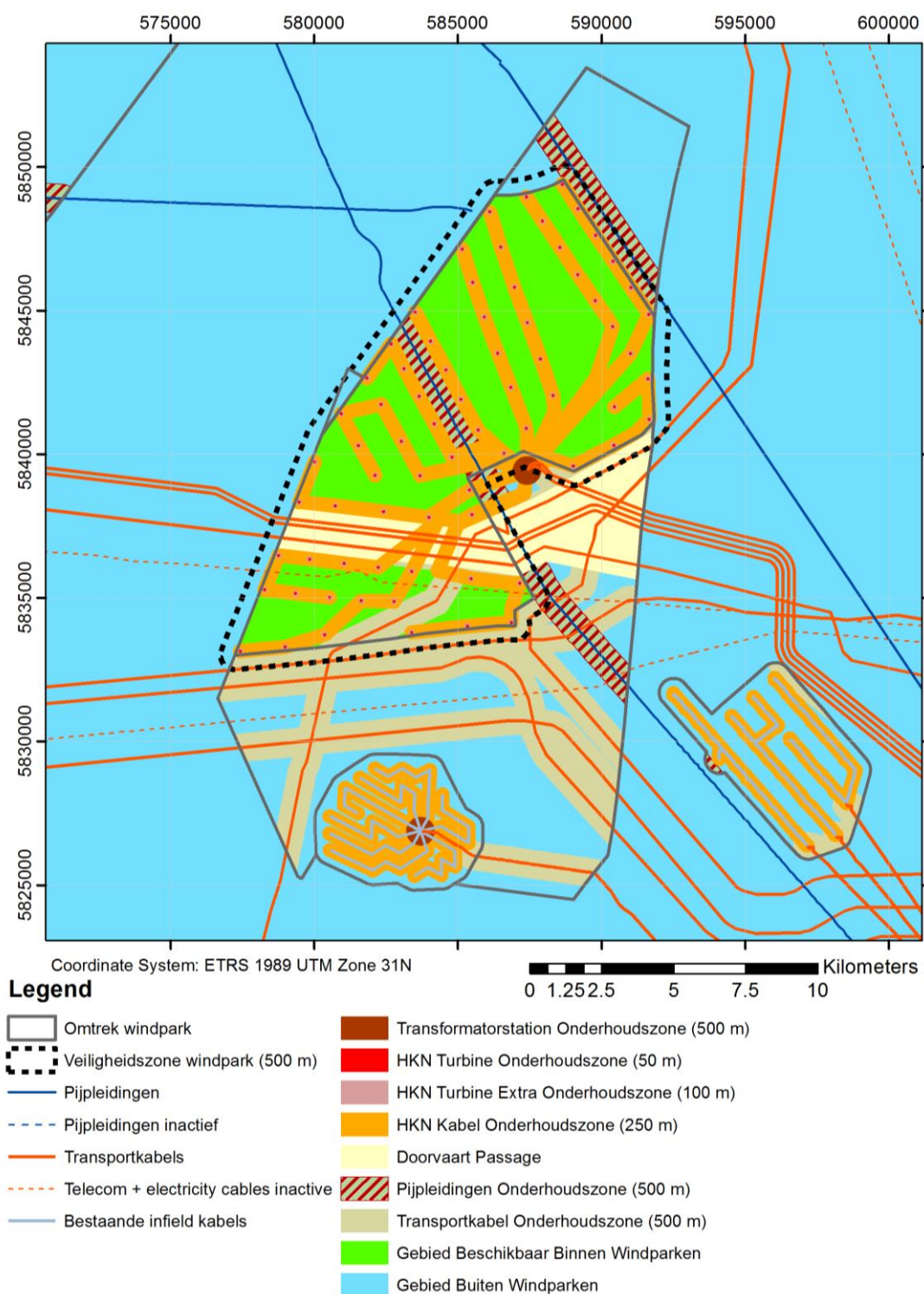




Figuur 3.12: Scenario 4, HKZ, potentiële locaties voor medegebruik

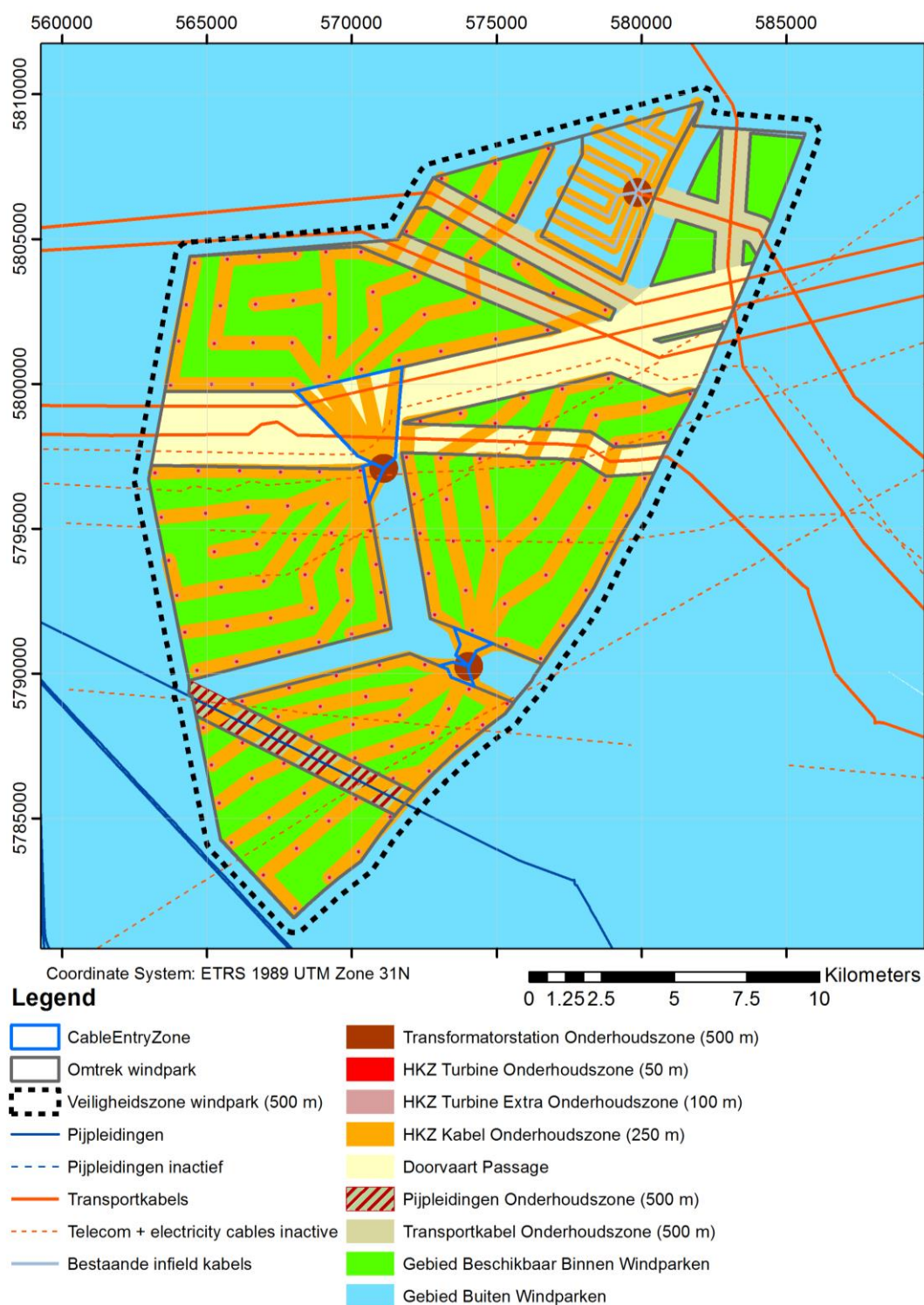
- c. De situering van medegebruik ten opzichte van potentiële routes voor doorvaartpassages (onderscheid tussen <24 m, <45 m en <80 m) (scenario 5)

In de GIS kaarten van zijn de potentiële routes voor doorvaartpassages weergegeven voor scenario 5 in HKN en HKZ. Uit de GIS kaarten blijkt dat er in de breedte van de doorvaartpassages ruimschoots wordt voldaan aan de minimale breedte van 500 meter (zoals afgesproken met de opdrachtgever). In het geval van HKN is er vanuit het oosten meer dan voldoende ruimte beschikbaar (meerdere kilometers) voor de doorvaartpassage. Omdat zowel scheepvaart als kabels en leidingen vaak in een oost-west richting georiënteerd zijn, kan er handig gebruik gemaakt worden van de corridor die vrijkomt dankzij de onderhoudszone van kabels en leidingen. Vanuit het midden naar het westen is een breedte van ca. 2 km beschikbaar voor de doorvaartpassage. In het geval van HKZ zijn er vanuit het oosten twee doorvaartpassages beschikbaar, een smallere zuidelijke en een bredere noordelijke doorvaartpassage die in het midden van het windpark samenkomen. De smallere zuidelijke doorvaartpassage is ruim een km breed; de bredere noordelijke doorvaartpassage is bijna 5 km breed.



Figuur 3.13: Scenario 5, HKN, potentiële routes voor doorvaartpassages





Figuur 3.14: Scenario 5, HKZ, potentiële routes voor doorvaartpassages.

- d. Hoe verschillende vormen van medegebruik (inclusief natuurontwikkeling) zich tot elkaar verhouden in ruimte en tijd? Zitten ze elkaar in de weg? Zijn er functiecombinaties mogelijk? Zijn er functiecombinaties die elkaar negatief beïnvloeden?

In bijlage F is de matrix met interacties tussen vormen van medegebruik weergegeven. Hieronder wordt per vorm van medegebruik kort ingegaan hoe de verhouding is met andere vormen van medegebruik. Daarna worden de algemene conclusies uit de matrix getrokken.

Kabels en leidingen zijn goed combineerbaar met vaartuigen, op de voorwaarde dat er niet geankerd wordt. Omdat de onderhoudszones van kabels en leidingen vrij gehouden worden biedt deze zone veelal een corridor voor doorvaartpassages. Kabels en leidingen zijn in principe combineerbaar met onderwater vliegers en Airborne Wind Energy, maar tijdens onderhoud aan de kabels en leidingen kunnen er risico's ontstaan door de actieradius van de vliegers. Kabels en leidingen zijn niet te combineren met statische vormen golfenergie vanwege het de statische / vaste eigenschappen van de fundering. Drijvende vormen van golfenergie zijn wel combineerbaar. Kabels en leidingen zijn ook combineerbaar met zonne-energie en drijvende energie eilanden, echter tijdens onderhoudswerkzaamheden kunnen nieuwe risico's ontstaan. Zonneparken en drijvende energie-eilanden moeten daarom verplaatsbaar zijn en daarvoor moet extra ruimte gereserveerd worden. Kabels en leidingen zijn niet te combineren met statische energie eilanden i.v.m. de overlap in tijd en/of ruimte. Combinaties met aquacultuur zijn mogelijk op de voorwaarde dat kweekpercelen eenvoudig verplaatsbaar zijn. De combinatie met windparken is alleen mogelijk tussen deelgebieden; dit i.v.m. onderhoudszones. Kabels en leidingen zouden eventueel combineerbaar zijn met natuurontwikkeling, bijvoorbeeld vanuit het perspectief van eco-dynamisch ontwerp van scour protectie. In het geval van passieve visserij is een combinatie niet wenselijk omdat een deel van die activiteiten op de bodem plaatsvindt.

Zaai- en oogstvaartuigen, autonome vaartuigen en recreatievaart zijn onderling prima te combineren vanwege de beschikbare communicatie- navigatiemiddelen. Deze vaartuigen zijn niet te combineren met getijdenturbines i.v.m. de fundering die die doorvaart blokkeert. Vaartuigen kunnen in principe navigeren boven onderwater vliegers, op de voorwaarde dat de actieradius van de vlieger niet nabij het wateroppervlak komt. Airborne Wind Energy, golfenergie en zonne-energie maken allen gebruik van het wateroppervlak en zijn daarom niet te combineren met vaartuigen. Voor energie eilanden geldt dat er een overlap is in ruimte; echter een offshore haven biedt wel combinatiemogelijkheden voor vaartuigen. Zaai- en oogstvaartuigen zijn uiteraard noodzakelijk voor offshore aquacultuur. Er valt efficiency te behalen zodra verschillende vormen van aquacultuur gebruik maken van dezelfde zaai- en oogstvaartuigen. Vaartuigen zijn ook combineerbaar met windparken, zolang ze uit de buurt van veiligheids- en onderhoudszones blijven. Verder is natuurontwikkeling op de bodem geen obstakel voor de vaartuigen en dus goed te combineren. Zaai- en oogstvaartuigen kunnen ook goed ingezet worden voor passieve visserij; hier is zeker sprake van een synergie.

Getijdenergie met turbines is niet combineerbaar met onderwatervliegers omdat dit overlapt in tijd en/of ruimte. Getijdenergie met turbines is mogelijk combineerbaar met Airborne Wind Energy zolang de actieradius van de vlieger hoog in de lucht is. Combinaties met golfenergie zijn niet mogelijk i.v.m. een overlap in tijd en/of ruimte. Getijdenenergie met turbines is eventueel combineerbaar met zonne-energie, mits getijdenenergie op de bodem plaatsvindt. Voor energie-eilanden is er een overlap in tijd en/of ruimte, echter aanpalende combinaties zijn wel mogelijk. Getijdenenergie is eventueel combineerbaar met aquacultuur zolang de getijdenenergie installatie bij de bodem is gesitueerd en de aquacultuur percelen verplaatsbaar zijn. Getijdenenergie kan ook met windparken gecombineerd worden, op de voorwaarde dat er buiten de veiligheids- en onderhoudszones gewerkt wordt. Combinaties met natuurontwikkeling zijn lastig i.v.m. de risico's van bewegende delen voor vissen en

zeezoogdieren. Getijdenenergie staat op een vaste locatie, daardoor is een combinatie met passieve visserij niet mogelijk.

Onderwatervliegers en Airborne Wind Energy zijn door de actieradius en de verankering niet te combineren met andere vormen van duurzame energie en aquacultuur i.v.m. een overlap in tijd en/of ruimte. De vliegers zouden in windparken geplaatst kunnen worden zolang de vlieger buiten de veiligheids- en onderhoudszones blijft. De combinatie met natuurontwikkeling is niet mogelijk i.v.m. aanvaringen met vissen en zeezoogdieren onderwater en risico's voor vogels en vleermuizen bovenwater. Passieve visserij is tevens niet mogelijk door de overlap in ruimte en/of tijd.

Golfenergie is door de vaste locatie niet te combineren met zonne-energie, aquacultuur en passieve visserij. In het geval van energie-eilanden zijn aanpalende combinaties wellicht mogelijk. Een combinatie met windparken kan zolang de installaties buiten de veiligheids- en onderhoudszones geplaatst worden. De fundering van golfenergie installaties kan gebruikt worden voor eco-dynamische ontwerpen ter stimulering van soorten en habitats.

Alhoewel zonne-energie in tijd en/of ruimte overlapt met energie-eilanden, zijn aanpalende combinaties wel degelijk mogelijk. Combinaties met aquacultuur zijn niet mogelijk omdat toegang tot het wateroppervlak essentieel is voor aquacultuur activiteiten. Zonne-energie kan prima gecombineerd worden met windparken zolang ze buiten de veiligheids- en onderhoudszones geplaatst worden. Natuurontwikkeling onder zonneparken is mogelijk, echter schaduwwerking kan een probleem zijn zodra zonneparken op grote schaal worden toegepast.

Drijvende energie-eilanden zijn niet combineerbaar met aquacultuur door de overlap in tijd/ruimte en de tijdelijke en drijvende eigenschappen van de eilanden. Deze eilanden kunnen wel gecombineerd worden met windparken zolang de veiligheids- en onderhoudszones gerespecteerd worden. Drijvende eilanden zijn niet combineerbaar met natuurontwikkeling door het tijdelijke karakter van de eilanden.

Statische energie-eilanden zijn goed te combineren met microalgenkweek; de haven van zo'n eiland kan dit faciliteren omdat er geen grote oppervlaktes nodig zijn. De havens van statische energie-eilanden zijn minder geschikt voor andere vormen van aquacultuur i.v.m. het gebrek aan ruimte. Een statisch energie-eiland kan ook gecombineerd worden met windparken, op de voorwaarde dat veiligheids- en onderhoudszones vrij blijven. Een combinatie met natuurontwikkeling is mogelijk door het aanleggen van extra habitat; echter de aanleg van het eiland kan tegelijkertijd ten koste gaan van natuurontwikkeling. Een statisch energie-eiland kan ook prima gecombineerd worden met passieve visserij, dit vanwege het benutten van de offshore haven.

Microalgenkweek kan niet gecombineerd worden met zeewierkweek en schelpdierkweek door de overlap in tijd/ruimte. Hetzelfde geldt voor viskweek en Integrated Multi-Trophic Aquaculture; wellicht kunnen algen als ingrediënt voor visvoer dienen. Microalgenkweek kan in windparken buiten de veiligheids- en onderhoudszones plaatsvinden. Onder de kweekpercelen is ook ruimte voor natuurontwikkeling. Een combinatie met passieve visserij is niet mogelijk door de drijvende eigenschap van microalgenkweek.

Zeewierkweek kan goed gecombineerd worden met schelpdierkweek en viskweek, dit in verband met de uitwisseling van stoffen. In feite ontstaat er dan een geïntegreerde vorm van aquacultuur zoals IMTA voorziet. Bovendien kan schelpdierkweek boven zeewierkweek plaatsvinden. Ook vanwege de seizoenen zijn combinaties tussen schelpdierkweek en zeewierkweek interessant; schelpdierkweek vindt in de zomer plaats terwijl zeewierkweek in de winter plaats vindt. Zeewierkweek kan prima in windparken toegepast worden buiten de

veiligheids- en onderhoudszones. Verder zorgt zeewier voor extra beschutting van zeeleven waardoor een kraamkamerfunctie ontstaat. Combinaties met passieve visserij zijn niet mogelijk i.v.m. de overlap in tijd/ruimte.

Schelpdierkweek kan goed gecombineerd worden met viskweek omdat schelpdieren helpen bij het filteren van het water. Schelpdierkweek is veelal een onderdeel van IMTA. Deze vorm van aquacultuur kan prima in windparken plaatsvinden, buiten de veiligheids- en onderhoudszones. Schelpdierkweek en natuurontwikkeling kunnen ook samengaan, bijvoorbeeld doordat oesters als hard substraat gebruikt worden. Een combinatie met passieve visserij is niet mogelijk door de overlap in tijd en/of ruimte. Viskweek is vaak een onderdeel van IMTA. Viskweek kan goed in windparken plaatsvinden buiten de veiligheids- en onderhoudszones. Natuurontwikkeling is lastig door de uitstoot van stoffen. Viskweek is niet combineerbaar met passieve visserij door de overlap in ruimte en/of tijd. IMTA kan goed gecombineerd worden met windparken, mits rekening wordt gehouden met de bekende zones. Natuurontwikkeling en kleinschalige passieve visserij zijn ook mogelijk.

Offshore windparken en natuurontwikkeling gaan onderwater goed samen door het extra hard substraat en de kraamkamerfunctie; echter bovenwater zijn er problemen met vogels en vleermuizen. Passieve visserij kan ook in windparken plaatsvinden zolang manden en korven niet in de veiligheids- en onderhoudszones komen. Natuurontwikkeling en passieve visserij kan in principe gecombineerd worden, op de voorwaarde dat deze visserij duurzaam en kleinschalig is.

Samengevat blijkt dat vooral natuurontwikkeling en aquacultuur (zeewierkweek, schelpdierkweek en IMTA) uitstekend combineerbaar zijn. Natuurontwikkeling en windparken zijn vooral onderwater goed combineerbaar; windparken bieden in toenemende mate een kraamkamerfunctie voor natuurontwikkeling door het hard substraat van de turbines en het creëren van oesterriffen. Bovenwater gaan natuur en windparken minder goed samen i.v.m. vogels en vleermuizen die in aanraking kunnen komen met de wieken. Het statisch energie-eiland is ook goed combineerbaar met andere vormen van medegebruik. In de eerste instantie is het statisch energie-eiland goed te combineren met microalgenkweek en passieve visserij. In iets mindere mate kan het eiland gecombineerd worden met duurzame energie en als offshore haven voor vaartuigen. Vormen van medegebruik die niet goed te combineren zijn vallen in de categorie duurzame energie. Getijdenenergie met turbines, getijdenenergie met onderwater vliegers, Airborne Wind Energy, golfenergie en zonne-energie worden allen gekenmerkt worden door het statische karakter; daardoor zijn combinaties met andere vormen in zowel tijd als ruimte niet mogelijk.



### 3.3 Conclusie

In deze paragraaf worden de antwoorden gegeven op de vier onderzoeksvragen zoals benoemd in hoofdstuk 1.

- a. De ruimte (per windpark) die redelijkerwijs beschikbaar is voor medegebruik, rekening houdend met de voor windexploitatie benodigde ruimte (scenario's 1, 2 en 3)

Voor HKN varieert de beschikbare ruimte voor medegebruik van 58 km<sup>2</sup> (46% van het totale oppervlakte van HKN in scenario 3) tot 89 km<sup>2</sup> (71% van het totale oppervlakte van HKN in scenario 1). Voor HKZ varieert de beschikbare ruimte voor medegebruik van 116 km<sup>2</sup> (54% van het totale oppervlakte van HKZ in scenario 3) tot 190 km<sup>2</sup> (79% van het totale oppervlakte van HKZ in scenario 1).

Uit de scenario's kan geconcludeerd worden dat beleidskeuzes t.a.v. de grootte van de onderhoudszone van infield kabels veel invloed hebben op de beschikbare ruimte voor medegebruik. Reeds voordat medegebruik in windparken daadwerkelijk gaat plaatsvinden en de ruimte voor medegebruik schaarser wordt, is het de uitdaging voor beleidsmakers om in de regelgeving de juiste balans te vinden tussen voldoende ruimte voor onderhouds- en veiligheidsruimte boven de infield kabels enerzijds en voldoende ruimte voor medegebruik anderzijds.

Deze ruimte zou nog evt. vergroot kunnen worden door te kijken of beperkingen op de bodem (door kabels) ook in de hele waterkolom zouden moeten gelden. Mogelijk biedt dit extra ruimte voor verplaatsbaar medegebruik. In deze studie is daar niet naar gekeken ivm de scope, maar het is aan te raden om daar bij een toekomstig afweegkader meer bij stil te staan wat betreft mogelijkheden.

- b. De potentiële locaties voor medegebruik (welke soorten medegebruik, per categorie van techniek, in welke windparken en waar binnen die parken?) (scenario 4)

Indien modules voor zeewierkweek in de toekomst inderdaad parallel aan de stroming geplaatst worden dan zal er voor deze vorm van medegebruik relatief weinig ruimte beschikbaar zijn in HKN; dit komt door de layout van de strings. Voor hangcultures en mosselzaadinvanginstallaties (MZI's) geldt dat installaties per definitie parallel op de stroming moeten staan; aldus is door de layout van de string voor deze vormen van medegebruik per definitie weinig ruimte beschikbaar in HKN. In het geval van HKZ is er door dezelfde reden juist relatief veel ruimte beschikbaar voor hangcultures en MZI's. Indien modules parallel op de stroming geplaatst worden is ook voor zeewierkweek voldoende ruimte beschikbaar.

De ruimte voor zonne-energie in zowel HKN als HKZ is enigszins gelimiteerd i.v.m. de gewenste radiaal rondom OHSV. Het is daarbij wenselijk om zoveel mogelijk parallel aan de infield kabelstructuur te plannen/benutten om zo een beperkt aantal kruisingen van kabel te krijgen. De kweek van oesters en mantels is het meest flexibel; deze kunnen op elke locatie in het windpark geplaatst worden. Wel is het zo dat oesters en mantels onderling kunnen concurreren om microalgen.

Uit dit scenario kan geconcludeerd worden dat de locaties voor medegebruik in windparken afhankelijk zijn van de breedte van de onderhoudszones van de infield kabels strings (zie onderdeel a hierboven). Daarnaast kan geconcludeerd worden dat locaties voor medegebruik afhankelijk zijn van de layout van de strings t.o.v. de stroming en het aantal kabel kruisingen dat medegebruik met infield kabels oplevert.

- c. De situering van medegebruik ten opzichte van potentiële routes voor doorvaartpassages (onderscheid tussen <24 m, <45 m en <80 m) (scenario 5)

In het geval van HKN is er vanuit het oosten een zeer brede ingang van meerdere kilometers in het windpark. Vanuit het midden naar het westen is een breedte van ca. 2 km beschikbaar voor de doorvaartpassage. In het geval van HKZ zijn er vanuit het oosten twee doorvaartpassages beschikbaar, een smallere zuidelijke en een bredere noordelijke doorvaartpassage die in het midden van het windpark samenkomen. De smallere zuidelijke doorvaartpassage is ruim een km breed; de bredere noordelijke doorvaartpassage is bijna 5 km breed.

Uit dit scenario kan geconcludeerd worden dat er ruimschoots voldoende ruimte beschikbaar is voor het mogelijk maken van doorvaartpassages in zowel HKN als HKZ. Het is aan te bevelen om de noordoostelijke passage in HKZ, die feitelijk is gesplitst, samen te trekken tot een doorvaartpassage die één geheel vormt (zie dunne groene strook in Figuur 3.14). Samenvoeging maakt de situatie overzichtelijker voor de gebruikers van de doorvaartpassage en beheersbaarder voor de overheid. Door de bestaande kabels en leidingen in dit gebied is het niet mogelijk om meer ruimte te creëren voor het windpark en/of medegebruik.

- d. Hoe verschillende vormen van medegebruik (inclusief natuurontwikkeling) zich tot elkaar verhouden in ruimte en tijd? Zitten ze elkaar in de weg? Zijn er functiecombinaties mogelijk? Zijn er functiecombinaties die elkaar negatief beïnvloeden?

Uit de matrix blijkt dat vooral natuurontwikkeling en de meeste vormen van aquacultuur uitstekend combineerbaar zijn in tijd en ruimte. Dit geldt in sterkte mate voor microalgenkweek, zeewierkweek en schelpdierkweek. Viskweek, daarentegen kan ziekten en parasieten met zich mee brengen. Bovendien zorgt viskweek voor de uitstoot van stoffen. Daarom is viskweek niet combineerbaar met natuurontwikkeling. Natuurontwikkeling en windparken zijn ook goed combineerbaar, met name onderwater. Bovenwater zijn natuurontwikkeling en windparken niet goed te combineren i.v.m. vogels en vleermuizen die in aanraking kunnen komen met de wieken. Daarnaast is het statisch energie-eiland goed combineerbaar met andere vormen van medegebruik zoals microalgenkweek en passieve visserij. In iets mindere mate kan het eiland gecombineerd worden met duurzame energie en als offshore haven voor vaartuigen. Vormen van medegebruik die niet goed te combineren zijn vallen in de categorie duurzame energie. Dit komt door het statische karakter (bevestigd op een vaste locatie); indien dit in de toekomst verandert kunnen meer kansen ontstaan.

### 3.4 Discussie

Alhoewel ecologische draagkracht geen onderdeel is van deze studie is het toch relevant om dit onderwerp aan te snijden. Ecologische draagkracht speelt met name een rol bij enkele vormen van aquacultuur. Het is bijzonder lastig om uitspraken te doen over ecologische draagkracht van het Noordzee ecosysteem in relatie tot aquacultuur. Dat komt doordat de huidige modellen aan de grenzen zitten van wat er wetenschappelijk mogelijk is. Door NWA is wel een tender gelanceerd om hier onderzoek naar te doen; op dit moment bevinden de projectvoorstellen zich in de beoordelingsfase. Er wordt aangenomen dat het kweken van oesters en mantels een minder grote impact heeft op ecologische draagkracht dan het kweken van zeewier en mosselen. Of dit daadwerkelijk zo is moet nader onderzocht worden. Draagkracht speelt ook een rol naarmate de lijnen waaraan zeewier en/of mosselen gekweekt worden langer worden. Op dit moment is het nog onzeker in hoeverre er sprake zal zijn van onderlinge concurrentie om nutriënten en microalgen indien zeewier en mossel lijnen kilometers lang worden. Theoretisch zou het zo kunnen zijn dat deze concurrentie leidt tot uitputting en dus lagere opbrengsten.

Uit de conclusie blijkt dat de locaties voor medegebruik in windparken, naast de grootte van de strings (zie onderdeel a in paragraaf 3.3), ook afhankelijk zijn van de layout van de strings. Het stimuleren van een optimale layout van de strings voor zowel windparkeigenaren als medegebruikers kan gefaciliteerd worden door de overheid. Het faciliteren kan plaatsvinden op een top-down wijze via regelgeving en/of bottom-up via stakeholder dialoog.

## 4 Conclusie, advies en discussie

### Conclusie

Deze studie richtte zich op twee doelen. Het eerste doel was het verkennen van toekomstig typen medegebruik in bestaande en geplande windparken. Het tweede doel was het verkennen van mogelijkheden voor medegebruik in bestaande en geplande windparken binnen het NCP en welk aspecten in een afweegkader en ruimtelijke zonering daarbij een rol kunnen spelen. Hieronder worden de conclusies getrokken voor beide doelen.

#### *Overzicht van (innovatieve) technologieën voor medegebruik*

Denkbare typen en categorisering van (innovatieve) technologieën die in 2030 operationeel kunnen zijn, werden in kaart gebracht. Via een literatuurstudie en expert judgement is invulling gegeven aan dit deel. Uit paragraaf 2.2 blijkt dat de meeste (innovatieve) technologische ontwikkelingen zich richten op het gebruik van het wateroppervlak (drijvend) en de waterkolom (hangend). Het gaat dan om duurzame energie (getijden energie met turbines/onderwater vlieger, Airborne Wind Energy, golfenergie en zonne-energie) en aquacultuur (microalgenkweek, zeewierkweek, schelpdierkweek en viskweek). Dit betekent dat de meeste vormen van medegebruik die geanalyseerd zijn in hoofdstuk 2 de doorvaartmogelijkheden in windparken belemmeren. De ruimtelijke voetafdruk (potentiële gebruiksruimte) is het grootst voor zeewierkweek (de ambitie van Stichting de Noordzeeboerderij is 500 km<sup>2</sup>), schelpdierkweek (mosselen – tientallen km<sup>2</sup>) en zonne-energie (tientallen km<sup>2</sup>).

Uit paragraaf 2.2 blijkt dat de ruimtelijke voetafdruk in termen van onderhoudszone het grootst is van kabels en leidingen (500 tot 750 meter aan weerszijden). Drijvende en statische energie-eilanden en enkele typen van duurzame energie nemen een veiligheidszone van 500 meter in beslag (conform UNCLOS). Voor zeewierkweek en zonne-energie is inschatting dat de veiligheidszone 50 meter zal volstaan. De kleinste veiligheidszones zal voorkomen bij aquacultuur, waar ca. 50 meter zal volstaan.

(Innovatieve) technologische ontwikkelingen die meer kans maken om geïmplementeerd te worden t/m 2030 (in willekeurige volgorde) zijn: leidingen voor het transport van stoffen, zaaien oogstvaartuigen, autonome vaartuigen voor beheer en onderhoud, zonne-energie, drijvend energie-eilanden, statische energie-eilanden, zeewierkweek en schelpdierkweek (mosselen, oesters, grote mantel). (Innovatieve) technologische ontwikkelingen die minder kans maken om geïmplementeerd te worden t/m 2030 zijn (in willekeurige volgorde): getijdenenergie met turbines en onderwater vliegers, Airborne Wind Energy, golfenergie, microalgenkweek, viskweek en Integrated Multi-Trophic Aquaculture.

#### *Kansen en risico's van medegebruik*

In paragraaf 2.2 zijn ook de kansen en risico's van medegebruik in kaart gebracht. Kansen die voortkomen uit de (innovatieve) technologische ontwikkelingen bestaan uit het gebruik van bestaande elektriciteitsinfrastructuur voor duurzame energie. Het opwekken van duurzame energie, anders dan van windenergie, zou qua ruimtelijke inpassing (kabel kruisingen) en voetafdruk (veel extra/eigen faciliteiten) gebaat zijn bij een zekere systeemintegratie met de OHVS-en aanlandingskabel van TenneT. Dit brengt wel weer extra vraagstukken met zich mee zoals voldoende capaciteit op het platform en de aanlandingskabel en aanpassing van de Elektriciteitswet. Drijvende en statische energie-eilanden (incl. schepen) bieden kansen voor opslag en omvorming van energie. Voor aquacultuur is voornamelijk het beschikbare areaal een kans voor opschaling ten opzichte van de huidige beschikbare locaties in de Oosterschelde en de Waddenzee. Voor windparken

en andere vormen van medegebruik bestaan de kansen uit het delen van de elektriciteitsinfrastructuur (kostenbesparing), diversifiëring, delen van faciliteiten, bevoorrading, onderhoud & beheer, dataverzameling (metocean) en hulpverleningsdiensten. Risico's voor duurzame energie zijn storingen in de elektriciteitsinfrastructuur. Het loslaten van materiaal, aanvaringen en beperking van onderhoudsruimte zijn risico's die voor bijna alle toekomstige vormen van medegebruik van toepassing zullen zijn. Bij gebruik van vloeistoffen of (vloeibare) gasen voor energieopslag op drijvende en statische energie-eilanden zijn lekkages een risico. Aquacultuur zorgt voor risico's zoals ziekten en parasieten voor alle typen van aquacultuur en potentieel ook voor soorten en habitats. Ontsnappingsen, medicijnen, (lokale) eutrofiering en (lokale) schadelijke algenbloei zijn risico's die specifiek met viskweek geassocieerd worden. Risico's van (innovatieve) technologische ontwikkelingen voor de windparken en andere vormen van medegebruik bestaan in bijna alle gevallen uit aanvaringen, beperking van de onderhoudsruimte en het loslaten van materiaal.

#### *Verkenning en zonering van de ruimte voor medegebruik*

Het doel van hoofdstuk 3 was het in kaart brengen van de mogelijkheden binnen bestaande en geplande windparken (in ruimte en/of tijd) en welke interactie, afstemming en zonering daarbij relevant kunnen zijn. De vier onderzoeksvragen gaan in op a) de beschikbare ruimte voor medegebruik, b) de potentiële locaties voor medegebruik, c) de potentiële routes voor doorvaartpassages en d) de wijze waarop verschillende vormen van medegebruik zich onderling verhouden. Om de studie verder af te bakenen is ervoor gekozen om de onderzoeksvragen specifiek toe te passen op de windenergiegebieden Hollandse Kust Noord (HKN) en Hollandse Kust Zuid (HKZ). Voor deze windenergiegebieden is de verkaveling bekend en de positionering van turbines redelijk goed in te schatten. Dat is voor toekomstige parken nog niet het geval. Daarnaast is het de verwachting dat de latere parken door schaalvergroting van de turbines ook grotere afstanden tussen de turbines zullen hebben. Er mag dan redelijkerwijs vanuit worden gegaan dat wat ruimtelijk in HKZ en HKN mogelijk is meer of beter mogelijk is in de toekomstige parken. Hoewel de gevonden resultaten gevonden/gebaseerd zijn (op) HKZ en HKN, kunnen deze wel breder worden geïnterpreteerd en worden benut voor toekomstige situaties.

In paragraaf 3.1 is de methode verder uitgewerkt. De methode is met name gebaseerd op scenario studies. De scenario's die op HKN en HKZ zijn geprojecteerd hadden tot doel om inzicht te krijgen in 1) combinatiemogelijkheden van economisch medegebruik in een operatief windpark op zee, 2) combinatiemogelijkheden/ uitsluitingen van verschillende economische gebruiksvormen ten opzichte van elkaar in een operatief windpark op zee en 3) algemene richtlijnen voor de combinatiemogelijkheden. Voor onderzoeksvraag a) zijn drie scenario's ontwikkeld die verschillen in de breedte van de onderhoudszone van de infield kabels (50, 100 en 250 meter). Voor dit onderzoek is de vrij te houden onderhoudszone voor infield kabels vertaald naar het niet kunnen gebruiken van de bodem, de waterkolom en het wateroppervlak. Voor onderzoeksvraag b) is een scenario ontwikkeld dat de 250 meter onderhoudszone voor infield kabels als uitgangspunt neemt. Binnen de beschikbare ruimte in HKN en HKZ is op basis van verschillende randvoorwaarden de beschikbare ruimte voor medegebruik zo efficiënt mogelijk ingedeeld. De vormen van medegebruik die mee zijn genomen in dit scenario zijn zeewierkweek, mosselkweek, oesterkweek, mantelkweek en zonne-energie. Voor onderzoeksvraag c) is op basis van verschillende randvoorwaarden gezocht naar potentiële ruimte voor doorvaartpassages. Onderzoeksvragen a, b en c zijn uitgewerkt met behulp van ArcGIS om kaarten te ontwikkelen. Onderzoeksvraag d) is beantwoord met behulp van een matrix waarin met vier kleuren is aangegeven in hoeverre activiteiten al of niet combineerbaar zijn.

Paragraaf 3.3 geeft de resultaten weer van de verkenning en zonering van de ruimte voor medegebruik. Voor HKN varieert de beschikbare ruimte voor medegebruik (onderzoeksvraag a) van 58 km<sup>2</sup> (46% van het totale oppervlakte van HKN in scenario 3) tot 89 km<sup>2</sup> (71% van

het totale oppervlakte van HKN in scenario 1). Voor HKZ varieert de beschikbare ruimte voor medegebruik van 116 km<sup>2</sup> (54% van het totale oppervlakte van HKZ in scenario 3) tot 190 km<sup>2</sup> (79% van het totale oppervlakte van HKZ in scenario 1). Indien ruimte voor medegebruik in de toekomst schaarser wordt en de verschillende vormen van medegebruik verder ontwikkeld worden zou het gebruik van bijvoorbeeld de waterkolom en het wateroppervlak in de onderhoudszone van de infield kabels overwogen kunnen worden. Dit vergt nader onderzoek naar de haalbaarheid en technische mogelijkheden.

De potentiële locaties voor medegebruik (onderzoeksvraag b) in HKN tonen aan dat er voor hangcultures en mosselzaadinstallaties (MZI's) relatief weinig ruimte beschikbaar is. Dit komt door de layout van de strings en de vereiste oriëntatie van kweeklijnen. In het geval van HKZ is er door dezelfde reden juist relatief veel ruimte beschikbaar voor hangcultures en MZI's. Indien de modules voor zeewierkweek in de toekomst ook parallel op de stroming komen te staan zal de huidige layout van HKN weinig ruimte bieden voor deze vorm van medegebruik en in het geval van HKZ juist meer ruimte.

De ruimte voor zonne-energie in zowel HKN als HKZ is enigszins gelimiteerd i.v.m. de gewenste plaatsing in een radiaal rondom het Offshore High Voltage Substation. De kweek van oesters en mantels is het meest flexibel; deze kunnen op elke locatie in het windpark geplaatst worden. Indien er voldoende rekening wordt gehouden met de vereisten voor de plaatsing ten behoeve van optimaal ruimtegebruik zouden de verschillende gebruiksvormen ook onderling uitgewisseld kunnen worden, dit als alternatief voor het vullen van grote velden aan mono-gebruik. De gehanteerde breedte van 250 meter voor de onderhoudszone van de infield kabels is gelijk aan de breedte die in België wordt aangehouden. Tegelijkertijd is de bandbreedte afhankelijk van de waterdiepte en de ruimte die nodig is voor onderhoud. Gegeven de huidige techniek lijkt 250 meter voor de onderhoudszone van de infield kabels enigszins ruim; aan de andere kant moet het afwegingskader rekening houden met toekomstige schaalvergroting.

Uit de potentiële routes voor doorvaartpassages in HKN (onderzoeksvraag c) blijkt dat er vanuit het oosten een zeer brede ingang van meerdere kilometers beschikbaar is. Vanuit het midden naar het westen is een breedte van ca. 2 km beschikbaar voor de doorvaartpassage. In het geval van HKZ zijn er vanuit het oosten twee doorvaartpassages beschikbaar, een smallere zuidelijke en een bredere noordelijke doorvaartpassage die in het midden van het windpark samenkomen. De smallere zuidelijke doorvaartpassage is ruim een km breed; de bredere noordelijke doorvaartpassage is bijna 5 km breed<sup>25</sup>.

Paragraaf 3.3 gaat ook in op de wijze waarop verschillende vormen van medegebruik zich onderling verhouden binnen de contouren van een operatief windpark (onderzoeksvraag d). De onderlinge verhoudingen zijn uiteen gezet in de matrix. Uit de matrix blijkt dat vooral natuurontwikkeling en de meeste vormen van aquacultuur uitstekend combineerbaar zijn in tijd en ruimte. Uitzondering is viskweek dat door de uitstoot van stoffen voor extra druk op het ecosysteem zorgt. Natuurontwikkeling en windparken zijn goed combineerbaar onder water. Boven water is dat niet het geval in verband met vogels en vleermuizen die tegen de wieken kunnen vliegen. Daarnaast is het statisch energie-eiland goed combineerbaar met andere vormen van medegebruik zoals microalgenkweek en passieve visserij. In iets mindere mate kan het eiland gecombineerd worden met duurzame energie en als offshore haven voor vaartuigen. Vormen van medegebruik die niet goed met elkaar te combineren zijn vallen in de categorie duurzame energie. Dit komt door het statische karakter waardoor overlap met een andere activiteit in tijd en/of ruimte zeer lastig is.

---

<sup>25</sup> Uiteraard is het windpark in beginsel, op basis van de huidige regelgeving, onder voorwaarden bevaarbaar voor vaartuigen tot 24 meter. In het advies hieronder wordt hier verder op in gegaan.

**Advies voor het afwegingskader**

Op basis van de resultaten en de conclusies uit hoofdstuk 2 en 3 kunnen de volgende adviezen worden gegeven in het kader van het afwegingskader dat ontwikkeld wordt.

*Interactie tussen stakeholders*

Advies: stimuleer de interactie tussen stakeholders tijdens de processtappen

Onderbouwing: de samenhang tussen kavelbesluit, tender, afwegingskader en het ontwerp van het windpark kan verbeterd worden door stakeholders vanaf het begin te laten meedenken in de verschillende processtappen. Door relevante stakeholder te betrekken kunnen kansen in relatie tot medegebruik vanaf het begin worden benut en risico's geminimaliseerd.

*Configuratie infield kabels en algemene architectuur bekabeling*

Advies: stimuleer medegebruik door in de ontwerpfase van het windpark aandacht te hebben voor de technische specificaties van medegebruik.

Onderbouwing: Sommige vormen van medegebruik zijn afhankelijk van een minimumlengte van meerdere honderden meters tot kilometers aan werkgebied. Dit betreft hangcultures en/of mosselzaadinvanginstallaties. Deze hebben belang bij lengte van de kweeklijnen in een aaneengesloten gebied in de richting van de hoofdstroom. Voor zeewierkweek is het nog onzeker of toekomstige modules dwars of juist parallel aan de stroming komen te staan. Bij nog toe te wijzen windparken kan de ontwikkeling van hangcultures en/of mosselzaadinvanginstallaties gefaciliteerd worden door op voorhand rekening te houden hiermee.

Vormen van alternatieve energie-opwekking (zonne-energie, getijden energie en golfenergie) zullen de opgewekte elektriciteit aan het net moeten kunnen leveren. Het eenvoudigst is dit te bereiken door deze aan te takken op het net (via de hub) van het windpark. Ten eerste is het aan te bevelen om hier vooraf rekening mee te houden. Mogelijk moet er bij tenders vooraf gespecificeerd worden dat deze aantakking mogelijk moet zijn. Ten tweede kan er bij de configuratie van de infield kabels van het windpark rekening gehouden worden met gemakkelijke en korte routes van de andere energiebronnen naar de hub (radiaalvormige layout ligt voor de hand). Er zal onderzoek nodig zijn om te bepalen of de hubs voldoende capaciteit hebben voor zowel de windenergie als de andere vormen van energie.

*Meegroeien van normen in afwegingskader*

Advies: laat de normen in het afwegingskader "meegroeien" met de verwachte technische opschaling.

Onderbouwing: In dit rapport is o.a. gewerkt met een bandbreedte 50-250 meter voor de onderhoudszone aan weerszijden van de infield kabels. Beleidskeuzes t.a.v. de grootte van de onderhoudszone van infield kabels hebben veel invloed op de beschikbare ruimte voor medegebruik. Reeds voordat medegebruik in windparken daadwerkelijk gaat plaatsvinden en de ruimte voor medegebruik schaarser wordt, is het de uitdaging voor beleidsmakers om in de regelgeving de juiste balans te vinden tussen voldoende ruimte voor onderhouds- en veiligheidsruimte boven de infield kabels enerzijds en voldoende ruimte voor medegebruik anderzijds. Tegelijkertijd is de verwachting dat in de toekomst de turbines nog een slag groter zullen zijn en per turbine meer energie zullen leveren. Dit zal ook aanpassingen vergen op de kabels. Indien dit ook inhoudt dat er aanpassingen nodig zijn op de onderhoudszone, moet daar vooraf over nagedacht worden. Mocht de ruimte voor medegebruik zeer schaars worden dan kan overwogen worden om de waterkolom en het wateroppervlak ook beschikbaar te



stellen voor medegebruik. Voorwaarde is wel dat deze vormen van medegebruik eenvoudig verplaatsbaar zijn, wat weer consequenties heeft voor investeringen in technologie. Naast de onderhoudszone is ook de diepte van infield kabels van belang; als deze voldoende diep ingegraven zijn kan medegebruik zoals passieve visserij in de toekomst gefaciliteerd worden.

#### *Stimuleren van doorvaart*

Advies: stimuleer doorvaart door gebruik te maken van bestaande structuren en corridors die ontstaan dankzij telecom-, elektriciteit- en transportkabels en houdt doorvaartpassages vrij van ander medegebruik.

Onderbouwing: Uit hoofdstuk 2 blijkt dat de meeste vormen van medegebruik die geanalyseerd zijn de doorvaartmogelijkheden in windparken belemmeren. Vooral voor duurzame energie en aquacultuur geldt dat in bijna alle gevallen de doorvaartmogelijkheden in een windpark worden belemmerd. Daarom is het de vraag of de huidige regels voor vaartuigen <24 meter in windparken kunnen blijven bestaan. Zodra medegebruik in windparken toeneemt en de ruimte schaarser wordt kan het zo zijn dat vaartuigen van <24 meter enkel van doorvaartpassages gebruik kunnen maken. Dat betekent dat doorvaart voor vaartuigen <24 meter gekoppeld wordt aan doorvaartpassages in plaats van navigatie in het hele park.

Doorvaart voor vaartuigen van <24, <45, en <80 meter kan gestimuleerd worden door gebruik te maken van de onderhoudszones van telecom-, elektriciteit- en transportkabels, die zorgen voor een vrije corridor door de deelgebieden van het windpark. Aangezien deze kabels veelal op een oost-west lijn liggen en de scheepvaart (recreatie) ook navigeert op een oost-west route kunnen deze goed gecombineerd worden. De turbines aan de randen van de doorvaartpassages zouden gebruikt kunnen worden voor additionele markering van de doorvaartpassage.

#### *Veiligheid op zee*

Advies: gebruikers van dezelfde locatie op zee verzamelen veel data. Gebruik deze kans om data zoveel mogelijk te delen en te koppelen in een informatiesysteem.

Onderbouwing: Werken op zee brengt risico's met zich mee voor mens en milieu. Voor toekomstige windparken zou het een kans zijn om informatiesysteem te introduceren voor gebruikers van de ruimte in en rond het windpark. Hierin kan informatie gedeeld worden m.b.t. omgevingscondities (meteo, golfcondities – een soort KNMI voor op zee, uitgebreid met metaocean condities); zonering van het park voor alle gebruikers; eventuele calamiteiten (inclusief spills, schepen op drift, materiaal op drift), locaties van schepen en plannings m.b.t. onderhoud. Een dergelijk informatiesysteem kan ook het onderling afstemmen van onderhoudsschema's faciliteren.

Voor statische vormen van medegebruik (duurzame energie) kan de veiligheidszone van 500 meter gehandhaafd worden (conform UNCLOS). Dit i.v.m. bewegende/roterende delen. Een veiligheidszone van 50 meter kan toegepast worden voor drijvende duurzame technologie zoals zonne-energie. Voor andere drijvende vormen van medegebruik zoals aquacultuur kan een veiligheidszone van 50 meter toegepast worden, zoals op dit moment geldt voor de turbines. I.v.m. noodsituaties is het van belang dat zonering goed zichtbaar is, zowel overdag als 's nachts, d.m.v. markering.

Ankeren binnen windparken is risicovol en kan alleen in noodgevallen. Echter, in bepaalde omstandigheden kan dit toch wenselijk zijn. Er kan nagedacht worden over vaste ankerboeien, waar schepen zich kunnen vastleggen zonder grondankers te gebruiken (zie ook aanbeveling uit VISRISC, Rockmann, 2015).

### *Draagkracht aquacultuur*

Advies: voer onderzoek uit naar de draagkracht van de Noordzee voor aquacultuur en duurzame energie en natuurlijke componenten van het ecosysteem en de wisselwerking tussen deze componenten.

Onderbouwing: Op dit moment is er weinig kennis over impact van grootschalig medegebruik in windparken op het natuurlijk functioneren van de Noordzee. Draagkrachtproblemen kunnen ontstaan zodra één of meerdere vormen van medegebruik worden opgeschaald. Dit kan niet alleen effect hebben op het Noordzee systeem maar ook de vormen van medegebruik zelf. Het zal zeer nuttig zijn om de komende jaren onderzoek uit te voeren naar de draagkracht van de Noordzee voor aquacultuur en duurzame energie om te voorkomen dat er kosten worden gemaakt voor aanpassingen in het ontwerp van windparken waarvan later blijkt dat deze niet nodig blijken. Op deze manier kunnen draagkrachtstudies handvaten bieden voor het afwegingskader.

Een deel zal mogelijk plaatsvinden binnen kaders als Noordzee 2030 en eventueel de NWA calls die momenteel in ontwikkeling zijn. Het is belangrijk om deze ontwikkelingen goed in de gaten te houden en als binnen de lopende trajecten niet alle vragen worden beantwoord, er voor te zorgen dat dit wel gebeurt. Het is essentieel hiervoor ook de ontwikkelingen in buurlanden mee te nemen omdat nutriëntonttrekkingen in buurlanden een impact zal hebben op de maximale opbrengst in Nederland.

### **Discussie**

De potentiële gevolgen van medegebruik voor milieu en natuur vallen buiten de opdracht. Echter deze potentiële gevolgen zijn wel van essentieel belang om in ogenschouw te nemen naarmate medegebruik verder ontwikkelt wordt opgeschaald. Daarom worden volgen hieronder enkele nadere overwegingen. Er wordt uitgegaan van worst case scenario's.

Kabels en leidingen worden per definitie ingegraven, wat de bodemprofielen en fauna lokaal en tijdelijk verstoort (voor infield kabels zijn er geen minimale eisen voor het ingraven). Leckage uit dergelijke leidingen en verontreinigingen zijn mogelijk, zowel binnen als buiten het windpark. Het is momenteel onbekend wat eventuele effecten zijn op biota (sommige soorten gebruiken electromagnetische velden voor opsporen van prooien) van verstoring van het electromagnetisch veld door ingegraven hoogspanningskabels. Een ander mogelijk gevolg is het effect van aanhoudende trillingen in het systeem (bv van draaiende wind- of getijnturbines). Hiervan is vrijwel niks bekend. Scheepvaart in het windpark, net als elders op de Noordzee, kan aanwezige organismen, m.n. zeezoogdieren en vogels verstoren. Er is een vergrote kans op aanvaringen met verontreinigingen als gevolg. Duurzame energie in de vorm van getijde- en golfgeneratoren en drijvende zonnepanelen kunnen vissen en zeezoogdieren verstoren; in de waterkolom en op de bodem aanwezige structuren verstoren lokale stromingsprofielen met veranderingen aan menging van de waterkolom, en sedimentatie/erosie van de zeebodem. Zonnecellen op het zeeoppervlak zorgen voor schaduw en lokale vermindering van algengroei. Ook zal fauna op deze structuren groeien wat filtering van algen en aantrekking van vis kan veroorzaken. Aquacultuur en vooral de monoculturen interacteren met basale natuurlijke processen, zoals een verhoogde input van nutriënten (visweek), of juist verwijdering ervan door opname van nutriënten (wierkweek) of filtering van algen (schelpdierkweek). Dit kan leiden tot lokale of eventueel zelfs grootschalige verstoring van het natuurlijke voedsel web. Integrated Multi-Trophic Aquaculture op zee bevindt zich nog in de experimentele fase en wordt nog niet commercieel toegepast. Gebruik van medicijnen in de visweek leidt tot lokale verontreinigingen dat risico's met zich meebrengt voor mens en milieu. Grootschalig medegebruik in geval van grootschalige aanleg

van windparken op zee schalen de voornoemde lokale effecten op met onbekende, mogelijk grootschalige gevolgen voor milieu en natuur op zee.

Het risico op overexploitatie (overschrijding draagkracht) door aquacultuur is niet onderzocht. Echter het is een onderwerp dat van groot belang is zodra uitrol van aquacultuur relevant wordt. Het gaat om zowel productie draagkracht, dus de hoeveelheid productie eenheden die geplaatst kunnen worden in het ecosysteem. Dit is de maximale biomassa die per jaar uit het systeem gehaald kan worden. Tevens gaat het om ecologische draagkracht, dus de maximale productiviteit die behaald kan worden zonder significante negatieve impact op het ecosysteem. Het is aan te bevelen dat de ecologische draagkracht per vorm van aquacultuur wordt onderzocht, evenals cumulatieve impact van de combinatie van verschillende vormen van aquacultuur.

## A Summary in English

### Part I – Overview of (innovative) technologies for multi-use

The aim of this study was to explore the future co-use in existing and planned wind farms in the Netherlands. This has been done by mapping possible types and categories of (innovative) technologies that can be operational in 2030. The used methods of the study include a literature study combined with expert judgement. The results are presented below.

#### *Points of attention and rules of thumb*

- The following (innovative) technological developments are more likely to be implemented up to 2030 (in random order): pipelines for the transport of substances, sowing and harvesting vessels, autonomous vessels for operation and maintenance, solar energy, floating energy islands, static energy islands, seaweed breeding and shellfish farming (mussels, oysters, great scallop).
- (Innovative) technological developments that are less likely to be implemented until 2030 (in random order): tidal energy with turbines, underwater kites, Airborne Wind Energy, wave energy, microalgae farming, fish farming and Integrated Multi-Trophic Aquaculture.
- It is expected that most (innovative) technological developments will focus on the use of the water surface (floating) and the water column (hanging). This use of space stems from the physical characteristics of sustainable energy and aquaculture.
- Sustainable energy and aquaculture obstruct in almost all cases the passage possibilities in a wind farm; in the case of cables and pipelines, sowing and harvesting vessels and autonomous vessels, the impediment to passage is the lowest and temporary in nature.
- The use of space is the largest for seaweed breeding, shellfish farming and solar energy. For seaweed breeding, the North Sea Farm Foundation has set the ambition to develop 500 km<sup>2</sup> of space within wind farms.
- The space required for shellfish farming is considerably smaller than that for seaweed farming, but is still expected to be at least a few dozen km<sup>2</sup> in order to be economically viable. The same amount of space will be needed to generate significant amounts of solar energy.
- The safety zone for cables and pipelines is large; 500 to 750 meters on both sides of the infrastructure. The maintenance zone for infield cables is twice the water depth on both sides of the cable. Floating and static energy islands and some types of renewable energy require a safety zone of 500 meters. The smallest safety zone can be found with aquaculture (app. 50 meters).
- Opportunities arising from the (innovative) technical development consist of the use of existing electricity infrastructure for sustainable energy. Floating and static energy islands offer opportunities for storage and conversion of energy. For aquaculture, the available area is primarily an opportunity for upscaling.
- For wind farms and other forms of co-use, opportunities exist such as sharing the electricity infrastructure (cost saving), diversification, parts of facilities, supply, operation & maintenance, data collection (metocean) and emergency services.
- Risks to renewable energy are faults in the electricity infrastructure. Release of materials, collisions and limiting maintenance space are risks that will apply to almost all future forms of co-use. Leaks are a risk for pipelines and floating and static energy islands.
- Aquaculture involves a completely different type of risks such as diseases and parasites. Escapes, medicines, eutrophication and Harmful Algae Blooms are risks that are specifically associated with fish farming.

- Risks of (innovative) technical developments for wind farms and other forms of co-use consist in almost all cases of collisions, restriction of the maintenance space and the release of material.

*a. (Innovative) technological developments*

The following (innovative) technological developments that can be applied in wind farms have been identified. The four categories have been determined in advance in consultation with the client. Subsequently, it has been identified per category which (innovative) technological developments are potentially relevant for deployment within offshore wind farms.

1. Cables and pipes

- Transport of CO<sub>2</sub>, hydrogen, methane, ammonia, formic acid and methanol

2. Shipping

- Sowing and harvesting vessels
- Autonomous vessels

3. Renewable energy

- Tidal energy (turbines)
- Tidal energy (underwater kites)
- Airborne Wind Energy
- Wave energy
- Solar energy
- Floating energy island
- Static energy island

4. Aquaculture

- Microalgae cultivation
- Seaweed farming
- Shellfish farming
- Fish farming
- Integrated Multi-Trophic Aquaculture

*b. TRL and possibilities for implementation*

The TRL and the possibilities for implementation of the (innovative) technological developments vary considerably. With the exception of TRL 0 (idea phase) and 1 (first basic research) all levels (2 to 9) occur. The latter means that one (innovative) technology can be still be on the drawing table while the other is ready commercial implementation. Microalgae cultivation has the lowest TRL (2-3; formulation of technology and validation of needs); this is related to the fact that commercial cultivation on land already involves major challenges. These challenges are even greater at sea. The TRL of cables and pipelines is the highest (7-9; demonstration systems, first commercial systems, fully commercial application). The high TRL and possibilities for implementation can be explained because of the existing infrastructure. Additionally there is a great need to convert the surplus of electricity into energy carriers such as hydrogen, methane, ammonia, formic acid and methanol.

*c. Physical characteristics and obstruction of vessel passage in wind farms*

The (innovative) technological developments have the following physical characteristics:

- Seabed
- Anchored
- Water column
- Just below the water surface
- Floating
- Static
- Flying

The technical specification "static" occurs only once, namely in the case of static energy islands. The technical specification "airborne" also occurs once, namely in the case of Airborne Wind Energy. The technical specification "floating and / or hanging in the water column" is the most common. Floating (innovative) technological developments can be related to renewable energy (some types of wave energy, solar energy and floating energy islands). Aquaculture involves most forms of floating / hanging in the water column (microalgae cultivation, seaweed breeding, mussel and great scallop cultivation, and fish farming).

As a result of the physical characteristics (floating and just below the water surface), sustainable energy and aquaculture are difficult to combine with the passage of vessels. In nearly all described (innovative) technological developments in relation to sustainable energy and aquaculture, it appears that the passage of vessels is completely blocked and therefore not possible when these are in operation. Exceptions to this are shellfish that are cultivated on the seabed, such as the flat oyster. Developments that do not, or barely impede the passage of vessels occur on the seabed (cables and pipelines) or can move relatively easily (sowing and harvesting vessels, autonomous vessels). These forms of co-use are only a temporary obstacle with which the passage of vessels must be taken into account (keep away from the safety zone and temporary detour).

#### *d. Spatial footprint*

The use of space by (innovative) technological developments is the smallest for cables and pipelines (30-100 cm in diameter) and the largest for developments such as seaweed (500 km<sup>2</sup>). To make the cultivation of shellfish (mussels) profitable, at least 4,000 hectares will be needed to produce 10,000-12,500 tons of mussels; if successful, it is expected that 16,000 hectares will be needed. Solar energy can also occupy a lot of space; to generate a comparable amount of energy from a large turbine (9 MW), 15 hectares are required (80,000 solar panels). In order to generate significant amounts of solar energy a considerably larger surface area is required (several dozens of km<sup>2</sup>).

The safety zones of cables and pipelines are large: they vary from 500 meters (pipelines and electricity cables) to 750 meters (telecom cables) on both sides of the infrastructure. Infield cables require a maintenance zone of twice the water depth on both sides of the cable. In addition, objects such as floating and static energy islands are expected to occupy a safety zone of 500 meters. This amount of space is probably also needed for some forms of renewable energy (tidal energy and Airborne Wind Energy). The (innovative) technological developments with the smallest safety zone can be found in aquaculture. A safety zone of about 50 meters is probable, delineated with cardinal buoys.

#### *e. Opportunities and risks*

Opportunities and risks have been identified at three levels:

1. Opportunities and risks for (innovative) technological development itself
2. Opportunities and risks for wind farms
3. Opportunities and risks with regard to other shared use

Opportunities arising from the (innovative) technical development mainly consist of renewable energy; the existing electricity infrastructure can be used for this purpose, provided that TenneT's enabling infrastructure provides sufficient capacity for this<sup>26</sup>. Floating and static

---

<sup>26</sup> TenneT works to connect electricity from wind farms to land with platforms and cables with a capacity of 700 MW. This infrastructure is slightly over-dimensioned in order to deal with small variations in the required transport capacity; dynamic

energy islands offer opportunities for the storage and conversion of energy, something that is urgently needed since supply and demand for energy are often not in balance. For aquaculture, opportunities mainly consist of a large available area; this applies to shellfish farming and even more to seaweed farming. Upscaling to several hundreds of square kilometres is crucial if this sector is to develop towards an economically profitable sector.

Opportunities for the wind farms that arise from (innovative) technical developments consist on of sharing the electricity infrastructure with other forms of sustainable energy. Other forms of sustainable energy could also involve diversification for wind farm operators, in order to become less dependent on the wind force at sea. Other opportunities include looking for smart combinations, such as facility sharing, supply, operation & maintenance, data collection (metocean) and emergency services.

There are also opportunities for other forms of co-use. The most common opportunities exist, just as with the exploitation of wind farms, from sharing facilities, supply, operation & maintenance, data collection (metocean) and emergency services. Seaweed farming and shellfish farming mainly offer opportunities for the nursery function and nature restoration. Multifunctional vessels are also an opportunity for shared use; for example vessels that can be used for sowing and harvesting activities in seaweed farming that can also be used for shellfish farming or the operation and maintenance of other forms of sustainable energy. The latter group also benefits mainly from the conversion of surplus electricity to energy carriers such as hydrogen, methane, ammonia, formic acid or methanol, which can be facilitated by existing or new pipelines.

Risks arising from (innovative) technical developments apply, for example, to the theme of sustainable energy: the potential sharing of electricity infrastructure creates a dependency. As soon as faults occur in the electricity infrastructure, the different types of renewable energy are directly affected. Release of materials, collisions and limited maintenance space are risks that will apply to almost all future forms of co-use. Leaks are risks that occur with pipelines and floating and static energy islands. In aquaculture there are risks such as diseases and parasites. Fish farming in particular brings additional risks, such as escapes from non-native species, use of medicines, eutrophication and Harmful Algae Blooms. Forms of co-use with floating / hanging characteristics pose risks for the maintenance of cables and pipelines due to the confiscation of space.

Risks of (innovative) technical developments for the wind farms and other forms of shared use consist in almost all cases of collisions, limitation of the maintenance space and the release of materials. In some cases there are additional risks due to the chance of collisions, for example due to destination traffic such as sowing and harvesting vessels and autonomous vessels that assist with maintenance and management.

## **Part II – Exploration and zoning of multi-use space**

In this section the answers are given to the four research questions as mentioned in chapter 1.

a. The available space for multi-use has been elaborated in scenarios 1, 2 and 3. For wind park “Hollandse Kust Noord” the available space for multi-use varies from 58 km<sup>2</sup> (46% of the

---

loading. This is not a guaranteed capacity according to the TenneT Quality and Capacity Document 2017. In addition, the wind farms do not deliver full power continuously.



total area of HKN in scenario 3) to 89 km<sup>2</sup> (71% of the total area of HKN in scenario 1). For wind park “Hollandse Kust Zuid” the available space for multi-use varies from 116 km<sup>2</sup> (54% of the total area of HKZ in scenario 3) to 190 km<sup>2</sup> (79% of the total area of HKZ in scenario 1).

From scenarios 1, 2 and 3 it can be concluded that policy choices with regard to the size of the maintenance zone of infield cables have a great influence on the available space for multi-use. Before multi-use in wind farms actually takes place and the space for multi-use becomes scarce, it is a challenge for policy makers to find the right balance in the regulations between sufficient space for maintenance and space for safety zones above the infield cables on one hand and sufficient space for multi-use on the other hand.

b. The logical locations for multi-use have been elaborated in scenario 4. For rope mussels and mussel seed collectors relatively little space is available in wind park “Hollandse Kust Noord” (HKN). This is due to the layout of the strings and the required orientation of breeding lines. In the case of wind park “Hollandse Kust Zuid” (HKZ) relatively much space is available for rope mussels and mussel seed collectors for the same reason. In case seaweed cultivation will be placed parallel to the current HKN offers little space and HKZ offers more space. The space for solar energy in both wind parks is somewhat limited; this relates to the desired proximity to OHVS. The cultivation of oysters and great scallops is the most flexible; these can be placed at any location in the wind park.

From scenario 4 it can be concluded that the locations for multi-use in wind parks, in addition to the size of the strings (see part a above), also depend on the layout of the strings.

c. The location of multi-use in relation to logical routes for shipping passages has been elaborated in scenario 5. In the case of wind park HKN there is a very wide entrance of several kilometers at the east of the wind park. From the middle to the west, a width of approx. 2 km is available for a shipping passage. In the case of wind park HKZ there are two shipping passages available from the east, a narrower southern passage and a wider northern passage that meet in the middle of the wind park. The narrower southern shipping passage is more than one kilometre wide; the wider northern shipping passage is almost 5 km wide.

From this scenario it can be concluded that there is ample space available for creating shipping passages in both wind parks. It is recommended that the north-east passage in wind park HKZ, which is actually split, is pulled together to form one complete shipping passage. Merging makes the situation more transparent for the users of the shipping passage and more manageable for the government.

d. The different forms of multi-use and their relation to each other in space and time has been elaborated in a matrix. The matrix shows that especially nature development and aquaculture can be perfectly combined in time and space. Nature development and wind parks can also be combined well. In addition, the static energy island can be easily combined with other forms of shared use such as microalgae farming and passive fishing. To a lesser extent, the island can be combined with sustainable energy and as an offshore harbour for vessels. Those types of multi-use that cannot be properly combined fall into the renewable energy category.

## B Overzicht van projecten in relatie tot meervoudig ruimtegebruik

De Engelstalige beschrijvingen zijn overgenomen van de websites van de projecten.

| Name of project | Description                                                                                                                                                                                                                                                             | Website                                                                                               |
|-----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| AT~SEA          | The AT~SEA project aims at the development of advanced technical textiles in order to demonstrate the technical and economic feasibility of open sea cultivation of macroalgae (seaweed).                                                                               | <a href="http://www.atsea-project.eu/">http://www.atsea-project.eu/</a>                               |
| COEXIST         | Evaluate competing activities and interactions in European coastal areas. The ultimate goal of the COEXIST project is to provide a roadmap to better integration, sustainability and synergies across the diverse activities taking place in the European coastal zone. | <a href="http://www.coexistproject.eu/">http://www.coexistproject.eu/</a>                             |
| H2Ocean         | Development of a wind- wave power open-sea platform equipped for hydrogen generation with support for multiple users of energy                                                                                                                                          | <a href="http://www.h2ocean-project.eu/">http://www.h2ocean-project.eu/</a>                           |
| InteSusAl       | The overall objective of InteSusAl is to demonstrate an integrated approach to generate biofuels from algae in a sustainable manner on an industrial scale.                                                                                                             | <a href="http://intesusal-algae.eu/2/">http://intesusal-algae.eu/2/</a>                               |
| MERMAID         | Innovative multi-purpose offshore platforms: planning, design and operation                                                                                                                                                                                             | <a href="http://www.vliz.be/projects/mermaidproject/">http://www.vliz.be/projects/mermaidproject/</a> |
| MUSES           | Exploring the opportunities for Multi-Use in European Seas across five EU sea basins (Baltic Sea, North Sea, Mediterranean Sea, Black Sea and Eastern Atlantic).                                                                                                        | <a href="https://muses-project.eu/">https://muses-project.eu/</a>                                     |
| REACH           | Develop airborne wind energy technology into an economically viable solution by minimising the material consumption and increasing the reliability and robustness of the technology                                                                                     | <a href="http://www.reach-h2020.eu/">http://www.reach-h2020.eu/</a>                                   |
| TROPOS          | Modular multi-use deep water offshore platform harnessing and servicing Mediterranean, subtropical and tropical marine resources                                                                                                                                        | <a href="http://www.troposplatform.eu/">http://www.troposplatform.eu/</a>                             |

## C Technology Readiness Levels



Bron: Cloudwatch Hub, 2018

## D Randvoorwaarden voor aquacultuur op de Noordzee

Onderstaande tabellen zijn overgenomen uit een Engelstalig artikel over haalbaarheid van aquacultuur op de Noordzee (Jansen et al., 2016).

|      | Technical (T)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Ecological (E)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Economic (€)                                                                                               |
|------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Fish | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Maximum speeds cages can withstand (<math>100 \text{ cm s}^{-1}</math>) (Kapetsky et al., 2013)</li> <li>- Potential for depth adjustment (requirements dependent on species) (Reijs et al., 2008)</li> <li>- Minimum speeds in structures dependent on species (Reijs et al., 2008)</li> <li>- Fully resistant (submergible)</li> </ul> <p>construction to withstand weather conditions, and wave action, use and crossover (Buck, 2007b)</p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Sufficient water currents to transport new water to cultures (input oxygen, transport wastes). Minimum <math>10 \text{ cm s}^{-1}</math> (Kapetsky et al., 2013)</li> <li>- Depth/wave height excessive wave action can cause physiological problems, reduced growth, physical damage and mortalities (Kapetsky et al., 2013)</li> <li>- Little fouling</li> <li>- Favourable offshore grow-out environment based on temperature requirements of representative fish (Kapetsky et al., 2013)</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Extra costs offshore production (transport, personnel)</li> </ul> |

|                      | Technical (T)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Ecological (E)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Economic (€)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Bivalves/<br>mussels | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Fully resistant construction to withstand weather conditions, and wave action, use and crossover (Buck, 2007b)</li> <li>- Reliable and robust harvest method (Cheney et al., 2010)</li> <li>- Fully balanced floatation (Daley 2010; in Kamermans et al., 2011)</li> <li>- Infrastructure (logistics) (Reijs et al., 2008)</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Sufficient supply of organic food material</li> <li>- Sufficient water currents to transport new water to cultures (input food, transport wastes)</li> <li>- Sufficient growth (Langan and Horton, 2003)</li> <li>- Sufficient spat fall (Van Nieuwenhove, 2008)</li> <li>- Avoidance of loss of mussels that fall off the ropes (Mille and Blachier, 2009; in Kamermans et al., 2011)</li> <li>- No pollution: neither contaminants nor parasites (Buck 2007a; Van Nieuwenhove, 2008)</li> <li>- No excessive predation (Mille and Blachier 2009; in Kamermans et al., 2011)</li> <li>- No excessive fouling of other organisms (Cheney et al., 2010)</li> <li>- Depth &gt; 20 m (Langan and Horton, 2003)</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Extra costs offshore production</li> <li>- Capital of stakeholders/participants (Reijs et al., 2008)</li> <li>- Clear agreements and clear marking to allow sailing traffic (Buck, 2007b; Van Nieuwenhove, 2008)</li> <li>- Long-term investment programs</li> <li>- Long-term licensing and policy</li> </ul> |

|         | Technical (T)                                                                                                                                                                                 | Ecological (E)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | Economic (€)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|---------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Seaweed | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Seaworthiness systems (Buck et al., 2004)</li> <li>- Harvesting techniques</li> <li>- Processing techniques to obtain high-value products</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Sufficient nutrients available</li> <li>- No excessive fouling of other organisms</li> <li>- Species robust to harsh conditions</li> <li>- Growth models resulting in accurate time interval for harvest (Buck et al., 2004)</li> <li>- Minimum depth 5–8 m (Buck et al., 2004)</li> <li>- Concentrations of dissolved O<sub>2</sub> and CO<sub>2</sub> and a good transparency of the water column stimulate algal growth (Buck et al., 2004)</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Extra costs offshore production (transport, personnel)</li> <li>- Availability of cheap seedlings (hatchery)</li> <li>- Well-organized seeding and pre-cultivation strategy adapted to early transfer of young cultured sporophytes into the sea (Buck and Buchholz, 2005)</li> </ul> |

## E Referenties

Ampyx Power (2018a). Airborne Wind Energy Systems.

<https://www.ampyxpower.com/technology>

Geraadpleegd op 1 oktober 2018

Ampyx Power (2018b). Testlocaties.

<https://www.ampyxpower.com/nl/testlocaties>

Geraadpleegd op 15 oktober 2018

Bellona (2017). Ocean Forest - Bellona Foundation.

<http://bellona.org/projects/ocean-forest>

Geraadpleegd op 26 september 2018

Bfirst (2017). The importance of IMTA.

<http://www.bfirst.in/category/critcolumns/imta-204936>

Geraadpleegd op 26 september 2018

Bikker, P., Palstra, A. P., van Krimpen, M. M., Brandenburg, W. A., Contreras, A. L., & van den Burg, S. W. K. (2013). Seaweed and seaweed components as novel protein sources in animal diets. In Book of Abstracts of the 64th Annual Meeting of the European Federation of Animal Science, Nantes, France 26-30 August 2013 (Vol. 19, pp. 140-140).

Bloomberg (2018). The \$300 Million Plan to Farm Salmon in the Middle of the Ocean.

<https://www.bloomberg.com/news/articles/2018-07-30/this-300-million-deepwater-platform-houses-1-5-million-salmon>

Geraadpleegd op 3 oktober 2018

Bolman, B. C. (2007). Explaining the development of the salmon sector in Chile. Thesis Wageningen University.

Bright (2016). Omstreden plan: windmoleneiland midden in de Noordzee.

<https://www.bright.nl/nieuws/artikel/3952381/omstreden-plan-windmoleneiland-midden-de-noordzee>

Geraadpleegd op 5 oktober 2018

British Seafishing (2018). Bream species.

<http://britishseafishing.co.uk/bream-species/#black-bream>

Geraadpleegd op 18 oktober 2018

Buck BH, Krause G, Rosenthal H (2004). Extensive open ocean aquaculture development within wind farms in Germany: the prospect of offshore co-management and legal constraints. Ocean Coast Manag 47(3–4):95–122

Buck BH (2007a). Farming in a high energy environment: potentials and constraints of sustainable offshore aquaculture in the German Bight (North Sea). Berichte zur Polar-und Meereforschung 543. ISSN 1618–3193.

Buck, B.H. (2007b). Experimental trials on the feasibility of offshore seed production of the mussel *Mytilus edulis* in the German Bight: installation, technical requirements and environmental conditions. *Helgol Mar Res* 61(2):87–101

Buck BH, Buchholz CM (2005). Response of the offshore cultivated *Laminaria saccharina* to hydrodynamic forcing in the North Sea. *Aquaculture* 250:674–691

Caixing (2017). Floating Solar Farm Plants Roots in Eastern China

<https://www.caixinglobal.com/2017-06-19/101103191.html>

Geraadpleegd op 28 september 2018

Cheney D, Langan R, Heasman K, Friedman B, Davis J (2010). Shellfish culture in the open ocean: lessons learned for offshore expansion. *Mar Technol Soc J* 44:55–67

Chopin T; Buschmann A.H.; Halling C.; Troell M.; Kautsky N.; Neori A.; Kraemer G.P.; Zertuche-Gonzalez J.A.; Yarish C.; Neefus C. (2001). Integrating seaweeds into marine aquaculture systems: a key toward sustainability. 37. *Journal of Phycology*: 975–986.

Chopin, T., 2006, 'Integrated Multi-Trophic Aquaculture', <http://www2.unb.ca/chopinlab/articles/files/Northern%20Aquaculture%20IMTA%20July%2006.pdf>

Geraadpleegd op 26 september 2018

CLO (2016). Jaarlijkse hoeveelheid neerslag in Nederland, 1910-2015

<https://www.clo.nl/indicatoren/nl050806-jaarlijkse-hoeveelheid-neerslag-in-nederland>

Geraadpleegd op 3 oktober 2018

Chris Westra Consulting (2017). Offshore Service Facilities.

<http://chriswestraconsulting.nl/offshore-service-facilities/>

Geraadpleegd op 5 oktober 2018

Cloudwatch Hub (2018). A brief refresher on Technology Readiness Levels (TRL)

<https://www.cloudwatchhub.eu/exploitation/brief-refresher-technology-readiness-levels-trl>

Geraadpleegd op 5 oktober 2018

Cobouw (2018). Tocardo maakt doorstart met hulp van Noord-Hollands participatiefonds.

[https://www.cobouw.nl/bouwbreed/nieuws/2018/02/tocardo-maakt-doorstart-met-hulp-van-noord-hollands-participatiefonds-101258264?vakmedianet-approve-cookies=1&\\_ga=2.222195344.900406281.1539600682-1222026587.1539600682](https://www.cobouw.nl/bouwbreed/nieuws/2018/02/tocardo-maakt-doorstart-met-hulp-van-noord-hollands-participatiefonds-101258264?vakmedianet-approve-cookies=1&_ga=2.222195344.900406281.1539600682-1222026587.1539600682)

Geraadpleegd op 15 oktober 2018

Daley B (2010). Farm-raised mussels pass first local test. *Globe Newspaper Company*. In: Kamermans et al. (2011)

Davaasuren, N., Brunel, T. P. A., Bolman, B. C., & Jak, R. G. (2013). Maps of Europe showing coastal areas (marine ecosystems) with specific characteristics based on physical characteristics and suitability for different activities (No. C125/12). IMARES.

De Breul (2014). De toekomst van golfenergie.

[https://www.knawonderwijsprijs.nl/bestandenafbeeldingen/2014/NT\\_Detoekomstvangolfenergie.pdf](https://www.knawonderwijsprijs.nl/bestandenafbeeldingen/2014/NT_Detoekomstvangolfenergie.pdf)

Geraadpleegd op 28 september 2018



Deltares (2018). Golfenergie.

<https://www.deltares.nl/nl/issues/duurzame-energie-uit-water-en-ondergrond/golfenergie/>

Geraadpleegd op 28 september 2018

DFO (2018). Integrated Multi-Trophic Aquaculture.

<http://www.dfo-mpo.gc.ca/aquaculture/sci-res/imta-amti/index-eng.htm>

Geraadpleegd op 26 september 2018

Duijn, M. (2009). Embedded reflection on public policy innovation. Eburon Uitgeverij BV.

Ecofys (2012). Ecofys launches test module for seaweed cultivation in offshore wind farms.

<https://www.ecofys.com/en/press/ecofys-launches-trial-module-for-seaweed-cultivation-in-offshore-wind-farm/>

Geraadpleegd op 3 oktober 2018

EMEC (2012). Wave devices.

<http://www.emec.org.uk/marine-energy/wave-devices/>

Geraadpleegd op 28 september 2018

EMEC (2018). Aquamarine Power.

<http://www.emec.org.uk/about-us/wave-clients/aquamarine-power/>

Geraadpleegd op 28 september 2018

Engineeringnet (2018). Proefproject test haalbaarheid mosselkweek aan offshore windpark.

[http://www.engineeringnet.be/belgie/detail\\_belgie.asp?Id=20711&titel=Proefproject%20test%20haalbaarheid%20mosselkweek%20aan%20offshore%20windpark&category=research](http://www.engineeringnet.be/belgie/detail_belgie.asp?Id=20711&titel=Proefproject%20test%20haalbaarheid%20mosselkweek%20aan%20offshore%20windpark&category=research)

Geraadpleegd op 26 september 2018

EQA (2018). Vergeten waterkracht herontdekt: Plan voor elektriciteit uit nieuwe watermolens.

<http://eqaprojects.com/nieuws/vergeten-waterkracht-herontdekt-plan-voor-elektriciteit-uit-nieuwe-watermolens>

Geraadpleegd op 15 oktober 2018

ESRU (2018). Wave Power Case Study.

[http://www.esru.strath.ac.uk/EandE/Web\\_sites/01-02/RE\\_info/wavecase.htm](http://www.esru.strath.ac.uk/EandE/Web_sites/01-02/RE_info/wavecase.htm)

Geraadpleegd op 15 oktober 2018

FAO (2004). Cultured Aquatic Species Information Programme. Gadus morhua. CText by Håkon Otterå. In: FAO Fisheries and Aquaculture Department [online]. Rome. Updated 1 January 2004.

FAO (2018). Global Aquaculture Production (online query).

<http://www.fao.org/fishery/statistics/global-aquaculture-production/query/en>

Geraadpleegd op 26 september 2018

Fusion Marine (2016). Unique new flotation system for offshore mussel farm delivers optimum performance.

<https://fusionmarine.com/unique-new-flotation-system-for-offshore-mussel-farm-delivers-optimum-performance/>

Geraadpleegd op 15 oktober 2018

Fusion Marine (2018). Offshore Mussel Float.

<https://fusionmarine.com/products/shellfish-systems/offshore-mussel-float/>

Geraadpleegd op 6 november 2018

Global Wind Support (2009). Offshore-windpark GWS Offshore NL 1. Kabelverbindingen van de offshore windparken BARD Offshore NL 1, EP offshore NL 1 en GWS Offshore NL 1. Elektromagnetische en thermische effecten.

<http://api.commissiomer.nl/docs/mer/p17/p1766/1766-022bijlage6.pdf>

Geraadpleegd op 15 oktober 2018

Greenage (2018). Rance Tidal Power Station, France.

<https://www.thegreenage.co.uk/cos/rance-tidal-power/>

Geraadpleegd op 26 september 2018

Groenendijk (2018). Review on risk assessment on transit and co-use of offshore wind farms in Dutch coastal water.

<https://www.rijksoverheid.nl/documenten/rapporten/2018/04/01/review-on-risk-assessment-transit-and-co-use-of-offshore-wind-farms-in-dutch-coastal-water>

Geraadpleegd op 21 september 2018

IHC (2017). Sustainable mechanisation concepts for the seaweed market.

<https://www.royalihc.com/en/blog/a-sustainable-solution-for-seaweed-producers>

Geraadpleegd op 5 oktober 2018

ILVO (2018). De eerste aquacultuurproducten uit projectgebied 'Noordzee Aquacultuur' zijn een feit én een succes: bijzonder smakvolle Belgische mosselen.

<https://www.ilvo.vlaanderen.be/language/nl-BE/NL/Pers-en-media/Alle-media/articleType/ArticleView/articleId/5114/De-eerste-aquacultuurproducten-uit-projectgebied-Noordzee-Aquacultuur-zijn-een-feit-en-een-succes-bijzonder-smakvolle-Belgische-mosselen.aspx#.XBoND9tKipo>

Geraadpleegd op 19 december 2018

Jansen, H. M., Van Den Burg, S., Bolman, B., Jak, R. G., Kamermans, P., Poelman, M., & Stuiver, M. (2016). The feasibility of offshore aquaculture and its potential for multi-use in the North Sea. *Aquaculture international*, 24(3), 735-756.

Kamermans P, Schellenkes T, Beukers R (2011). Verkenning van mogelijkheden voor mosselteelt op Noordzee. IMARES Rapport C021/11.

Kapetsky JM, Aguilar-Manjarrez J, Jenness J (2013). A global assessment of potential for offshore mariculture development from a spatial perspective. *FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper No 549*. FAO, Rome

Kempener, R., & Neumann, F. (2014). Ocean Thermal Energy Conversion, Technology Brief. *IRENA Ocean Energy Technology Brief*, 1.

Lagerveld, S., Rockmann, C., Scholl, M. M., Bartelings, H., van den Burg, S. W. K., Jak, R. G., ... & Smith, S. R. (2014). Combining offshore wind energy and large-scale mussel farming: background & technical, ecological and economic considerations (No. C056/14). IMARES.

Lako, P., Luxembourg, S. L., & Beurskens, L. W. M. (2010). Karakteristieken van duurzame energie in relatie tot de Afsluitdijk. ECN-E--10-044, Petten.

Langan R, Horton F (2003). Design, operation and economics of submerged longline mussel culture in the open ocean. Bull Aquac Assoc Can 103:11–20

Live Science (2008). How Floating 'Energy Islands' Could Power the Future.

<https://www.livescience.com/3063-floating-energy-islands-power-future.html>

Geraadpleegd op 2 oktober 2018

MARIN (2017). MARIN test eerste drijvend mega-eiland.

<http://www.marin.nl/web/News/News-items/MARIN-test-eerste-drijvend-megaeiland.htm>

Geraadpleegd op 2 oktober 2018

Mille and Blachier (2009). Mutation conchylicoles. Etat des lieux et perspectives de development des productions en eau profonde a l'automne 2008. Aglia Report febr. 2009. In: Kamermans et al. (2011).

Mitsui, T. (1983). Outline of the 100kW OTEC Pilot plant in the Republic of Nauru 9 (IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems).

Minesto (2018). Our technology - The future of renewable energy.

<https://minesto.com/our-technology>

Geraadpleegd op 28 september 2018

Noordzeeboerderij (2018a). Wat is een proefboerderij?

<https://www.noordzeeboerderij.nl/proefboerderij>

Geraadpleegd op 25 september 2018

Noordzeeboerderij (2018b). Zeewier voor Scheveningen groeit!

<https://www.noordzeeboerderij.nl/nieuws/170222-zeewier-voor-scheveningen-groeit>

Geraadpleegd op 16 oktober 2018

Noordzeeboerderij (2018c). Technische dwarsdoorsnede zeewierkweek. Aangeleverd door E. Brouwers.

Reith, E. H., Deurwaarder, E. P., Hemmes, K., Curvers, A. P. W. M., Kamermans, P., Brandenburg, W. A., & Lettings, G. (2005). Bio-offshore: grootschalige teelt van zeewieren in combinatie met offshore windparken in de Noordzee. ECN-C--05-008.

Reijs Th.A.M., R.W.A. Oorschot, M. Poelman, J. Kals, I. Immink (2008). Aquacultuur op open zee. TNO rapport 2008-D-R1048/A.

Rijkswaterstaat (2018). Opdrachtingschrijving: Verkenning toekomstig medegebruik windparken. Versie 16 juli 2018.

Rockmann, C., van der Lelij, A. C., van Duren, L., & Steenbergen, J. (2015). VisRisc-riscoschatting medegebruik visserij in windparken (No. C138/15A). IMARES.

Salmar (2018). Offshore Fish Farming - A new era in fish farming is on its way.

<https://www.salmar.no/en/offshore-fish-farming-a-new-era/>

Geraadpleegd op 3 oktober 2018

SeaCurrent (2018). Our technology.

<https://seacurrent.com/#ourtechnology>

Geraadpleegd op 3 oktober 2018

Smithsonian (2018). China Turns On the World's Largest Floating Solar Farm.

<https://www.smithsonianmag.com/smart-news/china-launches-largest-floating-solar-farm-180963587/>

Geraadpleegd op 28 september 2018

Staatscourant (2018). Besluit van de Minister van Infrastructuur en Waterstaat, van 16 april 2018, nr. RWS-2018/13729, houdende vaststelling van een beleidsregel voor de instelling van een veiligheidszone voor windparken op zee (Beleidsregel instelling veiligheidszone windparken op zee). Jaargang 2018, Nr. 22588. Gepubliceerd op 26 april 2018 09:00.

TenneT (2017a). North Sea Wind Power Hub.

<https://www.tennet.eu/nl/onze-kerntaken/innovaties/north-sea-wind-power-hub/>

Geraadpleegd op 5 oktober 2018

TenneT (2017b). Samenwerking Europese hoogspanningsnetbeheerders voor ontwikkeling North Sea Wind Power Hub.

<https://www.tennet.eu/nl/nieuws/nieuws/samenwerking-europese-hoogspanningsnetbeheerders-voor-ontwikkeling-north-sea-wind-power-hub/>

Geraadpleegd op 5 oktober 2018

Tocado (2018). Projects.

<https://www.tocado.com/projects/>

Geraadpleegd op 25 september 2018

TU Delft (2016). Kite power: towards affordable, clean energy.

<https://www.tudelft.nl/en/ae/news/spotlight/kite-power-towards-affordable-clean-energy/>

Geraadpleegd op 28 september 2018

TU Delft (2018). Autonoom varen.

<https://www.tudelft.nl/3me/onderzoek/check-out-our-science/autonoom-varen/>

Geraadpleegd op 5 oktober 2018

Technisch Weekblad (2018). Eerste zonnepark op zee.

<https://www.technischweekblad.nl/nieuws/eerste-zonnepark-op-zee/item11364>

Geraadpleegd op 28 september 2018

Van der Veer, E. F., Koornneef, J. M., & Peters, M. C. A. M. (2018). Offshore systeemintegratie als transitieversneller op de Noordzee.

<http://publications.tno.nl/publication/34626483/rRqgwk/TNO-2018-Offshore.pdf>

Geraadpleegd op 25 september 2018

Van Nieuwenhove K (2008). Studie naar de commercialisering van de Belgische off-shore hangmosselcultuur. WP3. Uitbreiding van schelpdierproductiegebieden. ILVO-rapport Mei 2008.

VLIZ (2018). Definitie van advectie.

<http://www.vliz.be/vmdcdata/faq/keywords.php?letter=a>

Geraadpleegd op 25 september 2018

Volkskrant (2007). Een omgekeerd stuwmeer op zee.

<https://www.volkskrant.nl/nieuws-achtergrond/een-omgekeerd-stuwmeer-op-zee~be7c7184/>

Geraadpleegd op 15 oktober 2018

Volkskrant (2017). Noordzeelanden gaan samenwerken bij exploitatie windenergie Noordzee.

<https://www.volkskrant.nl/economie/noordzeelanden-gaan-samenwerken-bij-exploitatie-windenergie-noordzee~b143f092/>

Geraadpleegd op 5 oktober 2018

Wolkers, H., Barbosa, M. J., Kleinegris, D. M. M., Bosma, R., Wijffels, R. H., & Harmsen, P. F. H. (2011). Microalgen: het groene goud van de toekomst?: grootschalige duurzame kweek van microalgen voor de productie van bulkgrondstoffen. Wageningen UR-Food & Biobased Research.

WUR (2018). Onderzoek - Algen als brandstof

<https://www.wur.nl/nl/artikel/Onderzoek-Algen-als-brandstof.htm>

Geraadpleegd op 25 september 2018

F Interactie matrix

|                                      | Rakels en ledigen | Zaai- en oogwaartuigen                                      | Autonome waartuigen                                                          | Geïrreonneerde (buitende)                                  | Geïrreonneerde (onderwater vlaggen)                   | Autonome Wind Energy                                  | Geïrreonneerde                                        | Zonne-energie                                         | Drijvend energie-aland                                | Statisch energie-aland                                | Microalgenweek                                        | Deerterweek                                           | Schepelweek                                           | Vlootweek                                             | Integreerd Multi-Trophic Aquaculture                  | Offshore windparken                                   | Natuurontwikkeling                                    | Positieve visserij                                    | Nieuwswaart                                           |
|--------------------------------------|-------------------|-------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| Kubus en ledigen                     |                   | Vaartuigen kunnen zonder problemen over kubus-ledigen varen | Vaartuigen kunnen zonder problemen over kubus-ledigen varen                  | Verbinding van geïrreonneerde veld met kubus-ledigen varen | Tijdelijk onderhouden veld met kubus-ledigen varen    | Tijdelijk onderhouden veld met kubus-ledigen varen    | Tijdelijk onderhouden veld met kubus-ledigen varen    | Tijdelijk onderhouden veld met kubus-ledigen varen    | Tijdelijk onderhouden veld met kubus-ledigen varen    | Tijdelijk onderhouden veld met kubus-ledigen varen    | Tijdelijk onderhouden veld met kubus-ledigen varen    | Tijdelijk onderhouden veld met kubus-ledigen varen    | Tijdelijk onderhouden veld met kubus-ledigen varen    | Tijdelijk onderhouden veld met kubus-ledigen varen    | Tijdelijk onderhouden veld met kubus-ledigen varen    | Tijdelijk onderhouden veld met kubus-ledigen varen    | Tijdelijk onderhouden veld met kubus-ledigen varen    | Tijdelijk onderhouden veld met kubus-ledigen varen    | Tijdelijk onderhouden veld met kubus-ledigen varen    |
| Zaai- en oogwaartuigen               |                   |                                                             | Duidelijk navigatie & communicatie middelen is er geen overlap in tijd/vaart | Hoge functionaliteit van geïrreonneerde veld met veld      | Hoge functionaliteit van geïrreonneerde veld met veld | Hoge functionaliteit van geïrreonneerde veld met veld | Hoge functionaliteit van geïrreonneerde veld met veld | Hoge functionaliteit van geïrreonneerde veld met veld | Hoge functionaliteit van geïrreonneerde veld met veld | Hoge functionaliteit van geïrreonneerde veld met veld | Hoge functionaliteit van geïrreonneerde veld met veld | Hoge functionaliteit van geïrreonneerde veld met veld | Hoge functionaliteit van geïrreonneerde veld met veld | Hoge functionaliteit van geïrreonneerde veld met veld | Hoge functionaliteit van geïrreonneerde veld met veld | Hoge functionaliteit van geïrreonneerde veld met veld | Hoge functionaliteit van geïrreonneerde veld met veld | Hoge functionaliteit van geïrreonneerde veld met veld | Hoge functionaliteit van geïrreonneerde veld met veld |
| Autonome waartuigen                  |                   |                                                             |                                                                              | Hoge functionaliteit van geïrreonneerde veld met veld      | Hoge functionaliteit van geïrreonneerde veld met veld | Hoge functionaliteit van geïrreonneerde veld met veld | Hoge functionaliteit van geïrreonneerde veld met veld | Hoge functionaliteit van geïrreonneerde veld met veld | Hoge functionaliteit van geïrreonneerde veld met veld | Hoge functionaliteit van geïrreonneerde veld met veld | Hoge functionaliteit van geïrreonneerde veld met veld | Hoge functionaliteit van geïrreonneerde veld met veld | Hoge functionaliteit van geïrreonneerde veld met veld | Hoge functionaliteit van geïrreonneerde veld met veld | Hoge functionaliteit van geïrreonneerde veld met veld | Hoge functionaliteit van geïrreonneerde veld met veld | Hoge functionaliteit van geïrreonneerde veld met veld | Hoge functionaliteit van geïrreonneerde veld met veld | Hoge functionaliteit van geïrreonneerde veld met veld |
| Geïrreonneerde (buitende)            |                   |                                                             |                                                                              |                                                            |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |
| Geïrreonneerde (onderwater vlaggen)  |                   |                                                             |                                                                              |                                                            |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |
| Autonome Wind Energy                 |                   |                                                             |                                                                              |                                                            |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |
| Geïrreonneerde                       |                   |                                                             |                                                                              |                                                            |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |
| Zonne-energie                        |                   |                                                             |                                                                              |                                                            |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |
| Drijvend energie-aland               |                   |                                                             |                                                                              |                                                            |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |
| Statisch energie-aland               |                   |                                                             |                                                                              |                                                            |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |
| Microalgenweek                       |                   |                                                             |                                                                              |                                                            |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |
| Deerterweek                          |                   |                                                             |                                                                              |                                                            |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |
| Schepelweek                          |                   |                                                             |                                                                              |                                                            |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |
| Vlootweek                            |                   |                                                             |                                                                              |                                                            |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |
| Integreerd Multi-Trophic Aquaculture |                   |                                                             |                                                                              |                                                            |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |
| Offshore windparken                  |                   |                                                             |                                                                              |                                                            |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |
| Natuurontwikkeling                   |                   |                                                             |                                                                              |                                                            |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |
| Positieve visserij                   |                   |                                                             |                                                                              |                                                            |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |
| Beveiligingsmaat                     |                   |                                                             |                                                                              |                                                            |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |                                                       |