



---

# Aanbevelingen voor de voortzetting van het benthos onderzoek in de windparken PAWP en OWEZ

Op basis van een poweranalyse en literatuurreview

Auteurs: Sander Glorius, Oscar Bos & Chun Chen

Wageningen University &  
Research Rapport C042/17

---

# Aanbevelingen voor de voortzetting van het benthos onderzoek in de windparken PAWP en OWEZ

Op basis van een poweranalyse en literatuurreview

Auteur(s): Sander Glorius, Oscar Bos & Chun Chen

Publicatiedatum: 11 Mei 2017

Wageningen Marine Research Den Helder, mei 2017

---

Wageningen Marine Research rapport C042/17

---

S.T. Glorius O. Bos & C. Chen, 2017. Aanbevelingen voor de voortzetting van het benthos onderzoek in de windparken PAWP en OWEZ; Op basis van een poweranalyse en literatuurreview. Wageningen Marine Research rapport C042/17. 47 blz

Keywords: bodemdieren, benthos, offshore windparken, hard substraat.

Opdrachtgever: Dr. I. van Splunder  
Rijkswaterstaat Water, Verkeer & Leefomgeving  
Postbus 2232  
3500 GE Utrecht

Wageningen Marine Research Wageningen UR is ISO 9001:2008 gecertificeerd.

Dit rapport is gratis te downloaden van <https://doi.org/10.18174/415355>  
Wageningen Marine Research verstrekt geen gedrukte exemplaren van rapporten.

© 2016 Wageningen Marine Research Wageningen UR

Wageningen Marine Research, onderdeel  
van Stichting Wageningen Research  
KvK nr. 09098104,  
IMARES BTW nr. NL 8113.83.696.B16.  
Code BIC/SWIFT address: RABONL2U  
IBAN code: NL 73 RABO 0373599285

De Directie van Wageningen Marine Research is niet aansprakelijk voor  
gevolg schade, noch voor schade welke voortvloeit uit toepassingen van de  
resultaten van werkzaamheden of andere gegevens verkregen van Wageningen  
Marine Research opdrachtgever vrijwaart Wageningen Marine Research van  
aanspraken van derden in verband met deze toepassing.  
Dit rapport is vervaardigd op verzoek van de opdrachtgever hierboven aangegeven  
en is zijn eigendom. Niets uit dit rapport mag weergegeven en/of gepubliceerd  
worden, gefotokopieerd of op enige andere manier gebruikt worden zonder  
schriftelijke toestemming van de opdrachtgever.

# Inhoud

<b>Samenvatting</b>	<b>4</b>
<b>1 Inleiding</b>	<b>7</b>
<b>2 Kennisvraag</b>	<b>8</b>
2.1 Doelstelling benthosonderzoek windparken	8
2.2 Doelstelling	8
2.3 Kennisvragen	8
<b>3 Methoden</b>	<b>9</b>
3.1 Hard substraat	9
3.2 Zacht substraat	9
3.2.1 Opwerking gegevens	9
3.2.2 Selectie van soorten	10
3.2.3 Power analyse	11
3.2.4 Workshop	12
<b>4 Resultaten</b>	<b>13</b>
4.1 Locatie en eigenschappen windparken	13
4.2 Opzet zacht-substraat monitoring	13
4.3 Dominante soorten zacht-substraat bemonstering	15
4.4 Effectgrootte en aantal monsters zacht substraat	18
4.5 Resultaat discussie workshop	21
4.6 Ontwikkeling van hard-substraat gemeenschappen	25
<b>5 Conclusies en aanbevelingen</b>	<b>31</b>
5.1 Invloed visserij	31
5.2 Detecteerbare effectgrootte volgens de BACI methodiek	31
5.3 Hard substraat	32
5.4 Aanbevelingen	32
5.4.1 Praktische uitvoering	32
5.4.2 Additionele bemonsteringen hard substraat	33
5.4.3 Analyse	33
5.4.4 Algemeen	33
<b>6 Kwaliteitsborging</b>	<b>34</b>
<b>Literatuur</b>	<b>35</b>
<b>Verantwoording</b>	<b>37</b>
<b>Bijlage 1 Aggregatie taxa</b>	<b>38</b>
<b>Bijlage 2 Verslag workshop</b>	<b>39</b>

---

# Samenvatting

Benthos onderzoek aan offshore windparken wordt uitgevoerd om inzicht te krijgen in de lange termijn effecten van de aanwezigheid van een windmolenpark (en de uitsluiting van visserij daarbinnen) op de benthische gemeenschappen van de zachte bodems en tevens hoe de benthische gemeenschappen op het geïntroduceerde hard substraat zich hebben ontwikkeld. Dit is van belang om inzicht te krijgen in de effecten van operationele parken op lange termijn (decennia) en wat dit kan betekenen met betrekking tot schaalvergroting.

Het doel van deze studie is inzichtelijk te maken welke nieuwe inzichten kunnen worden verwacht van een herhaalde bemonstering van het benthos in het harde en zachte substraat van de windmolenparken PAWP en OWEZ, ongeveer 10 en 15 jaar na de installatie van deze parken. Tevens wordt gekeken of en hoe eventuele aanpassing van de bemonstering de verwachte resultaten kan versterken.

## ***Zacht substraat***

Uit de zacht substraat benthos monitoring uitgevoerd in offshore windpark Egmond aan Zee (OWEZ) en Prinses Amalia windpark (PAWP) bleken slechts subtiele effecten op de lokale benthosgemeenschap aantoonbaar. Het is onbekend of effecten al volledig opgetreden zijn maar klein van omvang, of dat de subtiliteit van de aangetoonde effecten veroorzaakt wordt door de beperkte herstelperiode (vijf jaar) en/of door hoge omgevingsvariatie in ruimte en/of tijd. Het doel van deze studie is om een argumentatie te geven of nieuw ecologisch onderzoek van het benthos op hard- en zacht substraat in de twee bestaande windmolenparken op ecologische gronden nieuwe inzichten oplevert, en, zo ja, welke. Voor dit doel werd middels een poweranalyse vastgesteld welke effectgroottes naar verwachting in een herhaalde bemonstering zouden kunnen worden aangetoond voor de dominant aanwezige soorten. In een expert workshop werd doormiddel van een discussie met experts op het gebied van Noordzee benthos beoordeeld in hoeverre deze effectgroottes zouden kunnen optreden en werd een inschatting gegeven van overige mogelijke effecten die met een herhaalde meting zouden kunnen worden waargenomen.

De zacht substraat fauna werd zowel met een boxcorer, gericht op de kleinere en in de bodem levende soorten, als met een bodemschaaf, gericht op de grotere soorten, bemonsterd. Voor de bodemschaaf-bemonstering is door middel van een power analyse berekend, hoeveel monsters in een nieuwe bemonstering nodig zouden zijn om een effect van een bepaalde grootte aan te kunnen tonen. Hieruit bleek dat, om een verschil van een factor 2 aan te tonen (dus een halvering of verdubbeling in het park ten opzichte van de referentiegebieden), 10 monsters in PAWP en 41 monsters in OWEZ moeten worden genomen in zowel het windpark als in alle referentiegebieden samen. Deze aantallen gelden onder de voorwaarde dat ze worden uitgevoerd met een bodemschaaf identiek aan die waarmee de vorige bemonstering is uitgevoerd, en deze schaaft verschilt tussen de twee parken. Deze aantallen stijgen naar 28 (PAWP) en 123 (OWEZ) wanneer men een verschil van een factor 1.5 wil kunnen aantonen.

Een power analyse kan alleen uitgevoerd worden indien er een goede schatting van de omgevingsvariatie in het voorkomen van soorten kan worden gemaakt. Dit kan alleen als een soort vrij algemeen voorkomt, zowel binnen als buiten het windpark. Vrijwel de hele zuidelijke Noordzee wordt al decennia intensief bevist en van de soorten die nu nog dominant aanwezig zijn kan dus logischerwijs aangenomen worden dat deze in enige mate bestand zijn tegen visserij. Het effect op deze soorten is daardoor vooral waarneembaar in de vorm van een verhoogde dichtheid in voor visserij gesloten gebieden zoals windmolenparken. Dit zijn echter niet alle soorten waarvoor een effect mogelijk is. Het is te verwachten dat de meest gevoelige soorten vanwege de visserij inmiddels zeldzaam zijn geworden of wellicht verdwenen. Een power analyse zal juist voor deze zeer gevoelige soorten niet mogelijk zijn, en het laten zien dat deze soorten 'terugkomen' in een windmolenpark zal

vooral plaatsvinden doordat ze in het park af en toe, en daarbuiten nooit worden gevangen. De kans om dit aan te tonen wordt groter naarmate meer monsters worden genomen, maar hoeveel monsters er precies nodig zijn hangt uiteraard af van hoe zeldzaam een soort binnen het windmolenpark is.

Voor de boxcore bemonstering bleek een power analyse in het geheel niet mogelijk, omdat de data te veel 'bemonsteringsvariatie' bevat, die de omgevingsvariatie verhult. Dit komt door het zeer kleine bemonsterd oppervlak ( $\sim 0.1\text{m}^2$  per boxcore monster).

### ***Hard substraat***

De ontwikkeling van de hard-substraat gemeenschap aanwezig op de turbinepalen en de fundamenteën werd beoordeeld door de ontwikkeling tot nu toe tussen beide parken te vergelijken en de aanwezige hard substraat gemeenschappen te vergelijken met gemeenschappen op harde structuren die al langer in de Noordzee aanwezig zijn, zoals stenen en olie- en gasplatforms.

Anders dan de zacht-substraat bemonstering werd er een duidelijke en snelle ontwikkeling van de hard-substraat gemeenschap geobserveerd op de turbinepalen. Al vanaf de eerste bestandsopname van het harde substraat op turbinepalen in OWEZ en PAWP blijkt dat er zich een duidelijke verticale zonering ingesteld heeft die wat betreft dominante soorten een grote mate van overeenkomst laat zien met harde structuren die zich al langer in de Noordzee bevinden (zoals bijvoorbeeld wrakken en boorplatforms). Alhoewel op sommige vormen van natuurlijk hard substraat en wrakken een hogere soortenrijkdom werd gevonden, is het momenteel onduidelijk of dit niet, deels of juist geheel veroorzaakt wordt door een verschil in bemonsteringsinspanning en/of door een langere ontstaansgeschiedenis. Een verdergaande ontwikkeling werd gevonden wat betreft aanwas van soorten, toename van biomassa van mosselen op de turbinepalen en een toename van het sediment in de funderingen. Op de bodem werden veelvuldig lege mosselschelpen aangetroffen. Mosselklompen die vanaf de turbinepalen afbrokkelen lijken zich niet te kunnen handhaven op de bodem. Het is waarschijnlijk dat ze na het afvallen snel worden 'opgeruimd' door predatoren. Wel kan, door ophoping van lege mosselschelpen, een nieuw substraat gevormd worden dat vestiging van bijvoorbeeld schelpkokerwormen mogelijk kan maken.

### ***Aanbevelingen***

Op basis van de bevindingen van deze studie en de gehouden workshop worden de volgende aanbevelingen gedaan:

#### *Praktische uitvoering*

- Voer in 2017 opnieuw een hard en zacht substraat benthosmonitoring uit om de verdergaande ontwikkeling van het harde substraat en het herstel van het bodemleven van het zachte substraat inzichtelijk te kunnen maken. Doe dit zo veel mogelijk op dezelfde wijze als in eerdere bemonsteringen.
- Bemonster en analyseer PAWP en OWEZ tegelijk om jaarlijkse variaties te verkleinen en daarmee de detectiekracht te vergroten.
- In de zacht-substraat bemonstering zien we nauwelijks een rol voor de boxcorer als monstertuig voor biota (maar zie hieronder). Dit tuig is geschikt om kleine soorten die algemeen voorkomen te bemonsteren. Dit zijn niet de soorten waar we effecten verwachten. We adviseren daarom geen boxcorer monsters te nemen, maar in te zetten op een hoger aantal schaafmonsters, plus een verkenning van alternatieve technieken (zie hieronder). Bij het verwerken van de monsters is het belangrijk dat ook de grootteverdeling van de populatie goed wordt vastgelegd.
- Vergroot het aantal bodemschaafmonsters dat genomen wordt naar minimaal 41 in elk windpark en in de referentiegebieden om zodoende veranderingen van een factor 2 in dominante taxa aan te kunnen tonen en tevens de detectie van terugkerende soorten te vergroten. Voor dit laatste punt kan geen factor worden berekend, maar geldt: hoe meer hoe beter.

- 
- Neem ook monsters voor korrelgrootte analyses, bereken de bevissingshistorie en neem beiden mee in de interpretatie van de gegevens. Hierin kan de boxcorer wel een rol spelen.
  - Houdt niet vast aan de locaties van de monsters binnen de referentiegebieden maar kies monsterlocaties op basis van een hoge historische bevissingsintensiteit om zodoende de gradiënt in 'behandeling' te maximaliseren en daarmee ook de detectiekracht.

#### Additionele bemonsteringen hard substraat

- Continueer de monitoring van de hard-substraat gemeenschappen die aanwezig zijn op de wind turbinepalen en funderingen van zowel OWEZ als PAWP. Houdt hierbij de gevolgde proefopzet van de voorgaande metingen aan wat betreft aantal monsters, seizoen, bemonsterd oppervlak etc.
- Monitor de ophoping en soortsaamenstelling van leeg schelpenmateriaal aan de funderingen.
- Onderzoek de invloedsfeer van het harde substraat op het omringende zacht substraat door de epifauna, het fijne benthos en het sediment in verschillende raaien en in verschillende richtingen georiënteerd van de turbine palen te bemonsteren
- Laat deze raaien dichtbij de turbinepalen starten (<5-10 meter).
- Onderzoek in pilotexperimenten of met alternatieve methodieken, zoals sonar en onderwatervideo, het mogelijk is de detectiekracht van 'zeldzame' en terugkomende soorten te vergroten.

#### Analyse

- Analyseer gegevens niet alleen volgens de BACI methodiek maar relateer dichtheden en trends in het windpark aan ontwikkelingen op de lange termijn in ons land door een koppeling met WOT-schelpdieren te maken en met ontwikkelingen in ons omringende landen door aansluiting te zoeken met het UNDINE project.

#### Algemeen

- Lijn het nu te plannen onderzoek aan benthos uit met het onderzoek aan vis.

# 1 Inleiding

In Offshore Windpark Egmond aan Zee (OWEZ) en Prinses Amalia Windpark (PAWP) is binnen de monitoringsverplichting uit de vergunning voorafgaand aan de bouw en op twee tijdstippen na de bouw gemonitord om zodoende de ontwikkelingen in de benthische gemeenschap vast te stellen. Uit deze monitoring bleken slechts subtiele effecten op de lokale zacht-substraat benthosgemeenschap als gevolg van het windpark aantoonbaar. Het is onduidelijk of de subtiliteit van de effecten veroorzaakt wordt door de beperkte herstelperiode van 5 jaar, of door andere factoren (hoge omgevingsvariatie in ruimte en/of tijd). Het is ook mogelijk dat de effecten wel al volledig zijn opgetreden, maar klein zijn. Tegelijkertijd kan niet uitgesloten worden dat de waargenomen, maar niet significante veranderingen een eerste stap in de richting van een herstel van de lokale benthosgemeenschap zijn. Langer dan 5 jaar na de bouw is tot op heden nog geen onderzoek uitgevoerd.

Voor het nieuw geïntroduceerde hard substraat (de turbinepalen en de steenstort voor 'scour protection' aan de voet van de turbines), is de vraag of de daar gevestigde gemeenschap nog in ontwikkeling is (in termen van soortsaanpak en diversiteit), of dat het eindstadium reeds bereikt is.

Rijkswaterstaat is voornemens een benthos onderzoek uit te voeren in OWEZ en PAWP nu beide parken voor een langere periode (>10 jaar) operationeel zijn. Het is wenselijk om in te schatten of en, zo ja, welke lange(re) termijn effecten van windparken op hard- en zacht substraat benthos redelijkerwijs inzichtelijk gemaakt kunnen worden met een dergelijk kostbaar onderzoek alvorens te besluiten dit uit te voeren. In het voorliggende rapport wordt deze inschatting gemaakt. Tevens worden aanbevelingen gedaan om dit onderzoek zodanig uit te voeren dat de kennisopbrengst maximaal is.



---

## 2 Kennisvraag

### 2.1 Doelstelling benthosonderzoek windparken

Benthos onderzoek aan offshore windparken wordt uitgevoerd om inzicht te krijgen in de lange termijn effecten van de aanwezigheid van een windmolenpark (en de uitsluiting van visserij daarbinnen) op de benthische gemeenschappen van de zachte bodems en tevens hoe de benthische gemeenschappen op het geïntroduceerde hard substraat zich hebben ontwikkeld. Dit is van belang om inzicht te krijgen in de effecten van operationele parken op lange termijn (decennia) en wat dit kan betekenen met betrekking tot schaalvergroting.

### 2.2 Doelstelling

Het doel van deze studie is inzichtelijk te maken welke nieuwe inzichten kunnen worden verwacht van een herhaalde bemonstering van het benthos in het harde en zachte substraat van de windmolenparken PAWP en OWEZ, ongeveer 10 en/of 15 jaar na de installatie van deze parken. Tevens wordt gekeken of en hoe eventuele aanpassing van de bemonstering de verwachte resultaten kan versterken.

### 2.3 Kennisvragen

Om bovenstaande doelstelling te bereiken zijn de volgende kennisvragen geformuleerd:

1. Wat zijn de detecteerbare effectgroottes op de meest algemeen voorkomende zacht substraat soorten die met een statistische power van 80% en een significantieniveau van 0.05 kunnen worden gedetecteerd, voor zowel OWEZ als PAWP?
2. Is de inschatting van experts dat deze meetbare effectgroottes kunnen optreden bij OWEZ en PAWP wanneer deze voor een periode van 10 en/of 15 jaar gesloten zijn?
3. In welk stadium van ontwikkeling bevinden zich de hard substraatgemeenschappen op de windturbine funderingen en hoe wordt het potentiële uitstralingseffect van soorten naar de omliggende zeebodem ingeschat?
4. Wordt het, op grond van de antwoorden op bovenstaande vragen, zinvol geacht een T10/T15 bemonstering van het hard- en/of zacht-substraat benthos uit te voeren?
5. Zo ja, wat zou de bemonsteringsstrategie moeten zijn en welke effecten zouden hiermee inzichtelijk gemaakt moeten kunnen worden?

## 3 Methoden

Voor een analyse van hard-substraat gemeenschap werd een literatuurstudie uitgevoerd terwijl voor de analyse van de zacht-substraat gemeenschap een power analyse uitgevoerd werd, waarbij gegevens van de reeks uitgevoerde monitoring in beide parken gebruikt werd. Het resultaat hiervan werd vervolgens bediscussieerd en in ecologisch perspectief gezet. Hiervoor werd een workshop gehouden met mensen met expertise op het gebied van Noordzee benthos.

### 3.1 Hard substraat

Door middel van een literatuurstudie werd voor de hard-substraat gemeenschap, die zich op de funderingen van de windturbines gevestigd heeft, bekeken in welke fase van ontwikkeling deze zich bevindt. De aangetroffen gemeenschappen op OWEZ en PAWP werden vergeleken met elkaar, maar ook met gemeenschappen aangetroffen op andere harde artificiële structuren die al wat langer bestaan, zoals de fundering van olie- en gasplatformen.

Daarnaast is in de literatuur gezocht naar aanwijzingen voor een verspreiding van soorten van de turbines naar de omliggende zeebodem. In dit geval dient het harde substraat van de windmolen als een invang- en opgroeisysteem voor soorten die hun weg kunnen vinden naar de omliggende zeebodem en zich daar in potentie verder kunnen ontwikkelen.

### 3.2 Zacht substraat

Als eerste stap werd een power analyse uitgevoerd om vast te stellen welke effectgroottes naar verwachting in een herhaalde bemonstering kunnen worden aangetoond. In een tweede stap werd door experts beoordeeld in hoeverre de effecten die zouden kunnen optreden, zodanig sterk zijn dat ze binnen de berekende detectiegrens vallen. Daarnaast werd een inschatting gegeven van overige mogelijke effecten die met een herhaalde meting zouden kunnen worden waargenomen. De verschillende stappen worden in deze paragraaf beschreven.

#### 3.2.1 Opwerking gegevens

Voor zowel PAWP als OWEZ werd éénmaal voorafgaand aan de bouw een bemonstering uitgevoerd en op twee tijdstippen enkele jaren na installatie, zie Tabel 1. Verschillende instituten zijn hierbij betrokken geweest. ECOAST heeft, in samenwerking met de Universiteit van Hull, de meting voorafgaand aan de bouw uitgevoerd, en heeft in 2003 beide parken bemonsterd. De vervolgmetingen van OWEZ heeft het NIOZ uitgevoerd terwijl de vervolgmetingen bij PAWP wederom door eCOAST zijn uitgevoerd. Bij iedere meting werd er zowel met een boxcorer als met een bodemschaaf monsters genomen. De boxcorer wordt gebruikt voor de bemonstering van het fijne benthos (soorten die groter zijn dan 1 mm) dat in de bodem leeft. De bodemschaaf is gebruikt voor de bemonstering van grotere soorten (>6-7 mm) die op en in de bovenste laag van het sediment leven. Voor details over de gebruikte onderzoekstuigen zie tabellen 3 en 4. Het aantal jaren dat de monitoring voorafgaand aan de bouw plaatsvond en het aantal jaren tussen de bemonsteringen na ingebruikname van het windpark verschilde tussen de parken, zie Tabel 1.

**Tabel 1.** Overzicht uitgevoerde zacht-substraat monitoring aan Prinses Amalia Windpark (PAWP) en Offshore Windpark Egmond aan Zee (OWEZ). Op ieder tijdstip zijn zowel micro- als macrobenthos monsters genomen en er is dus zowel met een boxcorer als met een bodemschaaf bemonsterd.

Park	Jaartal	Tijdstip	Uitvoerende instantie
OWEZ	2003	4 jaar voor inwerkstelling – T-4	University of Hull
	2007	paar maanden na inwerkstelling – T1	NIOZ
	2011	5 jaar na inwerkstelling – T5	NIOZ
PAWP	2003	6 jaar voor inwerkstelling – T-6	University of Hull
	2012	5 jaar na inwerkstelling – T5	eCOAST
	2013	6 jaar na inwerkstelling – T6	eCOAST

Voor elk genomen monster werd vastgesteld of het binnen het windpark (WP), aan de rand van het windpark (WP\_out) of in een van de referentiegebieden genomen werd. Voor OWEZ waren zes referentiegebieden (R1 t/m R6) gedefinieerd en voor PAWP was er een noordelijk georiënteerd referentiegebied (RefN) en een zuidelijk georiënteerd gebied (RefS).

Het aantal monsters dat binnen een gebied genomen werd, het gebruikte bemonsteringstuig en de trek lengte (en daarmee ook het bemonsterd oppervlak) was verschillend voor beide parken en varieerde in enkele gevallen ook tussen de verschillende bemonsteringstijdstippen, zie paragraaf 4.2. Om een vergelijking tussen de bemonsteringstijdstippen mogelijk te maken werden de aangetroffen individuen van ieder taxon omgerekend naar aantallen per vierkante meter.

Voor ieder taxon werd de in het World Register of Marine Species (WoRMS) geregistreerde geaccepteerde naam opgezocht door eerst de AphiaID (soortidentificatie code in WoRMS) op te zoeken en daarna de geaccepteerde fylogenetische informatie op te halen. Hiervoor werd gebruik gemaakt van de software R (R Development Core Team, 2016), het SSOAP pakket (Duncan Temple Lang, 2012) en functies beschikbaar gesteld door WoRMS. Om te corrigeren voor verschillen in taxonomische identificatie werden enkele veelvoorkomende taxa geaggregeerd tot een hoger taxonomische niveau, zie een overzicht in Bijlage 1.

### 3.2.2 Selectie van soorten

Een power analyse met soortdichtheidsgegevens kan alleen uitgevoerd worden als het aantal monsters waarin de soort afwezig is beperkt is om zodoende 'inflatie van nulwaarden' te voorkomen. Voor ieder taxon werd daarom het percentuele voorkomen (het percentage van de monsters waarin het taxon aanwezig is) berekend waarbij onderscheid gemaakt werd tussen beide windparken. Vervolgens werd alleen voor de taxa die in tenminste 75% of meer van de monsters aanwezig waren een power analyse uitgevoerd.

Uit deze analyses bleek dat voor het fijne benthos, bemonsterd met de boxcorer, slechts enkele taxa voldoende voorkwamen om een power analyse op soortendichtheidsdata uit te kunnen voeren. Daarom werd voor deze dataset een alternatieve power analyse uitgevoerd op basis van aan- / afwezigheid. Taxa met een hoge gevoeligheid voor visserij werden geselecteerd voor deze analyse.

De gevoeligheid van taxa voor visserij werd berekend op basis van een 'biological traits' aanpak. Hierin worden alle taxa beschreven in termen van hun vorm en functie. In dit geval wordt gebruik gemaakt van acht eigenschappen van soorten die de levenswijze, het gedrag en de morfologie beschrijven. De modaliteiten, categorieën binnen eigenschappen, werden door Bolam et al. (2014) geclassificeerd op relatieve gevoeligheid voor (ottertrawl)visserij. De relatieve score kon hierbij variëren van 1 (lage gevoeligheid voor visserij) tot 10 (hoge gevoeligheid). Door een opsplitsing van de acht eigenschappen is een onderverdeling in korte- en lange termijn gevoeligheid mogelijk, zie Tabel 2. De methodiek wordt uitgebreid beschreven in Bolam et al. (2014). Voor deze studie is een database gebruikt die binnen het EU project 'BENTHIS' is ontwikkeld, met als doel effecten van visserijdruk op het functioneren van het bentisch ecosysteem inzichtelijk te maken (Bolam and Eggleton, 2014). Deze database bevat informatie voor meer dan 850 taxa (op genus niveau) voor tien verschillende eigenschappen.

**Tabel 2.** Relatieve gevoeligheid voor trawlvissers van de acht biologische eigenschappen. Overgenomen en aangepast uit Bolam et al., 2014.

		relatieve gevoeligheid voor visserij				
		lage gevoeligheid		gemiddelde gevoeligheid		hoge gevoeligheid
	score	1-2	3-4	5-6	6-7	9-10
direct	<i>grootte (mm)</i>	≤10 11-20		21-100	101-200	>200
	<i>morfologie</i>	exoskelet hard/korstvormig	kussen- /mantelvorm		zacht	naaldvormig
	<i>leefgewoonte</i>	vrij levend in hol/onder steen	ondergegraven in sediment in buis in		op de bodem	vastgehecht aan substraat
	<i>sed. positie</i>	diep (>10 cm)	gemiddeld diep (5-10 cm)		ondiep (0-5 cm)	op de oppervlakte
	<i>mobilititeit</i>	zwemmend			ondergegraven	sessiel
lange termijn	<i>levensduur (jaren)</i>	<1 1-2			3-10	>10
	<i>locatie ontwikkeling larven</i>	planktonisch etend		afhankelijk van dooierzak		direct
	<i>locatie ontwikkeling eieren</i>	uitgescheiden in water aseksueel		vastgezet aan bodem		uitgebroed door volwassenen

Voor ieder genus en eigenschap werd de gevoeligheid volgens Bolam als volgt berekend;

- 1) omdat genus scores over het algemeen verspreid zijn over meerdere modaliteiten binnen een genus en deze zogenaamde 'fuzzy' scores binnen een eigenschap over het algemeen optellen tot een getal >1 is, werden deze scores in de eerste stap genormaliseerd (som=1),
- 2) deze waarden werden vervolgens vermenigvuldigd met de gevoeligheid voor visserij volgens Tabel 2,
- 3) de gevoeligheid scores per modaliteit (= classificaties binnen een eigenschap) werden vervolgens opgeteld om de totale gevoeligheid voor die specifieke eigenschap te verkrijgen,
- 4) de korte- en de lange termijn gevoeligheid, alsmede de totale gevoeligheid, werden berekend door de scores voor de betreffende eigenschappen op te tellen.

### 3.2.3 Power analyse

De monitoringsdata werden geanalyseerd om (1) een inschatting te kunnen maken van de variatie in de residuen (error variantie) en (2) te zien of er zich een statistisch significant effect (op 0.05 significantie niveau) van het windpark op de bodemdieren heeft voorgedaan. Om aan te sluiten bij BACI ontwerp (Before-After, Control-Impact) werd hiervoor een 'random intercept' model opgesteld waarbij toegestaan werd dat ieder gebied (windpark of een van de referentiegebieden) een eigen intercept waarde heeft ('random effect'). De 'fixed effects' bestonden uit tijd (bemonsteringstijdstip), windpark (windpark of referentie) en gebied (windpark en ieder individueel referentiegebied). Omdat de dichtheidsgegevens veelvuldig scheef verdeeld waren (veel lage waarden en enkele hoge), werden deze  $\log(x+0.1)$  getransformeerd alvorens het model toe te passen.

Het toegepaste model zag er als volgt uit:

$$\log N \sim \text{tijd} + \text{windpark} + \text{tijd:windpark} + (1|\text{gebied})$$

N                      dichtheid taxon (aantal / m<sup>2</sup>)

---

Tijd	bemonsteringstijdstip (T0, T1, T2)
Windpark	of taxon uit windpark of in een van de referentiegebieden bemonsterd werd
Gebied	uit welk gebied taxon bemonsterd werd (windpark of een van de referentiegebieden).

Een effect in een BACI ontwerp wordt verkregen zodra de veranderingen in dichtheid over de tijd (ontwikkeling) anders verlopen binnen het windpark dan daarbuiten (in de referentiegebieden). Er zijn meerdere verschillen in ontwikkeling mogelijk; de dichtheid van soorten neemt toe (dan wel af) in zowel het windpark als in de referentiegebieden maar in het windpark neemt ze sterker toe (dan wel af), in het windpark neemt de dichtheid toe (dan wel af) terwijl in de referentiegebieden de dichtheid juist afneemt (dan wel toeneemt). Voor de ontwikkeling is de interactieterm tijd:windpark van belang. Het effect van deze interactie op de verklarende kwaliteit van het model is getest tegen de nulhypothese (geen verschil in ontwikkeling) door middel van een aannemelijkheidsquotiënttoets (likelihood-ratio test).

De volgende aannamen werden gedaan:

- het random intercept over gebied volgt een normale verdeling;  $N(0, \sigma_{\text{gebied}})$ .
- de model residuen (afwijking op modelresultaten) volgen een normale verdeling;  $N(0, \sigma_{\text{error}})$

De nulhypothese voor de interactieterm is dat er geen verschil bestaat in de ontwikkeling binnen en buiten het windpark tussen iedere tijdstap. Dus:

$$H_0 = \mu_{T0-T1} = \mu_{T1-T2} = \mu_{T0-T2} = 0$$

Omdat het aantal jaren tussen de bemonsteringen verschillend was per windpark en ook dominantie van soorten verschillend was, is de analyse voor elk park afzonderlijk uitgevoerd. Power analyses zijn alleen uitgevoerd voor taxa die in minimaal 75% van de monsters voorkwamen. Er zijn poweranalyses uitgevoerd voor de significantieniveaus ( $\alpha$ ) van 80, 85, 90 en 95%, alle bij een power (kans dat  $H_0$  terecht verworpen wordt) van 80%.

De geformuleerde nulhypothese wordt dus verworpen, zodra voor een van de mogelijke combinaties van tijdstippen een verschil in temporele ontwikkeling binnen en buiten het windpark wordt gevonden waarvoor  $p < \alpha$ .

### 3.2.4 Workshop

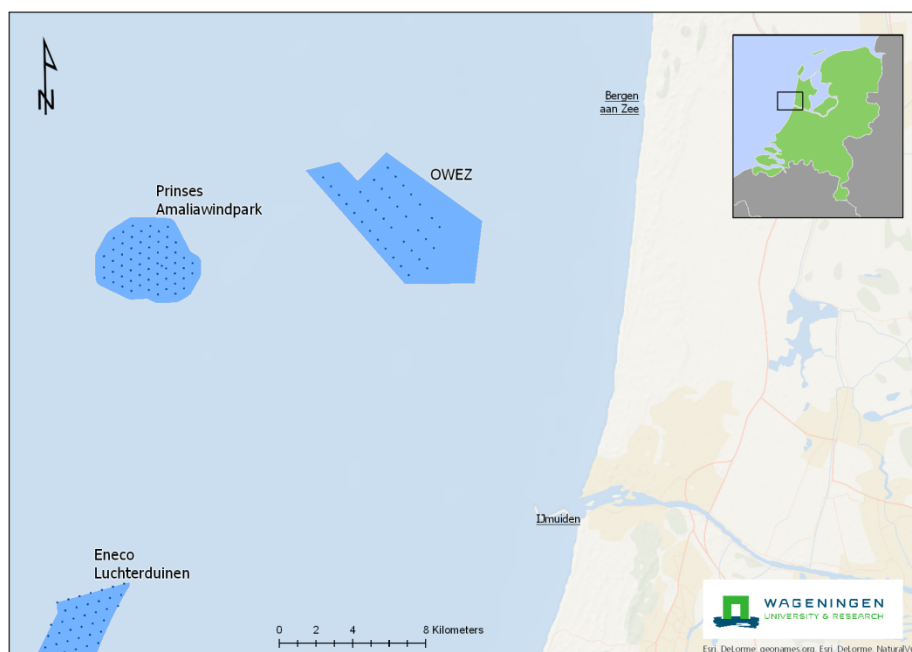
Een groep benthos experts heeft ingeschat of de detecteerbare effectgroottes zoals berekend in de power analyse voor de zacht-substraat soorten zich zouden kunnen voordoen >10 jaar na sluiting van de windparken voor visserij. Het resultaat van de power analyse werd hiervoor besproken tijdens een interne bijeenkomst met verschillende Noordzee-benthos experts werkzaam bij Wageningen Marine Research (WMR). Deze bijeenkomst werd gehouden op donderdag 22 september 2016 in IJmuiden. Het verslag van deze bijeenkomst is weergegeven in Bijlage 2.

## 4 Resultaten

In dit hoofdstuk komen de resultaten aan bod. In paragraaf 4.1 worden beide windparken beschreven (ligging, turbine eigenschappen etc.) waarna in de paragrafen 4.2 t/m 4.5 de resultaten beschreven staan van de power analyses die zijn uitgevoerd op dominante soorten van het zachte substraat. In paragraaf 4.6 wordt vervolgens ingegaan op de hard-substraat bemonsteringen die uitgevoerd zijn in beide parken, wordt de ontwikkeling van deze gemeenschappen over de tijd beschreven, en wordt een vergelijking gemaakt met soorten aanwezig op andere harde structuren.

### 4.1 Locatie en eigenschappen windparken

Zowel Prinses Amalia Windpark (PAWP) als Offshore Windpark Egmond aan Zee (OWEZ) liggen voor de kust van Egmond aan Zee, zie Figuur 4.1. Beide windparken staan op een zandige ondergrond en de turbines zijn met een zogenaamde 'monopile' (een enkele holle stalen heipaal) verankerd in de ondergrond. PAWP ligt wat verder van de kust (26.5 km) dan OWEZ (afstand tot de kust 13.7 km). Beide parken zijn gebouwd in een waterdiepte van ~20 meter. Het aantal turbines en de turbinedichtheid is in PAWP wat hoger (60 turbines met een turbinedichtheid van 2.4 turbines/km<sup>2</sup>) dan in OWEZ (36 turbines met een dichtheid van 0.8 turbines/km<sup>2</sup>). De turbines bij OWEZ zijn wat hoger (115 m boven het wateroppervlak t.o.v. 99 m in PAWP) en genereren per turbine meer energie (3 MW t.o.v. 2 MW in PAWP).

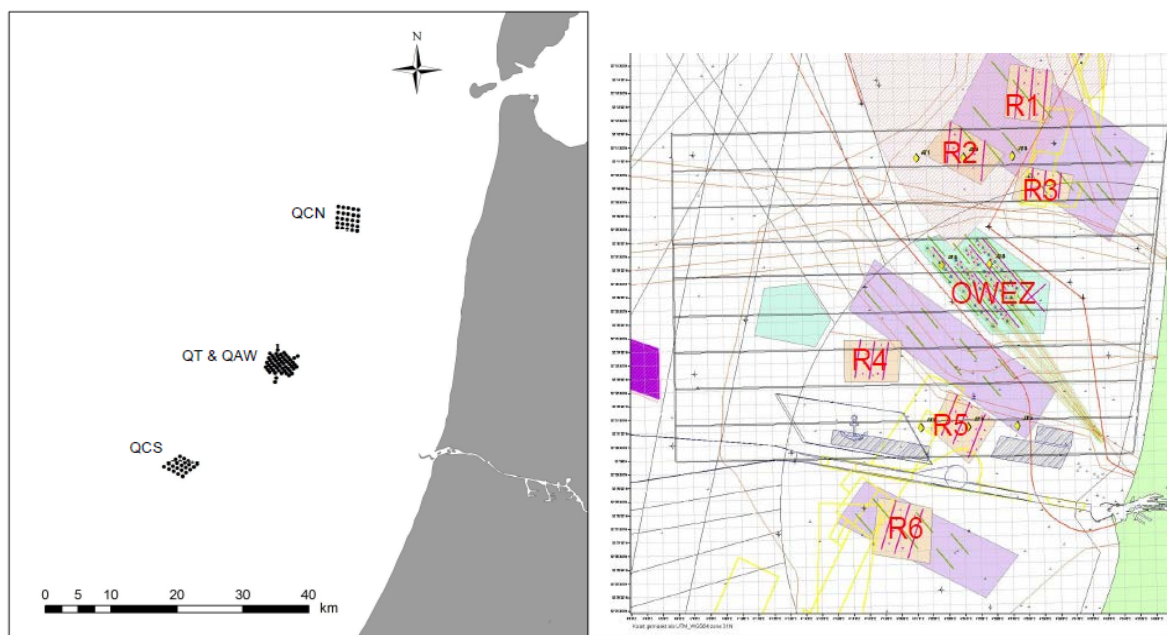


**Figuur 4.1.** Ligging Prinses Amalia Windpark (PAWP) en Offshore Windpark Egmond aan Zee (OWEZ).

### 4.2 Opzet zacht-substraat monitoring

In beide windparken is eenmaal voordat het windpark in gebruik genomen werd een benthosbemonstering uitgevoerd en tweemaal daarna, zie Tabel 3 en Tabel 4. Het aantal jaren tussen de bemonsteringstijdstippen verschilde per park; zo werd bij OWEZ 4 jaar voor inwerkingtreding de eerste monitoring uitgevoerd terwijl dit voor PAWP 6 jaar was. De T1 bemonstering bij OWEZ was

enkele maanden na inwerkingtreding uitgevoerd terwijl de eerstvolgende meting bij PAWP 5 jaar na inwerkingtreding uitgevoerd werd.



**Figuur 4.2.** Ligging referentiegebieden benthosbemonstering. Links Prinses Amalia Windpark en rechts Offshore Windpark Egmond aan Zee (OWEZ). Bron figuur PAWP Lock et al. 2014, bron figuur OWEZ Bergman et al., 2012.

Benthosbemonsteringen voor PAWP hebben altijd plaatsgevonden in het park, aan de rand van het park en in twee referentiegebieden. Een van deze referentiegebieden was ten noorden van het windpark ('QCN' in Figuur 4.2, 'referentiegebied noord' in dit rapport) en de ander ten zuiden ('QCS' in figuur 4.2 en 'referentiegebied zuid' in dit rapport). Het aantal boxcorer en bodemschaaf monsterpunten is niet veranderd, zie Tabel 3. Veranderingen in tuig en bemonsterd oppervlak waren minimaal, met de bodemschaaf werd een oppervlak van 100 m<sup>2</sup> bemonsterd en met de boxcorer een oppervlak van 0.0678 m<sup>2</sup> tijdens de T-6 bemonstering en 0.078 m<sup>2</sup> tijdens de T5 en T6 bemonstering.

**Tabel 3.** Frequentie boxcorer en bodemschaafbemonstering uitgevoerd in PAWP en aantal monsters die genomen werden in het windpark en elk van de referentiegebieden. Het windpark is sinds 2008 operationeel.

	#Ref	Boxcorer			Bodemschaaf		
		bemonsterd oppervlak	PAWP	Ref	tuig en bem. Opp.	PAWP	Ref
2003 (T-6)	2	0.0678 m <sup>2</sup>	47	25	100 m <sup>2</sup>	15	9
2012 (T5)	2	0.078 m <sup>2</sup>	47	25	100 m <sup>2</sup>	15	9
2013 (T6)	2	0.078 m <sup>2</sup>	47	25	100 m <sup>2</sup>	15	9

Benthosbemonsteringen voor OWEZ hebben altijd plaatsgevonden in het park, aan de rand van het park en in twee referentiegebieden. Deze referentiegebieden liggen ten noorden ('R1' in Figuur 4.2 en in dit rapport) en ten zuiden van het windpark ('R6' in Figuur 4.2 en in dit rapport). NIOZ besloot dat het nuttig was om, alvorens een vervolg meting uit te voeren, een power analyse uit te voeren met de tijdens de baselinestudie verzamelde gegevens, zodat de proefopzet mogelijkerwijs geoptimaliseerd kon worden. Uit deze analyse bleek dat een optimalisatie mogelijk was door het aantal referentiegebieden uit te breiden. Ten tijde van de T1 (tweede opname) bemonstering zijn daarom vier aanvullende referentiegebieden ingesteld. Twee daarvan liggen tussen het windpark en het noordelijk referentiepunt ('R3' en 'R4' in Figuur 4.2 en in dit rapport), de andere twee liggen tussen het windpark en het zuidelijke referentiepunt ('R4' en 'R5' in Figuur 4.2 en in dit rapport).

Het aantal boxcorer en bodemschaaf monsters varieerde tussen de verschillende monitormomenten. Tijdens de T-4 bemonstering lag de nadruk op de boxcorer en werden 30 punten in het windpark en

15 punten in elk van de referentiegebieden genomen terwijl tijdens de T5 bemonstering de nadruk op de bodemschaaf gelegd werd en er minder boxcorer monsters genomen werden, zie Tabel 4. Met name in de bemonstering met de bodemschaaf was er variatie in het bemonsterd oppervlak tussen verschillende bemonsteringen (100 m<sup>2</sup> tijdens de T-4 bemonstering, 16m<sup>2</sup> tijdens de T1 bemonstering en 20 m<sup>2</sup> tijdens de T5 bemonstering). Het oppervlak dat met de boxcorer bemonsterd was varieerde van 0.0678 m<sup>2</sup> tijdens de T-4 bemonstering en 0.078 m<sup>2</sup> tijdens de T1 en T5 bemonstering.

**Tabel 4.** Frequentie boxcorer en bodemschaafbemonstering uitgevoerd in OWEZ en aantal monsters die genomen werden in het windpark en elk van de referentiegebieden. Het windpark is sinds 2007 operationeel.

	#Ref	Boxcorer			Bodemschaaf		
		bemonsterd oppervlak	OWEZ	Referentie	bemonsterd oppervlak	OWEZ	Ref
2003 (T-4)	2	0.0678 m <sup>2</sup>	66	25	100m <sup>2</sup>	25	9
2007 (T1) <sup>1</sup>	6	0.078 m <sup>2</sup>	30	15	16m <sup>2</sup> (Triple-D)	14	2
2011 (T5)	6	0.078 m <sup>2</sup>	16	8	20m <sup>2</sup> (Triple-D)	14	6

<sup>1</sup> deze bemonstering werd een paar maanden nadat park operationeel werd uitgevoerd.

### 4.3 Dominante soorten zacht-substraat bemonstering

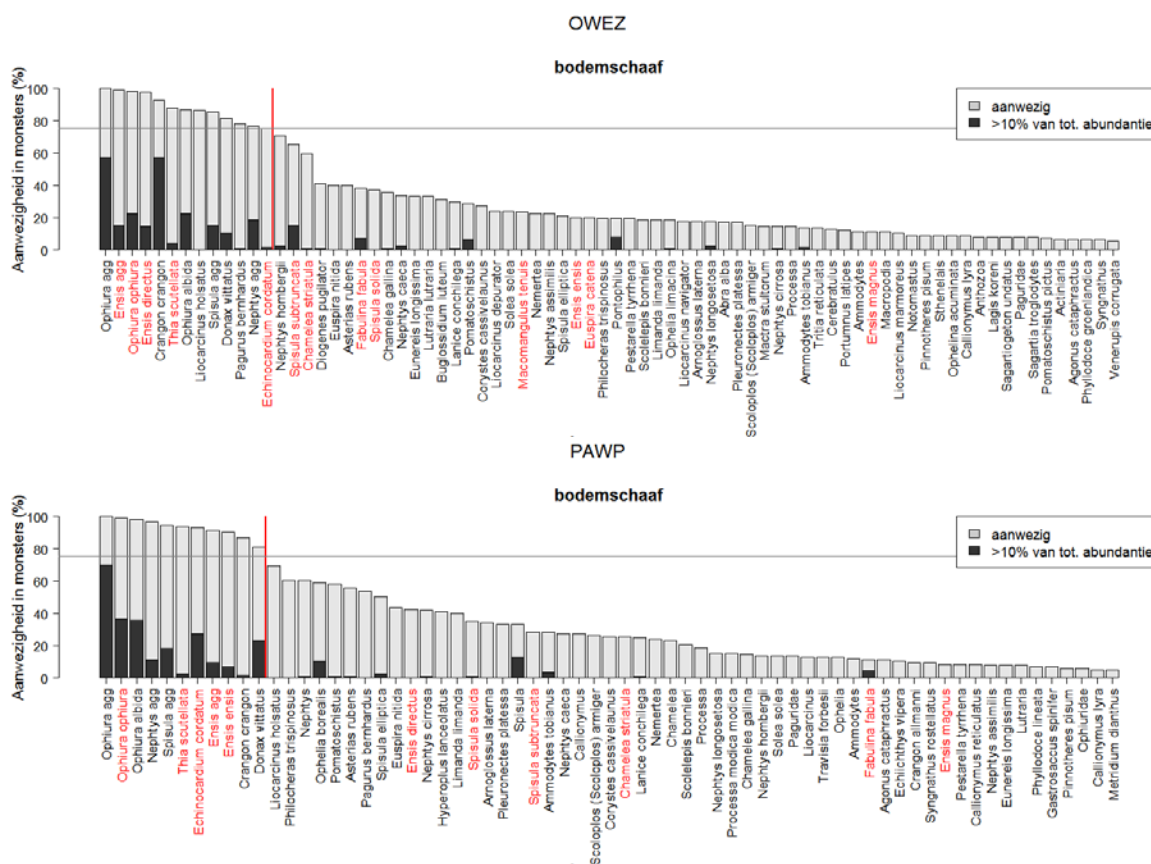
In Figuur 4.3 wordt de aanwezigheid per windpark weergegeven van alle taxa die in minimaal 5% van de bodemschaafmonsters voorkwamen. In Tabel 5 worden alleen de dominante taxa (>75% voorkomen) weergegeven voor beide parken. In OWEZ waren 13 taxa dominant aanwezig en in PAWP 11. Er is veel overeenkomst in dominant aanwezige taxa tussen beide parken. Zo kwamen in beide parken slangsterren (*Ophiura* sp.) in (nagenoeg) alle bodemschaafmonsters voor en deze soortgroep bepaalde bovendien in veel gevallen een groot deel van de totale dichtheid individuen, zie Tabel 5 en Figuur 4.3. Ook garnalen (*Crangon crangon*) werden veelvuldig aangetroffen in beide parken en bepaalden daarnaast in OWEZ vaak een groot deel van de totale dichtheid individuen. Daarnaast werden in beide parken veelvuldig het nagelkrabje (*Thia scutellata*), de weekdieren zwaardschede (*Ensis*), *Spisula* sp., en het zaagje (*Donax vittatus*) aangetroffen, evenals de zager (*Nephtys*) en de zeeklit (*Echinocardium cordatum*). De gewone zwemkrab (*Liocarcinus holsatus*) en de heremietkreeft (*Pagurus bernhardus*) waren alleen in OWEZ dominant aanwezig. Enkele van deze soorten werden ook door Bergman & van Santbrink (2000) beschouwd als gevoelig voor bodemberoerende visserij, zoals de slangster, zwaardschede, zeeklit en het nagelkrabje.



**Tabel 5.** Procentueel voorkomen van dominante taxa (>75% van de monsters aanwezig) voor OWEZ en PAWP.

OWEZ		PAWP	
Taxon	proc. voorkomen	Taxon	proc. voorkomen
<i>Ophiura aggregatie</i> <sup>1</sup>	100	<i>Ophiura aggregatie</i>	100
<i>Ensis aggregatie</i>	99	<i>Ophiura ophiura</i>	99
<i>Ophiura ophiura</i>	98	<i>Ophiura albida</i>	98
<i>Ensis directus</i>	98	<i>Nephtys aggregatie</i>	97
<i>Crangon crangon</i>	93	<i>Spisula aggregatie</i>	95
<i>Thia scutellata</i>	88	<i>Thia scutellata</i>	94
<i>Ophiura albida</i>	87	<i>Echinocardium cordatum</i>	93
<i>Liocarcinus holsatus</i>	86	<i>Ensis aggregatie</i>	91
<i>Spisula aggregatie</i>	85	<i>Ensis ensis</i>	91
<i>Donax vittatus</i>	81	<i>Crangon crangon</i>	87
<i>Pagurus bernhardus</i>	78	<i>Donax vittatus</i>	81
<i>Nephtys aggregatie</i>	77		
<i>Echinocardium cordatum</i>	75		

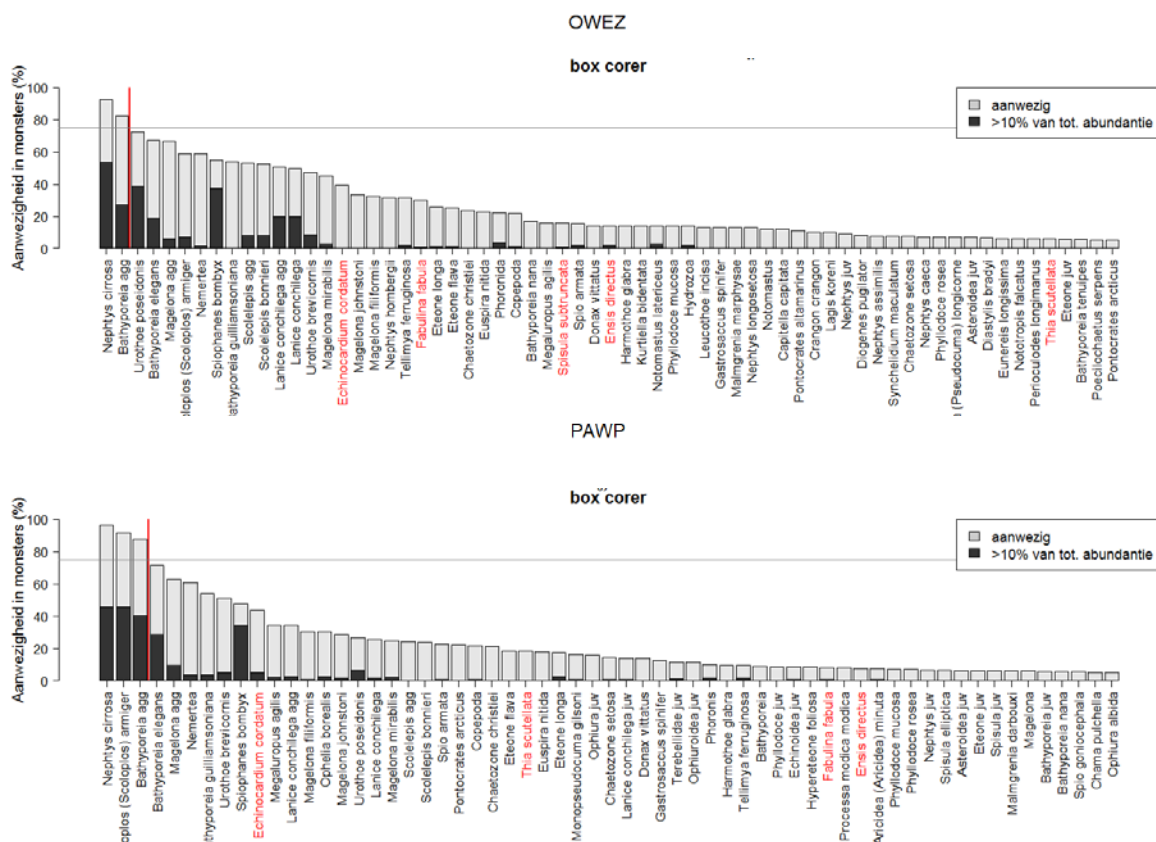
<sup>1</sup> Sommatie van verschillende soorten.



**Figuur 4.3.** Aanwezigheid van taxa in bodemschaafmonsters van OWEZ en PAWP bemonsteringen. Taxa zijn geordend op afnemende aanwezigheid van links naar rechts. De grijze horizontale lijn geeft een aanwezigheid van 75% weer. Links van de verticaal rode lijn zijn taxa weergegeven die aan het selectie criterium voldoen van aanwezigheid in minimaal 75% van de monsters. Taxa die in het rood afgedrukt zijn lieten een hoge mortaliteit zien na bodembevisning volgens Bergman & Santbrink 2000.

In Figuur 4.4 wordt de aanwezigheid per windpark weergegeven van alle taxa die in minimaal 5% van de boxcorer monsters voorkwamen. Voor beide parken voldeden slechts twee taxa aan het

selectiecriteria (het taxon moet voorkomen in tenminste 75% van de genomen monsters) vereist om een zinvolle power analyse uit te kunnen voeren. Voor OWEZ voldeed alleen *Nephtys cirrosa* (borstelworm) en aggregatie van verschillende *Bathyporeia* (vlokreeft) soorten en voor PAWP alleen *Nephtys cirrosa* en *Scoloplos armiger* (beide borstelwormen).



**Figuur 4.4.** Aanwezigheid van taxa in boxcorermonsters van OWEZ en PAWP bemonsteringen. Taxa zijn geordend op afnemende aanwezigheid van links naar rechts. De grijze horizontale lijn geeft een aanwezigheid van 75% weer. Links van de verticaal rode lijn zijn taxa weergegeven die aan het selectiecriteria voldoen van aanwezigheid in minimaal 75% van de monsters. Taxa die in het rood afgedrukt zijn lieten een hoge mortaliteit zien na bodembevisning volgens Bergman & Santbrink 2000.

Naast de power analyse, is ook een selectie gemaakt van taxa op basis van gevoeligheid voor visserij. Hierbij zou alleen een power analyse op de meest gevoelige taxa uitgevoerd hoeven te worden. Gevoeligheid voor visserij is berekend volgens een methode beschreven in Bolam et al. (2014). De berekende gevoeligheid voor visserij per taxon volgens deze methodiek is weergegeven in Tabel 6. Voor veruit de meeste taxa was het voorkomen zeer laag, tot (enkele) procenten. Alleen *Phoronida* kwam in OWEZ in 22% van de monsters voor en vier andere taxa hadden een voorkomen tussen de 10 en 14%. Door het zeer lage voorkomen van de voor visserij gevoelig geachte taxa was ook een power analyse op basis van aan- / afwezigheid niet zinvol.

**Tabel 6.** Bolam et al. (2014) - gevoeligheidscore voor bodemberoerende visserij en procentueel voorkomen van de taxa in boxcorer monsters voor de windparken OWEZ en PAWP. In deze tabel zijn de top 5% korte- en top 5% lange termijn gevoelige soorten opgenomen. De maximale gevoeligheid is 72.

Phylum	Species	Gevoeligheid visserij (Bolam)			OWEZ Proc. voorkomen	PAWP Proc. voorkomen
		Totaal	direct	lange termijn		
Cnidaria	<i>Anthozoa</i>	52	39	13	4.2	0.7
Cnidaria	<i>Tubularia indivisa</i>	52	40	12	0.3	0.7
Annelida	<i>Lumbrineris latreilli</i>	52	29	23	0.3	0.0
Annelida	<i>Nereididae</i>	49	29	20	0.0	0.3
Annelida	<i>Paraonidae</i>	49	27	22	0.3	0.0

Phylum	Species	Gevoeligheid visserij (Bolam)			OWEZ Proc. voorkomen	PAWP Proc. voorkomen
		Totaal	direct	lange termijn		
Nemertea	<i>Cerebratulus</i>	49	30	19	0.3	1.0
Nemertea	<i>Cerebratulus roseus</i>	49	30	19	0.3	0.0
Annelida	<i>Parexogone hebes</i>	48	29	19	0.0	4.2
Mollusca	<i>Tritia reticulata</i>	47	24	23	0.7	0.0
Arthropoda	<i>Ione thoracica</i>	46	27	19	0.3	0.0
Phoronida	<i>Phoronida</i>	46	35	11	22.2	0.0
Annelida	<i>Capitellidae</i>	45	33	13	0.0	0.3
Annelida	<i>Streptosyllis websteri</i>	44	25	19	1.3	1.9
Annelida	<i>Aricidea</i>	43	24	19	0.0	2.6
Annelida	<i>Aricidea (Aricidea) minuta</i>	43	24	19	2.0	7.4
Annelida	<i>Aricidea (Aricidea) wassi</i>	43	24	19	0.0	2.9
Annelida	<i>Aricidea (Strelzovia) roberti</i>	43	24	19	0.0	0.3
Annelida	<i>Phyllodoce agg</i>	43	32	11		
Annelida	<i>Phyllodoce groenlandica</i>	43	32	11	2.3	1.6
Annelida	<i>Phyllodoce juv</i>	43	32	11	3.9	8.7
Annelida	<i>Phyllodoce lineata</i>	43	32	11	1.3	1.9
Annelida	<i>Phyllodoce mucosa</i>	43	32	11	13.7	7.1
Annelida	<i>Phyllodoce rosea</i>	43	32	11	7.2	7.1
Phoronida	<i>Phoronis</i>	39	36	3	3.3	10.0
Phoronida	<i>Phoronis agg</i>	39	36	3		
Phoronida	<i>Phoronis muelleri</i>	39	36	3	0.0	1.6
Annelida	<i>Notomastus</i>	36	33	3	12.1	0.0
Annelida	<i>Notomastus agg</i>	36	33	3		
Annelida	<i>Notomastus latericeus</i>	36	33	3	14.0	0.0

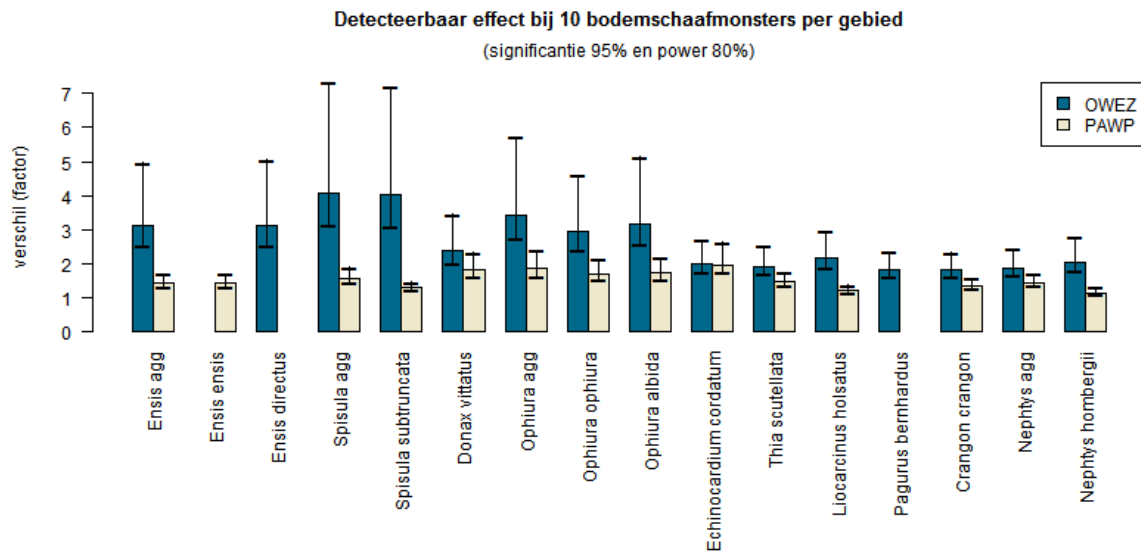
## 4.4 Effectgrootte en aantal monsters zacht substraat

Het aantal bodemschaafmonsters dat genomen werd, varieerde voor de OWEZ monitoring per gebied en per bemonsteringstijdstip. In de referentiegebieden werden tijdens de T-4 opname 9, tijdens de T1 opname 2 en tijdens de T5 opname 9 monsters genomen, terwijl in het windpark 25 (T-4), 14 (T1) en 14 (T5) monsters genomen werden. Het aantal monsters genomen in PAWP windpark met de bodemschaaf was gelijk voor de verschillende bemonsteringstijdstippen. Hierbij werden in ieder van de referentiegebieden 9 monsters genomen en in het windpark 15.

De minimale effectgrootte die per dominant taxon (aanwezig in >75% van de monsters) benodigd is om detectie met een power van 80% en een significantieniveau van 95% mogelijk te maken, wordt weergegeven in Figuur 4.5 voor beide parken. Een effectgrootte van twee houdt in dat de verandering in dichtheid (aantal per m<sup>2</sup>) waarin een taxon aanwezig is (dus aanwezigheid op het laatste tijdstip ten opzichte van eerste tijdstip), binnen het windpark een factor twee hoger of lager is dan in de referentiegebieden. Dit kan zich bijvoorbeeld voordoen wanneer de gemiddelde dichtheid van soort X in de referentiegebieden gelijk blijft tussen twee bemonsteringstijdstippen terwijl deze verdubbelt in het windpark. In Bijlage 2 zijn meer uitgebreide resultaten per elk van de onderzochte taxa opgenomen. Voor ieder taxon is het aantal monsters vermeld dat nodig is voor de detectie van een verschil variërend van een factor 1.1 tot 20, bij een significantieniveau van 80, 85, 90 en 95% en een power van 80%.

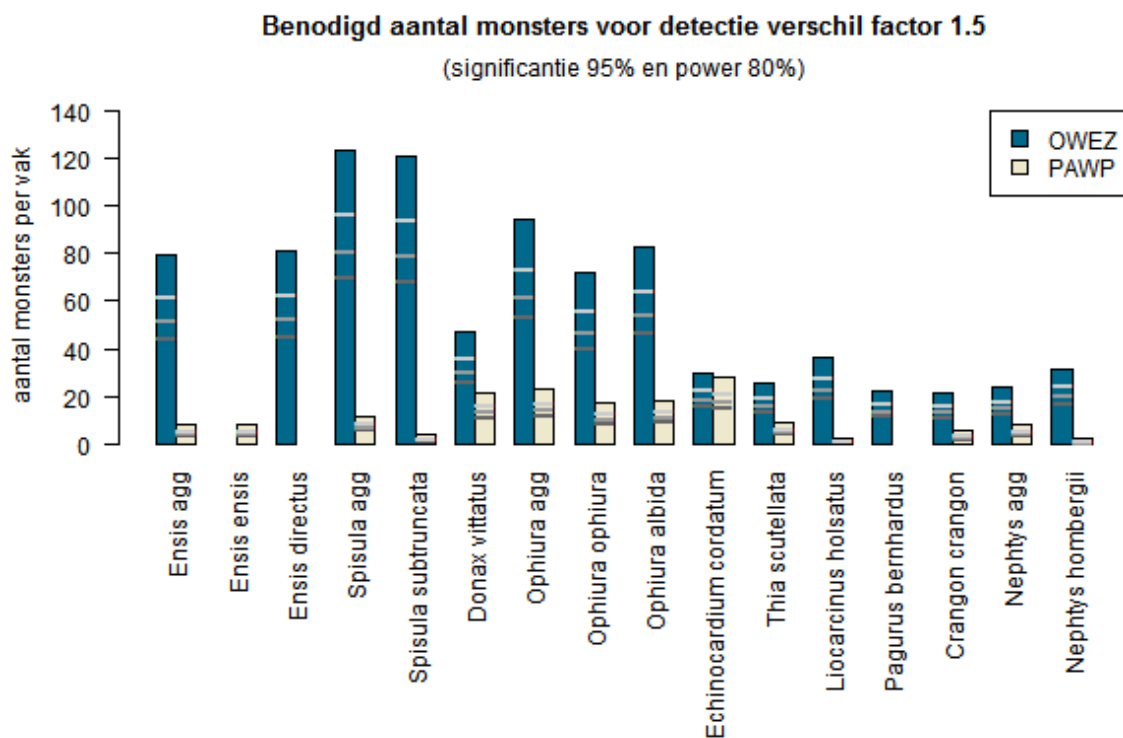
Opvallend is de relatief hoge waarde voor de benodigde effectgrootte van de onderzochte taxa bemonsterd in OWEZ, zie Figuur 4.5. Voor OWEZ is deze waarde gemiddeld over de onderzochte taxa

2.7 ( $\pm 0.8$  sd) terwijl deze voor PAWP op 1.5 ( $\pm 0.2$  sd) ligt. Vooral in OWEZ treden er relatief grote verschillen op tussen de taxa. Voor strandschelpen (*Spisula aggregata* en *Spisula subtruncata*) bemonsterd in OWEZ liggen waarden voor de benodigde effectgrootte het hoogst van alle onderzochte taxa. Wanneer in dit park (en in de referentiegebieden) 10 monsters genomen worden, kan alleen een verschil van tenminste een factor 4 met voldoende power aangetoond worden. Het benodigde verschil neemt snel toe, wanneer minder monsters genomen worden. Zo is al een effectgrootte van een factor van ongeveer 7 benodigd om betrouwbare uitspraken te kunnen doen wanneer niet 10 maar 5 bodemonsters per gebied genomen worden. Hiernaast zijn ook hoge waarden voor benodigde effectgrootte berekend in OWEZ voor zwaardschede (*Ensis*) en slangsterren (*Ophiura*). Voor de zeeklit (*Echinocardium cordatum*) liggen waarden voor beide parken ongeveer gelijk; ongeveer een factor 2.

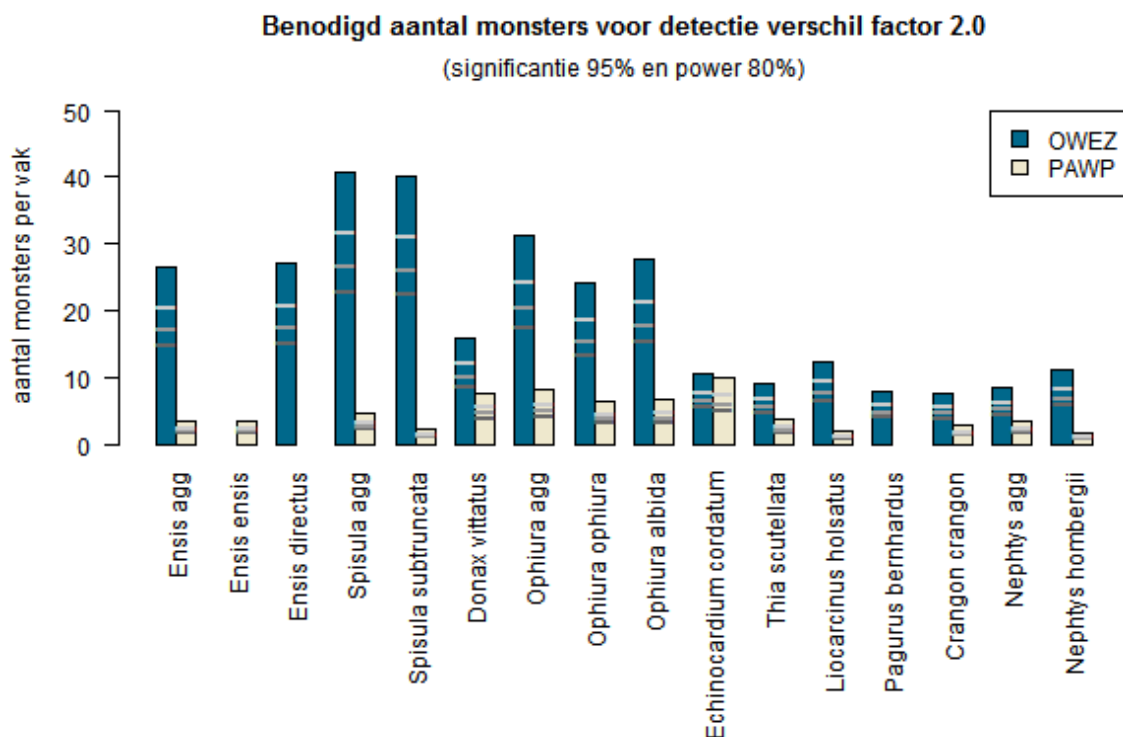


**Figuur 4.5.** Detecteerbaar verschil (als factor) voor veel voorkomende taxa in OWEZ en PAWP bij het nemen van tien bodemschaafmonsters in het windpark en 10 in de referentiegebieden, een power van 80% en een significantieniveau van 95%. De barhoogte geeft de situatie weer bij 10 bodemschaafmonsters, de onderste horizontale lijn geeft de effectgrootte bij het nemen van 15 bodemschaafmonsters en de bovenste horizontale lijn bij het nemen van 5 bodemschaafmonsters.

Om een verschil van een factor 1.5 aan te kunnen tonen voor de dominant aanwezige soorten, moeten voor PAWP per 'behandeling' (in windpark en alle referentiegebieden samen) 28 bodemschaafmonsters genomen worden (gebaseerd op de zeeklit, *Echinocardium cordatum*) en voor OWEZ 123 bodemschaafmonsters (gebaseerd op strandschelp aggregaties, *Spisula* agg.), zie Figuur 4.6. Het benodigde monsteraantal neemt snel af, wanneer een hogere waarde voor het te detecteren verschil toegestaan wordt. Bij een effectgrootte van een factor 2 daalt het benodigde monsteraantal voor PAWP van 28 naar 10 monsters en voor OWEZ van 123 naar 41, zie Figuur 4.7. Ook een verlaging van het significantieniveau zorgt ervoor dat er theoretisch minder monsters genomen hoeven te worden bij een gelijkblijvende power (80%). Zo neemt het benodigde aantal monsters af voor *Spisula* agg. van 123 bij een significantieniveau (sn) van 95% naar 97 (sn 90%), naar 81 (sn 85%) en verder af naar 70 bij een significantieniveau van 80%, zie Figuur 4.6.



**Figuur 4.6.** Aantal benodigde monsters dat nodig is om te nemen in het windpark en in de referentiegebieden om een verschil van een factor 1.5 aan te tonen bij een power van 80% en significantieniveau van 95% voor dominant voorkomende taxa (>75% van de monsters) en voor zowel OWEZ als PAWP windpark. Met de verticalen grijze lijnen wordt het aantal monsters weergegeven dat nodig is om een verschil van een factor 1.5 aan te tonen bij een power van 80% en significantieniveau van 80 (lichtgrijs), 85 (grijs) en 90% (donkergrijs).



**Figuur 4.7.** Aantal benodigde monsters dat nodig is om te nemen in het windpark en in de referentiegebieden om een verschil van een factor 2.0 aan te tonen bij een power van 80% en significantieniveau van 95% voor dominant voorkomende taxa (>75% van de monsters) en voor zowel OWEZ als PAWP windpark. Met de verticalen grijze lijnen wordt het aantal monsters weergegeven dat nodig is om een verschil van een factor 2.0 aan te tonen bij een power van 80% en significantieniveau van 80 (lichtgrijs), 85 (grijs) en 90% (donkergrijs).

## 4.5 Resultaat discussie workshop

Op donderdag 22 september 2016 is er op het Wageningen Marine Research (WMR) kantoor in IJmuiden een interne workshop gehouden met experts op het gebied van benthos en vis om de resultaten van de power analyses te bediscussiëren. Hierbij waren aanwezig: Han Lindeboom, Oscar Bos, Ralf van Hal, Johan Craeymeersch, Robbert Jak, Tobias van Kooten en Sander Glorius. Het doel van deze bijeenkomst was om de berekende detecteerbare effectgrootte in ecologisch perspectief te zetten. De vraag werd voorgelegd of de aanwezigen van mening waren dat de detecteerbare effectgrootte daadwerkelijk zouden kunnen optreden op de wat langere termijn, zoals wanneer bemonsterd zou worden 10 dan wel 15 jaar na ingebruikname van de windparken. De belangrijkste conclusies van de workshop worden in dit hoofdstuk puntsgewijs weergegeven. Het programma, de resultaten van de power analyses per taxon en een verslag van de bespreking daarvan kan gevonden worden in Bijlage 2.

### 4.5.1 Verandering door aanwezigheid windpark

Als eerste is besproken wat er verandert bij het instellen van een offshore windpark en wat dit betekent voor de aanwezige hard- en zacht substraat (bodem)dieren. Hierover werd geconcludeerd dat:

- De grootste verandering, en daarmee het meest directe effect van de aanwezigheid van windturbines op zee, is de introductie van hard substraat en de geassocieerde fauna. Dicht bij de fundering van windturbines kunnen stromingspatronen bijdragen aan een veranderde sediment- en fauna-samenstelling. Het is de verwachting dat dit een uitstralingseffect heeft op het zacht substraat. Dit effect beperkt zich tot nog toe tot een afstand van enkele tientallen meters van de turbine, maar dit zou op de langere termijn kunnen groeien.

Het belangrijkste verwachte effect op zacht substraat is dat van de uitsluiting van bodemberoerende visserij binnen het windpark.

### 4.5.2 Bemonsteringsopzet en randvoorwaarden

Wat betreft de bemonsteringsopzet, uitvoering van de (uitgevoerde) windpark monitoring en de randvoorwaarden werd het volgende geconcludeerd:

De uitvoering van de statistische analyses analoog aan een BACI wordt bemoeilijkt doordat (1) er verschillen bestaan in bemonsteringstuigen (Triple-D en niet nadere gedefinieerde bodemschaaf), (2) er slechts één meting beschikbaar was voorafgaand aan plaatsing van het park, wat deze meting onevenredig zwaar mee laat tellen voor het eindresultaat en (3) er sprake is van grote natuurlijke variatie in de bodemdiergemeenschap, wat de detectiekracht om verschillen aan te tonen beperkt.

- De visserij is de afgelopen jaren onderhevig geweest aan grote veranderingen; er hebben zich veranderingen in tuigtype voorgedaan (van boomkor naar puls-wing) en de visserijinspanning is veranderd, ook in de referentiegebieden. Met de toetsing van effecten op het bodemleven en interpretatie van gegevens dient hiermee rekening gehouden te worden.
- Het onderzoeksgebied is voorafgaand aan de bouw van de windparken lange tijd bevestigd geweest, waardoor de meest gevoelige soorten naar verwachting reeds geheel verdwenen waren. Dit bemoeilijkt de analyse (vanwege een hoog aantal 'nullen' in de initiële meting). Tevens vertraagt dit mogelijk de terugkeer (en dus het optreden van effecten), omdat larven in de nabije (bevestigde)omgeving niet worden geproduceerd.

#### 4.5.3 Bespreking resultaat power analyse

Wat betreft de power analyse werd geconcludeerd dat:

- Voor de 'enigszins gevoelige' soorten, onder diegenen waarvoor een power analyse mogelijk bleek, een effectgrootte van een factor 2 realistisch is.  
In Tabel 7 wordt voor elk taxon waarvoor een power analyse uitgevoerd werd kort samengevat wat de verwachting in ontwikkeling is bij een langdurige afsluiting voor bodemberoerende visserij. Voor een meer uitgebreide weergaven van wat per soort besproken werd wordt verwezen naar Bijlage 2.

**Tabel 7.** Beoordeling van de te verwachte verwanderingen van doorberekende taxa door de aanwezigen bij de workshop.

Stam	Taxon	Verwachting ontwikkeling <sup>1</sup>	Argumentatie	Opmerkingen
Geleedpotige (Arthropoda)	<i>Crangon crangon</i>	onbekend	Dataset ongeschikt door tuigverschillen & onbekende bemonsteringsefficiëntie tuig	Bevissing met garnalen tuig kan meer inzicht verschaffen
	<i>Thia scutellata</i>	niet besproken		
	<i>Liocarcinus holsatus</i>	onafhankelijk van windpark (visserij)	Wordt veel aangetroffen in zwaar beviste gebieden	
	<i>Pagurus bernhardus</i>	niet besproken		
Ringwormen (Annelida)	<i>Nephtys agg</i>	onbekend	Bemonsteringsefficiëntie tuig onbekend	
	<i>Nephtys hombergii</i>	onbekend	Bemonsteringsefficiëntie tuig onbekend	
Stekelhuidige (Echinodermata)	<i>Ophiura agg &amp; Ophiura ophiura &amp; Ophiura albida</i>	onafhankelijk van windpark (visserij)	Weliswaar hoge directe sterfte, maar gecompenseerd door een hoge recruitment	Zeer algemeen voorkomend, grote variatie, algemeen dalende trend in Noordzee
	<i>Echinocardium cordatum</i>	gelijk of afnemend	Hoge recruitment en daarom minder gevoelig voor visserij. Visserij begunstigt habitat (omwoelen bodem)	
Weekdieren (Mollusca)	<i>Ensis agg &amp; Ensis directus &amp; Ensis ensis</i>	onbekend	Dataset ongeschikt door tuigverschillen	Bestand het laagst sinds 2009; al twee jaar geen noemenswaardige broedval waargenomen
	<i>Spisula agg &amp; Spisula subtruncata</i>	toename	invloed tuigverschillen (TO-OWEZ) onbekend	Advies om ontwikkeling in perspectief te zetten met grootschalige ruimtelijke ontwikkelingen (WOT) en verschuiving in ondersoorten
	<i>Donax vittatus</i>	onbekend	grote ruimtelijke variatie in voorkomen	Advies om ontwikkeling in perspectief te zetten met grootschalige ruimtelijke ontwikkelingen (WOT)

<sup>1</sup> De verwachting van de veranderingen die de deelnemers hebben uitgesproken zijn gebaseerd op een inschatting van de gevoeligheid voor visserij. Bij gevoeligheid voor visserij kan een toename in het windpark verwacht worden, mits deze gevrijwaard blijven van (bodem beroerende) visserij.

- Voor de poweranalyse zijn alleen de meest voorkomende taxa geselecteerd, omdat alleen voor deze taxa een betrouwbare power analyse kan worden uitgevoerd. Deze selectie dekt echter maar voor een beperkt deel de soorten waarvoor effecten zijn te verwachten: soorten die vanwege de langdurige bevissingsgeschiedenis buiten de windparken niet voorkomen. Juist soorten die in de initiële meting (voorafgaand aan de plaatsing van de windturbines) veel voorkomen, zijn logischerwijs bestand tegen een hoge visserijdruk. Andersom, soorten die gevoelig zijn voor visserij en zich mogelijk herstellen, zullen zich waarschijnlijk niet op korte termijn en in hoge dichtheden manifesteren. Het is daarom belangrijk de bemonstering te richten op het kunnen detecteren van verandering van 'afwezig' naar 'aanwezig maar zeldzaam'. Hiervoor is niet alleen een langere termijn-monitoring nodig, maar bij voorkeur ook een zeer grondige initiële meting voorafgaand aan plaatsing van het park, bestaande uit meerdere tijdspunten.
- Het vaststellen (en de selectie) van soortspecifieke gevoeligheid voor visserij volgens de 'biological traits' methodiek is een zinvolle benadering. De toepassing van de gevoeligheidsscore van Bolam et al. (2014) werkt echter niet goed voor de Nederlandse situatie. Bolam's gevoeligheid gaat uit van verstoring door ottertrawl visserij, maar op het NCP is boomkorvisserij relevanter. De eigenschappen die een soort gevoelig maken, verschillen tussen deze twee typen visserij. Het is wel mogelijk op basis van de Bolam trait database (waarover Wageningen Marine Research beschikt) een gevoeligheidsscore voor boomkorvisserij te ontwikkelen. Dit wordt gezien als een veelbelovende manier om na eventuele herhaalde bemonstering, de gegevens te analyseren.

#### 4.5.4 Onderzoek in het buitenland

Wat betreft ontwikkelingen in aanleg windparken en onderzoek uitgevoerd in ons omringende landen werd geconcludeerd dat:

Nieuw geplande windparken liggen dieper en verder van de kust. De turbines worden groter, wat waarschijnlijk zal leiden tot een lagere turbinedichtheid. Monopile funderingen worden vaker toegepast dan alternatieven zoals driepoten of op zwaartekracht gebaseerde funderingen.

- Uit effectstudies uitgevoerd in Denemarken, België, Duitsland en UK blijkt dat in alle gevallen voor een BACI opzet gekozen is en dat geen overtuigende effecten gedetecteerd zijn op de fauna van het zachte substraat en op enige afstand (>100m) van de windturbine funderingen. Het valt hierbij op dat (1) het aantal monsters en/of bemonsterd oppervlak vaak erg beperkt is, (2) bemonsteringsmethodieken verschillend zijn (Hamon, verschillende typen Van Veen hoppers, bemonsteringen door duikers en verschillende type bodemschaven), (3) in sommige gevallen er nooit een follow-up bemonstering plaats heeft gevonden, (4) de monitoringsperiode vaak te kort is (5) geen standaard statistische analyse toegepast wordt en (6) dat autonome trends van soorten niet meegenomen worden in de analyse.

#### 4.5.5 Advies voor vervolg onderzoek zacht substraat

Naast de bespreking van de uitgevoerde monitoractiviteiten en de detecteerbare effectgrootte werd gesproken over toekomstige bemonstering(en). Hierbij werd ingegaan op algemene ontwikkelingen waarmee rekeningen gehouden dient te worden en werden ideeën geopperd voor de uitvoering en opzet van een eventuele vervolg bemonstering van de zacht-substraat benthos.

- Zet het zacht substraat bodemdieronderzoek zo op dat inzicht verkregen kan worden in het effect van bodemberoerende visserij.  
*Effecten van bodemberoerende visserij vormen het belangrijkste verschil tussen het gebied binnen het windpark en de omgeving daarbuiten. Effecten van de windturbines (funderingen) op de zacht substraat bodemdiergemeenschap worden uitsluitend op zeer lokale schaal verwacht.*
- Maak visserijdruk leidend in de keuze voor de referentiegebieden en de locatie van monsters daarin.  
*Maximaliseer de gradiënt in visserijdruk tussen het windpark en de referentiegebieden.*



- Bereken de daadwerkelijke bevissingsgeschiedenis van individuele monsters in de bestaande data (referentiemonsters en T0 in het park).  
*De mate van bevissing kan lokaal erg verschillen. Daardoor hebben monsters uit referentiegebieden (en de T0) mogelijk een zeer verschillende bevissingsgeschiedenis.*
- Maak een selectie van gevoelige soorten, bij voorkeur in de vorm van een gevoeligheidsschaal op basis van biological traits, analoog aan Bolam et al. (2014), maar voor de relevante vistuigen. Pas daar dan de bemonsteringstechniek op aan. De bodemschaaf en mogelijk video (zie hieronder) zijn hier het meest geschikt voor.  
*Maximaliseer de detectiekracht gericht op te verwachten dichtheids-effecten (van 'afwezig' naar 'zeldzaam') en effecten in populatiesamenstelling (meer grotere/oudere individuen).*

In Tabel 8 wordt een aantal soorten/parameters weergegeven, waarbij door de deelnemers van de workshop met name verschuivingen verwacht worden in het windmolenpark als gevolg van de afwezigheid van visserij.

**Tabel 8.** Soorten, soortgroepen en parameters waarvan het de verwachting is dat deze veranderen als gevolg van uitsluiting van visserij in windparken.

Richting verschuiving	Soort/parameter	Argumentatie
Toename	<i>Chamelea sp</i> (Venusschelpen)	Neemt in de meeste kustgebieden toe vanaf het moment dat de visserijdruk afnam
	<i>Spisula sp</i> (Strandschelpen)	Soort onderhevig aan een hoge visserijdruk
	(slib)anemonen	Worden veelvuldig aangetroffen in gebieden waar weinig tot niet gevestigd wordt (scheepswrakken, borkumse stenen)
	Lengteverdeling / ouderdom schelpdieren	Verwachting is dat bij afwezigheid van visserij soorten ouder en groter kunnen worden
	Biodiversiteit	Door herstel van soorten zal biodiversiteit binnen een windpark toenemen.
	Epifauna	Door een onberoerd oppervlak krijgen soorten die boven het sediment uitsteken (bv. anemonen, mosselen, oesters) de kans zich te ontwikkelen
mogelijke afname	<i>Liocarcinus holsatus</i> / <i>Thia scutellata</i> (nagelkrab / zwemkrab)	Predatoren die profijt hebben van omwoeling door bodemvisserij. Soorten worden veelvuldig aangetroffen in beviste gebieden.
	<i>Echinocardium cordatum</i> (Zeeklit)	Bodemvisserij maakt bodem losser wat mogelijk het habitat voor de zeeklit verbetert.

- Probeer in de analyse ook alternatieven voor de BACI aanpak (zoals bijv. in Bergman et al. 2015).  
*BACI levert door verschillen in gebruikte monstertuigen, door aanwezigheid van slechts één T0 meting en hoge variabiliteit in de bodemdiergemeenschap een lage detectiekracht op.*
- Onderzoek, door middel van pilotexperimenten, de meerwaarde van alternatieve bemonsteringsmethoden zoals sonar en onderwatervideo.  
*De verwachting is dat de dichtheid van soorten die zich mogelijk herstellen / vestigen in het zachte substraat binnen windparken laag is, en daardoor slechts met grote inspanning te bemonsteren is met een boxcorer. De bodemschaaf is hier wel geschikt voor, maar die bemonstert maar een beperkt deel van de fauna waarbij effecten worden verwacht (infauna). Met een gesleepte onderwatercamera kan mogelijk de aanwezigheid van *Callianassa* en schelpkokerwormvelden (*Lanice conchilega*), en de vestiging van (slib)anemonen en hydrozoa gedetecteerd worden. Ook kan een algemene indruk van de bodemgesteldheid ('intactheid') verkregen worden. Met sonar kan aanwezigheid en verspreiding van structuurvormende organismen worden onderzocht, waarbij video kan worden ingezet voor 'ground truthing' en soortsinformatie.*

- Neem monsters om sedimentsamenstelling te meten. Gebruik een SPI-cam ('sediment profile imager'<sup>1</sup>) om verschillen in sediment opbouw binnen de parken en op referentielocaties te onderzoeken.  
*Het is mogelijk dat langdurige bodemvisserij de sedimentsamenstelling doet veranderen (toename van zandfractie wegens uitspoeling van slib). Het zou kunnen dat terugkeer van bepaalde soorten afhangt van herstel van het sediment. Daarom is het belangrijk (verandering hierin) te meten.*
- Koppel gegevens verzameld binnen het windmolenpark aan lange termijn series (met name de schelpdiersurvey uitgevoerd door WMR als onderdeel van de wettelijke onderzoekstaken).  
*Inzicht is nodig in het verschil in trends binnen en buiten het windpark door de tijd.*
- Neem onderzoek uitgevoerd in omliggende landen mee in analyses, volg hiervoor ontwikkelingen binnen het UNDINE project.  
*Dit leidt naar verwachting tot een vergroting van de detectiekracht.*
- Wissel de (dure) bemonstering met de boxcorer in voor extra monsters met de bodemschaaf. De te gebruiken bodemschaaf moet bij voorkeur dezelfde triple-D zijn die in de eerdere bemonstering is ingezet.  
*Relevante soorten kunnen kwantitatief bemonsterd worden. Leeftijdsopbouw en biodiversiteit kunnen meegenomen worden. De boxcorer bemonstert weliswaar een grotere fractie van de infauna dan de bodemschaaf (1 mm zeef versus 5 mm zeef), maar de boxcorer bemonstert zo'n klein oppervlak dat de methode ongeschikt is voor organismen die in lage dichtheid voorkomen. Daarnaast vinden de verwachte infauna-effecten in windparken juist plaats op de grotere soorten die met de bodemschaaf goed worden bemonsterd.*
- Voer in 2017 nogmaals een bemonstering uit van het hard- en zacht-substraat benthos, met inachtneming van de aanbevelingen voor optimalisatie hierboven.  
*Vanwege de verwachte traagheid in de respons van veel soorten, met name de soorten die als gevolg van visserij uit een groter omliggend gebied geheel verdwenen zijn, denken we dat er ten tijde van de laatste bemonstering (5 jaar na sluiting) nog onvoldoende tijd voor herstel is geweest.*

## 4.6 Ontwikkeling van hard-substraat gemeenschappen

### 4.6.1 Windmolens als habitat

Kenmerkend voor offshore windturbinepalen is de aanwezigheid van hard substraat in de vorm van het metaal van de turbinepaal en de zogenaamde 'scour protection', grof steenmateriaal rond de fundering van de turbine. Dit harde substraat strekt zich uit over de gehele waterkolom, waardoor er zowel een litorale als een sublitorale zone aanwezig is. In het Nederlandse deel van de Noordzee is de litorale zone (of intergetijdenzone, ca 0-3 m) blootgesteld aan sterk wisselende abiotische omstandigheden: dagelijkse droogval, sterke golfslag, zonnestraling, en grote temperatuurswisselingen, net als dijken aan de kust of litorale oester/mosselbanken in de Waddenzee. Daaronder volgt de sublitorale zone (>3 m), die permanent onder water staat, maar nog steeds beïnvloed wordt door golven, stroming en zon. In dieper sublitoraal, richting bodem (ca 25 m), wordt de lichtintensiteit minder, evenals de invloed van golven en zijn de abiotische omstandigheden stabiel. Op de bodem wordt rondom windmolenfunderingen stortsteen gestort om uitslijting van het zand rondom de paal tegen te gaan. Dit stortsteen vormt een kunstmatige rotshabitat met grillige vormen en kleine en grote holle ruimtes die door organismen gebruikt kunnen worden als schuilplaatsen.

Het harde substraat van de monopile en het substraat in de vorm van stortsteen samen bieden een verscheidenheid aan niches voor verschillende soorten. In vergelijking met windturbinefunderingen

---

<sup>1</sup> Een SPI maakt gebruik van een prisma dat enkele decimeters het sediment ingedruwd wordt om zodoende foto's van de sedimentopbouw te kunnen maken.

---

missen scheepswrakken een deel van die niches, omdat ze op de bodem liggen en dus geen litorale zone kennen. Wrakken worden op hun beurt gekenmerkt door grote oppervlakken hard substraat (metaal) en (veel) holle ruimtes die kunnen dienen als schuilplaatsen (Lengkeek et al., 2013). Beschermd tegen stroming door stortsteen zijn ze niet: vaak zijn slijpgeulen aanwezig die achter het wrak ontstaan en in dynamische ondiepere gebieden kunnen zandgolven langzaam over wrakken heen wandelen. Wrakken zijn bijna altijd van metaal; paalrot zorgt ervoor dat houten wrakken snel afgebroken wordt zodra ze blootgesteld worden aan zuurstofrijk water. Platforms voor olie- en gasproductie lijken meer op de windmolenpalen, omdat ook daar een intergetijdenzone aanwezig is, en een zone met stortsteen rondom de poten. Dergelijke platforms staan al tientallen jaren in de Noordzee. Afhankelijk van de locatie en de noodzaak daartoe (bv. i.v.m. onderhoud) kunnen platforms elke paar jaar schoongemaakt worden. Bij het bedrijf Engie worden de intergetijdenzone en het bovenste deel van de sublitorale zone (0-10 m) stelselmatig vrijgemaakt van aangroei (Coolen, pers. com). Natuurlijk hard substraat, zoals bij de Klaverbank (Van Moorsel, 2003; Schrieken et al. 2013) en de Borkumse Stenen (Coolen et al. 2015), bestaat uit grind en stenen en bevindt zich uitsluitend in de diepe sublitorale zone. De stenen en het grind liggen er sinds tienduizenden jaren en zijn qua materiaal vergelijkbaar met stortsteen.

#### 4.6.2 Initiële vestiging

Zeepokken, schelpdieren, wormen, stekelhuidigen en andere soortgroepen zweven als larven enkele weken in het water voordat ze een geschikte plek zoeken om zich te vestigen. Voor de initiële vestiging is het belangrijk voor de larven dat er vrij substraat beschikbaar is. Bij nieuw hard substraat verloopt de initiële kolonisatie snel en intensief (Kerckhof et al. 2010). In de volgende paragraaf staat beschreven hoe dit proces is verlopen in het Belgische C-power windpark.

De timing van voortplanting is verschillend voor soorten, en dus bevat het plankton een wisselende soortsamenvatting door het jaar heen. De initiële samenstelling van de soortgemeenschap hangt daarom samen met de timing van het plaatsen van de palen. Deze initiële samenstelling houdt stand totdat de betreffende soorten in de loop van de tijd door bv. competitie om ruimte of voedsel worden weggeconcentreerd door andere soorten. Hierdoor neemt de dichtheid van de initiële soorten af en ontstaat een soortenrijke gemeenschap (Kerckhof et al. 2010) (meer details: zie volgende paragraaf). Deze veranderingen in soortenrijkdom kunnen worden beschreven aan de hand van twee belangrijke processen: successie en seizoensdynamiek. In hoeverre de initiële soortsamenvatting doorwerkt in de latere soortsamenvatting (bv. na 1 jaar) is niet duidelijk.

#### 4.6.3 Successie en seizoensdynamiek

Ecologische successie is het proces waarbij de structuur van een biologische gemeenschap verandert over de tijd. In ecosystemen zoals bossen en kwelders ontstaat eerst een pionierbegroeiing, gevolgd door een tussenstadium en tenslotte een climaxbegroeiing. Door een ingrijpende verandering (bosbrand, kwelderafslag) kan het systeem teruggezet worden naar een eerdere fase. Verstoring van de fauna bij platforms en windturbinepalen wordt veroorzaakt door schoonmaak voor onderhoud, of door natuurlijke oorzaken zoals stormen. In het mariene milieu zorgt in het algemeen een sterke verstoring van de fauna van marien hard substraat voor een continue soortenverandering, terwijl een stabiele situatie resulteert in een gemeenschap gedomineerd door één of enkele soorten (Osman 1977).

**Pioniergemeenschap:** In Nederlandse windparken PAWP en OWEZ is de pioniersgemeenschap niet bestudeerd, maar in het Belgische C-power windpark wel, zie Figuur 4.8. Daar werden de betonnen windturbinepalen aan het eind van de lente geplaatst en 3,5 maanden na plaatsing bestond de gemeenschap in de spatzone en de hoge intergetijdenzone uit algen en uit de Japanse dansmug (*Telmatogeton japonicus*) (Kerckhof et al. 2009; De Mesel et al. 2015). De zone daaronder werd gekenmerkt door zeepokken (verschillende soorten) en vlokreeften (*Jassa* spp.) (Figuur 4.9) die de zeepokken bedekten. Dieper, in het sublitoraal, werd de gemeenschap na 3,5 maanden gedomineerd door de harige vliescelpoliep *Electra pilosa*, een mosdiertje dat vaak op huisjes van heremietkreeften wordt aangetroffen en dat onder andere condities nooit zo dominant zou kunnen worden (Kerckhof et al. 2010). Het werd bevooroordeeld door een gebrek aan andere larven die vroeger in het jaar aanwezig

zijn (De Mesel et al. 2015). Ook bleek de timing te laat voor inheemse zeepokken, maar niet voor exoten (Kerckhof et al. 2010; De Mesel et al. 2015). De sublitorale zone van de C-Power palen was de meest soortenrijke zone (40 soorten). In totaal zijn 49 soorten aangetroffen, waarvan de meeste als juvenielen, waaronder de driekantige kokerworm (*Pomatoceros triqueter*) en de schelpkokerworm (*Lanice conchilega*).

Opvallend was dat het C-Power park na 3,5 maanden nog geen grote bedekking kende door mosselen, zeeanjerier, hydroidpoliepen (*Tubularia*) of zeesterren, soorten die op verder ontwikkeld ander hard substraat wel worden aangetroffen. De gemeenschap bevond zich dus in een pioniersfase (Kerckhof et al. 2009; De Mesel et al. 2015).

**Intermediaire en climaxgemeenschap:** In het Belgische C-Power park ontwikkelde zich in het diepere litorale deel na 1-1,5 jaar een soortengemeenschap die gedomineerd werd door enkele soorten, met een groot aantal subdominante soorten (tussen 20 en 30). Door het jaar heen was verder een seizoensdynamiek zichtbaar van de bestaande gemeenschap (De Mesel et al. 2015). In het PAWP werden in de twee onderzochte jaren (T4 en T6) geen grote verschillen in soortengemeenschap gevonden, wat suggereert dat de soortengemeenschap een zeker stabiel stadium had bereikt (Vanagt & Faasse 2014). De samenstelling van de soortengemeenschap in een ontwikkelde gemeenschap is beschreven in paragraaf 4.6.4.

In het UK deel van de Noordzee is 11 jaar lang de successie gevolgd bij 4 olieplatforms (Figuur 4.8) van oppervlak tot bodem (45-160 m diep) (Whomersley & Picken, 2003). Bij die platforms was een duidelijk successiepatroon zichtbaar over een periode van 11 jaar. In de golfzone (0-20 m) domineerden de mossel *Mytilus edulis* en groene macroalgen gedurende de hele periode van 11 jaar. Daaronder, in de sublitorale zone domineerden hydroidpoliepen (Eider platform) of hydroidpoliepen en tubeworms (Tern Alpha, Gannet Alpha) de eerste 3-5 jaar. Daarna vestigden zich rekruten van zeeanjerieren (*Metridium senile*) en dodemansduim (*Alcyonium digitatum*), die in de jaren daarna de positie van de hydroidpoliepen overnamen, afhankelijk van de diepte en de locatie van het platform (Whomersley & Picken 2003).



**Figuur 4.8.** Links: kaart met windparken OWEZ, PAWP, C-Power, onderzoeksplatform FINO1 en olieplatforms in het UK gedeelte van de Noordzee (bron kaart: Google Earth). Rechts: De Zeeanjerier *Metridium dianthus* (syn: *Metridium senile*) op een scheepswrak in de Noordzee.

#### 4.6.4 Zonering van hard substraat gemeenschappen

Als een soortengemeenschap zich eenmaal min of meer uitontwikkeld heeft, hangt de zonering van de soortengemeenschap vooral samen met de tolerantie van soorten voor abiotische factoren zoals droogvalduur (zeesterren kunnen niet tegen droogvallen, mosselen wel) en temperatuur, en met biologische processen zoals groeisnelheid, competitie om ruimte (anemonen en zachte koralen vs.

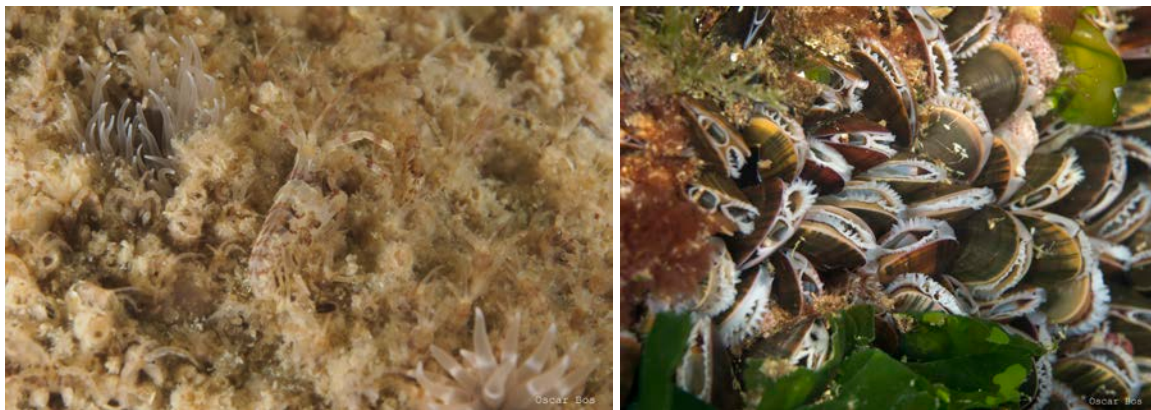
---

hydroïdpoliepen) en voedsel, facilitatie (de komst van de ene soort maakt vestiging van de andere soort mogelijk) en predatie (zeesterren op mosselen; naaktslakken op hydroïdpoliepen). De zonering komt tot stand door de dominantie van een enkele soort of een klein aantal soorten, waardoor duidelijk gescheiden zones ontstaan, zoals ook goed te zien is op dijken bij laagwater.

Op de Nederlandse windturbinepalen (Prinses Amalia Windpark PAWP en Offshore Windpark Egmond aan Zee OWEZ) en de Belgische (C-Power) worden de volgende zones onderscheiden:

- 1) Intergetijdenzone met spatzone: De spatzone wordt gedomineerd door korstvormde groene algen en de larven van de Japanse dansmug (*Telmatogeton japonicus*) die zich waarschijnlijk met de algen voedt (PAWP: Vanagt & Faasse 2014; C-Power: De Mesel et al. 2015). Daaronder volgt een intergetijdenzone met een band van groene algen zoals zeesla, zeepokken (tot 6 soorten) en Japanse oesters (OWEZ: Bouma & Lengkeek 2012; PAWP: Vanagt & Faasse 2014; De Mesel et al. 2015). Daaronder, nog steeds in de intergetijdenzone, vanaf ongeveer 1 meter onder de laagwaterlijn, domineren kleine mosselen. Bij twee van de drie onderzochte OWEZ-palen was de bedekking in het najaar in deze zone door mosselen bijna 100%, bij de derde paal waren er ook kale plekken aanwezig. In het najaar (T2 en T5) was de begroeiing op de OWEZ palen dichter dan in het voorjaar van 2011 (T5). Dit duidt op seizoenpatronen die samenhangen met het groeiseizoen van mosselen en het weer (bv. stormen), die delen van de mosselbedekking laat verdwijnen. In het PAWP park was de biomassa van mosselen bij T6 duidelijk groter dan bij T4. Dit duidt op een verder gaande ontwikkeling over de jaren.
- 2) Sublitoraal: De sublitorale zone (vanaf 3 m diep) wordt in het ondiepe deel gekenmerkt door bijna volledige mosselbedekking (OWEZ). Deze mosselbedekking strekt zich uit richting bodem, maar dieper domineert de zeeanjer (*Metridium dianthus*), zie Figuur 4.8. Deze soort is ook op scheepswrakken (Lengkeek et al. 2013) en natuurlijk hard substraat (Coolen et al. 2015) vaak dominant aanwezig. De mosselbedekking neemt af en enkele meters dieper is een dicht slibrijk tapijt van vlokreeftjes (*Jassa herdmani* en *J. marmorata*) zichtbaar (PAWP), zie Figuur 4.9. De basis voor het tapijt wordt gevormd door kleine kokers bestaande uit 'amfipodenzijde' waar de vlokreeftjes in leven (Dixon & Moore 1997). De vlokreeften op hun beurt bedekken kolonies van hydroïdpoliepen (voornamelijk *Tubularia indivisa*). Ook scheepswrakken kunnen door deze matten volledig bedekt worden (pers. obs. O.G. Bos). Hydroïdpoliepen tonen een sterke seizoensdynamiek en sterven massaal af in de zomer en worden door naaktslakken gepredeerd (PAWP). Behalve een toenemende bedekking door anemonen (zoals zeeanjer *Metridium dianthus*) kunnen grote op het eerste gezicht kale vlakken ontstaan, begroeid met de korstvormende hydroïdpoliep *Hydractinia echinata* (PAWP). Zeesterren (*Asterias rubens*) en zee-egels (*Psammechinus miliaris*) zijn ook duidelijk aanwezig. Nabij de bodem, op het onderste deel van de turbinepaal, is de zeeanjer dominant (PAWP).
- 3) Stortsteen: Ook hier is de zeeanjer dominant (PAWP) in biomassa. Verder is het steen begroeid met o.a. verschillende soorten mosdiertjes. De holtes tussen de stenen bieden een goede schuilplaats voor mobiele organismen (zeesterren, heremietkreeften, zwemkrabben, botervisjes). Duidelijk aanwezig zijn ook grote dichtheden van lege mosselschelpen, die van hoger op de paal afkomstig zijn. Bij PAWP zijn er verder aanwijzingen gevonden dat er kreeften voorkomen (*Homarus gammarus*) zoals dat ook het geval is bij scheepswrakken (Lengkeek et al. 2013) en bij natuurlijk hard substraat (Borkumse Stenen) (Bos et al. 2014). Tijdens T6 viel het bij PAWP op dat de hoeveelheid sediment tussen de stenen duidelijk was toegenomen, waardoor de stenen minder goed konden worden bemonsterd.





**Figuur 4.9.** Links vlokreeftjes *Jassa* sp. en hun kokertjes op een scheepswrak in de Noordzee. Rechts mosselaangroei *Mytilus edulis* op een steiger in Zeeland.

#### Aantal soorten:

In het OWEZ windpark bij Egmond aan Zee (start bouw april 2006, operationeel sinds januari 2007) zijn in 2008 (T1) en 2011 (T4) 55 soorten geïdentificeerd op de turbinepalen en 35 soorten op het stortsteen, waarbij er een duidelijke toename –bijna een verdubbeling– was van het aantal soorten in de tijd (Bouma & Lengkeek 2012). In het PAWP (start bouw okt 2006; operationeel sinds 2008) werden in het najaar van 2011 (T4) 86 soorten en in juli 2013 (T6) 87 soorten geïdentificeerd waarbij de 23 tussen de bemonsteringen verschillende soorten werden toegeschreven aan een verschillend bemonsteringsseizoen. Op scheepswrakken zijn tussen de 38 en 73 soorten per wrak aangetroffen en het totaal aanwezige aantal soorten op wrakken in de Nederlandse Noordzee wordt geschat op ca 200-273 (Lengkeek et al. 2013). Bij de inventarisatie van de Borkumse Stenen zijn 137 soorten gevonden op natuurlijk hard substraat (Coolen et al. 2015), waarbij zeeanjelieren (*Metridium senile*) en hydroïdpoliepen domineerden op de grote stenen (Bos et al. 2014). Bij het vergelijken van soortenrijkdom tussen habitats is echter voorzichtigheid geboden: het beste kan een soortenaccumulatiecurve gemaakt worden, zodat de relatie tussen bemonsteringsinspanning en gevonden aantal soorten duidelijk is.

#### Andere windparken:

Het lijkt erop dat windturbinepalen dicht bij de kust minder soorten kennen dan dieper staande palen. Dit zou verklaard kunnen worden doordat verder uit de kust de temperatuur en het zoutgehalte constanter is (Kerckhof et al. 2012). Op de meeste palen was een met algen begroeide intergetijdenzone aanwezig, en diepere zones met de mosselen (*Mytilus edulis*), zeeanjelieren (*Metridium dianthus*), vlokreeften (*Jassa* spp.) en hydroïdpoliepen (*Tubularia*), met een duidelijke aanwezigheid van zeesterren (*Asterias rubens*) en zee-egels (*Psammechinus miliaris*). Het verschil is dat in België een aantal zuidelijke soorten zijn waargenomen (Vanagt & Faasse 2014).

Het Duitse onderzoeksplatform FINO1, zo'n 50 km boven de Groningse Waddenkust, bestaande uit een stalen constructie met dwarsverbindingen, kent ook ongeveer dezelfde zonering: 1 m zone: *Mytilus* gemeenschap; 5 m *Mytilus*-*Jassa* gemeenschap, met ook anemonen en mosdiertjes; 10 m anthozoa (anemonen)-*Jassa* gemeenschap; 20-28 m zone: Anthozoa gemeenschap met *Jassa* en hydroïdpoliepen (Krone et al. 2013).

#### 4.6.5 Betekenis voor de rest van het ecosysteem

Biomassa geproduceerd door soorten op het harde substraat kan als voedsel dienen voor andere soorten rondom de windturbinepalen. In het OWEZ windpark varieerde de totale biomassa tussen 450 en 1400 g AFDW per m<sup>2</sup> turbinepaal (mosselen: 83%; anemonen: 7%). De aanwezige biomassa in het hele OWEZ park is geschat op ca 7500 kg mosselen AFDW (asvrij drooggewicht: gewicht dat als CO<sub>2</sub> verdwijnt bij volledige verbranding van het gedroogde monster), 45 kg AFDW kleine geleedpotigen en 35 kg AFDW wormen (Bouma & Lengkeek 2012). Voor het Belgische windpark C-Power zijn geen biomassa gegevens beschikbaar.

Op het FINO1 onderzoeksplatform (Figuur 4.6) (footprint 32x32 m) varieerde de biomassa tussen circa 23 en 45-68 kg per m<sup>2</sup> (natgewicht) (Krone et al. 2013). Uitgaande van een AFDW voor

---

mosselen van 5.5% van het natgewicht (Ricciardi & Bourget 1998), komt dit overeen met circa 1265 tot 2970-3740 g AFDW per m<sup>2</sup>, dit is een circa een factor 2 meer dan in het OWEZ park. Het FINO 1 platform produceerde naar schatting jaarlijks circa 2700 kg mosselen (natgewicht, zonder schelp), waarvan de lege schelpen aan de voet van het platform werden teruggevonden. De suspension feeders op het platform vormen daarmee belangrijk voedsel voor predatoren (Krone et al. 2013). In OWEZ park gebruikte juveniele kabeljauw het gebied als opgroeigebied (Winter et al. 2010).

#### 4.6.6 Verspreiding van soorten naar de omliggende bodem

Hypothetisch zouden soorten zoals de mossel zich op de bodem kunnen vestigen en mosselbanken kunnen vormen wanneer ze als klomp naar beneden zouden vallen. Dit lijkt echter niet zo heel waarschijnlijk. Uit de inventarisaties van structuren die al lange tijd ongestoord zijn, en waar mosselen zich dus al lang op hadden kunnen vestigen, zoals wrakken, is nooit gebleken dat er zich mosselen in grote aantallen hebben gevestigd (zie overzicht in Krone et al. 2013). Verder blijkt uit bovenstaande paragraaf dat (bij FINO 1) vooral lege schelpen worden gevonden, wat erop duidt dat mosselen, indien ze van de windturbinepalen afslaan, bv. door predatoren worden opgegeten, zoals zeesterren.

Een ander effect zou kunnen zijn dat de lege mosselschelpen die in de loop der tijd in stukjes uiteen vallen, zelf een nieuw substraat vormen boven of gemengd met het zand, dat geschikt is voor soorten zoals schelpkokerwormen (*Lanice conchilega*) (zie Krone et al. 2013). Bij het FINO1 platform werd geschat dat er jaarlijks ca 300 m<sup>3</sup> (komt overeen met een laag van 10x10x3 m) aan lege schelpen wordt geëxporteerd naar de zeebodem (Krone et al. 2013).

## 5 Conclusies en aanbevelingen

### 5.1 Invloed visserij

Effecten op zacht substraat benthos in windmolenparken zijn naar verwachting voornamelijk het resultaat van uitsluiting van bodemberoerende visserij, niet van de aanwezigheid van windmolens op zich. Dit is van belang voor de opzet en analyse van vervolgbemonstering. Er dient vooraf te worden bekeken welke locaties binnen de referentiegebieden veel bevist zijn, zodat daar bemonsterd kan worden. Hierdoor wordt het contrast tussen binnen en buiten het park gemaximaliseerd. Expliciet meenemen van de bevissingshistorie van elk bemonsterd punt biedt ook meer mogelijkheden voor analyse (multivariate analyse van visserijdruk, abiotische factoren en benthos gemeenschap).

### 5.2 Detecteerbare effectgrootte volgens de BACI methodiek

Voor de power analyse werden alleen de meest voorkomende taxa geselecteerd en doorberekend omdat alleen voor deze soorten een betrouwbare analyse uitgevoerd kon worden. Deze selectie dekt alleen soorten waarvoor het effect bestaat uit een veranderende abundantie. Echter, door een lange historie van intensieve visserij kan van de nu nog algemeen (binnen en buiten de parken) voorkomende soorten logischerwijs worden aangenomen dat ze bestand zijn tegen een hoge visserijdruk. Het (noodzakelijkerwijs) toegepaste selectie criterium voor de power analyses (dominantie van soorten) dekt niet de soorten die in het begin nagenoeg afwezig waren en waarvan verwacht wordt dat ze na langdurige sluiting (in lage dichtheden) aangetroffen zouden kunnen worden. De deelnemers van de workshop verwachtten dan ook voor de meeste soorten waarvoor een power analyse kon worden uitgevoerd, geen of zelfs een negatief effect van aanwezigheid van een park (dus ongevoelig of gebaat bij visserij) met uitzondering van de strandschelp (*Spisula* sp.). Om een verschil van een factor 2 aan te kunnen tonen van de dominante soorten is het, op basis van de uitgevoerde power analyses, nodig om in het geval van PAWP 10 bodemschaafmonsters te nemen in zowel het windpark als in de referentiegebieden, en moeten er 41 bodemschaafmonsters genomen worden in OWEZ park en in de referentiegebieden. De verschillende aantallen in de twee parken hebben hun oorsprong in de verschillende monstertuigen: in PAWP is een schaaft gebruikt die per monster een veel groter oppervlak bemonsterd (Tabel 3 en 4), en daarom zijn minder monsters nodig. Wanneer men een verschil van een factor 1.5 aan wenst te kunnen tonen dan stijgt dit monsteraantal naar 28 voor PAWP en 123 voor OWEZ. Hoewel de exact detecteerbare effectgrootte niet kan worden berekend, is juist ook voor het vinden van effecten van 'terugkerende soorten', die dus buiten het park niet voorkomen, een groot monsteraantal zeer van belang. Vanwege de onmogelijkheid om analyses uit te voeren, geldt hier als best mogelijke advies: 'hoe meer hoe beter'.

Een statistische analyse die de BACI opzet volgt wordt bemoeilijkt doordat (1) er, in het geval van OWEZ, verschillen bestaan in bemonsteringstuig (niet gedefinieerde bodemschaaf voorafgaand aan de bouw van het park en Triple-D in de T1 en T5 bemonstering), (2) er grote natuurlijke variatie in dichtheden verwacht wordt tussen jaren en de eenmalige meting voorafgaand aan de bouw van het windpark deze niet meeneemt. Daarnaast telt deze meting onevenredig zwaar mee in het bepalen van de ontwikkeling en (3) voorafgaand aan de bouw van de windparken het onderzoeksgebied lange tijd intensief bevist is waardoor de meest gevoelige soorten naar verwachting reeds geheel verdwenen zijn en er voor deze dus geen dichtheidsschatting gemaakt kan worden op het moment voor de bouw van het windpark.

Het vaststellen van soort-specifieke gevoeligheid volgens de 'biological traits' methodiek, zoals door Bolam et al. (2014) ontwikkeld, werkt in zijn huidige vorm niet goed voor de Nederlandse situatie. In de UK, en in Bolam's methodiek, zijn ottertrawls het belangrijkste bodemvistuig, terwijl op het Nederlands Continentaal Plat (NCP) boomkorvisserij relevanter is. Eigenschappen die een soort



---

gevoelig maken verschillen tussen de twee typen visserij. Het is wel mogelijk analoog aan de methode in Bolam et al. (2014) een trait-gebaseerde gevoeligheid voor boomkorvisserij af te leiden. Een alternatief zou zijn om de methode van Rijnsdorp et al. (2016) toe te passen. In die studie wordt een indicator voor visserij-impact afgeleid gebaseerd op een combinatie van het interval tussen twee bevissingen (trawl frequentie) en de langlevendheid van voorkomende benthosoorten. Deze methode is in ICES verband als geprefereerde indicator voor bijv. KRM doelen rond zeebodintegriteit aangewezen, en wordt ook toegepast in het onderzoek rond effecten van andere gesloten gebieden, zoals VIBEG en VISWAD.

## 5.3 Hard substraat

De parken OWEZ en PAWP laten vanaf de eerste bestandsopname een duidelijke zonering van de substraat gemeenschap zien aangestuurd door abiotische factoren zoals bijvoorbeeld lichtintensiteit, droogvalduur en temperatuur en door biologische processen zoals competitie voor ruimte, facilitatie en predatie. Dit resulteert in drie zones:

- (1) intergetijdenzone (ca 0-3m): overwegend wieren en kleine mosselen
- (2) sublitoraal (>3m): bijna volledige bedekking met mosselen, daaronder zeeanjer.
- (3) stortsteen: wordt gedomineerd door de zeeanjer. Op de stenen mosdiertjes. Holtes tussen de stenen bieden schuilplaatsen voor mobiele fauna (zeesterren, zwemkrabben en vis). In PAWP zijn aanwijzingen gevonden van voorkomen van kreeften. Duidelijk aanwezig zijn lege neergevallen mosselschelpen

Deze zonering komt overeen met wat elders aangetroffen wordt. De begroeiing van de stortsteenbedden rond de windturbinepalen lijkt op het natuurlijke harde substraat in bijv. Klaverbank en Borkumse Stenen. Op sommige natuurlijk hard substraat en wrakken wordt wel een hogere soortenrijkdom gevonden, maar dit kan komen door verschil in bemonsteringsinspanning.

In het OWEZ windpark trad tussen de twee uitgevoerde bestandsopnamen (een en vier jaar na ingebruikname van het park) bijna een verdubbeling van het aantal soorten op. In het PAWP werden in de twee onderzochte jaren (vier en zes jaar na ingebruikname van het park) geen grote verschillen in soortgemeenschappen gevonden, maar de biomassa van mosselen nam wel duidelijk toe op de turbinepalen. Ook het sediment tussen de stortstenen nam duidelijk toe. Ondanks dat er zich een zonering ingesteld heeft die wat betreft dominante soorten overeenkomt met harde structuren elders in de Noordzee, is de soortensamenstelling van het benthos op de turbinepalen in OWEZ en PAWP nog steeds in ontwikkeling.

Mosselklompen die vanaf de turbinepalen afbrokkelen lijken zich niet te kunnen handhaven op de bodem. Het is waarschijnlijk dat ze na het afvallen snel worden 'opgeruimd' door predatoren. Wel kan, door ophoping van lege mosselschelpen, een nieuw substraat gevormd worden dat vestiging van bijvoorbeeld schelpkokerwormen mogelijk kan maken.

## 5.4 Aanbevelingen

Op basis van de bevindingen van deze studie en de gehouden workshop worden de volgende aanbevelingen gedaan:

### 5.4.1 Praktische uitvoering

- Voer in 2017 opnieuw een hard en zacht substraat benthosmonitoring uit om de verdergaande ontwikkeling van het harde substraat en het herstel van het bodemleven van het zachte substraat inzichtelijk te kunnen maken. Doe dit zo veel mogelijk op dezelfde wijze als in eerdere bemonsteringen.

- Bemonster en analyseer PAWP en OWEZ tegelijk om jaarlijkse variaties te verkleinen en daarmee de detectiekracht te vergroten.
- In de zacht-substraat bemonstering zien we nauwelijks een rol voor de boxcorer als monstertuig voor biota (maar zie hieronder). Dit tuig is geschikt om kleine soorten die algemeen voorkomen te bemonsteren. Dit zijn niet de soorten waar we effecten verwachten. We adviseren daarom geen boxcorer monsters te nemen, maar in te zetten op een hoger aantal schaafmonsters, plus een verkenning van alternatieve technieken (zie hieronder). Bij het verwerken van de monsters is het belangrijk dat ook de grootteverdeling van de populatie goed wordt vastgelegd.
- Vergroot het aantal bodemschaafmonsters dat genomen wordt naar minimaal 41 in elk windpark en in de referentiegebieden om zodoende veranderingen van een factor 2 in dominante taxa aan te kunnen tonen en tevens de detectie van terugkerende soorten te vergroten. Voor dit laatste punt kan geen factor worden berekend, maar geldt: hoe meer hoe beter.
- Neem ook monsters voor korrelgrootte analyses, bereken de bevissingshistorie en neem beiden mee in de interpretatie van de gegevens. Hierin kan de boxcorer wel een rol spelen.
- Houdt niet vast aan de locaties van de monsters binnen de referentiegebieden maar kies monsterlocaties op basis van een hoge historische bevissingsintensiteit om zodoende de gradiënt in 'behandeling' te maximaliseren en daarmee ook de detectiekracht.

#### 5.4.2 Additionele bemonsteringen hard substraat

- Continueer de monitoring van de hard-substraat gemeenschappen die aanwezig zijn op de wind turbinepalen en funderingen van zowel OWEZ als PAWP. Houdt hierbij de gevolgde proefopzet van de voorgaande metingen aan wat betreft aantal monsters, seizoen, bemonsterd oppervlak etc.
- Monitor de ophoping en soortsaamenstelling van leeg schelpenmateriaal aan de funderingen.
- Onderzoek de invloedsfeer van het harde substraat op het omringende zacht substraat door de epifauna, het fijne benthos en het sediment in verschillende raaien en in verschillende richtingen georiënteerd van de turbine palen te bemonsteren
- Laat deze raaien dichtbij de turbinepalen starten (<5-10 meter).
- Onderzoek in pilotexperimenten of met alternatieve methodieken, zoals sonar en onderwatervideo, het mogelijk is de detectiekracht van 'zeldzame' en terugkomende soorten te vergroten.

#### 5.4.3 Analyse

- Analyseer gegevens niet alleen volgens de BACI methodiek maar relateer dichtheden en trends in het windpark aan ontwikkelingen op de lange termijn in ons land door een koppeling met WOT-schelpdieren te maken en met ontwikkelingen in ons omringende landen door aansluiting te zoeken met het UNDINE project.

#### 5.4.4 Algemeen

Lijn het nu te plannen onderzoek aan benthos uit met het onderzoek aan vis.

---

## 6 Kwaliteitsborging

Wageningen Marine Research beschikt over een ISO 9001:2008 gecertificeerd kwaliteitsmanagementsysteem (certificaatnummer: 187378-2015-AQ-NLD-RvA). Dit certificaat is geldig tot 15 september 2018. De organisatie is gecertificeerd sinds 27 februari 2001. De certificering is uitgevoerd door DNV Certification B.V.

# Literatuur

- Bergman, M.J.N., Santbrink van, J.W., 2000. Mortality in megafaunal benthic populations caused by trawl fisheries on the Dutch continental shelf in the North Sea in 1994, *Journal of Marine Science*, (57), 1321 – 1331.
- Bolam, S.G., R.C. Coggan, J. Eggleton, M. Diesing and D. Stephens. 2014, 'Sensitivity of macrobenthic secondary production to trawling in the English sector of the Greater North Sea: A biological trait approach', *Journ. of Sea Research* (85), 162 – 177.
- Bos OG, Glorius S, Coolen JWP, Cuperus J, Van der Weide B, Aguera Garcia A, Van Leeuwen PW, Lengkeek W, Bouma S, Hoppe M, Van Pelt-Heerschap H (2014) Natuurwaarden Borkumse Stenen. Project Aanvullende beschermde gebieden (<http://edepot.wur.nl/313494>). Report No. C115.14, IMARES
- Bouma S, Lengkeek W (2012) Benthic communities on hard substrates of the offshore wind farm Egmond aan Zee (OWEZ) Including results of samples collected in scour holes. Report OWEZ\_R\_266\_T1\_20120206\_hard\_substrate, Bureau Waardenburg ([http://www.noordzeewind.nl/wp-content/uploads/2012/10/OWEZ\\_R\\_266\\_T1\\_20120206\\_hard\\_substrate.pdf](http://www.noordzeewind.nl/wp-content/uploads/2012/10/OWEZ_R_266_T1_20120206_hard_substrate.pdf)).
- Coolen JWP, Bos OG, Glorius S, Lengkeek W, Cuperus J, Van der Weide B, Aguera A (2015) Reefs, sand and reef-like sand: A comparison of the benthic biodiversity of habitats in the Dutch Borkum Reef Grounds (<http://dx.doi.org/10.1016/j.seares.2015.06.010>). *J Sea Res*
- Daan, R., M. Mulder, M.J.N. Bergman, 2009. Impact of windfarm OWEZ on the local macrobenthos community. NIOZ report OWEZ\_R\_261\_T120091216, pp 77.
- Duncan Temple Lang (2012). SSOAP: Client-side SOAP access for S. R package version 0.91-0. <http://www.omegahat.org/SSOAP>, <http://www.omegahat.org> <http://www.omegahat.org/bugs>
- Dekker R (1989) The macrozoobenthos of the subtidal western Dutch Wadden Sea. I. Biomass and species richness. *Netherlands Journal of Sea Research* 23:57-68
- De Mesel I, Kerckhof F, Norro A, Rumes B, Degraer S (2015) Succession and seasonal dynamics of the epifauna community on offshore wind farm foundations and their role as stepping stones for non-indigenous species. *Hydrobiologia* 756:37-50
- Dixon IMT, Moore PG (1997) A Comparative Study on the Tubes and Feeding Behaviour of Eight Species of Corophioid Amphipoda and Their Bearing on Phylogenetic Relationships within the Corophioidea. *Philosophical Transactions: Biological Sciences* 352:93-112
- Kerckhof F, Rumes B, Jacques T, Degraer S, Norro A (2010) Early development of the subtidal marine biofouling on a concrete offshore windmill foundation on the Thornton Bank (southern North Sea): first monitoring results. *International Journal of the Society for Underwater Technology* 29:137-149
- Kerckhof, F., Rumes, B., Norro, A., Houziaux, J.-S. and Degraer S. (2012). A comparison of the first stages of biofouling in two offshore wind farms in the Belgian part of the North Sea. In: Degraer, S., Brabant, R., and Rumes, B. Offshore wind farms in the Belgian part of the North Sea. Heading for an understanding of environmental impacts, pp. 17-39

- 
- Krone R, Gutow L, Joschko TJ, Schroder A (2013) Epifauna dynamics at an offshore foundation: implications of future wind power farming in the North Sea. *Marine Environmental Research* 85: 1-12
- Lengkeek W, Didderen K, Dorenbosch M, Bouma S, Waardenburg HW (2013) Biodiversiteit van kunstmatige substraten - Een inventarisatie van 10 scheepswrakken op het NCP.
- Lock, K., M.Faasse en T. Vanagt, 2014. An Assessment of the soft sediment fauna six years after construction of the Princess Amalia Wind Farm. eCOAST report 2013002, pp. 151.
- Magda, B., G. Duineveld, R. Daan, M. Mulder en S. Ubels, 2012. Impact of OWEZ wind farm on the local macrobenthos community. NIOZ report OWEZ\_R\_261\_T2\_20121010, pp 63.
- R Development Core Team (2014). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, URL <http://www.R-project.org>.
- Ricciardi A, Bourget E (1998) Weight-to-weight conversion factors for marine benthic macroinvertebrates. . *Mar Ecol Prog Ser* 163:245-251
- Schrieken N, Gittenberger A, Coolen J, Lengkeek W (2013) Marine fauna of hard substrata of the Cleaver Bank and Dogger Bank ([http://www.duikdenoordzeeschoon.nl/wp-content/uploads/Marine\\_fauna\\_of\\_hard\\_substrata\\_of\\_the\\_Cleaver\\_Bank\\_and\\_Dogger\\_Bank.pdf](http://www.duikdenoordzeeschoon.nl/wp-content/uploads/Marine_fauna_of_hard_substrata_of_the_Cleaver_Bank_and_Dogger_Bank.pdf)). *Nederlandse Faunistische Mededelingen* 41:69-78
- Osman RW (1977) The Establishment and Development of a Marine Epifaunal Community. *Ecological Monographs* 47:37-63
- Vanagt T, Faasse M (2014) Development of hard substratum fauna in the Princess Amalia Wind Farm: Monitoring six years after construction. eCOAST report 2013009 ([http://www.ecoast.be/content/documents/2013009\\_PAWP\\_hardsub\\_rapport\\_final\\_april\\_2014.pdf](http://www.ecoast.be/content/documents/2013009_PAWP_hardsub_rapport_final_april_2014.pdf) ").
- Van Moorsel GWNM (2003) Ecologie van de Klaverbank, Biotasurvey 2002, Ecosub, Doorn
- Winter, H.V., G. Aarts & O.A. van Keeken, 2010. Residence time and behaviour of sole and cod in the Offshore Wind farm Egmond aan Zee (OWEZ). Rapport nr. OWEZ\_R\_265\_T1\_20100916 / Imares C038/10, Imares, IJmuiden.

# Verantwoording

Rapport C042/17

Projectnummer: 431.51000.49

Dit rapport is met grote zorgvuldigheid tot stand gekomen. De wetenschappelijke kwaliteit is intern getoetst door een collega-onderzoeker en het verantwoordelijk lid van het managementteam van Wageningen Marine Research

Akkoord: Dr. T. van Kooten  
Senior onderzoeker

Handtekening:



Datum:

11 Mei 2017

Akkoord: Drs. J. Asjes  
MT-lid integratie

Handtekening:



Datum:

11 Mei 2017

# Bijlage 1    Aggregatie taxa

**Tabel 9.** Samenvoeging van enkele, voor de power analyse relevante, taxa (veel voorkomend) in de boxcorer dataset.

Aggregatie	Taxon
Magelona agg.	<i>Magelona</i>
	<i>Magelona filiformi</i>
	<i>Magelona johnstoni</i>
	<i>Magelona minuta</i>
	<i>Magelona mirabilis</i>
Scolelepis agg.	<i>Scolelepis</i>
	<i>Scolelepis (Parascolelepis) tridentata</i>
	<i>Scolelepis (Scolelepis) squamata</i>
	<i>Scolelepis bonnierii</i>
Bathyporeia agg	<i>Bathyporeia</i>
	<i>Bathyporeia elegans</i>
	<i>Bathyporeia guilliamsoniana</i>
	<i>Bathyporeia juv</i>
	<i>Bathyporeia nana</i>
	<i>Bathyporeia tenuipes</i>
Lanice conchilega agg	<i>Lanice conchilega</i>
	<i>Lanice conchilega juv</i>

**Tabel 10.** Samenvoeging van enkele, voor de power analyse relevante, taxa (veel voorkomend) in de bodemschaaf dataset.

Aggregatie	Taxon
Ophiura agg	<i>Ophiura</i>
	<i>Ophiura albida</i>
	<i>Ophiura ophiura</i>
Nephtys agg	<i>Nephtys</i>
	<i>Nephtys assimilis</i>
	<i>Nephtys caeca</i>
	<i>Nephtys cirrosa</i>
	<i>Nephtys hombergii</i>
	<i>Nephtys longosetosa</i>
Ensis agg	<i>Ensis directus</i>
	<i>Ensis ensis</i>
	<i>Ensis magnus</i>
	<i>Ensis siliqua</i>
Spisula agg	<i>Spisula</i>
	<i>Spisula elliptica</i>
	<i>Spisula solida</i>
	<i>Spisula subtruncata</i>

## Bijlage 2    Verslag workshop

WMR kantoor in IJmuiden  
Donderdag 22 september 2016

*Aanwezigen:    Han Lindeboom (HL), Oscar Bos (OGB), Ralf van Hal (RH), Johan Craeymeersch (JC),  
Tobias van Kooten (TK), Robbert Jak (RJ), Sander Glorius (SG)*

Voor de in de workshop getrokken conclusies en aanbevelingen wordt verwezen naar hoofdstuk 4 van dit rapport.

**Tabel 11.** *Programma bijeenkomst.*

09:30	Inloop & ontvangst met koffie
10:00	Welkom en introductie
10:10	Beoordeling detecteerbare effectgroottes PAWP & OWEZ
11:15	koffie & thee
11:30	Beoordeling detecteerbare effectgroottes PAWP & OWEZ
12:45	Lunch
13:30	Alternatieve eindpunten & open discussie
14:30	koffie & thee
14:45	Parken, monitoring en bevindingen bij onze burens
16:00	Afsluiting



## Toelichting methodiek



Poweranalyse is uitgevoerd op soorten die in meer van >75% van de monsters voorkwamen. Hierbij is onderscheid gemaakt is in OWEZ en PAWP.

### Methode - model

$$\log N \sim \text{Tijd} + \text{WP} + \text{Tijd:WP} + (1|\text{locatie})$$

Tijd: 2003 – 2007 – 2011  
 WP: binnen windpark vs referentie  
 Locatie: referentie locaties + windpark

Nul hypothes:  $H_0: \mu_{2003-2007} = \mu_{2007-2011} = \mu_{2003-2011} = 0$   
 Aanname: Residuen volgen normaalverdeling rondom 0  $N(0, \sigma_{\text{error}})$

Dichtheid afhankelijk van bemonsteringstijd (T0, T1, T2), locatie (WP = binnen en buiten Wpark). De interactie (Tijd:WP) duidt op een effect. Daarnaast is een random effect op locatie toegevoegd, om te corrigeren voor locatie specifieke verschillen.

Power analyses zijn uitgevoerd voor verschillende significantieniveaus (95, 90, 85 en 80%) een range aan effectgrootte (verhoging dan wel verlaging van 1.1 tot 20.0 x), alle bij een power van 80% (kans dat T0 terecht verworpen wordt).

Voor boxcorer waren soorten veelal onvoldoende aanwezig om hierboven beschreven analyses uit te voeren. Voor deze soorten wordt een analyse op aan- / afwezigheid voorgesteld. Soorten die geselecteerd zijn op basis van gevoeligheid voor visserij op basis van Bolam ea., (2014).



# Berekening gevoeligheid voor visserij

Table 2  
Relative sensitivity to trawling of all eight biological traits.

Trait	Relative sensitivity to trawling			Medium sensitivity		High sensitivity
	Low sensitivity	Medium sensitivity	High sensitivity	Low sensitivity	High sensitivity	
Instantaneous sensitivity: Size range (mm)	0-10	11-100	101-200	21-100	101-200	>200
Morphology	0-100	101-1000	1001-10000	101-1000	1001-10000	>10000
Living habit	0-100	101-1000	1001-10000	101-1000	1001-10000	>10000
Sediment position	0-100	101-1000	1001-10000	101-1000	1001-10000	>10000
Mobility	0-100	101-1000	1001-10000	101-1000	1001-10000	>10000
Long-term sensitivity: Longevity (years)	0-1	1-10	11-100	1-10	11-100	>100
Larval development	0-1	1-10	11-100	1-10	11-100	>100
Egg development	0-1	1-10	11-100	1-10	11-100	>100
Location	0-1	1-10	11-100	1-10	11-100	>100

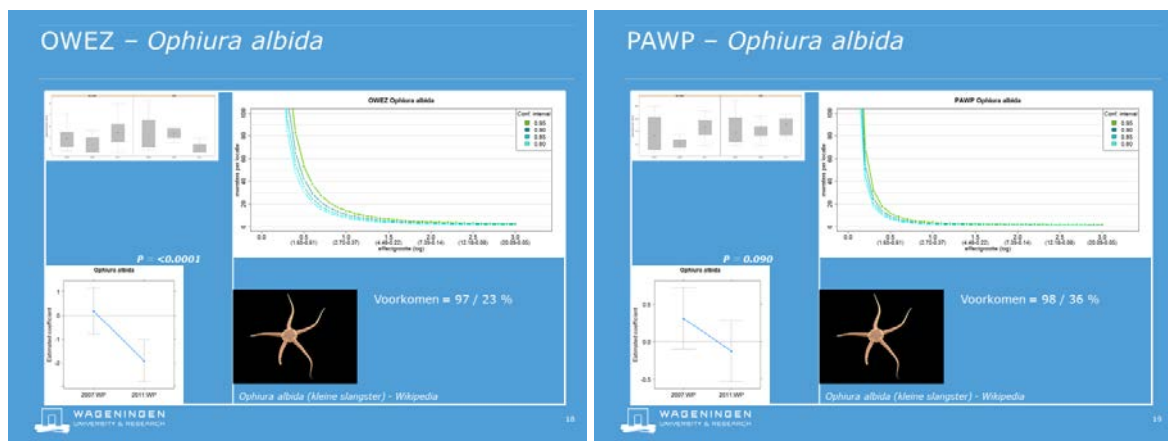
For all traits, each sensitivity was assigned a score reflecting its potential sensitivity to trawling. Scores range from 0 (lowest sensitivity) to 10 (highest sensitivity). Assigned scores reflect those which best represent the trait response from the observed published literature.

OVERGEMIDDELD UIT: Bolam, S.G., Coggin, R.C., Eggleston, J., Davies, M., Stephens, D., 2014. "Sensitivity of macrobenthic secondary production to trawling in the English sector of the Greater North Sea: A biological trait approach", *Journal of Sea Research* (85), 162 – 177.

 **WAGENINGEN**  
UNIVERSITY & RESEARCH

42



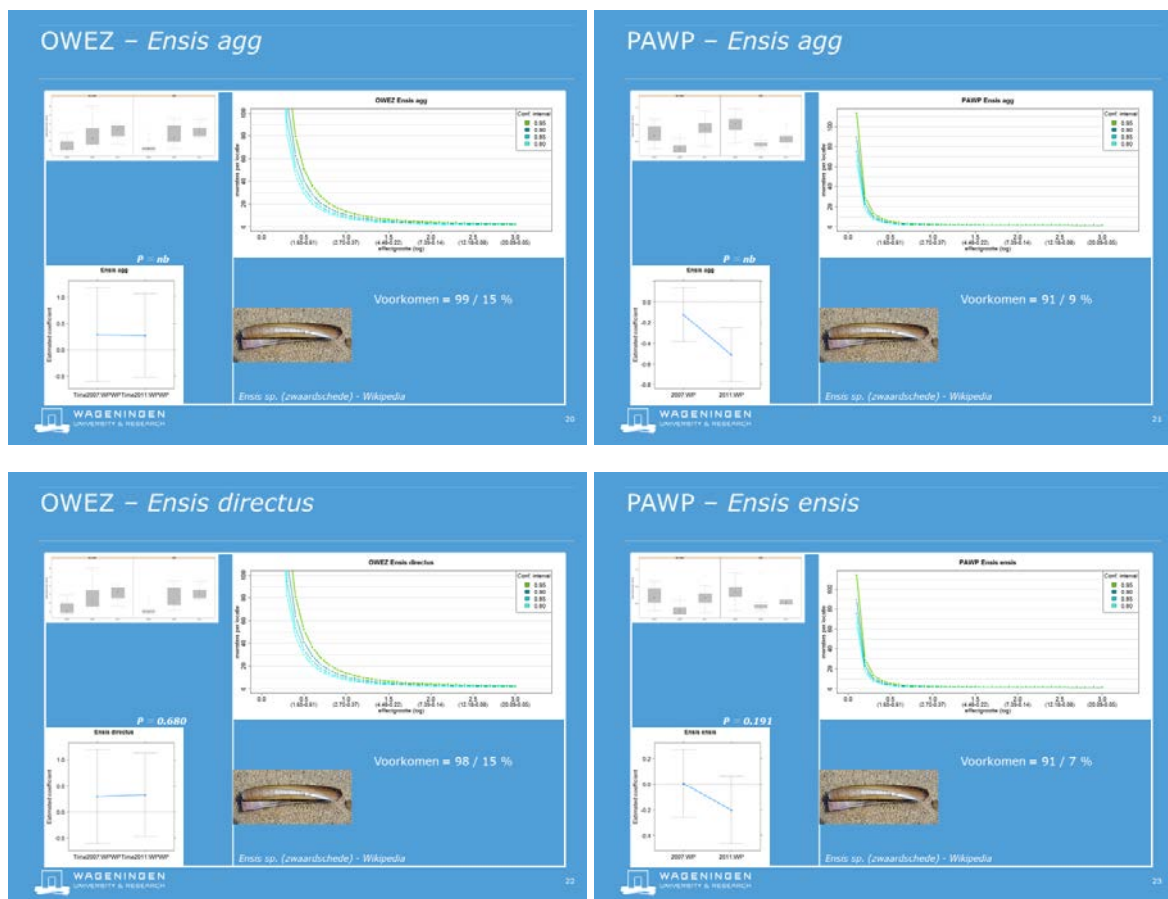


#### Resultaat analyse

Voor *Ophiura sp.* worden in sommige gevallen significante effecten gevonden voor zowel OWEZ als voor PAWP. Opvallend is, is dat de richting van het effect verschilt per park en per *Ophiura* soort; voor PAWP neemt *Ophiura ophiura* toe in het windpark, terwijl in OWEZ *Ophiura albida* juist afneemt.

#### Discussie

- HL/JC, Deze soort wordt niet gevoelig geacht voor visserij omdat (1) ze overal voorkomen (2) directe sterfte na visserij weliswaar hoog is door hoge recruitment ze in staat zijn zich snel te herstellen.
- OGB, Deze soort laat een zeer grote variatie zien, algemene trend in de Noordzee is een dalende.



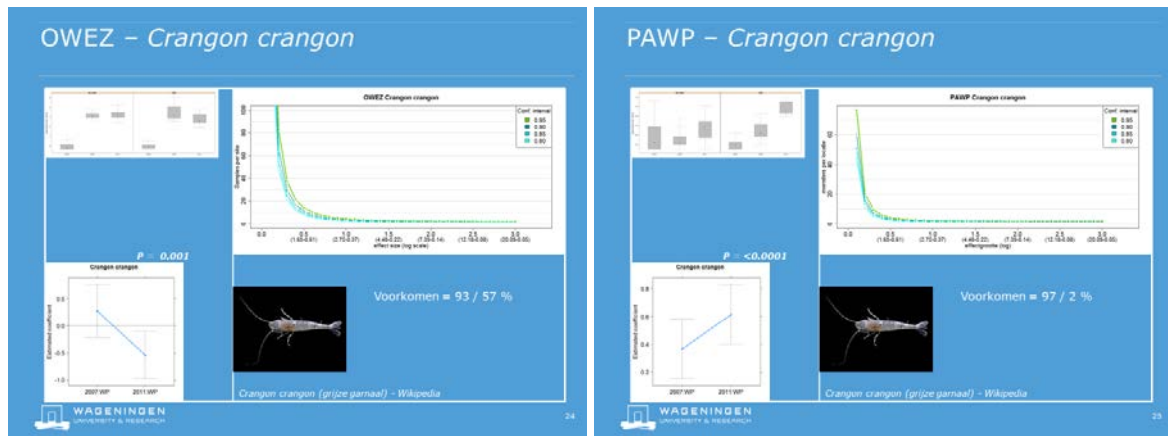
#### Resultaat analyse

Er zijn geen significante effecten waargenomen voor deze soort.

#### Discussie

- JC, al bijna twee jaar geen noemenswaardige broedval voor deze soort, bestand het laagst sinds 2009.
- RJ, JC, bemonsterinsefficiëntie bodemschaaf is voor deze soort afhankelijk van grootte (leeftijd) van de individuen en van bodemtype.

- TK, verwachting is bemonsterinsefficiëntie van tuigtype (TripleD vs dredge van Hull) verschillende is.
- --> dataset is ongeschikt om uitspraken te doen over deze soort.

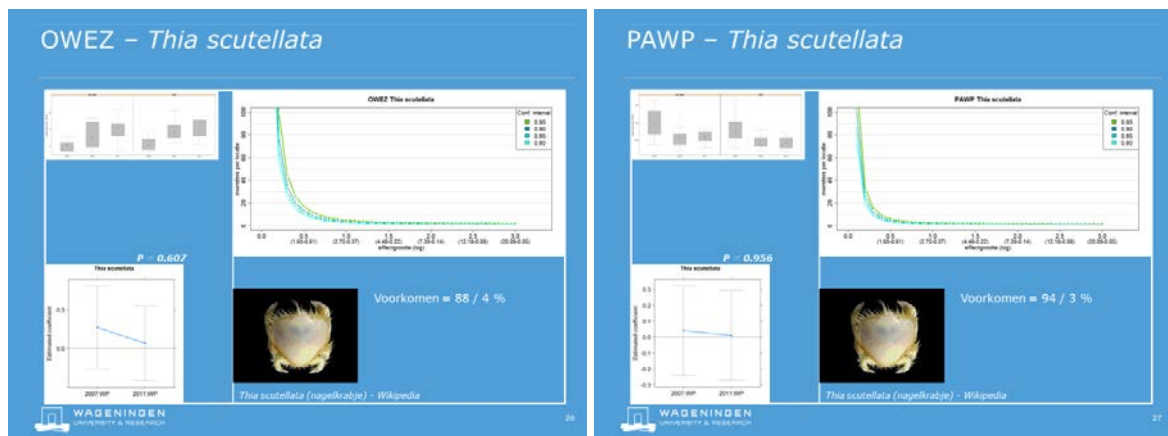


#### Resultaat analyse

In beide parken wordt een (tegengesteld) significant windpark effect aangetoond; in OWEZ neemt in het windpark het aantal garnalen minder sterk toe, in PAWP neemt het aantal garnalen in het windpark juist sterker toe.

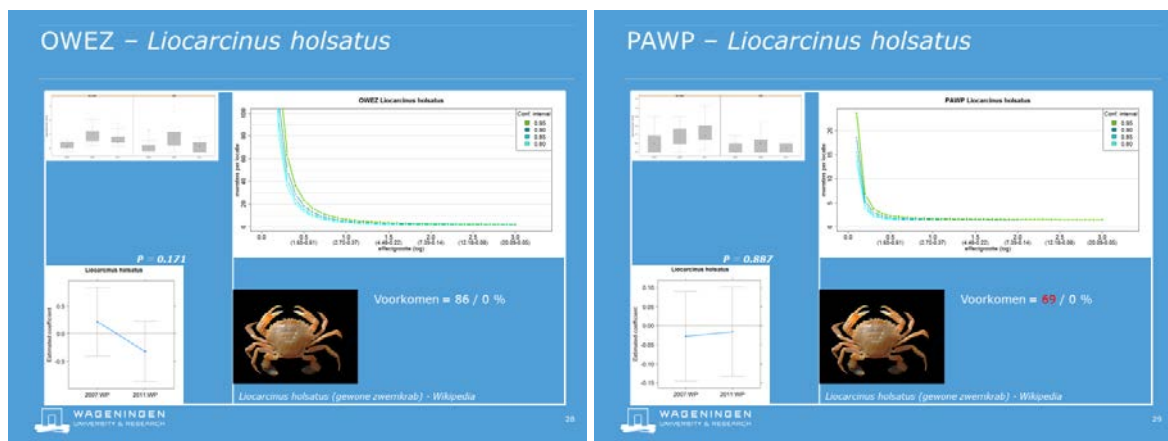
#### Discussie

- TK, Twijfel of bodemschaaf deze soort kwantitatief kan bemonsteren.
- JC, laat deze soort meestal om die reden buiten beschouwing maar weet ook dat andere deze soort wel mee nemen.
- RH, er is ook met een garnalentuig in OWEZ gevist deze dataset kan eventueel gebruikt worden om hierover iets meer te zeggen.



#### Resultaat analyse

Er zijn geen significante effecten waargenomen voor deze soort.

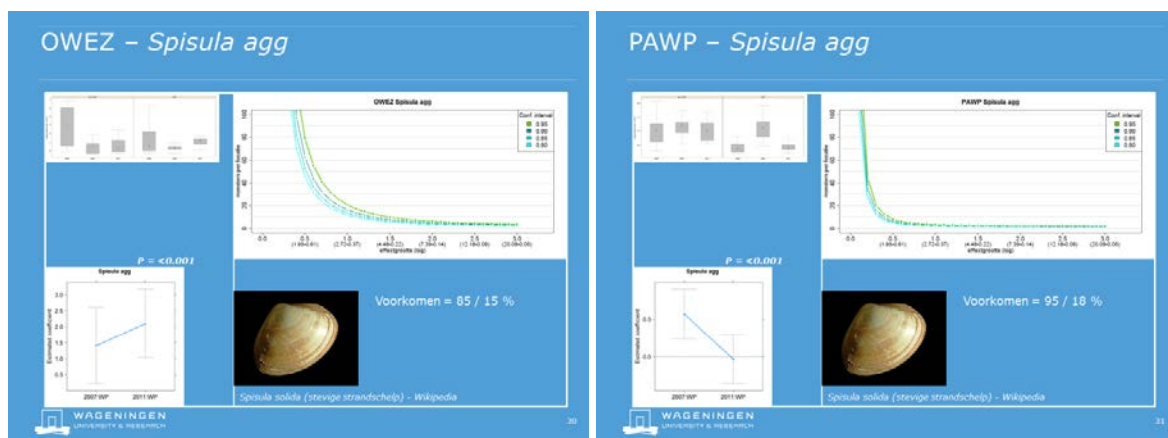


#### Resultaat analyse

Er zijn geen significante effecten waargenomen voor deze soort.

#### Discussie

- HL, volstrekt niet te vertrouwen dat bodemschaaf deze soort kwalitatief en kwantitatief kan bemonsteren.
- JC, TK, mogelijk dat trends nog wel ingeschat kunnen worden
- RH, worden enorm veel aangetroffen, ook op visgronden.
- Niemand verwacht dat deze gevoelig zijn voor visserij, als je een effect verwacht eerder andersom.



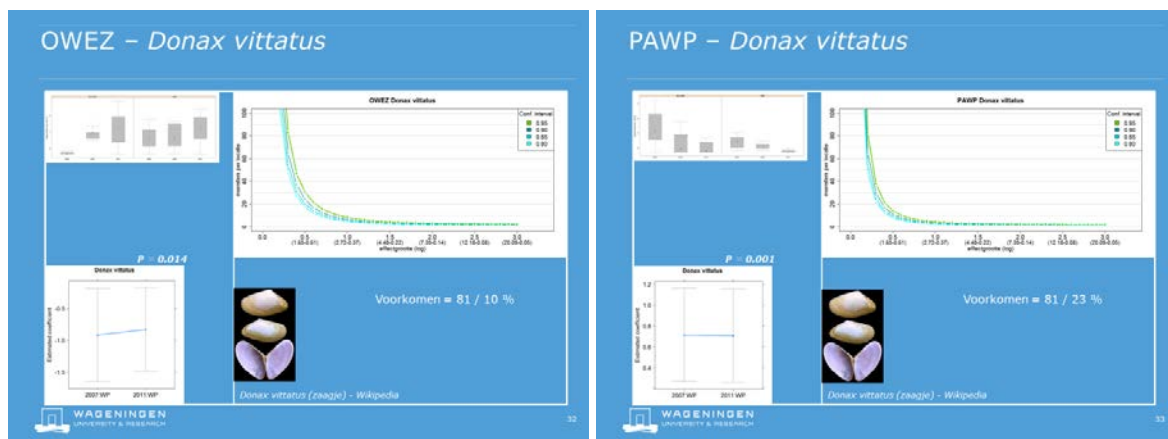
#### Resultaat analyse

In beide parken wordt een significant windpark effect aangetoond; in OWEZ nemen dichtheden op de korte termijn minder snel af en op lange termijn zelfs wat toe, in PAWP nemen dichtheden op korte termijn meer toe in het park terwijl er op wat langere termijn er geen verschillen optreden in ontwikkeling.

#### Discussie

- HL, JC, dit is een soort waarvan je een effect zou kunnen verwachten.
- TK, afwezigheid van duidelijke verschillen wordt deels verklaard door verschillen die reeds bij T0 optreden tussen het windpark en de referentiegebieden.
- JC, mogelijk dat verschillen op T0 deels te verklaren zijn door grootschaligere verschillen in ruimte en tijd (WOT survey) en mogelijk ook door te kijken naar de verschuivingen in de ondersoorten.



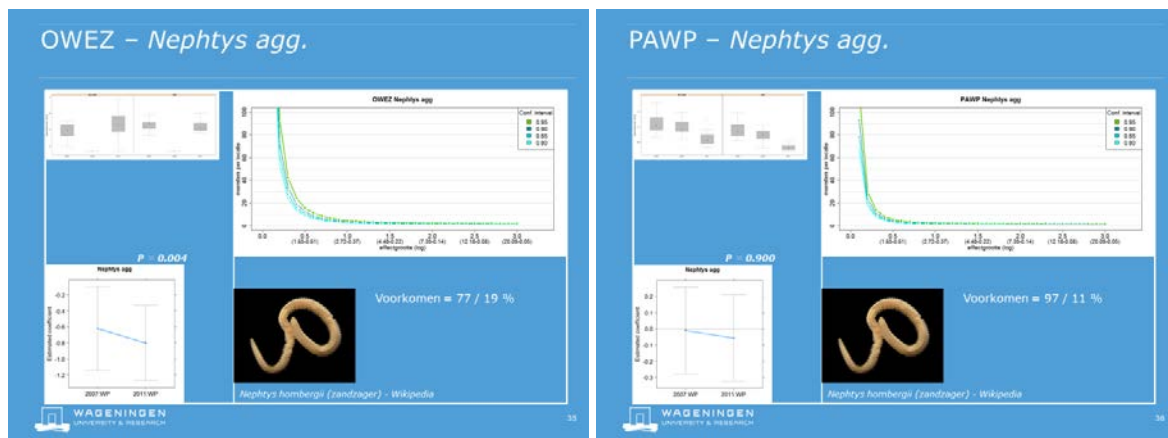


#### Resultaat analyse

In beide parken wordt een (tegengesteld) significant windpark effect aangetoond. Deels wordt dit verklaard door grote verschillen tussen het windpark en referentiegebieden ten tijde van de T0 monitoring. In OWEZ nemen dichtheden in het windmolenpark minder hard toe dan in de referentiegebieden en in PAWP nemen dichtheden juist minder snel af.

#### Discussie

- TK, omdat verschillen tussen gebieden ten tijde van de T0 monitoring groot zijn is het voor deze soort erg van belang om te kijken naar grootschaligere trends in de tijd en ruimte op basis van WOT bemonsteringen om resultaten van de analyse in perspectief te kunnen zetten.

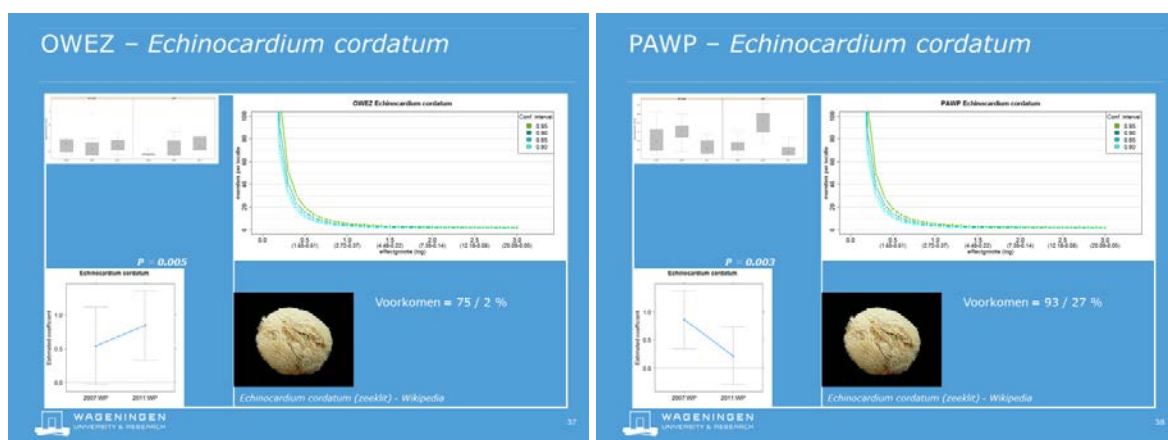


#### Resultaat analyse

Momenteel onduidelijk waarom deze soort niet voorkomt in T1 bemonstering van OWEZ. Voor PAWP zijn geen verschillen aangetoond.

#### Discussie

- Bemonsteringsefficiëntie voor deze soort onbetrouwbaar



#### Resultaat analyse

In beide parken wordt een significant windpark effect aangetoond waarbij dichtheden binnen het windpark harder toegenomen zijn (voor PAWP lijkt dit alleen voor de korte termijn zo te zijn, voor OWEZ is verschil ten tijde van T0 opvallend en verklaard significantie voor een groot deel).

#### Discussie

- 
- RH, vissers geven aan dat deze soort soms ineens verdwenen is uit een gebied. HL, beaamt dat zeeklit zich kan verplaatsten naar een ander gebied als condities daartoe aanleiding geven.
  - HL, visserij maakt de bodem los wat ten gunste is voor deze soort, daarnaast kennen ze een hoge recruitment wat ze weerbaar maakt voor visserij.

---

Wageningen Marine Research

T: +31 (0)317 48 09 00

E: [marine-research@wur.nl](mailto:marine-research@wur.nl)

[www.wur.nl/marine-research](http://www.wur.nl/marine-research)

Visitors address

- Ankerpark 27 1781 AG Den Helder
- Korringaweg 5, 4401 NT Yerseke
- Haringkade 1, 1976 CP IJmuiden



---

Wageningen Marine Research is the Netherlands research institute established to provide the scientific support that is essential for developing policies and innovation in respect of the marine environment, fishery activities, aquaculture and the maritime sector.

**Wageningen University & Research** is specialised in the domain of healthy food and living environment.

**The Wageningen Marine Research vision:**

‘To explore the potential of marine nature to improve the quality of life.’

**The Wageningen Marine Research mission**

- To conduct research with the aim of acquiring knowledge and offering advice on the sustainable management and use of marine and coastal areas.
- Wageningen Marine Research is an independent, leading scientific research institute.

Wageningen Marine Research is part of the international knowledge organisation Wageningen UR (University & Research centre). Within Wageningen UR, nine specialised research institutes of Stichting Wageningen Research (a Foundation) have joined forces with Wageningen University to help answer the most important questions in the domain of healthy food and living environment.

---