Evaluatie NiB Windparken en Overzicht Biodiversiteit Offshore Platforms

Monitoring Onderzoek Natuurversterking Soortbescherming 51

Rijkswaterstaat

9 juli 2026

Project	Evaluatie NiB Windparken en Overzicht Biodiversiteit Offshore Platforms
Opdrachtgever	Rijkswaterstaat
Document	Monitoring Onderzoek Natuurversterking Soortbescherming 51
Status	Definitief
Datum	9 juli 2026
Referentie	159384/26-010.566
Classificatie W+B	Projectgerelateerd
Projectcode	149384
Projectleider	A. Hermans MSc
Projectdirecteur	Drs. L.G. Turlings
Auteur(s)	J.J. Van der Endt MSc, R.W. van Kampen MSc
Gecontroleerd door	Dr. S.A.H. Weisscher, A. Hermans MSc
Goedgekeurd door	A. Hermans MSc
Paraaf	

Adres

Witteveen+Bos Raadgevende ingenieurs B.V. | Deventer
Daalsesingel 51c
Postbus 24087
3502 MB Utrecht
+31 (0)30 765 19 00
www.witteveenbos.com
KvK 38020751

Het kwaliteitsmanagementsysteem van Witteveen+Bos is gecertificeerd op basis van ISO 9001.

© Witteveen+Bos

Niets uit dit document mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt in enige vorm zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Witteveen+Bos, noch mag het zonder dergelijke toestemming worden gebruikt voor enig ander werk dan waarvoor het is vervaardigd, behoudens schriftelijk anders overeengekomen. Tekst- en datamining van (delen van) dit document, evenals enige verwerking of reproductie ervan door middel van kunstmatige intelligentie technologieën is uitdrukkelijk niet toegestaan, behoudens schriftelijk anders overeengekomen. Dit document (of delen ervan) mag niet worden verveelvoudigd en/of anderszins worden gebruikt op enigerlei wijze voor het trainen van kunstmatige intelligentie technologieën, behoudens schriftelijk anders overeengekomen. Witteveen+Bos aanvaardt geen aansprakelijkheid voor enigerlei schade die voortvloeit uit of verband houdt met het wijzigen van de inhoud van het door Witteveen+Bos geleverde document.

INHOUDSOPGAVE

SAMENVATTING 5

1 INLEIDING 7

1.1 Aanleiding 7

1.2 Leeswijzer 8

2 METHODE 9

2.1 Literatuurstudie 9

2.2 Data inwinning windparkeigenaren in relatie tot NiB 10

2.2.1 Categoriseren van NiB-maatregelen 10
2.2.2 Kostenanalyse NiB-maatregelen 11

3 RESULTATEN HARDSUBSTRAATGEMEENSCHAPPEN 13

3.1 Beschrijvende statistiek 13

3.2 Synthese 16

4 RESULTATEN NIB WINDPARKEN 20

4.1 NV1 Natuurinclusieve erosiebescherming 21

4.1.1 HK(z) - Vattenfall 21
4.1.2 HK(n) V - Crosswind 22
4.1.3 HK(w) VI - Ecowende 22
4.1.4 Conclusie NV1 Natuurinclusieve erosiebescherming 23

4.2 NV3 - Kunstmatige riffen 24

4.2.1 Borssele I & II - Ørsted/NBIM 24
4.2.2 Borssele V - Octopus Energy Generation 26
4.2.3 HK(w) VII - OranjeWind 27
4.2.4 Conclusie NV3 - Kunstmatige riffen 27

4.3 NV5 - Uitzet van oesters 28

4.3.1 Gemini Buitengaats 28
4.3.2 Eneco Luchterduinen 28
4.3.3 Borssele I & II - Ørsted/NBIM 29
4.3.4 Borssele III & IV - Blauwwind 29
4.3.5 Borssele V - Octopus Energy Generation 31

4.3.6 NV5 - Conclusie uitzet van oesters 32

5 KOSTENANALYSE NIB 34

5.1 Relatieve kosten per locatie 34

5.2 Kosten per categorie 35

5.3 Monitoringskosten 36

5.4 Verwachte kosten NiB-maatregelen in de toekomst 37

6 CONCLUSIE EN ADVIES 38

6.1 Discussie en conclusie 38

6.1.1 Ecologische waarde 38
6.1.2 Monitoring van NiB-maatregelen 41
6.1.3 Kosten van NiB 41
6.1.4 Beschikbaarheid van gegevens 42

6.2 Adviezen 42

7 REFERENTIES 44

Laatste pagina 47

Bijlage(n) Aantal pagina's

I Voorbeeld NiB voorschrift 3

II Sleutelbegrippen en Booleaanse Zoekopdracht 1

III Datasheet resultaten semi-systematische literatuurstudie 2

IV Literatuurstudie hardsubraatgemeenschappen op erosiebescherming 9

V Reactie NedZero 1

SAMENVATTING

Inleiding en methode

De ontwikkeling van windparken op zee is cruciaal voor de Nederlandse energietransitie, waarbij nationale en recente EU-wetgeving streven naar minimalisatie van negatieve effecten op het mariene ecosysteem en stimulering van natuurherstel. Natuurinclusief Bouwen (NiB) in windparken, met name op de erosiebescherming, zou hieraan kunnen bijdragen. In dit rapport is de hardsubstraatgemeenschap van erosiebescherming van olie- en gasplatforms en windparken onderzocht middels een semi-systematische literatuurstudie. Daarnaast zijn op basis van openbare informatie en aanvullende gegevens van Nederlandse windparkontwikkelaars de ecologische meerwaarde van NiB beschouwd en is gekeken naar de bijbehorende kosten.

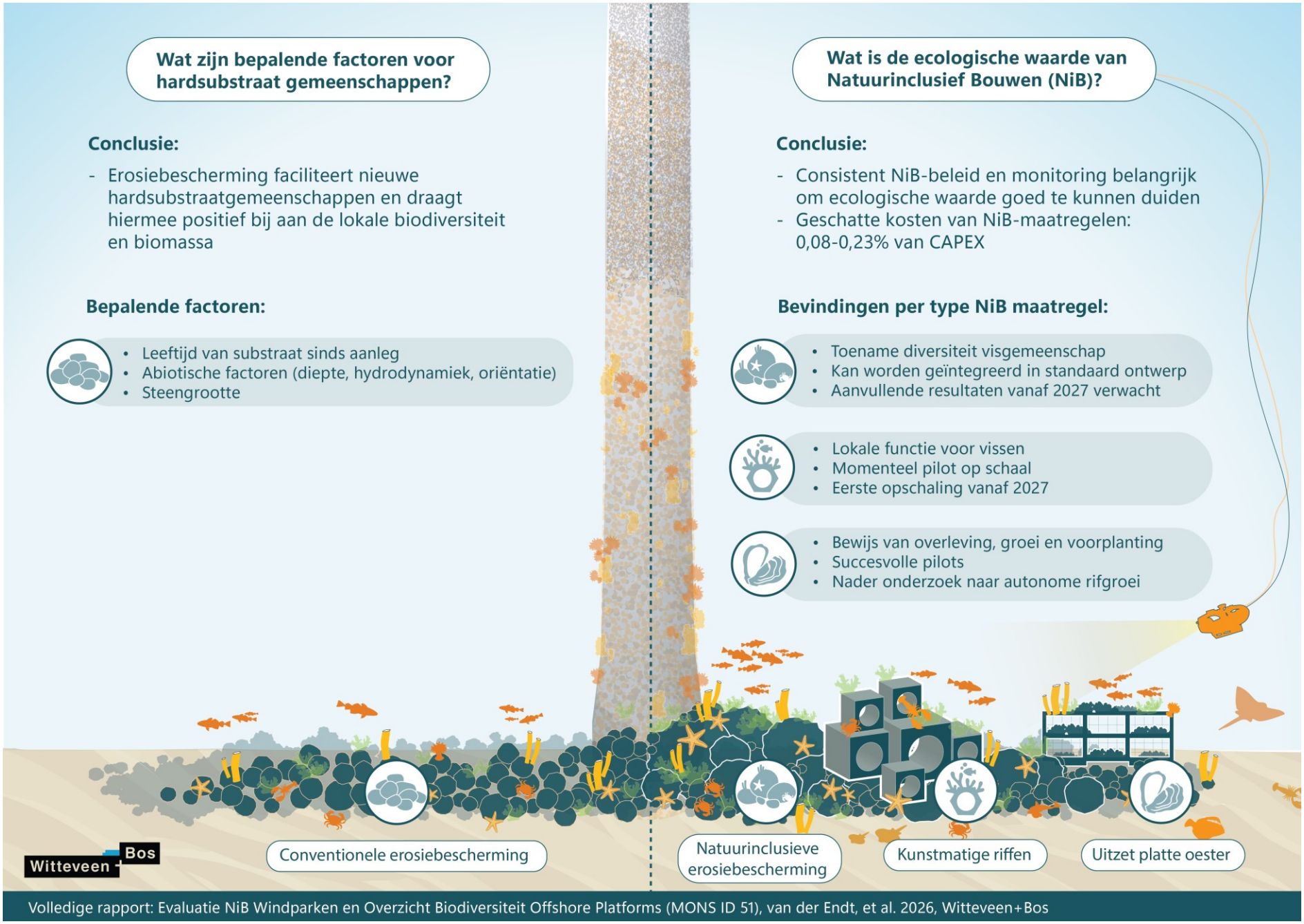
Resultaten

Uit dit onderzoek blijkt dat erosiebescherming bij windparken en olie- en gasplatforms nieuw habitat vormt dat lokaal biodiversiteit en biomassa vergroot. Ook fungeert het als kraamkamer en stapsteen voor soorten. De ecologische waarde hangt af van omgevingscondities, ontwerp, steengrootte/stabiliteit en vooral de 'leeftijd' van het substraat, waarbij gemeenschappen pas na 5-10 jaar stabiliseren.

De bewijsvoering voor specifieke NiB-maatregelen is voorlopig beperkt: oesterherstelprojecten blijken op korte termijn succesvol, maar het is onduidelijk of dit tot rif vorming leidt. Voor kunstmatige riffen of natuurinclusieve erosiebescherming zijn er enkele positieve resultaten, maar er is onvoldoende langdurige monitoring. De kosten voor NiB worden geschat op ongeveer € 90.000-250.000 per turbine. De geschatte kosten om NiB toe te passen zoals voorgeschreven in het meest recente kavelbesluit (Nederwiek (zuid) I-A) zijn ongeveer 0,23 % van de investeringskosten (*CAPEX*) van het windpark. Voor monitoringskosten zijn slechts twee voorbeelden aangeleverd. De maximale monitoringskosten worden geschat op € 500.000 per jaar. Dit komt overeen met ongeveer 0,43 % van de onderhoudskosten (*OPEX*).

Advies

Er wordt geadviseerd om consistent NiB-beleid te voeren, met gestandaardiseerde en langdurige monitoring (minimaal vijf campagnes inclusief T5 en referentielocaties), bij voorkeur gekoppeld aan Wozep en MONS en eventueel wettelijk geborgd om vergelijkbaarheid te bevorderen. Ook is het van belang dat NiB wordt geïntegreerd in het ontwerp om installatie- en (de)mobilisatiekosten te beperken en maatregelen te nemen die schaalbaar zijn. Ten slotte is het van belang om te investeren in het harmoniseren en verder ontwikkelen van monitoringstechnieken (bijvoorbeeld eDNA, ROV-sampling) en (eenmalige) aanvullende monitoring van bestaande pilots te organiseren om kennislacunes te dichten.



Volledige rapport: Evaluatie NiB Windparken en Overzicht Biodiversiteit Offshore Platforms (MONS ID 51), van der Endt, et al. 2026, Witteveen+Bos

1

INLEIDING

1.1 Aanleiding

De ontwikkeling van offshore windparken speelt een cruciale rol in de transitie naar duurzame energie in Nederland. De Nederlandse overheid heeft als ambitie om in deze transitie negatieve effecten op het mariene ecosysteem te minimaliseren en waar mogelijk meerwaarde te stimuleren (Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat et al., 2022). Recenter zijn dergelijke ambities ook opgenomen in Europese wetgeving, waarbij onder andere natuurherstel op zee op verschillende wijzen wordt gestimuleerd (Natuurherstel Verordening - Verordening (EU) 2024/1991, 2024; Net Zero Industry Act - Verordening (EU) 2024/1735 v, 2024).

Invulling van deze ambities is onder andere het opnemen van voorschriften ten aanzien van Natuurinclusief Bouwen (NiB) in kavelbesluiten van offshore windparken. Hiermee wordt de windparkontwikkelaar verplicht maatregelen ten behoeve van natuur te nemen. In de zomer van 2025 zijn in opdracht van het Ministerie van Landbouw, Visserij, Voedselzekerheid en Natuur (LVVN) de NiB-voorschriften van de kavelbesluiten van de windenergiegebieden Borssele tot en met Nederwiek (zuid) geëvalueerd (van der Endt et al., 2025). Voorliggend rapport bouwt door op deze analyse door dieper in te gaan op de ecologische waarde van NiB, als onderdeel van het programma Monitoring Onderzoek Natuurversterking Soortbescherming (MONS) (ID 51, (Overlegorgaan Fysieke Leefomgeving, 2024)).

Daarnaast is onderzocht welke ecologische waarden voorkomen op olie- en gasplatforms en de bijbehorende erosiebescherming. Dit is relevant, omdat deze erosiebescherming in zekere mate vergelijkbaar is met de erosiebescherming rondom turbines van offshore windparken. Bovendien zijn olie- en gasplatforms vaak al decennia langer aanwezig dan windparken op zee, waardoor de ecologische gemeenschappen zich verder hebben kunnen ontwikkelen. Door onderzoek te doen naar deze locaties, ontstaat inzicht in de mogelijke toekomstige ontwikkeling van ecologische gemeenschappen in windparken.

Doel

Het gemeenschappelijke doel van bovenstaande werkzaamheden is het inzicht in effectieve NiB-maatregelen te verbeteren. Voor de twee onderzoeksrichtingen gelden de volgende twee doelen:

- inzicht krijgen in de samenstelling en ecologische waarde van hardsubstraatgemeenschappen op de erosiebescherming bij olie- en gasplatforms op basis van een literatuuranalyse;
- het bepalen van de ecologische (meer)waarde van Natuurinclusief Bouwen (NiB) maatregelen in Nederlandse windparken op basis van de meest recente monitoringsdata en kennis.

Definitie Natuurinclusief bouwen
Natuurinclusief Bouwen, ook wel *Nature Inclusive Design* (NID), wordt in dit rapport beschouwd vanuit het perspectief van de NiB-voorschriften vanuit de kavelbesluiten voor wind op zee. Sinds de windenergiegebieden Borssele (2016) is een dergelijk voorschrift onderdeel van het kavelbesluit. De inhoud en de voorwaarde van dit voorschrift zijn bij ieder opvolgend kavelbesluit aangepast. Het meest recente voorschrift is opgenomen in bijlage I, als voorbeeld. Omdat dit onderzoek zich richt op de ecologische (meer)waarde van NiB, is NiB voor deze studie gedefinieerd als: *Natuurinclusief Bouwen is een verandering van het conventionele technisch ontwerp van windparken, door aanpassingen van of toevoegingen aan de erosiebescherming, introductie van kunstmatige riffen, of aanpassingen van de turbinepaal ten behoeve van de (verhoging van de) ecologische waarde.*

Definitie ecologische waarde
In dit rapport beschouwen we ecologische waarde primair als *een toename in biodiversiteit en biomassa*. Bewust is biodiversiteit niet nader gespecificeerd, maar juist als containerbegrip gebruikt voor soortenrijkdom, soortensamenstelling en/of abundantie, zodat studies niet bij voorbaat uitgesloten worden. Daarnaast zijn voor NiB ook ecologische functies als voedsel, veiligheid (schuilplaats) en voortplanting (kwalitatief) beschouwd als ecologische waarde. Ten slotte zien we succesvolle uitzettingen van oester(spat) ook als verhoging van de ecologische waarde. Er is sprake van succes als er overleving, groei en/of voortplanting van platte oester (*Ostrea edulis*) plaatsvindt. Dit is nader toegelicht in paragraaf 2.2.1 en Tabel 2.1.

1.2 Leeswijzer

Het rapport is opgebouwd door te starten met een beschrijving van de gehanteerde methode (Hoofdstuk 2). Daarna worden de uitkomen van de literatuurstudie van hardsubstraatgemeenschap van erosiebescherming van olie-/gasplatforms beschreven (Hoofstuk 3). In Hoofstuk 4 worden de resultaten van de NiB maatregelen in windparken besproken middels drie verschillende categorieën NiB, te weten: natuurinclusieve erosiebescherming, kunstmatige riffen en het uitzetten van oesters. De analyse van de gemaakte kosten worden beschreven in Hoofdstuk 5 waarna in Hoofdstuk 6 afgesloten worden met een conclusie en adviezen. Hoofdstuk 7 detailleert de gehanteerde referenties.

2

METHODE

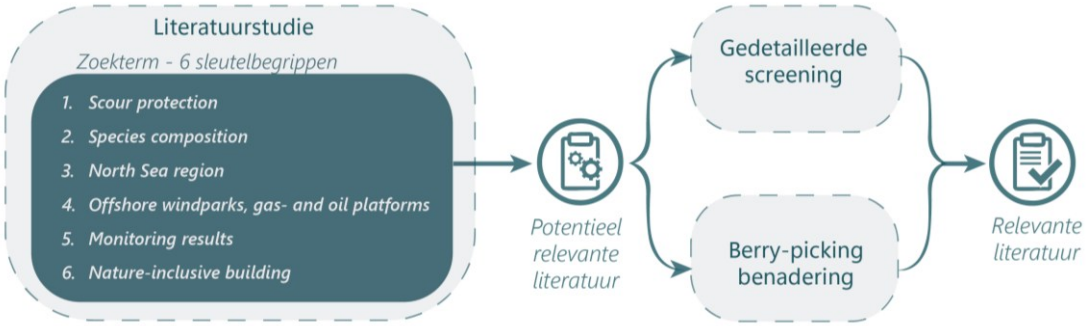
2.1 Literatuurstudie

Om inzicht te krijgen in de soortensamenstelling en ecologische waarde van hardsubstraatgemeenschappen op de erosiebescherming bij olie-/gasplatforms en windparken in de Noordzee of vergelijkbare wateren, is een semi-systematische literatuurstudie uitgevoerd (Afbeelding 2.1). Hierbij is een gestructureerde zoekstrategie gecombineerd met aanvullende selectie op basis van relevantie (zie bijlage II voor een overzicht van de zoekopdracht). De literatuurstudie richt zich op empirische, bij voorkeur peer-reviewed monitoringsstudies (2000-2026) over macrofauna en macroflora op erosiebescherming rondom offshore olie- en gasplatforms en windturbines in de Noordzee en andere gematigde zeeën.

Zoekstrategie

Om tot een correcte selectie van artikelen te komen, zijn sleutelbegrippen gedefinieerd. Op basis hiervan is een Boleaanse zoekopdracht opgesteld. Deze is gebruikt in een wetenschappelijke zoekmachine [Google Scholar] om relevante literatuur te verzamelen. De sleutelbegrippen, bijhorende synoniemen en daaruit resulterende zoektermen zijn te vinden in bijlage II. Resultaten (potentieel relevante literatuur) zijn vervolgens beoordeeld op relevantie voor de huidige studie en vooraf vastgestelde inclusie- en exclusiecriteria. Deze zijn verder aangevuld via de *berry-picking benadering* (Bates, 1989), waarbij referenties in geselecteerde artikelen en door de databases gesuggereerde publicaties zijn nagegaan om relevante literatuur te vinden. Hierbij is ook grijze literatuur of meta-studies opgenomen. In dit rapport is de oorspronkelijke scope (hardsubstraatgemeenschappen op erosiebescherming bij olie- en gasplatforms) verbreed door ook windparken te betrekken in het literatuuronderzoek. Hiermee is I) de kennisbasis over hardsubstraatgemeenschappen op erosiebescherming verbreed en II) kunnen inzichten van de ecologie van hardsubstraatgemeenschappen gerelateerd worden aan de (meer)waarde van NiB-maatregelen (hoofdstuk 4).

Afbeelding 2.1: Schematisch overzicht van de toegepaste onderzoeksmethode voor de literatuurstudie



Limitaties
De studie is gelimiteerd tot de gedefinieerde zoektermen (sleutelbegrippen). Sleutelartikelen die buiten de zoekscope vallen kunnen expliciet opgenomen worden indien relevant geacht. Uitgesloten zijn studies die enkel scheepswrakken, natuurlijke hardsubstraten en betonfundamenten van offshore platforms of windturbines, om aan te sluiten bij de huidige bouwconventies op de Nederlandse Noordzee. Contextuele non-empirische of reviewartikelen worden in de inleiding en discussie gebruikt maar niet meegenomen in de beschrijvende statistiek.

Dataverwerking
De data van de relevante literatuur is samengevat en gecategoriseerd in een gestandaardiseerde dataset waarin onder meer de volgende variabelen zijn opgenomen: geografische regio, type offshore structuur (object), type en afmetingen van erosiebescherming, monitoringsmethode, onderzochte fyla, gebruikte parameter voor ecologische beoordeling, betrouwbaarheid van studiemethode en kernresultaten. Deze datasheet is te vinden in bijlage III.

Analyse
De resultaten van de verschillende geselecteerde studies zijn naast elkaar gelegd en uiteengezet (bijlage IV). Hiervan is in hoofdstuk 3 een analyse gegeven middels beschrijvende statistiek en een synthese. In de synthese is een overzicht gegeven van de uitkomsten van de onderzoeken in relatie tot ecologische waarde.

2.2 Data inwinning windparkeigenaren in relatie tot NiB

Onderzoek naar de NiB-maatregelen is tot stand gekomen in samenwerkingen met de ontwikkelaars van Nederlandse windparken op zee. Zij zijn benaderd met het verzoek om specifieke data aangaande NiB. Alle ontwikkelaars hebben positief gereageerd op dit verzoek. Over het algemeen is verwezen naar rapporten die al eerder openbaar zijn gemaakt. Deze informatie is geanalyseerd, waarna verdiepende vragen zijn gesteld. In grofweg de helft van de gevallen heeft de windparkeigenaar aangegeven geen aanvullende informatie te kunnen bieden, omdat deze niet aanwezig is of de eigenaar niet bereid was deze informatie te delen. Wanneer er informatie gedeeld is, zijn afspraken gemaakt over onder welke voorwaarde de informatie opgenomen kon worden in dit onderzoek, middels een geheimhoudingsverklaring. Dit betreft met name gegevens over de kosten (zie ook paragraaf 2.2.2). De conceptversie van dit rapport is voorgelegd aan de windparkontwikkelaars, om te borgen dat de informatie correct is verwerkt.

2.2.1 Categoriseren van NiB-maatregelen

Om een overzicht te krijgen van de verschillende NiB-maatregelen die genomen zijn in de windparken, zijn deze gecategoriseerd op basis van de classificaties beschreven in het 'Afwegingskader voor Natuurbeschermende en Natuurversterkende maatregelen van het Noordzeeoverleg' (Hermans et al., 2024). Hierbij zijn de volgende type maatregelen relevant:
- NV1 - natuurinclusieve erosiebescherming;
- NV3 - kunstmatige riffen;
- NV5 - kickstarten/introduceren van soorten;
- NV7 - waterverversingstechnieken.

Om te kunnen bepalen wat de ecologische waarde is van een maatregel, moet je dit uitzetten tegen een controle. Deze controle verschilt per maatregel. Voor aanpassingen aan de erosiebescherming (NV1) en kunstmatige riffen (NV3) is dit eenduidig: er wordt een vergelijking gemaakt tussen turbines met en zonder de maatregel (Tabel 2.1).

Bij het kickstarten van soorten (NV5) is de vergelijking complexer. In de praktijk richten deze maatregelen zich alleen op het herstel van de platte oester. Tot op heden is er geen sprake van 'natuurlijk' herstel van de platte oester in de Nederlandse Noordzee, hoewel de habitatgeschiktheid op grote delen van de Nederlandse Noordzee hoog is (Herman & van Rees, 2021; Stechele et al., 2023).

Wanneer er bewijs is van de drie factoren: groei, overleving en voortplanting van de oesters bij een herstelmaatregel, dan wordt dit als ecologische meerwaarde gezien.

NV7 - waterverversingstechnieken kent in dit onderzoek een uitzonderingspositie. Dit is toegelicht in een tekstkader in paragraaf 4.1.1. De techniek is niet verder meegenomen in dit onderzoek en dus ook niet opgenomen in Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Evaluatiecriteria per type maatregel

Afkorting	Maatregel	Evaluatiecriteria
NV1	natuurinclusieve erosiebescherming	verandering **biodiversiteit en biomassa** ten opzichte van reguliere erosiebescherming zonder NiB aanpassingen
NV3	kunstmatige riffen	verandering **biodiversiteit en biomassa** ten opzichte van reguliere erosiebescherming zonder NiB aanpassingen
NV5	kickstarten/introduceren van soorten	mate van succes van maatregel, door middel van **groei, overleving en voortplanting** van de oesters

2.2.2 Kostenanalyse NiB-maatregelen

Voor vier NiB-maatregelen zijn de kosten beschikbaar gesteld. Op verzoek van de windparkontwikkelaars zijn deze gegevens zo veel mogelijk geanonimiseerd weergegeven, zodat niet direct herleidbaar is welke kosten bij welke maatregel horen. Het doel van deze analyse is dan ook niet om tot een inschatting van kostenefficiëntie te komen, maar om een globaal beeld te geven van welke kosten bij NiB gemaakt worden.

Afweging abstractieniveau

In de verdere opwerking van de data is ervoor gekozen om aanvullende gegevens (zoals de locatie van de maatregelen, het type materiaal, installatiejaar of de installatiemethode) niet op te nemen. De primaire reden hiervoor is dat als deze context wordt gegeven, de kosten herleidbaar zou zijn tot specifieke ontwikkelaars. Dit is strijdig met de gemaakte afspraken waaronder de gegevens beschikbaar zijn gesteld.

In analyse (hoofdstuk 5) is de balans gezocht tussen een zo goed mogelijk inzicht bieden in de welke kosten bij NiB-maatregelen horen en hoe die zich tot elkaar verhouden, zonder dat deze gegevens terug te leiden zijn naar individuele ontwikkelaars.

Om tot een eenduidige analyse te kunnen komen, zijn de data in drie stappen opgewerkt. Deze stappen zijn hieronder uitgewerkt.

Stap 1 - categorisering kostenposten

De verschillende maatregelen waarvoor kosten bekend zijn, zijn ten behoeve van de navolgbaarheid willekeurig geletterd (*NiB A-D*). Voor zover mogelijk zijn de meerkosten van de NiB maatregelen uitgesplitst in de volgende categorieën[1]:

- **installatie**: kosten voor het vaartuig en bemanning tijdens de installatie;
- **materiaal**: kosten van alle te installeren materialen;
- **mobilisatie/demobilisatie**: kosten voor het opzetten en starten van offshore werkzaamheden. Dit omvat het vervoeren van personeel, uitrusting en materialen naar de offshore locatie, evenals kosten gemaakt na voltooiing van de installatie (bijvoorbeeld transport terug naar de haven);
- **onvoorzien / onzeker**: dit zijn zowel aanvullende onvoorziene kosten, onder andere weer verletten, als onzekerheden, doordat installatie bijvoorbeeld nog moet plaatsvinden;

[1] Er zijn geen kostgegevens over ontmanteling beschikbaar gesteld en deze zijn dan ook niet opgenomen. Ontmantelingskosten van een windpark kunnen substantieel zijn (Mancini et al., 2025), maar er is geen inzicht of NiB-maatregelen hierin kosten verhogend zouden kunnen zijn.

- **monitoringskosten**: kosten voor ecologische monitoring van de NiB-maatregel, tijdens de 'gebruiksfase' van de maatregel;
    - Monitoringskosten zijn apart beschouwd, omdat hiervoor van twee maatregelen gegevens beschikbaar waren (*Monitoring 1* en *2*).

Een overzicht van aangeleverde kostgegevens van de verschillende maatregelen per categorie is gegeven in Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Overzicht van welke gegevens aangeleverd zijn per NiB maatregel

	NiB A	*NiB B*	*NiB C*	*NiB D*
installatie	X	X	X - als bandbreedte	X - als bandbreedte
materiaal	X	X	X	
(de)mobilisatie	X	X	ondervangen binnen andere categorie	
onvoorzien / onzeker	X	X		X

Voor een deel van de gegevens geldt dat de kosten niet gespecificeerd kunnen worden tot een bepaalde categorie, maar dat deze zijn ondervangen in kosten van een andere categorie. Een voorbeeld hiervan is *NiB C*, waarbij de installatiekosten zijn gegeven als een bandbreedte. Deze bandbreedte is opgenomen onder de post 'onvoorzien / onzeker', waarbij ook de (de)mobilisatie is inbegrepen.

Stap 2 - uniformiteit en indexactie

Om tot een eerlijke vergelijking te komen, zijn kosten uit het verleden gecorrigeerd voor inflatie, naar d.d. oktober 2025 (Centraal Bureau voor Statistiek, 2025). Ook is geborgd dat alle kosten exclusief BTW zijn.

Stap 3 - relatieve kosten per locatie

Om de relatieve kosten van maatregelen uit te drukken, zijn de totale kosten gedeeld door het aantal maatregel locaties. Dit zijn het aantal turbines waar een aanpassing is gedaan of het aantal kunstmatige riffen dat geplaatst is. Dit is vervolgens afgerond op € 10.000. Daarnaast is de onderverdeling van de relatieve kosten per kostencategorie van de vier verschillende maatregelen weergegeven. Deze gegevens zijn in hoofdstuk 5 opgenomen. In hoofdstuk 6 is een inschatting gemaakt hoe deze kosten relateren tot de totale investeringskosten van een windpark op zee.

3

RESULTATEN HARDSUBSTRAATGEMEENSCHAPPEN

Dit Hoofdstuk presenteert de resultaten van de semi-systematische literatuurstudie van hardsubstraatgemeenschap van erosiebescherming van olie-/gasplatforms. Deze studie richt zich op de soortensamenstelling en ecologische waarde van hardsubstraatgemeenschappen op erosiebescherming, zoals beschreven in paragraaf 2.1. Hierbij zijn ook de effecten van het toepassen van NiB onderzocht, maar er is geen gepaste literatuur over gevonden.

Resultaten zoekfase en geselecteerde artikelen
De eerste zoekfase leverde 136 hits op, waarvan 22 reviewstudies. Hiervan zijn 26 publicaties beoordeeld als 'potentieel relevant'. Deze zijn vervolgens in detail doorgelicht en beoordeeld op relevantie voor de huidige studie en vooraf vastgestelde inclusie- en exclusiecriteria zoals toegelicht in paragraaf 2.1. Dit heeft zes relevante publicaties opgeleverd. Gelijktijdig leverde de *berry-picking* benadering (Bates, 1989) een aanvullende relevante publicatie op. Dit selectieproces heeft dus geleid tot een totaal zeven studies, die allemaal zijn uitgevoerd in de zuidelijke Noordzee (bijlage III bevat een overzicht dat de dataset).

3.1 Beschrijvende statistiek

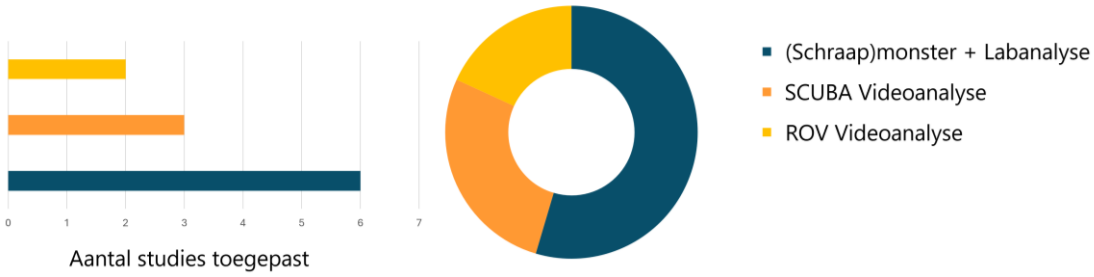
De geselecteerde relevante artikelen zijn gepubliceerd tussen 2000 en 2026. De meerderheid (4/7) van deze literatuur is in de afgelopen vijf jaar gepubliceerd. Er zijn minder publicaties opgenomen met betrekking tot erosiebescherming rondom olie- en/of gasplatformen (3/7) ten opzichte van publicaties over windparken (4/7).

Meetmethode
Voor monitoring zijn verschillende monitoringstechnieken gebruikt, zie Afbeelding 3.1. Het merendeel van de studies (5/7) maakten gebruik van (schraap)monsters afgenomen door duikers, soms in combinatie met videoanalyse (3/7). Bij twee studies zijn videobeelden uitsluitend gemaakt door Remotely Operated Vehicles (ROVs). In vier van de negen studies is gebruik gemaakt van een combinatie van meetmethoden. Opvallend is dat er, zeker in de recentere publicaties, weinig gebruik gemaakt wordt van nieuwe (state-of-the-art) monitoringstechnieken zoals aangepaste ROVs (met grijparm) voor het afnemen van schraapmonsters of kleine stenen van de erosiebescherming, zoals beschreven in. Ook is in geen van de studies gebruik gemaakt van eDNA-analyse. Mogelijke verklaringen hiervoor zijn dat bemonstering door duikers al veelvuldig is uitgevoerd en betrouwbaarheid van datacollectie gewaarborgd is middels deze methode ten opzichte van het gebruiken van (uitsluitend) ROVs. In de studies waarin ROVs zijn toegepast, wordt benoemd dat de beperkingen van ROV-videoanalyse (hoge vertroebeling of lage resolutie van beelden) het identificeren van kleine (macro)fauna en zeldzame soorten bemoeilijken en ecologische waarden hierdoor mogelijk onderschat worden. Desalniettemin is er behoefte aan monitoringstechnieken die lagere kosten, arbeidsintensiviteit en gezondheidsrisico's met zich meebrengen (Coolen et al., 2025; Coolen, Wijnhoven, et al., 2022).

Tabel 3.1 Overzicht van de relevante publicaties uit de semi-systematische literatuurstudie en bijhorende studiespecificaties. Publicaties zijn gesorteerd op type object bij erosiebescherming en publicatiejaar

Referentie	Regio (land)	Locatie	Steengrootte (diameter in cm)	Object bij erosie-bescherming	Monitoringsmethode toegepast	Taxa onderzocht	Parameters voor ecologische waarde in studie
Leonhard & Pedersen, 2006	Noordzee (Denemarken)	Horns Rev 1	onbekend	windturbines	schraapmonsters (duikers) + lab-analyse; videoanalyse (duikers)	annelida, arthropoda, bryozoa, chordata, cnidaria, echinodermata, mollusca, nematoda, porifera, macroalgae	biodiversiteit
Bouma & Lengkeek, 2013	Noordzee (Nederland)	Offshore Windpark Egmond aan Zee (OWEZ)	verschillende afmetingen	windturbines	schraapmonsters (duikers) + lab-analyse; videoanalyse (duikers)	annelida, arthropoda, bryozoa, cnidaria, echinodermata, mollusca, nematoda, porifera, macroalgae	biodiversiteit
Vanagt & Faasse, 2014	Noordzee (Nederland)	Prinses Amaliawindpark (PAWP)	18,5 - 50	windturbines	schraapmonsters (duikers) + lab-analyse; videoanalyse (duikers)	annelida, arthropoda, bryozoa, chordata, cnidaria, echinodermata, mollusca, nematoda, porifera, macroalgae	biodiversiteit, biomassa
ter Hofstede et al., 2022	Noordzee (Nederland, België)	Gemini, Luchterduinen, Prinses Amalia, Belwind	verschillende afmetingen	windturbines	videoanalyse (ROV)	annelida, arthropoda, chordata, cnidaria, echinodermata, mollusca, porifera	biodiversiteit
Coolen et al., 2018	Noordzee (Nederland)	verschillende platforms	5 - 50	olie- en gasplatforms	schraapmonsters (duikers) + lab-analyse	arthropoda, bryozoa, chordata, cnidaria, echinodermata, mollusca, nematoda	biodiversiteit, biomassa
Coolen et al., 2020	Noordzee (Nederland)	Halfweg	10 -70	olie- en gasplatforms	schraapmonsters (duikers) + lab-analyse	annelida, arthropoda, bryozoa, chordata, cnidaria, echinodermata, mollusca, nematoda, porifera	biodiversiteit, biomassa
Schutter et al., 2021	Noordzee (Nederland, Denemarken)	verschillende platforms	verschillende afmetingen	olie- en gasplatforms	videoanalyse (ROV)	annelida, arthropoda, chordata, cnidaria, echinodermata, mollusca, porifera, macroalgae	biodiversiteit

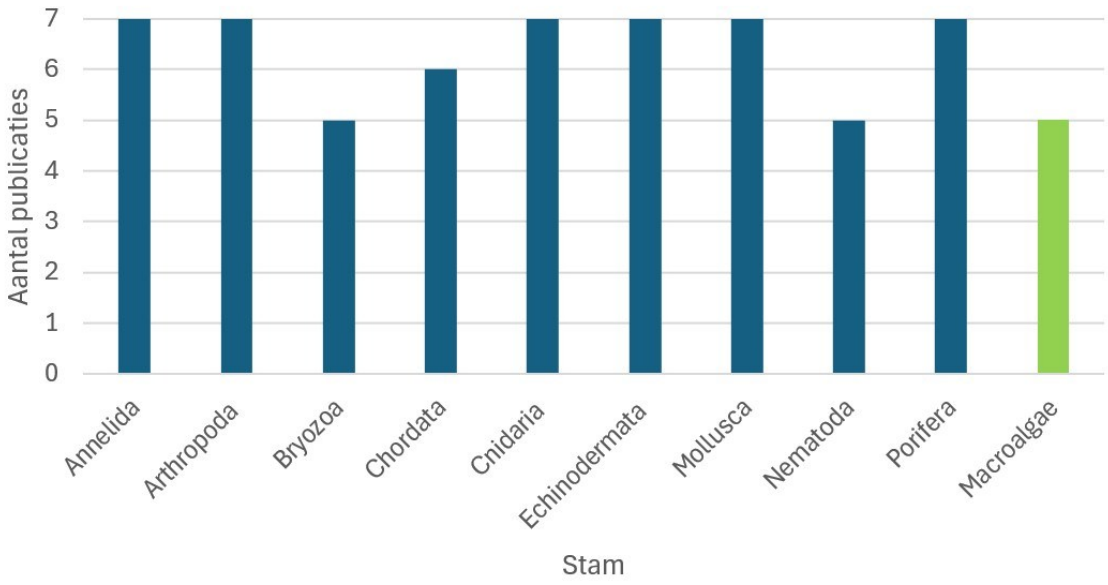
Afbeelding 3.1 Toegepaste monitoringstechnieken in de gevonden publicaties



Verschillende stammen

In alle studies is het voorkomen van arthropoda (kreeftachtigen), cnidaria (neteldieren), echinodermata (zeesterren en -egels) en mollusca (weekdieren) onderzocht (Afbeelding 3.2). Van de negen gemonitorde soortengroepen flora en fauna zijn in alle zeven publicaties minstens 7-9 stammen onderzocht. In drie van de zeven studies zijn ook macroalgen (zeewier) onderzocht. Hierdoor is de ecologische waarde van erosiebescherming met name toegeschreven aan de (toename van) biodiversiteit en biomassa voor fauna.

Afbeelding 3.2 De verschillende onderzochte soortengroepen (fyla) en het bijhorende aantal publicaties waarin de betreffende stam is onderzocht. Blauw = fauna, groen = flora



Parameter voor ecologische waarde

Ecologische waarde is in alle publicaties gemeten als (veranderingen in) biodiversiteit (7/7), waarbij voor drie studies ecologische waarde ook in biomassa is uitgedrukt. Biodiversiteit is uitgedrukt in verschillende parameters zoals soortenrijkdom (6/7), gemeenschapsstructuur (7/7), abundantie (3/7) en soortendichtheid (3/7). De eenheid waarin dit is uitgedrukt, verschilt ook: van de zes studies waarbij de soortenrijkdom is onderzocht, wordt dit in vier studies uitgedrukt per m^2, terwijl de twee overige studies simpelweg het aantal geobserveerde soorten weergeven. Biodiversiteit is in twee studies gekwantificeerd met de Shannon-Wiener index of Simpson Index. Er is dus geen uniformiteit over hoe ecologische waarde wordt uitgedrukt in de verschillende studies.

3.2 Synthese

In bijlage IV zijn de zeven artikelen uit de literatuurstudie beschreven. Deze paragraaf beschrijft een synthese van de literatuurstudie.

Ecologische waarde

Met de geselecteerde relevante literatuur is inzicht verkregen in de soortensamenstelling en ecologische waarde van erosiebescherming zowel in windparken als bij olie- en gasplatformen. Hieruit blijkt dat de erosiebescherming een nieuwe hardsubstraatgemeenschap faciliteert en hiermee positief bijdraagt aan de lokale biodiversiteit[1] en biomassa. Bevindingen met betrekking tot ecologische waarde zijn weergegeven in Tabel 3.2.

Voor de meeste studies geldt dat de relatie met het omliggend zacht substraat niet is onderzocht. Waar deze relatie is onderzocht, lijkt dit positief te zijn: twee studies vonden grote diversiteit in habitats en hieruit volgende verschillen in soortensamenstelling tussen hard- en zacht substraten (Leonhard & Pedersen, 2006; ter Hofstede et al., 2022). Dit beeld komt overeen met een meta-analyse van ecologische waarde van alle typen kunstmatige structuren (o.a. scheepswrakken, olie- en gasplatforms en windparken) (Lemasson et al., 2024). Uit deze grootschalige meta-analyse (waarbij niet gespecifieerd is naar erosiebescherming) blijkt dat kunstmatige structuren een duidelijk positief effect hebben op abundantie en biodiversiteit. Dit effect is bij windparken en olie- en gasplatforms minder uitgesproken. Er is ook onderzoek waaruit blijkt dat biodiversiteit op erosiebescherming en rond olie- en gasplatforms soms zelfs hoger kan zijn dan natuurlijke riffen, zoals de Borkumse stenen (Mavraki et al., 2025). De positieve effecten op ecologie en mogelijke verklaringen daarvoor zijn in de volgende secties uitgewerkt.

Tabel 3.2 Resultaten over ecologische waarde (biodiversiteit, biomassa) per studie naar erosiebescherming in windparken en bij olie- en gasplatforms. Waar bekend is de steengrootte van de erosiebescherming gegeven. Hierbij is met kleuren een indicatie gegeven van het effect van erosiebescherming op de ecologische waarde ten opzichte van omliggend zacht substraat, waarbij groen = positief effect op ecologische waarde; kleurloos = (relatie met zacht substraat) niet onderzocht

Referentie	Locatie en steengrootte (waar bekend)	Object bij erosiebescherming	Biodiversiteit op erosiebescherming	Biomassa op erosiebescherming
Leonhard & Pedersen, 2006	Horns Rev 1	windturbines	7 dominante soorten verantwoordelijk voor >98 % van de totale abundantie. Toename in gemiddelde abundantie over tijd (2003: ±31000/ m^2; 2005: ±73000/ m^2). Biodiversiteit (soortensamenstelling) is seizoensgebonden en sterk afhankelijk van tijd sinds aanleg van erosiebescherming door successie en dominante koloniserende soorten	2003: 7 dominante soorten verantwoordelijk voor 59-97 % van de totale biomassa (±250 g nat gewicht/m^2) op erosiebescherming; 2005: 7 dominante soorten verantwoordelijk voor 47-60 % van de totale biomassa (±350 g nat gewicht/m^2) op erosiebescherming;
Bouma & Lengkeek, 2013	Offshore Windpark Egmond aan Zee	windturbines	35 soorten waargenomen; hoge soortendichtheid op erosiebescherming (o.a. 2500 anemonen/m^2, 180 zeesterren/m^2) ten opzichte	niet onderzocht

[1] Wanneer exoten worden geïntroduceerd, kan dit tegelijkertijd een positief effect hebben op de biodiversiteit én een negatiefeffect op het bredere ecosysteem, wanneer deze exoot zich ongebreideld zou gaan verspreiden (invasieve soort). Hoewel het aantal geobserveerde exoten beperkt is, zijn ecologische consequenties onzeker (Mavraki et al., 2025). Dit onderwerp is niet nader beschouwd.

Referentie	Locatie en steengrootte (waar bekend)	Object bij erosiebescherming	Biodiversiteit op erosiebescherming	Biomassa op erosiebescherming
			van turbinepaal & zacht substraat	
Vanagt & Faasse, 2014	Prinses Amaliawindpark; 18,5 - 50 cm	windturbines	41 soorten waargenomen; 1,552 ± 1,326 individuen/m^2 H'= 1,49 (Shannon-Wiener) D = 0,636 (Simpson)	32,23 ± 28,17 g/m^2 (drooggewicht)
ter Hofstede et al., 2022	Variërend	windturbines	41 soorten waargenomen; soortenrijkdom en abundantie gemiddeld hoger op erosiebescherming dan zacht substraten (m.u.v. Luchterduinen)	Niet onderzocht
Coolen et al., 2018	Zuidelijke Noordzee; 5-50 cm	erosiebescherming bij olie- en gasplatforms & windparken	biodiversiteit vergelijkbaar met andere natuurlijke stenen	Niet onderzocht
Coolen et al., 2020	Halfweg GBS; 10-70 cm	erosiebescherming bij olie- en gasplatforms	44 soorten waargenomen; D = 0,71 (Simpson)	Biomassa (drooggewicht) van erosiebescherming + beton (204 ± 20 g/m^2) hoger dan voor zacht substraat (65 ± 8 g/m^2)
Schutter et al., 2021	Zuidelijke Noordzee (NL/DK)	erosiebescherming bij windparken	38 soorten waargenomen; Soortenrijkdom en Shannon-index gelijk voor Noordelijke- en Zuidelijke cluster (H' = 2,5 ± 0,2 SE (Shannon); soortenrijkdom S = 14,9 ± 2,5 SE); Verschil in (Braun-Blanquet) abundantie tussen clusters (Zuid = 5.5 ± 0.1 SE (n = 417); Noord = 6.7 ± 0.1 SE (n = 1211)	Niet onderzocht

Bepalende factoren voor ecologische waarde

Er zijn aantoonbare verschillen in de biodiversiteit tussen verschillende locaties en type offshore objecten. Hiervoor worden meerdere verklaringen gegeven in de behandelde literatuur. Allereerst spelen (hydro)fysische omstandigheden en dynamiek een grote rol (Coolen et al., 2018; Leonhard & Pedersen, 2006; Vanagt & Faasse, 2014). Ook zijn gebieden dichter bij de kust over het algemeen meer voedselrijk, wat kansen biedt voor andere soorten dan gebieden verder uit de kust (Coolen, Vanaverbeke, et al., 2022). Mavraki et al. (2025) vonden juist dat de hardsubstraatgemeenschap van de Klaverbank duidelijk anders was van een nabijgelegen olieplatform. Hierbij is een locatieverschil dus geen goede verklaring voor het verschil in gemeenschap, maar zijn andere processen waarschijnlijk dominant.

Zo lijkt de biodiversiteit toe te nemen over diepte. Daarbij is op de erosiebescherming van windturbines sprake van zonering waarbij, afhankelijk van de aftstand tot de turbinepaal, verschillen in soortensamenstelling worden gevonden. De zonering en mate van overlap zijn afhankelijk van de diameter (omvang) van de erosiebescherming, maar er zijn significante verschillen tussen de soortensamenstelling binnen twee meter van de turbinepaal en verder weg (2 m - periferie) (Leonhard & Pedersen, 2006).

De mate waarin de steengrootte van de erosiebescherming invloed heeft op de ecologische waarde, is alleen onderzocht voor Borssele III & IV met behulp van ROV beelden.

Er is onderscheid gemaakt tussen de filter layer van de steenbestorting (5-10 cm) en de armour layer (10-20 cm) (Leewis et al., 2024). Na drie jaar was de bedekking gemiddeld 45 % op de *armour layer*, terwijl begroeiing op de *filter layer* slechts 20 % was. Dit komt waarschijnlijk door het meer dynamische karakter van de *filter layer*, waarbij de kleinere stenen mobieler zijn bij sterke stroming en vaker met zand worden bedekt.

Opvallend is dat er in de studie van Leonhard & Pedersen (2006) géén significante verschillen in soortgemeenschap werden gevonden tussen de erosiebescherming aan de zijde van de dominante stromingsrichting en de lijzijde van de turbine. Dit is in tegenstelling tot de studie van Vanagt & Faasse (2014), waarin oriëntatie juist wel invloed op soortensamenstelling lijkt te hebben. Ook de habitatcomplexiteit (Coolen, Bittner, et al., 2020; Coolen et al., 2018; Leonhard & Pedersen, 2006; Schutter et al., 2019) en het hardsubstraattype (Coolen, Bittner, et al., 2020; Coolen et al., 2018) worden genoemd als belangrijke factor in onderlinge verschillen in biodiversiteit.

Tot slot speelt de leeftijd sinds aanleg van de erosiebescherming een belangrijke rol. De hardsubstraatgemeenschap wordt kort na aanleg vaak gedomineerd door enkele soorten, die gezamenlijk het overgrote deel (>99 %) van de totale biomassa uitmaken (Bouma & Lengkeek, 2013; Coolen, Vanaverbeke, et al., 2022; Leonhard & Pedersen, 2006). Het is waarschijnlijk dat ecologische waarde van steenbestorting over tijd toeneemt. Degraer et al. (2020) verwacht dat de soortensamenstelling stabiliseert na minimaal 5 jaar na aanleg. Het is echter ook goed mogelijk dat de ecologische ontwikkeling langer duurt (decennia). Dit volgt bijvoorbeeld uit de meta-analyse van Lemasson et al. (2024), waarbij werd gevonden dat toename in abundantie en biodiversiteit op scheepswrakken groter is dan de toename bij olie- en gasplatforms en windparken. Ook Zupan et al. (2023) concluderen naar 11 jaar dat de ecologische gemeenschap in twee Belgische windparken nog niet is gestabiliseerd. Mogelijk komt dit door de dynamische omstandigheden van deze parken. Het is waarschijnlijk dat de combinatie van de leeftijd van de windparken en de mate van dynamiek in het gebied belangrijke bepalende factoren zijn in de ecologische waarde van de hardsubstraatgemeenschappen.

Ecologische functies

Naast het bieden van een nieuw habitattype voor een scala aan (epi)fauna en macroalgen, komen in de geanalyseerde studies verschillende andere ecologische functies naar voren. De hardsubstraatgemeenschappen op erosiebescherming vormen een voedselbron voor juveniele vissen en (mobiele) benthische fauna (Bouma & Lengkeek, 2013; Leonhard & Pedersen, 2006; Mavraki et al., 2021). De verhoogde voedselbeschikbaarheid maakt de erosiebescherming een hotspot voor biodiversiteit (Degraer et al., 2020). Naast de ecologische functie als foerageergebied wordt ook benoemd dat erosiebescherming in windparken een kraamkamerfunctie heeft of kan dienen als toevluchtsoord voor bijzondere soorten. In die context noemen Leonhard en Pedersen (2006) specifiek de tere platschep (*Angulus tenuis*) en gestekelde zandkokerworm (*Sabellaria spinulosa*). Onder andere zandkokerwormen, maar ook mosselen en oesters, kunnen een faciliterende functie voor andere soorten hebben als biogeen rif, die niet alleen op de steenbestorting, maar ook daaromheen voor zouden kunnen komen. Hardsubstraatgemeenschappen kunnen ook invloed hebben op de ruimtelijke verdeling van zachtsubstraat (vis)soorten en het voedselaanbod in het omliggend zacht substraat (Buyse, Hostens, et al., 2023; Buyse, Reubens, et al., 2023). De productie (gemeten als biomassa x productiviteit) lijkt verhoogd tot 250 m van de turbinepaal (Dannheim, Beermann, et al., 2025). Daarnaast kunnen soorten die normaal gesproken niet (meer) voorkomen in de Noordzee windturbines en bijbehorende erosiebescherming als stapstenen gebruiken waardoor deze soorten zich toch kunnen verspreiden (Coolen, Boon, et al., 2020; Degraer et al., 2020). Hierbij is de kwaliteit van de tussenliggende gebieden (zoals van windpark naar windpark) wel van belang. Menselijke invloeden, zoals bodemberoerende visserij, hebben mogelijk een sterke invloed op de kwaliteit van gebieden tussen windparken en daarmee de het ‘stapsteen’ effect. Deze interactie is in genoemde onderzoeken niet beschouwd.

Conclusie

Het algemene beeld dat uit de literatuur naar voren komt, is dat erosiebescherming een verhoogde ecologische waarde (zie definitie in hoofdstuk 1) kan bieden. De bewijsvoering hiervoor is beperkt; in veel studies wordt geen vergelijking getrokken tussen het oorspronkelijke habitat (zachtsubstraat) en de erosiebescherming (hardsubstraat). Hier is echter wel data voor beschikbaar, die zou kunnen ondersteunen bij systematische vergelijkingen of analyse van monitoringsdata (Dannheim, Kloss, et al., 2025). Op basis van de onderzoeken uit de literatuurstudie gepresenteerd in dit rapport is geconcludeerd dat met name habitatcomplexiteit en de 'leeftijd' van de erosiebescherming een bepalende rol hebben bij de ecologische waarde van de hardsubstraatgemeenschappen. Daarnaast biedt erosiebescherming andere ecologische functies, zoals voedselbron voor vissen, krabben en kreeften, het vervullen van een kraamkamerfunctie en het bieden van toevluchtsoord voor soorten.

4

RESULTATEN NIB WINDPARKEN

In dit Hoofdstuk zijn de NiB-maatregelen en hun ecologische meerwaarde gegeven. Een overzicht van NiB-maatregelen per windpark is gegeven in Tabel 4.1. In totaal zijn tien maatregelen beschouwd, waarvan drie Natuurinclusieve erosiebescherming (NV1), drie kunstmatige riffen (NV3) en vier projecten met oesteruitzet (NV5).

Tabel 4.1 Overzicht van NiB-maatregelen per windpark. NV verwijst naar de verschillende typen van natuurversterking (zie paragraaf 2.2.1)

Kavel	Windpark-eigenaar	Installatie jaar NiB-maatregel	Type maatregel	Genomen maatregel
Gemini buitengaats	Gemini	2017	NV5 - introductie van volwassen oesters	uitzet 8 oesterkooien
Eneco Luchterduinen	Eneco	2018 en 2022	NV5 - introductie van volwassen oesters	uitzet 3 oestertafels en uitzet van volwassen oester
Borssele I & II	Ørsted / NBIM	2024	NV5 - introductie van oesterbroed	bij 2 turbines droppable oyster structures (DOS) op erosiebescherming en bio-based kubussen
Borssele I & II	Ørsted / NBIM	2020 en 2021	NV3 - kunstmatige riffen	op 4 locaties (niet op/bij turbines) pijpriffen t.b.v. kabeljauw, 2 op bed van stenen, gelijk aan erosiebescherming
Borssele III & IV	Blauwwind	2020	NV5 - introductie van volwassen oesters	4 turbines: uitzet van platte oester (600-1.000 adulte oesters per turbine). Variatie erosiebescherming: in type stenen, structuren, kalkrijk materiaal
Borssele V	Two Towers B.V. / Octopus Energy Generation	2020	NV3 - kunstmatige riffen; NV5 - combinatie van introductie van volwassen oesters en oesterbroed	2 turbines (100 %): 4 kooien per turbine met 3 typen substraat (graniet, silex, zandsteen, oesterschelpen) volwassen oesters (30 per kooi) en 4 broedstock elementen met 250 volwassen oesters per element
HK(z) I-IV	Vattenfall	2022	NV1 - natuurinclusieve erosiebescherming	bij 4 turbines: groepen van grote stenen (700-1.000 kg, totaal cluster van ca 8 m diameter en 1,5-2 m hoog)
HK(n) V	Crosswind	2023	NV1 - natuurinclusieve erosiebescherming	22 turbines met 2 bermen en 20 turbines met 1 berm van kalkrijkmateriaal breuksteen op de erosiebescherming
HK(w)	Ecowende	2026 (beoogd)	NV1 - natuurinclusieve erosiebescherming	verschillende NiB-ontwerpen met aangepaste steensortering (o.a. 60-300 kg), in totaal bij 29 turbines, waarbij 12 turbines voldoen aan het NiB-voorschrift
HK(w)	OranjeWind	2027 (beoogd)	NV3 - kunstmatige riffen	plaatsen van 6 Reef cubes bij 11 turbines (totaal 66 structuren)

4.1 NV1 Natuurinclusieve erosiebescherming

4.1.1 HK(z) - Vattenfall

Introductie en methode

In 2022 heeft Vattenfall bij vier turbines in HK(z) *rock reefs* aangebracht: aan de rand van de erosiebescherming zijn grote stenen geplaats (700-1.000 kg). Dit had als doel om met name kabeljauw (*Gadus morhua*) aan te trekken, door de gaten en holen tussen de stenen (van der Akker et al., 2024). In 2024 heeft de eerste monitoring plaatsgevonden, met behulp van eDNA, *Remotely Operated Vehicle* (ROV) en *Baited Remote Underwater Camera* (BRUV). Conceptresultaten zijn aan dit project beschikbaar gesteld, en het eindrapport wordt in de loop van 2026 verwacht. De andere monitoringscampagnes zijn in 2028 (T6) en 2033 (T11) voorzien.

Resultaten

Tijdens de eerste monitoringscampagne (T2) is gebleken dat de diversiteit van de visgemeenschap mogelijk hoger is rond de *rock reefs* (op basis van eDNA, zie Afbeelding 4.1, (van den Akker et al., in prep). Het betreft een kleine dataset en verschillen zijn niet significant. Ook zijn er geen aanwijzingen van een andere of meer diverse benthische gemeenschap op de *rock reefs* vergeleken met reguliere erosiebescherming. De andere onderzoeksmethode (ROV en BRUV) tonen geen significante verschillen tussen de meetlocaties. Ook de resultaten ten aanzien van kabeljauw zijn tot nu toe beperkt, omdat zowel op de erosiebescherming met als zonder *rock reefs* geen kabeljauw is aangetroffen.

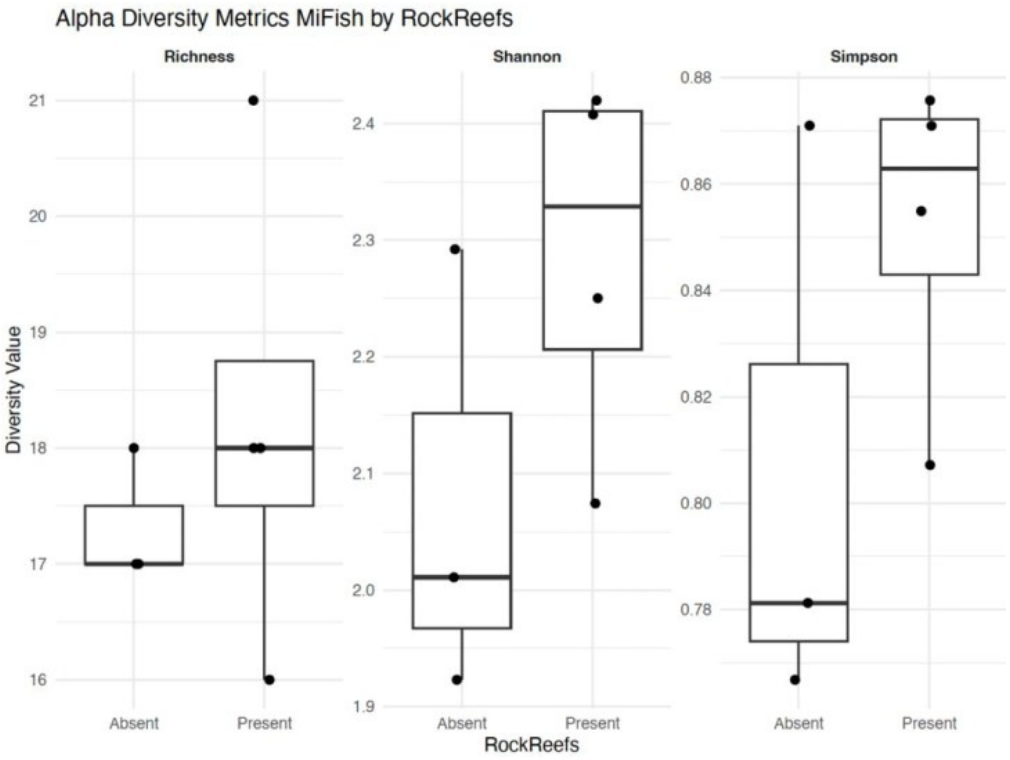
De resultaten van T2 zijn nog niet significant, maar er zijn wel aanwijzingen dat de *rock reefs* mogelijk ecologische waarde bieden. Mogelijk wordt in de volgende monitoringscampagnes (T6) de bewijsvoering hiervoor verbeterd.

NV7 - waterverversingstechnieken

Naast de *rock reefs* heeft Vattenfall op al haar turbines ook vergrote 'waterverversingsgaten' toegepast. Dit zijn gaten in de turbine van 92x32 cm (4 per turbine). Deze gaten hebben een technische functie (beperken van corrosie en doorgang voor kabel), maar zijn vergroot, waardoor mobiele soorten (vissen, kreeften en krabben, maar ook zeehonden) de binnenkant van de turbinepaal kunnen gebruiken als schuilplaats of foerageergebied. De waterverversingstechnieken zoals in HK(z) zijn toegepast, zouden niet onder het huidige NiB-voorschrift van de kavelbesluiten vallen, omdat deze zich toespitsen op de steenbestorting (Staatscourant, 2025). Om deze redenen is deze maatregel niet verder meegenomen in de analyse. Hieronder zijn wel de eerste resultaten van monitoring uiteengezet.

Er is een *baited underwater camera* geplaatst aan de binnenkant van de turbinepaal. Hierop zijn in totaal 22 soorten geobserveerd (2 soorten kwallen, 6 krabben, 1 garnaal, 1 slak, 4 zeesterren en 8 vissoorten) (van den Akker et al., in prep). Dit voorkomen is iets lager dan aan de buitenzijde van de turbinepaal, maar verschillen zijn niet significant. Ook is het zuurstofgehalte in de turbinepaal ongeveer 10 % lager dan in de omgeving, maar binnen de bandbreedte van wat in de Noordzee normaal is (van den Akker et al., in prep). Dit is zowel een goed als een slecht teken: het duidt op leven (organische verbranding) in de turbine paal, maar toont ook dat de waterverversing in de turbine paal beperkt wordt.

Afbeelding 4.1 Vergelijking van de visgemeenschap (gebaseerd op metabarcoding van eDNA 12S MiFish) tussen *rock reefs* (present) en referentielocaties (absent). Puntjes geven de waarden van individuele monsters weer. De doosdiagrammen tonen monsters gegroepeerd naar de aanwezigheid (n = 4) of afwezigheid (n = 3) (van den Akker et al., in prep)



4.1.2 HK(n) V - Crosswind

Crosswind heeft in 2023 bij 42 turbines (van de 70) kalksteenbermen aangelegd: bij 20 turbines is één kalkberm aangelegd, bij 22 turbines twee kalkbermen per turbine. De achtergrond hiervan is dat kalkrijkmateriaal mogelijk beter geschikt is voor het vestigen van oesterlarven dan graniet (ter Hofstede, 2024). De gradering van dit materiaal is hetzelfde als van de rest van de *armour layer* (2-20 kg). Deze maatregel valt onder het voorschrift 4.8b uit het kavelbesluit ter bevordering biodiversiteit (Staatscourant, 2019). Onder deze specifieke voorwaarde van dit voorschrift geldt er dan geen monitoringsverlichting voor de vergunningshouder. Crosswind heeft dan ook geen ecologisch onderzoek voor NiB geïnitieerd. Wel vindt er onder het BeWild-project (WUR) momenteel onderzoek plaatst met behulp van eDNA. De resultaten van dit onderzoek worden eind 2026 verwacht. Er zijn dus geen ecologische resultaten van deze NiB-maatregel beschikbaar.

4.1.3 HK(w) VI - Ecowende

Momenteel is het windenergiegebied HK(w) VI nog in aanbouw, en neemt een groot aantal maatregelen ten behoeve van de natuur. Deze zijn grotendeels invulling van de tendervoorwaarden van HK(w)); *bijdrage aan de ecologie van de Noordzee* (zie tekstkader). Deze staan los van het NiB-voorschrift en zijn daarom niet geschouwd in deze studie. Ecowende heeft in het NiB-plan voor HK(w) VI gekozen voor het aanpassen van de erosiebescherming met verschillende ontwerpen die invulling geven aan het kavelbesluit en de ecologische tendercriteria (Staatscourant, 2022c, 2022a). De technische uitwerking van de verschillende ontwerpen is nog niet vastgelegd. Deze bevatten in alle waarschijnlijkheid een erosiebeschermingslaag met een hogere gradering boven op de *filter layer*. Ecowende zal deze ontwerpen uitvoerig onderzoeken.

Hierbij zal gebruik worden gemaakt van o.a. (baited) camera's, ROV video, bemonstering van stenen, gezenderde vissen en eDNA met daaraan gekoppeld een onderzoeksprogramma met PhDs. Omdat installatie in de loop van 2026 zal plaatsvinden en monitoring start in 2027, worden ecologische resultaten pas daarna verwacht.

Aanvullende initiatieven Ecowende

Ecowende heeft de aanbesteding van HK(w) VI gewonnen op basis van kwalitatieve tendercriteria met een focus op ecologische maatregelen. Deze omvatten maatregelen gericht op het verbeteren van de (onderwater)habitat van soorten in de Noordzee. Naast aanpassingen van de erosiebescherming zijn dit:

- Tree Reefs - van perenbomen, geplaatst nabij 4 kabelovergangen om extra aantrekkelijke vestigingsplaatsen/habitats voor benthos en vissen te bieden;
- Oester hubs - uitzet van platte oesters, geplaatste nabij 4 kabelovergangen, om de verspreiding van oesters te bevorderen door een startpunt te vormen voor de verspreiding van hun larven;
- Waterverversingsgaten - in 4 turbinepalen, waardoor dit als leefgebied voor vis beschikbaar komt.

De maatregelen zullen ook uitgebreid onderzocht worden.

4.1.4 Conclusie NV1 Natuurinclusieve erosiebescherming

T2 monitoringsresultaten van de NV1 maatregel in HK (z) Vattenfall tonen een mogelijke toename van het aantal waargenomen vissoorten rond de *rock reefs*. Dit is een eerste aanwijzing dan het toepassen van NiB op erosiebescherming mogelijk ecologische waarde biedt. Van de andere twee NV1 maatregelen, HK(n) - Crosswind - kalksteenbermen en HK(w) VI - Ecowende - aangepaste stortingen erosiebescherming, zijn (nog) geen onderzoeksresultaten beschikbaar. Met name vanuit Ecowende is de verwachting dat meer inzichten worden verworven over de ecologische effectiviteit van dit type maatregelen. Deze resultaten mogen echter pas vanaf eind 2026/2027 (T0) verwacht worden.

Tabel 4.2 Overzicht van resultaten Natuurinclusieve erosiebescherming, waarbij groen = positief effect op ecologische waarde; grijs = neutraal effect op ecologische waarde (geen verschil gemeten), kleurloos = niet onderzocht. NV verwijst naar de verschillende typen van natuurversterking (zie paragraaf 2.2.1)

Categorie	Windpark	Maatregel	Verandering biodiversiteit t.o.v. omliggende erosiebescherming	Verandering biomassa t.o.v. omliggende erosiebescherming	Aanvullende ecologische functies
NV1	HK(z)	*rock reefs*	mogelijke toename van biodiversiteit in visgemeenschap	niet onderzocht (enkel visueel met ROV)	mogelijke schuil- of foerageer functie voor vis
NV1	HK(n) V	kalksteenbermen	monitoringsresultaten nog niet beschikbaar (eDNA onderzoek verwacht eind 2026)		
NV1	HK(w) VI	aangepaste stortingen erosiebescherming	maatregel nog niet uitgevoerd - langdurige monitoring vanaf 2026/2027 voorzien		

4.2 NV3 - Kunstmatige riffen

4.2.1 Borssele I & II - Ørsted/NBIM

Introductie en methode

Ørsted en Norges Bank Investment Management (NBIM) (Borssele I&II) heeft vier pijpriffen tussen de turbines geplaatst in 2020-2021, twee direct op de zandbodem, twee met erosiebescherming. De maatregelen zijn geplaatst op een afstand van ~300 m van een windturbine, waarbij waarschijnlijk geen sprake is van een directe relatie met de windturbine (Berges et al., 2024; Rozemeijer et al., 2024).

Voor de verschillende maatregelen is relatief uitvoerige monitoring uitgevoerd, gericht op kabeljauw en Noordzeekreeft (*Homarus gammarus*). Hiervoor zijn 64 kabeljauwen (Berges et al., 2024) en 24 kreeften gezenderd (Rozemeijer et al., 2024). Met behulp van de zenders kunnen individuele bewegingen in een relatief klein gebied (1x1 km) accuraat (tot op decimeters) enkele maanden gevolgd worden. Hierdoor kan er inzicht komen in het individuele gedrag.

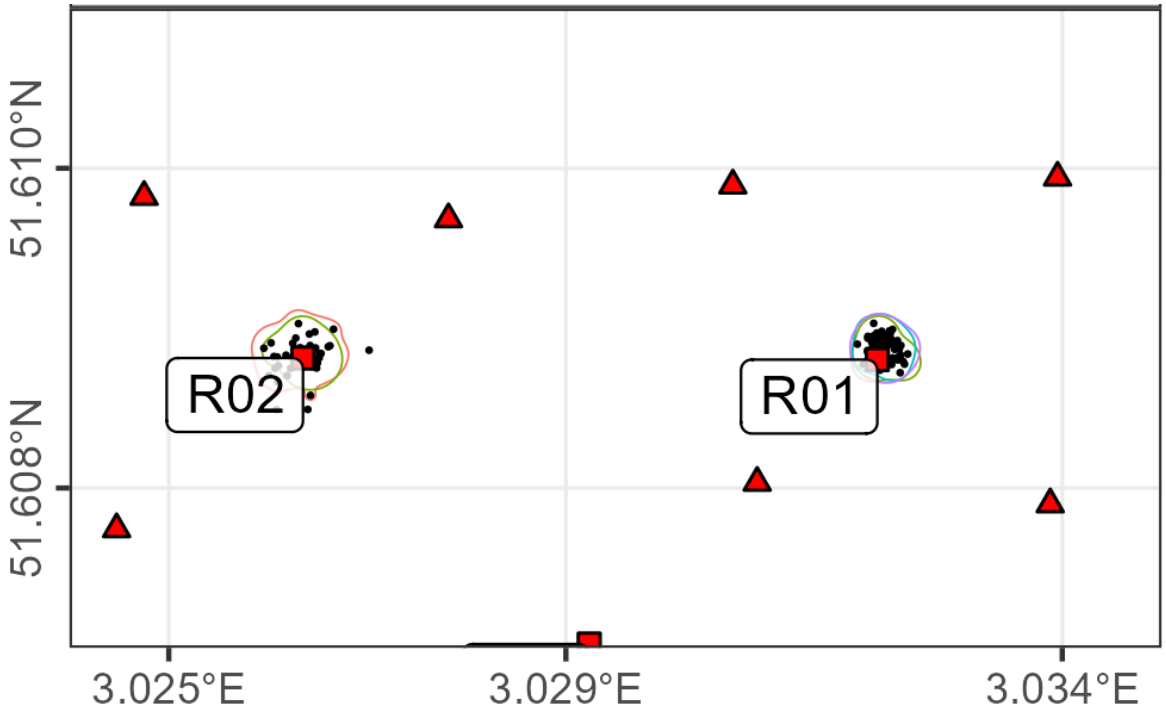
Deze onderzoeken bieden echter geen inzicht in de biodiversiteit of verandering in biomassa als gevolg van de NiB-maatregelen. Onder het onderzoeksproject KOBINE is wel onderzoek gedaan naar de benthische gemeenschap op de pijpriffen. De resultaten van dit onderzoek worden in de eerste helft van 2026 verwacht.

Methode en resultaten

Kabeljauw

Rond deze riffen werd een duidelijke gedragsverandering onder kabeljauw geobserveerd (Berges et al., 2024). De kabeljauw verbleef vaker nabij en in de riffen dan in het omliggende gebied of bij andere windturbines in de omgeving (Afbeelding 4.2). Het is waarschijnlijk dat de kabeljauw de riffen gebruikt als schuilplaats, maar het is onzeker of deze aantrekking zich ook vertaalt naar hogere overleving en/of voortplanting van de kabeljauw. Het feit dat kabeljauw van de riffen gebruik maakt duidt op voldoende voedselbeschikbaarheid en geschikt habitat. Als individuen minder energie besteden aan foerageren of vluchten, kunnen deze meer energie steken in reproductie, wat een positief effect zou zijn (Gimpel et al., 2023).

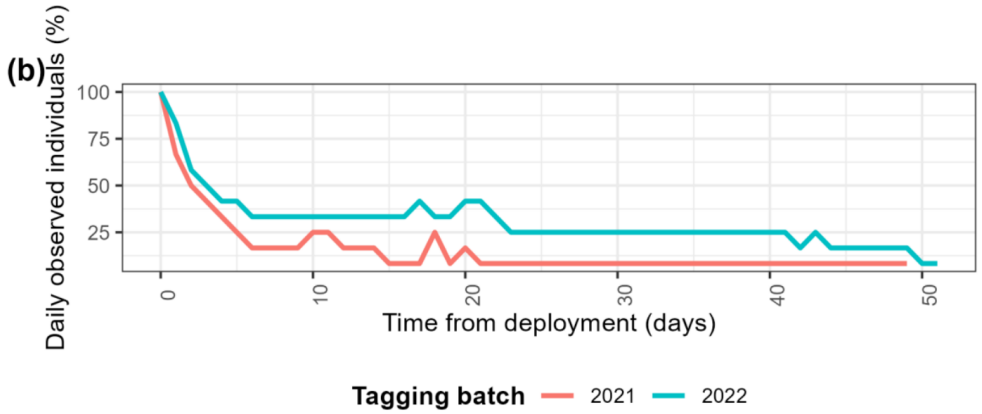
Afbeelding 4.2 Voorkomen van één kabeljauw voor 4 dagen (iedere kleur is een dag) rond kunstmatige rif structuren (R01-R02) n (Berges et al., 2024, aanvullende data). Binnen de omlijning is de *home range* van het individu gegeven, indicatief voor het territorium van het individu (de *home range* is het kleinste gebied waarin 95 % van *utilization distributions* valt) Berges et al. 2024). Driehoeken zijn de meetpunten van het netwerk. De afstand tussen de rif structuren is ongeveer 300 m



Noordzeekreeft

Onderzoek naar het gedrag van kreeft nabij de pijpriffen toont aan dat individuen die in het gebied werden geïntroduceerd de riffen als leefgebied gebruiken (Rozemeijer et al., 2024). Nuance hierbij is dat het aantal individuen in dit onderzoek beperkt is, omdat ongeveer de helft van de individuen binnen 5 dagen niet meer in het onderzoeksgebied waren (Afbeelding 4.3). Een aannemelijke verklaring daarvoor was dat het leefgebied (nog) niet voldoende voedsel kon bieden voor de uitgezette kreeften. De resultaten van dit onderzoek zijn beperkt, waarschijnlijk doordat het onderzoek te kort na installatie heeft plaatsgevonden. Een meerjarige monitoringsreeks kan wellicht beter inzicht bieden in de effectiviteit van de maatregel voor kreeft.

Afbeelding 4.3 Percentage gezenderde kreeften dat nog binnen studiegebied worden waargenomen over tijd. Te zien is dat in de eerste 5 dagen 60-75 % van de individuen niet meer in het studiegebied aanwezig is en na dag 51 alle exemplaren weg zijn



4.2.2 Borssele V - Octopus Energy Generation

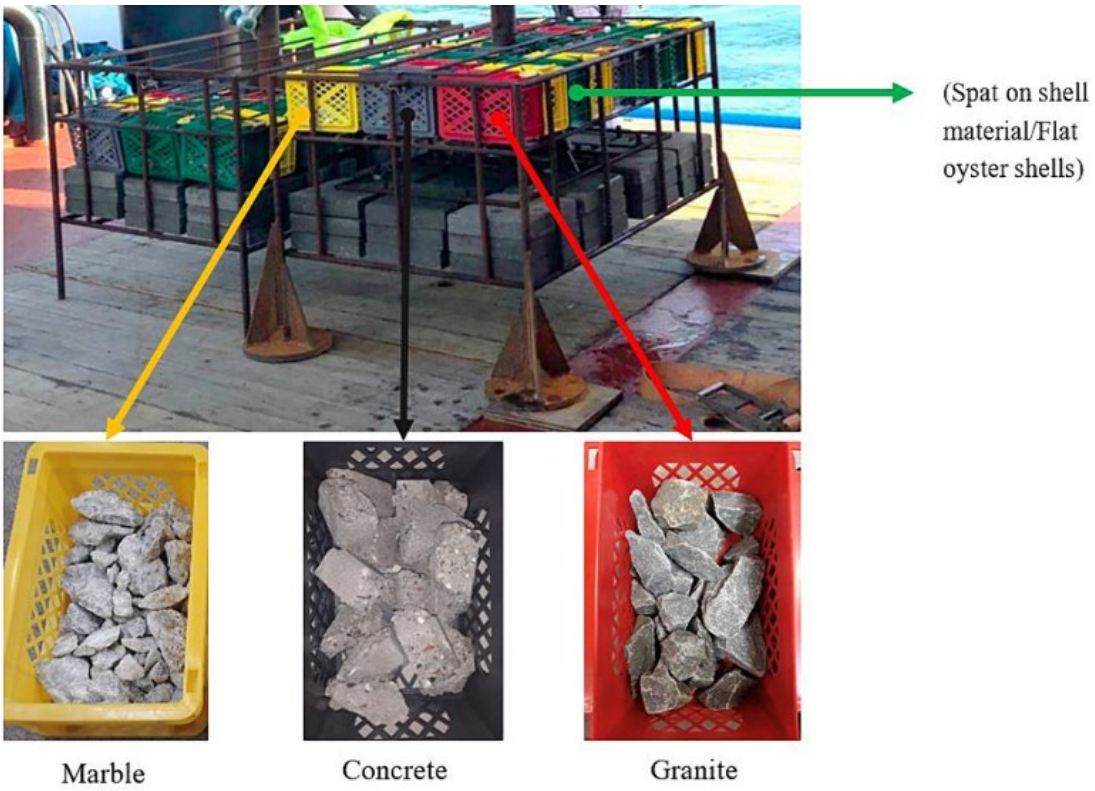
Introductie en methode

Borssele V is een innovatie kavel dat uit maar twee turbines bestaat. Hier zijn verschillende natuur inclusieve maatregelen getest, waaronder een test met verschillende substraattypen (hier toegelicht) en het plaatsen van oesterkooien (zie paragraaf 4.3.5). In oktober 2020 zijn vier onderzoekskooien geplaatst (1,37x1,02 m), met daarin kratten met verschillende harde substraten en platte oester (paragraaf 4.3.5). Van de verschillende substraten is de soortensamenstelling en hoe deze ecologisch van elkaar verschillen onderzocht, negen maanden na plaatsing (juli 2021) (Kingma et al., 2024).

Verschillende substraattypen

De soortensamenstelling en -abundantie op verschillende substraten waren niet significant onderscheidend: over het algemeen werden vergelijkbare gemeenschappen aangetroffen (Kingma et al., 2024). De gemeenschap bestaat vooral uit ringwormen en geleedpotige, die in buisachtige structuren leven. Noemenswaardig zijn waargenomen soorten: de gestekelde zandkokerworm (*Sabellaria spinulosa*, bij alle substraattypen), de schelpkokerworm (*Lanice conchilega*, bij graniet en marmer) en gewone mossel (*Mytilus edulis*, bij marmer). Dit voorkomen kan niet worden gecorreleerd aan het substraattype, omdat hiervoor niet voldoende data zijn (Kingma et al., 2024). Daarnaast zijn deze soorten met name relevant als er sprake is van rif vorming, wat bij deze kleinschalige proef niet verwacht mag worden.

Afbeelding 4.4 Foto van 2 onderzoekskooien voorafgaand aan installatie, met verschillende substraattypes in de kratten: geel is marmer, zwart is beton, rood is graniet, groen is oesterschelpen met oesterbroed (Kingma et al., 2024)



Verschil tussen onderzoekskooien en erosiebescherming

Bij het uithalen van de kooien is de gemeenschap aan de buitenzijde geobserveerd. Deze gemeenschap bestond uit verschillende soorten poliepen, anemonen en kokerwormen. Ook zijn grote aantallen zeesterren (*Asterias rubens*) en fluwelen zwemkrabben (*Necora puber*) waargenomen. Een soortgelijke gemeenschap werd waargenomen op de erosiebescherming rond de onderzoekskooien. Er is echter geen gestructureerde vergelijking gedaan met omliggend substraat.

Uit het onderzoek van Kingma et al. (2024) komt het beeld naar voren dat er geen duidelijk verschil in biodiversiteit is tussen de onderzoekskooien en erosiebescherming.

4.2.3 HK(w) VII - OranjeWind

Op basis van het kavelbesluit is OranjeWind verplicht de erosiebescherming van haar turbines aan te passen of kunstmatige riffen op de erosiebescherming te plaatsen (Staatscourant, 2022). OranjeWind heeft ervoor gekozen kunstmatige riffen te installeren (nieuwsartikel). De structuren zullen waarschijnlijk in de zomer van 2027 worden geïnstalleerd. Bij 11 turbines worden elk zes Reefcubes® geplaatst, in totaal 66 structuren.

NiB afweging OranjeWind

Vanuit het NiB voorschrift is OranjeWind verplicht om haar 1) erosiebescherming aan te passen, zodat bepaalde holen en spleten ontstaan, of 2) door kunstmatige structuren op de erosiebescherming te plaatsen, bij minimaal 20 % van de turbines. Een belangrijke overweging bij hun selectie was het TRL-niveau (persoonlijke communicatie RWE, 2025). Allereerst heeft de ontwikkelaar geconcludeerd dat er te weinig ervaring was met natuur inclusief ontwerp van erosiebescherming in windparken om deze maatregel te selecteren. Vervolgens hebben ze een aantal bedrijven met praktijkervaring met kunstmatige rifstructuren benaderd. Uiteindelijk is een leverancier geselecteerd op basis van een hoog TRL-niveau (9), een praktisch ontwerp (voor transport en installatie), lage CO_2-emissies bij de productie, relevante HSE-kwalificaties en bewijswijstukken met praktijkervaring, het uitsluiten van verontreiniging en investeringskosten.

4.2.4 Conclusie NV3 - Kunstmatige riffen

De resultaten van de ecologische waarde van kustmatige riffen is tot nu toe beperkt (Tabel 4.3). In het windenergiegebied Borssele zijn twee verschillende maatregelen genomen. Voor beide initiatieven geldt dat deze volgen uit het eerste NiB-kavelbesluit, waarbij het om kleinschalige maatregelen gaat met een hoog experimenteel gehalte (Staatscourant, 2016). Er is geen onderzoek gedaan naar veranderingen in biodiversiteit of biomassa op en rond de pijpriffen van Borssele I & II - Ørsted/NBIM. Wel komt uit het onderzoek naar voren dat riffen een ecologische functie voor kabeljauw kunnen bieden. Het onderzoek in Borssele V - Octopus Energy Generation biedt beperkt inzicht in veranderingen in biodiversiteit en biosmassa op de onderzoekskooien.

Voor HK(w) VII - OranjeWind geldt dat ecologische monitoring vanuit het NiB voorschrift uit het kavelbesluit niet verplicht is (Staatscourant, 2022b). Aangezien monitoring geen verplichting is, voorziet OranjeWind vooralsnog geen monitoring voorzien.

Tabel 4.3 Overzicht van resultaten Kunstmatige riffen, waarbij groen = positief effect op ecologische waarde; grijs = neutraal effect op ecologische waarde (geen verschil gemeten), kleurloos = niet onderzocht. NV verwijst naar de verschillende typen van natuurversterking (zie paragraaf 2.2.1)

Categorie	Windpark	Maatregel	Verandering biodiversiteit t.o.v. omliggende erosiebescherming	Verandering biomassa t.o.v. omliggende erosiebescherming	Aanvullende ecologische functies
NV3	Borssele I & II	pijpriffen	mogelijk aanvullende resultaten - half 2026		schuilfunctie kabeljauw
NV3	Borssele V	onderzoekskooien met substraattypen	niet aangetoond	geen onderzoek naar gedaan - geen aanvullende monitoring voorzien	
NV3	HK(w) VII	rif kubussen	maatregel nog niet uitgevoerd - geen monitoring voorzien		

4.3 NV5 - Uitzet van oesters

4.3.1 Gemini Buitengaats

Introductie en methode

Voor windenergiegebied Gemini is er geen voorschrift voor NiB van toepassing. Toch hebben in dit gebied verschillende onderzoeken plaatsgevonden in context van NiB, waaronder het ECOFRIEND project. In mei 2018 zijn 5 lichte frames met oestermandjes uitgezet en na 2 maanden opgehaald voor meting van overleving en groei (Afbeelding 4.5). In maart 2019 zijn opnieuw 3 frames uitgezet, die in augustus zijn opgehaald voor monitoring. Hierbij is slechts 1 van de 3 frames teruggevonden.

Resultaten

Bij de monitoring was de overleving 95 % (n=20) met een gemiddelde groei van 3-5 mm (Bos et al., 2023). Deze positieve resultaten tonen aan dat het habitat waarschijnlijk geschikt is voor platte oester. Tegelijkertijd is de tijdspanne te kort (2-3 maanden) om hier harde conclusies aan te verbinden. Daar komt bij dat een kwart van de onderzoekkooien niet is teruggevonden. Het is daarmee de vraag of deze vorm van oesteruitzet over lange termijn effectief is.

Afbeelding 4.5 Onderzoeksframe met oesters in Gemini (Bos et al., 2023)

4.3.2 Eneco Luchterduinen

Introductie en methode

In Eneco Luchterduinen zijn verschillende onderzoeken uitgevoerd met oesteruitzet. Evenals voor Gemini was in dit windpark geen NiB-voorschrift van toepassing. Deze onderzoeken kennen een relatief hoog experimenteel gehalte. In 2018 zijn 3 kooien met volwassen oesters op de zeebodem geplaatst (Didderen et al., 2019). In juli 2019 zijn de structuren uit het water gehaald en onderzocht. In het voorjaar van 2022 zijn door de Rijke Noordzee 1000 platte oester in het windpark geplaatst (Kamermans, 2022). Vervolgens zijn in de zomer van 2022 watermonsters genomen om de aanwezigheid van oesterlarven te bepalen.

Resultaten

Bij monitoring in 2019 bleek dat de oestertafels deels onder het zand zijn gekomen (Didderen et al., 2019). Hierdoor was de overleving onder oesters relatief laag (14 %). Wel was er sprake van beperkte groei (<2 mm over 9 maanden) en in één individu zijn oesterlarven aangetroffen. Er is geen *bonamia*[1] aangetroffen. Deze pilot heeft inzicht geboden in ecologische, technische en morfologische randvoorwaarden voor oester herstel.

[1] *Bonamia* is een eencellige parasiet die leidt tot verhoogde sterfte onder platte oesters. De parasiet komt veelvuldig voor Zeeuwse Delta, maar is tot op heden nog niet in de Noordzee aangetroffen, mede omdat er weinig platte oesters in de Noordzee zijn om op de ziekte te testen. Verdere verspreiding van de parasiet dient dan ook te worden voorkomen.

In 2022 zijn in Luchterduinen opnieuw oesters uitgezet met een aangepast ontwerp (toolbox). In datzelfde jaar zijn watermonsters genomen, om de aanwezigheid van oester larven vast te stellen. De resultaten zijn niet eenduidig: microscoopanalyse toonde geen aanwezigheid van larven, terwijl er wel DNA van oesters is aangetroffen (Kamermans, 2022). Dit tegenstrijdige resultaat kan verschillende oorzaken hebben, zoals foutieve determinatie, contaminatie van monsters of detectie van DNA van volwassen oesters. In 2026 zal ROV monitoring plaatsvinden, waarbij resultaten begin 2027 verwacht worden.

4.3.3 Borssele I & II - Ørsted/NBIM

In 2024 heeft Ørsted/NBIM bij 2 turbines zogenaamde *droppable oyster structures* (DOS) geplaatst op erosiebescherming. Op deze structuren zitten volwassen platte oesters geplakt, ten behoeve van oesterherstel. Echter is het doel van dit project vooral het testen van een schaalbare (en betaalbare) installatiemethode. Structuren kunnen handmatig van een *crew transfer vessel* (CTV) worden geplaatst, waarbij installatie is geïntegreerd in de onderhoudsactiviteiten van het windpark. Gedurende 8 jaar wordt met een ROV gemonitord of de oesters deze installatiemethode overleven en of er larven worden geproduceerd. De eerste onderzoeksresultaten van dit project worden in de loop van 2026 verwacht.

Afbeelding 4.6 *Droppable oyster structures* (DOS) op het dek vlak voor installatie in Borssele I & II. Bron: Toolbox De Rijke Noordzee

4.3.4 Borssele III & IV - Blauwwind

Inleiding en methode

In het windenergiegebied Borssele III & IV - Blauwwind zijn bij vier turbines oesters geplaatst. Dit waren betonnen ‘tafels’, met daarop 8 ‘mandjes’ met levende platte oesters. In 2020 zijn de oesters geplaatst en heeft T0 monitoring plaatsgevonden, gevolgd door monitoring in 2021 en 2023 (T1 en T3), met verschillende methodes.

Bij ontmanteling van de NiB-maatregel (2028, T8) zal voor de laatste keer monitoring worden uitgevoerd.

Resultaten

Schraapmonsters

Bij de schraapmonsters zijn in T1 en T3 samen in totaal 77 verschillende taxa gevonden; 18 crustaceeën, 12 polychaeten, en beide cnidaren en gastropoden met 9 (Leewis et al., 2024). Daarbij zijn op de oestertafels meerdere zeldzame soorten voor de Nederlandse kust waargenomen, waaronder wijde mantel (*Aequipecten opercularis)*, schilferige dekschelp (*Heteranomia squamula*), vulkaantje (*Perforatus perforatus*), de perkamentkokerworm (*Chaetopterus variopedatus*) en eitje van de Atlantische dwerginktvis (*Sepiola atlantica*). In dit onderzoek is geen vergelijking getrokken met de erosiebescherming. Hierdoor is niet te stellen of de NiB-maatregel als kunstmatig rif ecologische meerwaarde biedt ten opzichte van reguliere steenbestorting.

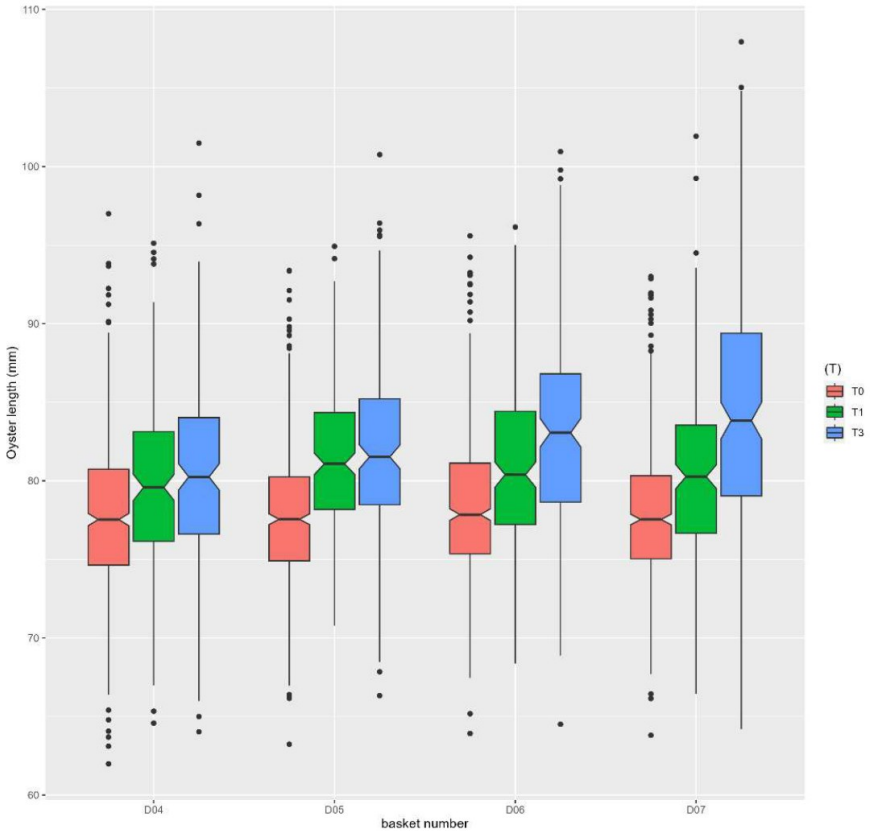
Oesters

De gemiddelde overleving van de oesters in de mandjes was in T3 70 % (Leewis et al., 2024). Tussen T1 en T3 was er slechts 4 % sterfte. Een overleving van 70 % over 3 jaar is vergelijkbaar met andere studies met platte oester (Merk et al., 2020; Robert et al., 1991). Een belangrijke functie van de mandjes is het uitsluiten van predatie door grotere individuen. Dit is waarschijnlijk effectief, hoewel er ook observaties zijn van krabben in de mandjes. Deze zijn waarschijnlijk als juveniel in de mandjes gekomen, om vervolgens te groeien en opgesloten te zijn (Leewis et al., 2024).

Tussen T0 en T3 is een duidelijke groei zichtbaar (zie Afbeelding 4.8). De spreiding van de data is relatief groot, doordat er geen individuele groei kon worden gemeten, met een gemiddelde groei van ~1 cm. Deze groei is wel lager dan observaties uit natuurlijke populaties en andere oester herstelprojecten (2-3 cm per jaar) (Merk et al., 2020; Robert et al., 1991). Ook is er geen *bonamia* aangetroffen in de oesters en is oesterspat aangetroffen op en rond de oestertafels (Leewis et al., 2024). De resultaten van dit oesterherstelproject zijn, na 3 jaar, over het algemeen positief.

Afbeelding 4.7 Oestertafel Blauwwind bij T3 (bron: de Rijke Noordzee)

Afbeelding 4.8 *Notched boxplot* van de lengte van oesters, in mm (75 individuen per bak op T0 (rood), 25 individuen per bak op T1 (groen) en 25 individuen op T3 (behalve bakken 24, 34 en 37)), weergegeven per monopile over de meetjaren. Wanneer de inkepingen overlappen, bestaan er geen significante verschillen (Leewis et al., 2024)

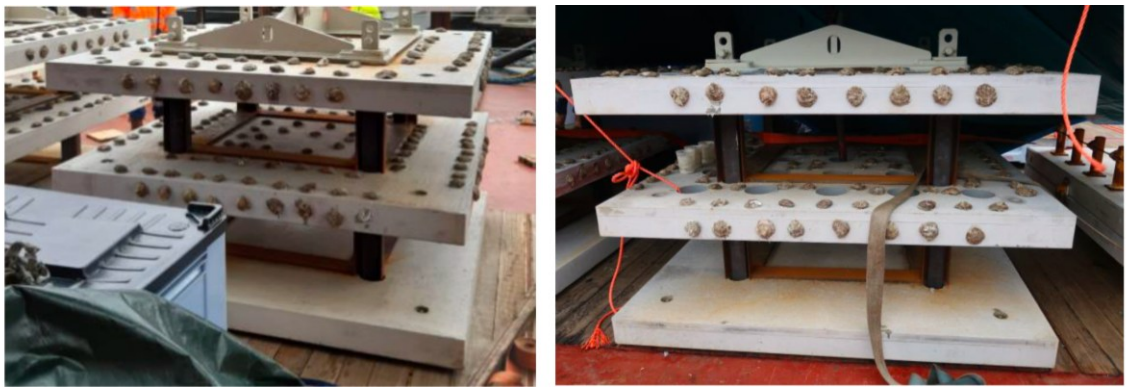


4.3.5 Borssele V - Octopus Energy Generation

Inleiding en methode

In oktober 2020 zijn in totaal vier betonnen structuren geplaatst, met volwassen oesters daarop (Afbeelding 4.9). In juli 2021 heeft T1 monitoring plaatsgevonden. Hierbij is de overleving, groei, voortplanting en aanwezigheid van *bonamia* onderzocht. Daarnaast is *spat-on-shell* uitgezet. Dit zijn oesterschelpen met daarop oesterbroed. Deze zijn geplaatst in een deel van de kratten uit de onderzoekkooien zoals beschreven in paragraaf 4.2.2. De resultaten van het *spat-on-shell* onderzoek zijn niet bruikbaar, omdat gegevens niet eenduidig zijn verzameld (Schutter et al., 2021). Resultaten zijn niet meegenomen in de analyse.

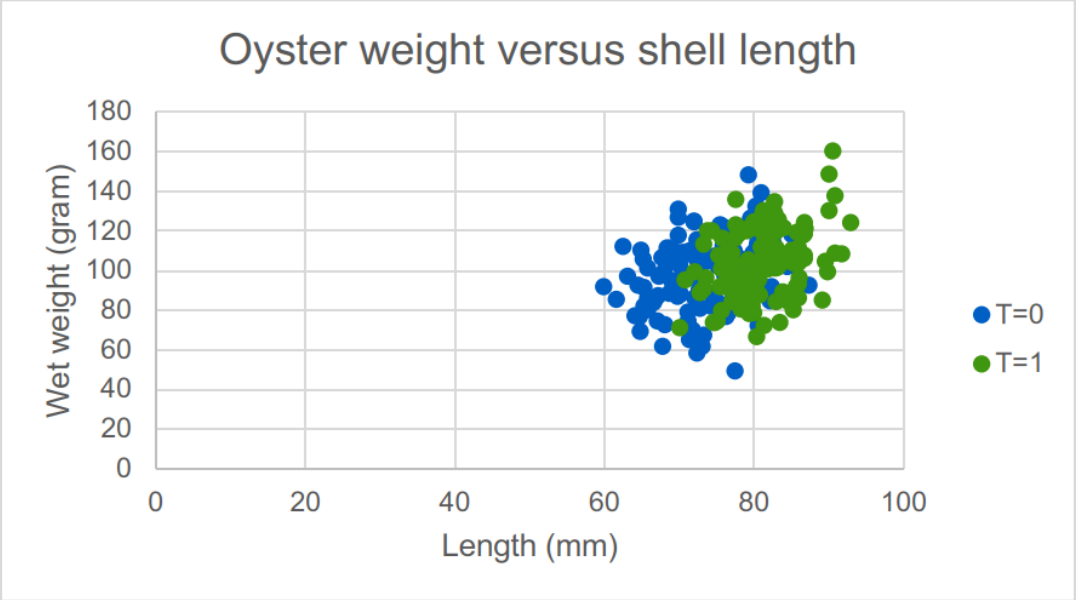
Afbeelding 4.9 Objecten voor oesteruitzet in Borssele V (Schutter et al., 2021)



Resultaten

De resultaten 9 maanden na installatie van dit oesteruitzet project zijn positief. De overleving van de adulte oesters is hoog (97,5 %) met een beperkte groei (~1 cm, Afbeelding 4.10, Schutter et al., 2021). Daarnaast is er geen *bonamia* aangetroffen in de oesters. In 17 % van de oesters zijn larven aangetroffen, in 5 % zijn eitjes aangetroffen, en 57 % van oesters bevatte sperma. Van de overige 20 % kon niet worden vastgesteld of er sprake was van voorplantingsmateriaal. Daarnaast zijn er bij één van de twee turbines oesterlarven in de waterkolom aangetroffen. Dit alles maakt het aannemelijk dat er sprake is van voortplanting.

Afbeelding 4.10 Lengte versus gewicht van adulte oesters oesteruitzet in Borssele V tussen T0 en T1 (Schutter et al., 2021)



4.3.6 NV5 - Conclusie uitzet van oesters

De eerste resultaten van de verschillende oesteruitzet projecten zijn positief, hoewel de zeggenkracht van dit onderzoek beperkt is. Dit komt met name doordat de tijdseries van de meetreeks kort zijn. Over het algemeen is de overleving relatief hoog (70-97 %), waarbij de groei (~1 cm/jaar) lager is dan bij natuurlijke populaties (2-3 cm/jaar). Daarnaast zijn er aanwijzingen van reproductie van de platte oesters. Mogelijk kunnen de platte oesters zich op termijn uitbreiden buiten de NiB-maatregelen, maar hiervoor is nog geen bewijs.

Tabel 4.4 Overzicht van resultaten Uitzet van oesters, waarbij groen = positief effect op ecologische waarde; grijs = neutraal effect op ecologische waarde (geen verschil gemeten), kleurloos = niet onderzocht. NV verwijst naar de verschillende typen van natuurversterking (zie paragraaf 2.2.1)

Categorie	Windpark	Maatregel	Overleving	Groei	Voorplanting
NV3	Gemini	oestermandjes in frames	95 % over 2-3 maanden	3-5 mm over 2-3 maanden	geen onderzoek naar gedaan
NV3	Luchterduinen	oesterkooien (2019)	25 % in 9 maanden	<2 mm in 9 maanden	beperkte aanwijzingen van voorplanting
NV3	Luchterduinen	oesterkooien (2022)	monitoringsresultaten nog niet beschikbaar - voorzien voor 2026		geen eenduidig resultaat
NV3	Borssele I & II	*droppable oyster structures*	monitoringsresultaten nog niet beschikbaar - voorzien voor 2026		
NV3	Borssele III & IV	oestertafels	70 % over 3 jaar	- 1 cm per jaar gedurende 3 jaar	aanwijzingen van voorplanting
NV3	Borssele V	oestertafels	97,5 % over 9 maanden	- 1 cm over 9 maanden	aanwijzingen van voorplanting
NV3	Borssele V	spat-on-shell	resultaten niet bruikbaar, geen aanvullend onderzoek verwacht		

5

KOSTENANALYSE NIB

In dit Hoofdstuk is inzicht gegeven in de kosten van NiB in windparken, op basis van publiekelijk beschikbare informatie en gegevens verstrekt door de windparkeigenaren. Momenteel is het nog niet goed mogelijk om de meerwaarde van NiB (laat staan de monetaire waarde) te bepalen. Echter zijn dit soort analyses wel een beginpunt om de balans tussen NiB investeringen en de natuurwaarde als gevolg van de maatregel in beeld te brengen. Met name met het oog op opschaling van NiB is het van belang inzicht te hebben in de kosten hiervan.

De kosten zijn bewust met name visueel en afgerond weergegeven. Dit doet recht aan de betrouwbaarheid van de gegevens: de geleverde data zijn soms als bandbreedte gegeven of zijn gealloceerd (nog niet uitgegeven) budgetten. De data dienen dus ook op die manier gelezen te worden: wat geven windparkontwikkelaars in de praktijk ongeveer uit aan NiB?

5.1 Relatieve kosten per locatie

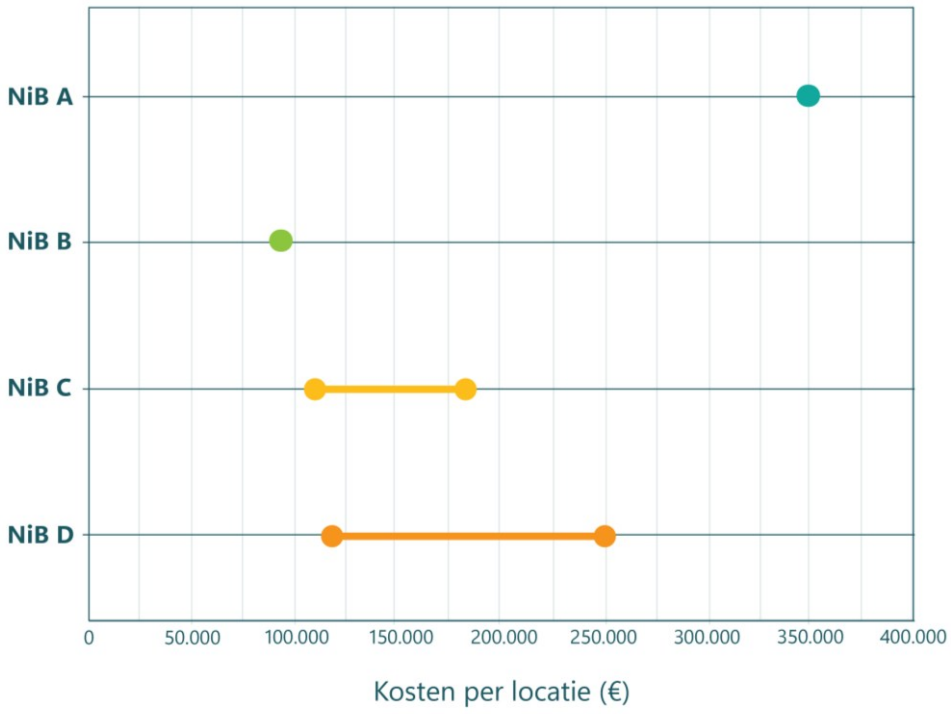
In Tabel 5.1 en Afbeelding 5.1 zijn de relatieve kosten van de NiB maatregelen gegeven, exclusief monitoringskosten. Er zijn vier type NiB-maatregelen meegenomen in de analyse. Te zien is dat kosten voor *NiB C* en *D* zijn aangeleverd als bandbreedte. Opvallend is dat *NiB A* beduidend hogere kosten heeft per locatie[1] dan de overige maatregelen. Dit is potentieel te verklaren omdat dat deze maatregel een hoog innovatief karakter heeft, waardoor er mogelijk sprake is van 'leergeld'. Om de gemiddelde kosten van NiB per turbine te bepalen is deze maatregel daarom niet meegenomen. Er wordt ingeschat dat de kosten voor NiB ongeveer € 90.000 tot € 250.000 per turbine bedragen.

Tabel 5.1 Kosten per NiB locatie (bijvoorbeeld: aantal turbines of aantal kunstriffen) afgerond op 10.000 EUR, exclusief monitoringskosten en BTW

Maatregel	Kosten per NiB locatie, afgerond op 10.000 EUR
NiB A	350.000
NiB B	90.000
NiB C	110.00-180.000
NiB D	120.000-250.000

[1] Ofwel per kustrif ofwel per turbine met NiB-maatregel.

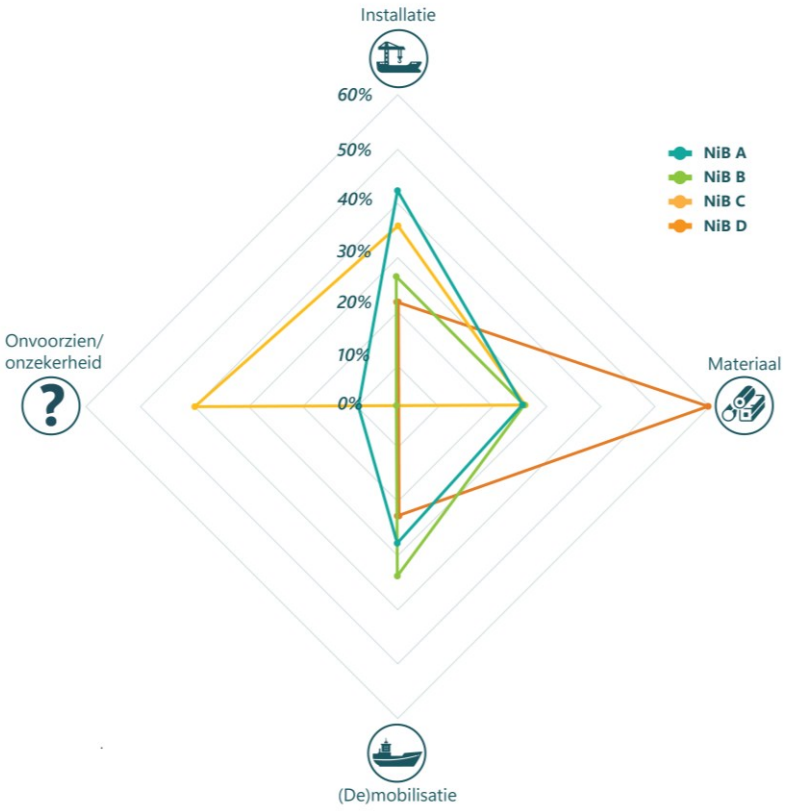
Afbeelding 5.1 Kosten van Natuurinclusief Bouwen (NiB)-maatregel uitgedrukt per locatie, exclusief monitoringskosten en BTW. *NiB C* en *D* zijn weergegeven als bandbreedte



5.2 Kosten per categorie

In Afbeelding 5.2 zijn de relatieve kosten per categorie voor de verschillende maatregelen weergegeven. Hieruit volgt dat materiaalkosten minimaal 25 % van het totaal zijn, maar kunnen oplopen tot 60 % (*NiB D*). Voor de maatregelen waarvan (de)mobilisatiekosten zijn gegeven (*NiB A, B* en *D*) bedraagd dit 23 %-35 % van de totaalkosten. Dit is relatief hoog, wat erop duidt dat een apart schip of losse afvaart nodig is geweest voor de installatie van de NiB-maatregel. Dit kan een schip zijn met een zwaardere kraan of bijvoorbeeld een *fallpipe vessel* wat grotere stenen snel en accuraat kan plaatsen. Daarnaast worden kunstmatige riffen veelal geplaatst nadat turbine en bijbehorende erosiebescherming geïnstalleerd is. Hierdoor is een aparte operatie voor de installatie van de NiB-maatregel nodig. Bij *NiB B* en *D* zijn juist de materiaalkosten dominant. Bij deze maatregelen is installatie waarschijnlijk geïntegreerd met reguliere werkzaamheden, wat voor *NiB B* een mogelijke verklaring is voor de relatief beperkte kosten.

Afbeelding 5.2 Relatieve kosten per kostencategorie voor vier NiB-maatregelen. Voor *NiB C* geldt dat (de)mobilisatiekosten en onbekende aanvullende installatie kosten zijn opgenomen onder Onvoorzien/onzekerheid



5.3 Monitoringskosten

Van twee maatregelen zijn de monitoringskosten beschikbaar gesteld (Tabel 5.2). Deze zijn onderling niet goed vergelijkbaar, omdat de meetcampagnes een andere omvang hebben en een deel van de kosten niet zijn opgenomen. Deze cijfers zijn dus louter bruikbaar om een bandbreedte in kosten aan te geven. De monitoringkosten hangen sterk af van de mate van diepgang van het onderzoek (bijvoorbeeld aantal locaties, aantal en type monitoringstechnieken, jaar rond of niet, aantal monitoringsjaren). Voor de twee voorbeelden is deze diepgang anders, waardoor kosten zich niet goed laten vergelijken.

Tabel 5.2 Monitoringskosten per Natuurinclusief Bouwen (NiB)-maatregel uitgedrukt per jaarlijkse meetcampagne, exclusief BTW

Maatregel	Opgenomen kosten	Monitoringskosten per meetcampagne afgerond op 10.000 EUR
monitoring 1	kosten van meetcampagne, inclusief analyse, **exclusief scheepstijd**	430.000
monitoring 2	kosten voor éénmalige meetcampagne, met 2 scheepsdagen, lift van NiB structuren en analyse, voorbereidingskosten (inclusief veiligheid en certificering)	280.000-320.000

De monitoringskosten worden in sterke mate bepaald door de scheepstijd en welk type schip nodig is. Zo geldt voor monitoring 2 dat 85 % van de kosten volgen uit de scheepstijd. Omdat voor de monitoring de NiB-maatregel uit het water is gelift, was hiervoor ook een relatief groot (en dus duur) schip nodig. Deze kosten zijn voor monitoring 1 niet opgenomen.

5.4 Verwachte kosten NiB-maatregelen in de toekomst

Naar verwachting zullen NiB-maatregelen in de toekomst grootschaliger worden uitgerold, omdat het NiB-voorschrift bij een hoger percentage van de turbines (40 %) van toepassing zal zijn (Staatscourant, 2025, zie ook bijlage I). Daarnaast is er steeds meer ervaring met NiB-maatregelen, waardoor deze minder innovatief zijn. Ontwikkelaars weten beter welke maatregelen effectief kunnen worden geplaatst, wat kosten en risico's verlaag, mits hierover kennisuitwisseling plaatsvindt. De kosten voor de NiB-maatregelen per windturbine worden geschat op € 90.000-250.000, exclusief BTW en monitoring. De monitoringskosten laten zich op basis van de beschikbare data niet goed bepalen. Het is mogelijk dat een jaarlijkse meetcampagne ongeveer € 280.000-430.000 bedraagt. Uit Hoofdstuk 4 blijkt ook het belang van uitgebreide monitoring, met meerjarige meetreeksen, om de ecologische effectiviteit van een maatregel goed aan te kunnen tonen. Zekerheidshalve is daarom een maximum van € 500.000 monitoringskosten per jaar aangenomen.

6

CONCLUSIE EN ADVIES

6.1 Discussie en conclusie

6.1.1 Ecologische waarde

Hardsubstraatgemeenschappen conventionele erosiebescherming
De literatuur laat zien dat erosiebescherming bij zowel windparken als olie- en gasplatforms nieuwe hardsubstraatgemeenschappen vormt, die positief bijdragen aan lokale biodiversiteit en biomassa. In de meeste studies is de relatie met het omliggende zacht substraat niet onderzocht. Waar dit wel is gedaan, blijkt dat er sprake is van een grote habitatdiversiteit en duidelijke verschillen in soortensamenstelling tussen hard en zacht substraat (Leonhard & Pedersen, 2006; ter Hofstede et al., 2022).

De ecologische waarde van erosiebescherming hangt af van omgevingsfactoren, het ontwerp en de 'leeftijd' van de erosiebescherming. (Hydro)fysische omstandigheden zoals afstand tot de kust (voedselrijker water), diepte en lokale stromingsregime bepalen welke soorten zich vestigen en hoe groot de biodiversiteit is. Steengrootte en stabiliteit zijn belangrijk: grotere, stabielere stenen kennen hogere bedekking dan de meer dynamische *filter layers*. Habitatcomplexiteit, substraattype en oriëntatie ten opzichte van de stroming kunnen de gemeenschappen verder sturen, al zijn de bevindingen over oriëntatie niet eenduidig. Wel lijkt de tijd na aanleg een belangrijke rol te spelen: 'jonge' hardsubstraten worden vaak gedomineerd door enkele soorten, terwijl soortensamenstelling en ecologische waarde waarschijnlijk pas na vijf tot tien jaar stabiliseren, of soms zelfs daarna.

Naast het bieden van nieuw leefgebied vervult erosiebescherming meerdere ecologische functies. De soortenrijke hardsubstraatgemeenschappen vormen een voedselbron voor juveniele vissen en mobiele benthische fauna en maken de locatie tot een hotspot voor biodiversiteit. Het kan fungeren als foerageergebied, kraamkamer en toevluchtsoord voor zeldzame soorten. Biogene rifvormers zoals zandkokerwormen, mosselen en oesters kunnen andere soorten faciliteren, en windparken en hun erosiebescherming functioneren als stapstenen die deze rifvormers helpen verspreiden.

Natuurinclusief bouwen
Er zijn enkele positieve signalen over de ecologische waarde van NiB in windparken (Tabel 6.1). Echter is de bewijsvoering hiervoor beperkt. De verschillende typen maatregelen zijn hierna uiteengezet.

NV1 - natuurinclusieve erosiebescherming
Voor de ecologische waarde van natuurinclusieve erosiebescherming is de bewijsvoering beperkt. Het eerste onderzoek van Vattenfall wijst op een mogelijke hogere biodiversiteit rond de *rock reefs*, maar deze verschillen zijn niet significant. De maatregelen van Ecowende zullen vanaf 2026/2027 (T0) intensief worden gemonitord, maar gezien de ontwikkelingstijd van ecologische gemeenschap, mogen pas vanaf 2032 (T5) aantoonbare verschillen verwacht worden. Van HK(n) worden in 2026 resultaten verwacht van eDNA onderzoek. Data zal uit T2 komen, waardoor de kans groot is dat de ecologische gemeenschap rond de kalksteenbermen nog onvoldoende ontwikkeld is om verschillen te kunnen duiden. Het is daarom wenslijk om monitoring van deze maatregel uit te breiden naar andere technieken en uitbreiding van de tijdreeks (minimaal T5, maar bij voorkeur ook jaar 8 en 10 na installatie).

Op deze wijzen zijn resultaten van dit type maatregel beter te vergelijken met andere NiB-maatregelen. Met aanvullende monitoring kan in de toekomst mogelijk een afweging worden gemaakt over de ecologische effectiviteit van natuurinclusieve erosiebescherming.

NV3 - kunstmatige riffen

Er zijn twee pilots uitgevoerd met kunstmatige riffen, in Borssele I & II en Borssele V. Voor de eerste pilot geldt dat er positieve resultaten zijn voor de kabeljauw (schuilfunctie), voor de pilot in Borssele V zijn er geen verschillen gemeten. In OranjeWind worden op grotere schaal kunst riffen geplaatst (66 structuren in totaal). Echter is er vanuit het kavelbesluit geen verplichting voor de vergunninghouder om hier te monitoren. Om toekomstige NiB-voorschriften te verbeteren, is het wenselijk om deze maatregel wel te onderzoeken. Daarmee wordt niet alleen de ecologische meerwaarde van kunstmatige riffen inzichtelijk, maar kan ook een betere afweging worden gemaakt tussen kunstmatige riffen (NV3) of het aanpassen van de erosiebescherming (NV1). Bij een dergelijke keuze is van belang in te zien dat kunstmatige riffen geen functie voor het windpark zelf hebben; het is altijd een *add-on* op bestaande erosiebescherming. Een aanpassing van de erosiebescherming is in de letterlijke zin van het woord meer Natuurinclusief Bouwen.

NV5 - uitzet van oester

De korte termijn resultaten van uitzet van oesters zijn gunstig: in alle onderzoeken wordt groei, een goede overleving en voortplanting vastgesteld. Tegelijkertijd is er nog geen bewijs dat deze pilots ook zorgen voor uitbreiding van platte oester riffen, wat het uiteindelijke doel is van dit type maatregelen, voornamelijk omdat de monitoringsperiode te kort is om dit effect te kunnen verstellen. Daarnaast is er uit verschillende onderzoeken lering getrokken over effectieve uitzet en ontwerp. Ontwerpen uit vroege pilots (zoals bij Eneco Luchterduinen) zijn aangepast in recentere oester uitzet projecten. Zo kunnen de *tetrapods* van Ørsted/NBIM zonder kraan worden geplaatst, wat aanleg efficiënter en dus beter schaalbaar maakt.

Tabel 6.1 Overzicht van resultaten NiB maatregelen, waarbij groen = positief effect op ecologische waarde; grijs = neutraal effect op ecologische waarde (geen verschil gemeten), kleurloos = niet onderzocht. NV verwijst naar de verschillende typen van natuurversterking (zie paragraaf 2.2.1)

Kavel	Windpark eigenaar	Installatie jaar NiB-maatregel	Type maatregel	Genomen maatregel	Resultaat
Gemini buitengaats	Gemini	2017	NV5 - introductie van volwassen oesters	uitzet 8 oesterkooien	korte termijn (2-3 maanden) groei en overleving aangetoond
Eneco Luchterduinen	Eneco Luchterduinen	2018 en 2022	NV5 - introductie van oesterbroed	uitzet 3 oestertafels en uitzet van volwassen oester	beperkte overleving en groei en geen voortplanting vastgesteld
Borssele I & II	Ørsted / NBIM	2024	NV5 - introductie van oesterbroed	bij 2 turbines droppable oyster structures (DOS) op erosiebescherming en bio-based kubussen	monitoringsresultaten nog niet beschikbaar - voorzien voor 2026
Borssele I & II	Ørsted / NBIM	2020 en 2021	NV3 - kunstmatige riffen	op 4 locaties (niet op/bij turbines) pijpriffen t.b.v. kabeljauw	schuilfunctie kabeljauw
Borssele III & IV	Blauwwind	2020	NV5 - introductie van volwassen oesters	4 turbines: uitzet van platte oester (600-1.000 adulte oesters per turbine). Variatie erosiebescherming: in type stenen, structuren, kalkrijk materiaal	70 % overleving over 3 jaar, met gemiddeld ~1 cm groei per jaar en aanwijzingen van voorplanting
Borssele V	Two Towers B.V. / Octopus Energy Generation	2020	NV3 - kunstmatige riffen	2 turbines (100 %): 4 kooien per turbine met 3 typen substraat (graniet, silex, zandsteen, oesterschelpen)	geen effect op biodiversiteit aangetoond
Borssele V	Two Towers B.V. / Octopus Energy Generation	2020	NV5 - combinatie van introductie van volwassen oesters en oesterbroed	volwassen oesters (30 per kooi) en 4 broedstock elementen met 250 volwassen oesters per element	korte termijn (9 maanden) groei, overleving en voortplanting aangetoond
HK(z) I-IV	Vattenfall	2022	NV1 - Natuurinclusieve erosiebescherming	bij 4 turbines: groepen van grote stenen (700-1.000 kg, totaal cluster van ca 8 m diameter en 1,5-2 m hoog).	mogelijke toename van biodiversiteit in visgemeenschap en schuil- of foerageer functie voor vis
HK(n) V	Crosswind	2023	NV1 - Natuurinclusieve erosiebescherming	22 turbines met 2 bermen en 20 turbines met 1 berm van kalkrijkmateriaal breuksteen op de erosiebescherming	monitoringsresultaten nog niet beschikbaar (eDNA onderzoek verwacht eind 2026)
HK(w)	Ecowende	2026 (beoogd)	NV1 - Natuurinclusieve erosiebescherming	verschillende NiB-ontwerpen met aangepaste steensortering (o.a. 60-300 kg), in totaal bij 29 turbines, waarbij 12 turbines voldoen aan het NiB-voorschrift	maatregel nog niet uitgevoerd - langdurige monitoring vanaf 2027 (T0)
HK(w)	OranjeWind	2027 (beoogd)	NV3 - Kunstmatige riffen	plaatsen van 6 Reef cubes bij 11 turbines (totaal 66 structuren)	maatregel nog niet uitgevoerd - geen monitoring voorzien

6.1.2 Monitoring van NiB-maatregelen

Ten aanzien van monitoring van de NiB-maatregelen zijn de belangrijkste aandachtspunten opgesomd, inclusief mogelijke verklaringen voor deze aspecten:

- **langdurige tijdreeks:** de langst gemeten tijdreeks tot nu toe is drie jaar na installatie. Voor andere maatregelen geldt dat er alleen enkele maanden na installatie onderzoek heeft plaatsgevonden:
  - *tijd*: Natuurinclusief Bouwen is relatief nieuw: de eerste installatie heeft in 2020 (Borssele) plaatsgevonden (op pilot schaal) en pas sinds vanaf 2023 (HK(n)) vindt opschaling plaats;
  - *vrijwilligheid*: monitoring is niet bij alle NiB-maatregelen (zoals HK(n) en HK(w)) voorgeschreven;
  - *kosten*: monitoring is kostbaar, waardoor het onderzoek vaak een korte tijdreeks heeft of zelfs eenmalig is.

- **kleine groepsgrootte van onderzoek:** onderzoeken hebben kleine groepsgroottes (bijvoorbeeld n=4), waardoor de zekerheid van de resultaten beperkt is:
  - *vrijwilligheid:* monitoring met afdoende groepsgrootte wordt niet voorgeschreven of er vindt te weinig sturing plaats op de diepgang van het onderzoek;
  - *kosten*: monitoring is kostbaar, waardoor beperkte data worden verzameld.

- **eenduidige monitoringsresultaten of onderzoeksvraag:** onderzoekstechnieken en de gepresenteerde resultaten verschillen tussen de onderzoeken:
  - *tijd:* NiB is relatief nieuw, en daarmee ook het onderzoek naar NiB-maatregelen. In de eerste onderzoeken is veel geleerd over effectieve monitoring, zoals op welke manier een ROV het beste kan worden ingezet. Hierdoor zijn monitoringstechnieken over de tijd doorontwikkeld, waardoor ze niet altijd goed met historische technieken te vergelijken zijn;
  - *wisselend beleid:* het NiB-beleid is over de jaren doorontwikkeld waarbij het doel van de maatregel steeds verder is gespecificeerd. Hierdoor zijn de onderzoeksvragen van de NiB-maatregelen niet altijd consistent tussen de verschillende kavels.

6.1.3 Kosten van NiB

Op basis van de beschikbare gegevens wordt geschat dat de kosten voor NiB-maatregelen ongeveer € 90.000-250.000 per turbine zijn. Het meest recente kavelbesluit (Nederwiek (zuid) I-A) schrijft NiB voor bij 40 % van de turbines (Staatscourant, 2025, zie bijlage I). Voor dit kavel, van maximaal 1,15 GW, uitgaande van 15 MW turbines, zou dit leiden tot een kostenpost van € 3,10-7,75 miljoen. Tegelijkertijd worden de totale investeringskosten (CAPEX; *Capital Expenditure*) van een 1,15 GW windpark geschat op ongeveer € 3,4 miljard (getallen uit 2024[1], exclusief BTW, op basis van BVGAssociates, 2025). Onder dit uitgangspunt zijn de kosten voor het uitvoeren van het NiB-voorschrift 0,08-0,23 % van de investeringskosten voor Nederwiek (zuid) I-A. Het is belangrijk om te beseffen dat een toename in de investeringskosten de terugverdientijd voor windparkontwikkelaars relatief sterk beïnvloed. Tegelijkertijd is eerder genoemde schatting lager dan de 1 % van de investeringskosten waarvoor Van Sluis et al. (2025) pleiten.

De kosten van NiB worden sterk bepaald door efficiëntie van installatie en bijbehorende (de)mobilisatie. Een ontwerp waarvoor geen speciale schepen nodig zijn tijdens de installatie is daarin bepalend. Dit pleit ook voor het integreren van Natuurinclusief Bouwen in het standaard ontwerp van het windpark, zodat kosten voor installatie beperkt worden.

Naast de kosten voor NiB zijn ook de kosten van de monitoring ervan onderzocht. Hiervoor zijn slechts twee voorbeelden beschikbaar gesteld. De bandbreedte van deze twee voorbeelden is € 280.000-€ 430.000.

---

[1] In de berekening gecorrigeerd voor inflatie conform (Centraal Bureau voor Statistiek, 2025) (zie paragraaf 2.2.2). Hierbij is geen rekening gehouden met het feit dat in de laatste jaren zijn de kosten van windparken sterk gestegen, waardoor cijfers uit 2024 mogelijk een onderschatting zijn huidige kosten van een windpark. Een vergelijking met de opbrengst van windparken (*internal rate of return* at *final investment decision (IRR at FID)*) is niet gemaakt omdat de onzekerheid van een dergelijke schatting te groot is.

Gezien het belang van diepgaand monitoringsonderzoek is zekerheidshalve aangenomen dat deze kosten maximaal € 500.000 per jaar zijn. In de jaren dat monitoring plaatsvindt, zouden de onderhoudskosten (OPEX; *Operating Expenses*) met 0,24-0,43 % stijgen bij een windpark van 1,15 GW (geschat op € 115 miljoen per jaar, 2024 schatting[1], exclusief BTW, op basis van BVGAssociates, 2025). Deze kosten zullen niet gedurende de gehele levensduur van het windpark worden gemaakt, maar zullen zich concentreren in de eerste 5-10 jaar.

Het NiB-voorschrift uit het meest recente kavelbesluit (Nederwiek (zuid) I-A) zou leiden tot een geschatte verhoging van de investeringskosten van ongeveer 0,23% van het windpark ten opzichte van een ontwerp zonder NiB. Monitoring (wat in dit kavebesluit alleen bij afwijking van standaard NiB-maatregelen verplicht is, zie bijlage I), zou in de jaren dat monitoring plaatsvindt, leiden tot een verhoging van de onderhoudskosten van ongeveer 0,43 %.

6.1.4 Beschikbaarheid van gegevens

Voorliggend onderzoek is deels ingestoken onder de aanname dat windparkontwikkelaars over meer informatie beschikken dan momenteel openbaar beschikbaar is. Deze hypothese is slechts ten dele bevestigd. De ecologische onderzoeken naar NiB-maatregelen die in deze studie zijn gebruikt, zijn allemaal openbaar of komen zeer binnenkort beschikbaar (bijvoorbeeld van den Akker, in prep).

Windparkontwikkelaars geven aan dat ze zich intrinsiek gemotiveerd voelen om alle beschikbare data te delen, vanuit het oogpunt van transparantie en zodat men kan laten zien dat er wordt investeert in NiB en onderzoek. Dit is goed zichtbaar bij de maatregelen die los van het NiB-voorschrift zijn genomen, zoals in Gemini en Eneco Luchterduinen. Daarnaast is vanuit de overheid de richtlijn dat monitoringsresultaten van NiB openbaar moeten worden gemaakt.

Anderzijds zijn gegevens over kosten beperkt beschikbaar gesteld (bij 4/7 NiB-maatregelen die volgen uit het kavelbesluit). Dit geldt in het bijzonder voor monitoringskosten. Ontwikkelaars geven aan dat deze kosten voor NiB niet goed te ontvlechten zijn. Het aanleggen van een windpark is complex, waarbij verschillende organisaties betrokken zijn. In de praktijk is er niet altijd een duidelijk 'bonnetje' te achterhalen. In deze studie is aan de hand van een aantal casussen inzicht geboden in de kosten van NiB. Echter blijft er op dit onderwerp een onbekende-onbekende; we weten niet goed wat we niet weten over de kosten van NiB.

6.2 Adviezen

Voer consistent NiB-beleid en wees geduldig
Het traject van NiB-voorschriften tot ecologische resultaten kost veel tijd. Tussen kavelbesluit en installatie zit in de praktijk minimaal 5 jaar, vervolgens kan het zeker 5 tot 10 jaar duren voordat de ecologische gemeenschap zich heeft kunnen vormen. Resultaten worden vaak een jaar na monitoring openbaar. Het eerste NiB-voorschrift komt uit 2016, dus het is ook niet verwonderlijk dat op dit moment de ecologische waarde van NiB nog niet kan worden vastgesteld. Om dit in de toekomst wèl te kunnen doen is het van belang dat NiB-beleid consistent wordt uitgevoerd en de effectiviteit wordt onderzocht (zie hieronder). Er wordt geadviseerd dat NiB-voorschriften onderdeel blijven van de kavelbesluiten, waarbij rekening wordt gehouden met kavel-specifieke verschillen en de *state-of-the-art* van NiB en diens monitoring.

Voer ecologische monitoring grondig uit
Vanuit het Programma Noordzee volgt dat NiB moet worden geoptimaliseerd, door gebruik te maken van opgedane ervaringen en monitoring (Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat et al., 2022). Voor dergelijke optimalisatie, is het van belang dat monitoring grondig wordt uitgevoerd op basis van een gedegen onderzoeksontwerp, voldoende monsterpunten, replica's en een langdurige tijdsreeks.

Het is aanbevolen aan te sluiten bij methodes van (rijks)onderzoeksprogramma's zoals Wind op zee ecologisch programma (Wozep) en MONS. Hierbij moet onder andere rekening worden gehouden met de ontwikkeltijd van de ecologische gemeenschap rond de NiB en de dynamiek van de kavel.

In het huidige NiB-voorschrift (zie bijlage I) is monitoring alleen verplicht bij afwijking van standaard maatregelen. Ook is daarbij beperkt gespecificeerd aan welke eisen monitoring dient te voldoen. In toekomstige kavelbesluiten kan deze voorwaarde worden aangepast. Hierbij kan de overheid monitoring op haar nemen, om meer grip te houden op de kwaliteit van de monitoring en te borgen dat deze consistent is over de verschillende windparken. Anderzijds kan deze verantwoordelijkheid ook worden teruggelegd bij de windparkontwikkelaars, wat juist aansluit op de Net Zero Industry Act (artikel 26) (Net Zero Industry Act - Verordening (EU) 2024/1735 v, 2024).

Om huidige kennislacunes te vullen, kan ook eenmalig monitoring worden uitgevoerd bij alle NiB-maatregelen die momenteel (al langere tijd) operationeel zijn. Hiermee kunnen missende gegevens (zoals voor Crosswind en Ørsted/NBIM of in de toekomst OranjeWind) eenduidig worden verzameld. Hierdoor kan een meer compleet beeld ontstaan van de ecologische waarde van NiB, zodat in de toekomst een betere keuze kan worden gemaakt tussen verschillende type NiB-maatregelen.

Hou rekening met de (on)mogelijkheden van opschaling

Zoals gesteld in Hoofdstuk 1 wordt vanuit Europees en Nederlands beleid natuurherstel op zee gestimuleerd (Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat et al., 2022; Natuurherstel Verordening - Verordening (EU) 2024/1991, 2024; Net Zero Industry Act - Verordening (EU) 2024/1735 v, 2024). Met name vanuit de natuurherstelverordening is het denkbaar dat natuurherstel op grote schaal (30 % van mariene ecosysteem) zal plaatsvinden, waar NiB in windparken mogelijk een rol in zou kunnen spelen. Om dergelijke oppervlaktes te realiseren, moeten NiB-maatregelen schaalbaar zijn (zie ook paragraaf 6.1.3).

Blijf ecologische monitoringsprotocollen en -technieken ontwikkelen

Goed beschouwd staat NiB nog in de kinderschoenen, en de ecologische monitoring ervan zeker ook. Offshore monitoring kent veel uitdagingen en er blijkt een groot contrast tussen plan en uitwerking. Het is daarom van belang dat er lessen worden getrokken over effectief monitoren en dat beleid en de praktijk op zee elkaar dichter benaderen. Ook moet de ontwikkeling van monitoringstechnieken zich blijven doorzetten. Dit kan door nieuwe methodes te ontwikkelen (zoals een ROV die schraapmonsters kan nemen), verbetering van bestaande technieken (zoals eDNA), of juist het versimpelen van onderzoek (bijvoorbeeld het ophijsen van NiB-maatregelen, zodat complexe monitoring niet nodig is). De ontwikkeling van dit soort protocollen en technieken is van belang zekerheid te verkrijgen over de ecologische effectiviteit van NiB maatregelen.

7

REFERENTIES

Bates, M. J. (1989). The design of browsing and berrypicking techniques for the online search interface. *Online Review*, *13*(5), 407–424. https://doi.org/10.1108/eb024320.

Berges, B. J. P., Knaap, I. V. D., Van Keeken, O. A., Reubens, J., & Winter, H. V. (2024). Strong site fidelity, residency and local behaviour of Atlantic cod (Gadus morhua) at two types of artificial reefs in an offshore wind farm. *Royal Society Open Science*, *11*(7), 240339. https://doi.org/10.1098/rsos.240339.

Bos, O. G., Duarte-Pedrosa, S., Didderen, K., Bergsma, J. H., Heye, S., & Kamermans, P. (2023). Performance of European oysters (Ostrea edulis L.) in the Dutch North Sea, across five restoration pilots. *Frontiers in Marine Science*, *10*, 1233744. https://doi.org/10.3389/fmars.2023.1233744.

Bouma, S., & Lengkeek, W. (2013). *Benthic communities on hard substrates of the offshore wind farm Egmond aan Zee (OWEZ)*.

Buyse, J., Hostens, K., Degraer, S., De Troch, M., Wittoeck, J., & De Backer, A. (2023). Increased food availability at offshore wind farms affects trophic ecology of plaice Pleuronectes platessa. *Science of The Total Environment*, *862*, 160730. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.160730.

Buyse, J., Reubens, J., Hostens, K., Degraer, S., Goossens, J., & De Backer, A. (2023). European plaice movements show evidence of high residency, site fidelity, and feeding around hard substrates within an offshore wind farm. *ICES Journal of Marine Science*, fsad179. https://doi.org/10.1093/icesjms/fsad179.

BVGAssociates. (2025). *Guide to an Offshore Wind Farm Update 2025*. https://guidetoanoffshorewindfarm.com/wp-content/uploads/2025/06/BVGA-16464-Fixed-Guide-rF.pdf.

Centraal Bureau voor Statistiek. (2025). *Indexatie Grond-, weg- en waterbouw* [Dataset]. https://www.cbs.nl/nl-nl/cijfers/detail/86049NED.

Coolen, J. W. P., Bittner, O., Driessen, F. M. F., Van Dongen, U., Siahaya, M. S., De Groot, W., Mavraki, N., Bolam, S. G., & Van Der Weide, B. (2020). Ecological implications of removing a concrete gas platform in the North Sea. *Journal of Sea Research*, *166*, 101968. https://doi.org/10.1016/j.seares.2020.101968.

Coolen, J. W. P., Boon, A. R., Crooijmans, R., Van Pelt, H., Kleissen, F., Gerla, D., Beermann, J., Birchenough, S. N. R., Becking, L. E., & Luttikhuizen, P. C. (2020). Marine stepping-stones: Connectivity of *Mytilus edulis* populations between offshore energy installations. *Molecular Ecology*, *29*(4), 686–703. https://doi.org/10.1111/mec.15364.

Coolen, J. W. P., Van Der Weide, B., Bittner, O., Peck, N., Kornau, L., Keur, M., Foekema, E., banez-Erquiaga, B., & Huizinga, J.-J. (2025). *Marine growth sampling tool evaluation: Evaluation of the performance of an ROV-mounted tool for sampling marine growth on Offshore energy structures*. Wageningen Marine Research. https://doi.org/10.18174/678892.

Coolen, J. W. P., Van Der Weide, B., Cuperus, J., Blomberg, M., Van Moorsel, G. W. N. M., Faasse, M. A., Bos, O. G., Degraer, S., & Lindeboom, H. J. (2018). Benthic biodiversity on old platforms, young wind farms, and rocky reefs. *ICES Journal of Marine Science*, *77*(3), 1250–1265. https://doi.org/10.1093/icesjms/fsy092.

Coolen, J. W. P., Vanaverbeke, J., Dannheim, J., Garcia, C., Birchenough, S. N. R., Krone, R., & Beermann, J. (2022). Generalized changes of benthic communities after construction of wind farms in the southern North Sea. *Journal of Environmental Management*, *315*, 115173. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115173.

Coolen, J. W. P., Wijnhoven, S., Bergsma, J., & Mavraki, N. (2022). *Sampling hard substrates in Dutch offshore wind farms: Work plan towards an offshore wind farm hard substrate sampling & monitoring programme in the Netherlands [MONS-project ID46]* (C003/22; p.). Wageningen Marine Research. https://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/594163.

Dannheim, J., Beermann, J., Coolen, J. W. P., Vanaverbeke, J., Degraer, S., Birchenough, S. N. R., Garcia, C., Lacroix, G., Fiorentino, D., Lindeboom, H., Krone, R., Pehlke, H., Braeckman, U., & Brey, T. (2025). Offshore wind turbines constitute benthic secondary production hotspots on and around constructions. *Journal of Environmental Management*, *393*, 126922. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2025.126922.

Dannheim, J., Kloss, P., Vanaverbeke, J., Mavraki, N., Zupan, M., Spielmann, V., Degraer, S., Birchenough, S. N. R., Janas, U., Sheehan, E., Teschke, K., Gill, A. B., Hutchison, Z., Carey, D. A., Rasser, M., Buyse, J., Van Der Weide, B., Bittner, O., Causon, P., … Coolen, J. W. P. (2025). Biodiversity Information of benthic Species at ARtificial structures – BISAR. *Scientific Data*, *12*(1), 604. https://doi.org/10.1038/s41597-025-04920-1.

Degraer, S., Carey, D. A., Coolen, J. W. P., Hutchison, Z. L., Kerckhof, F., Rumes, B., & Vanaverbeke, J. (2020). Offshore wind farm artificial reefs affect ecosystem structure and functioning: A synthesis. *Oceanography*, *33*(4), 48–57. https://doi.org/10.5670/oceanog.2020.405.

Didderen, K., Bergsma, J. H., & Kamermans, P. (2019). *Offshore flat oyster pilot Luchterduinen wind farm* (Nos. 18–0754). Bureau Waardenburg.

Gimpel, A., Werner, K. M., Bockelmann, F.-D., Haslob, H., Kloppmann, M., Schaber, M., & Stelzenmüller, V. (2023). Ecological effects of offshore wind farms on Atlantic cod (Gadus morhua) in the southern North Sea. *Science of The Total Environment*, *878*, 162902. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.162902.

Herman, P. M. J., & van Rees, F. F. (2021). *Mapping Reef forming North Sea Species*. Deltares.

Hermans, A., Prusina, I., & Bos, O. (2020). *Nature-Inclusive Design: A catalogue for offshore wind infrastructure: Technical report—Research@WUR*. https://research.wur.nl/en/publications/nature-inclusive-design-a-catalogue-for-offshore-wind-infrastruct.

Hermans, A., Schilt, B., van der Endt, J. J., Smit, M., & Dusseljee, D. (2024). *Afwegingskader natuurvriendelijk bouwen Noordzee. Onderzoek naar natuurbeschermende en natuurversterkende maatregelen voor energie infrastructuur op de Noordzee* (Definitief 138138/24-003.391). Witteveen+Bos, in opdracht van het Noordzeeoverleg.

Kamermans, P. (2022). *Letter report Oyster Larvea monitoring*. https://toolbox.therichnorthsea.com/app/uploads/2024/07/LUD_Section2_tab2_Report-LUD-larvae-2022_ok.pdf.

Kamermans, P., Duren, L. van, & Kleissen, F. (2018). *European flat oysters on offshore wind farms: Additional locations: opportunities for the development of European flat oyster (Ostrea edulis) populations on planned wind farms and additional locations in the Dutch section of the North Sea*. https://doi.org/10.18174/456358.

Kingma, E. M., Ter Hofstede, R., Kardinaal, E., Bakker, R., Bittner, O., Van Der Weide, B., & Coolen, J. W. P. (2024). Guardians of the seabed: Nature-inclusive design of scour protection in offshore wind farms enhances benthic diversity. *Journal of Sea Research*, *199*, 102502. https://doi.org/10.1016/j.seares.2024.102502.

Leewis, L., Olie, R., Faasse, M., & van Os, I. (2024). *Monitoring of the nature enhancement project in offshore wind farm Borssele III/IV, T3 2023*. Eurofins. https://toolbox.therichnorthsea.com/app/uploads/2025/01/BW-Final-report-T3.pdf

Lemasson, A. J., Somerfield, P. J., Schratzberger, M., Thompson, M. S. A., Firth, L. B., Couce, E., McNeill, C. L., Nunes, J., Pascoe, C., Watson, S. C. L., & Knights, A. M. (2024). A global meta-analysis of ecological effects from offshore marine artificial structures. *Nature Sustainability*, *7*(4), 485–495. https://doi.org/10.1038/s41893-024-01311-z.

Lengkeek, W., Didderen, K., Teunis, M., & Driessen, F. (2017). *Eco-friendly design of scour protection: Potential enhancement of ecological functioning in offshore wind farms*.

Leonhard, S. B., & Pedersen, J. (2006). *Benthic Communities at Horns Rev Before, During and After Construction of Horns Rev Offshore Wind Farm* [Annual Report 2005]. Bio/consult as.

Mancini, S., Bloothoofd, J., & Donnelley, G. (2025). *Offshore Wind Farm Decommissioning Cost Estimates* (060.66012). TNO. https://offshorewind.rvo.nl/file/download/a14d177c-0c98-4788-8775-a3c22eb7846f/Report-OWF_Decommissioning_cost_estimates_-_TNO_Jan_2026.pdf.

Mavraki, N., Degraer, S., & Vanaverbeke, J. (2021). Offshore wind farms and the attraction–production hypothesis: Insights from a combination of stomach content and stable isotope analyses. *Hydrobiologia*, *848*(7), 1639–1657. https://doi.org/10.1007/s10750-021-04553-6.

Mavraki, N., Kingma, E., & Coolen, J. W. P. (2025). *Biodiversity on production platforms: Investigating the use of an assessment framework for nature-friendly decommissioning decisions*. Wageningen Marine Research. https://doi.org/10.18174/691202.

Merk, V., Colsoul, B., & Pogoda, B. (2020). Return of the native: Survival, growth and condition of European oysters reintroduced to German offshore waters. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, *30*(11), 2180–2190. https://doi.org/10.1002/aqc.3426.

Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselveiligheid, Ministerie van Economische Zaken en Klimaat, & Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties. (2022). *Programma Noordzee 2022-2027*. Het Noordzee Overleg. https://www.noordzeeloket.nl/beleid/programma-noordzee-2022-2027/.

Natuurherstel Verordening - Verordening (EU) 2024/1991, EUR-LEx (2024). https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2024/1991/oj.

Net Zero Industry Act - Verordening (EU) 2024/1735 v (2024).

Overlegorgaan Fysieke Leefomgeving. (2024). *MONS Jaarplan 2025*.

Robert, R., Borel, M., Pichot, Y., & Trut, G. (1991). Growth and mortality of the European oyster *Ostrea edulis* in the Bay of Arcachon (France). *Aquatic Living Resources*, *4*(4), 265–274. https://doi.org/10.1051/alr:1991028.

Rozemeijer, M. J. C., Berges, B., Jacobs, F. A. G., Van Onselen, E., & Meeldijk, C. (2024). *Habitat use, home-ranges and activity patterns of translocated European lobster Homarus Gammarus on artificial reefs as assessed by acoustic telemetry: On the functioning of the new artificial reefs of Ørsted in Borssele II: with reviews on habitat requirements for European lobsters and their mobility*. Wageningen Marine Research. https://doi.org/10.18174/642268.

Schutter, M., Dorenbosch, M., Driessen, F. M. F., Lengkeek, W., Bos, O. G., & Coolen, J. W. P. (2019). Oil and gas platforms as artificial substrates for epibenthic North Sea fauna: Effects of location and depth. *Journal of Sea Research*, *153*, 101782. https://doi.org/10.1016/j.seares.2019.101782.

Schutter, M., Tonk, L., Kamermans, P., Kardinaal, E., & Ter Hofstede, R. (2021). *EcoScour project Borssele V. Outplacement methods of European flat oysters.* (Nos. 21–328). Bureau Waardenburg. https://edepot.wur.nl/684920.

Smaal, A., Kamermans, P., Kleissen, F., van Duren, L., & van der Have, T. (2017). *Platte oesters in offshorewindparken (POP)*. https://edepot.wur.nl/412950.

Staatscourant. (2016). *Kavelbesluit I windenergiegebied Borssele* (Nr 14428). Staatscourant. https://zoek.officielebekendmakingen.nl/stcrt-2016-14428.pdf.

Staatscourant. (2019). *Kavelbesluit V windenergiegebied Hollandse Kust (noord)* (Nr 24545). Staatscourant. https://zoek.officielebekendmakingen.nl/stcrt-2019-24545.pdf.

Staatscourant. (2022a). *Kavelbesluit VI windenergiegebied Hollandse Kust (west)* (Nr 4381). Staatscourant. https://zoek.officielebekendmakingen.nl/stcrt-2022-4381.pdf.

Staatscourant. (2022b). *Kavelbesluit VII windenergiegebied Hollandse Kust (west)* (Nr 3428). Staatscourant. https://zoek.officielebekendmakingen.nl/stcrt-2022-3428.pdf.

Staatscourant. (2022c). *Regeling vergunningverlening windenergiegebied Hollandse Kust (west) kavel VI)* (Nos. 7101-N1). https://zoek.officielebekendmakingen.nl/stcrt-2022-7101-n1.pdf.

Staatscourant. (2025). *Kavelbesluit kavel windenergiegebied Nederwiek Zuid I-A* (Nr 13171). Staatscourant. https://zoek.officielebekendmakingen.nl/stcrt-2025-13171.html.

Stechele, B., Hughes, A., Degraer, S., Bossier, P., & Nevejan, N. (2023). Northern Europe's suitability for offshore European flat oyster (*OSTREA EDULIS*) habitat restoration: A mechanistic niche modelling approach. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, *33*(7), 696–707. https://doi.org/10.1002/aqc.3947.

ter Hofstede, R. (2024). *Engineering nature-inclusive marine infrastructure with an emphasis on flat oyster reef development in offshore wind farms in the Southern North Sea* [Delft University of Technology]. https://doi.org/10.4233/UUID:FA230660-31CC-4DED-8B94-2AADD19038FB.

ter Hofstede, R., Driessen, F. M. F., Elzinga, P. J., Van Koningsveld, M., & Schutter, M. (2022). Offshore wind farms contribute to epibenthic biodiversity in the North Sea. *Journal of Sea Research*, *185*, 102229. https://doi.org/10.1016/j.seares.2022.102229.

van den Akker, S., Kardinaal, W. E. A., de Haan, E., Stomp, A. C., Keldermand, W. H., Olde Wolbers, R., & Janse, I. (in prep). *Ecological monitoring of Nature Inclusive Design elements in Hollandse Kust Zuid—T2 monitoring 2024—Final Draft* (Nos. 23–0344). Waardenburg Ecology.

van der Akker, S., Nijsten, G., & Dibberen, K. (2024). *Nature Inclusive Building Plan HKZ1-4*. Vattenfall.

van der Endt, J. J., Hermans, A., & Schilt, B. (2025). *Evaluatie Natuurinclusief Bouwen—Analyse en evaluatie van NiB-voorschriften* (147024 /25-012.695). Witteveen+Bos.

Van Sluis, C. J., Van Onselen, E., Airoldi, L., Duarte, C. M., Van Rijswick, H. F. M. W., Van Der Heide, T., Olie, R. A., Kelder, M., & Bouma, T. J. (2025). Financing marine restoration through offshore wind investments. *BioScience*, *75*(10), 856–864. https://doi.org/10.1093/biosci/biaf092

Vanagt, T., & Faasse, M. (2014). *Development of hard substratum fauna in the Princess Amalia Wind Farm*.
Zupan, M., Rumes, B., Vanaverbeke, J., Degraer, S., & Kerckhof, F. (2023). Long-Term Succession on Offshore Wind Farms and the Role of Species Interactions. *Diversity*, *15*(2), 288. https://doi.org/10.3390/d15020288.

Bijlage(n)

BIJLAGE: VOORBEELD NIB VOORSCHRIFT

In onderstaand kader het voorschrift 7.8.6 voor Bevorderen biodiversiteit met Natuurinclusief bouwen uit het, meest recente, kavelbesluit Nederwiek (zuid) I-A opgenomen (Staatscourant, 2025).

Windparken kunnen ook kansen opleveren voor het herstel van (inheemse) soorten en habitats. Naast het realiseren van bepaalde duurzame vormen van medegebruik (zie paragraaf 6.14), kan door het zogeheten natuurinclusief bouwen worden bijgedragen aan natuurherstel in de Noordzee. Bepaalde organismen kunnen bijvoorbeeld profiteren van de toegepaste materialen.

Gelet op het Programma Noordzee 2022–2027, specifiek het beleidsdoel om het mariene ecosysteem te versterken en herstellen, is in dit besluit een voorschrift voor natuurinclusief bouwen opgenomen(voorschrift 4, zevende lid). Dit voorschrift verplicht de vergunninghouder, indien deze stenen of andere materialen gebruikt als erosiebescherming rondom de funderingen van windturbines, om maatregelen te nemen ter vergroting van de kansen voor van nature in de Noordzee voorkomende soorten en habitats. Op deze wijze draagt het windpark actief bij aan een gezonde zee en herstel van soorten en habitats die van nature in Nederland voorkomen, in het bijzonder van soorten en habitats die versterking behoeven. Indien de vergunninghouder geen erosiebescherming rondom de fundering aanlegt, is dit voorschrift niet van toepassing.

Naar aanleiding van onderzoek zijn twee voorkeursrichtingen geïdentificeerd voor natuurstimulerende maatregelen in de Noordzee: het toepassen van natuurstimulerende erosiebescherming bij nieuwe windparken en introductie van platte oesters in windparken. Deze richtingen zijn nader verkend middels een onderzoek naar mogelijkheden voor het toepassen van natuurstimulerende erosiebescherming in windparken op zee (focus op twee ‘paraplusoorten’: platte oester en kabeljauw) (Lengkeek et al., 2017), twee onderzoeken naar mogelijkheden voor de ontwikkeling van platte-oesterpopulaties in Nederlandse windparken op zee (Kamermans et al., 2018; Smaal et al., 2017) en een studie naar aanvullende opties voor het natuurinclusief bouwen (Hermans et al., 2020). Twee onderzoeken naar mogelijkheden voor de ontwikkeling van platte-oesterpopulaties in Nederlandse windparken op zee en een studie naar aanvullende opties voor het natuurinclusief bouwen (Hermans et al., 2020).

De kavel[s] [wordt [worden] geschikt geacht voor het toepassen van stimulerende maatregelen voor kabeljauwen aanverwante biodiversiteit. De kabeljauw staat op de lijst van bedreigde en/of achteruitgaande soorten en habitats van OSPAR en is een relevante soort in het kader van de KRM, meer specifiek in relatie tot het doel van herstel en behoud van biodiversiteit (KRM-descriptor 1). Uit onderzoeken, waaronder recent verschenen locatieonderzoek in windenergiegebied Borssele, volgt dat artificiële riffen daadwerkelijk worden gebruikt door gezenderde kabeljauwen (Berges et al., 2024). Ook wordt een toename van prooidieren verwacht, zoals kleine schaaldieren en jonge vissen. De variabele ruimten tussen het substraat van erosiebescherming kunnen fungeren als kraamkamer waar jonge vissen zich verstoppen. Deze toename van biomassa van verschillende soortgroepen is ook gunstig voor zeezoogdieren als zeehonden (Hermans et al., 2020).

In het voorliggende voorschrift mogen maatregelen voor het zogeheten natuurinclusief ontwerpen en bouwen alleen betrekking hebben op de windparkstructuren zelf (direct gerelateerd aan de op te richten windturbines en erosiebescherming). Het voorschrift stelt op de eerste plaats eisen aan de stabiliteit van de (bovenste gradatie) van de erosiebescherming van de funderingen bij minimaal 40 % van de windturbines in het windpark. Dit kan worden gerealiseerd tegen betrekkelijk lage (meer)kosten. Door beweging van erosiebescherming te beperken worden de kansen vergroot voorin of op de bescherming levende organismen. Op de tweede plaats stelt het voorschrift voor die windturbines eisen aan de mate waarin holten en spleten worden gecreëerd in de erosiebescherming of middels additionele structuren. Daarvan moet in elk geval kabeljauw kunnen profiteren alsmede 'begeleidende' biodiversiteit. Voorbeelden van de in onderdeel c van voorschrift 4, zevende lid, genoemde additionele structuren zijn te vinden in de genoemde studie naar aanvullende opties voor het natuurinclusief bouwen.

Voor alle toegepaste maatregelen geldt dat ze voor vergelijkbare condities ontworpen moeten worden als de erosiebescherming, de fundering en de kabelaansluitingen, tenzij anders vermeld en dient te worden aangetoond dat niet alleen de toegepaste structuren hydrodynamisch stabiel zijn, maar ook de naastgelegen erosiebescherming. Om sedimentatie in holtes (of spleten) van de erosiebescherming(b) of kunstmatige structuren (d of e) te minimaliseren, dient het ontwerp zodanig te zijn dat materiaal van de bestaande zeebodem niet door de erosiebescherming of structuren heen spoelt en dat inzanding door horizontaal transport wordt geminimaliseerd. Tevens dient het ontwerp te borgen dat effecten op ontgronding aan de rand van de erosiebescherming en impact op de kabel worden geminimaliseerd. De materialen van de toegepaste structuren dienen zodanig te zijn dat de aangroei van soorten, die van nature voorkomen in het Nederlandse deel van de Noordzee, niet wordt belemmerd (bijvoorbeeld door uitloging).

Voor natuurinclusief bouwen dient de vergunninghouder voor aanvang van de bouw van het windpark een plan van aanpak in. Het plan van aanpak bevat onder meer een nadere verantwoording over tegemoetkoming aan de eisen die het voorschrift stelt aan de stabiliteit van de (bovenste gradatie van de) erosiebescherming van de funderingen bij minimaal 40 procent van de windturbines in het windpark (a) en de minimalisering van sedimentatie van holtes (b en c). De werkzaamheden die onderdeel vormen van de uitvoering van dit plan van aanpak zijn een integraal onderdeel van het windpark. Conform het voorschrift mogen maatregelen voor het zogeheten natuurinclusief ontwerpen en bouwen alleen betrekking hebben op de windparkstructuren zelf (direct gerelateerd aan de op te richten windturbines en erosiebescherming). Indien, additioneel, installaties of constructies worden geplaatst los van de windturbines en de erosiebescherming, dan dient hiervoor een omgevingsvergunning te worden aangevraagd. De aanvraag zal dan getoetst worden aan de daarvoor geldende regels en afwegingskaders.

Voorschrift 4 lid 7

[relevante wijzigingen van NiB-voorschrift ten opzichte van IJmuiden Ver Alpha & Beta zijn onderstreept]:
Maatregelen ter vergroting van het geschikte habitat voor van nature in de Noordzee voortkomende soorten.

a) als stenen of andere materialen gebruikt worden als erosiebescherming rondom de windturbinefundering, dan dient bij minimaal 40 procent van alle windturbines de erosiebescherming zo te worden ontworpen dat geen beweging plaatsvindt bij stormcondities met een herhalingsperiode van één jaar;
b) de in onderdeel a van dit lid genoemde erosiebescherming dient minimaal twee spleten of holtes per vierkante meter oppervlak te bevatten van minimaal 10 tot maximaal 30 centimeter in diameter en minimaal 20 tot maximaal 50 centimeter diep. Het ontwerp is zodanig dat sedimentatie in de holtes wordt geminimaliseerd.;
c) onverminderd het in onderdeel a van dit lid bepaalde, kan de verplichting in onderdeel b van dit lid op een alternatieve wijze worden ingevuld door op of in de in onderdeel a van dit lid genoemde erosiebescherming zes kunstmatige structuren per windturbine te installeren. Deze structuren dienen stabiel op de erosiebescherming te staan of daarin (gedeeltelijk) te zijn ingebed en dienen zich te bevinden buiten de door de windturbinepaal in de dominante stromingsrichting gecreëerde turbulentie. Het ontwerp is zodanig dat sedimentatie in de holtes wordt geminimaliseerd;

d) van de in onderdeel c van dit lid bedoelde kunstmatige structuren zijn (combinaties van) de volgende structuren toegestaan:
   - buizen, geheel cilindervormig of met een hexagonale buitenzijde en een cilindervormige binnenzijde, met zowel een lengte als diameter van minimaal 100 cm. Daarbij dient steeds een van de buisuiteinden te allen tijde toegankelijk te zijn, en is een buis aan de bovenzijde voorzien van minimaal vier gaten van minimaal 15 en maximaal 30 cm per meter om wateruitwisseling te garanderen;
   - bol- of kubusvormige structuren met een binnendiameter van minimaal 100 cm en toegankelijk door minimaal 6 en maximaal 15 openingen met een diameter variërend van 15 tot 50 cm;
   - overige structuren die minimaal 6 afzonderlijke holtes bevatten met de volgende dimensies: minimaal 10 tot maximaal 30 centimeter diameter en minimaal 20 tot maximaal 50 centimeter diepte;
e) onverminderd het in de onderdelen a en c van dit lid bepaalde, kunnen andere dan de in onderdeel d van dit lid vermelde (combinaties van) kunstmatige structuren worden geïnstalleerd. De afmetingen van holtes en openingen en de aantallen openingen van deze structuren dienen zodanig te zijn, dat de structuren op vergelijkbare wijze een habitat bieden aan de beoogde soorten als de in onderdeel d vermelde structuren. Daarbij dient de vergunninghouder ook te voorzien in een locatie specifiek monitoringsprogramma om de effecten van de maatregelen te kunnen vaststellen.
f) de vergunninghouder stelt een plan van aanpak op voor de te nemen maatregelen bedoeld inde onderdelen a tot en met e, en overlegt dat uiterlijk vier weken voorafgaand aan de start van de bouw aan de Minister van Klimaat en Groene Groei;
g) de werkzaamheden worden uitgevoerd conform het plan bedoeld in onderdeel f van dit lid.

II

BIJLAGE: SLEUTELBEGRIPPEN EN BOOLEAANSE ZOEKOPDRACHT

Sleutelbegrippen en bijhorende synoniemen

Voor deze studie zijn zes sleutelbegrippen en bijhorende relevante synoniemen opgenomen in de zoekterm. De synoniemen zijn aangegeven tussen de haakjes. Sleutelbegrippen en synoniemen zijn als volgt:

- *Scour protection* (scour protection, artificial reefs, hard substrate, substrate enhancement, rock armour, boulder reefs);
- *Species composition* (species composition, community structure, biodiversity, assemblage, faunal/floral diversity, biological communities, ecological, ecosystem services, ecological function, habitat);
- *North Sea region* (North Sea, temperate waters);
- *Offshore wind parks, Gas- and oil platforms* (offshore wind farms, wind turbines, offshore energy installations, oil rigs, gas platforms, offshore structures, marine infrastructure, offshore installations);
- *Monitoring results* (monitoring results, field surveys, in situ observations, empirical studies, biological assessments, monitoring data, ecological monitoring);
- *Nature-inclusive Building* (Nature-inclusive, nature based solutions, eco-friendly design, eco-engineering).

Booleaanse zoekopdracht

De zes sleutelbegrippen, relevante bijhorende synoniemen en zoekcriteria zijn aan de hand van Booleaanse operators samengevoegd tot onderstaande zoekterm. Hierbij is gebruik gemaakt van wildcards (asterisk/*) waar zinvol om meervoudsvormen of variaties van terminologie mee te nemen in de studie.

zoekterm:

("species composition" OR biodivers* OR "community structure*" OR assemblage* OR "biological communit*") AND ("North Sea" OR "temperate water*") AND ("ecological value*" OR "ecosystem service*" OR "ecological function*" OR "habitat value*" OR "environmental benefit*") AND ("scour protection*" OR "artificial reef*" OR "hard substrate*" OR "substrate enhancement*" OR "rock armour*" OR "boulder reef*" OR revetment* OR "foundation mattress*") AND ("offshore wind farm*" OR "wind turbine*" OR "oil platform*" OR "gas platform*" OR "offshore structure*" OR "energy installation*" OR "marine infrastructure*" OR "offshore installation*") AND ("monitoring result*" OR "field survey*" OR "in situ observation*" OR "empirical stud*" OR "biological assessment*" OR "ecological monitoring" OR "monitoring data*") AND ("nature-inclusive*" OR "nature based*" OR "nature-based solution*" OR "eco-friendly design*") assessment*" OR "ecological monitoring" OR "monitoring data*") AND ("nature-inclusive*" OR "nature based*" OR "nature-based solution*" OR "eco-friendly design*")

III

BIJLAGE: DATASHEET RESULTATEN SEMI-SYSTEMATISCHE LITERATUURSTUDIE

Tabel III.1 Overzicht resultaten semi-systematische literatuurstudie, deel 1 van 2

Referentie	Regio (Land)	Locatie	Object bij erosiebescherming	Aantal objecten gemonitord in studie	Diameter erosiebescherming (m)	Oppervlakte erosiebescherming (m^2)	Substraattype (materiaal)	Steengrootte (diameter in cm)	NiB-maatregelen toegepast?
Leonhard & Pedersen, 2006	Noordzee (Denemarken)	Horns Rev 1	windturbines	6	25	490,87	steenbestorting	onbekend	nee
Bouma & Lengkeek, 2013	Noordzee (Nederland)	Offshore Windpark Egmond aan Zee (OWEZ)	windturbines	3	25	490,87	steenbestorting	verschillende afmetingen	nee
Vanagt & Faasse, 2014	Noordzee (Nederland)	Prinses Amaliawindpark (PAWP)	windturbines	4	40	1256,64	steenbestorting	18,5 - 50	nee
ter Hofstede et al., 2022	Noordzee (Nederland, België)	Gemini, Luchterduinen, Prinses Amalia, Belwind	windturbines	12	verschillende afmetingen	verschillende afmetingen	steenbestorting	verschillende afmetingen	nee
Coolen et al., 2018	Noordzee (Nederland)	verschillende platforms	olie- en gasplatforms	5	verschillende afmetingen	500 - 8800	steenbestorting	5 - 50	nee
Coolen et al., 2020	Noordzee (Nederland)	Halfweg	olie- en gasplatforms	1	30-40	2889,00	steenbestorting	10 -70	nee
Schutter et al., 2021	Noordzee (Nederland, Denemarken)	verschillende platforms	olie- en gasplatforms	17	verschillende afmetingen	verschillende afmetingen	steenbestorting	verschillende afmetingen	nee

Tabel III.2 Overzicht resultaten semi-systematische literatuurstudie, deel 2 van 2

Referentie	Monitoringsmethode toegepast	Taxa onderzocht	Totaal waargenomen soorten (aantal)	Parameters voor ecologische waarde	Indicator van biodiversiteit	Expressie biodiversiteit	Kwantificatie biodiversiteit (index)	Studiebetrouwbaarheid (1-3)
Leonhard & Pedersen, 2006	schraapmonsters (duikers) + lab-analyse; videoanalyse (duikers)	annelida, arthropoda, bryozoa, chordata, cnidaria, echinodermata, mollusca, nematoda, porifera, macroalgae	137	biodiversiteit	soortenrijkdom, soortendichtheid, abundantie	individuen/m^2	n.v.t.	3
Bouma & Lengkeek, 2013	schraapmonsters (duikers) + lab-analyse; videoanalyse (duikers)	annelida, arthropoda, bryozoa, cnidaria, echinodermata, mollusca, nematoda, porifera, macroalgae	35	biodiversiteit	soortenrijkdom, soortendichtheid	individuen/m^2	n.v.t.	3
Vanagt & Faasse, 2014	schraapmonsters (duikers) + lab-analyse; videoanalyse (duikers)	annelida, arthropoda, bryozoa, chordata, cnidaria, echinodermata, mollusca, nematoda, porifera, macroalgae	41	biodiversiteit, biomassa	soortenrijkdom, soortendichtheid	tellen	Shannon-Wiener, Simpson	3
ter Hofstede et al., 2022	videoanalyse (ROV)	annelida, arthropoda, chordata, cnidaria, echinodermata, mollusca, porifera	47	biodiversiteit	soortenrijkdom, soortendichtheid	tellen	Shannon-Wiener	2
Coolen et al., 2018	schraapmonsters (duikers) + lab-analyse	arthropoda, bryozoa, chordata, cnidaria, echinodermata, mollusca, nematoda	95	biodiversiteit, biomassa	soortenrijkdom, abundantie	individuen/m^2	n.v.t.	2
Coolen et al., 2020	schraapmonsters (duikers) + lab-analyse	annelida, arthropoda, bryozoa, chordata, cnidaria, echinodermata, mollusca, nematoda, porifera	44	biodiversiteit, biomassa	soortenrijkdom, abundantie	individuen/m^2	Simpson	2
Schutter et al., 2021	videoanalyse (ROV)	annelida, arthropoda, chordata, cnidaria, echinodermata, mollusca, porifera, macroalgae	38	biodiversiteit	soortenrijkdom	tellen	Shannon-Wiener, Braun-Blanquet	2

IV

BIJLAGE: LITERATUURSTUDIE HARDSUBSTRAATGEMEENSCHAPPEN OP EROSIEBESCHERMING

Horns Rev 1

In Leonhard & Pedersen (2006) is een uitgebreide analyse van hardsubstraatgemeenschappen gedaan op o.a. erosiebescherming in het Horns Rev windpark in Denemarken, waarin de ecologische waarde vóór, tijdens en de drie jaren na aanleg van het windpark worden vergeleken. In deze studie is de biodiversiteit (soortengemeenschap en abundantie) en biomassa op erosiebescherming rondom zes windturbines geanalyseerd middels videomateriaal en schraapmonsters afgenomen door duikers langs horizontale transecten.

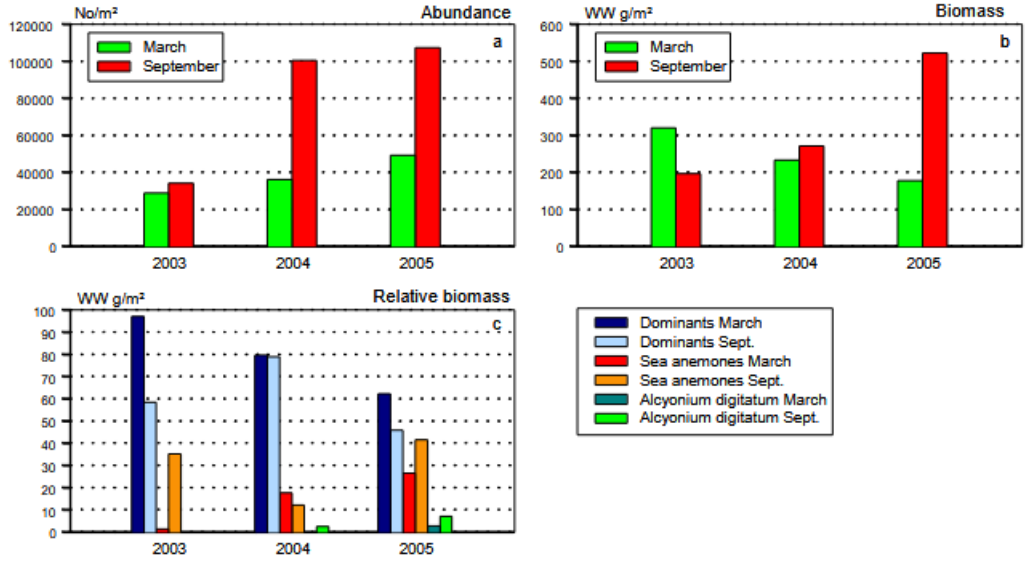
Deze studie zijn rond de erosiebescherming en turbinepaal 26 soorten macroalgae, 23 vissoorten, 76 soorten epifauna (op de bodem) en 64 infuana (in de bodem) waargenomen. Hierbij is niet duidelijk welke van deze soorten exact op de erosiebescherming zijn aangetroffen. De soortensamenstelling voor epifauna bestaat voor >98 % uit zeven dominante soorten (*Jassa marmorata, Caprella mutica, Mytilus edulis, Balanus crenatus, Asterias rubens, Cancer pagurus, Pomatoceros triqueter*). Dit is voornamelijk toe te schrijven aan de sterke toename van de gemarmerderde slijkgarnaal *(Jassa marmorata*).

Voor de samplinglocaties zijn in de periode 2003-2005 statistisch significante verschillen (P<0,001) tussen de hardsubstraatgemeenschappen waargenomen. In diezelfde periode neemt de relatieve biomassa van de zeven dominante soorten af (Afbeelding IV.1). Dit duidt erop dat de hardsubstraatgemeenschap in de eerste jaren ontwikkeld; nadat er in de eerste jaren enkele pioniersoorten voorkomen, neemt de biodiversiteit daarna toe. Dit is uiteraard een algemene trend die zowel op land als op zee voorkomt (Degraer et al., 2020).

Daarnaast speelt de afstand tot de turbinepaal (zonering) en bijhorende plaatselijke hydrodynamiek ook een belangrijke rol in de verschillen in soortensamenstelling. Erosiebescherming binnen 2 meter afstand van de turbinepaal wordt een significant (p-waarde niet opgenomen in rapport) andere soortengemeenschap waargenomen dan op erosiebescherming verder van de pilaar (>2 m) af. Er worden geen verschillen in hardsubstraatgemeenschappen tussen de zijde aan de dominante stroomrichting en de lijzijde van de turbinepaal.

De studie concludeert dat de introductie van nieuwe sublitorale hardsubstraten de grootste impact heeft op de ecologische waarde, gezien de grote verschillen tussen de nieuwe hardsubstraatgemeenschappen en oorspronkelijke soortgemeenschap op zandbanken in de Noordzee. De aanwezigheid van erosiebescherming zorgt hiermee voor een verhoging van lokale biodiversiteit en biomassa (voedselbeschikbaarheid). Daarnaast dient deze als mogelijk als leefgebied verschillende soorten (mobiele) fauna en als toevluchtsoord voor een aantal rode lijst soorten. Leonhard & Pedersen (2006) noemen specifiek tere platschep (*Angulus tenuis*) en gestekelde zandkokerworm (*Sabellaria spinulosa*).

Afbeelding IV.1 Abundantie en biomassa op erosiebescherming in Horns Rev 1 in maart en september voor de periode 2003-2005. a) abundantie (individuen/m^2); b) biomassa (nat gewicht, g/ m^2); c) relatieve verdeling van biomassa voor de 7 dominante soorten, andere soorten anemonen en dodemansduim (*Alcyconium digitatum*). Uit Leonhard & Pedersen (2006)



OWF Egmond aan Zee

Bouma & Lengkeek (2013) hebben volgens een vergelijkbare methode als Leonhard & Pedersen (analyse van stenen monsters en videomateriaal afgenomen door duikers) hardsubstraatgemeenschappen op turbinepilaren en erosiebescherming in OWF Egmond aan Zee (OWEZ) geanalyseerd. In totaal zijn 35 soorten (epi)fauna op de erosiebescherming waargenomen (24 in 2008 en 18 in 2011), waarbij de hardsubstraatgemeenschappen voor de drie onderzoekslocaties geen significante verschillen in soortensamenstelling tonen. Enerzijds zijn er in 2011 acht nieuwe soorten geïdentificeerd ten opzichte van de analyse uit 2008, anderzijds waren er ook 14 soorten geïdentificeerd in 2008 die in 2011 niet meer zijn gevonden. Dit suggereert een overname van enkele dominante soorten.

De studie vond een hoge algemene biodiversiteit op de erosiebescherming; met name de soorten anemonen (50-100 % bedekking) en kleine kreeftachtigen (30-50 %; 100 % bedekking op plekken zonder anemonen). Zeesterren komen in hoge dichtheden voor op de erosiebescherming (180/m^2) , maar in mindere mate ook andere soorten anemonen, borstelwormen en krabben.

Biomassa is in deze studie alleen geschat voor de gehele hardsubstraatgemeenschap (erosiebescherming + turbinepaal), waardoor weinig gezegd kan worden over de bijdrage in biomassa ten gevolge van hardsubstraatgemeenschappen op erosiebescherming. Er wordt geconcludeerd dat de hardsubstraat-gemeenschappen op erosiebescherming ecologische waarde toevoegen. Daarnaast vormen deze hardsubstraatgemeenschappen mogelijk een belangrijke voedselbron voor (juveniele) vissoorten zoals Noordzeekabeljauw en Steenbolk.

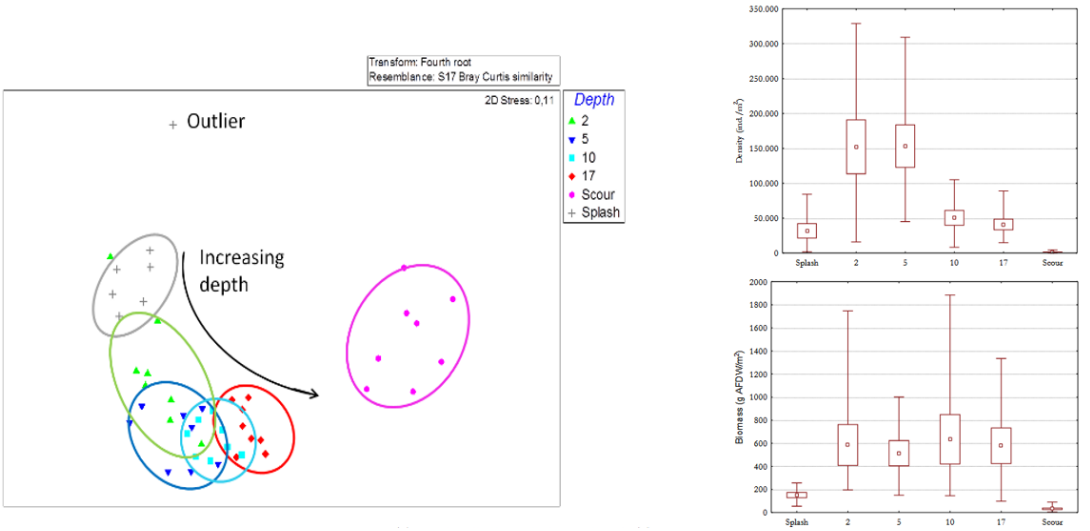
Prinses Amaliawindpark

Rond dezelfde periode als Bouma & Lengkeek (2013) is in het naastgelegen Prinses Amaliawindpark (PAWP) eenzelfde studie uitgevoerd door (Vanagt & Faasse, 2014). Duikers hebben hierbij video-opnamen en steenmonsters van de erosiebescherming rondom 4 turbinepilaren verzameld. Zij troffen 41 soorten (18 ± 4 soorten gemiddeld, 55 % overeenkomst tussen monsters) aan, waarbij duidelijke verschillen gevonden werden tussen de soortensamenstelling op de erosiebescherming en de bijhorende turbinepilaren (zie Afbeelding IV.2).

Biodiversiteit (soortendichtheid) op de erosiebescherming was hoog, waarbij zeekantwerk (*Conopeum reticulum*) de meest dominante soort blijkt (>50 % bedekking). Ook andere soorten Bryozoa (10 % bedekking), borstelwormen, kreeftachtigen en gewone mosselen zijn in mindere mate aanwezig. Opvallend is de grote variatie in bedekkingsgraad en soortensamenstelling van soorten Bryozoa tussen de zuidelijke- en noordelijke zijde van de erosiebescherming, welke verschilt per onderzoekslocatie.

De hoge bedekkingsgraad van enkele dominante, kolonievormende soorten zoals zeekantwerk leidt tot een relatief lage biodiversiteit op de erosiebescherming (H'=1,49; D=0,636). Gezien deze studie kolonievormende soorten als één individu beschouwt, resulteert dit ook in een relatief lage soortendichtheid van 1,552 ± 1,326 individuen/m^2.

Afbeelding IV.2 Verschillen in hardsubstraatgemeenschap in relatie tot verschillende waterdiepten (links) en boxplots met soortendichtheid (individuen/m2) (rechtsboven) en biomassa (drooggewicht in g/m2) (rechtsonder) per gemonitorde waterdiepte (m; x-as). Boxplots zijn weergegeven als gemiddelde ± SE. Bewerkt, uit Vanagt & Faasse, (2014)



Windparken in de zuidelijke Noordzee (NL/BE)

In een uitgebreide studie naar de effecten van erosiebescherming op ecologische waarde (biodiversiteit) van hardsubstraatgemeenschappen (ter Hofstede et al., 2022) zijn in vier windparken in de zuidelijke Noordzee (Belwind (BE), Gemini, Luchterduinen en Prinses Amalia (NL)) ieder drie turbinepalen en bijhorende erosiebescherming onderzocht. Hierbij is videomateriaal gemaakt door een ROV op acht radiale transectlijnen per studielocatie geanalyseerd.

In totaal zijn 47 verschillende soorten waargenomen (10 zeldzame soorten met een enkele waarneming zijn buiten beschouwing gelaten). Hiervan kwamen 41 soorten (87 %) voor op de erosiebescherming en in de aangrenzende 'transitiezone'. 21 van deze soorten zijn waargenomen in alle vier de windparken, waarbij de soorten Dodemansduim (*Alcyonium digitatum*), gewone kreeft (*Homarus gammarus*), kliplipvis (*Ctenolabrus rupestris*) en de botervis (*Pholis gunnellus*) uitsluitend op de erosiebescherming voorkwamen. Biodiversiteitswaarde en biomassa voor de hardsubstraatgemeenschappen op erosiebescherming in de bestudeerde windparken is getoond in Afbeelding IV.3.

De soortgemeenschap-cluster op de erosiebescherming verschilt voor 80 % van de soortgemeenschap-cluster voor aangrenzend zachtsubstraat. Dit benadrukt de grote diversiteit in habitat en hieruit volgende soortensamenstelling tussen hard- en zachtsubstraten. Soortenrijkdom was significant hoger voor de hardsubstraatgemeenschappen in Belwind en Gemini dan in de windparken Prinses Amalia en Luchterduinen. Visuele (ROV) data toont dat de abundantie erosiebescherming hoger is dan aangrenzende zachtsubstraten, hoewel infauna (soorten in de bodem) bij deze techniek zijn meegenomen.

Shannon-Wiener index (H')

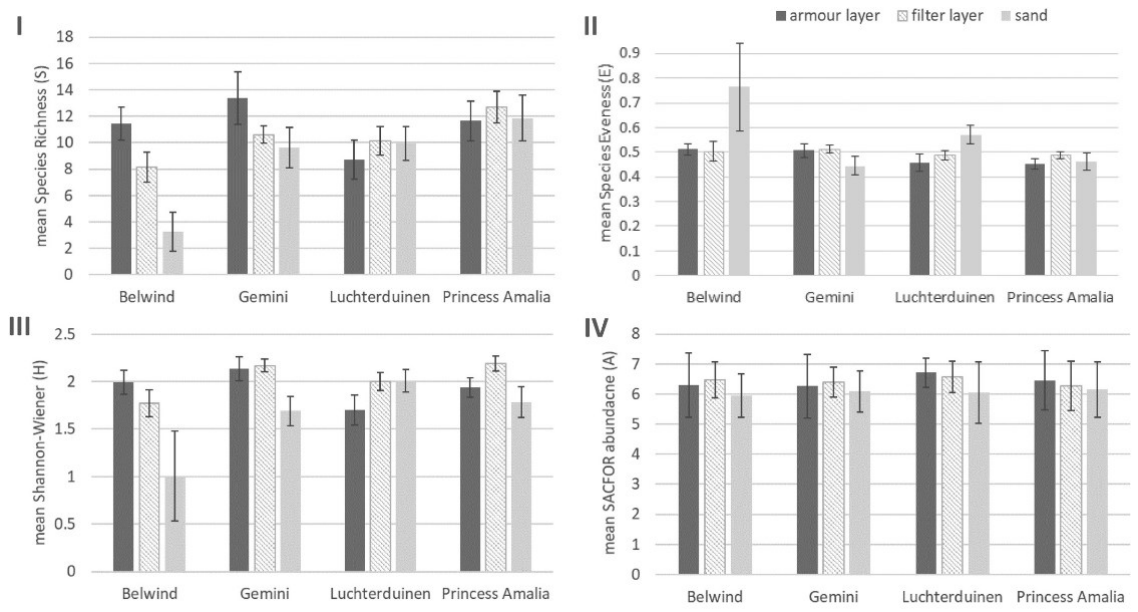
Definitie: Maat voor soortdiversiteit die zowel aantal soorten als de relatieve abundantie (evenredigheid) van soorten combineert. Informatief bij veranderingen in gemeenschapsstructuur; beïnvloed door steekproefgrootte en zeldzame soorten;

- **formule**: $H' = -\Sigma\, \pi\, \ln(\pi)$.

Simpson index (D / 1−D / 1/D)

- **definitie**: Maat voor dominantie die de kans beschrijft dat twee willekeurig getrokken individuen uit dezelfde soort komen. Benadrukt dominante soorten en is minder gevoelig voor zeldzame soorten dan Shannon;
- **formule**: $D = \Sigma\, \pi^2$. Voor diversiteit wordt vaak 1−D (range 0–1) of inverse Simpson 1/D gebruikt.

Afbeelding IV.3 Eigenschappen van de verschillende hardsubstraatgemeenschappen per geanalyseerd substraattype per windpark. I) gemiddelde soortenrijkdom (S ± Std. Dev.); II) gemiddelde soortengelijkheid (E ± Std. Dev); III) gemiddelde Shannon-Wiener diversiteit (H ± Std. Dev.); IV) gemiddelde abundantie (A ± Std. Dev; SAFCOR schaal). De donkergrijze staaf toont de data voor de erosiebescherming. Uit (ter Hofstede et al., 2022)



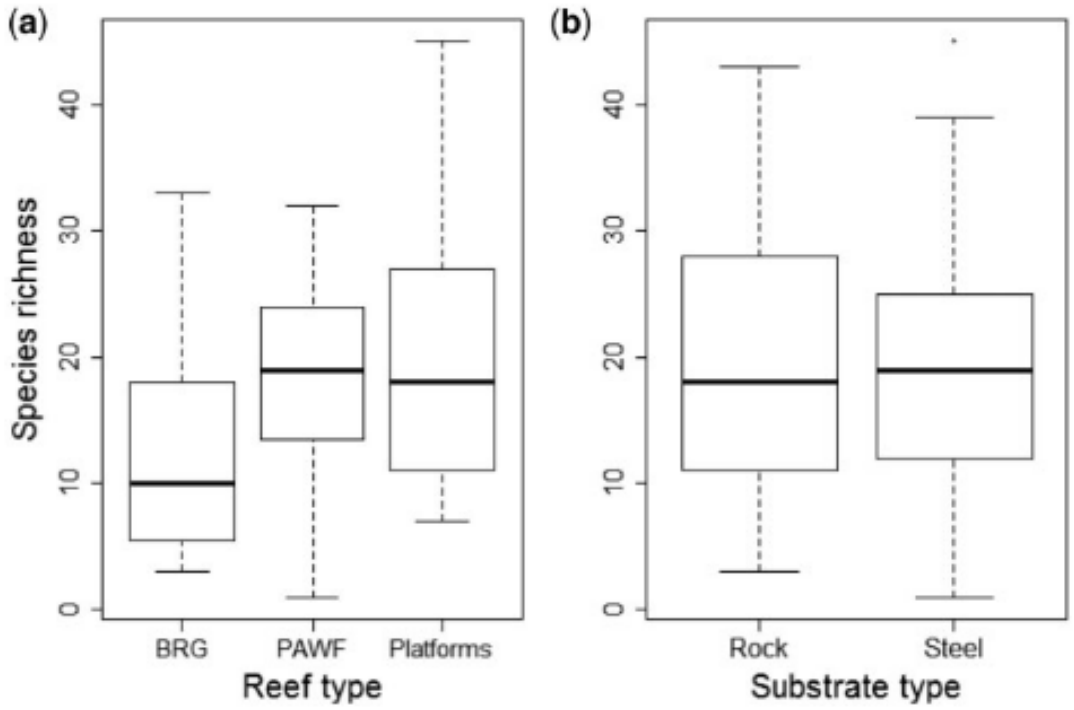
Hardsubstraatgemeenschappen op verschillende substraattypen

In Coolen et al. (2018) is een vergelijking tussen artificiële hardsubstraten ('jonge' windparken en oude olie- / gasplatforms) en natuurlijke riffen gemaakt. In deze studie zijn steenmonsters van de erosiebescherming rondom twee (van de vijf bestudeerde) olie- en gasplatformen genomen. Alleen faunataxa (individu/m^2) zijn opgenomen in deze studie, waarbij kolonievormende soorten (o.a. hydrozoa, porifera) binair geteld zijn (aanwezig/niet aanwezig).

Hoewel deze studie geen onderscheid maakt in de waarnemingen tussen de erosiebescherming en de structuur (funderingspalen) van de gemonitorde olie- en gasplatforms, worden alsnog relevante resultaten gepresenteerd. Zo bleek het substraattype (staal, stenen, natuurlijk rif) geen significante invloed te hebben op de soortenrijkdom, maar wél op de soortensamenstelling van hardsubstraatgemeenschappen (zie Afbeelding IV.4). Er wordt ook geconcludeerd dat de hoge soortenrijkdom op de erosiebescherming naast de variatie in (micro)habitat, seizoensgebonden klimaat en het diepteprofiel ook gerelateerd is aan de aanwezigheid van (biobouwende) sleutelsoorten als de gewone mossel *(Mytilus edulis),* kleine zeeappel *(Psammechinus miliaris)* en soorten tubulariidae. Van nature komen soorten die in het getijdebied voorkomen, zoals de gewone mossel, niet voor in de Nederlandse Noordzee.

Via het zogenaamde '*marine stepping-stone effect*', waarbij de turbinepalen of andere offshore structuren als stapstenen gebruikt worden, kunnen gewone mossels en vergelijkbare epifauna toch verspreiden naar gebieden verder op zee (Coolen, Bittner, et al., 2020). De aanwezigheid van deze soorten in offshore windparken en olie- en gasplatforms wordt genoemd als een belangrijke oorzaak voor de waargenomen hogere soortenrijkdom in het PAWP en de onderzochte platforms ten opzichte van de Borkumse Stenen, zoals ook zichtbaar in Afbeelding IV.4.

Afbeelding IV.4 Waargenomen biodiversiteit (soortenrijkdom) per structuurtype (a) en substraattype (b). BRG = Borkumse Stenen, PAWP = Prinses Amaliawindpark. Bewerkt, uit (Coolen et al., 2018)

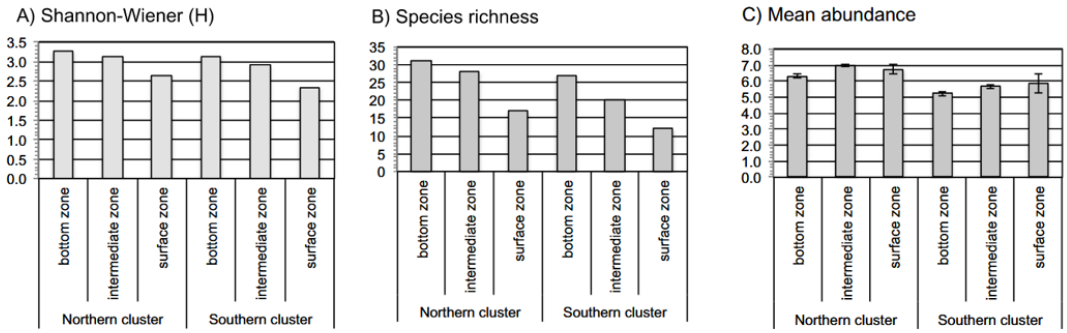


Olie- en gasplatformen in de zuidelijke Noordzee (NL/DK)

In de studie van Schutter et al. (2019) naar de effecten van diepte en locatie op verschillende hardsubstraatgemeenschappen bij olie- en/of gasplatformen in de zuidelijke Noordzee (Nederland en Denemarken) zijn videobeelden gemaakt door een ROV geanalyseerd om biodiversiteit op de structuur en erosiebescherming te onderzoeken. Hierbij zijn 8 Nederlandse en 9 Deense platforms bestudeerd, waarbij deze zijn verdeeld in een zuidelijke- en noordelijke geografische cluster (nabij de Nederlandse en Deense kust respectievelijk).

In totaal zijn 38 verschillende soorten waargenomen op de platforms en bijhorende erosiebescherming. De studie concludeert dat er significante verschillen in soortensamenstelling zijn tussen de zuidelijke- en noordelijke cluster. Hierbij verschilt de soortenrijkdom en Shannon-Wiener index tussen deze clusters niet significant, maar wordt er in de noordelijke cluster wel een significant hogere (Braun-Blanquet) abundantie waargenomen. Daarnaast is in de diepere zones van beide clusters een tweemaal hogere soortenrijkdom aangetroffen. Ook blijkt de abundantie in de diepere zones voor beide clusters hoger dan voor de ondiepere zones (zie Afbeelding IV.5). Hieruit wordt geconcludeerd dat waterdiepte in relatie tot zeebodem een positief effect heeft op de biodiversiteit en soortenrijkdom van hardsubstraatgemeenschappen. Er wordt gesuggereerd dat dit het gevolg zou kunnen zijn van een toename in habitatcomplexiteit bij onder andere erosiebescherming en de aanwezigheid van specifieke benthische fauna. Het wordt in deze studie echter niet duidelijk wat de relatie tussen de aanwezigheid van erosiebescherming en de toename in ecologische waarde in diepere zones is.

Afbeelding IV.5 Ecologische waarde voor de verschillende gedefinieerde clusters van onderzochte platformen en geanalyseerde dieptezones. A) Shannon-Wiener index (H'); B) Soortenrijkdom (aantallen); C) gemiddelde Braun-Blanquet abundantie (individu/m^2)

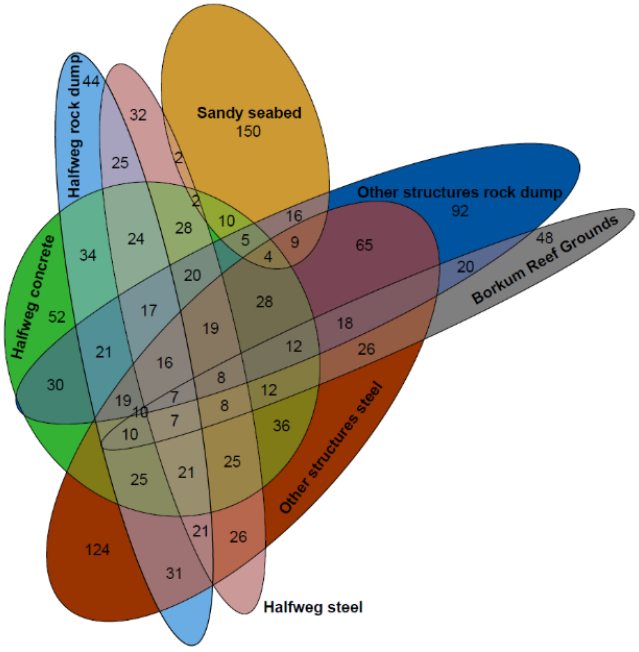


Halfweg GBS en erosiebescherming

In een andere veldstudie naar hardsubstraatgemeenschappen op de Halfweg *gravity based structure (GBS)* en bijhorende erosiebescherming (Coolen, Bittner, et al., 2020) is middels schraapmonsters de hardsubstraatgemeenschap bestudeerd. Duikers hebben hierbij drie schraapmonsters van de erosiebescherming langs vier transectlijnen in verschillende richtingen ten opzichte van het object genomen. De studie vergelijkt deze resultaten onder andere met bevindingen uit de eerder besproken studie naar erosiebescherming op verschillende substraattypen (Coolen et al., 2018), om de ecologische waarde van de hardsubstraatgemeenschap op de Halfweg GBS en erosiebescherming te bepalen.

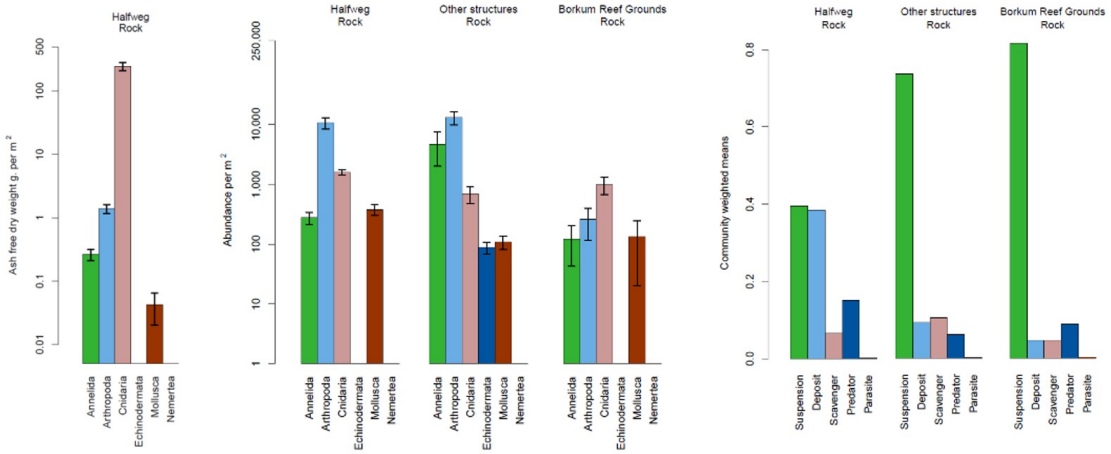
In de schraapmonsters van de erosiebescherming zijn 44 faunasoorten aangetroffen met een gemiddelde biodiversiteitswaarde van 0.71 (*Simpson index = 0.71*). Uit de studie blijkt dat 27 van de waargenomen soorten (61 %) ook voorkomt op erosiebescherming van andere offshore structuren (jonge windparken) en 12 van de waargenomen soorten (25 %) ook voorkomen op natuurlijke steenriffen (Borkumse Stenen) in Nederland. Dit sluit aan bij bevindingen uit diezelfde studie waaruit blijkt dat er verschillen zijn in soortensamenstelling tussen natuurlijke hardsubstraten (i.e. natuurlijke steenachtige riffen) en artificiële hardsubstraten (i.e. erosiebescherming) (Coolen et al., 2018), maar niet tussen hardsubstraatgemeenschappen op erosiebescherming onderling (Bouma & Lengkeek, 2013). Dit komt ook naar voren in de overlap-diagram van Afbeelding IV.6.

Afbeelding IV.6 Euler diagram van de overlap* in soortensamenstelling tussen verschillende typen hardsubstraten. Aantallen representeren het totaal gevonden soorten per type hardsubstraat dat overeenkomt met overlappend(e) andere typen hardsubstraat. Deze diagram benadrukt de heterogeniteit in soortensamenstelling tussen verschillende hardsubstraattypen. **Gezien het plotten van alle overlapcombinaties onmogelijk was is de overlap tussen 'Sandy seabed' en 'Halfweg rock dump' (6 soorten) niet opgenomen in deze diagram.* Uit (Coolen, Bittner, et al., 2020)



Uit de resultaten blijkt ook dat biomassa (asvrij drooggewicht, g/m^2) op de hardsubstraten van de Halfweg structuur (beton en erosiebescherming; 204 ± 20 g/m^2) hoger is dan voor het omliggende zacht substraat (zanderige zeebodem; 65 ± 8 g/m^2). Er zijn geen significante verschillen in biomassa tussen de verschillende hardsubstraattypen gevonden. Er wordt geconcludeerd dat de aanwezigheid van erosiebescherming de lokale biodiversiteit (abundantie) en aanwezige biomassa verhogen (Coolen, Bittner, et al., 2020). Binnen de definitie die in H1 is uiteengezet zou dit duiden op ecologische waarde. Ook draagt de aanwezigheid van erosiebescherming bij aan een verhoogde variatie aan voedingsstrategieën (predatie, aaseten, filtervoeding) (zie Afbeelding IV.7) Coolen, Bittner, et al., 2020).

Afbeelding IV.7 Parameters voor ecologische waarde voor verschillende typen hardsubstraten. Substraattypen zijn: de stenen erosiebescherming bij Halfweg (artificieel), andere erosiebescherming (artificieel) en de Borkumse stenen (natuurlijk). Links: gemiddelde in-situ biomassa, weergeven als drooggewicht (g AFDW ± std. Dev. per m2) per (non-koloniale) taxa op de erosiebescherming. Midden: gemiddelde soortenrijkdom (individuen per m2) per (non-koloniale) taxa voor verschillende stenige hardsubstraten. Rechts: voedingsgedrag (gemeenschapsgemiddelde) waargenomen in de verschillende stenige hardsubstraten. Bewerkt, uit (Coolen et al., 2020)



Belgische parken Belwind en C-power

Onderzoek naar soortenrijkdom, diversiteit en de samenstelling van de gemeenschap in twee Belgische parken toont aan dat deze gedurende de hele onderzoekperiode (11 jaar) blijven veranderen (Zupan et al., 2023). gegevens suggereren dat er binnen deze tijd geen blijvende, stabiele climaxgemeenschap wordt bereikt, waarschijnlijk omdat offshore aangroeiende gemeenschappen frequente verstoringen en milieuvariabiliteit ondervinden. Dit onderzoek is niet opgenomen in Tabel 3.2, omdat het onderzoek op verschillende turbine typen (waaronder GBF) betreft, wat voor deze literatuurstudie is uitgesloten. Wel is het onderzoek hieronder samengevat.

Ecologische interacties beïnvloeden de diversiteit sterk, naast leeftijd en locatie. Hoewel leeftijd en locatie van structuren van belang zijn, blijken soorteninteracties zelf belangrijke bepalende factoren voor de gemeenschapsstructuur. De auteurs laten zien dat de abundantie van drie functionele groepen significant samenhangt met soortenrijkdom en/of diversiteit: 1) habitatvormende soorten (bijvoorbeeld mosselen) die complex habitat creëren, 2) predatoren die aangroei eten, en 3) competitie onder sesielle organisme (concurrentie voor oppervlak) oppervlaktebezetters. Veranderingen in de abundantie van deze groepen correleren met verschuivingen in rijkdom en diversiteit, wat aangeeft dat top-down predatie en competitie belangrijke processen zijn in soortensamenstelling.

Zupan et al. (2023) concluderen dat successie op offshore windparken af lijkt te wijken van klassieke, stabiele-succesiemodellen: ook na een decennium domineert voortdurende turnover en dynamiek. De auteurs schrijven dit toe aan de verstoringsgevoeligheid van offshore aangroeiende gemeenschappen, waarbij hydrodynamica, stormen en andere stressoren regelmatig de gemeenschapsstructuur resetten of aanpassen. Hierbij is van belang te beseffen dat data 1-2 keer per jaar is verzameld. Het is goed denkbaar dat binnen de jaren bepaalde cycli optreden, waardoor er sprake is van een stabiel evenwicht. Door de sporadische metingen, is dit niet aantoont. Wel laat deze studie zien dat ontwikkeling van ecologische gemeenschap in windparken een langdurig proces is.

Meta analyse ecologische effecten artificiële structuren

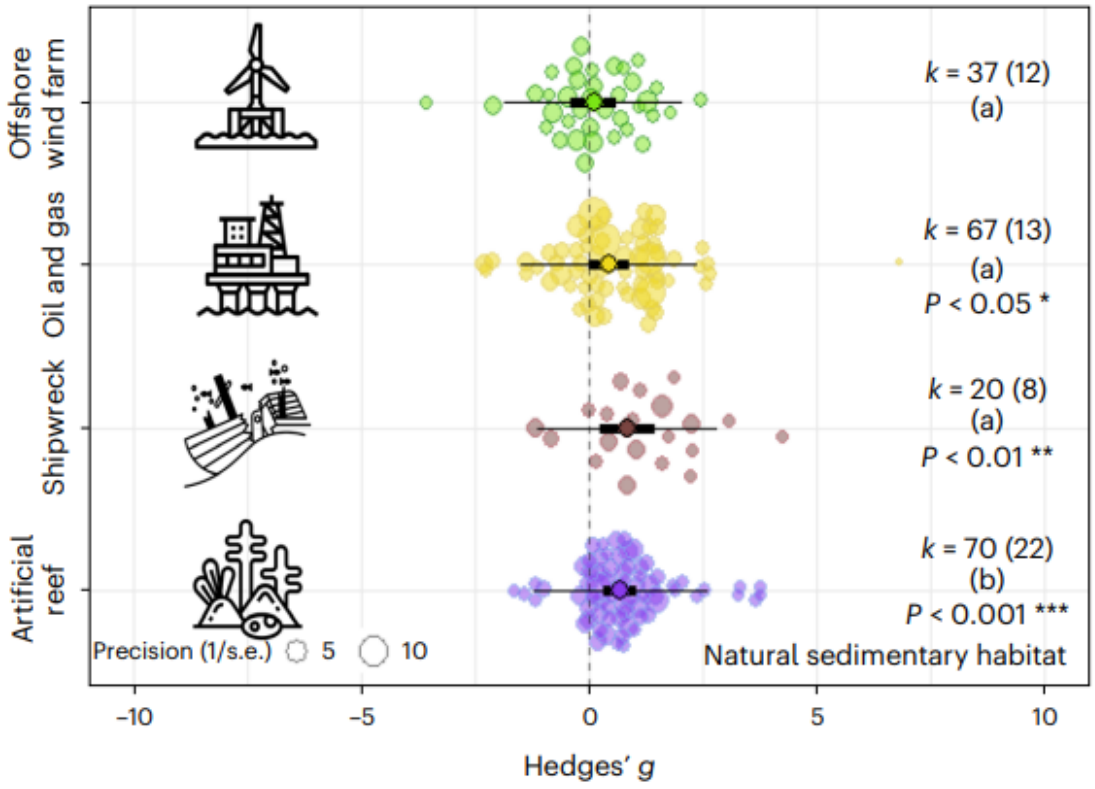
In een wereldwijde meta-analyse is onderzocht wat het ecologisch effect van artificiële structuren is (Lemasson et al., 2024). Deze meta-studie is niet opgenomen in Tabel 3.2, omdat het resultaten van meerdere studies samenvat. Wel is hier een samenvatting van de studie gegeven.

Er werden 531 effectgroottes uit 109 studies geanalyseerd en werden de ecologische effecten van verschillende artificiële structuren geanalyseerd: olie- en gasplatforms, windparken en scheepswrakken. Let wel, hierbij is niet alleen de erosiebescherming onderzocht.

De belangrijkste bevindingen zijn dat kunstmatige structuren wel degelijk ecologische effecten hebben, maar dat die sterk contextafhankelijk zijn. Sommige soorten laten bij aanwezigheid kunstmatige platforms of fundamenten een toename zien in lokale biodiversiteit, biomassa of aantallen, vergelijkbaar met sommige effecten van kunstmatige riffen en wrakken; de responsen variëren echter sterk afhankelijk van het type structuur, de locatie en het omringende habitat.

Opvallend is dat de ecologische effecten bij olie- en gasplatformen en windparken kleiner lijken te zijn dan bij scheepswrakken. In directe vergelijkingen met kunstmatige riffen en wrakken leveren deze structuren minder duidelijke positieve ecologische waarden op (zoals toename van biodiversiteit of visbiomassa) dan scheepswrakken of kunstmatige riffen. Het is niet geanalyseerd waar deze verschillen vandaan komen, maar Lemasson et al. (2024) geven aan dat individuele studies dit linken aan lokale omstandigheden.

Afbeelding IV.8 Resultaten van Lemasson et al., 2024, waarin het ecologisch effect per studie is uitgedrukt, gesplitst in windparken, olie- en gas, scheepswrakken en andere kunstmatige structuren. Positieve 'g waarden zijn indicatief voor een sterker positieve effect. Zie Lemasson et al., 2024 voor details en toelichting



V

BIJLAGE: REACTIE NEDZERO

Een deel van de informatie uit dit rapport is tot stand gekomen in samenwerking met windparkontwikkelaars. De betrokken partijen hebben een conceptversie van dit rapport van commentaar voorzien. Dit commentaar is verwerkt en vervolgens hebben de betrokkenen het definitieve rapport geaccordeerd. Het rapport is daarna in de werkgroep Energie en Infrastructuur van het Noordzeeoverleg besproken. Ten slotte is het ter kennisgeving aangeboden aan het Noordzeeoverleg. Daarbij heeft NedZero de volgende reactie gegeven:

- beperkte scope van de kostenanalyse: De genoemde percentages hebben alleen betrekking op optimalisatie van scour protection als NiB-maatregel, bij circa 40 % van de turbines in één specifiek kavel. Dit is expliciet de onderkant van een schatting. Scour-optimalisatie is relatief goed inpasbaar, maar vormt slechts een klein deel van wat 'echte' natuurinclusieve bouw kan omvatten;
- NiB is niet alleen scour protection: Een geoptimaliseerde erosiebescherming betekent niet dat een windpark automatisch natuurinclusief is. Wie NiB breder en ambitieuzer wil invullen (bijv. combinatie met riffen, soortenherstel, aanvullende monitoring, systeemniveau-effecten), komt onvermijdelijk uit op veel hogere kosten dan 0,08–0,23 %;
- risico op simplificatie in het publieke debat: Tijdens de NERA-netwerkdag bleek hoe de 0,08 %-boodschap blijft hangen, terwijl de nuance uit hoofdstuk 6.1.3 verloren gaat. Dat illustreert hoe één getal een eigen leven kan gaan leiden, los van de context en disclaimers in het rapport;
- vergelijking met '1 %-pleidooi' is misleidend: Er wordt soms impliciet of expliciet vergeleken met het pleidooi (Van Sluis e.a. 2025) om 1 % van offshore windinvesteringen aan natuurherstel te besteden. De windsector onderschrijft het belang van natuurversterking, maar wijst erop dat:
  - percentages op zichzelf weinig zeggen;
  - er geen consensus is over dit percentage;
  - het gaat om absolute bedragen, timing en risicoprofiel;
  - en om de vraag wie betaalt;
- huidige financiële realiteit van de sector: De offshore windsector bevindt zich momenteel in zwaar weer: projecten worden niet ingeschreven, businesscases staan onder druk en subsidie is weer noodzakelijk. In die context kunnen zelfs ogenschijnlijk kleine CAPEX-verhogingen disproportionele impact hebben op investeringsbeslissingen.