



Notitie: Potentiële effecten van duurzame zeewierproductie op de biodiversiteit in de Noordzee

Ecosysteem diensten en/of ecologische effecten

Auteur(s): Linda Tonk en Henrice Jansen

Wageningen University &
Research rapport C013/19

Notitie: Potentiële effecten van duurzame zeewierproductie op de biodiversiteit in de Noordzee

Ecosysteem diensten en/of ecologische effecten

Auteur(s): Linda Tonk en Henrice Jansen

Publicatiedatum: Februari 2019

Dit onderzoek is uitgevoerd door Wageningen Marine Research in opdracht van en gefinancierd door de Noordzeeboerderij en het Ministerie van Landbouw, Natuur en Visserij in het kader van het Maatschappelijk Innovatieprogramma 'PROSEAWEED' (projectnummer BO-47-001-001)

Wageningen Marine Research
Yerseke, Februari 2018

VERTROUWELIJK Nee

Wageningen Marine Research rapport C013/19

Keywords: zeewierteelt, biodiversiteit, trofische niveaus, ecosysteem diensten, impacts

Opdrachtgever: Stichting Noordzeeboerderij
Zeestraat 84
2518 AD, Den Haag

Dit rapport is gratis te downloaden van <https://doi.org/10.18174/470707>
Wageningen Marine Research verstrekt *geen* gedrukte exemplaren van rapporten.

Wageningen Marine Research Wageningen UR is ISO 9001:2015 gecertificeerd.

© Wageningen Marine Research

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

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

A_4_3_1 V27

Inhoud

| | |
|--|-----------|
| Samenvatting | 4 |
| 1 Inleiding & Scope | 5 |
| 2 Ecosysteem diensten en/of ecologische impacts van zeewierteelt in de Noordzee | 6 |
| 2.1 Effecten op plankton | 6 |
| 2.2 Effecten op overig zeewier en zeegras | 6 |
| 2.3 Effecten op epifyten | 7 |
| 2.4 Effecten op macrofauna | 7 |
| 2.4.1 Off-bottom | 7 |
| 2.4.2 On-bottom | 7 |
| 2.5 Effecten op volwassen vissen | 8 |
| 2.6 Effecten op vogels | 8 |
| 2.7 Effecten op zeezoogdieren | 8 |
| 3 Conclusie en aanbevelingen | 10 |
| 3.1 Positieve effecten: versterking natuurwaarden | 11 |
| 3.2 Aandachtspunten: introductie exoten | 11 |
| 3.3 Aanbevelingen: Gebrek aan kwantificatie | 11 |
| Literatuur | 12 |
| Verantwoording | 14 |

Samenvatting

Er is een groeiende vraag naar zeewierproducten, en daarmee naar de productie van zeewier in kustzones en op zee. Zeewierteelt wordt veelal gezien als een duurzame vorm van eiwitproductie, toch vraagt een verantwoorde teelt ook om rekening te houden met mogelijke effecten op natuur en omgeving. De productie van zeewier heeft verschillende zeewier-ecosysteem interacties tot gevolg zoals het onttrekken van nutriënten en vastleggen van CO₂, het mogelijk veranderen van biochemische processen in de bodem, en/of effecten op de biodiversiteit. Ecosysteem interacties kunnen een positief resultaat hebben en er wordt dan gesproken over 'ecosysteem diensten', bij grootschalige kweek kunnen er echter ook negatieve effecten optreden en dan spreekt men van 'ecologische impacts'.

Deze notitie heeft als doel om op basis van literatuur een overzicht te geven van de mogelijke positieve en negatieve effecten van zeewierteelt op de biodiversiteit. Hierbij ligt de focus op de Noordzee, waar men zich vooral richt op zeewierteelt rond windmolenparken (multi-use), maar waar de teelt ook plaats kan vinden in onafhankelijke systemen (monocultuur).

Het is algemeen bekend dat zeewierteelt een effect heeft op de biodiversiteit, echter, kwantitatieve en 'evidence based' onderbouwing is veelal niet beschikbaar. Zeewierteelt(systemen) trekken marien biota van diverse trofische niveaus aan door het bieden van habitat, beschutting, kraamkamer, of voedselbron. Dit kan een positief effect hebben op de biodiversiteit op en in de directe omgeving van de zeewierproductie. Wanneer echter exoten in de omgeving aanwezig zijn kan de zeewierteelt fungeren als (onwenselijke) 'stepping stone' voor verspreiding van deze exoten. Volgens de Nederlandse regelgeving mogen alleen inheemse soorten geteeld worden om zo het risico op verspreiding van exoten (zeewier) te beperken.

De kweeklijnen vormen 3D structuren in de waterkolom waar zich allerlei biota op kan vestigen, zo ook dieren die van nature alleen op of in de bodem voorkomen, bijv. krabbetjes of schelpdieren. Vissen gebruiken de teeltsystemen als kraamkamer of als beschutting. Hogere trofische niveaus (vogels, zeezoogdieren) worden niet per sé door het zeewier aangetrokken maar doordat er meer voedsel aanwezig is of omdat ze de systemen gebruiken om te rusten. Lage trofische niveaus (plankton) worden vooral beïnvloed door competitie om nutriënten.

Het aantal wrakken, olie- en gasplatforms en windmolens in de Noordzee is groot, en deze functioneren als een rif-netwerk. De vraag is hoeveel het toevoegen van zeewierteeltsystemen aan dit netwerk bijdraagt, maar ook of er een verschil is in soortensamenstelling van biota die zich vestigen op/rond harde substraten in vergelijking met zeewiersystemen.

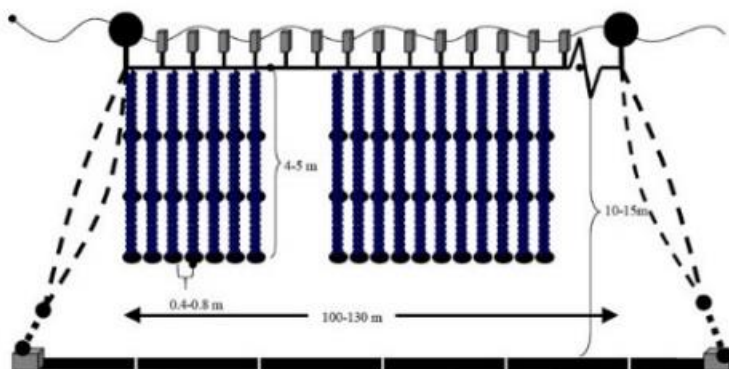
Voor de ontwikkeling van een duurzame zeewiersector in de Noordzee is onderzoek noodzakelijk. Op basis van dit literatuuroverzicht kunnen daarbij de volgende aandachtspunten geformuleerd worden voor biodiversiteit:

- Kwantificering van processen is essentieel.
- De schaalgrootte en karakteristieken van het ecosysteem zijn van belang bij het design en de inpasbaarheid van zeewierteelt. Resultaten uit andere systemen (bijv. Oosterschelde of Noorse fjorden) zijn daarom niet direct vertaalbaar naar productie op de Noordzee.
- Effecten in de Noordzee moeten bestudeerd worden in samenhang met effecten van andere activiteiten, zoals windmolenparken (cumulatieve effecten).
- Een gestandaardiseerde aanpak van biodiversiteits-monitoring moet centraal staan. Ontwikkeling van nieuwe technieken is daarbij essentieel (bijv. eDNA, video-technieken, remote sampling).
- Adaptief design van zeewierteeltsystemen biedt mogelijkheden om specifieke mechanismen te stimuleren dan wel te voorkomen. Denk hierbij bijvoorbeeld aan de vorm van boeien om habitat voor vogels te faciliteren/ontmoedigen. Op deze wijze kan gestreefd worden naar natuur-inclusieve ontwerpen.

1 Inleiding & Scope

Zeewier als hoogwaardig product is enorm in opkomst, niet alleen als voedsel voor mens en dier maar ook voor een hele reeks aan industriële toepassingen (o.a. chemicaliën, medicijnen en biologisch afbreekbaar verpakkingsmateriaal). De zeewierindustrie in Nederland is gestaag aan het uitbreiden en de Noordzee is een mooi alternatief voor de drukke kust en binnenwateren. De grote vraag naar zeewier vraagt om een verantwoordelijke aanpak van zeewierteelt, daarbij is het van belang dat het zeewier op een duurzame manier wordt geteeld met oog voor het effect op natuur en omgeving. Het telen van zeewier op open zee heeft een aantal zeewier-ecosysteem interacties tot gevolg. Deze interacties kunnen positieve diensten leveren maar eventueel ook negatieve effecten tot gevolg hebben. Ecosysteem dienstfuncties van zeewier zijn bijvoorbeeld het verlichten van de hoge nutriëntgehalten in de Noordzee en het vergroten van de biodiversiteit. Maar bij teveel geteeld zeewier kan er mogelijk ook een competitie voor nutriënten ontstaan, o.a. met natuurlijk voorkomend zeewier en zeegras met effect op de diversiteit, waardoor de ecosysteemdienst juist een negatief effect op de omgeving kan hebben. Het systeem zelf, dat voor de hangcultuurteelt van zeewier vooral uit een combinatie van lijnen en boeien bestaat en met ankers aan de bodem bevestigd is, kan ook een effect hebben (Figuur 1). Biodiversiteit is een belangrijke maat voor de gezondheid van een ecosysteem en de basis voor productiviteit.

Deze notitie heeft als doel om een overzicht te geven van de mogelijke positieve en negatieve effecten van zeewierteelt op de biodiversiteit. Op basis van een literatuuroverzicht zetten we de voor en tegens op een rij. Hierbij ligt de focus op de Noordzee, waar men zich vooral richt op zeewierteelt rond windmolenparken (multi-use), maar waar de teelt ook plaats kan vinden in onafhankelijke systemen (monocultuur).



Figuur 1: voorbeeld van een hangcultuur, het zeewier hangt aan "drop-lines" die met een combinatie van lijnen en boeien op hun plaats blijven en met ankers aan de bodem bevestigd zijn.

2 Ecosysteem diensten en/of ecologische impacts van zeewierteelt in de Noordzee

2.1 Effecten op plankton

Plankton is een diverse groep van drijvende kleine en microscopische organismen in water die niet tegen de stroom in kunnen zwemmen. Het zeewier neemt nutriënten op en heeft zo een positief effect op de waterkwaliteit, het doorzicht in de waterkolom en de plankton diversiteit (Jiang *et al.*, 2012). Ook bevordert zeewier de sedimentatie en beïnvloedt op die wijze de helderheid in de waterkolom. De wieren produceren stoffen die de groei en ontwikkeling van andere organismen kunnen beïnvloeden (allelopathie). Zo beschermt het zeewier zich bijvoorbeeld tegen aangroei (anti-fouling). Maar deze stoffen kunnen ook andere planktonsoorten aantrekken en dus de biodiversiteit juist vergroten (Chai *et al.*, 2018). Zoöplankton maakt gebruik van de bescherming en het voedsel dat door zeewier geleverd wordt (Hammer, 1981). Een ander mogelijk effect op de diversiteit kan schuilen in de competitie om nutriënten tussen het zeewier en het fytoplankton, oftewel de microscopisch kleine algen in het water. Het zou kunnen dat bij teveel zeewier er niet genoeg nutriënten overblijven voor het fytoplankton. Dit kan effecten hebben op de draagkracht van het ecosysteem, met eventuele gevolgen voor organismen hogerop in de voedselketen. Hierover is weinig bekend met betrekking tot zeewierteelt in de Noordzee. Een modelleer studie aan de potentiële productie van zeewier in Noordzee kustwater geeft aan geen grootschalige veranderingen in omgeving condities van gesimuleerde zeewierteelt te vinden. De onderzoekers geven hierbij wel aan dat dit niet als een algemeen resultaat moet worden gezien en dat verder onderzoek nodig is (van der Molen *et al.*, 2018).

2.2 Effecten op overig zeewier en zeegras

Het kweekstelsel kan als aanhechtingssubstraat voor andere wieren dienen en zo de diversiteit vergroten maar het kan ook exoten een kans geven zich te settelen. Exoten zijn organismen die zich door middel van menselijk toedoen vestigen op een plek waar ze oorspronkelijk niet voorkomen. Dit kan een reeks aan negatieve gevolgen hebben zoals verlies van biodiversiteit (met soms het verdwijnen van inheemse soorten als gevolg), introductie van nieuwe ziekten en economische schade. Wanneer met uitheemse soorten geteeld wordt is het introduceren van zeewiersoorten die van nature niet aanwezig zijn een reëel risico (Mineur *et al.*, 2008) en de regelgeving is dan ook zo, dat alleen met inheemse zeewiersoorten gewerkt mag worden. Op deze wijze kan het cultiveren van zeewier eventueel juist bijdragen aan het in stand houden van de genetische variatie van de desbetreffende soort in de context van overexploitatie van wild zeewier en sterk gefragmenteerde lokale populaties (Billot *et al.*, 2003). Maar ook kan het zeewier en/of het systeem gebruikt worden als een tussenstation of "stepping stone" voor het verschuiven van leefgebieden van meer zuidelijke zeewiersoorten (range shifts), gerelateerd aan klimaatverandering (Khan *et al.*, 2018). Ook deze soorten vallen onder de categorie exoten. Alhoewel de verspreidingssnelheid hierbij lager ligt dan die van geïntroduceerde exoten kunnen de negatieve effecten even groot zijn (Sorte *et al.*, 2010). Competitie van het geteeld zeewier met natuurlijk voorkomend zeewier/zeegras om nutriënten en ruimte is minder van toepassing in de Noordzee omdat het daar niet in grote getalen voorkomt, maar speelt een grotere rol op locaties waar zeegrasvelden of kelpwouden (suikerwieren) de basis van het ecosysteem vormen. Of er daadwerkelijk competitie plaats kan vinden is ook afhankelijk van de omvang van de kweeksystemen. Daarbij groeien zeegrasvelden en de meeste andere zeewieren op de bodem terwijl het zeewier in kweeksystemen juist in een hangcultuur in de waterkolom groeit. We moeten ook denken aan zaken als het zeewiermateriaal dat verloren gaat en op de bodem belandt en zo het lokale bodemleven eventueel beïnvloedt. Omdat het zeewier op een zeewierboerderij

regelmatig geoogst wordt zal het aantal fragmenten minder zijn dan bijvoorbeeld in een kelpwoud (Wood et al 2017).

2.3 Effecten op epifyten

Op het zeewier kunnen epifyten voorkomen, organismen die op het wier leven zonder daaraan voedsel te onttrekken en met hun aanwezigheid de biodiversiteit vergroten. Maar ook ongewenste epifyten (andere schadelijke algensoorten, bacteriën, virussen en schimmels) kunnen geïntroduceerd worden wat voor de zeewierproductie een afname in biomassa kan betekenen. Om dit tegen te gaan produceert zeewier allelochemische stoffen die juist een negatief effect hebben op de aangroei van epifyten. De epifyten kunnen dus de biodiversiteit positief beïnvloeden maar ook een negatief effect op de productie van zeewier hebben.

2.4 Effecten op macrofauna

2.4.1 Off-bottom

Zeewier wordt doorgaans in een hangcultuur geteeld, een constructie boven de bodem waarbij het zeewier aan lijnen hangt die met een combinatie van boeien en ankers op hun plek worden gehouden (Figuur 1). Het zeewier en de constructie waarop het geteeld wordt creëren habitat, substraat en geven de kleine bodemdieren (macrofauna; mosselen, garnalen, zakpijpen, juveniele visjes etc.) bescherming tegen grotere roofvissen en vogels (Ingle *et al.*, 2018). Het zeewier (en de kweekconstructie) hebben ook een kraamkamerfunctie voor kleine visjes e.d. en dit is allemaal ter bevordering van de biodiversiteit (Ingle *et al.*, 2018). Op een enkel kelpwier in de Noorse Noordzee zijn 40 kleine diersoorten (macroinvertebraten) en 8000 individuen te vinden (Christie *et al.*, 2003). Dit is ook bekend voor mosselhangculturen (Callier et al 2017). Ook is hierbij weer het gevaar voor het bevorderen van de verspreiding van exoten door het bieden van habitat. Net als scheepswrakken en boorplatforms vormen zeewierkweeksystemen een substraat voor tal van organismen en kunnen zo als tussenhaven of "stepping stone" dienen voor exoten. Met name in de ondiepe delen van de structuren zijn relatief veel exoten aanwezig (Coolen *et al.*, 2018). Aan de andere kant zijn sommige inheemse soorten juist afhankelijk van deze constructies, zoals de gewone mossel (*Mytilus edulis*) waarbij het stepping stone effect belangrijk is voor de distributie van de mosselen (Coolen *et al.*, 2017). In de Noordzee bevinden zich duizenden kunstmatige harde substraten in de vorm van wrakken, olie- en gasplatforms en windmolens. Het is dan ook aannemelijk dat de meeste van deze constructies door waterstromingen direct of indirect met elkaar in verbinding staan waardoor offshore energie installaties reeds als een groot rif-netwerk functioneren, met name voor organismen uit het getijdengebied met een kort pelagisch larvaal stadium (Coolen *et al.* 2017). De vraag is dan ook hoeveel het toevoegen van zeewierteeltsystemen aan dit netwerk bijdraagt, maar ook of er een verschil is in soortensamenstelling van biota die zich vestigen op/rond harde substraten in vergelijking met zeewiersystemen. Daarnaast kan teveel aangroei op het kweekstelsel en touwen van bijvoorbeeld mosselen schade aanrichten omdat het gewicht en/of hydrodynamische weerstand het systeem overbelasten.

2.4.2 On-bottom

Ankerpunten kunnen een direct effect hebben op de macrofauna op de doorgaans zachte zeebodem van de Noordzee. Denk aan kleine dieren zoals schelpdieren, kokerwormen, krabbetjes en garnalen die op en onder deze bodemconstructies leven (McKindsey *et al.*, 2011). Kleine stukjes zeewier kunnen als voedsel dienen voor filter-feeders en grazers (Wood *et al.*, 2017). Aan de andere kant kunnen sommige bodemdieren geplet worden onder ankerpunten (om dit in perspectief te plaatsen, er worden relatief weinig ankerpunten gebruikt en ze blijven vaak jaren liggen). Sedimentatie van losgeraakt zeewier kan de organische compositie van de bodem beïnvloeden met mogelijk effect, zei het positief of negatief, op de diversiteit van het bodemleven (Wood et al., 2017). Of dit effect positief of negatief is, is afhankelijk van de schaal van zeewierproductie, de locatie en de huidige toestand van het bodemleven.

2.5 Effecten op volwassen vissen

Drijvende constructies op open zee staan erom bekend pelagische- en ook bodemvissen aan te trekken (Kingsford, 1993) (Morrisey *et al.*, 2006). Onderzoek in de aquacultuur toont aan dat het aantal vissen dat door viskweek aangetrokken wordt kan variëren van 10x tot 1000x hoger ten opzichte van controle-sites waar geen aquacultuur in de directe omgeving plaatsvindt (Callier *et al.*, 2017). In de mosselkweek lijkt dit getal lager te liggen ($\pm 20x$ hoger) (Dealteris *et al.*, 2004) maar wel is er een grotere biomassa en diversiteit aan vissen om en nabij de mosselkweek-faciliteiten te zien ten opzichte van controle-sites. Dit wordt deels toegeschreven aan de grotere structurele complexiteit van de habitat en deels aan directe voedselvoorziening voor de vissen (Callier *et al.*, 2017, Chesney & Iglesias, 1979, Dealteris *et al.*, 2004). Dit wordt echter niet in alle studies aangetoond (Clynick *et al.*, 2008). Getallen omtrent visaantallen aangetrokken door zeewierproductie ontbreken nog. Wel is er een positieve correlatie tussen het produceren van zeewier en het vangen van herbivore vissen aangetoond in zuidoost Aziatische landen (Hehre & Meeuwig, 2016). De diversiteit aan vissoorten is als gevolg van stijgende temperatuur in de Noordzee aan het toenemen (Hiddink & ter Hofstede, 2008). Het zeewier en/of kweekstelsel op/boven de overwegend zachte bodem kan de connectiviteit van meer Zuidelijk voorkomende vissoorten bevorderen door het aanbieden van habitat en zo klimaatverandering-gestuurde "range shifts" assisteren. Ook daarbij is uiteraard weer het risico exoten te faciliteren (McKindsey *et al.*, 2007).

2.6 Effecten op vogels

Overall ter wereld worden vogels aangetrokken tot zeewieren. Het is dan ook waarschijnlijk dat zeevogelsoorten gebruik maken van de hogere hoeveelheid prooidieren in en rondom zeewierboerderijen (Wood *et al.*, 2017). De boeien van de kweeksystemen kunnen eventueel ook als rustplek voor zeevogels en trekvogels dienen (Roycroft *et al.* 2004). De combinatie windpark/zeewierboerderij kan voor vogels gevaren opleveren, niet zozeer vanuit zeewierproductie perspectief maar meer de impact van windturbines en wieken waar vogels mogelijk in verongelukken. Overige negatieve effecten in deze categorie zijn meer gericht op binnenwater of kustlocaties waar verandering van de zeebodem de voedselvoorziening voor kustvogels kan beïnvloeden. Ook in de categorie vogels ontbreekt direct bewijs voor de mogelijke diensten en effecten van de zeewiersector.

2.7 Effecten op zeezoogdieren

Studies direct gerelateerd aan zeewierboerderijen zijn niet bekend, maar het is aannemelijk dat zoogdieren gebruik maken van de hogere aantallen prooidieren net als zeeotters dit doen in gebieden met suikerwieren (Estes & Duggins, 1995) of zeehonden die systematisch rond offshore windparken foerageren (Russell *et al.*, 2014). Grijs zeehonden steken de Noordzee regelmatig vanaf de oostkust van de UK over, zelfs pups kunnen deze oversteek maken (Brasseur *et al.*, 2015) en kunnen daarbij kunstmatige structuren zoals lijnen en boeien eventueel als rustplek gebruiken (wdfw.wa.gov*²) en zich tegoed doen aan de extra vis die de zeewierproductie eventueel aantrekt.










Zeehonden rusten uit op een boei*²

Verstrikt raken in lijnen is onwaarschijnlijk gezien de eenvoudige opzet van de kweekinstallatie en er wordt aangenomen dat eventuele verstoring van zoogdieren (en vogels) door extra scheepvaartverkeer/oogsten weinig impact zal hebben (Kamermans *et al.*, 2014). Wel is er de mogelijkheid dat bepaalde dieren die het open water prefereren om te jagen, de constructies vermijden en uit het kweekgebied worden verdreven (Callier *et al.*, 2017).

3 Conclusies en aanbevelingen

Er zijn dus veel voordelen voor het leven in de Noordzee gekoppeld aan de zeewierteelt (zie ook onderstaande tabel). Van houvast (substraat) tot kraamkamer, bescherming en voedselvoorziening lijkt het erop dat de zeewier-boerderijen de biodiversiteit ten baat komt. Maar we moeten ook rekening houden met eventuele negatieve effecten. Het soort zeewier, de schaalgrootte en het ecosysteem (bijv. heldere fjorden t.o.v. meer troebele Noordzee) zijn hierbij van belang.

Samenvattende Tabel: Mogelijke effecten van zeewierteelt op marine biota.

| | Ecosysteem diensten Positieve effecten | Ecologische impacts Aandachtspunten |
|---|---|--|
| Plankton  | (W) zeewier neemt nutriënten op wat het doorzicht in de waterkolom verbetert en daarmee de biodiversiteit van planktonsoorten (W) zeewier kan planktonsoorten aantrekken door bepaalde stoffen uit te scheiden (allelopathie) (K) zeewier voorziet zoöplankton van bescherming en voedsel | (W) competitie om nutriënten van zeewier met fytoplankton (micro-algen) kan effect hebben op de draagkracht van het ecosysteem en zo de biodiversiteit verminderen. Met andere woorden het zou dus kunnen dat bij teveel zeewier er niet genoeg nutriënten overblijven voor het fytoplankton |
| Zeewier en zeegras  | (K) het kweekstelsel vormt substraat voor andere wieren, die zich bijvoorbeeld aan de boven lijnen of boeien vasthechten en hiermee de diversiteit vergroten (K) gebruik van lokale zeewiersoorten kan de genetische variatie binnen die soort bevorderen | (W) bij teveel geteeld zeewier blijven er eventueel niet genoeg nutriënten over voor het natuurlijk voorkomend zeewier en zeegras. Deze competitie om nutriënten kan de biodiversiteit verminderen. (K) zeewier of het kweekstelsel zelf kan als stepping stone voor verspreiding van zeewier/zeegras-exoten dienen |
| Epifyten  | (K) zeewier kan als substraat voor epifyten dienen – en daarmee de biodiversiteit vergroten (S) zeewier trekt grazers aan wat een hogere biodiversiteit tot gevolg heeft | (K) het zeewier scheidt stoffen uit en kan hiermee andere organismen afstoten (allelopathie) dit kan de biodiversiteit verlagen (K) zeewier kan als substraat voor epifyten ongewenste algensoorten, bacteriën, virussen en schimmels aantrekken met een afname in zeewier biomassa als gevolg |
| Kleine bodemdieren (macrobenthos)  | (K) zeewier biedt habitat, aanhechting, en bescherming (K) zeewierteelt trekt kleine bodemdieren aan en vergroot daarmee de biodiversiteit: op 1 kelpwier zijn tot 40 soorten en 8000 individuen te vinden (B) stukjes zeewier kunnen als voedsel voor filter-feeders en grazers dienen | (K) zeewier kan als stepping stone voor de verspreiding van benthos-exoten dienen (K) teveel aangroei van organismen kan het kweekstelsel beschadigen (B) bodemdieren kunnen geplet worden door ankerpunten (B) bezinking van losgeraakt zeewier beïnvloedt biochemisch processen in de bodem en daarmee eventueel de biodiversiteit van bodemleven |
| Vissen  | (K) zeewier dient als kraamkamer voor kleine visjes (K)(S) drijvende constructies op open zee trekken pelagische en bodemvissen aan t.b.v. diversiteit en voedselvoorziening | (K) substraat en habitatmogelijkheden bevorderen connectiviteit voor meer zuidelijk voorkomende vissen (K)(S) zeewierteelt kan als stepping stone voor verspreiding van vissen-exoten dienen |
| Vogels  | (S) zeewier kan bijdragen aan de voedselvoorziening voor zeevogels door het aantrekken van prooidieren (K) boeien kunnen als rustplek voor trekvogels dienen (maar zie gevaren in combinatie met windpark) | (K) combinatie van zeewierteelt met windpark kan gevaren opleveren voor vogels (B) veranderingen in samenstelling en abundantie bodemleven kan de voedselvoorziening voor kustvogels beïnvloeden |
| Zoog-dieren  | (S) zeewier kan bijdragen in de voedselvoorziening voor zoogdieren door aantrekken van prooidieren zoals bijv vissen (K) boeien kunnen als rustplek dienen voor migrerende zeehonden | (K) verstikking of verwonding van zoogdieren door teeltsystemen (K) verplaatsing leefgebied van zoogdieren |

Verskillende zeewiersoorten met hun individuele morfologie en eigenschappen vormen een bepaald structureel habitat en zullen zo elk hun eigen effect op de biodiversiteit hebben (Smale & Moore, 2017). Wegens ruimtegebrek zullen de mogelijkheden voor zeewierproductie in de Oosterschelde wat betreft schaal aanzienlijk kleiner zijn dan die op de Noordzee met zodoende ook andere effecten op het ecosysteem (minder kans op competitie om nutriënten tussen geproduceerd zeewier en fytoplankton (kleine algen) bijvoorbeeld). Verschillen in ecosysteem hebben zo ook hun effect. Bijvoorbeeld de helderheid van het water in de Noordzee t.o.v. van fjorden waar de helderheid van het water en dus de hogere doorlaatbaarheid van het licht de productie van zeewier bevordert (Buck *et al.*, 2004).

3.1 Positieve effecten: versterking natuurwaarden

Een groot deel van de Noordzee lijdt onder de negatieve invloeden van overbevissing, bodemverstoring door boomkorvisserij en de reductie van kraamgebieden. Het telen van zeewier wordt genoemd als de aquacultuurvorm met de minst schadelijke invloed op de omgeving (Folke *et al.*, 1998) en zou, in combinatie met nieuwe ontwikkelingen in de aquacultuur, ook een positieve bijdrage kunnen leveren aan het ecosysteem. Met name in windparken omdat hier veelal niet op de bodem gevestigd kan worden, en zo optimaal gebruik kan worden gemaakt van de beschikbare ruimte. Met behulp van "ecosystem based management" is het streven hierbij naar natuur inclusieve windparken waarbij ruimte ontstaat voor versterking van de natuurwaarden en integratie met andere duurzame technieken zoals mosselkweek en zeewierteelt. Het design van zeewierproductie kan aangepast worden aan de gekozen locatie. Zo kan in windparken waar het aantrekken van vogels niet gewenst is bijvoorbeeld voor steile boeien gekozen worden waar vogels minder makkelijk op landen. Terwijl in natuurparken waar vogels en zoogdieren een positieve bijdrage leveren aan het ecosysteem juist gekozen kan worden voor grotere, platte boeien met rust/nest mogelijkheden.

3.2 Aandachtspunten: introductie exoten

Nederland telt bijna 1300 soorten planten en dieren in de Noordzee, waarvan circa zes procent exoot (Bos *et al.*, 2016). Het introduceren van zeewierexoten is een reëel risico dat beperkt kan worden door gebruik van lokale zeewiersoorten. Zeewierproductie kan overige exoten zoals vissen, schaaldieren, anemonen en andere bodemdieren een hogere kans op permanente vestiging bieden. Door nieuwe habitatten op geïsoleerde locaties te creëren kunnen deze zogenoemde stepping stones de snelheid van toekomstige invasies van exoten vergroten t.o.v. locaties zonder stepping stones (Coolen, 2017). Om dit in perspectief te plaatsen, de Noordzee ligt vol met door de mens geïntroduceerde structuren, zoals boeien, scheepswrakken, windmolens en boorplatforms. Veel van de plant- en diersoorten op deze kunstmatige structuren, leven ook op natuurlijk gevormde substraten. De huidige ontwikkelingen richten zich op het aanleggen van zeewierteelssystemen rond windmolenparken. De vraag is dan ook hoeveel het toevoegen van een aantal zeewierboerderijen, met name in bestaande windparken nog aan dit netwerk bijdraagt. Factoren als aangroei op schepen, drijvend afval en lozing van ballast water spelen ook een rol bij de verspreiding van exoten (Coolen, 2017)

3.3 Aanbevelingen: Gebrek aan kwantificatie

Er is weinig bekend van de ecologische effecten direct gerelateerd aan zeewierproductie. Veel van de informatie in deze factsheet is afgeleid uit de mosselkweek of andere aquacultuur. Dit gebrek aan kwantitatieve data vraagt om gericht onderzoek naar de effecten van zeewierproductie op het ecosysteem. De uitdaging (en noodzaak) is deze diensten en impacts te kwantificeren zodat iedere nieuwe zeewierproducent vanaf het begin monitoring uit kan voeren om zo inzicht te geven in de effecten van zeewierproductie op de omgeving. Naast bestaande technieken zullen daarbij nieuwe tools en technieken worden ontwikkeld om de biodiversiteit in kaart te brengen (zoals bijv.: environmental DNA, remote sampling, videotechneken) en zo een gestandaardiseerde aanpak van ecosysteemdiensten kwantificatie te bewerkstelligen. Op deze wijze wordt gestreefd naar natuur-inclusieve ontwerpen waarbij optimaal gebruik wordt gemaakt van de ruimte.

Literatuur

- Billot, C., Engel, C. R., Rousvoal, S., Kloareg, B. & Valero, M. 2003. Current patterns, habitat discontinuities and population genetic structure: the case of the kelp *Laminaria digitata* in the English Channel. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **253**:111-21.
- Bos, O. G., Gittenberger, A., de Boois, I. J., van Asch, M., van der Wal, J. T., Cremer, J., van der Hoorn, B., Pieterse, S. & Bakker, P. A. J. 2016. *Soortenlijst Nederlandse Noordzee*. Wageningen Marine Research, Wageningen,
- Brasseur, S., Patel, T. D. V., Gerrodette, T., Meesters, E., Reijnders, P. J. H. & Aarts, G. 2015. Rapid recovery of Dutch gray seal colonies fueled by immigration. *Marine Mammal Science* **31**:405-26.
- Buck, B. H., Krause, G. & Rosenthal, H. 2004. Extensive open ocean aquaculture development within wind farms in Germany: the prospect of offshore co-management and legal constraints. *Ocean & Coastal Management* **47**:95-122.
- Callier, M. D., Byron, C. J., Bengtson, D. A., Cranford, P. J., Cross, S. F., Focken, U., Jansen, H. M., Kamermans, P., Kiessling, A., Landry, T., O'Beirn, F., Petersson, E., Rheault, R. B., Strand, Ø., Sundell, K., Svasand, T., Wikfors, G. H. & McKindsey, C. W. 2017. Attraction and repulsion of mobile wild organisms to finfish and shellfish aquaculture: a review. *Reviews in aquaculture*:1-26.
- Chai, Z. Y., He, Z. L., Deng, Y. Y., Yang, Y. F. & Tang, Y. Z. 2018. Cultivation of seaweed *Gracilaria lemaneiformis* enhanced biodiversity in a eukaryotic plankton community as revealed via metagenomic analyses. *Mol Ecol* **27**:1081-93.
- Chesney, E. J. & Iglesias, J. 1979. Seasonal distribution, abundance and diversity of demersal fishes in the inner Ria de Arosa, northwest Spain. *Estuarine and Coastal Marine Science* **8**:227-39.
- Christie, H., Jorgensen, N. M., Norderhaug, K. M. & Waage-Nielsen, E. 2003. Species distribution and habitat exploitation of fauna associated with kelp (*Laminaria hyperborea*) along the Norwegian coast. *J Mar Biol Assoc Uk* **83**:687-99.
- Clynick, B. G., McKindsey, C. W. & Archambault, P. 2008. Distribution and productivity of fish and macroinvertebrates in mussel aquaculture sites in the Magdalen islands (Quebec, Canada). *Aquaculture* **283**:203-10.
- Coolen, J. W. P. 2017. *North Sea reefs, benthic biodiversity of artificial and rocky reefs in the southern North Sea*. Wageningen University.
- Coolen, J.W.P., van der Weide, B.E., 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 J. Mar. Sci.* **fsy092**.
- Dealteris, J. T., Kilpatrick, B. D. & Rheault, R. B. 2004. A comparative evaluation of the habitat value of shellfish aquaculture gear, submerged aquatic vegetation and a non-vegetated seabed. *Journal of Shellfish Research* **23**:867-74.
- Estes, J. A. & Duggins, D. O. 1995. Sea Otters and Kelp Forests in Alaska - Generality and Variation in a Community Ecological Paradigm. *Ecol Monogr* **65**:75-100.
- Folke, C., Kautsky, N., Berg, H., Jansson, A. & Troell, M. 1998. The ecological footprint concept for sustainable seafood production: A review. *Ecol Appl* **8**:S63-S71.
- Hammer, R. M. 1981. Day-Night Differences in the Emergence of Demersal Zooplankton from a Sand Substrate in a Kelp Forest. *Mar Biol* **62**:275-80.
- Hehre, E. J. & Meeuwig, J. J. 2016. A Global Analysis of the Relationship between Farmed Seaweed Production and Herbivorous Fish Catch. *Plos One* **11**.
- Hiddink, J. G. & ter Hofstede, R. 2008. Climate induced increases in species richness of marine fishes. *Global Change Biology* **14**:453-60.
- Ingle, K. N., Polikovsky, M., Chemodanov, A. & Golberg, A. 2018. Marine integrated pest management (MIPM) approach for sustainable seagrass culture. *Algal Res* **29**:223-32.
- Jiang, Z. B., Chen, Q. Z., Zeng, J. N., Liao, Y. B., Shou, L. & Liu, J. J. 2012. Phytoplankton community distribution in relation to environmental parameters in three aquaculture systems in a Chinese subtropical eutrophic bay. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **446**:73-89.
- Kamermans, P., Smit, C., Wijsman, J. & Smaal, A. 2014. Meerjarige effect- en productiemetingen aan MZI's in de Westelijke Waddenzee, Oosterschelde en Voordelta. Deel 1: Inschatting ecologische effecten van opschaling. IMARES, Institute for Marine Resources & Ecosystem Studies, Yerseke.
- Khan, A. H., Levac, E., Van Guelphen, L., Pohle, G. & Chmura, G. L. 2018. The effect of global climate change on the future distribution of economically important macroalgae (seaweeds) in the northwest Atlantic. *Facets* **3**:275-86.

-
- Kingsford, M. J. 1993. Biotic and Abiotic Structure in the Pelagic Environment - Importance to Small Fishes. *B Mar Sci* **53**:393-415.
- McKindsey, C. W., Archambault, P., Callier, M. D. & Olivier, F. 2011. Influence of suspended and off-bottom mussel culture on the sea bottom and benthic habitats: a review. *Can J Zool* **89**:622-46.
- McKindsey, C. W., Landry, T., O'Beirn, F. X. & Davies, I. N. 2007. Bivalve aquaculture and exotic species: A review of ecological considerations and management issues. *Journal of Shellfish Research* **26**:281-94.
- Mineur, F., Johnson, M. P. & Maggs, C. A. 2008. Non-indigenous marine macroalgae in native communities: a case study in the British Isles. *J Mar Biol Assoc Uk* **88**:693-98.
- Morrisey, D. J., Cole, R. G., Davey, N. K., Handley, S. J., Bradley, A., Brown, S. N. & Madarasz, A. L. 2006. Abundance and diversity of fish on mussel farms in New Zealand. *Aquaculture* **252**:277-88.
- Russell, D. J. F., Brasseur, S. M. J. M., Thompson, D., Hastie, G. D., Janik, V. M., Aarts, G., McClintock, B. T., Matthiopoulos, J., Moss, S. E. W. & McConnell, B. 2014. Marine mammals trace anthropogenic structures at sea. *Curr Biol* **24**:R638-R39.
- Smale, D. A. & Moore, P. J. 2017. Variability in kelp forest structure along a latitudinal gradient in ocean temperature. *J Exp Mar Biol Ecol* **486**:255-64.
- Sorte, C. J. B., Williams, S. L. & Carlton, J. T. 2010. Marine range shifts and species introductions: comparative spread rates and community impacts. *Global Ecology and Biogeography* **19**:303-16.
- van der Molen, J., Ruardij, P., Mooney, K., Kerrison, P., O'Connor, N. E., Gorman, E., Timmermans, K., Wright, S., Kelly, M., Hughes, A. D. & Capuzzo, E. 2018. Modelling potential production of macroalgae farms in UK and Dutch coastal waters. *Biogeosciences* **15**:1123-47.
- Wood, D., Capuzzo, E., Kirby, D., Mooney-McAuley, K. & Kerrison, P. 2017. UK macroalgae aquaculture: What are the key environmental and licensing considerations? *Mar Policy* **83**:29-39.

*1 wdfw.wa.gov/wildwatch/sealcam/2011_sharing_shores_seal_pups.pdf

*2 photographyinparadise.com

*3 <http://uafish.com.ua/en/fish-farming>

Verantwoording

Rapport C013/19

Projectnummer: 4318100175

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

Akkoord: J.W.P. Coolen
Onderzoeker

Handtekening:



Datum: 26 februari 2019

Akkoord: Dr. J. Asjes
Manager Integratie

Handtekening:



Datum: 26 februari 2019

Wageningen Marine Research
T: +31 (0)317 48 09 00
E: marine-research@wur.nl
www.wur.nl/marine-research

Visitors address

- Ankerpark 27 1781 AG Den Helder
- Korringaweg 7, 4401 NT Yerseke
- Haringkade 1, 1976 CP IJmuiden



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

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

The Wageningen Marine Research vision:

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

The Wageningen Marine Research mission

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

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