

Een realistische kijk op zeewierproductie in de Noordzee

(BO-43-023.03-005)

Memo

Wageningen
Marine
Research

DATUM
27 juni 2019

AUTEUR
Dr. Luca van Duren, Deltares
Marnix Poelman M.Sc.,
Wageningen Marine Research
Dr. Henrice Jansen, Wageningen
Marine Research
Prof Dr. Klaas Timmermans, NIOZ

ONZE REFERENTIE:
1930336-MP-LvdB-lcs
INTERNET
www.wur.nl/marine-research

CONTACTPERSOON
Marnix Poelman

TELEFOON
+31 (0)317 487035

E-MAIL
Marnix.paelman@wur.nl

Inhoudsopgave

1	Aanleiding	5
2	Beschikbare ruimte binnen windparken	5
3	Ecologische draagkracht	6
3.1	Aannames voor beschikbaarheid van nutriënten	7
3.1.1	Beschikbare nutriënten voor onttrekking	7
3.1.2	Acceptabele onttrekking	7
3.1.3	Limiterende nutriënten	7
3.1.4	Stoichiometrie	8
3.2	Rekenvoorbeeld 1 (op basis van stikstof)	8
3.2.1	Bronnen van onzekerheid	8
4	Conclusies	9
5	Referenties	11



1 Aanleiding

Om aan de klimaatdoelstellingen te kunnen voldoen zal de komende decennia een grote uitbreiding plaatsvinden van windparken op zee. Tot 2030 is het streven om op het NCP in totaal 11,5 GW aan windparken te plaatsen in de aangewezen gebieden (ruim 3000 km²) (Routekaart windenergie op zee 2030). Op de langere termijn (2050) is het vooruitzicht dat tot 25% van de Nederlandse Noordzee gereserveerd wordt voor windenergie (De toekomst van de Noordzee; De Noordzee in 2030 en 2050. PBL, 2018). Dit is ongeveer 14.000 km². Doelstelling is om deze windparken in te richten met de mogelijkheid tot medegebruik van andere functies. Eén van de resultaten van het klimaatakkoord is de integrale kennis- en innovatieagenda voor klimaat en energie "innoveren met een missie" die in maart 2019 is verschenen. Daarin is het ontwikkelen van 14.000 km² Blauwe Ruimte voor zeewierproductie (in combinatie met natuur) expliciet benoemd. In dit memo willen wij verduidelijken dat 14.000 km² zeewierproductie op de Noordzee geen realistische opdracht is zonder rekening te houden met innovaties in productiesysteem en oog voor effecten op het ecosysteem functioneren. Ten eerste is binnen windparken slechts een deel van de ruimte daadwerkelijk beschikbaar voor medegebruik. Ten tweede is het niet realistisch aan te nemen dat een kwart van het NCP gebruikt kan worden voor zeewierproductie zonder de draagkracht van de Noordzee zowel voor zeewier als voor andere componenten van het ecosysteem te overschrijden. Zowel voor de zeewiersector zelf, als voor een verantwoord, duurzaam gebruik van het ecosysteem is het goed om de verschillende randvoorwaarden zo vroeg mogelijk in beeld te hebben. Op dit moment ontbreekt nog de kennis en de modelsystemen om gedetailleerd inzicht te geven in de gevolgen van verschillende productie scenario's. Echter, een aantal relatief eenvoudige eerste orde berekeningen kunnen wel inzicht geven in de orde van grootte van opbrengsten, beschikbare/benodigde oppervlakten en benodigde nutriënten in de Noordzee.

Dit memo is uitgevoerd in het kader van het Beleidsondersteunend onderzoekthema Natuur inclusieve Energie, binnen het project Geschiktheid Zeewindparken voor maricultuur en passieve visserij (BO-43-023.03-005) van het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit. Hierbij is de vraag gesteld of de draagkracht van de Noordzee voldoende is om de verschillende ambities rond Meervoudig Ruimtegebruik op Zee goed in te richten en om een inschatting te maken van de huidige inzichten in de grenzen.

Dit memo is bedoeld om op basis van de huidige stand van kennis een inschatting te geven van de orde van grootte van het mogelijke ruimtebeslag van zeewierproductie binnen toekomstige windparken. Dit memo gaat vooralsnog uit van productie van zeewier zonder bemesting. Uiteraard zal zowel de totale potentiële opbrengst van de Noordzee, als ook de potentiële opbrengst per hectare productie veel groter zijn als er gebruikgemaakt wordt van lokale, gecontroleerde en selectieve bemesting. Op dit moment is precisiebemesting waarbij gegarandeerd de nutriënten alleen lokaal worden opgenomen door het zeewier, zonder risico op eutrofiëring van de omgeving wetenschappelijk wel, maar teelt-technische expertise onbekend. Daarmee is bemesting met de huidige stand van techniek niet wenselijk. Dat kan in de toekomst uiteraard veranderen.

2 Beschikbare ruimte binnen windparken

Een verkenning naar de randvoorwaarden voor medegebruik van ruimte binnen offshore windparken heeft aangetoond dat niet alle ruimte in windparken überhaupt bruikbaar is voor medegebruik en dat de ruimte die daadwerkelijk geschikt is voor zeewierproductie nog meer beperkingen kent (Bolman et al. 2018). Rond kabels en leidingen ligt een veiligheidszone van 500m aan weerszijden (750m aan weerszijden voor telecom kabels) waarbinnen het niet is toegestaan om schepen,

aquacultuurinfrastructuur of andere elementen te verankeren. Voor windparken met doorvaart mag hier wel overheen gevaren worden. Het is echter niet toegestaan om bijvoorbeeld hangcultures dwars over een kabel heen te spannen. De ruimte die daadwerkelijk bruikbaar zal zijn voor zeewierproductie in de toekomst is sterk afhankelijk van :

1. Beslissingen t.a.v. de veiligheidszone van in-field kabels. Als die op 250 meter onderhoudszone aan weerszijde van de kabel komt dan blijft er totaal maximaal zo'n 50% over voor alle vormen van medegebruik, als die beperkt wordt tot 50 meter aan weerszijden dan is zo'n 70% van windparken geschikt
2. De architectuur van in-field kabels. Kweeklijnen moeten in de lengterichting van de stroming gehangen worden, anders komt er te veel kracht op de lijnen te staan. Dat betekent dat in parken waar de in-field kabels dwars op de stroming liggen, de gebieden die voor zeewier geschikt zijn, sterk zijn beperkt. Voor de reeds in gebruik zijnde parken en voor vergunde tenders, waar de planning al voor rond is, is hier weinig meer aan te veranderen. Voor nieuwe parken kan men randvoorwaarden opleggen in de kavelbesluiten om zo de mogelijkheden voor aquacultuur te maximaliseren.
3. Afspraken m.b.t. doorvaart. Momenteel mag in de meeste windparken gevaren worden met schepen kleiner dan 24 meter. In de toekomst zal doorvaart waarschijnlijk ook mogen met grotere schepen. Uiteraard kan er niet gevaren worden door gebieden die zijn aangewezen voor zeewierproductie. In toekomstige windparken kan doorvaart mogelijk gemaakt worden in scheepscorridors. Die scheepscorridors zijn uiteraard ook niet bruikbaar voor aquacultuur.

Vanwege bovenstaande beperkingen is een grove schatting dat van windparken ongeveer 25% daadwerkelijk geschikt zal zijn voor zeewierkweek. Daar kan mogelijk nog wel wat aan geoptimaliseerd worden, maar grof geschat gaat dit neerkomen op ongeveer 3500 km² die binnen offshore windparken bruikbaar is voor zeewierproductie (en mosselproductie, waar vrijwel dezelfde randvoorwaarden voor gelden).

3 Ecologische draagkracht

Draagkracht is echter een complex begrip, dat in verschillende contexten gebruikt wordt en waar vele definities voor gelden (Inglis et al., 2000). In de context van duurzaam beheer wordt draagkracht veelal beschreven als de bestandsgrootte van een soort zonder dat deze negatieve invloed heeft op het ecosysteem functioneren. In de huidige studie wordt draagkracht gedefinieerd als de maximale hoeveelheid nutriënten die opgenomen kunnen worden door zeewierkweek zonder dat dit negatieve effecten heeft op de totale nutriënten pool beschikbaar voor de groei van fytoplankton (micro-algen). Fytoplankton staat aan de basis van het voedselweb, en over het algemeen geldt 'hoe meer microalgen, hoe meer biomassa van de hogere trofische niveaus kan worden ondersteund'. Deze relaties zijn echter complex waardoor het niet eenvoudig is om de draagkracht voor zeewier direct te vertalen naar draagkracht voor bepaalde vogels of vissen. In de huidige studie ligt daarom in eerste instantie de interactie zeewier-nutriënten centraal.

Een essentieel verschil tussen landbouw en aquacultuur is dat water stroomt. Dit is niet triviaal. Het betekent dat een kweker niet alleen afhankelijk is van wat er lokaal aan nutriëntenconcentratie in het water zit, maar dat er ook voedingsstoffen (nutriënten) van elders worden aangevoerd. Omgekeerd betekent dit ook dat nutriënten die bovenstrooms reeds zijn opgebruikt, niet benedenstrooms nog beschikbaar zijn. Een optimaal kweekstelsel (randvoorwaarde voor een economisch rendabele productie) gaat uit van maximale benutting en hiermee onttrekking van nutriënten uit de omringende omgeving.

Uitputting kan op verschillende schalen plaatsvinden. Lokale uitputting kan optreden binnen een grote kwekerij, of een serie aaneengesloten kleinere cultivatieplots. Als aangevoerde nutriënten van buitenaf worden verbruikt binnen een kwekerij, dan zal de opbrengst van kweeklijnen binnen in de kwekerij achterblijven bij de lijnen die aan de randen hangen. Dit is een probleem voor de kweker, maar zolang er niet heel veel kwekerijen zijn hoeft dat niet een probleem te zijn voor de draagkracht van het omringende ecosysteem. Echter, als er op de schaal van de Noordzee een substantieel deel van de nutriënten die het ecosysteem binnen komen, onttrokken worden door zeewierproductie dan ontstaat er wel een draagkracht probleem.

Studies die gekeken hebben naar de potentiële opbrengst per hectare (Reith et al. 2005, Groenendijk et al. 2016) hebben een schatting van lokale opbrengsten geëxtrapoleerd naar grotere oppervlakten. In deze studies wordt geconcludeerd dat er opbrengsten te halen zijn van 20 ton zeewier droge stof per hectare, zonder bemesting. Hierbij is geen rekening gehouden met onttrekking van nutriënten door zeewierproductie elders in het systeem, noch is rekening gehouden met lokale uitputting. Zonder hier echt met modellen aan te rekenen is het lastig in te schatten wanneer lokale uitputting gaat optreden, maar het is niet onwaarschijnlijk dat bij een aaneengesloten culture van 1 hectare dit fenomeen al kan gaan optreden. Experts van WMR geven aan dat 10 ton droge stof per hectare waarschijnlijk realistischer is als uitgangswaarde. In recente studies van Lubsch (2019) en Lubsch en Timmermans (2018 en 2019 a en b) is voor verschillende Noordzee zeewiersoorten onderzocht wat de stikstof en fosfaatopname kinetiek is. Deze resultaten vormen een wetenschappelijk verantwoord uitgangspunt om voor een gegeven de hoeveelheid zeewier, gegeven de hydrodynamische omstandigheden ter plekke, te voorspellen wat de maximaal haalbare opbrengst (en nutriëntonttrekking) zal zijn. Voor een inschatting van de totale draagkracht van de Noordzee kunnen berekeningen gemaakt worden, eveneens gebaseerd op de bovengenoemde beschikbare fysiologische kennis en de hydrodynamische omstandigheden inclusief de hiervoor beschreven opbrengst per hectare.

3.1 Aannames voor beschikbaarheid van nutriënten

3.1.1 Beschikbare nutriënten voor onttrekking

Van alle nutriënten in de Noordzee die in de winter beschikbaar zijn komt ongeveer;

- 25% via de Atlantische oceaan binnen
- 25% van antropogene oorsprong (via rivieren)
- 50% van interne omzetting (recycling)

Dit betekent dat slechts de helft van de nutriënten elk jaar 'nieuw' de Noordzee in komen. Een duurzame exploitatie kan dus alleen maar op basis van maximaal de helft van de nutriënten, anders wordt de interne voorraad van de Noordzee uitgeput, dat is per definitie niet duurzaam.

3.1.2 Acceptabele onttrekking

Het zal niet acceptabel zijn dat alle binnenkomende nutriënten volledig naar zeewierproductie gaan. Wat wel acceptabel is, is een **politieke keuze** die uiteindelijk genomen zal moeten worden op basis van een inschatting van de effecten van nutriënten onttrekking op het voedselweb van de Noordzee en daarmee de consequenties voor zowel het natuurlijk ecosysteem als ecosysteemdiensten, zoals visserij en biodiversiteit. Als rekenvoorbeeld zal hier een aanname gedaan worden dat 5% onttrekking van nieuwe nutriënten een aanvaardbaar niveau is. Dit getal is echter volledig arbitrair. Er zal ook een inschatting gegeven worden van een situatie waarbij alle nutriënten naar zeewierproductie gaan, maar dit is uiteraard een situatie die de interne voorraad nog wel in tact laat, maar een grote impact zal hebben op het gehele voedselweb van de Noordzee, inclusief vogels, vissen en zeezoogdieren.

3.1.3 Limiterende nutriënten

In het verleden was stikstof op open zee het beperkende nutriënt en was fosfaat meestal in overmaat aanwezig. In de afgelopen decennia is door beleidsmaatregelen de nutriëntenbelasting afgenomen, maar is fosfaat veel sterker afgenomen dan stikstof. Zeker in de kustgebieden is de verhouding intussen dusdanig veranderd dat in grote delen van het jaar fosfaat de beperkende factor geworden is.

In dit memo zijn een aantal voorbeeldberekeningen toegevoegd op basis van stikstof en van fosfaat als limiterend nutriënt. In de praktijk zal dit sterk afhangen van de locatie. Inmiddels zijn recent ook voor verschillende soorten Noordzee zeewieren de stikstof en fosfaat opname waardes bekend (Lubsch ,2018)

3.1.4 Stoichiometrie

Algen nemen nutriënten op uit het water in een bepaalde verhouding en de biomassa van algen heeft een bepaalde verhouding koolstof : stikstof : fosfaat. Deze verhouding kan verschillen per soort en ook per locatie, afhankelijk van de nutriëntenconcentratie in de omgeving en andere milieufactoren, zoals mechanische belasting. De aannames die men doet t.a.v. stoichiometrie van zeewier beïnvloeden de uiteindelijke schattingen van te behalen opbrengst.

3.2 Rekenvoorbeeld 1 (op basis van stikstof)

De volgende verschillende berekeningen m.b.t. de draagkracht van de Nederlandse Noordzee voor zeewier *lijken* precies. Er zitten getallen in tot 3 cijfers achter de komma, zodat de berekening navolgbaar is. Zoals echter aangegeven zitten zijn verschillende substantiële bronnen van onzekerheid, waardoor deze getallen vooral gezien moeten worden als ordes van grootte.

Genomen kentallen t.a.v. nutriënten zijn op basis van winterconcentraties.

- Gemiddelde concentratie N = 15 $\mu\text{mol/l}$ = 15 mmol/m^3
- Gemiddelde diepte Nederlandse Noordzee = 25 m
- Geïntegreerd naar oppervlakte = 375 mmol/m^2
- Uitgaande van een evenredige verdeling van nutriënten en productie over het NCP.

Aangenomen verhoudingen voor zeewier:

- Verhouding koolstof : stikstof (C:N ratio) suikerwier is ± 9
- Verhouding koolstof : drooggewicht (C/DW) ± 0.4
- Maximale opname nutriënten $0.5 \cdot 0.375 = 0.1875 \text{ mol N m}^{-2} \text{ jr}^{-1}$ (is de helft van de totale winterconcentratie – aannemend dat alleen de nieuwe nutriënten worden gebruikt – zie sectie 3.1.1)
- $0.1875 \text{ mol N m}^{-2} \text{ jr}^{-1} \cdot 9 = 1.688 \text{ mol C m}^{-2} \text{ jr}^{-1}$
- $1 \text{ mol C} = 12 \text{ gram}$; $1.688 \text{ mol C m}^{-2} \text{ jr}^{-1} = 20.25 \text{ gC m}^{-2} \text{ jr}^{-1} = \pm 50 \text{ gDW m}^{-2} \text{ jr}^{-1}$
- Aangenomen opbrengst 10 ton drooggewicht per hectare per jaar = $1.000 \text{ g DWm}^{-2} \text{ jr}^{-1}$

Dit houdt dus in dat:

- Elke vierkante meter zeewierproductie ongeveer alle nieuwe nutriënten van $\pm 20 \text{ m}^2$ zeeoppervlak opneemt.
- Met een totale oppervlakte van 58.000 km^2 van het totale NCP, houdt dat in dat je maximaal ongeveer 2.900 km^2 zeewier op het NCP kunt kweken als alle 'nieuwe' nutriënten naar het zeewier gaan.
- Met een arbitraire aanname dat 5% acceptabel zou zijn (zie sectie 3.1.2) kom je op een totale schatting van het ruimtebeslag voor zeewierproductie van ruim 145 km^2

3.2.1 Bronnen van onzekerheid

In deze berekening is uitgegaan van Suikerwier (*Saccharina latissima*). Vingerwier (*Laminaria digitata*) heeft een C:N ratio van bijna 22. Dan kom je met gelijkblijvende opbrengst van 10 ton droge stof per ha uit op ongeveer 350 km^2 . Dulze (*Chondrus crispus*) zit daar tussen in, heeft een C:N verhouding van ongeveer 15 (Lubsch, 2019).

Als we uitgaan van een lagere of hogere opbrengst per hectare dan verandert de schatting van het ruimtebeslag omgekeerd evenredig.

Zoals ook al aangegeven is de aanname wat een acceptabele onttrekking is ook zeer bepalend wat voor ruimtebeslag wenselijk is. Daarbij is in de berekening uitgegaan van een evenredige verdeling van nutriënten en zeewierproductie over het NCP. In realiteit zijn er meer nutriënten in het Zuidelijk deel van het NCP en zal hier een mogelijk een groot deel van de zeewierproductie plaats moeten vinden.

Daarnaast moeten seizoenale aspecten betrokken worden. Tijdelijke hoge onttrekking van nutriënten in de winter zullen minder directe gevolgen hebben voor het mariene ecosysteem, omdat dan het fytoplankton minder actief is. Daarentegen in het voorjaar, als de biomassa en daarmee de nutriëntopname van bijvoorbeeld suikerwier maximaal is zal dat een direct effect kunnen hebben op het dan actieve fytoplankton.



4 Conclusies

De huidige memo schetst een beeld voor de orde grootte van toekomstige zeewierproductie in de Noordzee op basis van draagkracht, uitgedrukt als nutriëntenonttrekking. Op basis van deze analyse lijkt een areaal van enkele honderden km² realistisch, afhankelijk van de gekweekte soort. De verschillende berekeningen omvatten echter verschillende bronnen van onzekerheid, waardoor deze getallen wezenlijk kunnen variëren. Deze waardes dienen dan ook vooral gezien te worden als een indicatie, en een eerste aanzet om de discussie rondom ruimtegebruik door zeewierteelt in de Noordzee in een realistisch kader te plaatsen. Eén van de bronnen van onzekerheid is hoeveel opbrengst verwacht kan worden per hectare. Nu is uitgegaan van 10 ton droge stof / hectare. De daadwerkelijke opbrengst zal sterk variëren per locatie. Gebieden met hoge nutriënten concentraties en hoge stroomsnelheden (dus verversingsnelheden) zullen een hogere opbrengst hebben dan bijvoorbeeld gebieden met hoge nutriënten concentraties en lage stroomsnelheden. Al zal stroomsnelheid ook een effect hebben op de groei en het succes van de kweekunit, want te hoge stroomsnelheden kunnen teelt-technische problemen geven. Naast ruimtelijke variatie, dienen ook seizoensaspecten betrokken te worden, met name de periode in het voorjaar wanneer er een piek in de productie van fytoplankton plaats vindt (voorjaarsbloei).

Het is duidelijk dat de draagkracht van de Noordzee beperkt is en dat er geen ruimte geclaimd kan worden voor duizenden vierkante kilometers zeewierproductie, maar dat dit eerder in de orde van grootte van enkele honderden vierkante kilometers kan liggen. In principe is deze ruimte beschikbaar in de huidige aangewezen gebieden (tot 2030 en 2050). Met een uitbreiding van het reeds geplande windpark areaal is er zeker voldoende ruimte, maar hierbij moet worden aangetekend dat toekomstige windparken waarschijnlijk verder van de kust, meer naar het noorden zullen worden geplaatst. Daar is de nutriëntenconcentratie beduidend lager dan vlakbij de kust en zijn ook stroomsnelheden (en dus verversingsnelheden) lager. Dat betekent dat zeewierproductie daar per hectare minder zal opbrengen en door de grotere vaarafstanden zal dit ook economisch veel minder aantrekkelijk zijn (tenzij logistieke uitdagingen worden overwonnen). Duidelijk is dat als onderzocht gaat worden wat de technische haalbaarheid is van verantwoorde bemesting van zeewier op zee, dit een totaal nieuwe blik op de potentie van zeewierproductie zal geven. Met de beschikbare kennis over fosfaat en stikstof opname per eenheid bladoppervlakte van zeewier (Lubsch publicaties) kan een productiesysteem ontworpen worden met slow-release nutriënten die zeewierproductie loskoppelt van de natuurlijk beschikbaarheid van nutriënten. Een dergelijk precisie productiesysteem biedt ook mogelijkheden om de productie niet alleen op groei maar ook op inhoudsstoffen te sturen. Zo'n systeem zal uiteraard eerst uitvoerig getest moeten worden zodat er zekerheid is dat bijv. geen eutrofiering optreedt. Zeker in combinatie met een geavanceerd bioraffinage proces van de zeewierbiomassa en aansluiting bij circulaire landbouwprocessen biedt dit goede mogelijkheden voor een circulair productiesysteem. Als de hoogwaardige eiwitten, koolhydraten en functionele componenten uit de zeewierbiomassa zijn geëxtraheerd kan de resterende fractie worden omgezet in groen biogas, terwijl de overblijvende mineralen als bemesting (voor zeewier) kan worden gebruikt.

De vraag naar ruimte voor zeewierproductie binnen windparken had/heeft betrekking op een lange termijn inschatting – rond 2050. Het rekenvoorbeeld dat is gegeven is gemaakt op basis van de huidige situatie en een afwezigheid van substantiële zeewierproductie in omringende landen/zeeën. De antropogene nutriëntenbelasting is de afgelopen jaren fors afgenomen onder invloed van beleidsmaatregelen. Dit zal zich de komende jaren nog verder voortzetten, waarmee de draagkracht voor zeewierproductie zal afnemen. Ook zijn er in landen om ons heen testen aan de gang met offshore productie van zeewier. Als bijvoorbeeld in het Belgische deel van de Noordzee substantiële kwekerijen worden geplaatst zal dit een behoorlijke impact hebben op de potentiële opbrengst van zeewierproductie in het windpark Borssele, wat in potentie het windpark is met de hoogste opbrengst (zie bijvoorbeeld de

[Aquacultuur Atlas](#)). Dit houdt in dat er internationale afstemming nodig zal zijn over de plaatsing van zeewierproductie op de Noordzee, zowel binnen windparken als daarbuiten.

Eén van de belangrijke factoren is de beslissing wat een acceptabele nutriënten onttrekking zou zijn. Een andere belangrijke beslissing is het al dan niet toepassen van een zeewierproductiesysteem dat los van de natuurlijk beschikbare nutriënten functioneert. Duidelijk is dat inzicht in de effecten van nutriënten opname door zeewier van groot belang is. Het vergt ook beter inzicht in de verschillende trofische relaties in het ecosysteem van de Noordzee, en beter inzicht in interacties met andere doelstellingen op de Noordzee. Als een doelstelling is om bijvoorbeeld weer substantiële oppervlaktes aan oesterbanken te herstellen, dan zal de beschikbaarheid van fytoplankton (=voedsel voor de oesters) essentieel zijn. Als het zeewier alle nutriënten uitput zal het fytoplankton niet groeien en zullen de oesters voedseltekort hebben of zal een omslag in fytoplankton samenstelling plaatsvinden. Voor deze complexe interacties is multidisciplinair fundamenteel en toegepast onderzoek nodig om de effecten af te kunnen wegen. Hierbij zullen uiteindelijk ook socio-economische factoren moeten worden betrokken. Eerste stappen waren hiervoor gepland in het NWA onderzoeksvoorstel "North Sea in Transition", welke niet is gehonoreerd. Ten slotte, is naast een evaluatie van potentiële opbrengsten, ruimtegebruik en mogelijke bijdrage aan de klimaatdoelstellingen (CO₂ onttrekking), het ook van cruciaal belang inzicht te krijgen in de directe impact en/of bijdrage van grootschalige zeewierteelt op het natuurlijk kapitaal, inclusief biodiversiteit in de waterkolom en bodem.

Tot slot zien wij in de ontwikkelingen rond ecologie en draagkracht (spatial planning), Maritieme technologie, landbouw gebaseerde productie technieken in relatie tot duurzame productie van zeewier een zeer relevante rol voor Nederland in het mondiale speelveld.



5 Referenties

- Bolman, B., Boon, A.R., Maarse, M., Roetert, T., Schouten, J.J. and Vergouwen, S.A. (2018) Verkenning toekomstig medegebruik windparken, Deltares, Delft.
- Reith, J.H., Deurwaarder, E.P., Hemmes, K., Curvers, A.P.W.M., Kamermans, P., Brandenburg, W. and Zeeman, G. (2005) Bio-offshore; grootschalige teelt van zeevieren in combinatie met offshore windparken in de noordzee.
- Groenendijk, F., Bikker, P., Blaauw, R., Brandenburg, W., van den Burg, S., Dijkstra, J.W., van Duren, L.A., van Hal, J., Harmsen, P., Huijgen, W., Jak, R., Kamermans, P., van Leeuwen, J., van Krimpen, M., Lindeboom, R., Prins, H., van der Putten, S., Schouten, J.-J., Stuver, M. and van der Werff, A. (2016) North-sea-weed-chain. Sustainable seaweed from the north sea; an exploration of the value chain Wageningen U.R., Deltares, MARIN, ECN, TNO, Wageningen.
- Lubsch A. and K.R. Timmermans (2018). Uptake kinetics and storage capacity of dissolved inorganic phosphorus and corresponding N:P dynamics in *Ulva lactuca*. J. Phycol. 54: 215-223.
- Lubsch, A. (2019). North Sea seaweeds: DIP and DIN uptake kinetics and management strategies. PhD thesis, University Groningen, 214 pp, ISBN: 978-94-034-1688-5.
- Lubsch A. and K.R. Timmermans (2019a). Uptake kinetics and storage capacity of dissolved inorganic phosphorus and corresponding N:P dynamics in *Saccharina latissima* and *Laminaria digitata* (Phaeophyceae). J. Phycol. doi.org/10.1111/jpy.12844.
- Lubsch A. and K.R. Timmermans (2019b). Dissolved inorganic phosphate uptake and corresponding dissolved inorganic nitrate uptake in the seaweed *Palmaria palmata* (Rhodophyta): ecological and physiological aspects of nutrient availability. J. Phycol. (revised).