



Zeewier en natuurlijk kapitaal

Kansen voor een biobased economy

Sander van den Burg, Robbert Jak, Marie-Jose Smits, Arianne de Blaeij, Trudy Rood, Harm Blanken en Susan Martens

Zeewier en natuurlijk kapitaal

Kansen voor een biobased economy

Sander van den Burg¹, Robbert Jak², Marie-Jose Smits¹, Arianne de Blaeij¹, Trudy Rood³, Harm Blanken⁴ en Susan Martens⁴

1 LEI Wageningen UR

2 IMARES Wageningen UR

3 Planbureau voor de Leefomgeving

4 Bureau ZET

Dit onderzoek is uitgevoerd door LEI Wageningen UR in opdracht van en gefinancierd door Planbureau voor de Leefomgeving.

LEI Wageningen UR
Wageningen, mei 2016

RAPPORT
LEI 2016-049
ISBN 978-94-6257-806-7

Van den Burg, Sander, Robbert Jak, Marie-Jose Smits, Arianne de Blaeij, Trudy Rood, Harm Blanken en Susan Martens, 2016. *Zeewier en natuurlijk kapitaal; Kansen voor een biobased economy*. Wageningen, LEI Wageningen UR (University & Research centre), LEI Rapport 2016-049. 36 blz.; 5 fig.; 5 tab.; 48 ref.

Grootschalige zeewierteelt in de Noordzee is nog niet rendabel als alleen de waarde van de productiedienst - het zeewier zelf - wordt meegenomen. Zeewierteelt kan echter diverse andere ecosysteemdiensten leveren. Met het denkmodel Natuurlijk Kapitaal is het mogelijk de baathebbers van deze ecosysteemdiensten te identificeren en met hen in gesprek te gaan over de mogelijkheden van waarderen en verzilveren. De vraag of dan een sluitende businesscase voor grootschalige zeewierteelt in Nederlandse wateren gerealiseerd kan worden is afhankelijk van innovatieve financieringsvormen, zekerheid over de levering van ecosysteemdiensten en de toepassingsmogelijkheden van het geproduceerde zeewier.

Large-scale seaweed cultivation in the North Sea is not yet profitable if only the value of the product - the seaweed itself - is taken into account. However, seaweed cultivation can provide a variety of beneficial ecosystem services. By applying the concept of natural capital, it is possible to identify the beneficiaries of these ecosystem services and to engage them in discussions about the possibilities of evaluation and capitalisation. The question of whether a balanced business case for the large-scale cultivation of seaweed in Dutch waters can be realised depends on innovative forms of finance, assurance about the delivery of ecosystem services and the applications of the produced seaweed.

Trefwoorden: natuurlijk kapitaal, ecosysteemdiensten, zeewier, businesscase, offshore windparken

Dit rapport is gratis te downloaden op <http://dx.doi.org/10.18174/380299> of op www.wageningenUR.nl/lei (onder LEI publicaties).

© 2016 LEI Wageningen UR
Postbus 29703, 2502 LS Den Haag, T 070 335 83 30, E informatie.lei@wur.nl,
www.wageningenUR.nl/lei. LEI is onderdeel van Wageningen UR (University & Research centre).



LEI hanteert voor haar rapporten een Creative Commons Naamsvermelding 3.0 Nederland licentie.

© LEI, onderdeel van Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek, 2016
De gebruiker mag het werk kopiëren, verspreiden en doorgeven en afgeleide werken maken. Materiaal van derden waarvan in het werk gebruik is gemaakt en waarop intellectuele eigendomsrechten berusten, mogen niet zonder voorafgaande toestemming van derden gebruikt worden. De gebruiker dient bij het werk de door de maker of de licentiegever aangegeven naam te vermelden, maar niet zodanig dat de indruk gewekt wordt dat zij daarmee instemmen met het werk van de gebruiker of het gebruik van het werk. De gebruiker mag het werk niet voor commerciële doeleinden gebruiken.

Het LEI aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Het LEI is ISO 9001:2008 gecertificeerd.

LEI 2016-049 | Projectcode 2282700171

Foto omslag: Shutterstock

Inhoud

| | | |
|----------|---|-----------|
| | Woord vooraf | 5 |
| | Samenvatting | 6 |
| | S.1 Belangrijkste uitkomsten | 6 |
| | S.2 Overige uitkomsten | 6 |
| | S.3 Methode | 7 |
| | Summary | 8 |
| | S.1 Key findings | 8 |
| | S.2 Complementary findings | 8 |
| | S.3 Method | 9 |
| 1 | Introductie | 10 |
| | 1.1 Achtergrond | 10 |
| | 1.2 Biobased economy | 10 |
| | 1.3 Doelstelling | 11 |
| | 1.4 Onderzoeksvragen | 11 |
| 2 | Methode | 12 |
| | 2.1 Denkmodel NKN | 12 |
| | 2.2 Dataverzameling | 13 |
| | 2.3 Monitoring | 15 |
| 3 | Zeewier: de stand van zaken | 16 |
| 4 | Resultaten | 18 |
| | 4.1 Inventarisatie van ecosysteemdiensten | 18 |
| | 4.2 Eems-Dollard | 19 |
| | 4.2.1 Beschrijving van de casus 'Zeewierteelt in de Eems-Dollard' | 19 |
| | 4.2.2 Introductie van het gebied | 19 |
| | 4.2.3 Kansrijke scenario's voor zeewierteelt | 20 |
| | 4.2.4 Waardering en verzilvering van ecosysteemdiensten | 22 |
| | 4.3 Borssele | 22 |
| | 4.3.1 Beschrijving van de casus 'Zeewierteelt in het windpark Borssele' | 22 |
| | 4.3.2 Introductie van het gebied | 23 |
| | 4.3.3 Relevante ecosysteemdiensten van zeewierteelt | 24 |
| | 4.3.4 Waarderen en verzilveren | 25 |
| 5 | Conclusies | 27 |
| | 5.1 Ecosysteemdiensten van zeewierteelt | 27 |
| | 5.2 Baathebbers | 28 |
| | 5.3 Waarderen en verzilveren | 28 |
| | 5.4 Barrières | 29 |
| | 5.5 Een sluitende businesscase voor zeewierteelt? | 30 |
| | 5.6 Bijdrage aan de ontwikkeling van een circulaire economie | 30 |
| | 5.7 Lessen voor de biobased economy | 31 |

| | | |
|----------|-----------------------------------|-----------|
| 6 | Reflectie en aanbevelingen | 32 |
| 6.1 | Bruikbaarheid van de methode | 32 |
| 6.2 | Aanbevelingen | 32 |
| | Literatuur | 33 |

Woord vooraf

Eén van de ambities van het kabinet is het verbinden van natuur en economie (*Natuurlijk verder; Rijksnatuurvisie 2014*). Van natuur beschermen tégen de samenleving naar natuur beschermen mét de samenleving. In deze studie maken we inzichtelijk wat de mogelijkheden en barrières zijn om ecologisch en economisch verantwoord zeewier te telen. Zeewier is een van de nieuwe grondstoffen van de biobased economy die kan helpen een overgang te maken van een economie die draait op fossiele grondstoffen naar een economie die draait op biomassa als grondstof. Zeewierproductie kan daarnaast een aantal diensten leveren waar ook andere organisaties en de natuur baat bij hebben.

Dit onderzoek naar de circulaire zeewierketen is uitgevoerd in het kader van het programma Natuurlijk Kapitaal Nederland (NKN) van het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL). Het PBL voert dit tweejarige programma uit in de periode 2014-2016 in opdracht van het ministerie van Economische Zaken. Met het programma NKN probeert het PBL aan overheden, ondernemers en maatschappelijke organisaties concrete handvatten te bieden voor het nemen van investerings- en beleidsbeslissingen waarbij natuur en economie elkaar versterken.

In NKN staat het leren van de praktijk centraal. Dat doet het PBL door deel te nemen aan praktijkcasussen van bedrijven, overheden en maatschappelijke organisaties. Naast dit onderzoek naar de zeewierketen komen in het NKN-programma de volgende praktijkcasussen aan bod:

- waterveiligheid en natuur in het Deltaprogramma
- ecosysteemdiensten in het Gemeenschappelijk Landbouwbeleid
- waterkwaliteit met Brabant Water
- verduurzaming van internationale handelsketens
- verzilveren van bestaande natuur in de Weerribben-Wieden
- innovatieve food ondernemers.

Naast de praktijkprojecten trekken we in het NKN-programma ook lessen uit bestaande praktijkvoorbeelden en het verleden. We analyseren ook hoe verschillende partijen in Nederland aankijken tegen ecosysteemdiensten en hoe andere landen een andere benutting van ecosysteemdiensten en natuurlijk kapitaal realiseren. Ook leren we van andere sectoren over hoe zij innovatieve verdienmodellen vormgeven. De verschillende analyses geven ieder een stukje van de puzzel waar we in het NKN-programma aan werken. Op de website <http://themasites.pbl.nl/natuurlijk-kapitaal-nederland> kunt u informatie over het hele programma vinden en de voortgang ervan volgen. Wij bedanken alle deelnemers aan de workshops voor hun bijdrage.



Prof.dr.ir. Jack (JGAJ) van der Vorst
Algemeen Directeur SSG Wageningen UR



Petra van Egmond
Planbureau voor de Leefomgeving

Samenvatting

S.1 Belangrijkste uitkomsten

Grootschalige zeewierteelt in de Noordzee is nog niet rendabel als alleen de waarde van de productiedienst - namelijk het zeewier zelf - wordt meegenomen. Zeewierteelt kan diverse andere ecosysteemdiensten leveren. Met het denkmodel Natuurlijk Kapitaal is het mogelijk de baathebbers van deze ecosysteemdiensten te identificeren en met hen in gesprek te gaan over de mogelijkheden van waarderen en verzilveren.

De vraag of een sluitende businesscase voor grootschalige zeewierteelt in Nederlandse wateren gerealiseerd kan worden door de bijdrage aan natuurlijk kapitaal mee te nemen is afhankelijk van innovatieve financieringsvormen, zekerheid over de levering van ecosysteemdiensten en de toepassingsmogelijkheden van het geproduceerde zeewier. [Zie 5.5](#)

De productiediensten zijn relevant voor private partijen die zeewier toepassen in bijvoorbeeld voeding, in diervoeder en in biobased economy toepassingen als groene chemie. Regulerende diensten - baten die ecosystemen leveren bij het reguleren van natuurlijke processen - kunnen voordelen opleveren voor private en publieke actoren. Zo kan een private actor als een windparkbeheerder baat hebben bij de demping van golfslag van zeewier. Publieke actoren hebben baat van zeewier als de teelt een bijdrage levert aan kustbescherming, of opname van verontreinigingen zodat de normen uit de Kaderrichtlijn Water worden gehaald. [Zie 5.1 en 5.2](#)

Of de baten van de geleverde ecosysteemdiensten ook verzilverd kunnen worden is afhankelijk van het type ecosysteemdienst en de baathebber. Financiering door een private partij vraagt om de garantie dat de ecosysteemdienst geleverd wordt. Innovatieve financieringsvormen zijn vereist, omdat de garantie niet te geven is dat een zeewierondernemer 25 jaar lang, 365 dagen per jaar zeewier teelt. [Zie 5.3](#)

S.2 Overige uitkomsten

Het denkmodel van Natuurlijk Kapitaal is een werkbaar denkmodel; het is mogelijk gebleken over dit onderwerp in dialoog te gaan met een diversiteit aan stakeholders zonder in discussies over definities en afbakening van natuur, ecosysteemdiensten en dergelijke terecht te komen. [Zie 6.1](#)

Een knelpunt om tot verzilvering te komen is de focus op kosteneffectiviteit per ecosysteemdienst terwijl zeewierteelt juist multifunctioneel is. Wanneer louter gekeken wordt naar één ecosysteemdienst als golfslagdemping of kustbescherming worden andere ecosysteemdiensten buiten beschouwing gelaten. [Zie 5.4](#)

Zeewierteelt in de Noordzee is nog in ontwikkeling. Wat nu beschikbaar is zijn resultaten van kleinschalige pilots, modelmatige studies of studies uit andere zeeën. Dat biedt onvoldoende zekerheid voor een overheid of bedrijf dat de voorziene ecosysteemdiensten daadwerkelijk geleverd worden. [Zie 5.4](#)

Zeewierteelt is gekozen als een casus voor de biobased economy. De levering van ecosysteemdiensten is afhankelijk van de groeicyclus en natuurlijke omstandigheden. Dit gaat ook op bij andere biobased productieprocessen en ketens. [Zie 5.7](#)

Naar aanleiding van deze studie wordt aanbevolen om een pilot studie uit te voeren waarin de levering van ecosysteemdiensten - als golflagdemping, slibval en opname van nutriënten - door zeewierteelt getoetst kan worden. Zonder zekerheid van levering komt verzilveren niet van de grond. [Zie 6.2](#)

S.3 Methode

Het programma Natuurlijk Kapitaal Nederland (NKN) wordt door het Planbureau van de Leefomgeving (PBL) uitgevoerd in opdracht van het ministerie van Economische Zaken. Met het programma gaat het PBL op zoek naar concrete handvatten voor het nemen van beslissingen door overheden en ondernemers. [Zie 2.1](#)

Deze studie heeft tot doel te verkennen of een sluitende businesscase voor grootschalige zeewierteelt in Nederlandse wateren gerealiseerd kan worden door de baten voor natuurlijk kapitaal te verwaarden en verzilveren. [Zie 1.3](#)

Het denkmodel van Natuurlijk Kapitaal is toepasbaar gebleken. De drie stappen van het denkmodel zijn doorlopen met de stakeholders waarbij kennis is uitgewisseld en diverse sectoren met elkaar in contact zijn gebracht. [Zie 6.1](#)

In totaal zijn in dit project vijf workshops georganiseerd met deelnemers uit bedrijfsleven, overheden en kennisinstellingen. [Zie 2.2](#)

Summary

S.1 Key findings

Large-scale seaweed cultivation in the North Sea is not yet profitable if only the value of the product - the seaweed itself - is taken into account. Seaweed cultivation can provide a variety of beneficial ecosystem services. By applying the concept of natural capital, it is possible to identify the beneficiaries of these ecosystem services and to engage them in discussions about the possibilities of evaluation and capitalisation.

The question of whether a balanced business case for the large-scale cultivation of seaweed in Dutch waters can be realised by including the contribution of natural capital depends on innovative forms of finance, assurance about the delivery of ecosystem services and the applications of the produced seaweed. [See 5.5](#)

The production services are relevant for private parties who, for example, use seaweed in food products, in animal feed and in biobased economy applications such as green chemicals. Regulating services - the benefits that ecosystems provide through the regulation of natural processes - can be advantageous for both private and public actors. Private actors such as the manager of a wind farm, can benefit from the wave attenuation that seaweed provides. Public actors can benefit from seaweed if its cultivation contributes to coastal protection and the absorption of pollutants that helps to meet the standards set out in the EU Water Framework Directive. [See 5.1 and 5.2](#)

Whether the benefits derived from the delivered ecosystem services can be capitalised upon depends on the type of ecosystem service and the beneficiary. Financing by a private party requires a guarantee that the ecosystem service is indeed delivered. Innovative forms of finance are needed, as it cannot be guaranteed that the seaweed farmer will cultivate seaweed for 25 years, 365 days a year. [See 5.3](#)

S.2 Complementary findings

Natural capital is an applicable concept in this context. It has proved possible to engage in dialogue on this topic with a wide variety of stakeholders without entering into debates about definitions and demarcations of nature, ecosystem services and other matters. [See 6.1](#)

One issue that affects capitalisation is the focus on the cost effectiveness of individual ecosystem services while seaweed cultivation is in fact multifunctional. When only individual ecosystem services such as wave attenuation or coastal protection are considered, other ecosystem services are not discussed. [See 5.4](#)

Seaweed cultivation in the North Sea is still under development. The current production is the result of small-scale pilots, model-based studies or studies from other seas. This provides insufficient assurance for governments or companies that the ecosystem service that is promised can also be delivered. [See 5.4](#)

Seaweed cultivation has been selected as a case study for the biobased economy. The delivery of ecosystem services is dependent on the growth cycle and natural conditions. The same goes for other biobased production processes and chains. [See 5.7](#)

Based on the outcomes of this study, it is recommended that a pilot study be conducted that tests the delivery of ecosystem services that seaweed cultivation provides, such as wave attenuation, sludge deposit and nutrient uptake. Without the assurance of delivery, capitalisation cannot be achieved. [See 6.2](#)

S.3 Method

The Netherlands Environmental Assessment Agency (*Planbureau van de Leefomgeving*, PBL) is currently running the Natural Capital Netherlands programme (*Natuurlijk Kapitaal Nederland*, NKN) for the Dutch Ministry of Economic Affairs. In this programme, the Netherlands Environmental Assessment Agency investigates practical tools that will help governments and businesses to make decisions. [See 2.1](#)

The aim of this study is to explore the possibilities of whether a balanced business case for large-scale seaweed cultivation in Dutch waters can be realised by evaluating and capitalising on the natural capital. [See 1.3](#)

The framework of Natural Capital proves to be useful. This project went through the three steps of the framework with stakeholders to exchange knowledge and establish new connections between various sectors. [See 6.1](#)

For this project, a total of five workshops were organised with participants from the business community, government bodies and knowledge institutes. [See 2.2](#)

1 Introductie

1.1 Achtergrond

De relatie tussen natuur en economie is aan verandering onderhevig. Waar het Nederlandse natuurbeleid decennialang gericht was op het beschermen van kwetsbare gebieden tegen economische activiteiten, is de aandacht de laatste jaren verschoven naar integratie van economie en natuur. Het denken in termen van een tegenstelling tussen economie en natuur maakt plaats voor denken over synergie en de kansen tot wederzijdse versterking.

Dit gaat vergezeld met de ontwikkeling van een nieuw discours. De ontwikkeling is internationaal terug te vinden in de ontwikkeling van het denkkader *The Economics of Ecosystems and Biodiversity* (TEEB) (Suhkdev *et al.*, 2014). TEEB benadrukt dat de natuur diverse *ecosysteemdiensten* levert waar de mens baat bij heeft. Het TEEB-gedachtengoed is toegepast in een aantal landenstudies en deelstudies naar onder andere bedrijven, steden, landbouw, en water en wetlands.

De heroverweging van de relatie tussen economie en natuur heeft ook haar impact gehad op het Nederlandse natuurbeleid. In de Rijksnatuurvisie 2014 schetst het ministerie van Economische Zaken - verantwoordelijk voor het natuurbeleid - zijn visie op de toekomst van natuur in Nederland. De kern van de *Rijksnatuurvisie 2014* is een omslag in denken: van natuur beschermen tégen de samenleving naar natuur versterken mét de samenleving: natuur en economie profiteren van elkaar. De visie geeft een beeld van de rol die het Rijk, de provincies, andere overheden, de Europese Unie, maatschappelijke organisaties, bedrijven en burgers in de toekomst van het natuurbeleid spelen. De Rijksnatuurvisie streeft ernaar aan te sluiten bij de groeiende betrokkenheid van burgers en de ontwikkeling van groen ondernemerschap in de 'energieke samenleving'. Men concludeert dat de afgelopen decennia de regie over het beschermen van natuur steeds meer in handen van de rijksoverheid is gekomen maar ook dat een toenemend aantal initiatieven van burgers en bedrijven om de natuur te beschermen tot bloei is gekomen.

Daarnaast is het kabinet er veel aan gelegen het beeld van natuur als hindermacht van ontwikkeling in te ruilen voor een beeld van natuur als bron van maatschappelijke en economische ontwikkeling. Door het natuurbeleid minder te richten op details moeten betere kansen ontstaan voor een sterke natuur en voor een meer ontspannen samengaan met maatschappelijke en economische ontwikkelingen. Het economisch belang van natuur is lange tijd onderschat, mede door de vanzelfsprekendheid waarmee de rijksoverheid jarenlang investeerde in natuurontwikkeling en -behoud.

De Rijksnatuurvisie stelt dat economische activiteiten 'natuurinclusief' gemaakt moeten worden: natuur en de diensten die natuur levert zijn essentieel voor de duurzame ontwikkeling van veel economische activiteiten. Dit geldt zeker voor de biobased economy, die voor diverse toepassingen gebruik maakt van natuurlijke producten.

1.2 Biobased economy

Met de term biobased economy wordt verwezen naar de overgang van een economie die draait op fossiele grondstoffen naar een economie die draait op biomassa als grondstof: van 'fossil-based' naar 'biobased'. In een biobased economy gaat het over het gebruik van biomassa voor niet-voedseltoepassingen. Deze toepassingen zijn bijvoorbeeld inhoudsstoffen, chemicaliën, materialen, transportbrandstoffen, elektriciteit en warmte. Kwant *et al.* (2015) en Meijl *et al.* (2016) concluderen dat voor Nederland de omvang van de directe biobased economy in 2013 ongeveer € 1,7 miljard euro aan toegevoegde waarde omvat. Dit betreft een aantal sectoren: materialen, chemie en energie. Daarnaast leveren aanpalende activiteiten zoals onderzoek, onderwijs, reclame en productie van

eindproducten nog circa € 2,6 miljard aan toegevoegde waarde op. Uit macro-economisch onderzoek naar een grootschalig gebruik van biomassa voor energie en materialen blijkt dat de bio-economie positief kan bijdragen aan: de Nederlandse economie (1 miljard euro per jaar), het behalen van broeikasgasreductiedoelstellingen en het reduceren van de kosten van het terugdringen van broeikasgasemissies (Meijl *et al.* 2016). Om deze effecten te realiseren, zijn grootschalige technologische veranderingen en beschikbaarheid van biomassa belangrijk. De macro-economische effecten zijn erg afhankelijk van de fossiele energieprijzen.

Voor deze biobased activiteiten worden diverse soorten biomassa als grondstof gebruikt. Verreweg de grootste stromen zijn hout, oliën en vetten (Kwant *et al.*, 2015, Meijl *et al.*, 2016). In onderzoek en beleid gaat veel aandacht uit naar het gebruik van nieuwe grondstofstromen in de biobased economy. Dat kan bestaan uit reststromen uit bestaande productieprocessen, het surplus van landbouw- en bosbouwproductie of volledig nieuwe teelten.

De casus van het hier beschreven onderzoek richt zich op zeewier (ook bekend als macro-algen), één van de potentiële biomassastromen in de biobased economy. Een nadere introductie van huidige en voorziene toepassingen van zeewier wordt gegeven in hoofdstuk 3.

1.3 Doelstelling

Deze studie heeft tot doel te verkennen of een sluitende businesscase voor grootschalige zeewierteelt in Nederlandse wateren gerealiseerd kan worden door de geleverde ecosysteemdiensten te verwaarden en verzilveren. De teelt van zeewier wordt bekeken in de context van bestaande en nieuwe zeewierketens en de mogelijkheden om deze ketens in te richten volgens de principes van de circulaire economie. Deze casus wordt gekozen als illustratief voor de biobased economy.

1.4 Onderzoeksvragen

Deze casestudy beantwoordt de volgende hoofdvraag: kan het verwaarden en verzilveren van de door zeewierteelt geleverde ecosysteemdiensten bijdragen aan een sluitende businesscase voor grootschalige zeewierteelt in de Nederlandse wateren? Het project betreft nadrukkelijk de actoren uit de sector. Om antwoord te geven op de hoofdvraag is het denkmodel NKN toegepast, waarover meer in hoofdstuk 2.

Vanuit de hoofdvraag zijn de volgende deelvragen afgeleid:

- Van welke ecosysteemdiensten wordt gebruik gemaakt bij, en welke ecosysteemdiensten levert de teelt van zeewier?
- Welke stakeholders hebben baat bij de geleverde ecosysteemdiensten?
- Kunnen de geleverde ecosysteemdiensten gewaardeerd en verzilverd worden?
- Welke barrières staan verzilvering van de geleverde ecosysteemdiensten in de weg?
- Welke bijdrage kan zeewierteelt leveren aan de ontwikkeling van een circulaire economie?
- Wat kan hieruit geleerd worden voor de biobased economy?

2 Methode

2.1 Denkmodel NKN

Het programma NKN wordt door het Planbureau van de Leefomgeving (PBL) uitgevoerd in opdracht van het ministerie van Economische Zaken. Met het programma gaat het PBL op zoek naar concrete handvatten voor het nemen van natuur-inclusieve beslissingen door overheden en ondernemers.

In dit rapport verstaan we onder 'natuurlijk kapitaal' de op aarde aanwezige hernieuwbare en niet-hernieuwbare hulpbronnen die het vermogen hebben om ecosystemendiensten te leveren. Ecosystemendiensten zijn hierbij de diensten die door ecosystemen aan mensen worden geleverd. Natuurlijk kapitaal benadrukt dus dat natuur gaat over meer dan planten en dieren, maar dat het behoud ervan ons tal van baten oplevert zoals voedselproductie en natuurlijke hulpbronnen, de ecosystemendiensten. Natuurlijk kapitaal is de zogenoemde voorraadgrootte (stock) en ecosystemendiensten zijn de zogenoemde stroomgrootte (flow) en zijn als het ware de rente die het natuurlijk kapitaal oplevert als het duurzaam wordt gebruikt. In deze studie richten we ons voornamelijk op de hernieuwbare hulpbronnen.

We onderscheiden drie soorten ecosystemendiensten:

- producerende diensten zoals landbouwproductie, drinkwater en hout
- regulerende diensten zoals bestuiving, waterberging en plaagonderdrukking en
- culturele diensten zoals groene recreatie en de esthetische betekenis van natuur.

Deze ecosystemendiensten hebben waarde voor de mens omdat ze relatief schaars zijn in verhouding tot de behoefte eraan (Oosterhuis en Ruijs 2015). Natuurlijk kapitaal is onlosmakelijk verbonden met een bepaalde mate van biodiversiteit: behoud van het natuurlijke kapitaal vraagt namelijk om een veerkrachtig ecosysteem (Vos *et al.*, 2015). Natuurlijk kapitaal staat niet synoniem voor een hoge mate van biodiversiteit of zeldzame soorten. Meer natuurlijk kapitaal betekent dus niet automatisch dat de biodiversiteit erop vooruitgaat.

NKN heeft een denkmodel ontwikkeld dat is gebaseerd op het gedachtegoed van *The Economics of Ecosystems and Biodiversity* (TEEB) (Suhkdev *et al.*, 2014). Het denkmodel biedt een methode om op een gestructureerde en integrale manier naar ecosystemendiensten te kijken.

In dit rapport sluiten wij aan bij de definities en categorisering van natuurlijk kapitaal en ecosystemendiensten zoals beschreven in het programma NKN. Dat zijn de natuurlijke hulpbronnen op aarde die de mens ter beschikking staan: biodiversiteit en ecosystemen. NKN richt zich dus niet op niet-levende hulpbronnen zoals olie.¹

NKN kijkt naar de natuurlijke hulpbronnen en de diensten die geleverd worden aan de mens: ecosystemendiensten. Daarbij wordt tegenwoordig meestal onderscheid gemaakt tussen drie types ecosystemendiensten: productiediensten, regulerende diensten en culturele diensten. Een belangrijk kenmerk van het natuurlijk kapitaal is dat het hernieuwbaar is, maar ook dat het uitgeput kan worden als er meer van gebruikt wordt dan er bijgroeit.

Het denkmodel helpt bij het ontwerpen en evalueren van projecten waarin natuur en economie elkaar versterken. Het denkmodel kan gebruikt worden bij het uitvoeren van praktijkprojecten en het trekken van lessen uit bestaande praktijkvoorbeelden. De drie stappen van het denkmodel van NKN zijn:

¹ <http://themasites.pbl.nl/natuurlijk-kapitaal-nederland/achtergronden/wat-is-natuurlijk-kapitaal> (8-3-2016)

- *stap 1: in kaart brengen*

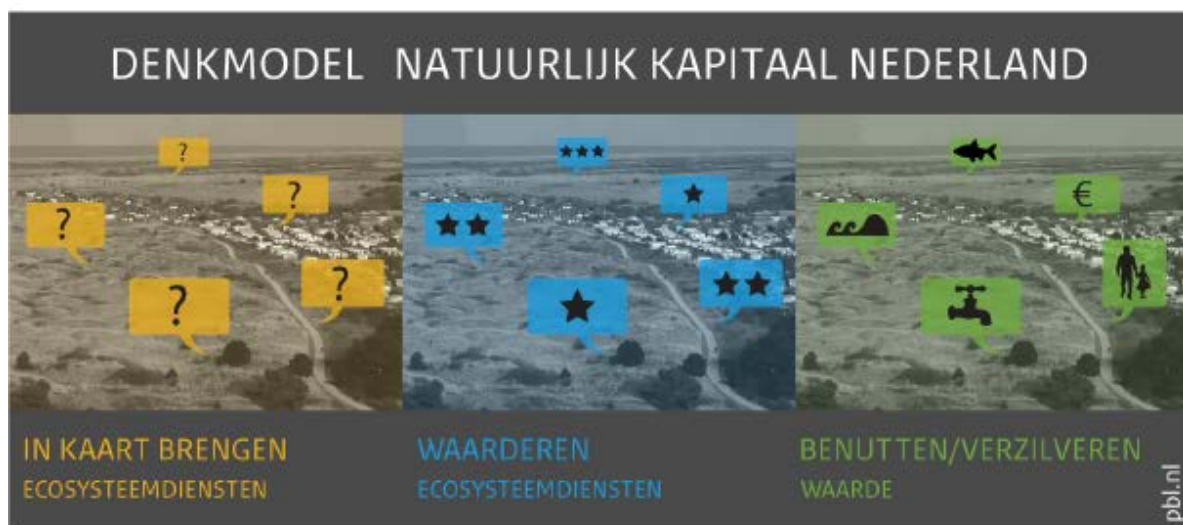
Door ecosystemediensten te identificeren en in kaart te brengen, kunnen kansen voor het waarderen en verzilveren van ecosystemediensten beter worden benut. In deze stap wordt ook in beeld gebracht wat de omvang is van de diensten en of daar ontwikkelingen in zijn.

- *stap 2: waarderen*

Het waarderen van ecosystemediensten kan helpen ter ondersteuning van besluitvorming in, bijvoorbeeld, een maatschappelijke kosten-batenanalyse. Het waarderen helpt ook om inzichtelijk te maken hoe de lusten en lasten over verschillende partijen zijn verdeeld. Het gaat dan niet alleen om de waarde van de productiedienst (in dit geval het zeewier zelf), maar ook om de waarde van andere ecosystemediensten.

- *stap 3: benutten/verzilveren*

De laatste stap is het meenemen van de verschillende ecosystemediensten in de besluitvorming en het benutten van de waarde. Soms kunnen financiële baten van ecosystemediensten een bijdrage leveren aan de financiering van een project. Baten kunnen ook reden zijn voor samenwerking tussen verschillende partijen, bijvoorbeeld een recreatieondernemer en een natuurorganisatie.



Figuur 1 Denkmodel NKN (Oosterhuis en Ruijs, 2015)

De Natuurlijk Kapitaal-methode is toegepast in diverse casestudies. Van Liene en Schuerhoff (2015) hebben onderzocht of het behoud en verbetering van natuurlijk kapitaal voor het drinkwaterbedrijf Brabant Water interessant is vanuit een bedrijfseconomisch perspectief. Melman en van Doorn (2015) onderzochten of het begrippenkader van het denkmodel Natuurlijk Kapitaal werkbaar is bij de vergroening van het Gemeenschappelijk landbouwbeleid. Voor het analyseren van de waarde van stedelijk groen en blauw werd de TEEB-stad tool ontwikkeld, geëvalueerd door Van der Heide (2015).

2.2 Dataverzameling

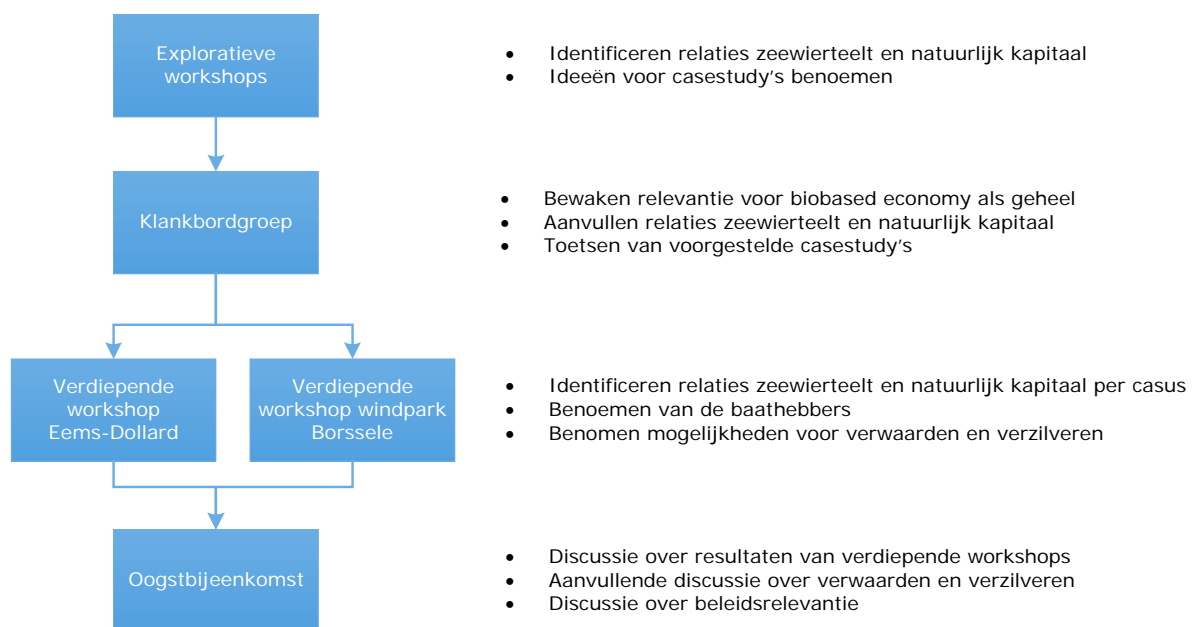
Voor dit project is op verschillende en uiteenlopende manieren data verzameld (zie Figuur 2). In het eerste deel van het project zijn de mogelijke relaties tussen zeewier en Natuurlijk Kapitaal in kaart gebracht. Dit is gedaan op basis van literatuur en een exploratieve workshop. Het doel van de workshop was om in een vrije setting te inventariseren welke ecosystemediensten de teelt van zeewier zou kunnen leveren, anders dan de productiediensten. Daarbij richtten wij ons niet alleen op de positieve ecosystemediensten, maar ook op de mogelijke negatieve effecten van grootschalige zeewierteelt op het ecosysteem. Het effect van substitutie - bijvoorbeeld wanneer zeewier wordt gebruikt in plaats van soja - is buiten beschouwing gelaten. De potentiële negatieve effecten van grootschalige zeewierteelt zijn kort besproken. Omdat offshore zeewierteelt in Nederlandse wateren

nog in de kinderschoenen staat, is dit punt nog hypothetisch. Culturele diensten van zeewierteelt zijn in de workshops herkend maar niet in detail besproken.

Op basis van deze discussie is een voorstel voor de casestudies gedaan. De resultaten en het voorstel zijn voorgelegd aan de klankbordgroep die als rol had te bewaken dat de koers en de resultaten uit het onderzoek relevant zijn voor beleidsmakers en de praktijk van biobased economy. Na discussie in de klankbordgroep is gekozen om twee casussen - Eems-Dollard en het windpark Borssele - centraal te zetten in het tweede deel van het project: de verdiepende workshops.

Een casus is gedefinieerd als een samenhangend verhaal waarin een locatie voor de productie van zeewier, de toepassing van zeewier, de ecosysteemdiensten, de baathebbers en gebruikers van zeewier samenkomen. De twee verdiepende workshops hadden tot doel aan de hand van een concrete casus het scala aan mogelijke ecosysteemdiensten concreter te maken voor de betreffende context, en met stakeholders uit de praktijk in dialoog te gaan over de mogelijkheden om de geleverde diensten te verwaarden, verzilveren, en daarmee bij te dragen aan de businesscase voor zeewierteelt.

De oogstbijeenkomst had tot doel de resultaten van het onderzoek terug te koppelen aan de deelnemers van de verschillende workshops, met hen door te praten over de daaruit voortvloeiende onderzoeksvragen en vervolgstappen te benoemen.



Figuur 2 Schematische weergave van het doorlopen proces

In totaal zijn 5 workshops georganiseerd. Dit betrof achtereenvolgens:

- exploratieve workshop met experts over de relatie tussen zeewierteelt en natuurlijk kapitaal (1 september 2015 te Utrecht)
- klankbordgroep waarin de onderzoeksopzet met deskundigen uit beleid en bedrijfsleven besproken is (11 november 2015 te Den Haag)
- twee verdiepende workshops waarin aan de hand van een concrete casus mogelijkheden tot waarden en verzilveren verdiept zijn (12 januari 2016 te Groningen en 21 januari 2016 te Breda)
- oogstbijeenkomst waarin de resultaten gepresenteerd zijn en aanvullende informatie ingewonnen is (15 februari 2016 te Den Haag).

De verdeling van de deelnemers over publieke organisaties, private organisaties en kennisinstelling wordt weergegeven in Tabel 1.

Tabel 1

Verdeling van de deelnemers over de workshops

| | Exploratieve workshop | Klankbordgroep | Casus Eems-Dollard | Casus Borssele | Oogstbijeenkoms |
|--------------------|-----------------------|----------------|--------------------|----------------|-----------------|
| publiek | 0 | 2 | 3 | 3 | 3 |
| privaat | 1 | 2 | 5 | 5 | 3 |
| kennisinstellingen | 4 | 1 | 2 | 3 | 5 |

De deelnemers zijn uitgenodigd door het projectteam. Met name bij de twee verdiepende workshops en de oogstbijeenkoms is de uitnodiging door beoogde deelnemers doorgestuurd naar andere geïnteresseerden. Aanvullende verzoeken tot deelname zijn gehonoreerd. Zo zijn ook een aantal Belgische stakeholders aanwezig geweest bij de tweede verdiepende workshop over de casus Borssele (21 januari 2016 te Breda). Van alle workshops is een verslag gemaakt waarin ook de reacties van deelnemers zijn verwerkt. De verslagen van de workshop zijn te vinden [in het achtergronddocument bij dit rapport](#).

2.3 Monitoring

Omdat de uitkomsten van het Natuurlijk Kapitaal-programma invloed zullen hebben op de doelstelling/ambitie en de financiering van het bestaande natuurbeleid, is de ambitie van de overheid met dit programma niet op voorhand duidelijk. De uiteindelijke beoordeling van de toepasbaarheid van de benadering heeft in ieder geval een relatie met:

- de verbreding van de pijlers onder het natuurbeleid
- de kwaliteit van de natuur die wordt nagestreefd;
- de financiële onderlegger van deze natuur
- de sturingsfilosofie van de overheid.

De praktische consequentie hiervan is dat bij de deelonderzoeken in het programma Natuurlijk Kapitaal een klankbordgroep in het leven geroepen is om de beleidsrelevantie van het onderzoek en uitkomsten te toetsen.

Om het leerproces dat in het programma doorlopen is inzichtelijk te maken, is reflexieve monitoring een onderdeel van de verschillende casussen. Bij reflexieve monitoring gaat het erom dat de leden van het onderzoeksteam zichzelf en elkaar tijdens het onderzoek steeds bewust maken van wat geleerd is en die lessen vastleggen voor elkaar en de opdrachtgever. Het reflecteren op het project en het benoemen van geleerde lessen gaat verder dan projectevaluatie in klassieke zin, omdat de waarde van het project niet alleen zit in het realiseren van de 'eigen' projectdoelen, maar ook in de bijdrage van het project in het verhelderend van de bruikbaarheid van het denkmodel NKN voor beleid.

Reflexieve monitoring vond plaats gedurende het gehele onderzoeksproject. De betrokken onderzoekers is op twee momenten gevraagd input te leveren voor het monitoringsverslag: in oktober 2015, in de startfase van het onderzoek en in februari 2016 - na de oogstbijeenkoms - in de eindfase van het onderzoek. Het volledige verslag van de reflexieve monitoring is te vinden [in het achtergronddocument bij dit rapport](#).

3 Zeewier: de stand van zaken

Zeewier wordt wereldwijd geproduceerd en gebruikt. Volgens de Global Aquaculture Production database van de Food and Agriculture Organization (FAO) werd in 2014 in totaal 26,7 miljoen ton aan zeewier geproduceerd, goed voor een waarde van \$ 5,3 miljard. Daarvan wordt het merendeel gebruikt voor directe menselijke consumptie, voornamelijk in Azië. Een ander groot deel van het zeewier wordt gebruikt voor de productie van diverse verdikkingsmiddelen. McHugh (2003) stelt dat hier aan het begin van de 21e eeuw circa 7 tot 8 miljoen ton zeewier voor gebruikt werd en Pixler en Porse (2011) concluderen dat de markt voor verdikkingsmiddelen op basis van zeewier in het daaropvolgende decennium is blijven groeien.

De mogelijkheden voor teelt en verkoop van zeewier in Nederland staan volop in belangstelling, in de regio's (bijvoorbeeld Zeeland, Noord-Holland en Groningen), bij bedrijven (van Seamore en the Dutch Weed Burger tot Cargill en MTI Holland), en ook bij het ministerie van Economische Zaken. In de literatuur is er ook toenemende aandacht voor de mogelijkheden van zeewierteelt - in Nederland, Europa en wereldwijd - en de diverse toepassingsmogelijkheden van zeewier (Holdt en Kraan, 2011; Van den Burg *et al.*, 2013; Loureiro *et al.*, 2015).

Op het moment van schrijven kent Nederland een aantal bedrijven die zeewier telen, waaronder Zeewaar en Waddenwier. De nu in Nederland geproduceerde zeewier wordt gebruikt voor toepassingen in 'hogere' marktsegmenten zoals voeding. Een aansprekend voorbeeld daarvan is de Dutch Weed Burger. In Nederland geteeld zeewier wordt momenteel niet gebruikt voor de productie van verdikkingsmiddelen.

Veel zeewieronderzoek richt zich op de mogelijkheden om op open zee zeewier te telen. Hier vallen een deel van de studies van Wageningen UR onder en ook de werkzaamheden van de Stichting Noordzeeboerderij. Een scala aan toepassingen van Nederlands zeewier wordt voorzien: van food en feed tot grondstof voor de productie van chemicaliën. De toepassing in vis- en veevoer staat volop in de belangstelling van onderzoekers (Fleurence *et al.*, 2012; Bikker *et al.*, 2013). Onderzoek richt zich verder op de toepassing van zeewier voor bijvoorbeeld groene chemicaliën (Van der Wal *et al.*, 2013), *bioplastics* en hoogwaardige inhoudsstoffen, zoals bijvoorbeeld plantengroeihormonen (Shahbazi *et al.*, 2015).

Onderzoek naar offshore teelt en de diverse toepassingen van zeewier is niet alleen technologisch van aard. De economische haalbaarheid van offshore teelt van zeewier en van toepassing in verschillende producten is ook onderwerp van studie. Informatie over de kosten van zeewierteelt in de Noordzee is schaars. Dat is goed verklaarbaar, want in de Noordzee vindt op dit moment geen grootschalige teelt van zeewier plaats. Beschikbare data zijn of gerelateerd aan proefprojecten (zie bijvoorbeeld Buck en Buchholz, 2004) of schattingen op basis van *expert judgement*.

In Van den Burg *et al.* (2013) is vastgesteld dat de schattingen voor de kosten van grootschalige teelt van zeewier sterk uiteenlopen. Daarop voortbordurend wordt in Van den Burg *et al.* (forthcoming) geschat dat de kosten voor toekomstige grootschalige offshore zeewierteelt in Nederland circa € 1.800 per ton droge stof bedragen. Omdat grootschalige offshore zeewierteelt in Nederland nog niet plaatsvindt zijn deze cijfers omgeven door onzekerheden.

Bij toepassing in de bulkmarkten verdikkingsmiddelen en veevoer bedragen de opbrengsten circa € 550 per ton droge stof. Betrouwbare data over de opbrengst van nieuwe toepassingen als voedseladditieven en *bioplastics* is nog niet beschikbaar. Het is om deze reden te vroeg een definitief oordeel te vellen over de economische haalbaarheid van zeewierteelt op de Noordzee. Er zijn nog veel onzekerheden over de exacte kosten van de productie en de potentiële toekomstige inkomsten. Zeewier kan voor diverse toepassingen gebruikt worden. Naast de al ontwikkelde markten in voedsel en voedseladditieven is er een aantal nieuwe markten die nog in ontwikkeling zijn. In Tabel 2 zijn een toepassingen van zeewier onderscheiden:

Tabel 2

Toepassingsmogelijkheden van zeewier en huidige status van ontwikkeling

| Toepassing | Status |
|------------------------------|---|
| Voeding | Wereldwijd de voornaamste markt, met name in Azië. |
| Voedingsadditieven | Toepassing is nog in ontwikkeling. Betreft extractie van <i>functional</i> foods uit zeewier, bijvoorbeeld als natuurlijk antioxidant (Dellaroa <i>et al.</i> , 2015) |
| Verdikkingsmiddelen | Momenteel de op een na belangrijkste toepassing van zeewier. Grootschalige verwerking van zeewier (Bixler en Porse, 2011) |
| Veevoer | Wordt in kustgemeenschappen op kleine schaal al (eeuwenlang) toegepast. Grootschalige toepassing in ontwikkeling (Bikker <i>et al.</i> , 2013). Aandacht voor productie van diervoederadditieven (Wilke <i>et al.</i> , 2015) |
| Veevoer additieven | Toevoeging aan diervoer onder andere vanwege antimicrobiële werking (Belanche <i>et al.</i> , 2015). Zie ook Makkar <i>et al.</i> (2016) |
| Grondstof voor bioplastics | Experimentele toepassing (zie bijvoorbeeld Rajendran <i>et al.</i> , 2012; Harmsen <i>et al.</i> , 2014). Interesse van bedrijfsleven groeit. |
| Grondstof voor farmacie | Onderzoek naar diverse gezondheidseffecten van zeewier (Venkatesan <i>et al.</i> , 2015; Milledge <i>et al.</i> , 2015) |
| Grondstof voor groene chemie | Experimenteel onderzoek en <i>proof of principle</i> (Van der Wal <i>et al.</i> , 2013) |
| Biofertilizer | Gebruik voor stimuleren van plantengroei in land- en tuinbouw (Hernandez-Herrera, 2014). Kan ook het restproduct uit bioraffinage betreffen (Costa <i>et al.</i> , 2012) |
| Biobrandstoffen | Experimenteel onderzoek toont technische haalbaarheid aan (Milledge <i>et al.</i> , 2014). |

Voor NKN is het interessant dat zeewierteelt meer dan alleen productiediensten levert. Door diverse bedrijven en onderzoeksinstituten wordt benadrukt dat zeewierteelt ook andere ecosysteemdiensten levert die nu nog niet direct via de markt verzilverd kunnen worden.

4 Resultaten

4.1 Inventarisatie van ecosystemendiensten

Het onderzoek naar zeewier heeft de afgelopen jaren een grote vlucht genomen. Naast studies naar de mogelijkheden tot teelt, studies naar de verwerking van zeewier en economische haalbaarheidsstudies zijn diverse studies uitgevoerd naar de milieu-impact van zeewierteelt. Deze studies lichten diverse relaties tussen zeewierteelt en Natuurlijk Kapitaal uit en vormen daarmee een logisch vertrekpunt voor het benoemen van relevante relaties.

De ecosystemendiensten die geleverd worden door de natuurlijke zeewiervelden - de zogenaamde *kelp forests* - voor de kusten van onder andere Frankrijk, Ierland, Schotland en Engeland zijn door diverse studies in kaart gebracht. Smale *et al.* (2013) hebben zich op de zeeën rondom het Verenigd Koninkrijk gericht en concluderen dat de natuurlijk voorkomende zeewiervelden een belangrijke rol spelen in het bevorderen en in stand houden van de biodiversiteit en een bijdrage leveren aan de productiviteit van het ecosysteem en het voedselweb. Daarnaast levert het zeewier een bijdrage aan kustbescherming en culturele diensten als toerisme (zie Figuur 4 voor een illustratie van deze ecosystemendiensten). Anderen, bijvoorbeeld Steneck *et al.* (2002), wijzen op het gevaar van overbevissing van de zeewiervelden en het daaropvolgende verlies van mariene biodiversiteit.

Grootschalige zeewierteelt - binnendijks of in de mondingen van rivieren - kan de uitspoeling van fosfaat en nitraat naar zee voorkomen. Bij de groei van zeewier wordt een relatief groot deel van deze nutriënten opgenomen (Fei, 2004; He *et al.*, 2008; Troel *et al.*, 2009). Na het oogsten van het zeewier kunnen N en P worden teruggewonnen en hergebruikt (Kraan 2013). Hanjra en Qureshi (2010) stellen dat efficiënt gebruik gemaakt kan worden van nutriënten als de productie van zeewier en zeedieren gecombineerd wordt met de traditionele landbouw. Toevoeging van zeewier aan ander organisch afval resulteert in een beter composteerbaar product, en draagt zo bij aan de mogelijkheid nutriënten te hergebruiken (Han *et al.*, 2014). Bij visteelt op zee wordt een deel van het voer niet door de vissen opgenomen en is er daarom sprake van uitspoeling van nutriënten. Door rondom visteelt zeewier te telen kan een deel van deze nutriënten opgenomen worden.

Bij de teelt van vis is beheersing van visluizen een kostbare post voor ondernemers (Liu en Bjelland, 2014). Bevindingen van ondernemers - waaronder Hortimare - laten zien dat met zeewierteelt rondom een visteeltbedrijf de hoeveelheid visluizen verminderd wordt. Daarnaast zijn er mogelijkheden om zeewier toe te passen in visvoer als immuunstimulant, en daarmee bij te dragen aan het tegengaan van ziektes (Reverter *et al.*, 2014; Vatsos en Rebours, 2015). Mariene algen worden vaak beschouwd als biofertilizer, bodemverbeteraar, en in het algemeen als promotor van gezondere plantaardige productie omdat algen de groei van veel planten stimuleren (Ahktar *et al.*, 2014). Zeewier kan dienen als een CO₂-sink (Kader *et al.*, 2013). Door Chung *et al.* (2011) is de *Coastal CO₂ Removal Belt* ontwikkeld, waarin zowel natuurlijke als door de mens ingebrachte zeewiersoorten zijn gebruikt voor de verwijdering van CO₂ uit het zeewater.

Door Vasquez *et al.* (2014) is een poging gedaan om de ecosystemendiensten van de van nature voorkomende zeewiervelden voor de kust van Noord-Chili te waarderen. Daarbij richtten zij zich op de waarde van de productiedienst, de waarde van andere soorten planten en dieren die via zeewierteelt in het ecosysteem komen, de waarde voor wetenschappelijk onderzoek, de waarde als klimaatbuffer, en van cultureel erfgoed. Zij concluderen dat 75% van de totale waarde afkomstig is van de productiedienst, te weten het gebruik van zeewier voor de productie van verdikkingsmiddelen.

In de exploratieve workshop zijn door de deelnemers diverse ecosystemendiensten toegevoegd die niet in de literatuurstudie zijn geïdentificeerd. De aanleg van grootschalige zeewiervelden kan een dempend effect hebben op de golfslag. Dit kan bijdragen aan kustbescherming, maar reduceert ook de golfslag op artificiële structuren zoals windmolens. Ook is het denkbaar dat een zeewierveld een

bijdrage levert aan *scour protection*; het tegengaan van wegspoelen van zand rondom de fundering van offshore windmolens.

Tabel 3

Potentiële ecosysteemdiensten geleverd door zeewierteelt

| Regulerende diensten | Culturele diensten | Ondersteunende diensten |
|--|--|---|
| Plaagbestrijding (visluis) | Recreatie (ook negatief: zeewier op het strand, rotting, giftig) | Impact op nutriëntenkringloop |
| Reinigend vermogen door opname van stikstof en fosfaat | Gezond imago en leefstijl (omega 3-vetzuren, maar ook negatief: zware metalen) | Bijdrage aan bodemvorming |
| Vastleggen van koolstof | Bodemarchief/cultuurhistorie | Bijdrage aan biodiversiteit (habitat-functie) |
| Tegengaan verzuring van zee door opname van fosfaat | Inspiratie: 'beleven van de zee' (The Dutch Weed Burger) | |
| Regulatie stroming en golfslag | | |
| Bijdrage aan zuurstofbalans | | |
| Bio-remediation: opname van vervuilingen als zware metalen | | |
| <i>Scour protection</i> | | |

In twee casussen is met stakeholders uit de praktijk de dialoog over de mogelijkheden om de geleverde diensten te verwaarden, verzilveren, en daarmee bij te dragen aan de businesscase voor zeewierteelt, aangegaan. In de casus Eems-Dollard was het zoekgebied groter dan bij de casus Borsele. Om deze reden is daarin gestart met het omschrijven van scenario's voor zeewierteelt.

4.2 Eems-Dollard

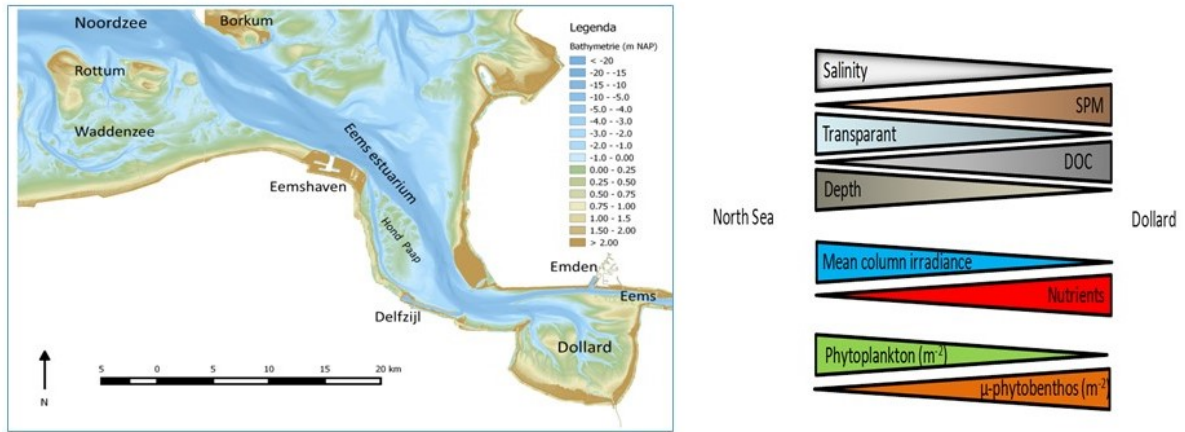
4.2.1 Beschrijving van de casus 'Zeewierteelt in de Eems-Dollard'

Startpunt voor de discussie was de volgende beschrijving van de casus:

'Zeewierteelt vindt plaats in het estuarium van de Eems en de opbrengst kan gebruikt worden voor de chemische industrie, productie van veevoer of als energiebron. De Eems is een rivier met hoge concentraties zwevend slib vanwege uitdieping van het systeem voor scheepvaart, nutriënten vanuit agrarische gebieden en andere verontreinigingen, zoals metalen. Zeewier is in staat om vervuilende stoffen op te nemen en de teelt draagt bij aan het sluiten van kringlopen. De toepassingsmogelijkheden van het zeewier hangen mede af van de kwaliteit van het zeewier. Agrariërs en industrie (scheepswerf) hebben baat bij de opname van nutriënten en metalen omdat zij dan geen andere maatregelen hoeven te nemen om uitspoeling te voorkomen. Ook kan zeewier ingezet worden bij het creëren van luwte ('zachte oevers'), waardoor de sedimentatie van slib gestimuleerd wordt. Zachte oevers dragen bij aan de kustverdediging en kunnen meegroeien met zeespiegelstijging. De teelt biedt verder ruimte als leefgebied voor vis. De omvang en uitvoering van zeewierteelt is bepalend voor de mate waarin bovengenoemde ecosysteemdiensten succesvol kunnen zijn. De beschikbare ruimte in het estuarium is beperkend, met name met het oog op scheepvaart en recreatie.'

4.2.2 Introductie van het gebied

Figuur 3 laat het Eems-Dollard-gebied zien en het verloop van enkele kenmerken van Dollard tot Noordzee: zoutgehalte, zwevende deeltjes (SPM), transparantie, opgelost organisch koolstof (DOC), diepte, instraling zonlicht, voedingsstoffen, fytoplankton en plantaardig bodemleven.



Figuur 3 Kenmerken van de Eems-Dollard-regio

De nutriëntconcentraties zijn boven de norm van de Kaderrichtlijn Water (KRW) en zijn niet beperkend voor de groei van algen (Brinkman *et al.*, 2015), waaronder zeewier. De hoge concentratie zwevend slib, veroorzaakt door verdieping van de vaargeul in de Eems, is het ernstigste milieuprobleem (Spiteri *et al.*, 2011). Door zwevend slib dooft het licht in de waterkolom snel uit, waardoor de groei van algen geremd wordt. Dit leidt tot voedselschaarste. Een ander milieuprobleem zijn de (afnemende) concentraties van microverontreinigingen, zoals pcb's (polychloorbifenylen), TBT (tributyltin) en paks (poly-aromatische koolwaterstoffen).

In beleid is vastgelegd dat tussen nu en 2020 jaarlijks 1 miljoen ton slib uit het systeem van de Eems-Dollard gehaald wordt. Dit moet leiden tot een lager zwevendestofgehalte, waardoor het bodemleven zich weer beter kan ontwikkelen. Verwijderen van het slib kan door het naar de bodem te laten bezinken; zogenaamde slibval. Indien gewenst kan het na bezinken weggehaald worden. Slib kan gebruikt worden in de Veenkoloniën (als voedingsstof en tegen verstuiving) of als dijkklei.

4.2.3 Kansrijke scenario's voor zeewierteelt

Uit de inventarisatie met de aanwezigen zijn drie mogelijke scenario's voor zeewierteelt in combinatie met levering van ecosystemendiensten geformuleerd en verder uitgewerkt.

Bio-remediation en slibval

In dit scenario wordt zeewier geteeld met als doel om vervuiling uit het water op te nemen en om slibval te stimuleren. In dit geval dienen bruinwieren - één van de soorten zeewier - gebruikt te worden. Om zeewierteelt te realiseren moet aan een aantal teeltcondities voldaan worden: er moet voldoende wateroppervlakte aanwezig zijn, met een diepte van minimaal 2 meter. Ook moet het zoutgehalte voldoende hoog zijn. Een mogelijk geschikte locatie is de geul tussen Delfzijl en de Eemshaven.

Het geproduceerde zeewier kan voor diverse toepassingen gebruikt worden. Bioaffinage van het zeewier kan grondstoffen opleveren voor chemische industrie: eiwitten, diervoeder en suikers. Zeewier wordt als mest al toegepast in Noorwegen en Schotland: toepassing op land is goed voor organischestofgehalte en ziektevering. In dit scenario is voorzien dat het zeewier, na droging, gebruikt kan worden voor bemesting, bodemverbetering en het tegengaan van stofvorming in bijvoorbeeld de Veenkoloniën.

Daarnaast wordt een aantal andere ecosystemendiensten geleverd. Als eerste de opname van nutriënten (N en P), zware metalen en arsenicum door bruinwier. Bruinwier moet wel geoogst worden anders komen de stoffen opnieuw in het water. Daarnaast worden slibdeeltjes afgevangen door het wier. Dit zou ook kunnen door alleen matten op te hangen, maar het voordeel van slibval door bruinwier is dat de biodiversiteit erdoor verbetert.

In dit scenario zijn de volgende stakeholders geïdentificeerd als baathebbers, elk met eigen belangen:

- Rijkswaterstaat, in de context van KRW-normen, slibopgave,
- Groningen Seaports, met belang in een aantrekkelijk, duurzaam havengebied),
- Provincie Groningen, in het licht van natuur en milieudoelstellingen),
- bedrijfsleven, met belang in ontwikkeling van nieuwe activiteiten,
- de landbouwsector, als zeewier een bijdrage levert aan bodemverbetering,
- Waddenfonds met belang in duurzaam beheer van de Waddenzee,
- Natuur- en Milieuorganisaties actief in het gebied.

Kustverdediging door middel van golfdemping

In dit scenario wordt zeewier geteeld om de golven te dempen. Dit levert een bijdrage aan kustbescherming; door de gedempte impact van de golven kan - zo is de gedachte - volstaan worden met minder zware dijken. Voor het geproduceerde zeewier zijn meerdere toepassingen denkbaar, zoals voedsel en groene chemie. Om het tweede scenario te realiseren moet aan een aantal teeltcondities worden voldaan. Er is een minimaal 100 meter brede strook nodig om golven te dempen, met voldoende diepte. Een mogelijk geschikte locatie is de geul tussen Delfzijl en de Eemshaven: voldoende diepte van circa 3 meter.

In dit scenario wordt een aantal ecosystemendiensten gerealiseerd met zeewierteelt. De eerste is vermindering golfslag die door wind veroorzaakt wordt. Dit levert een bijdrage van de veiligheidsopgave. Mogelijk kan dit een meter dijkverhoging schelen, maar moet er wel een garantie zijn dat het werkt: is er continu wier aanwezig in alle seizoenen, met name in het stormseizoen? De voor zeewierteelt opgehangen doeken kunnen zakpijpen - in zee levende manteldieren - aantrekken en zo eiwitten leveren.

Een variant op dit scenario is de aanleg van een 'dubbele dijk'. Daarbij wordt achter de eerste dijk een tweede dijk aangelegd en wordt in het gebied tussen de twee dijken - met een permanente diepte van 2 à 2,5 meter - zout water binnengelaten. De aanleg van een tweede dijk is goedkoper dan een versterking van de eerste dijk. In het gebied tussen de twee dijken is zoutwaterteelt, van bijvoorbeeld zeewier, mogelijk.

De volgende stakeholders worden genoemd als relevant voor dit scenario:

- Rijkswaterstaat, met een kustbescherming opgave
- grondeigenaren, met belang bij de waarde van grond
- waterschappen, voor waterkwantiteit en -kwaliteit

Zeesla (Ulva) voor veevoer

In het laatste scenario wordt Ulva - een groenwier - geteeld voor toepassing in veevoer. De geproduceerde zeewier kan eventueel in andere toepassingen worden gebruikt, bijvoorbeeld voedsel voor mensen (sla), bioraffinage, of als meststof. Om het derde scenario te realiseren moet aan een aantal teeltcondities worden voldaan. Omdat Ulva zich - in tegenstelling tot andere zeewieren - niet hecht aan een lijn of mat is een speciale teeltconstructie nodig. Ulva doorgaat een snelle groei in de zomer en is zout-/zoetolerant. Ulva groeit ook in ondiepe en droogvallende gedeelten en daarom is kweek op verschillende locaties in het gebied mogelijk.

In dit scenario worden de volgende additionele ecosystemendiensten geleverd met zeewierteelt. De opname van nutriënten en (andere) verontreinigingen. Daarnaast stimuleert zeewierteelt de biodiversiteit, bijvoorbeeld als opgroeigebied voor vis, vogels en dergelijke en levert ze een bijdrage aan slibval. Tot slot kan het interessant zijn voor recreatieve doeleinden wanneer met zeewierteelt diverse soorten dieren aangetrokken worden. De volgende risico's worden expliciet genoemd:

- Ulva kan een plaag worden en dan moet verspreiding voorkomen worden
- de opname van verontreinigingen kan een probleem zijn voor toepassing als veevoer.

De stakeholders voor wie deze additionele ecosystemendiensten interessant zijn, zijn vooral partijen die gebaat zijn bij schoner water. Genoemd zijn: exploitanten van zuiveringsinstallaties, natuurorganisaties, waterkwaliteitsbeheerders, vissers, provincies (Natura 2000) en de waterbeheer (RWS). Daarnaast is dit scenario mogelijk ook relevant voor recreatie zoals vogelaars en duikers.

4.2.4 Waardering en verzilvering van ecosysteemdiensten

Is het mogelijk de door zeewier geleverde ecosysteemdiensten te waarderen en uiteindelijk te verzilveren om de businesscases van telers te verbeteren? Wie zijn de baathebbers van geleverde ecosysteemdiensten, en zijn zij bereid tot een financiële transactie over te gaan?

Tabel 4

Overzicht van ecosysteemdiensten in de verschillende scenario's

| Scenario 1 | Scenario 2 | Scenario 3 |
|-----------------------|----------------------------------|-----------------------|
| Opname van nutriënten | Vermindering golfslag | Opname van nutriënten |
| Slibval | Waardevermeerdering van kustzone | Biodiversiteit |
| Bodemverbetering | | Slibval |
| Bioremediation | | Recreatie |

In de drie scenario's zijn diverse ecosysteemdiensten geïdentificeerd (zie Tabel 4). Een aantal ecosysteemdiensten is eenvoudig te waarderen. De waarde van de mest op het boerenland is te bepalen. Een vermindering van baggerkosten door slibval is ook in euro's te bepalen. Nieuwe mogelijkheden voor teelt van zilte gewassen dragen bij aan de waarde van een kustbescherming door middel van een dubbele dijk.

Voor een aantal andere ecosysteemdiensten geldt dat de waarde juist lastig vast te stellen is. Biodiversiteit en het daarmee samenhangend natuurherstel is een opgave van het ministerie van EZ en de provincie, en is ook van belang voor UNESCO Werelderfgoed. Maar de economische waarde hiervan is moeilijk vast te stellen. Een stabiel ecosysteem leidt tot betere visstand voor de visserij maar dit is lastig met zekerheid vast te stellen. Voor twee ecosysteemdiensten - opname van nutriënten en slibval - van zeewierteelt is de vraag of de maatschappelijke waarde wel vastgesteld hoeft te worden.

Of opname van nutriënten een waarde heeft hangt af van de mate van overschrijding van de KRW-normen en de bijdrage van zeewier aan het schoner maken van het water. Om de waarde van nutriëntenopname te schatten is het niet nodig de maatschappelijke waarde van schoon water - of de kosten van overschrijding van normen - te kennen. Waterkwaliteit is een opgave van de overheid. Dan is belangrijker wat de verantwoordelijke overheden ervoor overhebben om onder de norm te blijven en of zeewierteelt dan een kostenefficiënte aanpak is om deze doelstellingen te bereiken. Als zeewierteler moet je zien aan te tonen dat je voor een x bedrag de KRW-doelen kunt bereiken.

Voor slibval is budget beschikbaar: er ligt een opgave om slib uit de Eems-Dollard te verwijderen. Ook hier geldt dat als nu vanuit de overheid een opgave ligt, de vraag naar maatschappelijke waarde niet relevant is. De vraag is wel of de zeewieroplossing ook de meest economisch voordelige optie is. Alleen dan is de overheid bereid te betalen voor de bijdrage aan slibval. Er is ook concurrentie met andere methoden om slib te verwijderen. Relevante vragen zijn dan: kan je aantonen wat de bijdrage is van zeewier, en is deze aanpak goedkoper of duurder dan andere methoden?

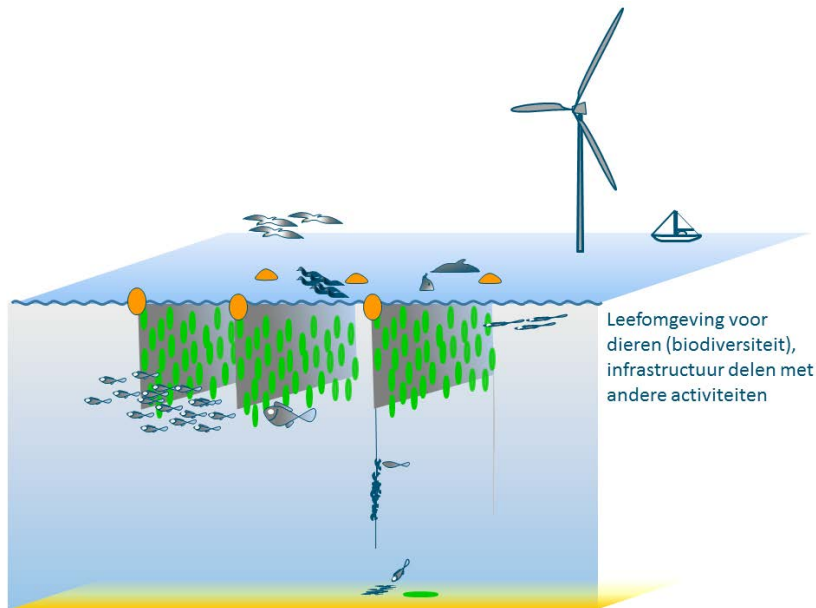
4.3 Borssele

4.3.1 Beschrijving van de casus 'Zeewierteelt in het windpark Borssele'

Startpunt voor de discussie was de volgende beschrijving van de casus:

'Zeewierteelt vindt plaats aan de onderzeese elementen van het te ontwikkelen windpark Borssele op open zee en de opbrengst kan gebruikt worden voor de chemische industrie of als energiebron. De zeewierteelt zorgt voor golfdemping en een vermindering van stroming, waardoor er minder onderhoud van de windturbines nodig zou zijn.

Zeewierteelt kan tevens bijdragen aan het opnemen van zogenaamde opofferingsmetalen (zie onder voor een toelichting) en van het overschot aan nutriënten uit het zeewater. Ook kunnen zeewierteeltsystemen een bijdrage leveren aan de biodiversiteit door het bieden van leefruimte aan vis en ongewervelden (zie Figuur 4). De omvang en uitvoering van zeewierteelt is bepalend voor de mate waarin bovengenoemde ecosystemendiensten succesvol kunnen zijn.'



Figuur 4 Zeewierkweek in een offshore windmolenpark

4.3.2 Introductie van het gebied

Naar verwachting wordt de aanbestedingsprocedure voor de eerste twee percelen van het windpark in de eerste helft van 2016 in gang gezet.² Geïnteresseerde bedrijven en consortia kunnen dan een voorstel doen. Later in het jaar volgt de aanbesteding van de overige percelen. Figuur 5 geeft weer waar het toekomstige windpark Borssele voorzien is.



Figuur 5 Locatie van toekomstig windpark Borssele (www.noordzeeloket.nl, 04-05-2016)

² In Figuur 5 wordt 2015 genoemd. De planning van aanbestedingsprocedure is bijgesteld.

De deelnemers in de workshop merken op dat als je iets met zeewier wilt, je dit jaar moet inhaken, op z'n laatst begin 2017. In België zijn met de exploitanten van windparken gesprekken gevoerd om medegebruik van de windparken. Het gaat om investeringen van miljarden en men is zeer beducht voor (extra) risico's. Men heeft daar geleerd dat hoe eerder partijen in gesprek geraken, hoe beter omdat anders alles is vastgelegd in contracten. In 2019 zorgt Tennet voor de aansluiting op het stroomnet, eind 2019 is het eerste kavel gereed. Het laatste kavel is klaar in 2023. Een probleem is dat de prijs allesbepalend is in de aanbesteding. Er is wel geprobeerd de gunningscriteria te verbreden, maar dat is beperkt gebleven. Medegebruik van het windpark blijft vrijwillig en levert de inschrijver geen extra voordeel in de aanbesteding op.

De condities zijn gunstig voor zeewierteelt in windpark Borssele. Door de aanvoer van water uit de Schelde zijn voldoende nutriënten aanwezig. Het is een gebied met schoon water en voldoende licht. De locatie kent een grote bodemdynamiek door de sterke stromingen. De bodem bestaat uit zandbanken, met een diepte van circa 10 tot 40 meter, en kent weinig bodemleven. Er komen diverse zeevogels in het gebied voor (zoals roodkeelduiker, kleine mantelmeeuw, grote stern).

Met diverse systemen kan een aanhechtingsmogelijkheid voor het zeewier gecreëerd worden. Dat kan met lijnen, netten of matten. In alle gevallen moeten zeewaardige constructies worden gebruikt. In het gebied is het mogelijk om in de winter bruinwieren te telen, en in de zomer groenwieren te telen.

4.3.3 Relevante ecosysteemdiensten van zeewierteelt

In de discussie wordt bevestigd dat zeewierteelt een aantal van de al geïdentificeerde ecosysteemdiensten zou kunnen leveren. Hierbij is geen onderscheid gemaakt tussen bruinwieren en groenwieren. Grootschalige zeewierteelt kan een golfdempend effect hebben. Er zijn indicaties dat vissen worden aangetrokken door zeewiervelden, die een kraamkamer- en schuilfunctie hebben. Ook is effect zichtbaar op verbetering van de bodem door het afzetten van organisch materiaal. Het afvangen van nutriënten kan een bijdrage leveren aan het tegengaan van eutrofiëring. Ook kun je mineralen en nutriënten terugwinnen uit zeewierbiomassa. De mogelijkheid om met zeewierteelt CO₂ op te slaan zijn afhankelijk van de toepassing van het produceerde zeewier. Als het zeewier direct gebruikt wordt in bijvoorbeeld voedsel of biobrandstof is er de facto geen opslag van CO₂. *Scour protection* (het voorkomen van zandwegspoeling rond een fundering) is wellicht een dienst die zeewierteelt kan leveren. *Scour protection* gebeurt nu met stenen en vergt onderhoud. Vermindering van golfslag helpt mogelijk om het zand op zijn plek te houden. Je hebt wel een garantie nodig dat het altijd werkt. Daar is nog geen bewijs voor. In modellen werkt het wel, al blijken de verkregen resultaten erg afhankelijk van de situatie.

Daarnaast wordt in de discussie een aantal andere ecosysteemdiensten genoemd. Het aftoppen van golven - verminderde golfslag dus - levert naast mogelijke *scour protection* ook een bijdrage aan natuurontwikkeling. De waterkolom onder een zeewierveld is een rustgebied voor jonge organismen die bij het zeewier een schuilplaats hebben en voedsel kunnen vinden en dankzij verminderde golfslag beter tot ontwikkeling kunnen komen. Zeewierteelt kan mogelijk het draagvlak voor windmolenparken bij burgers vergroten. De teelt levert een tastbaar product op en maakt daardoor duidelijk dat een windpark concrete voordelen oplevert. Windparken besteden al veel aandacht aan draagvlak. Grootschalige kweek kan een bijdrage leveren aan het vergroten van de werkgelegenheid. Zeewierteelt kan ook een blokkadefunctie hebben; als een zeewierveld de vissers uit het windpark houdt wordt het risico van botsingen kleiner.

In de klankbordgroep is gesproken over de opname van de zinkverontreiniging veroorzaakt door de zogenaamde opofferingsanode. Dit is onedele metaal dat is aangebracht op de funderingen en pilaren. Dit metaal lost op in het zoute water om corrosie van edeler metaal te voorkomen. In principe kan zeewier die zinkverontreiniging opnemen, maar er zijn inmiddels technische verbeteringen en de normen zijn aangescherpt, waardoor het probleem van zinkverontreiniging door opofferingsanodes niet meer actueel is. Maar mogelijk heeft zeewier ook effect op erosie, waardoor er minder zandsuppletie nodig is. Dit is nog onbekend.

4.3.4 Waarden en verzilveren

Uit de workshop komen drie kansrijke perspectieven op verzilverbare ecosysteemdiensten van zeewierteelt:

- afvang van nutriënten en vermindering eutrofiëring
- golfslagdemping en daardoor minder slijtage aan windmolens
- bijdrage aan visstand, natuur en regionaal draagvlak.

Afvang nutriënten en vermindering eutrofiëring

De eerste mogelijk verzilverbare ecosysteemdienst betreft het sluiten van kringlopen van nutriënten en CO₂ door zeewierteelt. De probleemhouder is de 'maatschappij', met name voor de problemen klimaat en stikstof. Onder de baathebbers valt een groot aantal bedrijven die nutriënten gebruiken en weer uitstoten, zoals landbouw, industrie. Schaarste aan nutriënten, onzekerheid over de levering en wet- en regelgeving kunnen redenen zijn om kringlopen te sluiten.

Een cijfermatige onderbouwing is van belang. Hoeveel CO₂ daadwerkelijk afgevangen kan worden door zeewierteelt is bijvoorbeeld nog onzeker. Het is nodig het netto-effect van zeewierteelt op de kringlopen te berekenen.

De winning van mineralen en nutriënten uit geproduceerd zeewier kan een aanvulling zijn op de huidige businesscase van zeewier: niet alleen eiwitten, maar ook sporenelementen uit zeewier halen. Er is in dit geval niet direct één baathebber. Geconcludeerd wordt dat de overheid toch nodig zal zijn om de businesscase sluitend te krijgen.

Golfslagdemping

De tweede ecosysteemdienst die in meer detail besproken is betreft de demping van golfslag door middel van zeewiervelden. Golfslagdemping kan een directe besparing bij de bouw van windmolens opleveren, bijvoorbeeld als minder staal nodig is voor de windmolen of de fundering lichter uitgevoerd kan worden. Golfslagdemping kan ook een ander financieel voordeel opleveren; als het windpark makkelijker en/of vaker bereikbaar is voor onderhoud scheelt dat in de kosten voor onderhoud en beheer. Niet alleen het onderhoud is een belangrijke kostenpost in de offshore windsector, maar ook de gederfde inkomsten van een dag stilstaan van een windmolen zijn groot.

De windparken willen geen additionele risico's voor de corebusiness. Het is daarom belangrijk voor acceptatie door investeerders in windparken dat bewijs geleverd wordt voor de werking op lange termijn. Dan zijn garanties nodig op doorlopende zeewierteelt gedurende de levensduur van het windpark.

De potentie is groot: voor een park van 700 MW wordt ongeveer € 1 miljard geïnvesteerd in de fundering. Als je daar 1% op kunt besparen dankzij zeewier is dat in totaal € 10 miljoen. Potentiële baathebbers zijn de funderingsbedrijven als Smulders, Hoboken, CIF Roermond, maar ook producenten van de matten zoals Sioen (België), ontwerp bureaus om de modellen door te rekenen, onderzoeksinstituten, investeerders in windparken en onderhoudspartijen. Ook de overheid profiteert als de windparken goedkoper uitgevoerd kunnen worden; zij verstrekt immers subsidies.

De vraag is of dat echt werkt, en hoe je dan 25 jaar continue levering van de dienst garandeert. Met zo veel onbekende factoren gaat een ondernemer nu nog niet aan de slag. Het vraagt om langdurige samenwerking tussen zeewiertelers en de windparken. Daarnaast is het nodig om na te denken over innovatieve businessmodellen. Is het bijvoorbeeld mogelijk om gewoon te beginnen met zeewierteelt, met als uitgangspunt dat er geen golfslagdempend effect is? Als dan sensoren geplaatst worden om het golfslagdempend effect te monitoren kan - mocht de aanwezigheid van zeewier de levensduur van het windpark verlengen - de levensduur van de windmolens verlengd worden. Dat levert in potentie een grote winst op, al is dit nog wel strijdig met huidige contracten waarin bepaald is dat de windmolens ontmanteld moeten worden na het verlopen van de concessie. Een heel ander businessmodel zou zijn als het windmolenpark de matten aanbrengt om golven te dempen en deze matten dan verhuurt aan de zeewierexploitant.

Bijdrage aan visstand, en regionaal draagvlak

De derde potentieel verzilverbare ecosysteemdienst van zeewierteelt betreft de bijdrage aan het versterken van andere ecosysteemdiensten van het mariene ecosysteem. Het windpark is niet alleen van belang voor de betrokken bedrijven en de overheid - voor realisatie van de duurzame energie doelstellingen. Een windpark met zeewierteelt biedt ook kansen voor :

- *visserij*
Het park kan werkgelegenheid bieden voor 'maritieme ondernemers' in onderhoud en beheer van het park. Door zogenoemd 'eco-enhancement' in en rond het park kan de visstand verbeterd worden. De afname van beschikbare visgronden wordt dan gecompenseerd.
- *toerisme*
Er ontstaat een nieuwe mogelijkheid om de toerist te informeren over 'food & energy', over zeewier als voedsel en over een windpark voor productie van duurzame energie.
- *natuursector*
er ontstaan nieuwe kansen om de mariene natuur te stimuleren.
- *regio*
kansen voor een institutionele en commerciële schil in de regio en het creëren van banen via onderzoeksinstituten en leveranciers van technologie.

Ook is gesproken over de mogelijkheid om diverse productiefuncties te combineren, in het bijzonder de combinatie met vis en/of mosselen. Voor mosselkwekers kan een zeewierveld interessant zijn als dat periodiek gebruikt kan worden voor de invang van mosselzaad. Voor vissers is een zeewierveld interessant vanwege de aantrekkingskracht van zeewier op vis. Zij kunnen bijvoorbeeld vissen door een staandwantvisserij rond zeewierkweek. Vanuit economische haalbaarheid zijn dergelijke combinaties interessant omdat ze mogelijk één en hetzelfde schip kunnen gebruiken voor meerdere toepassingen.

Dergelijke combinaties kunnen ook positief bijdragen aan het imago van de sectoren. Een windpark waarin ook zeewier geproduceerd wordt, kan gepromoot worden door te verwijzen naar 'Zeeuws zeewier en Zeeuwse energie' of naar een 'Blue Growth Park for food and fuel'. Deze combinatie biedt kansen om klanten te binden, het imago van het park te verbeteren en goodwill te creëren.

Geconcludeerd wordt dat facilitering vanuit de overheid nodig is door middel van subsidie en vergunningen. Het is nodig om de windsector vanaf het begin te betrekken om bezwaren en risico's te bespreken en te ondervangen.

5 Conclusies

Vertrekpunt van deze studie is de verwachting dat zeewierteelt een mogelijkheid biedt om natuur en economische ontwikkeling te integreren. Echter, berekeningen wijzen uit dat de kosten voor zeewierteelt in de Noordzee momenteel hoger zijn dan de verkoopprijs ervan. De marktwaarde van het geproduceerde zeewier voor toepassing in bulktoepassingen als veevoer of productie van verdikkingsmiddelen is te laag om zeewier rendabel te kunnen telen. In dit project was de vraag of het mogelijk is de andere ecosysteemdiensten die zeewierteelt levert te identificeren, waarden en verzilveren, om zo de businesscase voor zeewierteelt in de Noordzee sluitend te maken.

5.1 Ecosysteemdiensten van zeewierteelt

Zeewierteelt kan een aantal ecosysteemdiensten leveren. Daarbij kan onderscheid gemaakt worden tussen productiediensten, regulerende diensten, culturele diensten en ondersteunende diensten. Een overzicht wordt gegeven in Tabel 5.

Tabel 5
Ecosysteemdiensten en baathebbers

| Ecosysteemdiensten | | Baathebbers |
|-------------------------|---|--|
| Productiediensten | Productiediensten in het algemeen | Ontwikkelingsmaatschappijen, provincies |
| | Voedsel (food) | Voedingssector |
| | Voedingsadditieven | Voedingssector |
| | Verdikkingsmiddelen | Voedingssector |
| | Veevoer (feed) | Veevoersector |
| | Veevoeradditieven | Veevoersector |
| | Grondstof voor bioplastics | Chemische sector |
| | Grondstof voor groene chemie | Chemische sector |
| | Grondstof voor farmacie | Farmaceutische sector |
| | Biofertiliser | Landbouw |
| | Biobrandstoffen | Energiesector |
| Regulerende diensten | Plagbestrijding (visluis) | Aquacultuur bedrijven |
| | Reinigend vermogen door opname van N en P | Overheden |
| | Vastleggen van koolstof | Overheden |
| | Tegengaan verzuring van zee door opname van fosfaat | Overheden |
| | Regulatie stroming en golfslag | Overheden en bedrijven die offshore opereren |
| | Bijdrage aan zuurstofbalans | |
| | Opname van vervuilingen als zware metalen (bio-remediation) | Overheden en emitterende bedrijven |
| <i>Scour protection</i> | Bedrijven met offshore constructies | |
| Culturele diensten | Recreatie (ook negatief: zeewier op het strand, rotting, giftig) | Overheden en de recreatiesector |
| | Gezond imago en leefstijl (omega 3- vetzuren, maar ook negatief: zware metalen) | |
| | Bodemarchief/cultuurhistorie | |
| | Inspiratie: 'beleven van de zee' | |
| Overig | Imago van offshore wind | Overheid en offshore wind bedrijven |

Over de werking en toepassingsmogelijkheden van veel van deze ecosysteemdiensten ontbreekt nog essentiële kennis. Onzeker is of er voldoende nutriënten zijn voor optimale groei en opbrengst van zeewier. De beschikbare data van het Koninklijk Instituut voor Onderzoek der Zee over nutriëntenconcentraties komen niet overeen met de voorspellingen op basis van de aanvoer van nutriënten uit rivieren als de Rijn. Met andere woorden, het is nog niet duidelijk hoeveel nutriënten er zijn in de Noordzee. Zonder een goede nulmeting van de hoeveelheid nutriënten kan het effect van zeewierteelt niet berekend worden.

5.2 Baathebbers

In de workshops is een breed scala aan mogelijke baathebbers aan bod gekomen. Baathebbers zijn gedefinieerd als de actoren die profiteren van de ecosysteemdiensten die zeewierteelt kan leveren.

De productiediensten die door zeewier worden geleverd, zijn relevant voor private partijen die zeewier toepassen in bijvoorbeeld voeding, diervoeder of biobased-economische toepassingen (zoals de groene chemie). Maar ook publieke actoren, zoals een ontwikkelmaatschappij of een provincie, hebben belang bij deze productiediensten, omdat ze leiden tot de ontwikkeling van bedrijvigheid in de regio. De grens tussen een privaat en publiek belang is daarom niet altijd eenduidig te trekken. Baathebbers van de productiediensten zijn in dit project geïdentificeerd en vervolgens uitgenodigd voor de workshops. Met hen is gezocht naar diverse mogelijkheden tot het reduceren van de kostprijs van zeewier.

Daarnaast is aandacht uitgegaan naar de baathebbers van de regulerende diensten die zeewier levert. Ook deze baathebbers waren eveneens aanwezig bij de workshops. Regulerende diensten kunnen baten opleveren voor private en publieke actoren. Zo kan een private actor als een windparkbeheerder baat hebben bij de demping van golfslag van zeewier. Publieke actoren hebben baat van zeewierteelt als het een bijdrage levert aan kustbescherming, of opname van metalen zodat de normen uit de Kaderrichtlijn Water worden gehaald. De taakverdeling tussen publieke organisaties bepaalt wie baat heeft bij welke ecosysteemdienst.

De positieve bijdrage van zeewierteelt aan het imago van een windpark - de categorie overig in Tabel 5 - komt ten goede aan de offshore windparkbeheerder, maar vooral ook aan de overheid die de drijvende kracht is achter de ontwikkeling van offshore windenergie.

5.3 Waarderen en verzilveren

Of de baten van de geleverde ecosysteemdiensten ook verzilverd kunnen worden is afhankelijk van het type ecosysteemdienst. Over het verwaarden en verzilveren van productiediensten is weinig discussie geweest. Het waarderen en verzilveren van een productiedienst is betrekkelijk eenvoudig omdat het product in een markttransactie verkocht wordt. Echter, omdat grootschalige teelt en verwerking van zeewier in Nederland nog in ontwikkeling is, zijn geen eenduidige marktprijzen bekend. Bovendien geldt dat er niet één waarde van zeewier is: deze hangt sterk af van de soort zeewier en de markt waarin een bedrijf zich bevindt. In het algemeen geldt wel dat kosten voor zeewierteelt nu (nog) hoger zijn de waarde bij bulktoepassingen.

De vraag hoe de regulerende diensten verwaard kunnen worden geeft meer voer voor discussie. Private baathebbers kijken naar de besparing die gerealiseerd kan worden met zeewierteelt, bijvoorbeeld in de vorm van lagere investeringen, of lagere onderhoudskosten. De hiermee te realiseren besparing is een indicatie voor de waarde van de ecosysteemdienst voor deze baathebber. Voordat zij willen betalen voor een geleverde ecosysteemdienst moet er voldoende bewijs zijn dat de ecosysteemdienst inderdaad geleverd gaat worden. Ter illustratie: de verwachting is dat een zeewierveld leidt tot significante golfslagdemping, wat een positief effect heeft op de levensduur van windmolens. Dit kan ertoe leiden dat windmolens minder robuust gemaakt hoeven te worden en er per molen minder staal nodig is. De besparing in staal die dit oplevert staat buiten kijf, maar de

cruciale vraag is: levert een zeewierveld daadwerkelijk continu een significante golfslagdemping waardoor er daadwerkelijk minder staal gebruikt kan worden?

Kortom, verzilveren heeft een kans als het zeker is dat de ecosysteemdienst geleverd wordt. Indien het effect onzeker is, moet gezocht worden naar innovatieve manieren om de baten te verzilveren. Om bij het voorbeeld golfslagdemping te blijven: dat kan betekenen dat je niet bij de bouw al minder staal gebruikt, maar door continue monitoring in de gaten houdt of de golfslagdemping van een zeewierveld de technische levensduur van een windmolen verlengt. Indien dit daadwerkelijk het geval is, is waarde gecreëerd die verzilverd kan worden doordat de windmolen langer operationeel kan blijven.

Omdat de garantie dat een zeewierondernemer 25 jaar lang, 365 dagen per jaar zeewier teelt niet te geven is, is het noodzakelijk te denken over innovatieve financieringsvormen. Andere financieringsvormen (bijvoorbeeld achteraf betalen als blijkt dat zeewier de levensduur van een windpark heeft verlengd) zijn nodig. In discussies met stakeholders werd opgemerkt dat onderscheid gemaakt moet worden tussen besparing op de investering (bijvoorbeeld de windmolens) of jaarlijkse onderhoudskosten (bijvoorbeeld onderhoud en reparatie van de windmolens). Een besparing op de investering vraagt om zekerheid op lange termijn. Een besparing op onderhoud - op de variabele kosten - vraagt minder garanties vooraf. Bijvoorbeeld, als de golfslagdemping van een zeewierveld ervoor zorgt dat de windmolens eenvoudiger en vaker bereikbaar zijn voor onderhoud wordt het onderhoud goedkoper en staan de windmolens minder vaak stil.

Het verwaarden en verzilveren van regulerende diensten waar publieke actoren baat bij hebben werkt anders. Als er een maatschappelijke opgave is - zoals in het geval van kustverdediging of slibverwijdering uit de Eems-Dollard - is door de overheid al geld gereserveerd om deze opgave te realiseren. Ook zijn er 'conventionele' technieken beschikbaar om aan de opgave te voldoen (dijken, baggeren). Een nieuwe oplossing in de vorm van zeewierteelt wordt beoordeeld op de bewezen functionaliteit ('Levert het echt een bijdrage aan kust bescherming?') en de kosteneffectiviteit ('Is het goedkoper dan de conventionele oplossing?').

5.4 Barrières

De belangrijkste barrière voordat overgegaan kan worden tot opties voor verzilvering is een gebrek aan bewijs. Of het nu publieke of private baathebbers betreft, voldoende bewijs over de levering van ecosysteemdiensten ontbreekt. Zeewierteelt in de Noordzee is nog in ontwikkeling. Wat nu beschikbaar is, zijn resultaten van kleinschalige pilots, modelmatige studies of studies uit andere zeeën. Dat biedt onvoldoende zekerheid voor een overheid of bedrijf dat de voorziene ecosysteemdiensten daadwerkelijk geleverd worden.

Een tweede knelpunt is de seizoensafhankelijkheid van zeewierteelt - en daarmee de levering van ecosysteemdiensten. Ecosysteemdiensten als kustbescherming of golfslagdemping voor windmolens moet jaarrond geleverd worden terwijl zeewier een jaarlijkse groeicyclus heeft. Daar zijn wel oplossingen voor genoemd - bijvoorbeeld een combinatie van zomer- en winterwieren - maar de haalbaarheid van deze oplossing is nog onderwerp van studie.

Een derde knelpunt vloeit voort uit de focus op kosteneffectiviteit per ecosysteemdienst terwijl zeewierteelt juist multifunctioneel is. Wanneer louter gekeken wordt naar één ecosysteemdienst als golfslagdemping of kustbescherming worden andere ecosysteemdiensten buiten beschouwing gelaten. Aan meervoudige waardecreatie wordt dan geen aandacht besteed. Als voorbeeld: bij kustbescherming geldt dat de totale waarde van een tweede dijk - met zeewierteelt in het tussenliggende gebied - groter is dan die van een conventionele dijk, omdat deze oplossing ook positief uitpakt voor biodiversiteit, culturele waarde enzovoort. Die baten sluit je buiten als de focus alleen ligt op kosteneffectiviteit. Om dit te voorkomen moet binnen de overheid samenwerking gezocht worden om meerdere doelen tegelijk na te streven en moet in de besluitvorming gekeken worden naar de maatschappelijke kosten en baten. Het voorbeeld van *Ruimte voor de Rivier* laat zien dat dat lastig is maar wel kan. Doordat bij zeewierteelt publieke en private doelen met elkaar

afgewogen moeten worden, bestaat het risico dat maatschappelijke kosten-batenanalyse en de besluitvorming complex wordt.

5.5 Een sluitende businesscase voor zeewierteelt?

Kan het verwaarden en verzilveren van geleverde ecosysteemdiensten bijdragen aan een sluitende businesscase voor grootschalige zeewierteelt in de Nederlandse wateren? Het is nog te vroeg om daarop een definitief antwoord te geven. De onzekerheid over de mogelijkheden om zeewier uit grootschalige teelt in Nederlandse wateren af te zetten is daar één van de redenen voor.

Op basis van de discussies in de workshops is de conclusie dat zeewierteelt een aantal ecosysteemdiensten kan leveren. De kenmerken van de locatie zijn bepalend voor welke soort zeewier er groeit en welke ecosysteemdiensten daar geleverd kunnen worden. De baathebbers van deze ecosysteemdiensten zijn identificeerbaar en over de mogelijkheden van waarderen en verzilveren is gesproken.

Het grootste knelpunt is het gebrek aan bewijs; er zijn nog veel vragen over de levering van de ecosysteemdiensten. In alle gevallen geldt dat er bewijs nodig is: in welke mate reduceert zeewierteelt de kracht van de golven? En welke perioden van het jaar? Levert het echt een bijdrage aan kustbescherming? Worden er significante hoeveelheden nutriënten opgenomen? Welke bijdragen worden geleverd aan biodiversiteit? Om deze redenen wordt ook gewezen op de noodzaak van pilots en proeven, want veel is op dit moment onzeker en alleen modelmatig bewijs is niet voldoende.

In de discussie wordt gewezen op het belang van vroegtijdige samenwerking tussen verschillende partijen - of dat nu private of publieke partijen zijn. Uit de workshops komt steeds weer naar voren dat het leveren, verwaarden en verzilveren van ecosysteemdiensten alleen kans van slagen heeft als dit vanaf het begin van een ontwerp- of besluitvormingsproces meegenomen wordt. De behoefte aan gedegen bewijs en aan vroegtijdige samenwerking wijst op een dilemma; private actoren zijn geïnteresseerd als er voldoende bewijs is maar het verzamelen van bewijs komt niet vanzelf van de grond. Een pilot kan uitsluitend bieden over de levering van een aantal potentiële ecosysteemdiensten en voor bedrijven de drempel om in te stappen wegnemen.

5.6 Bijdrage aan de ontwikkeling van een circulaire economie

In dit project is de teelt van zeewier bekeken in de context van - bestaande en nieuwe - zeewierketens. De ambitie was om de mogelijkheid te onderzoeken om deze ketens in te richten volgens de principes van de circulaire economie, waarbij fossiele grondstoffen worden vervangen door een hernieuwbare grondstof.

Het bleek lastig om het begrip circulaire economie in de gesprekken in te brengen. Van een circulaire businesscase voor zeewierteelt is geen sprake: zeewier wordt op zee geteeld en op land verwerkt en geconsumeerd. Achteraf concluderen wij dat het principe van circulaire economie niet eenvoudig toepasbaar is op de teelt van zeewier die gebruik maakt van natuurlijke kringlopen die zich over grote geografische eenheden afspelen. Concreet gezegd, nutriënten verspreiden zich in het water over grote afstanden. De herkomst van de nutriënten is niet traceerbaar en het sluiten van een nutriëntenkringloop is dan niet meer dan een boekhoudkundige analyse.

5.7 Lessen voor de biobased economy

Zeewierteelt is gekozen als een casus voor de biobased economy. De resultaten wijzen op een aantal kenmerken van biobased productieprocessen en ketens die ook bij teelt van andere grondstoffen relevant zijn. De seizoensafhankelijkheid is kenmerkend voor natuurlijke productieprocessen: een natuurlijk product kent een groeicyclus en is niet het hele jaar in dezelfde mate aanwezig. Dat geldt ook voor bijvoorbeeld grassen, suikerbieten of olifantsgras. Ook de variatie in grootte en samenstelling van het gewas en de afhankelijkheid van omgevingsfactoren is kenmerkend voor biobased productieprocessen.

In de aanloop van dit project is gesproken over andere benaderingen om de relatie tussen biobased economy en natuurlijk kapitaal te analyseren. In dit project lag de focus op een grondstof (zeewier), maar deze zou ook kunnen liggen op een sector, op een biobased eindproduct of een regio. In de gekozen insteek is de afhankelijkheid van natuurlijk kapitaal minder aan bod gekomen. Dat heeft ook te maken met het feit dat teelt van zeewier nu nog kleinschalig is en dat van gebrek aan schoon water, nutriënten en dergelijke voor succesvolle teelt geen sprake is.

6 Reflectie en aanbevelingen

6.1 Bruikbaarheid van de methode

De eerste observatie uit de workshops is dat het denkmodel van Natuurlijk Kapitaal een werkbaar denkmodel is: het is mogelijk gebleken over dit onderwerp in dialoog te gaan met een diversiteit aan stakeholders zonder in discussies over de definities en afbakening van natuur, ecosysteemdiensten en dergelijke terecht te komen. Daarbij moet opgemerkt worden dat het projectteam er bewust voor heeft gekozen de definitie van ecosysteemdiensten niet strikt te hanteren.

6.2 Aanbevelingen

- Onzekerheid of zeewierteelt een aantal ecosysteemdiensten levert staat verzilvering in de weg. Om zekerheid te krijgen is in sommige gevallen basale kennis nodig ('Hoeveel nutriënten neemt zeewier op bij de groei?', 'Worden golven gedempt met zeewier?'). Met een pilot zeewierteelt - al dan niet in combinatie met een offshore windpark - kan een aantal onzekerheden weggenomen worden.
- Gerelateerd aan het vorige punt: kennis over de impact van te veel zeewierteelt op het ecosysteem ontbreekt. Ook deze kennis kan opgebouwd worden in een pilot waarin aandacht is voor ecologische impact van zeewierteelt.
- Een aantal beoogde sectoren was beperkt of niet aanwezig bij de workshops, bijvoorbeeld de landbouw en chemie. Voor deze sectoren liggen zeewierprojecten nog buiten het blikveld. Aanbevolen wordt om tot een routekaart voor de ontwikkeling van grootschalige teelt in Nederlandse wateren te komen waarin aandacht wordt besteed aan de betrokkenheid van de grotere bedrijfssectoren - als chemie en landbouw - en internationale ketens. Daarom zou aandacht uit moeten gaan naar de vraag wat het maximum is wat je in Nederland aan zeewier kunt leveren, voor wie de producten interessant zijn, en hoe Nederlandse productie zich tot de internationale productie verhoudt.
- De link tussen maatschappelijke opgaves waarvoor door de overheid budget is gereserveerd- en zeewierteelt bleek interessant. Achteraf gezien had deze link eerder in het project gelegd moeten worden. De relatie tussen maatschappelijke opgaves en verzilvering leent zich voor verder onderzoek.
- Een overweging is om zaken om te keren. Misschien moet een businesscase juist op een ecosysteemdienst gebaseerd zijn in plaats van op zeewierkweek. Bijvoorbeeld: hoe kun je zo effectief mogelijk een teveel aan nutriënten uit het water verwijderen, is zeewier daar een geschikte oplossing voor, en wat kun je dan daarnaast nog doen met de opbrengst van het wier? Dat betekent dat er een (economisch draagkrachtige) vraag moet zijn naar de geleverde ecosysteemdienst en dat deze niet in de zeewierkweek zelf gezocht moet worden.

Literatuur

- Akhtar, Y., F. Aziz, F. Jabeen and S. Arshad (2014). The effect of seaweed organic fertilizer on growth and biochemical parameters of different flowering plants.' *International Journal* 2, no. 9 (2014): 935-944.
- Belanche, A., E. Ramos-Morales and C.J. Newbold. (2015). In vitro screening of natural feed additives from crustaceans, diatoms, seaweeds and plant extracts to manipulate rumen fermentation. *Journal of the Science of Food and Agriculture*.
- Bikker, P., A.P. Palstra, M.M. van Krimpen, W.A. Brandenburg, A. Lopez-Contreras en S.W.K. van den Burg (2013). Seaweed and seaweed components as novel protein sources in animal diets. In Book of Abstracts of the 64th Annual Meeting of the European Federation of Animal Science, Nantes, France 26-30 August 2013 (Vol. 19, p. 140).
- Bixler, H.J. and H. Porse (2011). A decade of change in the seaweed hydrocolloids industry. *Journal of Applied Phycology*, 23(3), pp.321-335.
- Brinkman A.G., P. Jacobs, R.G. Jak and R. Riegman (2015). Eems-Dollard primary production research - Concise summary. IMARES Report C163/14.
- Buck, B.H. and C.M. Buchholz (2004). The offshore-ring: a new system design for the open ocean aquaculture of macroalgae. *Journal of Applied Phycology*, 16(5), pp.355-368.
- Chung, I.K., Jung H.O., J.A. Lee, J.A. Shin, J.G. Kim and K.-S. Park (2013). Installing kelp forests/seaweed beds for mitigation and adaptation against global warming: Korean Project Overview. ICES Journal of Marine Science: doi:10.1093/icesjms/fss206
- Costa, J.C., P.R. Gonçalves, A. Nobre and M.M. Alves (2012). Biomethanation potential of macroalgae *Ulva* spp. and *Gracilaria* spp. and in co-digestion with waste activated sludge. *Bioresource technology*, 114, pp.320-326.
- Dellarosa, N., L. Laghi, E. Martinsdóttir, R. Jónsdóttir and K. Sveinsdóttir (2015). Enrichment of convenience seafood with omega-3 and seaweed extracts: Effect on lipid oxidation. *LWT-Food Science and Technology*, 62(1), pp.746-752.
- Fei, X. (2004). Solving the coastal eutrophication problem by large scale seaweed cultivation. *Hydrobiologia*, 512(1-3), pp.145-151.
- Fleurence, J., M. Morancais, J. Dumay, P. Decottignies, V. Turpin, M. Munier, N. Garcia-Bueno and P. Jaouen (2012). What are the prospects for using seaweed in human nutrition and for marine animals raised through aquaculture?. *Trends in food science & technology*, 27(1), pp.57-61. Vancouver
- Han, W., W. Clarke and S. Pratt (2014). Composting of waste algae: a review. *Waste management* 34, no. 7 (2014): 1148-1155.
- Hanjra, M. A. and M.E. Qureshi. (2010). Global water crisis and future food security in an era of climate change. *Food Policy* 35, no. 5 (2010): 365-377.
- Harmsen, P.F., M.M. Hackmann and H.L. Bos (2014). Green building blocks for bio-based plastics. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 8(3), pp.306-324.
- He, Peimin, S. Xu, H. Zhang, S. Wen, Y. Dai, S. Lin and C. Yarish (2008). Bioremediation efficiency in the removal of dissolved inorganic nutrients by the red seaweed, *Porphyra yezoensis*, cultivated in the open sea. *Water Research* 42, no. 4 (2008): 1281-1289.
- Hernández-Herrera, R.M., F. Santacruz-Ruvalcaba, M.A. Ruiz-López, J. Norrie and G. Hernández-Carmona (2014). Effect of liquid seaweed extracts on growth of tomato seedlings (*Solanum lycopersicum* L.). *Journal of applied phycology*, 26(1), pp.619-628.
- Holdt, S.L. and S. Kraan (2011). Bioactive compounds in seaweed: functional food applications and legislation. *Journal of Applied Phycology*, 23(3), pp.543-597.
- Kader, A.S.A., O.S. Olanrewaju and W.W. Shamsuri (2013). Potential of Macro Algae for Biomass Energy Source and Green House Gas Emission Carbon Capture. *Biosciences Biotechnology Research Asia*, 10, pp.653-658.
- Kraan, S. (2013). Mass-cultivation of carbohydrate rich macroalgae, a possible solution for sustainable biofuel production. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 18, no. 1 (2013): 27-46.

- Kwant, K., A. Hamer, W. Siemers, W. van den Wittenboer, D. Both, M. Blom, M. van Lieshout en M. Smit (2015). Monitoring Biobased Economy in Nederland 2014. Rijksdienst voor Ondernemend Nederland, Utrecht.
- Liu, Y. en H. vanhauwaer Bjelland (2014). Estimating costs of sea lice control strategy in Norway. *Preventive veterinary medicine* 117, no. 3 (2014): 469-477.
- Loureiro, R., C.M. Gachon en C. Rebours (2015). Seaweed cultivation: potential and challenges of crop domestication at an unprecedented pace. *New Phytologist*, 206(2), pp.489-492.
- Makkar, H.P., G. Tran, V. Heuzé, S. Giger-Reverdin, M. Lessire, F. Lebas en P. Ankers (2016). Seaweeds for livestock diets: A review. *Animal Feed Science and Technology*, 212, pp.1-17.
- McHugh, D.J. (2003). A guide to the seaweed industry. Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Melman, D. en A. van Doorn (2015). Verdere vergroening van het GLB: collectieven en ecosysteemdiensten. *Landwerk* (4) p. 21-25
- Milledge, J.J., B.V. Nielsen en D. Bailey (2015). High-value products from macroalgae: the potential uses of the invasive brown seaweed, *Sargassum muticum*. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, pp.1-22.
- Milledge, J.J., B. Smith, P.W. Dyer en P. Harvey (2014). Macroalgae-derived biofuel: a review of methods of energy extraction from seaweed biomass. *Energies*, 7(11), pp.7194-7222.
- Oosterhuis, F. en A. Ruijs. (2015). Natuurlijk Kapitaal Nederland. Een conceptuele verkenning en afbakening van het TEEB-kader. Planbureau voor de Leefomgeving, Den Haag
- Rajendran, N., S. Puppala, M. Sneha Raj, B. Ruth. Angeeleena en C. Rajam (2012). Seaweeds can be a new source for bioplastics. *Journal of Pharmacy Research* Vol, 5(3), pp.1476-1479.
- Reverter, M., N. Bontemps, D. Lecchini, B. Banaigs en P. Sasal (2014). Use of plant extracts in fish aquaculture as an alternative to chemotherapy: current status and future perspectives. *Aquaculture* 433 (2014): 50-61.
- Shahbazi, F., M.S. Nejad, A. Salimi en A. Gilani (2015). Effect Of Seaweed Extracts On The Growth And Biochemical Constituents Of Wheat. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, 8(3), 283.
- Smale, D.A., M.T. Burrows, P. Moore, N. O'Connor en S.J. Hawkins (2013). Threats and knowledge gaps for ecosystem services provided by kelp forests: a northeast Atlantic perspective. *Ecology and Evolution* 3, no. 11 (2013): 4016-4038.
- Spiteri C, R. Riegman, H. Winterwerp, B. Brinkman, W. Stolte, R. Jak en B. van Maren (2011). Mud dynamics in the Eems-Dollard, research phase 1. Literature review mud and primary production. Report Deltares, IMARES. Project 1204891-000.
- Steneck, R.S., M.H. Graham, B.J. Bourque, D. Corbett, J.M. Erlandson, J.A. Estes en M.J. Tegner (2002). Kelp forest ecosystems: biodiversity, stability, resilience and future. *Environmental conservation* 29, no. 04 (2002): 436-459.
- Sukhdev, P., H. Wittmer en C. Schroter-Schlaack (2014). The economics of ecosystems and biodiversity a synthesis of the approach, conclusions and recommendations of TEEB. United Nations Environment Program. 2010.
- Troell, M., A. Joyce, T. Chopin, A. Neori, A.H. Buschmann en J.-G. Fang (2009). Ecological engineering in aquaculture—Potential for integrated multi-trophic aquaculture (IMTA) in marine offshore systems. *Aquaculture* 297, no. 1 (2009): 1-9.
- Troell, M., P. Rönnbäck, C. Halling, N. Kautsky en A. Buschmann. (1999). Ecological engineering in aquaculture: use of seaweeds for removing nutrients from intensive mariculture. *Journal of Applied Phycology* 11, no. 1 (1999): 89-97.
- Van den Burg S.W.K., M. Stuiver, F.A. Veenstra, P. Bikker, A.M. Lopez-Contreras, A.P. Palstra, J. Broeze, H.M. Jansen, R.G. Jak, A.L. Gerritsen, P.F.H. Harmsen, J. Kals, A. Blanco Garcia, W.A. Brandenburg, M.M. van Krimpen, A.-P. van Duijn, W.J. Mulder L.W.D. van Raamsdonk (2013). A Triple P review of the feasibility of sustainable offshore seaweed production in the North Sea. LEI report 13-077 https://www.wageningenur.nl/upload_mm/8/a/d/d69d82b9-904f-4bf1-9844-c24bd5d39346_Rapport%2013-077%20vvdBurg_DEF_WEB.pdf
- Van den Burg S.W.K., A.-P. van Duijn, H. Bartelings, M.M. van Krimpen en M. Poelman (2016). The economic feasibility of seaweed production in the North Sea. *Aquaculture Economics and Management*. DOI: 10.1080/13657305.2016.1177859
- Van der Heide, M. (2015). Waardering van stedelijk groen en blauw: evaluatie van het gebruik van de TEEB-stad tool. Planbureau voor de Leefomgeving, Den Haag.

-
- Van Meijl, H., I. Tsiropoulos, H. Bartelings, M. van den Broek, R. Hoefnagels, M. van Leeuwen, E. Smeets, A. Tabeau and A. Faaij, *Macroeconomic outlook of sustainable energy and biorenewables innovations (MEV II)*, Wageningen, LEI report 2016-001, 168 pp.
- Van der Wal, H., B.L. Sperber, B. Houweling-Tan, R.R. Bakker, W.A. Brandenburg en A.M. López-Contreras (2013). Production of acetone, butanol, and ethanol from biomass of the green seaweed *Ulva lactuca*. *Bioresource technology*, 128, pp.431-437.
- Van Lienen, F. en M. Schuerhoff (2015). Duurzaam gebruik van natuurlijk kapitaal voor Schoon Water in Brabant. Van succesvol project naar verankering in de bedrijfspraktijk. Planbureau voor de Leefomgeving, Den Haag.
- Vásquez, J.A., S. Zuñiga, F. Tala, N. Piaget, D.C. Rodríguez en J.M. Alonso Vega (2014). Economic valuation of kelp forests in northern Chile: values of goods and services of the ecosystem. *Journal of applied phycology* 26, no. 2 (2014): 1081-1088.
- Vatsos, I.N. en C. Rebours, (2015). Seaweed extracts as antimicrobial agents in aquaculture. *Journal of Applied Phycology*, 27(5), pp.2017-2035.
- Venkatesan, J., B. Lowe, S. Anil, P. Manivasagan, A.A. Al Kheraif, K.H. Kang en S.K. Kim (2015). Seaweed polysaccharides and their potential biomedical applications. *Starch-Stärke*, 67(5-6), pp.381-390.
- Vos, C.C., C.J. Grashof-Bokdam en P.F.M. Opdam (2015). Biodiversity and ecosystem services: does species diversity enhance effectiveness and reliability? Wot-technical paper 25, Wageningen: Wageningen UR.
- Wilke, T., S. Faulkner, L. Murphy, L. Kealy, S. Kraan en F. Brouns (2015). Seaweed enrichment of feed supplied to farm raised Atlantic salmon (*Salmo salar*) is associated with higher total fatty acid and LCn3 PUFA concentrations in fish flesh. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 117(6), pp.767-772.

LEI Wageningen UR
Postbus 29703
2502 LS Den Haag
T 070 335 83 30
E publicatie.lei@wur.nl
www.wageningenUR.nl/lei

Rapport
LEI 2016-049



LEI Wageningen UR is een onafhankelijk, internationaal toonaangevend, sociaaleconomisch onderzoeksinstituut. De unieke data, modellen en kennis van het LEI bieden opdrachtgevers op vernieuwende wijze inzichten en integrale adviezen bij beleid en besluitvorming, en dragen uiteindelijk bij aan een duurzamere wereld. Het LEI maakt deel uit van Wageningen UR (University & Research centre). Daarbinnen vormt het samen met het Departement Maatschappijwetenschappen van Wageningen University en het Wageningen UR Centre for Development Innovation de Social Sciences Group.

De missie van Wageningen UR (University & Research centre) is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen UR bundelen 9 gespecialiseerde onderzoeksinstituten van stichting DLO en Wageningen University hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 6.500 medewerkers en 10.000 studenten behoort Wageningen UR wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.

To explore
the potential
of nature to
improve the
quality of life



LEI Wageningen UR
Postbus 29703
2502 LS Den Haag
E publicatie.lei@wur.nl
www.wageningenUR.nl/lei

RAPPORT
LEI 2016-049
ISBN 978-94-6257-806-7

LEI Wageningen UR is een onafhankelijk, internationaal toonaangevend, sociaaleconomisch onderzoeksinstituut. De unieke data, modellen en kennis van het LEI bieden opdrachtgevers op vernieuwende wijze inzichten en integrale adviezen bij beleid en besluitvorming, en dragen uiteindelijk bij aan een duurzamere wereld. Het LEI maakt deel uit van Wageningen UR (University & Research centre). Daarbinnen vormt het samen met het Departement Maatschappijwetenschappen van Wageningen University en het Wageningen UR Centre for Development Innovation van de Social Sciences Group.

De missie van Wageningen UR (University & Research centre) is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen UR bundelen 9 gespecialiseerde onderzoeksinstituten van stichting DLO en Wageningen University hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 6.500 medewerkers en 10.000 studenten behoort Wageningen UR wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.
