

## **Wat is de toekomst voor eiwit uit Noordzee zeewier?**

### **Literatuurstudie**

**AF-16202 Maatschappelijk InnovatieProgramma  
Seaweed for Food and Feed Proseaweed  
(Baps-nummer BO-59-006-001)**



### **Memo**

Wageningen  
Research

**DATUM**

7 juni 2021

**ONDERWERP**

Wat is de toekomst voor eiwit uit zeewier?

**AUTEUR**

Jurriaan Mes, Maarten Kootstra, Sander van den Burg, Marieke Bruins, Floor Boon, Aard de Jong, Addie van der Sluis, Adrie van der Werf

**ONZE REFERENTIE**

2121009-MK-JM-MH

**CONTACTPERSOON**

Dr. Jurriaan (J) Mes

**TELEFOON**

+31 (0)317 481174

**E-MAIL**

jurriaan.mes@wur.nl

## Inhoudsopgave

Inhoudsopgave .....	2
Samenvatting .....	3
1 Aanleiding, vraagstelling en aanpak .....	4
2 Zeewier: het gewas en de teelt .....	5
2.1 Stand van zaken teelt .....	5
2.2 Teelt op de Noordzee .....	5
2.3 Functie en gehalte van eiwit in zeewier .....	5
2.4 De uitdagingen .....	7
3 Eiwitextractie uit zeewier.....	8
3.1 Algemeen.....	8
3.2 Nutritioneel eiwit.....	8
3.3 Functioneel eiwit voor humane toepassingen .....	9
3.4 Zeewierextracten voor indirecte eiwitproductie op land .....	9
3.5 Eiwit als bijproduct bij productie van hydrocolloïden .....	10
3.6 De uitdagingen .....	10
4 Voedselveiligheid .....	11
4.1 Veiligheid .....	11
4.2 Novel Food registratie .....	11
4.3 De uitdagingen .....	11
5 Gevolgen voor de business case van <i>Saccharina ssp.</i> productie op de Noordzee ...	12
5.1 Algemeen.....	12
5.2 Geschatte kosten voor de productie van <i>Saccharina latissima</i> op de Noordzee .....	12
5.3 Geschatte opbrengsten .....	13
5.3.1 Nutritioneel eiwit voor diervoeder.....	13
5.3.2 Functioneel eiwit voor humane toepassingen.....	13
5.3.3 Zeewierextracten voor indirecte eiwitproductie op land .....	14
5.3.4 Combinaties van toepassingen: Eiwit als bijproduct bij productie van hydrocolloïden .....	14
5.4 Vergroten van de waarde.....	15
5.4.1 Reduceren van de kosten voor zeewierteelt .....	15
5.4.2 Branding/marktpositie verbeteren .....	15
5.4.3 Erkennen van maatschappelijke baten en ecosystemediensten .....	15
5.5 De uitdagingen .....	15
6 Vooruitblik .....	15
Referenties.....	16

## Samenvatting

In 2018 is vanuit het Maatschappelijk Innovatie Programma AF-16202 Seaweed for food and feed/Proseaweed de opdracht gegeven een literatuurstudie uit te voeren naar de haalbaarheid van zeewier als rendabel duurzaam alternatieve eiwitbron voor mens en dier.

Om deze vraag te beantwoorden hebben verschillende experts van Wageningen Research vanuit hun werkveld gekeken naar hoe zeewierteelt in de Noordzee kan bijdragen aan de toenemende vraag naar alternatieve eiwitbronnen. Hiervoor zijn de volgende vier toepassingen in ogenschouw genomen:

- Nutritioneel eiwit voor diervoeder (als vervanging van sojaeiwit);
- Eiwit voor humane toepassingen;
- Gebruik van zeewierextracten voor indirecte eiwitproductie op land;
- Eiwit als nevenproduct bij de productie van hydrocolloïden.

Op basis van de studie, te weten ruwe schattingen van productiekosten, productie areaal, rendement en rendementsverwachtingen door toekomstige innovaties, de marktgrootte van producten en de huidige marktwaarde, de verwachte effecten in de markt door de ontwikkelingen op het gebied van alternatieve eiwitten, en het op de markt brengen van grote volumes van producten op basis van teelt op de Noordzee, kunnen we concluderen dat:

- Noordzee-zeewier niet snel een vervanger zal zijn van soja in de diervoedingsketen, omdat de offshore productiekosten van geteeld zeewier en de processingskosten relatief hoog zijn en het enkel bij voldoende onderbouwing van een positieve bijdrage aan gezondheidseffecten als additief een weg naar de markt zal vinden.
- Eiwitten uit Noordzee-zeewier voor humane consumptie meer perspectief bieden, maar hier nog veel ontwikkeling nodig is om eiwitextractie technologisch en economisch haalbaar te maken. Vooral het ontsluiten van eiwit uit de zeewiermatrix behoeft nieuwe enzymen en methoden, zeker als dit functionele eiwitten dienen te zijn met gewenste functionaliteiten bij het structureren van (nieuwe) voedingsproducten. Daarnaast is aandacht nodig voor de logistieke uitdaging van het stabiliseren van het vers geoogste of tussenproduct en voor de nutritionele waarde en veiligheid van het product, waarvoor nog veel onderzoek nodig is en het opzetten van een kwaliteitsborgingssysteem.
- De markt voor biostimulanten uit zeewier klein is, maar kansrijk. De vraag bij deze markt is vooral hoe deze zich zal ontwikkelen en of de teelt van zeewier op de Noordzee kan concurreren met de huidige producten die gebaseerd zijn op wildoogst. Deze kleine maar kansrijke markt betreft ook het directe gebruik van zeewier als levensmiddeleningrediënt.
- De winning van voedingseiwitten mogelijk is te verrijken met gecombineerde processen, zoals hydrocolloïdenextractie of biostimulantenproductie uit zeewier. Hier zullen dan innovatieve methoden voor ontwikkeld dienen te worden die rekening houden met de toepassing van alle productstromen. Dit laatste geldt ook voor het gezamenlijk opwerken van hydrocolloïden en eiwitten op basis van milde processingstrategieën die mogelijke producten met nieuwe functionaliteiten opleveren die op dit moment nog niet in kaart zijn gebracht.

## 1 Aanleiding, vraagstelling en aanpak

De komende decennia zullen er op de Noordzee meer windparken ontwikkeld worden. Medegebruik van windparken met aangepaste vormen van visserij en maricultuur (de teelt van mariene organismen voor consumptie), waaronder de productie van zeewier, is één van de doelstellingen van het Noordzeeakkoord. Zeewier vormt een interessante bron voor food en feed, met op langere termijn mogelijk toepassingen in de groene chemische industrie. Het Maatschappelijk Innovatie Programma AF-16202 Seaweed for food and feed/Proseaweed is een onderzoeksprogramma van WUR. Doel is een onderzoeksbijdrage te leveren aan vraagstukken verbonden aan de grootschalige zeewierproductie in de Noordzee.

In 2018 is vanuit Proseaweed opdracht gegeven een literatuurstudie uit te voeren naar de toepassing van zeewier als alternatieve eiwitbron voor mens en dier. Voor een rendabele zeewierproductie op de Noordzee is een business case nodig. Gebruik van zeewier als geheel product (zoals de zeespaghetti van Seamore) en het verwerken in burgers (zoals de weed- of umamiburger) zijn momenteel interessante business cases maar zullen naar verwachting niet de markt vormen voor zeer grote volumes.

Een alternatief is de eiwitextractie uit zeewier, al dan niet in combinatie met extractie van andere waardevolle componenten, voor gebruik in food en feed. Eiwit uit Noordzee-zeewier wordt door verschillende mensen en groeperingen als een van de belangrijkste drijvers van een succesvolle business case voor zeewier gezien (zie ook Lichtkogel RWS Trenddossier nr 2, 2020). Het gebruik van bioactieve zeewierextracten kan in potentie ook een bijdrage leveren aan een gezondere veestapel en aan landbouw op verzilte grond. Daarnaast is er in landen zoals Ierland, Frankrijk en Noorwegen een bestaande zeewierverwerkende industrie, gericht op de productie van hydrocolloïden. Dat biedt de mogelijkheid aan te haken, waardoor de gewenste innovatie met betrekking tot eiwit uit zeewier wordt versneld.

**Deze memo adresseert de vraag waar de kansen liggen om zeewier in te zetten voor de productie van nutritionele en functionele eiwitten, rekening houdend met de thans gangbare eiwitbronnen, de ontwikkelingen op het gebied van eiwitextractie en opkomende alternatieven eiwitten.**

Op basis van bovenstaande beweegredenen worden in deze memo vier toepassingen in ogenschouw genomen:

- Nutritioneel eiwit voor diervoeder;
- Functioneel eiwit voor humane toepassing;
- Zeewierextracten voor eiwitproductie op land;
- Eiwit als bijproduct bij productie van hydrocolloïden.

In Hoofdstuk 2 wordt ingegaan op het gewas zeewier, de teelt ervan en hoe het eiwit in het gewas aanwezig is. Daarbij wordt uitdrukkelijk gekeken naar de verschillen met landbouwgewassen geteeld op land, omdat die verschillen aangeven welke innovaties nodig zijn. In Hoofdstuk 3 wordt beschreven wat er al bekend is over de productie van de vier productgroepen voor de verschillende toepassingsgebieden: nutritioneel eiwit, functioneel eiwit, zeewierextracten, en eiwit als bijproduct. In Hoofdstuk 4 wordt het aspect van de voedselveiligheid geadresseerd en de Novel Food registratie. In Hoofdstuk 5 wordt de haalbaarheid van verschillende scenario's (als business case) besproken. Elk hoofdstuk wordt afgesloten met het benoemen van de uitdagingen en als sluitstuk van dit memo volgt een vooruitblik.

## 2 Zeewier: het gewas en de teelt

### 2.1 Stand van zaken teelt

Het gebruik van zeewieren kent een lange geschiedenis. Aanvankelijk werden zeewieren in het wild geoogst en meestal kleinschalig en lokaal gebruikt als voedsel, diervoeder en meststof. Op kleine schaal kan dit op een duurzame manier, maar het teveel onttrekken (over-oogsten) kan op de lange termijn nadelige gevolgen hebben voor het ecosysteem. Gecontroleerde zeewierteelt wordt als een beter alternatief gezien dan oogsten uit het wild. Industrieel gebruik van zeewier is voornamelijk gebaseerd op de aanwezigheid van hydrocolloïden (koolhydraat-polymeren) die toepassingen vinden als geleermiddel voor voedingsproducten, maar ook in bijvoorbeeld wondverband.

De huidige wereldwijde zeewieroogst bedraagt inmiddels meer dan 30 miljoen ton versgewicht per jaar, waarvan het grootste deel uit commerciële teelt (FAO STAT, 2019), maar dit wordt gezien als slechts een fractie van de maximale potentie (FAO 2020). De belangrijkste zeewierproducerende landen zijn China, Indonesië en de Filippijnen. In Europa is de industrie nog kleinschalig en verwerken Noorwegen, Frankrijk en Ierland zeewier. In Frankrijk domineert de wild-oogst van zeewier met ca. 60.000 ton per jaar (Mesnildrey *et al.*, 2012). In Noorwegen is de teelt van voornamelijk *Saccharina latissima* opgezet ter vervanging van het uit het wild oogsten van *Laminaria hyperborea* en *Ascophyllum nodosum* (Stevant *et al.*, 2017).

### 2.2 Teelt op de Noordzee

Momenteel is er nog geen grootschalige teelt op de Noordzee. De grote voordelen van teelt op zee zijn dat het geen beslag legt op landbouwgrond, het geen zoet water vereist en, mits goed rekening houdend met lokale beschikbaarheid van nutriënten, er geen meststoffen nodig zijn. Er zijn ook nadelen: zo is de productie offshore en daarmee duur en gevoeliger voor weersomstandigheden, golfslag en stroming. De bedrijfstak is bovendien nog zeer jong en innovaties zijn nodig, met name in technologie voor teelt, oogst en verwerking. Daarnaast is onderzoek nodig welke wieren zich kwalificeren als teeltgewassen in de Noordzee. Momenteel wordt er in samenwerking met private partijen onderzoek gedaan naar de productiemogelijkheden op de Noordzee, al dan niet in combinatie met windparken.

In de Memo 'Een realistische kijk op zeewierproductie in de Noordzee' (BO-43-023.03-005) (van Duren *et al.*, 2019) is berekend dat de draagkracht van de Noordzee voor het oogsten van zeewier rond de 145 km<sup>2</sup> (14.500 ha) is, op basis van suikerwier (*Saccharina latissima*). *Saccharina* is op dit moment de meest geteelde zeewiersoort in de Noordzee. De verwachting is dat hiervan 15 ton droge stof per ha per jaar geproduceerd kan worden (IMARES Report number C055/16), maar dit kan mogelijk nog verder geoptimaliseerd worden. *Saccharina* heeft een groeiseizoen in de winter, wat mogelijk gecompenseerd kan worden met een andere zeewiersoort voor de zomerperiode. In het North-Sea-Weed-Chain rapport (IMARES Report number C055/16) wordt melding gemaakt van *Ulva* als additionele soort die mogelijk 20 ton droge stof per ha kan produceren, maar ook daar zullen innovaties nodig zijn om deze opbrengst op volle zee te realiseren.

Voor deze notitie gaan we uit van 10 ton droge stof per ha, naar ons idee een voorzichtige, maar meer realistische schatting van opbrengsten voor *Saccharina* in open Noordzee wateren.

### 2.3 Functie en gehalte van eiwit in zeewier

Zeewieren hebben een heel andere opbouw dan landplanten. Zeewieren hebben niet zoals landplanten gedifferentieerde cellen en celstructuren voor blad, stengel en wortel. Zeewieren hebben een thallus, met eventueel een structuur die ervoor zorgt dat de plant niet wegdrijft. Er zijn geen wortels, stengel en vaten waarmee sappen worden vervoerd en ook geen lignocellulose voor stevigheid. Net als landplanten hebben zeewieren celwanden die o.a. de overdruk in de cel (turgor) opvangen. Wieren hebben hiervoor evolutionair een andere oplossing gevonden dan landplanten en hun celwanden zijn daardoor dikker en zwaarder. De celwand van zeewieren bestaat uit meerdere

lagen van zwavelhoudende, vertakte koolhydraten, polyfenolen, alginaat (bruinwieren) en carrageen (roodwieren) met daar tussenin ook eiwit. Deze andere opbouw van weefsel heeft tot gevolg dat met bestaande methoden zoals ontwikkeld voor landplanten eiwitisolatie uit zeewier minder efficiënt verloopt.

Het eiwit in zeewier is in verschillende vormen aanwezig, elk met een specifieke functie:

- Enzymen. Deze zijn aanwezig in de cel en helpen bij chemische omzettingen. Een bekend enzym dat betrokken is bij de fotosynthese en het invangen van CO<sub>2</sub> door planten, algen en zeewier is RuBisCO. Bij landplanten kan oplosbaar eiwit uit blad wel voor 30-50% uit RuBisCO bestaan. Publicaties zoals van Iñiguez *et al.* (2019) geven aan dat veel soorten zeewier lagere concentraties RuBisCO (<10%) bevatten ten opzichte van het totaal oplosbaar eiwit. Alleen soorten zoals *Saccharina* spp (37.3% RuBisCO in totaal oplosbaar eiwit) en *Laminaria* spp (24.7-30.1%) zaten wat betreft het gehalte RuBisCO in de buurt van tarwebladeren (42.3%) die mee waren genomen als controle. De onderzoekers konden niet helemaal uitsluiten dat deze conclusie ook door extractie-efficiëntie beïnvloed kon zijn, omdat veel secundaire metabolieten en polysachariden aanwezig in zeewieren invloed zullen hebben op de eiwitoplosbaarheid. Eiwitisolatieprotocollen zoals ontwikkeld voor b.v. bietenblad zullen daarom ook minder effectief zijn.
- Glycoproteïnes. Deze zijn aanwezig in de celwand, op het celoppervlak en buiten de cel. Ze binden aan koolhydraten en hebben o.a. de functie om cellen aan elkaar te plakken. Dergelijke eiwit- koolhydraat complexen verstoren de isolatie van eiwit.
- Eiwitten die onderdeel uitmaken van het fotosysteem waarmee licht wordt ingevangen. In rode wieren gaat het om phycobilliproteïnen, die verantwoordelijk zijn voor de rode kleur. Phycobilliproteïnen kunnen het blauw/groene licht invangen dat relatief ver het water in kan dringen. Het aantal fotosystemen, en daarmee de hoeveelheid van deze eiwitten, wordt door het zeewier aangepast aan de hoeveelheid licht die aanwezig is. Dit is één van de verklaringen waarom het eiwitgehalte varieert tussen seizoenen, naast het feit dat jongere plantdelen hogere concentraties kunnen hebben dan oudere onderdelen en er continue *sink-source* fluxen veranderen naar behoefte van groei en rust die in relatie staan tot klimaatcondities.

Zeewieren vormen geen zaden of peulen (reproductieve onderdelen), die relatief weinig water en veel geconcentreerde eiwitten bevatten. Vochtrijk materiaal heeft voor verwerking meer energie-input, o.a. vanwege vervoer, opwarmen en drogen van de materialen. Er zijn mogelijk kleine verschillen in eiwitconcentraties tussen thallus en de bladachtige onderdelen, maar er kan wel gesteld worden dat voor eiwitextractie uit zeewier het gehele gewas verwerkt zal worden wat een relatief grote energie-input vraagt.

Over het algemeen is het eiwitgehalte in roodwieren (7-47% van het drooggewicht) het hoogste, gevolgd door groen- (9-26% van het drooggewicht) en bruinwieren (3-15% van het drooggewicht) (Dumay & Morançais, 2016). In veel van de huidige business cases voor de Noordzee wordt gekozen voor de teelt van *Saccharina* en *Ulva* omdat deze inheemse soorten relatief goed te telen zijn op teeltinstallaties. In het TO2 North-Sea-Weed-Chain project (IMARES report C055/16) is gewerkt met *Saccharina* (bruinwier) waarbij gehalten tussen 5-20% eiwit gevonden werden, en *Ulva* (groenwier) met een gemiddelde van 9.5% eiwit op drooggewicht. De grote variatie wordt veroorzaakt door variatie in soort (er zijn meer dan 10.000 wieren), teeltcondities (beschikbaarheid nutriënten en licht) en moment van oogsten (lente of zomer). Een belangrijke factor die ook meespeelt is de stikstof-naar-eiwit factor die wordt gebruikt bij de analyse van het eiwitgehalte. Soms wordt hiervoor 6,25 gebruikt in plaats van 5 zoals geadviseerd in de literatuur (Lourenco *et al.*, 2002; Angell *et al.*, 2016; Bjarnadottir *et al.*, 2018; Pliego-cortes *et al.*, 2019). Gebruik van de factor 6,25 leidt tot overschatting van het eiwitgehalte.

## 2.4 De uitdagingen

Bij het telen van zeewier in de Noordzee hebben we te maken met een relatief nieuw gewas zonder een gevestigde Europese teeltindustrie. Wel is er zeewierverwerkende industrie, bijvoorbeeld in Frankrijk en Noorwegen, die gebruikt maakt van wilde oogst of import. Ook is er een bestaande markt die zich vooral op hydrocolloïden focust waarbij Europese bedrijven ook producten uit Aziatische landen inkopen.

Er is technologieontwikkeling nodig om teelt op de Noordzee economisch haalbaar te maken en hoge opbrengsten te realiseren. Innovaties zijn nodig op het gebied van teelt, veredeling, preventie van plagen en voorkomen van misoogsten. In het IMARES Report (nummer C055/16) uit 2016 wordt dit verwoord als: 'Echter, het telen op zee is nog een te kostbare bezigheid. Dat komt enerzijds door het ruige zeemilieu waardoor installaties robuust moeten zijn, en de levensduur nu eenmaal beperkt is. Anderzijds zijn de zaailijnen (lijnen met daarin het zeewierzaad) nog behoorlijk aan de prijs. Al met al is er nu nog een mismatch van ongeveer een factor 5 à 6 tussen wat zeewier oplevert en wat het kost om zeewier te telen. We hebben aangetoond dat opschaling op dit moment nog geen soelaas biedt, het zeewier brengt nog te weinig op'. Daar wordt nu actie opgezet in diverse initiatieven zoals in Proseaweed. Een scenario-analyse uitgevoerd in Proseaweed heeft laten zien dat een significante reductie van de kostprijs mogelijk lijkt door schaalvoordelen van opschaling, de kosten voor uitgangsmateriaal te reduceren en de opbrengst per meter lijn te vergroten (Van den Burg 2019). Echter, er is nu nog een groot gat tussen teeltkosten en opbrengst van eiwit voor humane consumptie, het onderwerp van deze studie. Voor het gebruik van zeewier direct voor humane voeding ligt deze verhouding gunstiger, maar is het potentiële marktvolume factoren kleiner.

### 3 Eiwitextractie uit zeewier

#### 3.1 Algemeen

Voor het extraheren van eiwitten uit zeewier is het nodig dat de celwand wordt opengebrouwen. Een veelbelovende aanpak is de combinatie van eerst een mechanische behandeling om structuren open te breken, gevolgd door een enzymatische behandeling om de verzwakte celwand verder kapot te maken en eiwitten vrij te maken. Op dit moment zijn er geen enzymen commercieel voorhanden die specifiek celwandstructuren van zeewieren afbreken. De meeste beschikbare enzymen zijn vrijwel alleen geschikt om structuren in landplanten af te breken. Als celwanden enzymatisch worden afgebroken kan dit ook de waarde en toepassing van de hydrocolloïden verminderen. Een alternatieve, meer extreme werkwijze is een chemische, alkalische behandeling waarbij het risico bestaat dat de eiwitten deels beschadigen en niet meer voor toepassing in voedingsproducten bruikbaar zijn (verlies aan functionaliteit in voedingsproducten, zie verder op in deze memo).

De eiwitfractie die na extractie wordt verkregen, dient verder te worden geconcentreerd en opgezuiverd door water, zouten, en andere ongewenste aanwezige mee-geëxtraheerde componenten (zoals polyfenolen) te verwijderen. Zoals eerder genoemd hebben de hoge water- en zoutgehaltes van zeewier gevolgen voor de verwerking. Een hoog watergehalte betekent dat het relatief duur is om vers zeewier te transporteren en dat het wier snel bederft. Het hoge zoutgehalte maakt apparatuur gevoelig voor corrosie, een hoog zoutgehalte is ook voor de smaak ongewenst en hindert bij latere verwerking.

Lokale behandeling tot een stabiel tussenproduct is noodzakelijk. Een snelle verwerking van vers zeewier tot een bewezen stabiel tussenproduct is nog niet beschikbaar. In onderzoeksprogramma's wordt vaak gewerkt met bevroren of gedroogd zeewier. Dat is vanuit praktische overwegingen begrijpelijk, maar de invloed van drogen en invriezen op eiwitextractie is nog onbekend.

#### 3.2 Nutritioneel eiwit

Eiwitten zijn ketens van aminozuren die bouwstenen in ons lichaam zijn. Bij het innemen van eiwit worden deze door verteringsenzymen eerst geknipt in peptiden en later tot aminozuren. Daarbij wordt er een onderscheid gemaakt tussen essentiële aminozuren, die mens en dier uit de voeding moeten halen, en niet-essentiële aminozuren, die we zelf kunnen aanmaken. Nutritioneel eiwit bevat eiwit in de vorm van nutritionele (losse) aminozuren of peptiden. Dit in tegenstelling tot functioneel eiwit dat de nutritionele aminozuren in de vorm van een intacte langere keten van aminozuren bevat die structuur kan geven aan voedingsmiddelen. Bij de extractie van nutritioneel eiwit uit zeewier is er meer keuzevrijheid van technieken en condities dan bij de extractie van functioneel eiwit waarbij de structuur behouden moet blijven. Functioneel eiwit heeft wel een hogere financiële waarde. Voor zeewier (*Saccharinna*) zijn hoge eiwitopbrengsten van 90% behaald (eigen experimenten) door toepassing van enzymen die eiwit in kleinere stukken knippen (proteases) of door een behandeling onder basische condities (pH 12 bij verhoogde temperatuur tot korte peptiden en kleine aminozuren).

De nutritionele kwaliteit van zeewiereiwit is tot op heden onvoldoende onderzocht. De verwachting is dat er een grote variatie in aminozuurprofielen tussen zeewiersoorten is, net als bij plantaardige eiwitbronnen, en dat er binnen een zeewiersoort grote verschillen in totaal eiwit door het seizoen kunnen plaatsvinden met een relatief kleine verschuiving in aminozuurprofielen. Voor de zeewiersoorten kelp (*Laminaria*), laver (*Porphyra umbilicalis*) en wakame (*Undaria pinnatifida*) waren aminozuurwaarden beschikbaar in een database en deze zijn vergeleken met de aanbevelingen voor de essentiële aminozuurinname van FAO voor kinderen tussen 6-36 maanden (FAO, 2013). Wakame heeft een relatief laag percentage van het essentiële aminozuur histidine (25% t.o.v. een ideale samenstelling) terwijl kelp relatief weinig phenylalanine bevat (49% t.o.v. de aanbeveling). Laver bevat relatief weinig lysine (67% t.o.v. de aanbeveling). In een gevarieerd dieet hoeven dit soort waarden geen probleem te zijn, omdat ze gecompenseerd worden door producten die weer een wat hoger gehalte van deze essentiële aminozuren bevatten. Voor diervoeder is het noodzakelijk om



gebalanceerde voeder mengsels te maken of omdat dan soms ontbrekende individuele aminozuren toe gevoegd moeten worden om tot een goede balans voor inname te komen. Daarvoor is het belangrijk om van een stabiele samenstelling van zeewier uit te kunnen gaan en dat niet elke batch apart geanalyseerd hoeft te worden om seizoen en jaar variatie te corrigeren.

De nutritionele kwaliteit van het eiwit wordt ook bepaald door de verteerbaarheid. In zeewieren worden verbindingen gevonden die de verteerbaarheid verlagen zoals lectines, fytinezuur en andere fenolische verbindingen (de Oliveira *et al.*, 2009).

Intact zeewier of eiwitconcentraat zou bij visteelt mogelijk ingezet kunnen worden als eiwitvervanger voor soja of vismeel. Tilapia presteert vergelijkbaar op een dieet waarbij 20% van het soja-eiwit is vervangen door een eiwitconcentraat van het groene zeewier *Ulva spp.* en een referentiedieet waarbij geen soja is vervangen (Kals *et al.*, 2020). Een aandachtspunt is dat in het Zeevivo project het hoogste zeewierconcentraat slechts 38% eiwit bevatte, terwijl visvoerfabrikanten minimaal 60% eiwit eisen om in aanmerkingen te komen als alternatief voor vismeel. Bij een lage eiwitzuiverheid en aanwezigheid van hydrocolloïden zijn toepassingen slechts bij een aantal vissoorten mogelijk, zoals bij tilapia. Het bereiken van hogere zuiverheidsgraden van eiwitconcentraten is dus wenselijk.

Bij pluimvee en varkens wordt de eiwitvertering uit zeewier bemoeilijkt door de lastig afbreekbare hydrocolloïden en fenolen. Echter, deze componenten kunnen juist in deze diergroepen positieve gezondheidseffecten bewerkstelligen en daarbij dierenwelzijn en dierproductie verbeteren (Øverland *et al.*, 2019). Voor herkauwers ligt de focus hoofdzakelijk op het gebruik van zeewier als supplement of additief, waarbij naar specifieke bio-functionaliteiten gekeken wordt, zoals gezondheidsbevorderende of methaan reducerende effecten. Zeewier als eiwitvervanger voor herkauwers staat op dit moment minder centraal vanwege de benodigde grote hoeveelheden. De eerste mogelijkheden als eiwitvervanger voor herkauwers ligt mogelijk in het (deels) vervangen van ruwvoer door zeewier. Binnen Proseaweed is er een project dat zich richt op de nutritionele waarde voor diervoeder, waardoor er binnenkort meer gegevens beschikbaar komen.

### 3.3 Functioneel eiwit voor humane toepassingen

Voor de extractie van functionele eiwitten moet de oorspronkelijke eiwitstructuur behouden blijven. Vergeleken met nutritionele eiwitten voor diervoeder, hebben concentraten en isolaten van functioneel eiwit een 10 maal hogere economische waarde. Momenteel wordt er veel onderzoek gedaan om functionele eiwitten van dierlijke oorsprong te vervangen door plantaardige eiwitten. Er is weinig onderzoek gedaan naar het winnen van functionele eiwitten uit zeewier, maar milde enzymatische behandelingen biedt mogelijkheden. Momenteel wordt binnen Proseaweed gewerkt aan het winnen van functionele eiwitten uit *Saccharina* en *Ulva*. Het is te vroeg om te concluderen of het op industriële schaal isoleren van functioneel zeewiereiwit technisch en/of economisch haalbaar is, maar er kan gesteld worden dat er nog veel ontwikkeling nodig is.

Er zijn *in vitro* experimenten gedaan met eiwitfracties uit zeewier, hierbij werden grote verschillen in verteerbaarheid voor mensen gevonden (30-85%) (Galland-Irmouli *et al.*, 1999, Wong *et al.*, 2001). Zeewiersoort, oogstmoment en gebruikte extractiemethode zullen grote invloed hebben op de verteerbaarheid. In het algemeen kan verwacht worden dat zuiverder eiwit een grotere range aan toepassingen in de voedingsindustrie heeft en een hogere verteerbaarheid, maar ook dat dat gepaard gaat met hogere kosten vanwege een lagere eiwitopbrengst. Aangezien de huidige productiekosten al relatief hoog ingeschat worden, kan daarmee een probleem ontstaan met de huidige haalbaarheid van zeewiereiwit voor humane consumptie.

### 3.4 Zeewierextracten voor indirecte eiwitproductie op land

Zeewier kan ook op andere manieren ingezet worden voor de productie van eiwit, zoals het gebruik als biostimulant voor de bevordering van plantengroei en plantenweerbaarheid (Khan *et al.*, 2009). Bij toepassing op eiwitrijke gewassen zou zeewier indirect dus een bijdrage kunnen leveren aan de

eiwitvoorziening via productieverhoging. Onderzoek hiernaar is lopende. Andere interessante componenten uit zeewier zijn die met antibacteriële werking (Pérez *et al.*, 2016), of stoffen die de gezondheid van mens en dier kunnen ondersteunen (Kolanjinathan *et al.*, 2014, Rathnayake *et al.*, 2019). Indien hierbij de werkzame stoffen worden geïdentificeerd (soms kan het ook een combinatie van werkzame stoffen zijn) en deze in de toekomst uit zeewier geëxtraheerd worden, zouden er zijstromen kunnen ontstaan waaruit eiwit te halen is voor food of feed toepassingen. Onderzoek naar dergelijke werkzame stoffen is nog lopende op vele plaatsen in de wereld en de toekomst zal leren of dergelijke commerciële extracties opgezet gaan worden en of daarbij eiwitstromen gevaloriseerd kunnen worden.

Het blijft natuurlijk de vraag of dergelijke bioactieve componenten ooit opgezuiverd gaan worden uit zeewier. In het geval van medische toepassingen worden werkzame stoffen vaak bij voorkeur via biotechnologie in expressiesystemen of organismen zoals gist gemaakt. In het geval van de biostimulant is het waarschijnlijk efficiënter om zo weinig mogelijke bewerkingen toe te passen om de biostimulant zo goedkoop mogelijk te houden. Dan zullen er bij dit proces weinig of geen eiwitrijke zijstromen ontstaan.

### **3.5 Eiwit als bijproduct bij productie van hydrocolloïden**

Er is een bestaande zeewierverwerkende industrie waarin algiinaat wordt gewonnen uit bruinwieren. De winning en introductie van eiwit uit zeewier zou kunnen worden versneld door aan te haken bij deze industrie. De bruinwieren voor algiinaatproductie worden op meerdere plekken in de wereld direct voor de kust wild geoogst. Algiinaat uit zeewier wordt toegepast in voedsel-, farmaceutische en biomedische producten. Het wordt gebruikt voor verdikking van waterige oplossingen, vorming van gels (als vervanging van monovalente kationen door calcium) en voor filmvorming. Tijdens de isolatie van algiinaat ontstaan reststromen die eiwit bevatten. Echter, het huidige productieproces van algiinaat is ontwikkeld voor de optimale opbrengst en functionaliteit van alginaten. De bij het proces gebruikte hoge (alkalische) pH heeft een negatief effect op de functionaliteit van het eiwit in voedingsproducten, bovendien zijn de reststromen divers en sterk verdund. Voor de winning van zowel algiinaat als eiwit is het noodzakelijk om het hele opwerkingsproces te herontwerpen.

### **3.6 De uitdagingen**

De uitdagingen met betrekking tot de verwerking van zeewieren tot producten is de balans tussen de kosten, het rendement en de waarde van het eindproduct, welke samenhangt met de functionaliteiten en toepassingen. De maximale opbrengst aan waardevolle producten uit het gewas zal een uitdaging zijn, zeker als voor het behouden van de eiwitfunctionaliteit milde procescondities gevraagd worden. Wat nodig is voor de winning van bioactieve componenten uit zeewier voor medische, voeder of toepassing als biostimulant is nog onbekend.

Een belangrijke innovatie zou zijn het beschikbaar hebben van specifieke enzymen om de zeewier-specifieke celwandstructuren af te kunnen breken en de eiwitten efficiënt te ontsluiten. Daarnaast is er technologieontwikkeling nodig voor milde lokale behandeling tot een stabiel tussenproduct, omdat er waarschijnlijk spanning ontstaat tussen oogst van waterrijk vers product en directe verwerking tot eindproduct. Een interessante ontwikkeling zou een efficiënt proces voor het opzuiveren van eiwit met nog aanwezig/gekoppeld algiinaat kunnen zijn, waardoor er waarschijnlijk eiwitfracties met nieuwe functionele eigenschappen ontstaan.

## 4 Voedselveiligheid

### 4.1 Veiligheid

Veiligheid van het te consumeren product kan bedreigd worden door in het zeewater aanwezige verontreinigingen. Andere aspecten van veiligheid en nutritionele waarde van zeewier en zeewiereiwit betreffen: de mogelijke aanwezigheid van toxines geproduceerd door cyanobacteriën en andere organismen die op zeewieren kunnen voorkomen (Cheney, 2016); de eigenschap van zeewieren om zware metalen te accumuleren, waardoor deze hoog kunnen zijn in bijvoorbeeld arseen en lood (Almela *et al.*, 2006, Besada *et al.*, 2009, Cheney *et al.*, 2014); mogelijk hoge jodiumconcentraties in zeewieren (Teas *et al.*, 2004), wat afhankelijk van de persoon en concentraties voordelen of veiligheidsrisico's kan geven (Rhee *et al.*, 2011, Michikawa *et al.*, 2012); en de vrij hoge gehalten natrium, kaliumzouten, natriumglutamaat (MSG) en nitriet (Villares *et al.*, 2007).

Uit eigen onderzoek gericht op eiwitisolatie uit nieuwe plantaardige bronnen, is gebleken dat tijdens het eiwitisolatieproces veel zware metalen, nitraten en vitamines (bv vitamine K) nog in hoge concentraties in de eiwitpoeders aanwezig kunnen blijven, wat beperkingen geeft aan de maximaal in te nemen hoeveelheden om grenswaarden niet te overschrijden. In Proseaweed wordt aandacht besteed aan de concentraties aan zware metalen in zeewier door de seizoenen heen en de daaruit voortvloeiende mogelijke veiligheidsissues.

### 4.2 Novel Food registratie

Een veiligheidsanalyse zal deel uit moeten maken van een Novel Food aanvraag voor zeewiereiwit, die noodzakelijk is voordat dit product op de markt gebracht kan worden. Novel Foods zijn voedingsmiddelen en ingrediënten die niet vóór 15 mei 1997 binnen de EU als voedingsmiddel werden verkocht. Hoewel zeewier in Europa al gegeten werd voor die datum, zal een eiwitextract of -concentraat daaruit toch als een Novel Food bestempeld worden, net zoals dat voor aardappelwit het geval was. Een belangrijke vraag is of het nodig is om voor elke zeewiersoort een aparte autorisatieprocedure te doorlopen, of dat er voor een mengsel of bredere applicatie voor alle Noordzeewier-gebaseerde eiwitten één dossier ingediend kan worden.

### 4.3 De uitdagingen

De veiligheid en de hoeveelheden eiwitextract uit zeewier die per dag geconsumeerd mag worden, na toegelaten, zal van vele zaken afhangen. Hiervoor is onderzoek nodig, zoals nu gebeurt bij andere nieuwe plantaardige eiwitbronnen.

Bij nieuwe winprocessen van het eiwit voor voedingsdoeleinden moet de voedselveiligheid, de nutritionele en functionele waarde van het eiwit goed in het oog gehouden worden. Zeewier (en afhankelijk van het winproces mogelijk ook het eiwit uit zeewier) bevat van nature zouten en zware metalen, zoals jood en arseen, waar mensen niet te veel van mogen innemen en die mogelijk ook bij andere toepassingen tot problemen kunnen leiden. Potentieel aanwezige aquatoxines kunnen bedreigend zijn voor de gezondheid. Er is behoefte aan een kwaliteitscontrolesysteem om veiligheid van inname van zeewier en zeewier afgeleide producten te garanderen.

## 5 Gevolgen voor de business case van *Saccharina ssp.* productie op de Noordzee

### 5.1 Algemeen

Bij het inschatten van de business cases is gekeken naar de mogelijke opbrengst: de potentiële marktomvang en de marktwaarde van de verschillende producten. De teeltkosten worden geadresseerd in 5.2, de verwerkingskosten zijn nog moeilijk in te schatten aangezien procesroutes nog in ontwikkeling zijn. De mogelijke opbrengsten zijn richtinggevend voor welke producten economisch haalbaar zijn.

In deze memo is uitgegaan van een zeewierboerderij in de Noordzee met een omvang van 14.500 hectare en een opbrengst van 10 ton drooggewicht per hectare per jaar zoals geconcludeerd als haalbare productiecijfers waarbij geen negatieve impact op leven in Noordzee verwacht wordt (van Duren *et al.*, 2019). Dit resulteert in een jaarlijkse zeewierproductie van 145 kton (drooggewicht). Er is aangenomen dat het drooggewicht bestaat uit 10% eiwitten, 35% hydrocolloïden en 40% andere koolhydraten en 15% mineralen.

In de onderstaande paragrafen proberen we een beeld te geven van de marktgrootte, het potentiële aanbod vanuit zeewierteelt op 14.500 ha, en de mogelijke economische waarde van de producten. Er wordt hierbij gewerkt met ruwe schattingen, om enige richting te geven aan business cases voor zeewier en eventuele combinaties van te bedienen markten.

Tot slot wordt opgemerkt dat de Europese markt voor biostimulanten en hydrocolloïden uit zeewier momenteel bediend wordt door wild-geoogst zeewier. De kosten van wild-geoogst zeewier, en eventueel de concurrentie met geteeld zeewier, is bij de onderstaande beschouwing niet mee genomen.

### 5.2 Geschatte kosten voor de productie van *Saccharina latissima* op de Noordzee

De kosten voor teelt van *Saccharina spp.* op de Noordzee zijn nog onzeker. Op de proefboerderij van het North Innovation Lab is gebleken dat teelt op open zee mogelijk is, maar de business case voor grootschalige teelt is nog niet duidelijk. Dat betekent niet dat er geen informatie is, er zijn diverse scenario studies uitgevoerd naar de te verwachten kosten van productie en er zijn studies naar de kosten van productie in andere, redelijk vergelijkbare, locaties. In deze memo zetten we de resultaten van drie studies op een rij.

In 2016 publiceerden van den Burg *et al.* (2016) een studie waarin de *toekomstige* kosten van zeewierteelt op de Noordzee werden berekend op basis van *expert judgement*. De conclusie was dat zeewierteelt naar verwachting ca. 31.500 €/hectare zou kosten, inclusief de oogst en transport naar de kust maar exclusief eventueel drogen.<sup>1</sup> De geschatte opbrengst per hectare bedroeg 20 ton DS (droge stof), waarmee de kosten per ton DS zouden uitkomen op 1.580 €. Opbrengsten van 20 ton DS per hectare zijn in de praktijk nog niet gerealiseerd. Als we uitgaan van een productie van 10 ton DS per hectare, bedragen de geschatte kosten 3.160 €/per ton DS, oftewel 3,16 €/kg DS.

Bak *et al.* (2019) presenteren empirische data van een zeewierboerderij nabij de Faeröer eilanden. Hier wordt *Saccharina latissima* geproduceerd. De locatie bij de Faeröer eilanden heeft als voordeel dat de watertemperatuur jaarrond constant is, waardoor er meerdere oogsten per jaar mogelijk zijn en de zaailijnen mogelijk jaarrond in het water kunnen blijven. Beide is naar verwachting niet het geval in de Noordzee en we beperken ons daarom tot het basisscenario waarin wordt uitgegaan van 1 oogst per jaar en het jaarlijks vervangen van de zaailijnen. De totale kosten per ton zeewier (DS) bedragen in het basisscenario 36.730 € oftewel 36,73 €/kg DS.

---

<sup>1</sup> In de studie worden de kosten in dollars gepresenteerd. De dollarkoers van 31-03-2021 is gebruikt bij het omrekenen

In de studie van Hasselström *et al.* (2020) worden empirisch verkregen data van een 2 hectare grote zeewierboerderij in Zweden gepresenteerd. Op deze zeewierboerderij wordt *Saccharina latissima* geproduceerd, met een opbrengst van 3,35 ton per hectare. De totale productiekosten bedragen volgens Hasselstrom *et al.* (2020) 10.954 € voor een ton zeewier (DS)<sup>2</sup> oftewel 10,95 €/kg DS. Uit deze studies blijkt een grote spreiding (3-30 €/kg DS) aan teeltkosten.

## 5.3 Geschatte opbrengsten

### 5.3.1 Nutritioneel eiwit voor diervoeder

Diervoeder vertegenwoordigt verreweg de grootste afzetmarkt voor plantaardig eiwit. Voor dieren is vooral de nutritionele waarde en verteerbaarheid van het voer belangrijk. Wereldwijd wordt ongeveer 60-70 Mton aan eiwit in diervoeder verwerkt (Mulder *et al.*, 2016). In Nederland is ongeveer 3,5 Mton ruw eiwit nodig voor de veestapel. Hiervan wordt ongeveer 1,5 Mton ingevoerd, vooral in de vorm van sojaschroot, een zijstroom bij de productie van sojaolie. Verder komt 500 kton uit Nederlandse teelt, en is er ongeveer 1,5 Mton ruw eiwit in gras, voor herkauwers zoals koeien (Voudouris *et al.*, 2017).

Vanuit het hypothetische voorbeeld van het productieveld van 14,5 km<sup>2</sup> (met 145 kton DS/jaar en 10% eiwit) op de Noordzee kan potentieel 14,5 kton drooggewicht eiwit geteeld worden per jaar. Qua hoeveelheid zou dit makkelijk afzet richting diervoeder kunnen vinden. Door de relatief lage concentratie eiwit en de verwachte lage verteerbaarheid, lijkt de stap naar toepassing als directe eiwitbron echter te groot, voor zowel herkauwers als voor pluimvee en varkens. Daarvoor zal verdere verwerking tot een meer geconcentreerd en beter verteerbaar eiwitproduct nodig zijn, en dan wordt het de vraag of dit economisch uit kan. De toepassing als voer voor bepaalde soorten vissen als tilapia lijkt nog de beste mogelijkheid. De waarde wordt grotendeels bepaald door het eiwitgehalte. De prijs van nutritioneel eiwit voor diervoeder ligt rond 1 €/kg drooggewicht eiwit (Teekens *et al.*, 2016). Met een eiwitgehalte van 10-15% op basis van droge stof in zeewier, is de directe waarde voor diervoeder te schatten rond de 0,25 €/kg DS, er van uitgaande dat de andere componenten van het zeewier ook nog bijdragen. Dit is ruim lager dan de teeltkosten. Een goede business case voor zeewierteelt voor toepassing als eiwitbron in diervoeder is op korte termijn dan ook niet te verwachten.

### 5.3.2 Functioneel eiwit voor humane toepassingen

Meer dan de helft van het functionele eiwit dat momenteel verhandeld wordt, is van dierlijke oorsprong (kippenei- en melkeiwit). Een plantaardig alternatief is soja-eiwit, goed voor ongeveer één vijfde van het huidige aanbod. Functionele plantaardige eiwitalternatieven komen over het algemeen op de markt als isolaten en concentraten. De wereldmarkt voor eiwitconcentraten en -isolaten is ongeveer 1500 kton (Mulder *et al.*, 2016). Vanuit zeewier, gekweekt op de Noordzee met de productiecapaciteit van 14,5 km<sup>2</sup> (met 145 kton DS/jaar en 10% eiwit) kan potentieel jaarlijks 14,5 kton drooggewicht eiwit geproduceerd worden. Het is nog onbekend welk deel van het zeewiereiwit als functioneel eiwitisolat gewonnen kan worden.

De prijs van eiwit voor humane toepassingen wordt vooral bepaald door de functionaliteit, ofwel de textureringseigenschappen. De functionaliteit van zeewiereiwitten is niet bekend, omdat deze samenhangt met de isolatiemethoden die nog in ontwikkeling zijn. Voor een goede business case is de productie van functioneel eiwitisolat of -concentraat te prefereren. Een functioneel plantaardig eiwit is ongeveer 8 €/kg eiwit waard (Voudouris *et al.*, 2017). Als alleen eiwit wordt gewonnen uit zeewierbiomassa, dan zullen kosten voor teelt, verwerking en eiwitisolatie/-concentratie waarschijnlijk hoger zijn dan deze waarde.

---

<sup>2</sup> We presenteren hier de mid-point values. In de originele publicatie wordt voor een aantal parameters ook upper- en lower boundaries gegeven

### 5.3.3 Zeewierextracten voor indirecte eiwitproductie op land

Zeewierbiostimulanten voor planten vormen een gevestigde markt waarvan ook marktgegevens bekend zijn. Stichting Noordzee Boerderij/ North Sea Farmers (2018) heeft een marktstudie gedaan, waarbij de wereldwijde markt voor biostimulanten in 2016 geschat is op 1.449 M€, waarvan de zeewierbiostimulanten een groot deel vertegenwoordigen, namelijk 483 M€.

Voor de beschouwingen in dit rapport (productiecapaciteit 14,5 km<sup>2</sup>, 145 kton DS/jaar), is het moeilijk in te schatten hoeveel droge stof aanwezig is in een extract. Als we rekenen met een kwart van de totale droge stof en met de huidige prijs voor commerciële extracten komen we op een marktwaarde van 900 M€, beduidend meer dan de hierboven geschatte huidige wereldwijde markt voor biostimulanten gewonnen uit zeewier.

Voor biostimulanten uit zeewier wordt een relatief hoge prijs gevraagd van 6-7 €/L (Kelpak 2020, Stimplex 2020). Gezien de gedeclareerde hoge dichtheid van dit soort producten, schatten wij het drogestofgehalte rond de 25%, wat leidt tot een schatting van de productprijs van ongeveer 25 €/kg droge stof.

Bij het commerciële gebruik van zeewier als biostimulant wordt gebruik gemaakt van extracten van zeewier en van gezuiverde verbindingen, waaronder hydrocolloïden en hun afbraakproducten, micro- en macronutriënten, sterolen, en N-bevattende verbindingen zoals betainen en hormonen (Stichting Noordzee Boerderij/ North Sea Farmers, 2018). Het maken van meerdere producten uit het gebruikte zeewier is moeilijker, omdat voor biostimulanten een groot deel van het zeewier gebruikt wordt. Bovendien is onbekend of potentiële bijproducten zoals alginaat of eiwit niet ook zelf een (essentieel) onderdeel zijn van de werking als biostimulant. Toch lijkt het een haalbaar product gezien de prijs, ook als het het enige product is. De potentiële productie op de Noordzee is van een zodanige grootte dat deze het huidige geschatte prijsniveau kan beïnvloeden.

### 5.3.4 Combinaties van toepassingen: Eiwit als bijproduct bij productie van hydrocolloïden

De wereldmarkt voor hydrocolloïden zoals agar, alginaat en carrageen uit wieren bedroeg in 2011 ongeveer 86 kton drooggewicht per jaar (Bixler en Porse, 2011). Deze hydrocolloïden worden o.a. in de voedingsmiddelenindustrie toegepast als geleer- en verdikkingsmiddelen.

Bij zeewierteelt op 14.500 ha in de Noordzee (14,5 km<sup>2</sup>, 145 kton DS/jaar, 35% hydrocolloïden) zou potentieel 50 kton drooggewicht aan hydrocolloïden per jaar kunnen worden geproduceerd. Dat is meer dan de helft van de huidige wereldmarkt voor hydrocolloïden. De prijs van hydrocolloïden ligt momenteel tussen de 9-16 €/kg drooggewicht (Bixler en Porse, 2011). Een potentiële productie van 50 kton vanuit teelt op de Noordzee zou vergezeld moeten gaan met een groei in de markt zelf om het huidige prijsniveau te kunnen behouden.

Door aan te haken bij de bestaande zeewierverwerkende industrie waarin alginaat wordt gewonnen uit bruinwieren, zou de winning van eiwit uit zeewier kunnen worden versneld. Daarvoor is het nodig om het huidige proces voor alginaatwinning te herontwerpen om zo de negatieve effecten van de huidige procesvoering op de eiwitfunctionaliteit te minimaliseren. Additioneel komt er dan de eerder genoemde 14,5 kton drooggewicht eiwit per jaar ter waarde van 8 €/kg eiwit beschikbaar.

## 5.4 Vergroten van de waarde

### 5.4.1 Reduceren van de kosten voor zeewierteelt

De economische haalbaarheid van zeewierteelt en -verwerking is onderwerp van meerdere studies. Er wordt gezocht naar mogelijkheden om de productiekosten op de Noordzee te verminderen. Van den Burg (2019) rekende de economisch effecten van een aantal innovaties door in een scenario-analyse. Het opschalen van de productie heeft naar verwachting een kostprijsverminderend effect, tot ca. 10%. Een significante kostprijsreductie is met name te verwachten als de kosten voor zaailijnen verminderd worden (tot 50% kostprijsvermindering) en als de opbrengsten vergroot worden (tot 60% kostprijsvermindering) maar dit kan de kans op lokale negatieve ecologische effecten weer vergroten

### 5.4.2 Branding/marktpositie verbeteren

Een andere strategie om de business case voor zeewierteelt te verbeteren is om de waarde van het in Europa geproduceerde zeewier te vergroten. Dat kan op verschillende manieren. Certificering, waarbij de unieke kwaliteiten van een product benadrukt worden, kan een product aantrekkelijker maken voor afnemers. Een zelfde resultaat kan gerealiseerd worden door de herkomst van producten (Nederlandse zeewier) of ingrediënten (North Sea seaweed inside) te benadrukken.

### 5.4.3 Erkennen van maatschappelijke baten en ecosysteemdiensten

Enkele andere manieren om de financiële opbrengst van zeewier te verhogen worden in deze memo niet verder uitgewerkt. In diverse projecten wordt gekeken of er waarde kan worden toegekend aan de bij teelt geleverde ecosysteemdiensten, zoals verbetering van de waterkwaliteit, of de opname van koolstof. Voor een afweging van maatschappelijke kosten en baten van zeewierteelt is het van belang waarde toe te kennen aan het feit dat geen zoet water en geen bestaand landbouwareaal wordt gebruikt, en deze op land voor andere toepassingen zoals natuur en woningbouw beschikbaar komen.

## 5.5 De uitdagingen

Eiwit verkregen uit zeewier zal in de markt moeten concurreren met bestaande plantaardige eiwitbronnen (soja, erwten etc.) en met bronnen die momenteel in ontwikkeling zijn, zoals bijvoorbeeld reststromen uit de groentesnijderijen, suikerbietenblad en aardappelen. Eiwit uit groenteresten, suikerbietenblad en aardappelen hebben een voorsprong aangezien dit valorisaties zijn van reeds winstgevendende gewassen. Zeewier moet deze ontwikkeling nog doormaken.

## 6 Vooruitblik

Deze memo analyseert de kansen voor eiwit uit zeewier, met in gedachte de business case voor grootschalige zeewierteelt op de Noordzee.

De thans ogenschijnlijk hoge kosten van zeewierteelt (tot 31 k€/ton droge stof) betekent niet dat er geen business case is voor huidige en toekomstige producenten. Producenten zoeken naar markten en toepassingen met hogere waarde, zoals cosmetica en farmaceutica (van den Burg *et al.*, 2021). Ter illustratie, Hasselström *et al.* (2020) gaan uit van een verkoopprijs van 31 €/kg droge stof. Daarnaast is de verwachting dat door technologische ontwikkelingen de teelt goedkoper wordt. De zeewiersector staat immers aan het begin van een ontwikkeling die de agrarische sector op het land de afgelopen decennia heeft doorgemaakt.

Eiwit verkregen uit zeewier zal in de markt moeten concurreren met bestaande plantaardige eiwitbronnen (soja, erwten etc.) en met bronnen die momenteel in ontwikkeling zijn, waarvan sommige een voorsprong hebben aangezien dit valorisaties zijn van reeds winstgevendende gewassen. Daarnaast zal geteeld zeewier moeten concurreren met wild-geogst zeewier op de Europese markt voor biostimulanten en hydrocolloïden.

Resumerend concluderen wij dat

- Noordzee-zeewier niet snel een vervanger zal zijn van soja in de diervoedingsketen;
- Functionele eiwitten voor humane consumptie meer perspectief bieden, maar hier nog veel ontwikkeling nodig is om eiwitextractie technologisch en economisch haalbaar te maken.
- De markt voor biostimulanten uit zeewier klein is, maar kansrijk. De vragen bij deze markten zijn vooral of de teelt van zeewier kan concurreren met wilddoogst en hoe de vraag zich zal ontwikkelen.
- Winning van eiwitten mogelijk is te verrijken met gecombineerde processen zoals extractie van hydrocolloïden of productie van biostimulanten, waarbij nieuwe processen ontwikkeld worden die rekening houden met toepassing van alle productstromen.

## Nawoord

We willen hierbij graag onze overleden collega Marinus van Krimpen gedenken en onze waardering uitspreken voor zijn betrokkenheid bij het richting geven aan deze notitie.

## Referenties

- Almela, C., et al. (2006). "Total arsenic, inorganic arsenic, lead and cadmium contents in edible seaweed sold in Spain." *Food Chem Toxicol* **44**(11): 1901-1908.
- Angell, A.R., Mata, L., de Nys, R. et al. (2016) . The protein content of seaweeds: a universal nitrogen-to-protein conversion factor of five. *J Appl Phycol* 28, 511–524.
- Bak U.G. (2019) Seaweed cultivation in the Faroe Islands: An investigation of the biochemical composition of selected macroalgal species, optimised seeding technics, and open-ocean cultivation methods from a commercial perspective. Ph.D. thesis
- Besada, V., et al. (2009). "Heavy metals in edible seaweeds commercialised for human consumption." *Journal of Marine Systems* **75**(1-2): 305-313.
- Bjarnadóttir, M., et al. (2018) *Palmaria palmata* as an alternative protein source: enzymatic protein extraction, amino acid composition, and nitrogen-to-protein conversion factor. *J. Appl. Phycol.* 30 (3), 2061–2070.
- Burg, S.W.K. van den et al. (2016) zeewier en natuurlijk kapitaal. LEI report 2016-049
- Bixler, H.J., Porse, H. (2011) A decade of change in the seaweed hydrocolloids industry. *J Appl Phycol* 23, 321–335 .
- Cheney, D. (2016). Chapter 13 - Toxic and Harmful Seaweeds. *Seaweed in Health and Disease Prevention*. J. Fleurence and I. Levine. San Diego, Academic Press: 407-421.
- Cheney, D., et al. (2014). "Uptake of PCBs contained in marine sediments by the green macroalga *Ulva rigida*." *Mar Pollut Bull* **88**(1-2): 207-214.
- Dumay, J. and Morançais, M. (2016) Proteins and pigments. In book: *Seaweed in Health and Disease Prevention* (pp.275-318)
- FAO 2013. Report on dietary protein quality evaluation in human nutrition: recommendations and implications. *Nutr Bull.* 2013 38, 421–8.
- FAO STAT. (2018). from <http://www.fao.org/faostat/en/#home>.
- FAO STAT. (2019). from <http://www.fao.org/faostat/en/#home>.
- Galland-Irmouli, A.-V., et al. (1999). "Nutritional value of proteins from edible seaweed *Palmaria palmata* (dulse)." *The Journal of Nutritional Biochemistry* **10**(6): 353-359.



- Hasselström, L., et al. (2020) Socioeconomic prospects of a seaweed bioeconomy in Sweden. *Sci Rep* **10**, 1610.
- Iñiguez et al. (2019) Rubisco carboxylation kinetics and inorganic carbon utilization in polar versus cold-temperate seaweeds. *Journal of Experimental Botany*, Vol. 70, No. 4 pp. 1283–1297, 2019
- Kals, J., et al (2020) ZEEVIVO Zeewier in visvoer: Visproductie: selectie en karakterisatie van op zeewier gebaseerde eiwitconcentraten voor visvoeders. Wageningen Livestock Research.
- Kelpak (2020) <https://hydroponic.co.za/hydroponics/kelpak/>, bekeken op 18 Juni 2020
- Khan, W., et al. (2009). "Seaweed Extracts as Biostimulants of Plant Growth and Development." *Journal of Plant Growth Regulation* **28**(4): 386-399.
- Kolanjinathan, K., et al. (2014). "Pharmacological Importance of Seaweeds: A Review." *World Journal of Fish and Marine Sciences* **6**(1): 1-15.
- Lourenco, S.O. et al (2002). Amino acid composition, protein content and calculation of nitrogen-to-protein conversion factors for 19 tropical seaweeds. *Phycological Research* **50**:233-241.
- Mesnildrey et al, (2012) Seaweed industry in France. Report. Interreg program NETALGAE. Les publications du Pôle halieutique AGROCAMPUS OUEST n°9, 34 p
- Michikawa, T., et al. (2012). "Seaweed consumption and the risk of thyroid cancer in women: the Japan Public Health Center-based Prospective Study." *Eur J Cancer Prev* **21**(3): 254-260.
- Mulder, W., et al. (2016). Proteins for Food, Feed and Biobased Applications: Biorefining of Protein Containing Biomass. IEA Bioenergy Task 42.
- Oliveira, M.N. de et al. (2009) Nutritive and non-nutritive attributes of washed-up seaweeds from the coast of Ceará, Brazil. *Food Chemistry* **115**(1):254-259.
- Øverland, M., et al. (2019). "Marine macroalgae as sources of protein and bioactive compounds in feed for monogastric animals." *Journal of the Science of Food and Agriculture* **99**(1): 13-24.
- Pérez, M.J., et al. (2016). "Antimicrobial Action of Compounds from Marine Seaweed." *Marine Drugs* **14**(3): 52.
- Pliego-Cortés, H. et al. (2019) Stress tolerance and photoadaptation to solar radiation in *Rhodomenia pseudopalmeta* (Rhodophyta) through mycosporine-like amino acids, phenolic compounds, and pigments in an Integrated Multi-Trophic Aquaculture system. *Algal Res.* 2019, **41**, 101542.
- Rathnayake, A.U., et al. (2019). "Anti-Alzheimer's Materials Isolated from Marine Bio-resources: A Review." *Curr Alzheimer Res* **16**(10): 895-906.
- Rhee, S.S., et al. (2011). "High iodine content of Korean seaweed soup: a health risk for lactating women and their infants?" *Thyroid* **21**(8): 927-928.
- Stichting Noordzee Boerderij (2018). "Identification of the seaweed biostimulant market (phase 1)" Deliverable 1.1.1 of Bio4safe WP1 Market analyses.
- Stévant, P., et al. (2017) Seaweed aquaculture in Norway: recent industrial developments and future perspectives. *Aquaculture International*, vol. 25, no. 4.
- Stimplex (2020) <http://shop.ocp.com.au/product/stimplex/> and <https://ilex-envirosciences.com/our-products/crop-biostimulants/stimplex/>, bekeken op 25 Juni 2020.
- Teas, J., et al. (2004). "Variability of Iodine Content in Common Commercially Available Edible Seaweeds." *Thyroid* **14**(10): 836-841.
- Teekens A.M., et al. (2016) Synergy between bio-based industry and the feed industry through biorefinery. *J Sci Food Agric.* 2016 Jun;**96**(8):2603-12.

- Van den Burg, 2019. Economic prospects for large-scale seaweed cultivation in the North Sea. Wageningen, Wageningen Economic Research, Memorandum 2019-012. 20 pp.; 6 fig.; 5 tab.; 10 ref.
- van Duren, L., et al. (2019). Een realistische kijk op zeewierproductie in de Noordzee. Memo. (BO-43-023.03-005): 11 pp.
- Villares, R., et al. (2007). "Drift-Seaweed Evaluation for Fertilizer Use in Galiza (Northwest Spain): Tissue Elemental Characterization and Site-Sampling Differences." Journal of Sustainable Agriculture **31**(1): 45-60.
- Voudouris, P. et al. (2017) Sustainable Protein Technology; An evaluation on the STW Protein programme and an outlook for the future. WUR report 1786.
- Wong, K.H., et al. (2001). "Nutritional evaluation of some subtropical red and green seaweeds Part II. In vitro protein digestibility and amino acid profiles of protein concentrates." Food Chemistry **72**(1): 11-17.