

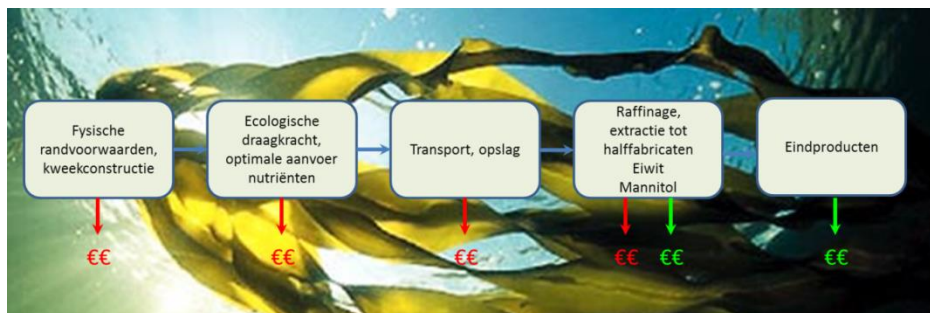
1. Nederlandse samenvatting Noord-Zee-Wier-Keten

Proloog; samenwerken; het geheel is meer dan de som der delen

In het project Noord-Zee-Wier-Keten hebben vijf instituten (MARIN, TNO, Deltares, ECN en DLO) intensief samengewerkt aan een waardeketen van zeewier. De beschikbare expertise van de instituten beslaat de gehele zeewierketen, van productie op offshore locaties tot business cases voor verschillende eindproducten. Samenwerken blijkt essentieel om de potenties die zeewier biedt te verzilveren. Samenwerken gaat echter niet vanzelf. Er is een gezamenlijk doel voor nodig, complementaire expertises, een wil om samen te werken en de mogelijkheid om tijd te besteden om elkaars taal te leren spreken en je te verdiepen in elkaars kennis. Het samenwerken beperkte zich niet tot de instituten; ook partijen buiten het consortium hebben een essentiële bijdrage aan het eindresultaat geleverd.

1.1 Zeewier; oogst van de toekomst

Zeewier is een potentieel belangrijke voedselbron en grote duurzame koolstofbron voor de biobased economy. Met de groeiende wereldbevolking is het noodzakelijk om voor ons voedsel meer te kijken naar de zee als 'landbouwgebied'. Boeren op zee is een grote uitdaging. Het vereist grote investeringen in infrastructuur. Voordat ondernemers hierin kunnen investeren moeten realistische vooruitzichten zijn op kweekmogelijkheden en winstgevende eindproducten. Dit project had tot doel de verschillende schakels in de keten van zeewierproductie tot vermarkting tegen het licht te houden. Duurzaamheid van de productie is hierbij leidend geweest.



Figuur 1. Illustratief overzicht van het project. Alle schakels zijn verbonden met elkaar.

1.2 Projectopzet; een duet van lange en korte termijn

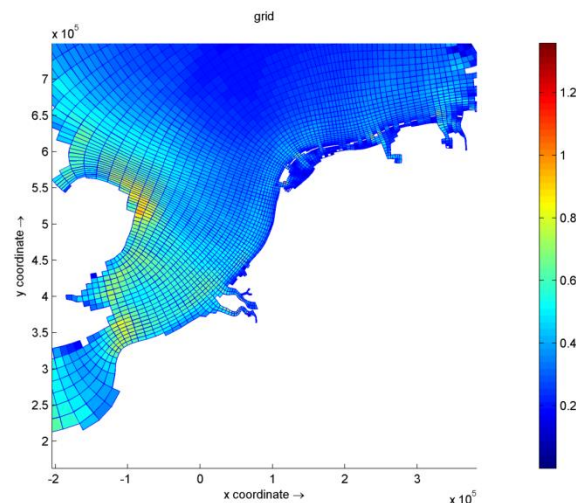
Omdat we maar een jaar de tijd hadden stelden we onszelf ten doel om aansprekende en tastbare resultaten neer te zetten en hiermee het bedrijfsleven te interesseren voor lange termijn onderzoek. Ofwel, een korte termijn resultaat als 'teaser' voor lange termijn ontwikkelingen. We hebben twee tastbare producten als einddoel gesteld en ons daarbij niet te veel laten leiden door haalbaarheidsdiscussies. Niet praten, we wilden aan de gang!

1. Zeewierkaas; een kaas gemaakt van eiwitten die geëxtraheerd worden uit *Ulva lactuca*. Dat levert een kaas waar geen dier aan te pas komt en die dus geschikt is voor veganisten. Van te voren wisten we dat de eiwitextractie erg lastig is. Daarom willen we ook onderzoeken of de eiwitrijke *Ulva* geschikt zou zijn als veevoer. De vraag hierachter is of zeewier een duurzamer alternatief kan zijn voor soja
2. Mannitol geraffineerd uit *Saccharina latissima* (suikerwier). Mannitol is een niet-dik-makende zoetstof (en daarmee ook een eindproduct) dat gebruikt kan worden in de voedingsmiddelenindustrie, en tevens een halffabricaat waaruit allerlei biobased producten gemaakt kunnen worden zoals bio-plastic.

Voor beide producten moesten we een keten kiezen waarmee we het product in één jaar zouden kunnen realiseren. Voor de kaas uit eiwit paste het in het tijdschema om *Ulva* te kweken in gecontroleerde

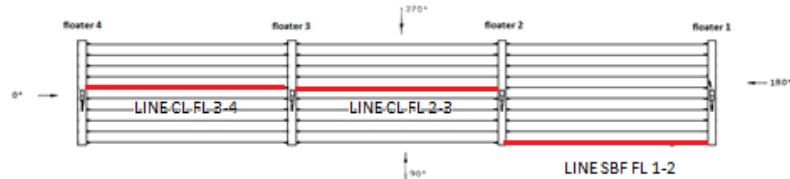
omstandigheden in Yerseke. De *Saccharina* moesten we inkopen, gezien het groeiseizoen (sept–mei) en de korte looptijd van ons project (één jaar).

Omdat we óók kennis voor de langere termijn over het teeltproces wilden opdoen hebben we naast de acties gericht op deze tastbare producten een kennislijn opgezet die gericht was op de mogelijkheden en onmogelijkheden van een teeltlocatie op de Noordzee. Daartoe zijn de teeltproeven gebruikt om gegevens te genereren. Die gegevens waren invoer voor berekeningen met het stromingsmodel Delft3D om te bepalen waar in de Nederlandse Noordzee een teeltlocatie voor zeewier zou leiden tot goede oogsten. Op basis van die berekeningen en andere overwegingen is een locatie 25 km offshore van Egmond gekozen als 'onze' fictieve TO2 testlocatie.



Figuur 2; Het studiegebied voor het DELFT 3D model. Waardes geven de snelheid in m/s aan.

Deze locatie ligt op open zee en dus moet er terdege rekening gehouden worden met golfbelasting. Een technische subgroep uit het project heeft zich, op basis van literatuur studies, gebogen over de meest duurzame constructie voor zeewierteelt. Daarbij is uitgegaan van onder andere het gebruik van duurzame materialen (zeewierlijnen), geen emissies, geen verlies van materiaal, zo min mogelijk slijtage en onderhoud. Mede op basis van literatuur studies is een constructie gekozen en met deze constructie zijn proeven in de binnenwatertank van MARIN uitgevoerd.



Figuur 3; het ontwerp van de teeltconstructie waarmee sterkte berekeningen zijn uitgevoerd. De rode lijnen geven aan waar de sterkte metingen zijn uitgevoerd.

Eerst zijn weerstandsmetingen verricht aan twee typen zeewier. Daarnaast is een schaalmodel gemaakt van het de gehele constructie waarbij gekeken is naar de prestatie van het gehele systeem bestaande uit drijvers, zeewierlijnen en het afmeersysteem. Met de gegevens van dit fysieke model zijn tevens numerieke modellen opgezet, die bedoeld zijn om vragen te beantwoorden zoals: Welke golf- en stroomcondities kan het ontwerp verdragen en hoeveel weerstand kan het zeewier hebben in dergelijke condities? Hoe waar moeten de verankeringen zijn? Technisch gezien is een ontwerp mogelijk waarbij alle zware condities van de Noordzee getrotseerd kunnen worden. Daar hangt echter ook een prijskaartje aan. De uitdaging is daarom om een geoptimaliseerd ontwerp te creëren, waarbij antwoord wordt gegeven op de hamvraag: wat zijn de kosten van zeewierteelt op de Noordzee, wat gaat het opleveren en hoe krijgen we zicht op een haalbare business case?

1.3 De resultaten

In Yerseke wezen de teeltproeven van *Ulva* aan dat een oogst per seizoen van 20 ton droge stof per hectare in één groeiseizoen (april –aug) een haalbare kaart is. Uit proeven van de Wierderij weten we dat *Saccharina* in één groeiseizoen tot 15 ton droge stof op kan brengen. Omdat de ene soort in de winter groeit en de andere in de zomer kunnen we de teelten combineren; dit levert dan een totale jaarproductie op van 35 ton droge stof per ha per jaar. Dat is meer dan er op land met welk gewas dan ook bereikt kan worden. De proeven hebben ook uitgewezen dat het qua opbrengst niet uitmaakt of *Ulva* elke week of eens in de drie weken geoogst wordt. Dit zijn de hoeveelheden, maar voor de waarde van de opbrengst is kwaliteit nodig, en wat zit erin?



Figuur 4; Één van de zes raceways waarin *Ulva* is gekweekt.

Wat al langer bekend is in de literatuur, bleek ook uit onze proeven. De samenstelling van zeewier verandert door de groeiperiode heen en is ook afhankelijk van het kweekmedium. De gehalten aan eiwitten in *Ulva* in raceways namen af met een factor 3 (van ongeveer 12% tot 4%) maar namen toe in meer statische kweekbakken (van ~4% naar ~13%). Uiteraard is dit een oogstoptimalisatie opgave. Vanuit de teeltlocatie in Yerseke is de *Ulva* in meerdere batches naar de labs van zowel ECN als DLO gebracht. De extractie van eiwit uit *Ulva* was minder succesvol. Om de eiwitten uit de celwanden te krijgen zijn meerdere methoden geprobeerd, maar met weinig succes. Dit blijkt een hardnekkig probleem waardoor de kaas er nog niet is gekomen.

Saccharina hebben we ingekocht in Noorwegen afkomstig van de proeven van Hortimare. Opgave daarbij was om 1000kg nat zeewier vanuit Noorwegen naar Nederland te transporteren en geschikt te houden voor verwerking. De logistieke vraag van opslag bleek later in de business case van groot belang te zijn. Hier kwam de ervaring van een ander project van pas. In een EU project AT@sea (waar o.a. ECN in participeerde) is een pragmatische experimentele aanpak uitgeprobeerd en die bleek te werken; silage (eigenlijk 'inkuilen') van zeewier. Een werkwijze waarmee je van witte kool zeer lang houdbare zuurkool maakt. Het bleek te werken. De *Saccharina* is in Noorwegen in een 1000 l tank met melkzuurbacteriën luchtdicht verpakt en onder enige druk gezet. Vervolgens op transport naar Nederland gezet. Daar is het ECN ermee aan de slag gegaan om mannitol uit het zeewier te destilleren. ECN heeft het volgens een gepatenteerde methode voor elkaar gekregen om van 1 kg (DS) zeewier circa 200 gram zuiver mannitol te maken. Op de wereldmarkt wordt € 2 à 3 per kg betaald voor mannitol. Dit resultaat helpt de business case van zeewier in elk geval de goede kant op.

De kaas is niet gelukt, mannitol is wel gelukt. Dan blijft de vraag of zeewier een duurzame alternatief zou kunnen zijn voor soja schroot, dus geschikt voor veevoer. Batches van zowel *Ulva* als *Saccharina* zijn naar het WLR gebracht voor in vitro onderzoek naar verteerbaarheid van de zeewier voor eenmagige dieren, zoals varkens. De resultaten waren bemoedigend, maar het moet gezien worden als tussenresultaten.

In de analyses zijn drie zeewiersoorten onderzocht op hun verteerbaarheid. Het bleek dat *Saccharina*, *Laminaria digitata* (vingerwier) en *Ulva* een drogestofverteerbaarheid hadden van 60-70%. In vergelijking had sojaschroot een verteerbaarheid van 90%, waarbij opgemerkt moet worden dat soja een lange geschiedenis heeft van veredeling met behulp van klassieke en moderne genetische technieken. Voor zeewier is dit een startwaarde; er heeft nog geen veredeling plaatsgevonden, er is nog niet geoptimaliseerd naar oogstmoment en er is nog niet geëxperimenteerd met toevoeging van enzymen of

gebruik van andere technieken om de vertering te verbeteren. Een zo hoge startwaarde geeft aan dat de toepassing van zeewier als diervoeder veelbelovend is. Maar daarmee is niet alles gezegd; er zijn nog 2 kanttekeningen:

- 1 Het hoge gehalte aan anorganische stoffen (mineralen) in zeewier blijft een punt van aandacht.
- 2 Na extractie van stoffen (bijvoorbeeld rhamnose via raffinage van *Ulva*) daalde de verteerbaarheid van het residu. Dit betekent dat bij cascadering van zeewier (van hoogwaardige naar laagwaardige stoffen) ook rekening gehouden moet worden met de waarde(daling) van de restproducten.

Deze experimenten leverden informatie op over toepassingen van zeewier en zelfs over de mogelijke opbrengsten. Om zicht te krijgen op de kosten moeten we in gedachten terug naar volle zee.

Zou onze fictieve installatie op de locatie 25 km offshore van Egmond het golfklimaat overleven en hoe lang is de verwachte levensduur? Vanwege de beperkte tijd en middelen is alleen de eerste stap van een iteratief proces doorlopen. Er is een ontwerp gemaakt, gebaseerd op de huidige inzichten voor zeewierteelt op open zee. Met een computermodel is dat ontwerp doorgerekend ten aanzien van kans van falen, levensduur en stabiliteit. Het bleek dat het huidige ontwerp van de zeewierteelt installatie zou falen bij golfcondities met een significante golfhoogte (H_s) hoger dan 4.2 m. Helaas blijkt dat in circa 20% van de tijd deze conditie voor te komen. Het betekent dus dat de kandidaat constructie te licht ontworpen is (eerste stap van de iteratie). De conclusie van het technisch onderzoek is dat sterkere afmeerlijnen en zeewierlijnen noodzakelijk zijn om de zware condities van de Noordzee te weerstaan. Uit het onderzoek is echter ook gebleken dat het zeewier slechts weinig krachten heeft te verduren aangezien een gedeelte van de belasting in de afmeerlijnen wordt afgevangen. Dit betekent dat er goede oogsten te verwachten zijn mits de afmeerlijnen gekozen worden op basis van de extreme condities. Verder is er ook inzicht verkregen in de vermoeiingsbelasting van het ontwerp voor golven met een significante golfhoogte lager dan 4.2m. Dit pakte positief uit. Volgens berekeningen kan de installatie langer mee (20 jaar) dan vooraf ingeschat (15 jaar). Dit is alleen op basis van vermoeiingsberekeningen. Praktijkervaringen geven lagere levensverwachtingen.

1.4 De ontknoping; kan het uit?

In de berekeningen van de business case komen alle resultaten van het TO2 project bij elkaar. Voor de economische analyse hebben we een conceptueel proces model gebouwd van een raffinageproces op basis van lab testen. Met dat conceptuele model is doorgerekend wat zeewier op kan leveren. Het blijkt dat zeewier waardevol is door de vele toepassingsmogelijkheden; ontwikkelingen van betere procestechnologie kan de economische waarde van zeewier nog fors verhogen. 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 tussen wat zeewier oplevert en wat het kost om zeewier te telen van ongeveer een factor 5 à 6. We hebben aangetoond dat opschaling op dit moment nog geen soelaas biedt, het zeewier brengt nog te weinig op. Bedenk wel dat de procestechnologie van zeewier nog maar net begonnen is. Uit ervaring (en geschiedenis) weten we dat technologische ontwikkelingen vaker hebben geleid tot overbruggen van veel grotere initiële discrepanties. Dit zit ruim binnen de bandbreedte.

1.5 De belangrijkste resultaten op een rij

- We kunnen samenwerken en we willen de samenwerking vanaf nu voortzetten. Voor de ontwikkeling van zeewier is het ook nodig. Zeewier kent teveel afhankelijkheden waar multidisciplinaire kennis voor nodig is.
- We hebben succesvol *Ulva* geteeld en daarbij aangetoond dat (geëxtrapoleerde) opbrengsten van 20 ton DS/ha/jr haalbaar zijn. Samen met de kennis verkregen op de Wierderij dat *Saccharina* tot 15 ton ds/ha/jr oplevert geeft dat een duidelijke indicatie dat met zeewier productiesystemen haalbaar zijn van 35 ton DS/ha/jr. Dat is veel meer dan met land gebonden teelt wordt gerealiseerd.
- We hebben de variaties in samenstelling door het groeiseizoen gemeten. Het blijkt dat *Ulva* het hoogste eiwitgehalte heeft naarmate de kweek langer duurt (althans in kweekbakken). De glucose neemt toe bij kweek in raceways, maar is juist weer constant in kweekbakken.
- We hebben zuiver mannitol via raffinage uit zeewier weten te halen.
- We hebben de verteerbaarheid van zeewier als diervoeder aangetoond.

- We hebben een ontwerp integraal doorgerekend op hydrodynamische krachten, stabiliteit en vermoeiing.
- We hebben de twee hier beschouwde zeewierketens financieel doorgerekend.
- En we hebben afgelopen jaar heel veel aandacht vanuit de media voor zeewier gehad.

1.6 Aanbevelingen

De marktpotentie van zeewier lijkt onbetwist. De groeiende aandacht voor zeewier leidt tot vele start ups van bedrijven. 'I sea pasta' (een zeewier *Himanthalia elongata* (zee spaghetti) die lijkt op, en gebruikt kan worden als, tagliatelle), 'the Dutch Weedburger',.... enz. Het zijn startups die hun producten direct op het bord van de consument brengen. De Dutch Weedburger wordt inmiddels naar Frankrijk geëxporteerd, de man achter 'I sea Pasta' heeft grote ambities om exponentieel te groeien.

- Omdat er nu weinig zicht is op de kwaliteit en de veiligheid van het voedsel ontstaat er een behoefte aan duurzaam, gecertificeerd zeewier dat getraceerd kan worden. Aandacht voor voedselveiligheid en het certificeren van zeewier is nodig.
- T.a.v. van Noordzee; Zeewierteelt op volle zee is vooralsnog financieel niet haalbaar. Het scheelt nog factoren, geen orde van groottes. De verschillen tussen kosten en baten zijn wel overbrugbaar met technologische ontwikkelingen. We bevelen aan om arrangementen voor meervoudig ruimte gebruik op zee op te stellen waarbij maximale synergie gezocht moet worden (zie onze visie).
- We hebben ons in dit project beperkt tot drie robuuste soorten waarvan er eigenlijk maar 2 nader zijn onderzocht. Er zijn veel meer soorten met evenzo kansrijke toepassingen; bijv. roodwieren zoals *Palmaria palmata* (dulse), maar ook bruinwieren die verschillende toepassingen hebben op verschillende locaties.
- Waarschijnlijk zijn er nog honderden soorten te verkennen die misschien nog aantrekkelijker zijn dan de hier gekozen soorten die momenteel de meeste aandacht krijgen. Een brede scan naar mogelijkheden en toepassingen is zeer aan te bevelen. Daarbij is het fundamentele onderzoek naar de biochemie van zeewier onontbeerlijk; het vormt de basis van de kennis.
- De fundamentele kennis is ook van belang voor het kweken van soorten. Door de opkomende "I sea Pasta" is er een behoefte om *Himanthalia* te telen. Dit lijkt nu een lastig te telen soort te zijn, maar serieus onderzoek is er nog niet naar gedaan. Ook voor bepaalde roodwieren groeit er een behoefte aan teelt.
- De zoektocht naar teeltlocaties is een integrale optimalisatie. De fysieke en chemische omstandigheden op de teeltlocatie bepalen de (tijdsafhankelijke) samenstelling van het zeewier. Dit werkt naar twee kanten. Zeewier heeft ecosysteemdiensten die we ten behoeve van beheersopgave kunnen inzetten. Anderzijds, de samenstelling van het zeewier wordt ook bepaald door de teeltlocatie.
- Niet alleen zeewierkweek, maar ook andere vormen van aquacultuur zullen in de toekomst verder offshore gaan. Ontwikkelingen in offshore engineering m.b.t. kweekfaciliteiten, informatiesystemen zullen ook andere bedrijfstakken ten goede komen, ontwikkelingen in deze takken kunnen ook gebruikt worden in de zeewiercultuur.
- En omdat de teelt nog in de kinderschoenen staat, is dat met de procesttechnologie niet anders. Dit rapport bevat een eerste biorefinery processchema. Dat moet echter geoptimaliseerd worden naar meer soorten en meer stoffen, waarbij gestreefd wordt naar optimale valorisatie van alle hoofd- en bijproducten.
- Tenslotte, maar niet het minst belangrijk, zijn de maatschappelijke aspecten. We moeten ervoor zorgen dat de ontwikkeling van de veelzijdige toepassingen van zeewier op blijvende maatschappelijke steun kan rekenen. Dat doen we door de maatschappelijke buitenspelregels te kennen en ervoor te zorgen dat duurzaamheid te allen tijde bovenaan staat in de productieketen van zeewier.

1.7 Visie

Na de resultaten en de aanbevelingen willen we de gelegenheid te baat nemen om onze visie neer te zetten voor de toekomst. In onze visie liggen er over 15 jaar grote zeewiervelden in multifunctionele offshore locaties. Met een totale oppervlakte van 5000 km² op het Nederlandse deel van de Noordzee draagt zeewier substantieel bij aan transitie naar duurzame eiwitvoorziening én naar een overgang van

fossiele naar duurzame energie. Onderzoek en ontwikkeling hebben geresulteerd in een aantal grote energieparken op zee waar golfenergie generatoren een windmolenpark omringen. Die golfgeneratoren bevatten zonnepanelen die gekoeld worden met zeewater. Door de koeling van het zeewater én door de reflectie van het licht leveren de zonnepanelen 30% meer rendement dan wanneer ze niet gekoeld zouden zijn. Binnen die ring van golfgeneratoren is de significante golfhoogte in het windmolenpark gedecimeerd, en dat heeft meerdere (positieve) effecten.

- 1 De ruimte binnen de ring is geschikt gemaakt voor zeevierteelt met een lichte teeltconstructie.
- 2 Het onderhoud van het windmolenpark wordt veel gemakkelijker; men kan vaker bij een windmolen. Dat vergroot de productie van het park (minder stilstand).
- 3 Bovendien gaat de levensduur van de windturbines omhoog, omdat de palen minder belast worden door het gedempte golfveld.

Dit iconische Dutch design project levert duurzame energie en duurzaam geteelde zeevier als grondstof voor food en feed toepassingen door te combineren waar Nederland groot in is; maritieme techniek en agrosysteemkennis.