

Meervoudige Extractie van Zeewier

MEZ²
rapport fase 1 SBIR14P066



Foto's: Oogst en silage van Saccharina in Noorwegen (testlocatie Hortimare)



Hortimare Projects & Consultancy in samenwerking met:
Ocean Harvest Technology Ltd; Stichting Noordzeeboerderij; North Seaweed BV; Energieonderzoek
Centrum Nederland ECN.

SBIR aanbesteding: 'Verduurzaming Voedselproductie'

0 Gegevens project

- SBIR-projectnummer: SBIR14PO66
- Projecttitel: Meervoudige Extractie Zeewier
- Contactpersoon en uitvoerder: S.G. van Keulen
- Begin en einddatum van het project: van 12 november 2014 tot 02 juni 2015

Inhoudsopgave

0	Gegevens project	2
1	Management samenvatting	4
2	Uitvoering van het project	5
2.1	Doelstelling en probleemstelling	5
2.1.1	Probleemstelling	5
2.1.2	Doelstelling	5
2.2	Projectorganisatie	5
2.3	Fasering en taakverdeling	5
2.3.1	Stap1 - Labschaal meervoudige extractie van zeewier met de Danvos methode	6
2.3.2	Stap2 - Onderzoek naar de opschaalbaarheid van dit proces in een mobiele installatie, ontwerpeisen en specificaties	6
2.3.3	Stap3 - Blauwdruk ontwerp van de mobiele installatie en benodigde investering	7
2.3.4	Stap4 - Economische analyse van het raffinageproces	9
2.3.5	Stap5 - Chemische analyse van het product, opstellen productspecificatie	9
2.3.6	Stap6 - Uitzetten van analyserapporten en productmonsters geproduceerd met de labopstelling	10
2.3.7	Stap7 - Feedback van marktpartijen, communicatie m.b.t. de ontwikkeling en met NGO's	12
2.4	Verloop van samenwerking	12
3	Inhoudelijke bevindingen	13
3.1	Bijdrage aan het maatschappelijk vraagstuk	13
3.2	Technische haalbaarheid	13
3.2.1	Zeewier direct na de oogst	14
3.2.2	Testen op labschaal	14
3.2.3	Testen op pilotschaal	16
3.2.4	Mobiel maken van de meervoudige extractie-unit	16
3.2.5	Overige observaties	16
3.3	Economische haalbaarheid	16
3.3.1	Introductie	16
3.3.2	Meervoudige extractie	17
3.3.3	Economische haalbaarheid	17
3.3.4	Economische haalbaarheid van een verder onderzoek- en ontwikkelingstraject (fase 2)	18
3.3.5	Risico's en onzekerheden	19
3.3.6	Overige observaties en mogelijke knelpunten	19
3.4	Toegevoegde waarde voor de samenleving	19
4	Conclusies en vervolg	20
4.1	Introductie	20
4.2	Technische conclusie	20
4.2.1	Conclusie Stap1 - Labschaal meervoudige extractie van zeewier met de Danvos methode	20
4.2.2	Conclusie Stap2 - Onderzoek naar de opschaalbaarheid van dit proces in een mobiele installatie, ontwerpeisen en specificaties	20
4.2.3	Conclusie Stap3 - Blauwdruk ontwerp van de mobiele installatie en benodigde investering	21
4.2.4	Conclusie Stap4 - Economische analyse van het raffinageproces	21

4.2.5	Conclusie Stap5 - Chemische analyse van het product, opstellen productspecificatie	21
4.2.6	Conclusie Stap6 - Uitzetten van productmonsters geproduceerd met de labopstelling	22
4.2.7	Conclusie Stap7 - Feedback van marktpartijen, communicatie m.b.t. de ontwikkeling en met NGO's	22
4.3	Economische risico's en onzekerheden	22
4.4	Organisatorisch risico's en onzekerheden	23
4.5	Samenvattende conclusie	23
4.6	Geef ten slotte een vooruitblik op fase 3 - Commercialisatie Fase	23
5	Financiën	24
6	BIJLAGE 1 BIJ FORMAT SBIR EINDRAPPORT FASE 1	25
6.1	Het directe effect van de SBIR opdracht	25
6.2	Samenwerking en netwerkvorming	25
6.2.1	Samenwerkingspartners	25
6.2.2	Samenwerking in de toekomst	25
6.3	Het instrument SBIR	25
6.3.1	Wat vindt u de sterke punten van het SBIR instrument in fase1	25
6.3.2	Heeft u nog suggesties SBIR in fase 1 als instrument verbeterd zou kunnen worden?	25
7	Bijlage 2 – Economisch model	26
8	Bijlage 3 – Uitgebreid rapport	27
9	Bijlage 4 – Projectplan	28
10	Bijlage 5 – Analyse van samples door OHT (Engels)	29

1 Management samenvatting

In dit onderzoek werd een nieuwe, maar eenvoudige benadering toegepast voor de verwerking en extractie van zeewier. Na de oogst is het zeewier eerst in silage bewaard, waarbij het stabiel was en over langere tijd verwerkt kan worden (tot een jaar toe). Daarna werd dit materiaal in een waterige extractie bij lage pH geëxtraheerd en over een ultrafiltratiemembraan gescheiden waarbij de eiwitten achterbleven en suikers doorgaan. In de vaste delen bleef het algiinaat achter. In een volgende stap werd de pH verhoogd en werden de overige suikers vrijgemaakt (mannitol). De teelt van zeewier is duurzaam en zorgt voor verminderde belasting van het ecosysteem en milieu in verhouding tot andere grondstofbronnen voor o.a. eiwitten zoals sojabonen.

Technische haalbaarheid.

- Op labschaal en pilot schaal is de effectiviteit van het meervoudige extractie proces aangetoond en wordt een extractie efficiency van 50 % voor eiwit en 75% van koolhydraten gehaald.
- De goede decanteerbaarheid van het resterende zeewier met naar schatting nog 90% van de algiinaat in tact aanwezig is een zeer bemoedigend resultaat
- De onzekerheid over de prestatie is echter nog groot, omdat het experiment slechts 2 x op labschaal en 1 x op pilotschaal werd uitgevoerd.
- Continu operatie gedurende ten minste 2 campagnes met een mobiele pilot unit zou moeten worden uitgevoerd voordat tot een full scale investering zou kunnen worden besloten.
- De beste beschikbare schattingen werden gebruikt voor de product specificaties, maar voldoende monsters moeten worden bereid voor het testen van functionaliteit van de producten en het bepalen van de waarde daarvan in de economie.

Economische haalbaarheid.

- De MEZ aanpak levert aantoonbaar meerwaarde op ten opzichte van de enkelvoudige algiinaat productie.
- Het economisch model laat zien dat bij 1 run van 100 ha zeewier er een algiinaat opbrengst is van ca. €1,5 miljoen per jaar. De gezamenlijke toegevoegde waarde van de producten eiwit, mineralen, laminaran en mannitol gerekend met de praktijkcijfers uit dit onderzoek bedraagt ca. €1,0 miljoen.
- Gezien het verbeter potentieel met name op CAPEX niveau is de verdere ontwikkeling van een totale raffinage unit met integratie van algiinaat productie en de nieuwe productie lijnen een te verkiezen route. De extra bijdrage van de overige producten levert op termijn een gunstige concurrentie positie op.

Er kan worden geconcludeerd dat de gekozen oplossingsrichting om de verwerking van grootschalig geteelde zeewier met relatief kleinschalige, verplaatsbare extractieunits te doen haalbaar is. Zowel gezien vanuit de technologie, de eenvoud daarvan en het geringe risico voor de omgeving. Anderzijds m.b.t. de logistiek (transport per schip) en de investeringsbedragen die ermee zijn gemoeid. Het is bijzonder hoopgevend dat uit de financiële analyse blijkt dat er bij een zeewierprijs van 1100-1200 euro al break-even kan worden gedraaid. Het perspectief voor de toekomstige zeewierprijs ligt op ongeveer 500-600 euro.

Ook de markt is positief over het beschikbaar komen van alternatieve bronnen voor grondstoffen voor de voer en voedingsindustrie. Men is bereid de toepassing daarvan te overwegen, temeer als blijkt dat de grondstof duurzaam is geproduceerd. Dit wordt bijvoorbeeld in de nabijheid van viskwekerijen gerealiseerd.

De haalbaarheidsvraagstelling wordt hiermee in volledigheid positief beantwoord.

Zowel vanuit de voedings- als de voerindustrie is belangstelling getoond om eiwitten, suikers en bindmiddelen vanuit zeewier te gaan toepassen. Wij hebben al enkele Nederlandse bedrijven die graag in fase 2 zouden willen aanhaken.

2 Uitvoering van het project

2.1 Doelstelling en probleemstelling

2.1.1 Probleemstelling

Zoals aangegeven in Bijlage 4 – Projectplan, in dit haalbaarheidsonderzoek willen wij onderzoeken in hoeverre een compacte mobiele installatie voor meervoudige zeewierextractie kan worden gerealiseerd die op locatie kan worden ingezet. Voorts hoe de kwaliteit van de grondstoffen die daarmee worden geproduceerd in de markt kan worden gevaloriseerd. Kort gezegd de technische en economische haalbaarheid van meervoudige extractie van zeewier.

2.1.2 Doelstelling

Onze doelstelling is dat we het volledig vrijmaken van de waardevolle componenten uit zeewier realiseren met behulp van meervoudige extractie. Daarnaast willen we deze techniek mobiel, robuust en transporteerbaar maken. We beogen hiermee, door de teelt en verwerking van zeewier, nieuwe duurzame grondstoffen voor de voedings-/veevoerindustrie beschikbaar te maken.

We willen hiermee ook bereiken dat het economisch rendabel wordt om duurzaam zeewier te telen op zee. Dit zal dan moeten leiden tot een significant aanbod van lokale geproduceerde en duurzame biomassa die huidige minder duurzame ketens kan helpen om verder te verduurzamen.

2.2 Projectorganisatie

Bij de start van het project is er een consortium, opgericht door Hortimare, met vijf andere partijen waarbij Hortimare verantwoordelijk is gemaakt voor het project management en Danvos de technisch inhoudelijke verantwoordelijk heeft gekregen. Hiermee bestaat het consortium dan uit de volgende zes partijen:

1. Hortimare;
2. Ocean Harvest Technologies (OHT);
3. Danvos (DANVOS) – later toegetreden;
4. North Sea Weed (NSW);
5. ECN; en
6. Stichting Noordzeeboerderij (NZB).

2.3 Fasering en taakverdeling

Conform het projectplan, zie Bijlage 4 – Projectplan, heeft het consortium een zevental stappen uitgevoerd als onderdeel van de haalbaarheidsstudie naar de technische en economische haalbaarheid van meervoudige extractie van zeewier. Dit zijn de volgende stappen waarbij elk lid van het consortium de verantwoordelijkheid heeft gekregen voor één of meerder stappen zoals hieronder beschreven:

1. Stap1 - Labschaal meervoudige extractie van zeewier met de Danvos methode (DANVOS)
2. Stap2 - Onderzoek naar de opschaalbaarheid van dit proces in een mobiele installatie, ontwerpeisen en specificaties (DANVOS, ECN)
3. Stap3 - Blauwdruk ontwerp van de mobiele installatie en benodigde investering (DANVOS, ECN)
4. Stap4 - Economische analyse van het raffinageproces en de beoogde mobiele raffinage-unit (ECN, DANVOS)
5. Stap5 - Chemische analyse van het product, opstellen productspecificatie (OHT, DANVOS)
6. Stap6 - Uitzetten van analyserapporten geproduceerd met de labopstelling (NSW)
7. Stap7 - Feedback van marktpartijen, communicatie m.b.t. de ontwikkeling en met NGO's (NZB)

2.3.1 Stap1 - Labschaal meervoudige extractie van zeewier met de Danvos methode

Als onderdeel van deze stap het Danvos op labschaal aangetoond dat het mogelijk is om meervoudige extractie van zeewier te realiseren. Hierbij waren de concentraties van de verschillende extractieproducten hoog genoeg en de kwaliteit eveneens goed genoeg. De extractieproducten die hiermee zijn geëxtraheerd uit het verse zeewier zijn:

- Calcium alginaat in de vaste fractie (30-40% droge stof in plaats van de oorspronkelijke 15% droge stof van het wier);
- Een vloeibaar eiwit concentraat (UF concentraat 30% droge stof);
- Een vloeibaar mineralen concentraat (ca. 20 % droge stof);
- Een vloeibaar laminaran concentraat (ca. 30 % droge stof); en
- Mannitol concentraat (als poeder).

Dit is gerealiseerd middels het onderstaand proces:

- Waterige extractie
- Alkalische extractie; en
- Vast stoffen: Ca-Alginaat
- Vloeistoffen naar drie opeenvolgende filtratiestappen
 - Ultrafiltratiecomponenten: proteïnen en suikers
 - Reverse osmosis: mineralen

Verdere details van de opzet van deze labproeven is terug te vinden in Stap1 van hoofdstuk 2 in Bijlage 3 – Uitgebreid rapport.

2.3.2 Stap2 - Onderzoek naar de opschaalbaarheid van dit proces in een mobiele installatie, ontwerpeisen en specificaties

Op basis van het proces zoals uitgetest op labschaal en omschreven hierboven is onderzocht in hoeverre dit systeem opschaalbaar is. Daartoe is ter plaatse van de bloemenkweekbedrijf van John Huiberts in Sint-Maartensvlotbrug een opgeschaalde conceptinstallatie opgebouwd (dimensie van 5000 liter tanks). Deze moest op grotere, meer realistische schaal het in hoofdstuk 2.3.1 beschreven proces herhalen met vergelijkbare resultaten:

- Input: zeewier van Hortimare uit de Faroer eilanden
- Waterige en alkalische extractie in bakken en processing plant die normaliter gebruikt wordt voor het behandelen van bloembollen
- 3 (drie) filtratiestappen met een filtratie-unit ontworpen en gebouwd door Danvos



Figuur 1: Zeewier gebruikt als input

Foto links: de eerste batch van 800 kg zeewier staat klaar voor de extractie ketels en is in de ketels ontdooid.



Figuur 2: Het zeewier verdeeld over 2 kuubskisten

Hiernaast een foto van de extractie unit in volle werking.

Toepassing van “osmotic shock” met RO permeaat water blijkt effectief.

Hier is duidelijk het schuimen van hete extract te zien, een aanwijzing voor de aanwezigheid van eiwitten.



Figuur 3: RO membraamfiltratie-unit (links) en vat concentraat met zichtbare schuimvorming (rechts)

Foto links: de RO membraamfiltratie unit van Huiberts St. Maartensbrug

Foto onder: het vat concentraat en zichtbare schuimvorming.



Figuur 4: John Huiberts start het extractieproces in de extractieketels (links) en de kuubskist met zeewier in de ketel (rechts)

Het proces gedroeg zich identiek als op labschaal. Vervolgens is de extractie vloeistof gefiltreerd met een omgekeerde osmose (RO) installatie in een run van 500 liter uit de extractie tank van 5000 liter.

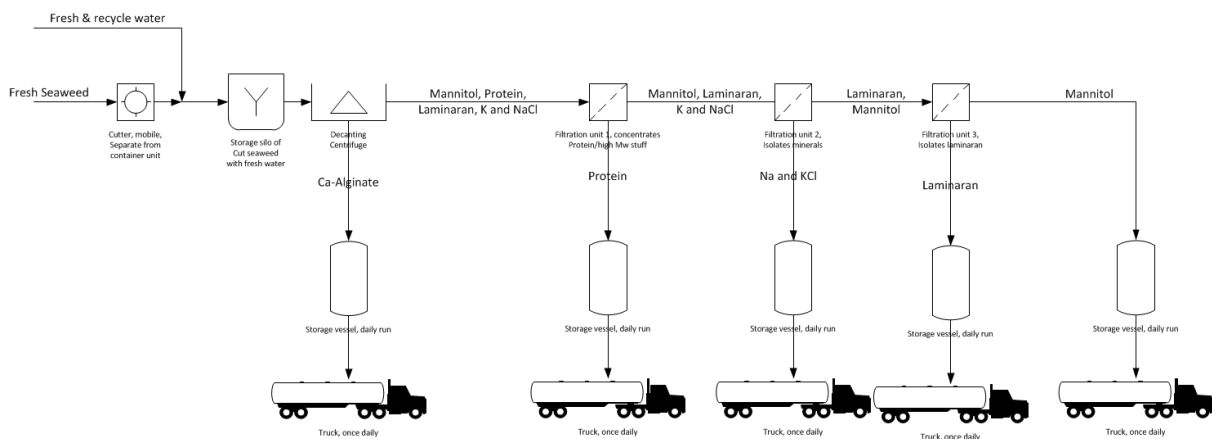
Verdere details van de opzet en uitvoering van deze opschalingsproeven is terug te vinden in Stap2 van hoofdstuk 2 in Bijlage 3 – Uitgebreid rapport

2.3.3 Stap3 - Blauwdruk ontwerp van de mobiele installatie en benodigde investering

Als onderdeel van deze stap is het proces bepaald alsook grenswaarden van de mobiele extractie-unit die in staat is om vers zeewier te verwerken tot proteïnen, mannitol en algiinaat (precursors). Op basis van deze input is zowel een begroting gemaakt van de CAPEX en OPEX alsook de footprint van de mobiele extractie-unit. Deze taak is uitgevoerd door ECN tezamen met DANVOS.

Het proces voor meervoudige extractie van zeewier is weergegeven in Figuur 5 en omvat de volgende stappen:

1. Zeewierboer: Het verse zeewier wordt mechanische bewerking (versnijden) vermengd met vers en gerecycled water (geen zeewater) en opgeslagen in een grote, plastic silo. Hierin zal fermentatie tot melkzuur optreden;
2. MEZ-unit: Na extractie wordt de slurry door een decanteercentrifuge geleid welke het ongeraffineerde Ca-Alginaat scheidt van de vloeistof met zeewierextracten;
3. MEZ-unit: Het ongeraffineerde Ca-Alginaat word naar een opslagtank gepompt;
4. MEZ-unit: De afgescheiden vloeistof met de extracten wordt aangeboden aan de meervoudige extractie unit alwaar de proteïnen, zouten, laminaran en mannitol via filtratie van deze vloeistof zullen worden afgescheiden.
5. Na elke stap zullen de extracten naar een opslagtank worden overgepompt dat dagelijks wordt geleegd voor/door de afnemers.

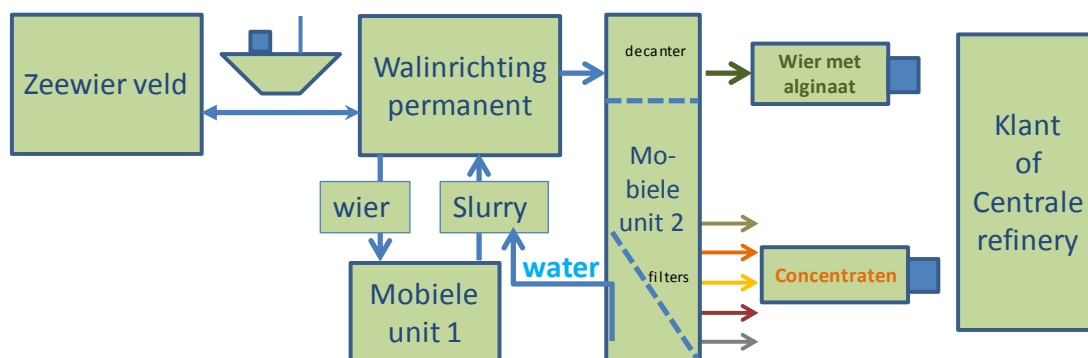


Figuur 5: Weergave van het conceptuele proces

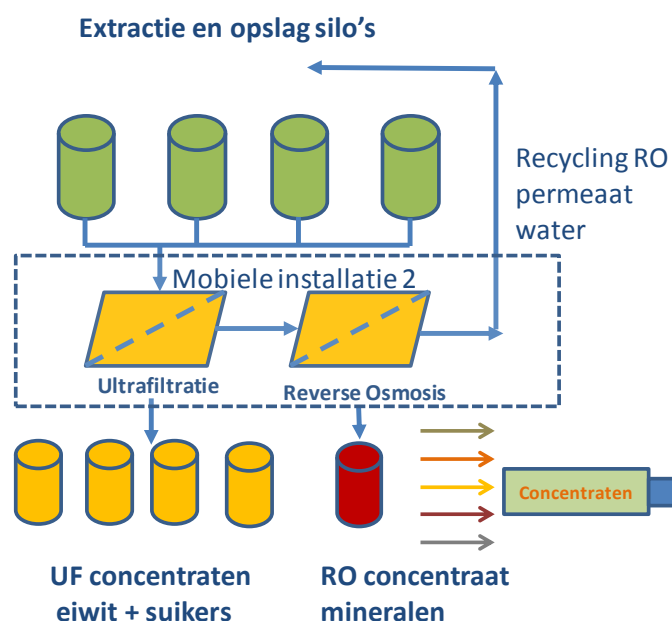
2.3.3.1 De blauwdruk

Het bovenstaande proces heeft vervolgens tot de volgende blauwdruk geleid. In Figuur 6 staan de volgende elementen weergegeven:

- Zeewierveld op zee/ in het fjord (zeewierboer)
 - Telen en oogsten benodigde zeewier
- Walinrichting permanent (zeewierboer)
 - Opslag en fermentatie (melkzuur) zeewier totdat mobiele zeewier extractie-units arriveren
- Mobiele unit 1 (eigenaar mobiele zeewier extractie-unit)
 - Het scheiden van het wier van het substraat
 - Verkleinen en mixen met RO permeaat water
 - Slurry wier + water overpompen naar tanks walinrichting
- Mobiele unit 2 (eigenaar mobiele zeewier extractie-unit)
 - Decanteren van de slurry na extractie
 - Compacteren van het wier met alginaatfractie en laden in vrachtwagen
 - Filtratie en concentratie van de extractie vloeistoffen en verladen in tankwagens
 - Recyclen van water van filters via slurry naar walinrichting



Figuur 6: Blauwdruk zeewier keten van boerderij tot aflevering halffabricaat aan afnemer



Figuur 7: Detailweergave van blauwdruk mobiele unit 2

Verdere details van de opzet en uitvoering van deze blauwdrukstap is terug te vinden in Stap3 van hoofdstuk 2 in Bijlage 3 – Uitgebreid rapport

2.3.4 Stap4 - Economische analyse van het raffinageproces

Op basis van de uitgangspunten zoals hierboven omschreven en in stap6 hieronder is een economisch model opgesteld. Dit model dient om een economisch haalbare schaal te identificeren voor meervoudige extractie van zeewier in de meervoudige extractie-unit. Hierbij dient opgemerkt te worden dat voor de benodigde investeringen (CAPEX) en operationele kosten (OPEX) er alleen is gekeken naar de mobiele zeewier extractie-unit zelf. Hierbij wordt uitgegaan van het gegeven dat de zeewier boer een slurry aanlevert die direct als input kan dienen voor de mobiele extractie-unit. Hoe de boer deze slurry maakt en opslaat is niet beschouwd in deze economische analyse en valt ook buiten de scope van deze haalbaarheidsstudie.

Verdere details van de opzet en uitvoering van het economisch model is terug te vinden in Stap4 van hoofdstuk 2 in Bijlage 3 – Uitgebreid rapport

2.3.5 Stap5 - Chemische analyse van het product, opstellen productspecificatie

Dit onderdeel van het haalbaarheidsonderzoek heeft zich toegespitst op het analyseren van de verschillende extractieproducten uit het extractieproces zoals hierboven beschreven. Deze analyse zal waardevolle informatie geven over de aanwezigheid van potentieel waardevolle producten in het uitgangsmateriaal, vloeistof-extracten

alsook het overgebleven zeewiermateriaal na extractie. De waardevolle producten betreffen onder andere proteïnen, alginaten, mannitol, laminarin alsook de glucose en aminozuren samenstellingen. Uit de optiek van de voedselveiligheid is ook een analyse uitgevoerd op mogelijke verontreinigingen zoals zware metalen. De aanwezigheid van arsenicum, cadmium, lood en kwik is geanalyseerd in het startmateriaal alsook het zeewier na extractie. Er zijn uiteindelijk 2 sample sets geanalyseerd als onderdeel van deze stap:

- Sample set 1: S. latissima van Hortimare Noorwegen, geoogst in November 2014.
 - Volledige analyse door OHT
- Sample set2: S. latissima geoogst uit een tank bij Hortimare, Texel op 7 mei 2015.
 - Analyse op aanwezigheid van proteïnen door OHT
 - Analyse op aanwezigheid van proteïnen door Nutrilab in Nederland

De resultaten van deze analyse zijn uitgebreid omschreven in Bijlage 5 – Analyse van samples door OHT (Engels)

2.3.6 Stap6 - Uitzetten van analyserapporten en productmonsters geproduceerd met de labopstelling

Het bedrijf North Seaweed BV uit Zeeland (een bedrijf dat zich heeft toegelegd op de in- en verkoop van gedroogd zeewier) heeft gedurende dit haalbaarheidsonderzoek een verkenning gedaan naar de marktmogelijkheden bij producenten van vegetarische producten voor de eiwitten en alginaten zoals deze kunnen worden geleverd vanuit het proces van meervoudige extractie. Dit heeft zowel nuttige technische feedback opgeleverd en ook relevant prijsinformatie die weer in het economisch model is verwerkt (stap4).

2.3.6.1 *Eiwitten*

North Seaweed heeft 12 Nederlandse producenten en/of ontwikkelaars van vegetarische producten benaderd en gesproken plus 2 bedrijven die zich toelegden op de ontwikkeling van eiwit-supplementen, o.a. voor sporters en voor ouderen, zie ook Tabel 1 hieronder. Op enkele bedrijven na, die zich hebben gespecialiseerd in de verwerking van zeer geconcentreerde eiwitten, stonden alle partijen positief tegenover zeewiereiwit als ingrediënt en wilden ze graag monsters van zeewiereiwit testen.

Bedrijf	Plaats
Lacto Trade	Elst
Ojah BV/Beeter	Ochten
Proviand BV	Udenhout
Vivera	Holten
Labeij Food Products	Rosmalen
Dalco Food	Oss
V&S Food	Leiden
Schouten Europe	Giessen
Tivall Nederland	Zeist
Meatless	Goes
Alpro Soja	Wevelgem (B)
Carezzo Nutrition	Uden
Buteressence	Zaandam
Lithos Ingredients	Vlaardingen

Tabel 1: Bedrijven benaderd voor eiwitten gewonnen uit zeewier

Vanwege de korte tijdsperiode van dit haalbaarheidsonderzoek, waarin de consortiumpartners voor een grote technische opgave stonden, om eiwit te winnen uit zeewier, bleek het niet haalbaar om eiwitmonsters van zeewier uit te zetten bij potentiële klanten. In plaats daarvan zijn er analyserapporten opgestuurd van de eiwitten ter beoordeling. Op basis van deze analyserapporten hebben meerdere bedrijven aangegeven belangstelling te hebben voor nader onderzoek:

- Vleesvervangerproducent Vivera heeft interesse omdat het een vervanging van kippeneiwit zoekt.

- Proviand BV biedt zich direct aan als launching customer;
- Maar ook Beeter/Ojah, Labeij Food Products, Vivera en Schouten Europe geven nadrukkelijk aan interesse te hebben om een monster zeewiereiwit te bestuderen en verdere samenwerking te bespreken;
- Ook het doen van testen met zeewier-eiwit, wil Beeter/Ojah graag op productieschaal doen, maar dan is minimaal 200 kg eiwit nodig. Dit bedrijf zoekt met name nieuwe eiwitten die voor minimaal 60% uit geconcentreerd eiwit bestaan.
- Het bedrijf Dalco Food in Oss is al 15 jaar een toonaangevend bedrijf in ontwikkeling en productie van vleesvervangers. Het bedrijf werkt ook aan combinaties van vlees met andere eiwitten en toonde zich geïnteresseerd om monsters zeewier eiwit te testen. Motivatie is smaak, textuur, kleur en het positieve imago van zeewier qua gezondheid en duurzaamheid.

2.3.6.2 Sodium alginaat

Hoewel een groot deel van de aandacht in dit project is uitgegaan naar de extractie van eiwitten uit zeewier, is vanaf het begin ook alginaat benoemd als een waardevol component. Met bedrijven in de voedingsmiddelenindustrie is de belangstelling voor alginaat besproken. Tevens is een alginaatmonster van Ocean Harvest Technology getest door het bedrijf Meatless in Goes. Dit sodium alginaat monster bleek een goede gellering te geven. Het product had een laag soortelijk gewicht. De viscositeit was matig, maar dit is op zich geen probleem, omdat een hoge viscositeit het product een lagere marktwaarde geeft. De gellering van het alginaat bepaalt de marktwaarde. Het bedrijf Meatless gebruikt alginaat om van een bloempap vezels te maken, op basis van een geheim recept. Alginaat is een essentieel onderdeel hierin en het bedrijf test voortdurend alginaten om te zien of er betere of goedkopere producten op de markt zijn, omdat het een belangrijk deel van de kostprijs bepaalt. Voor een high gell wordt ca. 6 tot 7 euro per kilo alginaat betaald. Als er bijvoorbeeld 10% meer alginaat nodig is, is de marktwaarde navenant lager. Het geteste alginaat heeft goede potentie voor toepassing in hun producten, aldus Meatless.



Figuur 8 Test met alginaat om vanuit bloempap vezels te maken



Figuur 9: Het alginat geeft een goede gellering

2.3.7 Stap7 - Feedback van marktpartijen, communicatie m.b.t. de ontwikkeling en met NGO's

Er is gesproken met de Aquaculture Stewardship Council (ASC), Stichting Natuur&Milieu en Stichting de Noordzee. Deze partijen staan allen zeer positief tegenover duurzame zeewierteelt op de Noordzee en in de fjorden van Noorwegen. Men ziet zeewier als een veelbelovende duurzame grondstof voor verschillende toepassingen. Daarbij zijn deze partijen zich wel bewust dat het nog een uitdaging is om de productie van grondstoffen voor de voedings-, veevoer- en farmaceutische industrie ook economisch rond te krijgen.

Voor wat betreft de extractie ter plekke op zee nemen de gesproken partijen een pragmatische standpunt in: zolang het maar milieuvriendelijk is, dus geen storende emissies naar water en lucht en geen overlast in de vorm geluidsoverlast in het water veroorzaakt, vindt men het slim om de extractie daar te doen waar dit het meest rendabel is.

De gesproken partijen zien veel verschillende toepassingen voor de stoffen die uit zeewier geëxtraheerd kunnen worden. De verschillende gebruikers hebben elk hun eigen eisen aan de grondstoffen. Men vindt het daarom uiterst belangrijk om vanaf een vroeg stadium de potentiële afzetkanalen te betrekken bij deze ontwikkeling. Verder ziet men nog financiële uitdagingen bij de combinatie van zeewierteelt met bijvoorbeeld windmolenparken als gevolg van de bijkomende veiligheidsrisico's en kosten voor verzekeringen.

2.4 Verloop van samenwerking

De samenwerking tussen partijen is goed verlopen. Er bleken wel wat technische uitdagingen waardoor het niet mogelijk bleek om monsters naar bedrijven te sturen voor analyse en de analyseresultaten zelf lieten hierdoor ook langer op zich wachten dan gepland. Daarnaast bleek het een uitdaging om iedereen in het consortium optimaal te laten samenwerken en tegelijkertijd goed de rechten van iedere partij goed te beschermen.

Doordat er een tweewekelijks overleg plaatsvond tijdens de uitvoering van het project, hebben we deze problemen adequaat kunnen oplossen. In het geval van het uitblijven van de monsters heeft bijvoorbeeld NSW bedrijven benaderd op basis van analyserapporten en daarmee toch de feedback kunnen vergaren die essentieel bleek voor dit haalbaarheidsonderzoek. In het geval van de consortium agreement hebben actief de beschermingsvraagstukken met de betrokken partners en een jurist weten op te lossen tot een agreement die iedere partij inmiddels heeft ondertekend.

3 Inhoudelijke bevindingen

3.1 Bijdrage aan het maatschappelijk vraagstuk

Eiwitten voor de voedingsindustrie worden veelal verkregen uit soja of vanuit producten van dierlijke oorsprong. Beide bronnen zijn belastend voor het milieu: soja door de ontginning van oerwouden en strijd om ruimte en zoet water; de dierlijke productie o.a. vanwege de soja consumptie en de mestoverschotten). Uiteindelijk komt een deel van de nutriënten uit de mest via het landbouwsysteem, oppervlakte/grondwater in zee terecht.

Visvangst voor vismeelproductie vormt een derde ecosysteembelasting door wegvangen van vaak nog kleine vis en kril.

De grootschalige teelt van zeewier (denk in honderden vierkante km binnen 10 jaar) draagt op verschillende manieren significant bij aan een oplossing voor deze problemen doordat zeewier een hoogwaardige kwaliteit mariene eiwitten produceert die als grondstof voor de voedingsindustrie of indirect als voeder voor vis en vee kan dienen. Tegelijk legt zeewier veel nutriënten uit zee vast die daarmee na extractie opnieuw ter beschikking kunnen komen in de landbouw.

In Noorwegen is in potentie een droge stof productie van 1-1,5 miljoen ton aanwezig gebaseerd op de nutriënten uitstoot uit zalmkwekerijen. Ook de Rijn levert een equivalente of nog groter volume nutriënten. Naar schatting is een productie van 400.000 ton eiwit mogelijk op een oppervlak 1600 km².

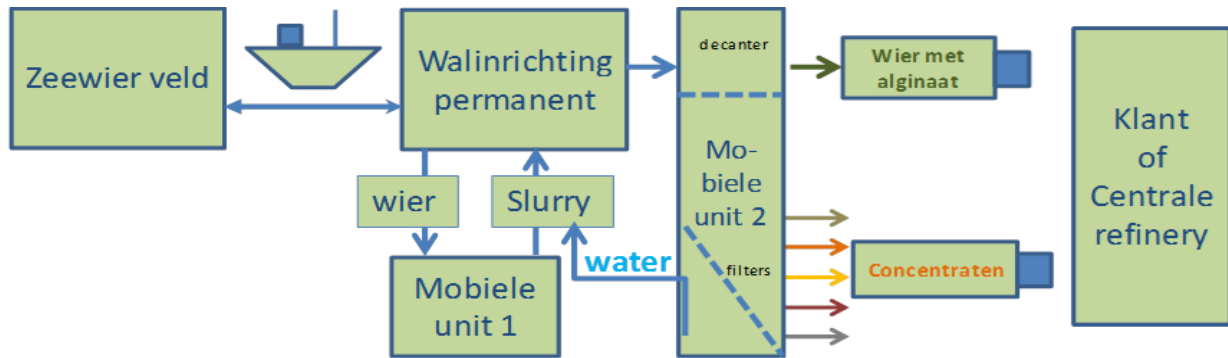
Naast eiwit produceert zeewier onder andere alginaat, dat veelvuldig wordt gebruikt in de voedingsindustrie, maar nu niet duurzaam wordt gewonnen uit natuurlijke populaties zeewier (Noorwegen, Frankrijk).

De grootschalige zeewierteelt vormt een radicaal andere benadering van de duurzame grondstofvoorziening in de voedselketen waarbij de zee duurzaam wordt benut en tegelijk milieubelastende processen en teelten op land worden beperkt. In combinatie met visteelt die duurzamer wordt en waar de eiwitten weer kunnen worden teruggevoerd. Daarnaast worden fosfaten teruggewonnen en en-passant een bijdrage geleverd aan vastleggen van CO₂. In potentie heeft deze benadering dus een grote impact op de voedselproductie nationaal als internationaal!

De bijdrage van dit onderzoek aan het maatschappelijk vraagstuk “verduurzaming van de voedselproductie” kan significant zijn. In dit rapport wordt beschreven dat de zeewierketen technisch en economisch haalbaar is. Dankzij het proces van meervoudige extractie, is het mogelijk om zeewier volledig te verwaarden en dus met zeewier een hogere opbrengst per ton te realiseren (en dus per ton opgenomen nutriënten en CO₂). Deze hogere opbrengst maakt het vervolgens weer mogelijk om zeewier te telen in fjorden of bijvoorbeeld op onze Nederlandse Noordzee, waar teelt niet per definitie het goedkoopste is. Ter vergelijking momenteel lijkt verzamelen van zeewier uit de natuur tot op heden de enige rendabele manier om zeewier te benutten als grondstof en dit is natuurlijk beperkt tot niet opschaalbaar. Het duurzaam telen van zeewier is wel opschaalbaar en dit betekent dus dat we de zee kunnen gebruiken om een duurzame biomassa te telen die in allerlei bestaande ketens als grondstof kan worden ingezet om minder duurzame grondstoffen te vervangen. De meerwaarde voor het maatschappelijk belang is hiermee evident.

3.2 Technische haalbaarheid

Vanuit de beschrijving van hoofdstuk 2 van de stappen die zijn gezet als onderdeel van dit haalbaarheidsonderzoek, kan geconcludeerd worden dat het technisch haalbaar is om zodanig eenvoudig extractieproces te ontwerpen dat dit lokaal op locatie van de zeewierboer kan worden toegepast. Het is tevens haalbaar hiervoor een efficiënt werkende mobiele zeewier extractie-unit te maken en deze klein genoeg te houden zodat het in een of enkele containers zou passen. Het is daarbij te verwachten dat de mobiele unit uit 2 delen bestaat: 1. de waterige en alkalische extractie en 2. de filtratie. Voorts wordt uitgegaan van de aanname dat de zeewierboer op land voldoende faciliteiten heeft om het geoogste zeewier te conserveren totdat de mobiele extractie-unit arriveert (dit kan meerder weken tot maanden zijn).



Figuur 10: Blauwdruk zeewier keten van boerderij tot aflevering halffabricaat aan afnemer

Deze technische haalbaarheid is vastgesteld op basis van de volgende elementen:

3.2.1 Zeewier direct na de oogst

Aan het begin van het proces staat het zeewier. Bij de aanvang van deze studie bestond er de vrees dat het zeewier direct na oogst snel zou bederven. Al enige jaren is door Hortimare onderzoek gedaan naar de mogelijkheid het zeewier in silage te brengen (inkuilen, melkzure vergisting). In dit proces dat vergelijkbaar is met de productie van zuurkool, daalt de pH tot 4,5 en worden suikers omgezet in melkzuur. Deze techniek is ook hier toegepast als voorfase voor de eigenlijke extractie. In feite is het zo dat de silage al zorgt voor een eerste extractie en dus meer dan aanvankelijk aangenomen een onderdeel is van het gehele proces. Dit proces zal expliciet op plaats van de oogst moeten worden uitgevoerd.

De vraag blijft of niet ergens in het proces een verhittingsstap moet plaats vinden om enzymsystemen thermisch uit te schakelen omdat naast conserverende werking mogelijk ook enzymatische afbraak van waardevolle componenten optreedt. In ieder geval worden suikers deels omgezet in zuur. De oplossing blijkt niet zodanig zuur te worden dat dit de alginaten al vrijmaakt. De algiinaat raffinage zal gemakkelijk worden vanuit het reeds zure milieu en besparingen op zuurdosering in het algiinaat proces kunnen om deze reden gerealiseerd worden.

De kwaliteit van het voorbehandelingsproces bepaald in hoge mate het rendement van de uiteindelijke extractie. Om die reden is er in het onderzoek toch aandacht aan geschonken.

3.2.2 Testen op labschaal

Labschaal testen hebben in duplo aangetoond dat eiwitten en koolhydraten zoals mannitol en laminaran effectief uit het zeewier kunnen worden geëxtraheerd. Er is hierbij afgeweken van het oorspronkelijke plan van het uittesten van meerdere raffinage strategieën door direct te kiezen voor een reeds beschikbare en tot pilot schaal ontwikkelde strategie. Deze strategie is op labschaal nogmaals bevestigd en vervolgens opgeschaald.

De alginaten blijven met deze methode op hun plek in het wier en worden qua gehalte "verrijkt" door het onttrekken van de hierboven genoemde componenten. Resterend wier na extractie van bovengenoemde stoffen bevat gezuiverd algiinaat. Het feit dat algiinaat door de milde waterige extractie niet wordt losgemaakt van het wier is een zeer positief resultaat. Hierdoor is de complicatie van algiinaat in het proces achterwege gebleven en ligt de weg open voor scheiding en zuivering van de diverse deelstromen.

3.2.2.1 *Onderzoek extractie efficiency*

Er zijn 3 monsters genomen en voor onderzoek opgestuurd naar Nutrilab. Hieronder de omschrijving van de monsters en de resultaten van het onderzoek.

Omschrijving	Drogestof	Ruw as	N-Dumas	Eiwit (factor 6,25x N)	Kg eiwit
Zeewier monster van het ontvangen ingevroren zeewier	16.6t%	6.6%	0.270%	1.69%	13,5 kg
Dun extract 5000 liter			<0.04%	0,027% (berekend)	
R.O concentraat van 500 liter dun extract omgerekend naar 5000 liter			0.241%	0,241%	7,5 kg

Tabel 2: Omschrijving monsters en de resultaten van het onderzoek

Op basis van het eiwitgehalte in het R.O concentraat is een hoeveelheid geëxtraheerd eiwit van 7.5 kg berekend. Op een input van 13.5 kg eiwit uit 800 kg wier betekent dit een extractie efficiency van $7.5/13.5 \times 100\% = 55.6\%$.

Uit tabel 2 en 3 blijkt dat de waterige extractie en de evt. aanzuring daarvan tot een extractie van meer dan 50% van het aanwezige eiwit leidt. Mannitol wordt zelfs voor 75% geëxtraheerd. Dit zijn zeer bemoedigende resultaten voor dit proces en de verwachting is dat dit nog eenvoudig geoptimaliseerd kan worden.

Ook de overige carbohydraten kunnen goed gescheiden worden van de eiwitten na de zure extractie met ultrafiltratie. De zouten worden effectief weggenomen in een omgekeerde osmose.

Sample	3	4	6	7	8	9	g in '1' total seaweed	Total (g) extracted (3,4, 6-9)	% extracted
Volume (mL)	1000	350	1000	200	800	-	-	-	-
Mannitol (g)	1.25	11.38	0.09	2.81	0.03	-	20.61	15.56	75.50
Protein (g)	1.30	6.13	0.34	1.52	BD	BD	21.80	9.29	42.59

Tabel 3: Overview of extraction efficiencies for protein and mannitol, based on extract volumes supplied by Danvos (sample set 1).

- Protein extracted in sample set 1 = 9.29g (42.59% of total)
- Protein remaining in seaweed after extractions for sample set 1 = $(1000g \times 0.99\%) = 9.9g$ (45.41% of total)

Sample	1A	2A	4A	5A	7A	total at start (0A)	Total (g) extracted (1A,2A,4A,5A & 7A)	% extracted
Volume (mL)	150	2000	1000	600	600	1000	-	-
Protein g	0	6.6	4.3	1.5	0.54	25.6	12.94	50.55

Tabel 4: Overview of extraction efficiencies for protein (sample set 2), based on volumes supplied by Danvos (sample set 2).

- Protein extracted in sample set 2: = 12.94g (50.55% of total)

Er is ook gelet op de aanwezigheid van zware metalen. Het blijkt dat er zich een hoge concentratie arsenicum in het wier bevindt dat uiteindelijk in de diverse fracties terecht lijkt te komen. De verwachting is echter dat zich dit met name in de as fractie bevindt. Cadmium, kwik en lood blijven vrij goed gebonden aan de resterende vaste fractie.

Sample fraction	Arsenic (ppm)	Cadmium (ppm)	Mercury (ppm)	Lead (ppm)
1	115	0.368	0.021	1.12
10	5.02	0.356	0.015	1.61

Tabel 5: Heavy metal concentrations in the dried raw seaweed (fraction 1) and the seaweed remaining after extractions (fraction 10).

3.2.3 Testen op pilotschaal

Opschaling van de labtest met 1 kg zeewier naar de pilotschaal met 800 kg is uitgevoerd en mogelijk gebleken zonder dat zich dimensioneringsproblemen hebben voorgedaan. Er is in deze fase een extractie efficiency bereikt voor eiwit van > 50% en voor de koolhydraten en mineralen van >75%

Het voor de verdere opschaling en winbaarheid van componenten kritische membraan proces (reverse osmosis) heeft zich stabiel getoond. Er zijn tijdens diverse proef runs geen complicaties opgetreden met verstopping van membranen door algaat of door suspended solids, zoals werd gevreesd.

3.2.4 Mobiel maken van de meervoudige extractie-unit

De schaal en dimensies van de mobiele unit1 en mobiele unit 2 zoals omschreven in hoofdstuk 2.3.3 zijn geschikt om de installatie mobiel te maken. Hierbij wordt uitgegaan van 2 mobiele units waarbij de zeewierboer op land faciliteiten beschikbaar heeft om de zeewieroogst langere tijd op te slaan waarbij bij fermentatie optreedt alsook de extractieproducten kort kan opslaan totdat de klant ze komt afhalen.

3.2.5 Overige observaties

Voor het proces als zodanig zijn geen knelpunten in de (milieu) regelgeving aangetroffen dankzij het milde karakter van de waterige extractie en het recyclen van extractie water. Afvalstoffen komen nagenoeg niet voor. Schadelijke dampen of belastende geur emissies zijn niet waargenomen.

Een knelpunt van het zure/zoute proces is de corrosiviteit. Roestvast staal is met name niet goed bestand tegen deze combinatie. Voor de opslagsilo's zoals deze door de zeewierboer dienen te worden aangeschaft en onderhouden is het daarom aan te raden om voor vezel versterkt polyester te kiezen zoals dat ook in food/feed grade beschikbaar is.

Een verder onderwerp voor het haalbaarheidsonderzoek is de beperking van het water volume en de verkorting van de extractie tijd (= buffertijd). Hier wordt in het economisch model nader aandacht aanbesteed gezien de effecten van op de CAPEX.

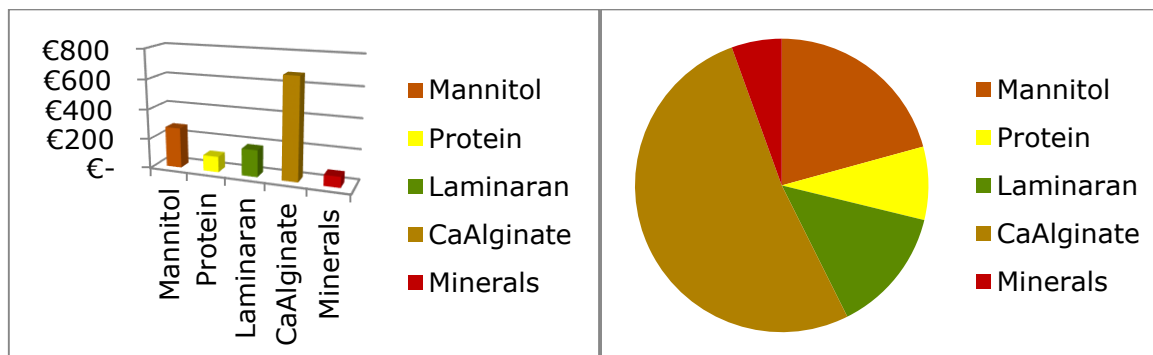
3.3 Economische haalbaarheid

3.3.1 Introductie

Ten behoeve van de economische haalbaarheid is een model opgezet. Dit model is toegelicht in hoofdstuk 2.3.4. Daarbij wordt uitgegaan van een zeewierboerderij met een omvang van 100 ha bruine zeewier van een gangbaar en goed kweekbare soort Saccharina Latissima (Suikerwier). Van dit wier is veel bekend van de samenstelling en de te verwachten opbrengst bij volledige benutting van het potentieel van dit wier. Op basis van praktijkgegevens is het realistisch om er vanuit te gaan dat een zeewierboerderij gemiddeld 10 kg zeewier per m2 per jaar zal opleveren. Verder is bekend dat gekweekte Saccharina ca. 16% droge stof bevat. Er is behoudend gerekend met 15% droge stof. Overigens, de markt rekent in zogenaamde droge tonnen. Voor 1 ton droge stof is $100/15 = 6,7$ ton vers wier nodig. Alle verdere waarden in dit rapport zijn derhalve uitgedrukt in droog product.

3.3.2 Meervoudige extractie

Hieronder in Figuur 11 zijn grafieken uit het economisch model weergegeven waarbij de toegevoegde waarde van MEZ versus enkelvoudige algi-naat extractie duidelijk in beeld is gebracht.



Figuur 11: Verhouding bestanddelen in Saccharina Lattissima

De verwerking van bruine zeewiersoorten zoals Saccharina is al decennia lang haalbaar bij slechts enkelvoudige extractie van het algi-naat en op basis van geïmporteerd (Azië) of in de natuur verzameld (Europa) zeewier. De belangrijke bijdrage van het algi-naat voor de totaal opbrengst is duidelijk af te lezen van bovenstaande grafieken. Echter is ook te zien dat het MEZ model de waarde van het zeewier verdubbelt. Hierbij is dezelfde, dus geen enkele extra inspanning vereist voor de teelt, de handling en logistiek. Hierdoor is het dus evident dat dankzij meervoudige zeewier extractie de kosten niet significant toenemen en de opbrengsten bijna verdubbelen.

Het economisch model laat zien dat er nog een opbrengstverbetering tot € 1600 in zit door de opwerking van het algi-naat en de MEZ half-fabricaten te integreren. Deze opbrengstverhoging is te verklaren uit het feit dat met de aflevering van 1 enkele component in feite ook ca.20 % onzuiverheden van de overige componenten worden meegeleverd maar niet betaald. Een algi-naat verwerker betaalt immers alleen voor algi-naat en een eiwitverwerker alleen voor eiwit.

3.3.3 Economische haalbaarheid

Het economische model laat zien dat de benadering van meervoudige extractie van zeewier economisch haalbaar wordt vanaf het moment dat er bij de zeewierboer niet meer hoeft te worden betaald voor een ton zeewier, en aanverwante diensten, dan +/- €1100,- per ton droge stof zeewier (feitelijk dus 6.7 ton verse zeewier) zie ook Tabel 6 hieronder. Dit is gebaseerd op 10 raffinage campagnes per jaar die elk 28 dagen duren. Vanuit de ervaringen van Hortimare in Noorwegen en de Faroer-eilanden is dit een prijs die zeker haalbaar is danwel zal zijn in de nabije toekomst. De bijbehorende revenuen per campagne en per extractieproduct staan weergegeven in Tabel 7

Price breakdown for CAPEX, OPEX and raw seaweed price per dilution					
Dilution	Total CAPEX	Total OPEX (excluding seaweed)	Total Gross Revenue	Investment mobile unit	Break-even price seaweed
0	€4,625,000.00	€1,205,844	€18,578,821.41	€4,625,000.00	€1,158
1	€6,125,000.00	€1,503,060	€18,971,075.66	€6,125,000.00	€1,165
2	€9,125,000.00	€1,970,988	€19,086,671.23	€9,125,000.00	€ 1,141

Tabel 6: Break-even prijs voor een ton droge zeewier

De opbrengst per campagne is als volgt opgebouwd:

Opbrengst per extractieproduct					
Dilution	Alginat revenue	Protein revenue	Mineral revenue	Laminaran revenue	Mannitol revenue
0	€1,012,500	€157,500	€103,926	€243,012	€340,944

Opbrengst per extractieproduct					
1	€1,012,500	€157,500	€105,452	€257,556	€364,100
2	€1,012,500	€157,500	€106,146	€257,556	€374,965

Tabel 7: Opbrengst per extractieproduct

3.3.3.1 Alginaatmarkt

Aangezien de opbrengst van ongeraffineerd alginaat de grootste bijdrage levert aan de totale opbrengst is het aan te raden om deze prijzen te verifiëren bij de alginaat verwerkende industrie. De totale hoeveelheid ruw, ongeraffineerd alginaat bedraagt daarnaast 2,500 ton waarbij de totale marktomvang van geraffineerd alginaat 35,000 ton is. Dit betekent dat het aan te raden is om een nadere studie wordt verricht naar de wijze waarop dit product succesvol naar de markt gebracht kan worden.

De gehanteerde prijs van € 3000/ton is gebaseerd op een zuivere alginaatprijs van €6000/€7000/ton waarbij een korting is toegepast van rond de 50% om van het ruwe, ongeraffineerde alginaat uit bovenstaand proces tot het pure, geraffineerde alginaat te komen bij een alginaatplant. Deze prijzen zijn inclusief het aanbieden van het product bij de poort van de verwerkende afnemer/fabriek inclusief alle nabewerkingen en transportkosten.

3.3.3.2 Proteïnen

De opbrengst van proteïnen is bepaald rond de €1000/ton zodat de kosten van verdere concentratie van het product danwel spray-drying van het product alsook de aanwezigheid van een grote hoeveelheid van zout en alginaten in het product hierin ook is meegenomen. De markt voor eiwitten ten behoeve van veevoer/visvoer is groot in vergelijking met de hoeveelheid product die uit dit proces komt, t.w. 1000ton.

3.3.3.3 Laminaran

Voor de prijs van laminaran in de vorm van een speciality sugar (health carb) is € 1000/ton aangenomen. De markt van dit product is groot in vergelijking met de hoeveelheid product die uit dit proces komt, t.w. 1250ton.

3.3.3.4 Mannitol

Voor de prijs van mannitol in de vorm van een speciality sugar (health carb) is € 1500/ton aangenomen. De markt van dit product is groot in vergelijking met de hoeveelheid product die uit dit proces komt, t.w. 1000ton.

3.3.3.5 Mineralen

Voor de prijs van mineralen als ruwe kunstmest is € 400/ton aangenomen. De markt van dit product is groot in vergelijking met de hoeveelheid product die uit dit proces komt, t.w. 1250ton.

3.3.4 Economische haalbaarheid van een verder onderzoek- en ontwikkelingstraject (fase 2)

Samenvattend kan vastgesteld worden dat op basis van de resultaten in dit haalbaarheidsonderzoek meervoudige extractie van zeewier economisch haalbaar is en dat het meer dan de moeite loont om dit in een fase2 project verder te onderzoeken en ontwikkelen. Deze samenvatting is gebaseerd op de volgende inzichten:

- Voor alle producten is er een markt beschikbaar is die groot genoeg is om te kunnen betreden met de te verwachten hoeveelheden die uit het proces kunnen worden gewonnen.
- De maximale prijs die betaald kan worden voor het zeewier dat door de zeewierboer aan de mobiele extractie-unit wordt aangeboden is haalbaar gezien de opgebouwde ervaring met zeewierteelt door de betrokken partijen en de verwachte kostprijsontwikkeling.

Hiermee is aan de oorspronkelijke vraagstelling voldaan omdat wordt aangetoond dat meervoudige extractie van zeewier met een mobiele unit als onderdeel van de zeewierketen, zoals die hierboven is omschreven, economisch haalbaar is.

3.3.5 Risico's en onzekerheden

Als onderdeel van de economische analyse zijn de volgende risico's en onzekerheden geïdentificeerd:

- Voor wat betreft beschikbare markt lijkt er voor het alginaat een uitzondering te zijn vanwege de marktgrootte. Het zou dan ook nader onderzocht moeten worden in een fase2 traject hoe we deze potentiële waarde met de juiste strategie ook daadwerkelijk kunnen realiseren.
- De kwaliteit en de kwantiteit van het aangevoerde zeewier voor extractie.
- Er is het risico van fluctuerende marktprijzen voor grondstoffen, zoals dat elk bedrijf dat met grondstoffen werkt dat heeft.

3.3.6 Overige observaties en mogelijke knelpunten

Als onderdeel van de economische analyse zijn de volgende observaties gedaan en knelpunten geïdentificeerd:

- Vanuit wet- en regelgeving zou één van de knelpunten kunnen zijn dat extracten door een EU en FDA approval procedure heen moeten. Duur en tijdrovend. Hier wordt omheen gewerkt door in eerste instantie voor diervoeder en technische toepassingen te gaan. De beperking geldt niet voor het reeds gevestigde product alginaat dat wereldwijd als food grade verdikkingsmiddel wordt gebruikt. Mogelijk dat food applicaties van eiwitten en suikers uit zeewier hierbij aan kunnen haken en een versnelde procedure voor approval kunnen doorlopen.
- Economisch en qua wetgeving gezien dient ook gelet te worden op maximale residu limieten (MRL's) voor zware metalen. Er is een overschrijding van de arseen limiet geconstateerd.
- Keuze van een schoon teelt milieu en kwaliteits/keten beheersing zijn eveneens belangrijke aspecten waar een post QA voor is gereserveerd in de OPEX.
- Potentieel is er een knelpunt met het afvalwater zoals dat uit het proces komt. Er zijn goede indicaties dat we dat kunnen minimaliseren en wellicht volledig vermijden, maar nader onderzoek is gewenst om dit te bevestigen.

3.4 Toegevoegde waarde voor de samenleving

Zoals hierboven omschreven in hoofdstuk 3.1 is de bijdrage aan het maatschappelijk vraagstuk als significant aangegeven waarbij de impact op de samenleving navenant is. Het doel is dat we, in lijn met de conclusies in dit haalbaarheidsonderzoek, in een fase 2 ook daadwerkelijk demonstreren dat de zeewierketen op basis van duurzame teelt op zee/in fjorden in combinatie met meervoudige extractie economisch rendabel is. Dit zal moeten leiden tot het ontstaan van nieuwe parallelle initiatieven op het gebied van teelt, meervoudige extractie en verwerking tot eindproducten. Dit zal een economisch effect hebben (export, werkgelegenheid, nieuwe/extra bedrijfsactiviteiten) wat van toegevoegde waarde is voor de samenleving.

Daarnaast zal de duurzame teelt op zee/in fjorden verschillende ecosysteem-diensten opleveren zoals het reinigen van de zee van overtollige nutriënten, omzetten van CO₂ in het zeewater in zuurstof, vergroten van biodiversiteit. En ondanks dat niet al deze diensten in direct geldelijke waarde zijn om te rekenen hebben ze duidelijk toegevoegde waarde voor de samenleving in de vorm van een schoner en gezonder milieu.

4 Conclusies en vervolg

4.1 Introductie

Op grond van de inzichten zoals hierboven beschreven zijn we van mening dat we vervolg in fase 2 op grond van de resultaten haalbaar is. Dit baseren wij op de volgende observaties en conclusies:

- De aanpak van meervoudige extractie van zeewier is technisch haalbaar;
- Deze aanpak is op te schalen naar de omvang van een mobiele unit die tevens technisch haalbaar is;
- Vervolgens kunnen we een capaciteit bereiken met deze mobiele unit die economische haalbaarheid eveneens haalbaar maakt.
 - De opbrengst gaat omhoog dankzij succesvolle meervoudige extractie en verwaarding
 - Er kan een realistische prijs voor zeewier worden betaald zodat grootschalige duurzame teelt ook mogelijk wordt – een essentiële voorwaarde om de supply te kunnen voorzien van de benodigde hoeveelheden grondstoffen.

Dit betekent dat de resultaten eigenlijk in lijn liggen met de verwachtingen in het oorspronkelijke projectplan en op sommige punten (extractie-efficiëntie en zuiverheid) zelfs betere resultaten haalbaar lijken. Samenvattend kan daarom gesteld worden dat op basis hiervan een fase2 project het consortium de mogelijkheid geeft om deze aanpak naar commercieel haalbare schaal op te brengen (fase2) om vervolgens daarmee naar de markt te gaan (fase3)

4.2 Technische conclusie

4.2.1 Conclusie Stap1 - Labschaal meervoudige extractie van zeewier met de Danvos methode

De proeven hebben aangetoond dat met een eenvoudige waterige extractie, gebruikmakend van een decanteermachine, ultrafiltratie, omgekeerde osmose een goede extractie en scheiding van eiwitten, mannitol en overige suikers plaats vindt en dat er bovendien een redelijk zuivere alginaat fractie wordt gewonnen die achterblijft in de pulp.

- (Technische) risico's en onzekerheden:
 - Er zal nadere aandacht moeten worden besteed aan de relatie tussen verzuring (conservering) van zowel de grondstof als de halffabrikaten en eindproducten. De effecten van biologisch/chemisch bederf en de effecten daarvan op de producten van de MEZ zowel qua efficiency als kwaliteit en marktapplicatie zijn op dit moment nog niet helder.
- Economische risico's en onzekerheden die u voorziet voor het in fase 2 beoogde onderzoek
 - Om op relevante schaal en gedurende relevante tijd een proefinstallatie te bedrijven zijn investeringen nodig. De CAPEX laat zien dat deze investeringen aanzienlijk zijn. Momenteel is hiervoor nog geen dekking gevonden.
- Organisatorische risico's en onzekerheden.
 - Beschikbaarheid van consortium partners met voldoende deskundigheid en ook capaciteit om deel te nemen is een probleem gebleken en is ook opnieuw een onzekerheid.
 - De slechte planbaarheid van het project gezien de hoge mate van innovatie maakt de project organisatie moeilijk en onvoorspelbaar
 - Er wordt grote flexibiliteit gevraagd van de consortiumpartners, hetgeen kan conflicteren met hun bestaande werkzaamheden.

4.2.2 Conclusie Stap2 - Onderzoek naar de opschaalbaarheid van dit proces in een mobiele installatie, ontwerpeisen en specificaties

De eenvoud en de relatief kleine machines/pompen die nodig zijn voor het proces maken het mogelijk om dit relatief kleinschalig en mobiel te kunnen uitvoeren. Dit maakt het concept zeer geschikt voor de zeewierteelt die meestal op afgelegen locaties plaats vindt. De units kunnen eenvoudig op een klein schip worden geplaatst.

Voor het proces zijn grote opslagtanks nodig waarvoor al oplossingen zijn uitgedacht (grote kunststof zakken/slurven die desgewenst op de zeebodem worden gelegd). In fase 2 kan zeer goed van de testlocatie van Hortimare gebruik gemaakt worden. Deze is representatief voor de omgeving en de rest van Noorwegen, bovendien gecombineerd met een viskwekerij en al zeer goed bekend in de sector en bij de overheid. De visvoerfabrikanten kijken hier al mee met geïntegreerde teelt en hebben interesse om duurzaam geteelde eiwitten te verwerken in het voer. Er ligt een directe business case klaar voor fase 3 als de raffinage wordt gerealiseerd.

- Omdat de meeste locaties goed bereikbaar zijn over zee is dat de meest geëigende weg. Weersomstandigheden maken die niet altijd beschikbaar. Er moet dus voldoende tijdelijke opslag zijn.
- Het is nog maar de vraag of besparing van extractie water en verkorting van extractietijd wel het gewenste effect opleveren; dit zal met laboratorium onderzoek eerst nader moeten worden vastgesteld en dan opnieuw opgeschaald.
- De bereikbaarheid van zeewiervelden over het water en mobiliteit en opslag – en verwerkings- capaciteit per schip is het onderzoeken waard.

4.2.3 Conclusie Stap3 - Blauwdruk ontwerp van de mobiele installatie en benodigde investering

De gebruikte apparatuur is ook in relatief kleine capaciteiten verkrijgbaar. In Fase 2 is het daarom goed mogelijk voor een realistisch budget een installatie te bouwen en te testen waarmee het wier dat nu wordt geproduceerd (ong. 10 hectare) te verwerken.

De onzekerheid over de prestatie is nog wel hoog, omdat het experiment slechts 2 x op labschaal en 1 x op pilotschaal werd uitgevoerd. Continu operatie gedurende ten minste 2 campagnes met een mobiele pilot unit zou moeten worden uitgevoerd voordat tot een full scale investering zou kunnen worden besloten. Verder zouden de meest belangrijke verbeterpunten experimenteel moeten worden ontwikkeld en geverifieerd. Het herhaald gebruik (EN tekst “multi use”) van apparatuur zou ook experimenteel moeten worden geverifieerd. De beste beschikbare schattingen werden gebruikt voor de product specificaties, maar de actuele monsters moeten worden gebruikt.

4.2.4 Conclusie Stap4 - Economische analyse van het raffinageproces

Het proces heeft een geschatte break-even zeewier prijs tussen € 1000 and € 1250 per ton, die valt in doelstelling van Hortimare. Er zijn significante onzekerheden in de prijsstelling en het economisch model. Deze onzekerheden kunnen worden gereduceerd met verdere ontwikkeling en door het proces op relevante schaalgrootte en gedurende relevante tijd uit te voeren. Er is duidelijk ruimte voor zowel het verbeteren van de CAPEX als de opbrengst. Dit moet nader worden onderzocht in de volgende fase.

- De MEZ aanpak levert aantoonbaar meerwaarde op ten opzichte van de enkelvoudige alginat productie.
- Het economisch model laat zien dat bij 1 run van 100 ha zeewier er een alginat opbrengst is van ca. €1,5 miljoen per jaar. De gezamenlijke toegevoegde waarde van de producten eiwit, mineralen, laminaran en mannitol gerekend met de praktijkcijfers uit dit onderzoek bedraagt ca. €1,0 miljoen.
- Uit de economische analyse is af te leiden dat de meerkosten van de meeropbrengst ongeveer op het gelijke niveau liggen.
- Gezien het verbeter potentieel met name op CAPEX niveau is de verdere ontwikkeling van een totale raffinage unit met integratie van alginat productie en de nieuwe productie lijnen een te verkiezen route. De extra bijdrage van de overige producten levert op termijn een gunstige concurrentie positie op.
- De duurzaamheid van de toekomstige MEZ plant ten opzichte van de gevestigde orde met alginat productie die de overige waardevolle componenten slechts tot afvalstromen weet te verwerken is in de huidige economie en commercie doorslaggevend en verdient daarom nadere studie in de volgende fase.

4.2.5 Conclusie Stap5 - Chemische analyse van het product, opstellen productspecificatie

De proeven hebben aangetoond dat het proces 75% van het mannitol en rond 50% van de eiwitten weet te extraheren en te scheiden. Verder blijkt dat 83% van de alginat in de vaste fractie achterblijft die dan met het traditionele alginatextractieproces gewonnen kan worden door de daarvoor al ingerichte industrie.

Ook Laminaran (suiker) wordt bij de eerste ultrafiltratie effectief gescheiden van de eiwitten. De exacte opbrengsten zijn nog onzeker alsook de zuiverheid daarvan. ER zijn echter voldoende optimaliseringsmogelijkheden voorhanden met dit proces om in fase 2 tot een optimaal resultaat te komen.

Zware metalen, in het bijzonder arsenicum, blijkt te worden geextraheerd. Het wordt aangenomen dat dit met name in de as fractie terecht komt. In de laatste zeewier residue fractie is het arsenicum zo laag dat dit voor veevoertoepassing kan worden aangewend.

4.2.6 Conclusie Stap6 - Uitzetten van productmonsters geproduceerd met de labopstelling

Op basis van de eerste verkenning bij potentiële klanten, lijkt er een positief ingestelde, verwachtingsvolle, potentiële klantenkring te zijn. Bepalend voor het succes van het eiwitconcentraat wordt de functionaliteit van het product en de marktprijs. Om dit te kunnen bepalen, zijn er op grotere schaal monsters nodig, waarmee de voedingstechnologen de functionaliteit kunnen bepalen. Op dat moment krijgen de ontwikkelaars meer zekerheid over de marktwaarde. In deze studie is gerekend met een zeer voorzichtige marktwaarde van plantaardig eiwit. De combinatie met de winning van alginaat, maakt deze businesscase nog kansrijker.

Een onzekerheid is op dit moment, naast de functionaliteit voor toepassing bij de benaderde bedrijven, of de kostprijs, met alle vereiste processtappen, concurrerend kan zijn met eiwitten die reeds op de markt zijn. Tevens zal voldoende kapitaal beschikbaar moeten komen om de benodigde investeringen te doen. Zeewiereiwit is een nieuw product en de afzetmogelijkheden zullen ondubbelzinnig moeten zijn, alvorens investeerders hierin zullen stappen. Voor het opzetten van een alginaatproductie, zullen er wellicht gemakkelijker investeerders zijn te vinden, omdat dit een gevestigde industrie is, in een groeiemarkt.

Weliswaar zit er een risico in de alginaatproductie, in Europa is hierbij sprake van een oligopolie. Het projectconsortium heeft echter contact met een Noord-Europees initiatief van een nieuwe marktpartij, die vergevorderde plannen heeft om een nieuwe productiefaciliteit op te zetten om alginaat uit zeewier te gaan winnen met een vernieuwd procedé, dat minder milieubelastend is. In de volgende fase van dit onderzoek, zal met deze partij een verkenning plaatsvinden, of samenwerking, specifiek voor alginaatproductie mogelijk is. Dit zou een meer gelijkwaardige partner zijn, dan een van de grote bedrijven in deze markt, zoals Cargill en Danisco. Volledig op eigen kracht een alginatenproductie opzetten is namelijk erg ambitieus en kapitaalintensief.

4.2.7 Conclusie Stap7 - Feedback van marktpartijen, communicatie m.b.t. de ontwikkeling en met NGO's

Uit de gesprekken met de verschillende partijen zoals in hoofdstuk 2, stap7 beschreven, wordt duidelijk dat het belangrijk is om voor de toekomst een aantal risico's in de gaten te houden. Dit zijn met name milieurisico's, economische risico's en financiële risico's.

- Bij milieurisico's is het van belang om zeker te stellen dat het extractieproces ter plaatse milieuvriendelijk plaatsvindt zonder schadelijke emissies naar water en lucht en zonder geluidsoverlast onder water;
- De economische risico's betreffen onder andere het kunnen garanderen dat de duurzame grondstoffen aansluiten bij de eisen van de gewenste afzetkanalen;
- De financiële risico's zijn met name veiligheid- en verzekeringsvragen die opkomen indien wordt gedacht aan combinaties van zeewierteelt met andere vormen van gebruik op zee (bijv. windmolenparken).

Naast het ontwikkelen van een milieuvriendelijke extractieproces is het dus uiterst belangrijk om vanaf een vroege fase met de partners in de keten nauw samen te werken.

4.3 Economische risico's en onzekerheden

Er zijn echter ook onzekerheden en economische risico's te verwachten in een fase2 –traject.

- Er zit momenteel nog een significante onzekerheid in de CAPEX voor de mobiele unit zoals dat gebruikelijk is bij een conceptontwerp. Daarentegen lijken we gebruik te kunnen maken van robuuste en bestaande oplossingen waardoor de mogelijkheid bestaat om uit verschillende leveranciers de beste optie te kiezen.

- Een ander risico is het aanbod van zeewier. Als dat niet in voldoende mate en in voldoende kwaliteit beschikbaar is, dan kan de mobiele extractie-unit mogelijk niet de output en kwaliteit leveren die nodig is om klanten te kunnen bedienen.
- Daarnaast is vastgesteld dat er weliswaar bestaande markten zijn waar de extractieproducten kunnen worden afgezet maar het is goed voor te stellen dat er een zekere onwennigheid bestaat bij de gebruikelijke afnemers in deze markt. Het is mogelijk dat dit vertragingen oplevert of resulteert in veel lagere initiële prijzen. Hiertoe is het nodig om als onderdeel van fase 2 deze potentiële klanten actiever te benaderen met daadwerkelijke extractieproducten alsook realistische prognoses van de te verwachten hoeveelheden.

4.4 Organisatorisch risico's en onzekerheden

Naast de hierboven beschreven economische risico's en onzekerheden bestaan die ook op organisatorisch vlak:

- Momenteel wordt er veel technische kennis opgebouwd, met name in het extractiedeel. Zeker als dit een essentieel onderdeel zal blijken voor het concept van meervoudige extractie van zeewier zal het noodzakelijk zijn om hier goede afspraken over te maken met de consortiumpartners en eventuele nieuwe toetreders. Dit zal wellicht vertraging kunnen opleveren. Aan de andere kant is er inmiddels een goede basis voor samenwerking met de huidige samenwerkingsovereenkomst die ook in grote mate voorziet in de verandering die mogelijk gaan ontstaan als gevolg van het starten van een fase 2 project waarbij mogelijk nieuwe partijen willen toetreden aan dit consortium
- Het hierboven genoemde risico ten aanzien van de beschikbaarheid van het zeewier is ook op organisatorisch vlak van toepassing. De activiteiten die een zeewierboer op land moet gaan verrichten om de mobiele unit te kunnen laten functioneren zijn wellicht erg uitdagend in fase waarin de zeewiermarkt zich nu bevindt. Aan de andere kant zijn er veel contacten gelegd met partijen die bereid zijn om zelf ook te investeren en willen meewerken om dit tot een succes te maken. Deze contacten zijn zowel in Nederland alsook in Noorwegen inmiddels gelegd.

4.5 Samenvattende conclusie

Er kan worden geconcludeerd dat de gekozen oplossingsrichting om de verwerking van grootschalig geteelde zeewier met relatief kleinschalige, verplaatsbare extractieunits te doen haalbaar is. Zowel gezien vanuit de technologie, de eenvoud daarvan en het geringe risico voor de omgeving. Anderzijds m.b.t. de logistiek (transport per schip) en de investeringsbedragen die ermee zijn gemoeid. Het is bijzonder hoopgevend dat uit de financiële analyse blijkt dat er bij een zeewierprijs van 1100-1200 euro al break-even kan worden gedraaid. Het perspectief voor de toekomstige zeewierprijs ligt op ongeveer 500-600 euro.

Ook de markt is positief over het beschikbaar komen van alternatieve bronnen voor grondstoffen voor de voer en voedingsindustrie. Men is bereid de toepassing daarvan te overwegen, temeer als blijkt dat de grondstof duurzaam is geproduceerd. Dit wordt bijvoorbeeld in de nabijheid van viskwekerijen gerealiseerd.

De haalbaarheidsvraagstelling wordt hiermee in volledigheid positief beantwoord.

4.6 Geef ten slotte een vooruitblik op fase 3 - Commercialisatie Fase

Zowel vanuit de voedings- als de voerindustrie is belangstelling getoond om eiwitten, suikers en bindmiddelen vanuit zeewier te gaan toepassen. Wij hebben al enkele Nederlandse bedrijven die graag in fase 2 zouden willen aanhaken.

5 Financiën

Hieronder is het originele budget alsook de actuele kosten. Op basis van het projectplan heeft elke partij een offerte ingediend met daarin de geplande activiteiten alsook overige kosten. Het uitgangspunt dat op die manier helder werd wat iedereen precies ging doen en opleveren als onderdeel van dit project. Daarbij was het in principe niet toegestaan voor de consortiumdeelnemers om dit budget te overschrijden. Uiteindelijk heeft, mede door regelmatig en goed overleg, iedere partij netjes binnen haar budget gewerkt zodat er geen kostenoverschrijdingen zijn geweest.

Original budget		
	Total budget	Total hrs
Costs of labour	6400	80
Overhead	3000	
Materials	2500	
Machines & Equipment	2500	
Costs of labour project partners	25600	320
Costs third parties	1200	
Total excl. VAT	41000	
VAT 21%	8610	
Total incl. VAT	49810	400

Approved final budget			
	Total budget (ex. Vat)	Total hrs	other costs
Hortimare (project management)	2674.3		
Danvos (inc. Huiberts) (stap1, 2 en 3)	10925.7	9850	1075.7
ECN (stap3 & 4)	7400		
Ocean Harvest Tech. (stap 5)	8400	84	1680
NZB (stap 7)	5800	60	1450
North Seaweed (stap 6)	5800	60	1000
Total (ex BTW)	41000	10054	5205.7

6 BIJLAGE 1 BIJ FORMAT SBIR EINDRAPPORT FASE 1

6.1 Het directe effect van de SBIR opdracht

Zonder SBIR opdracht was dit project niet of veel later gestart.

6.2 Samenwerking en netwerkvorming

6.2.1 Samenwerkingspartners

Naam samenwerkingspartner	Gevestigd in (land)	Deze partner is bekend/nieuw voor mij	Soort bedrijf (MKB met minder dan 250 werknemers of GRB met 250 werknemers of meer)	Soort kennisinstelling (universiteit, TNO, HBO, MBO of anders)
Danvos	Nederland	Nieuwe partner	MKB	Niet van toepassing
ECN	Nederland	Bekende partner	GRB	Onderzoeksinstituut
Ocean Harvest Technologies	Ierland	Bekende partner	MKB	Niet van toepassing
North Sea Weed	Nederland	Bekende partner	MKB	Niet van toepassing
Stichting Noordzeeboerderij	Nederland	Bekende partner	MKB	Niet van toepassing

6.2.2 Samenwerking in de toekomst

Wij verwachten in de toekomst met alle samenwerkingspartners nog verder samen te werken.

6.3 Het instrument SBIR

6.3.1 Wat vindt u de sterke punten van het SBIR instrument in fase 1

- Extra financiële incentive voor partijen om het goede idee wat op de plank ligt echt aan te pakken en succesvol te realiseren

6.3.2 Heeft u nog suggesties SBIR in fase 1 als instrument verbeterd zou kunnen worden?

- Geen

7 Bijlage 2 – Economisch model

8 Bijlage 3 – Uitgebreid rapport

9 Bijlage 4 – Projectplan

10 Bijlage 5 – Analyse van samples door OHT (Engels)