

PLATFORM GROENE GRONDSTOFFEN

WERKGROEP 1: DUURZAME PRODUCTIE EN ONTWIKKELING VAN BIOMASSA

Deelpad: Aquatische biomassa

Eindversie juli 2006



Tauw



WAGENINGEN UR
For quality of life

Auteurs:

Hans Reith, ECN Biomassa, Kolen en Milieuonderzoek (co-ordinatie)

Jaap Steketee, TAUW BV

Willem Brandenburg, Wageningen UR, Plant Research International, BU Agrosysteemkunde

Lolke Sijtsma, Wageningen UR, Agrotechnology and Food Sciences Group

Inhoudsopgave

1. Samenvatting
2. Deelpad Waterplanten
3. Deelpad Zoutwaterlandbouw
4. Deelpad Micro-algen
5. Deelpad Zeewieren

SAMENVATTING

Het deelpad Aquatische Biomassa heeft een sterke internationale dimensie. Wereldwijd bestaat een groeiende belangstelling voor het aquatisch milieu als leverancier van voedsel, grondstoffen en energie. Daarnaast is er grote aandacht voor watermanagement, met name gezien de problemen die zich aandienen t.a.v. de berging van regenwater en de beschikbaarheid van zoet water voor drinkwatervoorziening en de landbouw. In dit deelpad worden beide thema's aan elkaar gekoppeld, zodat meerwaarde ontstaat voor duurzame ontwikkeling met een grote internationale uitstraling.

Het deelpad Aquatische Biomassa kan een substantiële bijdrage leveren aan de *binnenlandse* beschikbaarheid van biomassa voor grondstof- en energievoorziening. De gezamenlijke potentiële bijdrage aan de biomassaproductie in 2015 en 2030 bedraagt 49 PJ resp. 180 PJ/jaar. (Tabel 1).

Tabel 1. *Energiepotentieel deelpad Aquatische Biomassa in 2015 en 2030 na aftrek van het geraamde energiegebruik voor teelt, oogst en transport.*

Deelpad:	2015		2030	
	Droge stof [x 1000 ton d.s./ jaar]	Energie [PJ] ^{1,2)}	Droge stof [x 1000 ton d.s./ jaar]	Energie [PJ] ^{1,2)}
Waterplanten	500	7,2	1.500	21,6
Zoutwater landbouw	600	8,6	1.250	18
Micro-algen	125	2,0	1.000	16
Zeewieren	2.500	31,5	10.000	126
Totaal	3.725	49,3	13.750	181,6

1) Energie-inhoud (LHV basis): Waterplanten en zoutwaterlandbouw : 16 GJ / ton droge stof; Micro-algen: 20 GJ/ ton droge stof; Zeewieren: 14 GJ/ton droge stof (voor ca. 20 gew.% as).

2) Energiegebruik voor teelt, oogst en transport is geraamd op 10%, behalve voor het deelpad micro-algen (20%)

De deelpaden waterplanten en zoutwater landbouw leveren in hoofdzaak lignocellulose biomassa voor vergisting en voor mee- en bijstook voor elektriciteits- en warmteproductie. Op langere termijn kan de biomassa tevens dienen voor de productie van bio-ethanol (en andere fermentatieproducten) en bio-olie via HTU of pyrolyse. Op langere termijn kunnen de beide deelpaden tevens eiwitten leveren (10 a 15 %) voor de productie van N-chemicals. Restfracties en mineralen kunnen worden benut als meststof of worden teruggevoerd (mineralen recycling).

Het deelpad micro-algen biedt met name potentieel als leverancier van bio-olie en eiwitten. De oliefractie kan rechtstreeks worden toegepast als vervanging van visolie of voor de productie van PPO of methylesterbrandstof ('biodiesel'). Bij inzet van algenolie (die rijk is aan hoogwaardige vetzuren) als alternatief voor visolie kan de vermeden fossiele inzet in 2030 ca. 70 PJ bedragen door besparing van fossiele stookolie in de visserijsector. De biomassa of delen daarvan kan tevens worden benut voor energieproductie via fermentatie (CH₄, ethanol) of HTU. Andere potentiële bulkproducten zijn agrochemicaliën en functionele ingrediënten in biopolymeren. Daarnaast zijn er mogelijkheden voor winning van specialties waaronder omega-vetzuren, kleurstoffen, antioxidanten en andere bio-actieve stoffen. De productie van deze specialties heeft een beperkt volume maar kan bijdragen aan de initiële marktontwikkeling. Micro-algen productie kan goed worden gecombineerd met de (na)zuivering van afvalwater (N en P verwijdering) en directe vastlegging van CO₂ uit rookgassen. Hiermee kunnen extra energiebesparing en aanvullende baten worden gegenereerd.

Grootschalige teelt van zeewieren in de Noordzee in combinatie met offshore windparken biedt een enorm potentieel als bron van bio-energie en hernieuwbare grondstoffen, chemicaliën en producten. Zeewieren biomassa is geschikt voor winning van een scala aan CO₂-neutrale producten en energiedragers. Op de

eerste plaats producten die tegenwoordig al worden gewonnen zoals phycocolloïden (alginaten, agar, carrageen), voedingssupplementen, diervoeders, meststoffen en personal care producten. Deze producten en gebruik in voeding kunnen bijdragen aan de initiële marktontwikkeling. Door het hoge polysacchariden gehalte (ca. 60 gew%) is zeewier tevens geschikt voor productie van gasvormige en vloeibare brandstoffen via fermentatie (methaan, bioethanol) of bio-olie (HTU) en van platformchemicaliën zoals melkzuur, propaandiol en biopolymeren die petrochemische producten kunnen vervangen. Zeewieren zijn daarnaast een potentiële bron van eiwitten, mannitol, vetzuren, kleurstoffen en bio-actieve stoffen. Zeewieren hebben een hoog gehalte aan mineralen (20 a 25 gew%) die kunnen dienen voor winning van minerale producten zoals jodium, broom, meststoffen ('potash') of worden teruggevoerd naar de kweeksystemen op zee.

De verdeling van het primaire energiepotentieel van het deelpad Aquatische Biomassa over verschillende toepassingen in 2030 voor productie in Nederland en de Noordzee is weergegeven in Tabel 2.

Tabel 2. *Primair energiepotentieel van het deelpad Aquatische Biomassa in 2030 in Nederland (en de Noordzee) voor verschillende toepassingen van de biomassa.*

	Biomassa potentieel ¹⁾ [PJ]	Elektriciteit & warmte en SNG [PJ]	Fermentatie/ ethanol [PJ]	Bio-olie [PJ]	Chemie [PJ]
Waterplanten	21,6	18,4	-	-	3,2
Zoutwater landbouw	18	7,2	7,2	-	3,6
Micro-algen	16	2,3 ³⁾	1,6	7,2 (72) ²⁾	7,2
Zeewieren	126	12,6	31,5	31,5	50,4
TOTAAL	181,6	40,5	40,3	38,7 (103,5) ²⁾	64,4

1) Na aftrek energiegebruik voor teelt, oogst en transport.

2) Voor het deelpad micro-algen kan de productie van olie als vervanging van visolie een ca. 10 maal hogere vermeden fossiele inzet opleveren door besparing van fossiele stookolie voor de visvangst.

3) Vermeden fossiele inzet door besparing van elektriciteit voor waterzuivering voor e-rendement =40%

Naast de bijdrage aan de CO₂ emissie reductie, hebben de deelpaden een aantal kenmerken gemeen die toegevoegde waarde bieden voor duurzame ontwikkeling. Alle deelpaden maken gebruik van aanvullend areaal dat niet of minder geschikt is voor landbouwproductie. Door de teelt in aquatisch milieu is er geen concurrentie met landgebruik voor voedselteelt en wordt geen beslag gelegd op zoetwatervoorraden. Ook bij de teelt van micro-algen in reactoren worden locaties gebruikt die voor landbouw ongeschikt zijn.

Drie van de vier deelpaden lenen zich voor multifunctioneel ruimtegebruik door combinatie met resp. waterberging en natte natuur (waterplanten), offshore wind en combinatie met teelt van vis- en schelpdieren (zeewieren) en natuurontwikkeling en recreatie (zoutwaterlandbouw). De deelpaden waterplanten en micro-algen leveren een bijdrage aan energiebesparing voor waterzuivering door nutriëntenverwijdering, verbetering van de oppervlaktewaterkwaliteit en een bijdrage aan de bestrijding van verzilting. De verwachting is verder dat de oogst van biomassa uit zoetwatersystemen (deelpad waterplanten) zal bijdragen aan een afname van de methaanemissies. Het deelpad Zoutwaterlandbouw maakt nuttig gebruik van verzilte gronden op aan de kust gelegen locaties. De ecologisch verantwoorde inpassing van kweeksystemen is de belangrijkste kritische succesfactor voor grootschalige zeewierenteelt in de Noordzee. Eventuele negatieve (eutrofiëring, verstoring zeezoogdieren) en positieve (herstel visbestanden) ecologische effecten bij de teelt van zeewieren moeten nader worden onderzocht.

De 4 deelpaden tonen duidelijke verschillen in de stand van de technologische ontwikkeling en daarmee het tijdspad voor realisatie. Het deelpad waterplanten is het dichtst bij realisatie, gevolgd door het deelpad

zoutwaterlandbouw. De deelpaden micro-algen en zeewieren vereisen meer ontwikkeling. De eerstvolgende stap in de ontwikkeling is evenwel duidelijk voor alle deelpaden. Voor alle deelpaden zijn concepten en experimenten geformuleerd, waarmee de ontwikkeling kan worden gestart.

Bijdrage waterplanten aan beschikbaarheid biomassa

Ir. Jaap Steketee, TAUW BV

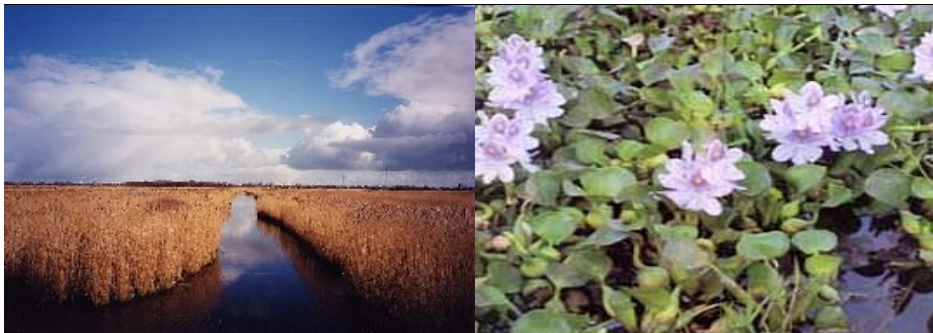
1. Beschrijving en afbakening

Visie

Nederland heeft een relatief groot oppervlak aan zoete wateren: sloten, watergangen, moerassen, meren en dergelijke. Door de klimaatsverandering moet de capaciteit voor waterberging worden vergroot, daarnaast wordt het areaal aan natte natuur uitgebreid. Het wateroppervlak in Nederland zal daarom toenemen. Voor de instandhouding van functies (waterafvoer, waterberging, maar ook natuur) is onderhoud noodzakelijk. Dit betekent dat bijvoorbeeld watergangen regelmatig gemaaid moeten worden. Bij het onderhoud komen grote hoeveelheden ‘waterplanten’ vrij. In dit kader worden hieronder alle planten verstaan die in, op of langs het water groeien. Momenteel wordt een deel van dit materiaal gecomposteerd, een ander deel wordt ondergeploegd op naastgelegen percelen landbouwgrond en een deel blijft ter plekke liggen.

Kernboodschap

Waterplanten vormen een stabiele en duurzame bron van biomassa. Het materiaal is momenteel al beschikbaar en is geschikt om te worden ingezet voor opwekking van energie.



Figuur 1 Voorbeelden waterplanten: riet (links) en waterhyacinth (rechts)

2. Kwantitatieve doelen

Aangezien het gaat om een variabel mengsel van planten, is toepassing in de energieproductie het meest geëigend. Waterplanten bestaan in hoofdzaak uit lignocellulose. Uit de OTC studie “Waterplanten als grootschalige energiebron” blijkt dat het materiaal in beginsel geschikt is voor vergisting en meestoken in kolencentrales (maximaal circa 8%). Afhankelijk van de technologische ontwikkelingen, kan waterplanten biomassa in de toekomst ook gebruikt worden als feed voor bioethanol productie, HTU en dergelijke. Sommige waterplanten, zoals kroos en ondergedoken waterplanten zoals fonteinkruid en waterpest bevatten veel eiwit (20-30 gew.%). Meegemaaide oeverplanten bevatten maximaal ca. 15 gew.% eiwit. De categorie “waterplanten” als geheel kan naar schatting 15 gew.% eiwit als grondstof leveren. Deze mogelijkheden worden eerst op langere termijn verwacht, afhankelijk van de ontwikkeling van specifieke oogst- en fractioneringstechniek om deze eiwitten grootschalig beschikbaar te maken. De resterende lignocellulose fractie (gemiddeld 85 gew.%) kan voor energiedoeleinden worden ingezet.

Er wordt vanuit gegaan dat tot 2015 de inzetbaarheid beperkt is tot vergisting en meestoken, ofwel productie van elektriciteit en warmte. De volgende hoeveelheden zijn beschikbaar:

Tabel 1 Energiepotentieel waterplanten (16 GJ/ton droge stof) na aftrek geraamd energiegebruik (10%) voor teelt, oogst en transport in 2015 en 2030.

Jaar	Areaal [hectare]	Biomassaproductie [Ton d.s. x 1000]	Energiepotentieel [PJ]
2015	50.000	500	7,2
2030	150.000	1.500	21,6

Uitgangspunt hierbij is dat de beschikbare biomassa wordt geoogst. Er is geen rekening gehouden met grootschalige stimulatie van de teelt. Hierdoor kan het potentieel nog belangrijk toenemen.

Oogsten van waterplanten in Nederland vindt voornamelijk plaats in de periode begin juli t/m oktober. De start van de oogst wordt bepaald door het einde van het broedseizoen. De geoogste waterplanten biomassa kan via inkuilen of drogen geschikt worden gemaakt voor jaarrond gebruik voor energieproductie.

De vermeden fossiele inzet voor verschillende toepassingen is aangegeven in Tabel 2. Voor 2015 wordt uitgegaan van volledige inzet voor elektriciteits- en warmteproductie. In 2030 is inzet voorzien voor winning van eiwitten (15%) als grondstof voor N-chemicaliën en productie van elektriciteit en warmte (85%).

Tabel 2 Energiepotentieel deelpad Waterplanten voor verschillende toepassingen in 2015 en 2030.

	Biomassa potentieel ¹⁾ [PJ]	Elektriciteit & warmte, SNG ²⁾ [PJ]	Fermentatie/ ethanol [PJ]	Bio-olie [PJ]	Chemie ²⁾ [PJ]
2015	7,2	7,2	-	-	-
2030	21,6	18,4	-	-	3,2

1) Na aftrek 10% energiegebruik voor teelt, oogst en transport

2) Verdeelsleutel voor 2030: 85% inzet voor E+W en SNG; 15% voor chemie in de vorm van eiwitten.

3. Uitgangspositie Nederland

Onderhoud van watergangen en natuurgebieden vindt al op grote schaal plaats door loonbedrijven en waterschappen. De inzameling van het materiaal is nog beperkt en is praktisch gezien soms lastig uitvoerbaar. Inzet voor energieproductie vindt nog niet plaats.

4. Stakeholders

De ‘producenten’ van waterplanten zijn de waterschappen, rijkswaterstaat en beheerders van natte natuurgebieden. Oogst vindt plaats door de producenten zelf en loonbedrijven. Verwerking vindt plaats door bedrijven die groenafval composteren. Voor het welslagen van dit transitiepad is van de producenten ten minste een positieve grondhouding noodzakelijk. Tussenopslag en voorbereiding kan worden uitgevoerd door loonbedrijven en bedrijven die zich specifiek richten op de inzameling en bewerking van biomassa. De energieproductie zal in hoofdzaak door andere partijen plaatsvinden, zoals boeren met een mestvergistingsinstallatie en energieproducenten. In grote lijnen zijn de benodigde stakeholders aanwezig en staan ze positief tegenover de ontwikkeling van dit deelpad. Groencomposteerders hebben in eerste

instantie geen belang bij een verandering in de verwerking, maar kunnen in beginsel wel overschakelen op bijvoorbeeld vergisting. Een en ander is samengevat in Tabel 3.

Tabel 3. Overzicht en opstelling stakeholders. Betekenis symbolen: +...+++ weinig tot veel steun of weinig tot erg actief; -...--- zwakke tot sterke oppositie, weinig tot erg passief. Beoordeling specifiek voor waterplanten, algemene maatregelen zoals MEP en dergelijke zijn niet meegenomen.

Stakeholder	Steun/oppositie	Actief/passief
EU	+	-
Rijksoverheid/Rijkswaterstaat	++	+
Waterschappen	++	+
Natuurbeheerders	++	+
Energiebedrijven	+	+
Kennisinstellingen/adviesbureau's	+++	++
Boeren	++	+
Loonbedrijven e.d.	+++	+
Groencomposteerders	--	++

5. Marktvraag

Er is marktvraag naar biobrandstoffen die geschikt zijn om mee te stoken in kolencentrales. Er is nog geen specifieke vraag naar waterplanten biomassa. Zie punt 4 voor afnemers. Aan de aanbodkant bestaat bij partijen die reeds beschikken over vrijkomende waterplantenbiomassa (met name waterschappen, groeninzamelaars) belangstelling voor verwerking van dit materiaal via productie van bio-energie als alternatief voor compostering. Met name de afzet als biobrandstof dient nog ontwikkeld te worden, voorbewerking is noodzakelijk. Voor kleinschalige co-vergisting is de huidige regelgeving niet stimulerend.

6. Technisch potentieel

De processen voor energieconversie zijn beschikbaar. Mogelijk zijn wel procesoptimalisaties noodzakelijk. Op het gebied van optimalisatie van de inzameling, bijvoorbeeld inrichting van watersystemen, zijn nog wel ontwikkelingen nodig. Daarnaast dient voorbewerkingstechniek te worden ontwikkeld om de biomassa geschikt te maken voor mee- en bijstook. Voor de winning van eiwitten uit waterplanten is ontwikkeling nodig van separate teelt- en oogsttechnologie voor eiwitrijke planten zoals kroos en fractioneringstechniek om de eiwitten grootschalig beschikbaar te maken.

7. Internationale context

Dit transitiepad is niet afhankelijk van buitenlandse ontwikkelingen. Kennis is aanwezig en/of is sterk afhankelijk van de lokale omstandigheden (bijvoorbeeld optimalisatie oogst, tussenopslag). Er zijn mogelijkheden om concepten te vermarkten door adviesbureau's en mogelijk ontstaat er een exportmarkt voor speciale oogstmachines.

8. Draagvlak

Mits rekening wordt gehouden met ecologische randvoorwaarden en met de belangen van andere gebruikers en een duidelijke communicatie plaatsvindt, kan dit pad breed worden gedragen.

9. Rol overheid

Aangezien veel wateren in beheer zijn bij (semi)overheidsinstellingen, kan de overheid de inzet van deze biomassastroom voor energieopwekking stimuleren. Wat betreft regelgeving zullen de volgende maatregelen de inzet van waterplanten stimuleren:

- het materiaal moet niet als afvalstof worden beschouwd
- plaatsing op de witte lijst voor co-vergisting
- eenvoudige procedures voor vergunningverlening kleinschalige vergisting op boerderijschaal en dergelijke
- lichte eisen bij tussenopslag

10. Kosten en baten

Momenteel wordt al maaisel 'geoogst' en is materiaal beschikbaar. Om het potentieel ten volle te kunnen benutten zijn echter investeringen nodig in machines voor oogst/inzameling, terreininrichting, vergistingsinstallaties, installaties voor de productie van biobrandstoffen. Opbrengsten zijn dat het materiaal niet op een andere wijze hoeft te worden verwerkt (composteren, storten, onderwerken) en dat extra inzameling wellicht bijdraagt aan verbetering van de waterkwaliteit. De kosten van waterplanten biomassa worden geraamd op € 0-50 per ton droge stof exclusief voorbewerking en transport. Resp. € 0-100 per ton droge stof inclusief voorbewerking en transport (een waarde van 0 € geldt als het materiaal uit oogpunt van regulier onderhoud moet worden verwijderd). Uitvoering van dit deelpad draagt bij aan de werkgelegenheid in plattelandsgebieden en versterkt de economische positie van boeren. Effecten zullen geleidelijk zichtbaar worden, te beginnen vanaf 2010.

11. Aanjagen experimenten

11.1 Vergisting van waterplantenbiomassa

Tauw heeft initiatief genomen om de vergisting van waterplanten nader te onderzoeken in een consortium met waterschappen, kennisinstellingen, agrarische proefbedrijven en verwerkers van biomassa. Momenteel wordt gewerkt aan de voorbereiding van een project waarbij drie waterschappen, twee verwerkers van biomassa, LeAF (Lettinga Associates Foundation) en Animal Sciences Group WUR zijn betrokken. In dit project worden drie tot vier vergistingssystemen uitgetest. Het onderzoek moet informatie opleveren over de methaanopbrengst, eventuele praktische problemen, noodzaak om te selecteren op type biomassa etcetera.

11.2. Inzet als brandstof voor meestook in kolencentrales of biomassacentrales

Door een consortium bestaande uit waterschappen, kennisinstellingen, verwerkers van biomassa en energieproducenten wordt de voorbewerking en inzet van waterplanten als biobrandstof in kolen- of biomassacentrales gedemonstreerd. Een aantal energiebedrijven heeft aangegeven hieraan te willen meewerken. Doelstellingen van deze demonstratie zijn ondermeer het optimaliseren van de voorbehandeling en om invloeden van het meestoken op het stookgedrag, emissies en residuen te kwantificeren.

In deze consortia is de volledige keten van biomassaproductent tot energieproducent vertegenwoordigd. Dit is weergegeven in de navolgende Tabel 4.

Tabel 4. Productieketen van energie uit waterplanten

	Vergisting	Meestoken in E-centrales
Producenten biomassa	Waterschappen, beheerders natuurgebieden	
Oogst/inzameling	Als boven plus loonbedrijven	
Voorbewerking	(loonbedrijven)	
Energieproductie	Boeren (co-vergisting); biomassa	Verwerkers Energiebedrijven, kleinschalige biomassacentrales

11.3 Ontwikkelingen op langere termijn

- Optimalisatie van de oogst, onder meer door eisen te formuleren voor de inrichting van de gebieden, tussenopslag te creëren en dergelijke. Door middel van een proefproject in een beheergebied kan een en ander worden uitgetest.
- Stimulatie van de teelt in speciale gebieden.. Recent is het door PRI geleide Lankheet project gestart. Dit betreft de zuivering en infiltratie van oppervlakte water in speciaal aangelegde rietvelden. Het riet dat vrijkomt kan worden ingezet als brandstof. Een andere mogelijkheid is de combinatie van teelt met (na)zuivering van afvalwater in zuiveringsmoerassen. Er zijn al een aantal zuiveringsmoerassen in gebruik, maar deze zijn alleen bedoeld om het effluent een betere kwaliteit te geven, ze zijn niet ingericht op biomassateelt.

12. Duurzaamheid

Teelt en oogst van waterplanten scoort goed uit oogpunt van duurzaamheid aangezien geen areaal wordt onttrokken aan voedselproductie en de teelt geen schade zal aanrichten in ecosystemen. Combinatie met de functies waterafvoer, waterberging, natuur, recreatie en waterzuivering is goed mogelijk. Inzet van externe nutriënten is niet nodig, er kan gebruik worden gemaakt van het surplus aan nutriënten in het watersysteem en/of in afvalwater. Oogst van waterplanten kan worden gebruikt om gebieden te versralen en daarmee de ecologische kwaliteit te verbeteren. Dit zal echter wel leiden tot een vermindering van de productie. Bij vergisting is het mogelijk om de nutriënten (gedeeltelijk) opnieuw in te zetten voor teelt van waterplanten in een zuiveringsmoeras. Echter het digestaat van vergisting kan ook worden ingezet als organische meststof.

Referenties

- [1] Reith, J.H., M. Blom-Zandstra, W. Brandenburg, R.H. Wijffels, J. Steketee, N. Staats, 2003. Transitiepad “Energie en grondstoffen uit Aquatische Biomassa”.
- [2] Tauw/LeAF/ECN/Royal Haskoning (2005): OTC studie “Waterplanten als grootschalige energiebron” Rapport R001-4332225JJS-bht-VO2-NL, Tauw, Deventer
- [3] Hutterd, H.R. (2005): Onderzoek naar de toepasbaarheid van biomassa van waterplanten als energiebron. Tauw, Deventer.

Zoutwaterlandbouw

Biosaliene biomassa in Nederland? Een voorbeeld van multifunctioneel landgebruik in een landschap in transitie.

Willem A. Brandenburg

Plant Research International, BU Agrosysteemkunde, Postbus 16, 6700AA Wageningen

1. Beschrijving en afbakening

In het deelpad *Zoutwaterlandbouw / Zilte teelten*, is de benutting van zilte omstandigheden inmiddels algemeen maatschappelijk geaccepteerd. Het oppervlak dat daartoe in 2030 wordt aangewend is 125.000 ha en dat gedeeltelijk vanuit het gemengd zilt bedrijf, waarin gecombineerde productie van vis, schelp- en schaaldieren, algen en wieren en zilte planten leidt tot gesloten stofstromen en derhalve duurzame productie met hoge toegevoerde waarde. Vanuit de zilte teelten moet dan worden gedacht in termen van grootschalige teelt met daartegenover kleinschalige teelt. In het grootschalige scenario kan worden gekomen tot bioenergieteelt op basis van biomassa met daarbij de inschakeling van bestaande gewassen met een gebleken mate van zouttolerantie (bijv. gerst, spelt of biet) of nieuw te introduceren gewassen (bijv. slijkgras in Figuur 1 of kweldergras in Figuur 2).



Figuur 1. Slijkgras – linksboven: *Spartina alternifolia*, rechtsboven en onder: *Spartina townsendii*.

In de zilte omgeving hebben we veel te maken met overgangen: nat naar droog, zoet naar zout, productieomgeving naar landschaps- en natuurontwikkeling.

Op basis van de geproduceerde bulk aan biomassa is het mogelijk met diverse vergistings- en fermentatietechnieken een significante bijdrage te leveren aan de voorziening van biobrandstoffen in combinatie met andere vormen van ruimtegebruik.



Figuur 2 – Kweldergras (*Puccinellia maritima*) te Saaftinghe

2. Kwantitatieve doelen in 2015 en 2030

In het hieraan voorafgaande is aangegeven dat we hier denken aan grootschalige teelt en de combinatie van functies. Dit kan betekenen dat een plant tweemaal wordt benut zoals bij *Spelt* het stro voor elektriciteits- en warmte productie en de korrel als graan voor voedings-of voedertoepassingen, fermentatie tot bio-ethanol en winning van eiwitten. Het kan ook op bedrijfsniveau worden bekeken, waarbij in het gemengd zilt bedrijf bevoeiingsakkers worden benut om specifiek bioenergie gewassen te telen. Biet is daarbij een mogelijkheid waarbij wordt aangesloten bij de mogelijkheid die suiker- en voederbiet bieden als groene energieproducerende gewassen (ethanol, biogas, elektriciteit en warmte) in de conventionele landbouw. Tabel 1 geeft het energiepotentieel voor dit deelpad in 2015 en 2030.

De gemiddelde biomassaproductie is gesteld op 10 ton droge stof /ha en nagegaan wordt nog of dat met verschillende gewaskeuzes onder zilte omstandigheden nog verhoogd kan worden.

Tabel 1. *Energiepotentieel per geschat teeltareaal in 2015 en 2030. Doorgroei naar een groter areaal is waarschijnlijk, maar in zo'n mate afhankelijk van adaptatiestrategieën ten aanzien van het veranderend watermanagement en kustbeheer dat het niet zinvol lijkt om hier iets aan te geven. Uitgegaan is van een opbrengst van 10 ton d.s./ha/jaar, 16 GJ/ton droge stof en aftrek van geraamd energiegebruik (10%) voor teelt, oogst en transport.*

Jaar	Teeltareaal [hectaren]	Biomassaproductie [Ton d.s. x 1000]	Energiepotentieel [PJ]
2015	60.000	600	8,6
2030	125.000	1.250	18

De genoemde grassoorten bestaan voor het grootste deel uit lignocellulose en kunnen worden ingezet voor het produceren van elektriciteit en warmte. Deze grassen en de granen van spelt zijn daarnaast een potentiële bron van eiwit (gemiddeld ca. 20%). Koolhydraten uit spelt en biet kunnen worden benut voor fermentatie tot bio-ethanol of platformchemicaliën zoals melkzuur of voor biogas productie. Stro en loof (lignocellulose) van deze gewassen kunnen dienen voor productie van elektriciteit en warmte. Op langere termijn zal lignocellulose ook kunnen worden benut voor de productie van bio-ethanol en andere fermentatieproducten. In Tabel 2 wordt de vermeden fossiele inzet in 2015 en 2030 aangegeven voor verschillende toepassingen.

Tabel 2. *Energiepotentieel in 2015 en 2030 voor verschillende toepassingen van biosaliene biomassa in Nederland*

Jaar	Biomassa potentieel ¹⁾ [PJ]	Electriciteit & warmte en SNG ²⁾ [PJ]	Fermentatie/ Ethanol ²⁾ [PJ]	Chemie ^{2,3)} [PJ]
2015	8,6	3,5	3,5	1,7
2030	18,0	7,2	7,2	3,6

1) 10% is in mindering gebracht voor energiegebruik van agrarisch handelen en logistiek

2) Verdeelsleutel van 2:2:1 voor E&W en SNG, F/E, en chemie

3) In de categorie "chemie" is met name de productie van eiwitten bedoeld

Voor de verwerking van verschillende biomassastromen uit de zilte omgeving is uitgegaan van aansluiting bij andere biomassastromen.

3. Uitgangspositie in Nederland

Op het gebied van de verwerking van biosaliene biomassa in Nederland is nog niet veel ervaring. Het initiatief dat eerder is beschreven met veel perspectief is beschreven door Brandenburg et al., 2004 [1]. Dit betreft wel een oriëntatie op productie onder (sub)tropische omstandigheden en met name gebaseerd op snelgroeiende houtige gewassen onder zilte omstandigheden. Voor dit project is reeds belangstelling getoond door verschillende energieproducenten en –leveranciers. In het geval van biosaliene biomassa in de Nederlandse omstandigheden is het energiepotentieel beperkt. Vandaar de aansluiting die kan worden gezocht bij de andere biomassastromen. Een voordeel ten opzichte van de benutting van zeewier is wel dat bij benutting van genoemde grassen – in combinatie met een neerslagoverschot – de complicatie van zout in het verwerkingsproces een geringe rol zal spelen.

Er zijn initiatieven in EU verband om biosaliene biomassa te exploiteren met betrekking tot energie of energievermijding. Voor de ontwikkeling in Nederland kan aansluiting bij deze initiatieven worden gezocht.

4. Stakeholders in Nederland

In Tabel 3 is een overzicht gepresenteerd van stakeholders uit de verschillende sectoren. Bij Wageningen UR en de VU Amsterdam is de kennis aanwezig om op basis van het concept van het Gemengd Zilt Bedrijf een ecologisch duurzaam en economisch vitaal (zonder subsidie) agrarisch bedrijf op te zetten. Een van de componenten van dit bedrijf is een zilt bevoeiingsveld waar eventueel biosaliene biomassa voor energiedoelinden kan worden geteeld.

Tabel 3. Overzicht van stakeholders en hun opstelling. +...+++ weinig tot veel steun of weinig tot erg actief; -...- - - zwakke tot sterke oppositie of weinig tot erg passief.

Formatted

Stakeholder	Steun/opposite	Actief/passief
Beleid en beheer	+/-	+
Provinciale overheden	++	++
Financiële instellingen	++	+
Innovatie platform aquacultuur	++	+
Kennisinstellingen	+++	++
ZLTO	+/-	+
Verwerkende industrie	+/-	+
Industrie	+/-	-

5. Markt

Over de markt is niet veel te zeggen, behalve dat de stroom van Nederlandse biosaliene biomassa een aanvulling vormt op andere stromen en daarmee niet strijdig zal zijn. Wat belangrijk is in dit verband is dat er minder “competing claims” zullen zijn in een zilte omgeving en dat door het concept van het gemengd zilt bedrijf met haar gesloten nutriëntstromen er een goede combinatie met getijdenatuurontwikkeling mogelijk is.

6. Technisch potentieel

Over zilte teelten is reeds veel bekend en ook hoe dit op duurzame wijze onder NL omstandigheden te realiseren [1-3]. Een nieuwe opzet die onlangs is geïntroduceerd is die van het gemengd zilt bedrijf, waarbij de toegevoegde waarde uit open, extensieve aquacultuur (vis, garnaal of schelpdier) wordt gecombineerd met zilte teelten, de teelt van zeewier en de aanleg van bevoeiingsvelden. Zo ontstaat een gesloten circuit van nutriëntstromen op het bedrijf, met andere woorden de input in de vorm van pootvis of ander uitgangsmateriaal wordt gecompenseerd met opbrengst en waarbij zilt water IN = zilt water UIT. Voor een opzet van dit bedrijf is onder Zeeuwse omstandigheden een netto bedrijfsresultaat van >> € 5000,==/ha/jr voorzien. Kennisvragen die daarbij een rol spelen hebben betrekking op de precieze onderlinge dimensionering van productiecomponenten, en het creëren van maatschappelijk draagvlak voor deze combinatie van aquacultuur en andere productiesystemen. Dit bedrijfssysteem voldoet in opzet aan alle relevante EU richtlijnen op het gebied van water, milieu en landbouw. Onlangs is in het kader van de FES gelden een projectvoorstel (getiteld de Zeeuwse Tong) ingediend om deze vorm van productie met een aantrekkelijke landschappelijke aankleding ook daadwerkelijk te doen ontstaan. De biomassa van de bevoeiingsvelden is nu de biomassa die bewerkt kan worden tot energie, zoals in het voorgaande is beschreven. Het betreft hier dan een vorm van decentrale energieproductie, m.a.w. de ondernemer produceert de energie die bijvoorbeeld nodig is om de waterstromen op gang te houden. De opbrengst wordt dan in de vorm van een kostenbesparing geleverd.

7. Internationale context

Verziltling is inmiddels wereldwijd erkend als belangrijke vorm van abiotische stress. Meer dan een miljard hectare landbouwgrond is inmiddels licht tot ernstig verzilt door uiteenlopende oorzaken, maar in alle gevallen leidend tot een verminderde (of geen) opbrengst, als tenminste geen aanpassingen aan het landbouwsysteem zijn aangebracht. Tien jaar geleden was de situatie dat men zilte teelten als iets ludieks afdeed, dan wel het alleen geschikt acht voor kleine lokale niche markten. Het wordt steeds duidelijker dat zilte teelten een effectieve vorm van een adaptatiestrategie vormen met oog op de klimaatsverandering en alle milieuwijzigingen die dat met zich meebrengt. Tot nu toe heeft Nederland daar weinig tot geen oog voor gehad maar met de aandacht bij Wageningen UR en de VU Amsterdam voor het onderwerp, met het particulier initiatief dat vanuit Nederland via het bedrijf Ocean Desert Enterprises te Amsterdam is genomen, met de diverse agrarische ondernemingen in Zeeland die zich de laatste jaren op dit vlak hebben begeven, is dat wel veranderd. Internationaal staat verziltling inmiddels nadrukkelijk op de agenda van de FAO, is er een Internationaal Onderzoekcentrum te Dubai over zilte teelten, en bestaat er in de EU een informeel netwerk van onderzoekers. Met behulp van dit netwerk is het mogelijk om biosaliene biomassa met name in gebieden waar niets anders meer wil groeien als energiegewassen te telen en tegelijkertijd weer aan bodemverbetering te doen.

8. Draagvlak

Biosaliene biomassa, geteeld op 'wastelands', als energieleverancier of als grondstof is uitvoerig beschreven in [1]. Hiervoor is reeds bij het bedrijfsleven belangstelling getoond. Voor een opzet als onderdeel van het gemengd zilt bedrijf bestaat in Nederland eveneens maatschappelijk draagvlak en kan het onderdeel zijn van te vormen consortia van publiek-private samenwerking.

9. Rol overheid

Tot nu toe is in deze de rol van de overheid een afwachtende. Gezien de mogelijkheid tot duurzame plattelandsontwikkeling in deze, lijkt dat onlogisch. In het kader van de transitie naar meer groene grondstoffen, zou dan ook een pilot moeten worden uitgevoerd hoe in het kader van het gemengd zilt bedrijf de 'groene-grondstof' biomassa optimaal kan worden ingepast.

10. Kosten en baten

De kosten van biosaliene biomassa worden geraamd op 50 – 150 € / ton droge stof afhankelijk van het type gewas. De kosten van grassen liggen rond de 50 € per ton d.s., de kosten van gewassen als biet en spelt zullen € 120 – 150 per ton droge stof bedragen.

11. Aanjagen experimenten

Pilot Gemengd zilt bedrijf

Het gemengd zilt bedrijf is in de Nederlandse context uitgangspunt. De pilot onder 9 genoemd zou moeten worden uitgevoerd met als doel vast te stellen hoe in het kader van het gemengd zilt bedrijf de productie van biomassa als bron van 'groene grondstoffen' optimaal kan worden ingepast. In deze pilot zou dan naast de optimale inpassing van zilte bevoeiingsvelden voor groene grondstoffen met name aandacht moeten worden besteed aan het ontwerp van kleine, kosteneffectieve installaties om op het bedrijf energie op te wekken uit (een deel van) de geproduceerde biomassa. Het betreft hier dan een vorm van decentrale

energieproductie, m.a.w. de ondernemer produceert in eigen beheer de energie die nodig is om (bijvoorbeeld) de waterstromen op gang te houden. De opbrengst wordt dan in de vorm van een kostenbesparing geleverd.

12. Duurzaamheid

De duurzaamheid van het gemengd zilt bedrijf heeft drie aspecten:

- Het is een economisch gezonde vorm van agrarisch produceren, gezien het gunstige netto bedrijfsresultaat;
- Het is ecologisch verantwoord, want voldoet aan alle moderne normen en richtlijnen van produceren; het bedrijf is zo ontworpen dat het aangrenzend aan een nieuw getijdenatuurontwikkelingsproject kan worden uitgevoerd;
- Het is maatschappelijk verantwoord, want het beoogt naar de toekomst toe bij te dragen aan een evenwichtige plattelandsgemeenschap.

Referenties

- [1] Brandenburg, Willem; Croon, Frank; Faaij, Andre; Hoek, Jeanette (final editing); Kauffmann, Philip; Wagener, Martijn; 2004. Biosaline Biomassa - Energy for the Netherlands in 2040. Ocean Desert Enterprises, Amsterdam, 49pp.
- [2] Hans Langeveld, Andries Koops, Jan Ketelaars, Leo Marcelis, Jan Hassink, Greet Blom & Pieter van de Sanden, 2005. Nieuwe Landbouw-Inventarisatie van kansen. WUR-PRI, Nota 330.
- [3] Zee in Zicht. Zilte waarden duurzaam benut. E. Luiten (Ed), 2004. STT 67. STT/Beweton, Den Haag. I.s.m. Innovatie Netwerk Groene Ruimte en Agrocluster.

Micro-algen

Lolke Sijtsma, Wageningen UR, Agrotechnology and Food Sciences Group
Hans Reith, ECN Biomassa, Kolen en Milieuonderzoek

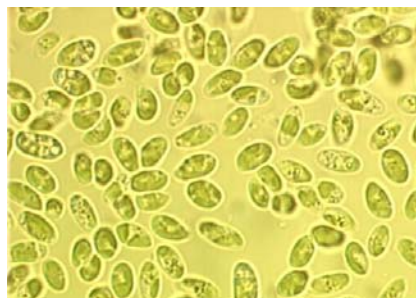
1. Beschrijving en afbakening

Visie

In 2030 vindt de teelt van micro-algen plaats in geoptimaliseerde fotobioreactoren waarin een productiviteit wordt behaald van 30-70 ton droge stof/hectare per jaar. Hiervoor kunnen op land laagwaardige locaties worden gebruikt die ongeschikt zijn voor landbouw en bijv. systemen die gebruik maken van zout of brak water (verzilde grond, zee). De productie wordt gecombineerd met (na)zuivering van afvalwater en vastlegging van CO₂ uit rookgassen. Algenbiomassa wordt gebruikt als bron van bio-olie en eiwitten, CO₂ neutrale bulkproducten en voor energiewinning via productie van PPO, methylester-brandstof ('biodiesel'), fermentatie (CH₄, ethanol) of HTU. Systemen ter grootte van enkele 10-tallen hectares zijn gerealiseerd op of in de nabijheid van industriële locaties, agrarische en tuinbouw gebieden en bij anaërobie vergistingsinstallaties voor verwerking van huishoudelijk of industrieel afvalwater of op zout water locaties. De aquacultuursector voor de teelt van vis, schelp- en schaaldieren is in Nederland in 2030 sterk ontwikkeld. Ook daar worden algensystemen ingezet voor recycling van nutriënten en waterzuivering gekoppeld aan voederproductie. De areaalgrootte in 2030 in Nederland bedraagt 20.000 hectare met een jaarlijkse biomassaproductie van 1 miljoen ton droge stof (20 PJ). Hiermee wordt ca. 500 miljoen m³/jaar water gezuiverd; dit levert een energiebesparing op van 0,9 PJ_e (=2,3 PJ). De netto reductie van broeikasgasemissies voor het deelpad micro-algen in Nederland in 2030 bedraagt ca. 1 Mton CO₂ in de vorm van groene producten en energiedragers. Het totale areaal buiten Nederland bedraagt ca. 1 miljoen hectare met een biomassaproductie van 50 miljoen ton/jaar (1000 PJ).

Productie

Micro-algen zijn fotosynthetische micro-organismen die voor de groei gebruik maken van zonlicht en anorganische voedingsstoffen, met name CO₂, stikstofverbindingen en fosfaat (Figuur 1).



1A: *Chlorella pyrenoidosa* celgrootte 3-5 µm

1B: *Monodus subterraneus* celgrootte ca. 5 µm

Figuur 1 Micro-algen geschikt voor grootschalige teelt (Foto's UvA)

De teelt van micro-algen vindt plaats in zg. fotobioreactoren, uiteenlopend van open vijversystemen (High Rate Algal Ponds), tot semi-gesloten bioreactoren en gecombineerde systemen (Figuur 2). Hiervoor kunnen op land laagwaardige locaties worden gebruikt die ongeschikt zijn voor landbouw (vervuilde bodem, woestijngebieden). Daarnaast kan de ruimte in verzilde gebieden of op zee veel beter worden benut. De productiviteit van algenproductiesystemen is 5 tot mogelijk 10 maal hoger dan van

landgebonden teelten. In het Nederlandse klimaat is algenteelt technisch mogelijk en is een productie van 30 ton droge stof/hectare.jaar in open systemen nu reeds haalbaar. In buizenreactoren is –op kleine schaal– in Nederland een productie behaald equivalent aan > 60 ton droge stof/ha.jaar [4]. Optimalisatie tot een productie op grote schaal van 30-70 ton droge stof/hectare (gemiddeld 50 ton/ha) in Nederland biedt een goed perspectief.



Figuur 2 Typen fotobioreactoren voor micro-algenteelt. Links: High Rate Algal Ponds, Earth Rise Farms, Californië, USA. Rechtsboven: Semi-gesloten fotobioreactor IGV, Potsdam, Duitsland. Rechtsonder: Pilot schaal cascade systeem ontwikkeld door ECN, UvA en IVAM [4].

Toepassingen en markt

Micro-algen biomassa kan een belangrijke bijdrage leveren aan de “Biobased Economy”. De micro-algen worden geoogst op locatie en verwerkt tot steekvaste massa voor transport naar regionale processing plants. De biomassa is een veelzijdige grondstof voor winning van producten en energiedragers. Dit is een functie van de gekweekte soort (er zijn > 30.000 soorten) en de teeltcondities. Voor bulk productie van groene grondstoffen bieden micro-algen met name potentieel als leverancier van bio-olie en eiwitten. Het oliegehalte kan in de teeltfase worden opgevoerd tot 30 à 40 gew%. Het eiwitgehalte bedraagt doorgaans 30 à 50 gew%. Koolhydraten vormen de derde hoofdcomponent in de biomassa. Hieronder zijn specifieke polysacchariden en op zetmeel gelijkende opslagkoolhydraten.

De oliefractie is rijk aan hoogwaardige vetzuren en kan rechtstreeks worden toegepast als vervanging van visolie of voor de productie van PPO of methylesterbrandstof ('biodiesel'). De biomassa of delen daarvan kan tevens worden benut voor energieproductie via fermentatie (CH₄, ethanol) of HTU. Andere potentiële bulkproducten zijn agrochemicaliën (zoals bodemverbeteringsmiddelen met gecombineerde bemestende, plantengroei stimulerende en fungicide werking) en functionele ingrediënten in zetmeel- gebaseerde of andere biopolymeren. Daarnaast zijn er afhankelijk van de soort vele mogelijkheden voor winning van specialties waaronder omega-vetzuren, kleurstoffen, polysacchariden met bijzondere eigenschappen en farmaceutisch interessante stoffen zoals antioxidanten en andere bio-actieve stoffen. De productie van dergelijke specialties heeft een beperkt volume maar kan bijdragen aan de initiële marktintroductie. Een alternatief is inzet van de gehele biomassa als voedingsbron voor aquacultuur of als toeslag in veevoerders. Alle toepassingen dragen bij aan vermindering van de fossiele inzet en CO₂ emissies, afhankelijk van de fossiele producten en productieketens die worden vervangen door algenproducten.

Algen biomassaproductie kan uitstekend worden gecombineerd met de (na)zuivering van afvalwater (N en P verwijdering) en directe vastlegging van CO₂ uit rookgassen. Via de effectieve verwijdering van nutriënten kan, afhankelijk van de ingaande stroom, een voldoende (zoet) waterkwaliteit worden bereikt voor hergebruik. Deze inzet leidt tot energie- en kostenbesparing voor zuivering en lozing, verminderd beslag op natuurlijke waterbronnen en "credits" voor de vastgelegde CO₂.

Groene Verwerkingstechnologie in 2030

In 2030 geschiedt de verwerking van aquatische biomassa (afhankelijk van de grondstof en de productielocatie) zowel decentraal in kleinschalige installaties als centraal. Wereldwijd worden grote hoeveelheden biomassa verwerkt via bioraffinage, waarbij gestreefd wordt naar een zo hoogwaardig mogelijke inzet van de verschillende biomassa bestanddelen. Nederland heeft een belangrijke plaats verworven in de internationale biomassahandel en importeert en verwerkt ook grote hoeveelheden aquatische biomassa. De bioraffinage-sector is in Nederland een belangrijke industrietak geworden. Daarbij gaat het in veel gevallen om multifunctionele, geïntegreerde processing fabrieken waar de winning van producten wordt gecombineerd met duurzame energiewinning uit restbiomassa. Voor de fractionering en opwerking zijn geheel nieuwe, 'groene' processen ontwikkeld met een minimaal gebruik van energie en hulpstoffen, gestimuleerd door beleid en regelgeving op dit gebied.

2. Kwantitatieve doelen voor 2015 en 2030

Gaandeweg de ontwikkeling kan in Nederland een substantieel potentieel worden gerealiseerd. In de ontwikkelingsfase zal een bescheiden areaal worden gerealiseerd in de orde van enkele 10-tallen hectares in de vorm van pilot- en demonstratie systemen. In de periode tot 2015 wordt opschaling voorzien tot een areaal van ca. 2.500 hectare (2,5 PJ biomassa). Via verdere doorgroei kan in 2030 in Nederland 20.000 hectare micro-algen teelt worden gerealiseerd met een totale biomassaproductie van 1 miljoen ton droge stof (20 PJ biomassa) per jaar. Het potentieel is aangegeven in Tabel 1.

Tabel 1 Energiepotentieel micro-algen (20 GJ/ton droge stof) na aftrek geraamd energiegebruik (20%) voor teelt, oogst en transport in 2015 en 2030.

Jaar	Areaal [hectaren]	Biomassaproductie [ton d.s. X 1000]	Energiepotentieel [PJ]
2015	2.500	125	2
2030	20.000	1.000	16

Tabel 2 geeft een overzicht van het primaire energiepotentieel voor winning van grondstoffen, producten en energiedragers uit in Nederland geproduceerde micro-algenbiomassa in 2015 en 2030.

Tabel 2. *Energiepotentieel voor verschillende toepassingen in 2015 en 2030 van micro-algenteelt in Nederland.*

	Biomassa potentieel ¹⁾ [PJ]	Elektriciteit & warmte [PJ] ⁴⁾	SNG [PJ]	Fermentatie/ ethanol ²⁾ [PJ]	Bio-olie ^{2,5)} [PJ]	Chemie ^{2,3)} [PJ]
2015	2	0,4 ⁴⁾	-	0,2	0,9 (9) ⁵⁾	0,9
2030	16	2,3 ⁴⁾	-	1,6	7,2 (72) ⁵⁾	7,2

1) Na aftrek geraamd energieverbruik voor teelt, oogst en transport van ca. 20%.

2) Uitgangspunt is een verdeling over: fermentatie/ethanol, bio-olie en chemie in de verhouding 10%-:45%-45%.

3) In de categorie chemie vallen met name eiwitten en tevens biopolymeren, agro-chemicaliën en andere producten incl. beperkte volumes fijnchemicaliën zoals (kleurstoffen, vetzuren, bioactives).

4) Primaire energiebesparing (vermeden fossiele inzet) voor waterzuivering voor e-rendement 40%.

5) Bij inzet van algenolie als alternatief voor visolie kan de vermeden fossiele inzet een factor 10 hoger bedragen door besparing van fossiele stookolie in de visserijsector. Dit is tussen haakjes aangegeven. Zie toelichting hieronder.

De vermeden fossiele inzet bij vervanging van visolie door olie uit micro-algen kan zeer hoog zijn door de grote hoeveelheden stookolie die benodigd zijn voor de visvangst. De energiebehoefte voor de visvangst (in de vorm van stookolie) bedraagt 60 – 250 GJ ofwel gemiddeld ca. 150 GJ/ton visolie. Bij inzet van algenolie als alternatief voor visolie kan daardoor een ca. 10 maal hogere vermeden hoeveelheid fossiele inzet worden geboekt per PJ bio-olie door besparing van fossiele stookolie in de visserijsector.

De hoeveelheid gezuiverd water bedraagt in 2030 ca. 500 miljoen m³/jaar, hetgeen een energiebesparing oplevert van 0,9 PJ_e (=2,3 PJ_{th}). Gezuiverd water wordt ingezet als proceswater in de industrie, in land- en tuinbouw en voor infiltratie in de bodem ter bestrijding van de verzilting, die in 2030 een ernstig probleem vormt door de stijging van de zeespiegel. Zeer grootschalige productiesystemen (1.000 hectare en groter) zijn in 2030 buiten Nederland gerealiseerd in woestijngebieden, op verzilte grond e.d. Het totale areaal buiten Nederland in 2030 bedraagt ca. 1 miljoen hectare met een biomassaproductiviteit van 50 miljoen ton droge stof per jaar (ca. 1000 PJ).

3. **Uitgangspositie in Nederland.**

In de Gouden Eeuw ontleende Nederland zijn rijkdom o.a aan een goede vloot die de zeeën bevoer op zoek naar handel en nieuwe producten. Momenteel gebruiken wij de zee vooral als jagers en verzamelaars van vis, en als afvalput. Het Nederlandse deel van de Noordzee –met een oppervlak van 1,5 maal de hoeveelheid land– en verzilte kustgebieden en ander laagwaardig oppervlak bieden echter kansen voor productie van aquatische biomassa.

De kennis m.b.t. micro-algen is de afgelopen 10 jaar in Nederland sterk toegenomen. Voor de vereiste techniekontwikkeling is in de Nederlandse R&D sector ruim voldoende expertise aanwezig op het gebied van bioreactortechnologie, productiefysiologie, waterzuivering en productwinning bij Wageningen UR (AFSG, PSG), ECN, IVAM en UvA. ECN heeft een cascade kweekstelsel ontwikkeld voor grootschalige teelt in combinatie met waterzuivering. WUR-AFSG werkt aan een nieuwe type hoog-productieve fotobioreactor. Recent is in Nederland een 4-tal bedrijven gestart met productie van en onderzoek aan micro-algen. Deze bedrijven –Technogrow, Lgem, Ingrepo en AquaPhyto– werken samen met onderzoeksinstituten en richten zich met name op producten met hogere toegevoegde waarde zoals voeders voor aquacultuur. Daarnaast is er de afgelopen jaren door Nederlandse bedrijven en R&D

instellingen veel kennis op het gebied van kweek en verwerking van micro-algen biomassa opgebouwd in diverse projecten [1-7] zoals aangegeven in Tabel 3.

Tabel 3 Overzicht recent uitgevoerde en lopende projecten door Nederlandse partijen.

EU CRAFT	Production and Processing of Algae for Industrial applications. FAIR CT 98-9664.
EU FAIR	Production of polyunsaturated fatty acids by algae. FAIR CT 97-3146
EU KP5	Feed for aquatic animals that contain cultivated marine microorganisms as alternative for fish oil. Q5RS-2000-30271
EET	Duurzame co-productie van natuurlijke fijnchemicaliën en energie uit micro-algen EET K9905/398510-1010
UKR	Van visolie naar algen. Duurzame productie van omega-3-vetzuren
DEN	MACHT - Microbiële Afval-Conversie naar Hoogwaardige Transportbrandstoffen Subsidieregeling BSE duurzame energie 2003, DEN 400005338
OTC	Toepassen van microalgenkweeksystemen. Coalitievorming en voorbereiding transitie experiment. Eindrapport OTC project 5005-03-20-01-021. N. Staats et al, 2005.

In Nederland bestaat derhalve zowel bij de R&D sector als bij bedrijven een uitstekende uitgangspositie voor verdere ontwikkeling, opschaling en (uitbreiding van) commerciële implementatie.

4. Stakeholders

De commerciële implementatie van micro-algenproductie in Nederland is momenteel in het beginstadium. De bedrijven die op dit vlak actief zijn kunnen de kern vormen voor de beoogde ontwikkeling, met aanvulling en ondersteuning door o.m. waterschappen, overheden, financiers, industriële verwerkers en energieproducenten. Alle benodigde stakeholders voor de ontwikkeling zijn in Nederland aanwezig (Tabel 4). Voor grootschalige implementatie is ketenontwikkeling noodzakelijk met bijzondere aandacht voor logistiek en verwerking van de biomassa tot producten en energiedragers.

Bij de ontwikkeling in Nederland kan worden aangesloten bij ontwikkelingen elders in Europa (Italië, Duitsland) de VS en Azië. Er bestaan goede contacten met buitenlandse R&D groepen en bedrijven o.a. via de International Society of Applied Phycology, waarin zowel onderzoeksinstituten als bedrijven actief zijn. Ook zijn er contacten met het IEA Network on Biofixation of CO₂ and Greenhouse Gas Abatement with Microalgae. Dit internationale netwerk richt zich op grootschalige CO₂ fixatie met microalgen en omzetting van de biomassa in hernieuwbare energiedragers o.a. methaan.

Tabel 4. Overzicht en opstelling stakeholders. Betekenis symbolen: +...+++ weinig tot veel steun of weinig tot erg actief; -...--- zwakke tot sterke oppositie, weinig tot erg passief.

Stakeholder	Steun / Oppositie	Actief / Passief
EU		
Rijksoverheid/Rijkswaterstaat	?	+++
Provinciale overheid (Zeeland, NH, Fr)	++	++
Energiebedrijven	?	++
Bioraffinage bedrijven	?	-
Fijnchemicaliën bedrijven	?	+
Visvoerbedrijven	+	+
Gemeentes	?	-
Waterschappen	+	+
Waterzuiveringsbedrijven	-	
AKK Transforum		
Kennisinstellingen (WUR, ECN)	+++	
MKB algen productiebedrijven	++	
Technogrow, LGem, Ingrepo, Aqua Phyto		

Qua kosten en beschikbaarheid van grotere aaneengesloten oppervlakken voor inrichting van grootschalige teeltsystemen kan ook worden gedacht aan productie locaties in het buitenland.

5. Marktvrage

De huidige markt van micro-algen bestaat voornamelijk uit hoogwaardige toepassingen en bedraagt minder dan 10.000 ton droge stof/jaar met een geschatte marktwaarde van 100 à 200 Miljoen € per jaar. De productie vindt voornamelijk plaats in Azië, de VS en Australië in open vijversystemen (High Rate Algal Ponds) met beperkte selectiviteit en productiviteit. Semi-gesloten fotobioreactoren worden nog beperkt en op kleine schaal commercieel toegepast (Israël, VS, Duitsland) voor aquacultuur en winning van hoogwaardige inhoudstoffen. De belangrijkste huidige toepassingen zijn:

- Voedingssupplementen: productie van hele algen (*Spirulina; Chlorella*).
- Aquacultuur: toepassing van hele micro-algen (enkele 10-tallen soorten)
- Cosmetische industrie (o.a. hele algen en extracten)
- β -caroteen: geëxtraheerd uit *Dunaliella* (o.a. door Cognis)
- astaxanthine: geëxtraheerd uit *Haematococcus*

Bij grootschalige productie van micro-algen, met als doel een substantiële reductie van de inzet van fossiele brandstoffen zullen naast deze bekende toepassingen ook nieuwe markttoepassingen moeten worden ontwikkeld. Concrete mogelijkheden daarvoor zijn de productie van bio-olie, eiwitten, biopolymeren, agrochemicaliën, en energiedragers zoals biodiesel of methaan. De winning van specialties (omega-vetzuren, kleurstoffen, polysacchariden met bijzondere eigenschappen, antioxidanten en andere bio-actieve stoffen) kan bijdragen aan de initiële marktintroductie. Gezien de sterke toename van de vraag naar visolie en vismeel in de intensieve aquacultuur en een verwacht tekort liggen hier goede mogelijkheden voor productie met micro-algen. De huidige wereldproductie van visolie bedraagt ca. 1 Mton/jaar. Deze hoeveelheid kan op alternatieve, duurzame wijze worden geproduceerd uit 2,5 à 3,5 Mton micro-algen, ofwel een factor 500 hoger dan de huidige wereld productie.

De belangrijkste marktbarrière is het nog goeddeels ontbreken van de logistieke keten voor grootschalige productie, verwerking en afzet. Daarnaast vormen de relatieve onbekendheid met de mogelijkheden van micro-algen en de relatief hoge productiekosten bij de huidige ontwikkelingsstatus een barrière voor verdere ontwikkeling. Voor grootschalige productie van bulkgrondstoffen, bulkproducten en energiedragers dienen nieuwe bedrijven te worden gevormd. Voor de productie kunnen de huidige MKB bedrijven op het gebied van algenproductie een rol spelen, in samenwerking met bijv. commerciële waterbedrijven, engineers, overheden, financiers en verwerkende industrie. Ook voor grootschalige verwerking van micro-algen biomassa tot producten en energiedragers en B-to-B marketing moet nieuwe bedrijvigheid worden ontwikkeld. Hierbij kan worden aangesloten bij de activiteiten en expertise van de Nederlandse agro-industrie en biotech sector.

6. Technisch potentieel

Bij de huidige stand van de ontwikkeling worden de productiekosten grotendeels bepaald door de investeringen voor het teeltsysteem en installaties voor het concentreren en ontwateren van de biomassa. De sleutel voor succesvolle ontwikkeling ligt daarmee in belangrijke mate bij verlaging van de investeringskosten, verhoging van de biomassa productiviteit per tijds- en oppervlakte-eenheid (en dus per geïnvesteerde €) en verhoging van de netto opbrengst van gewenste producten zoals olie.

De belangrijkste technische en maatschappelijke ontwikkelingsbehoeften zijn:

- selectie van hoogproductieve, robuuste micro-algensoorten en strains;

- ontwikkeling van geavanceerde productietechnologie en reductie van investeringen door systeemvereenvoudiging en ontwikkeling van nieuwe concentratie- en ontwateringstechnieken;
- ontwikkeling van geavanceerde bioraffinage technologie, en industriële know-how m.b.t. stabilisatie, verwerking en formulering van (variabele) biologische producten in consumentenproducten;
- ontwikkeling van nieuwe producten en toepassingen;
- opschaling en integratie in de (toekomstige) waterzuivering;
- creëren van draagvlak en acceptatie bij verwerkende bedrijven en de consument voor gebruik van mariene producten en ingrediënten.

7. Internationale context

Aan de ontwikkeling van systemen voor productie en verwerking van microalgen wordt onder meer in Japan, Italië, de VS, en Australië gewerkt door R&D instellingen en bedrijven. Door gerichte inspanning in Nederland en de sterke positie van de Nederlandse kennissector en verwerkende industrie kunnen ontwikkelde concepten met succes worden geëxporteerd naar het buitenland. Ook kunnen daar desgewenst productiesystemen worden ingericht met Nederlandse technologie en financiering.

8. Draagvlak

Verwerven van maatschappelijke acceptatie voor algen teeltssystemen en eindproducten is van groot belang. Andere belangrijke voorwaarden voor opbouw van draagvlak hebben betrekking op infrastructurele inpassing en landbeslag.

9. Rol van de overheid

Een belangrijke rol van de overheid is stimulering van de techniekontwikkeling van geavanceerde kweek- en bioraffinage technologie, industriële know-how m.b.t. stabilisatie, verwerking en formulering van (variabele) biologische producten in B-to-B en consumentenproducten, en het opzetten van de logistieke keten. Dit kan worden gerealiseerd door het faciliteren van pilot- en demonstratieprojecten. Van cruciaal belang is de fase te overbruggen tussen R&D en commerciële toepassing. Ook is beleidsmatige ondersteuning gewenst via certificering, heffingen en (uitbreiding van) emissiehandel.

10. Kosten en baten

De huidige productiekosten voor relatief hoogwaardige toepassingen liggen in de range van US\$ 2.000 – 5.000 per ton droge stof. Voor grootschalige productie van bulkproducten en energiedragers dienen de productiekosten substantieel te dalen. Bij punt 6 zijn hiervoor verschillende wegen aangegeven. Qua beschikbaarheid van oppervlak voor grootschalige teeltssystemen en mogelijk lagere kosten kan ook worden gedacht aan locaties in het buitenland met een hogere zonlichtinstraling. Voor verdere ontwikkeling wordt hier uitgegaan van een productiekosten target < 500 €/ton droge stof. Dit ligt in dezelfde orde als in het IEA Network on Biofixation of CO₂ and Greenhouse Gas Abatement with Microalgae waar de kosten target ligt op < US\$ 250 per ton biomassa, te realiseren via teelt in grootschalige en extensieve open systemen. Naast een verlaging van de productiekosten kan tevens een kostprijsreductie worden bereikt door nevenfuncties zoals waterzuivering (gezuiverd water als relatief hoogwaardig bulk-nevenproduct) en opbrengsten uit de vastlegging van CO₂ en NO_x. De huidige prijs van CO₂ emissie rechten ligt rond de 30 € per ton CO₂. In de VS worden in Californië relatief hoge penalties

geheven op de uitstoot van NO_x (orde 5 US\$ /kg NO_x). De Amerikaanse firma GreenFuels ontwikkelt fotobioreactorsystemen voor CO₂ en NO_x verwijdering met micro-algen uit rookgassen van elektriciteitscentrales [8,9]. De algenbiomassa wordt vervolgens ingezet voor brandstofwinning. Hoewel geen gedetailleerde economische gegevens over dit systeem beschikbaar zijn, is het waarschijnlijk dat de baten voor een belangrijk deel bepaald worden door de verwijdering van NO_x en besparing op de-NO_x technologie [9]. In de EU wordt overwogen eisen voor NO_x emissies te regelen via de milieuvergunning. De huidige NO_x emissiehandel in Nederland (die geen succes is wegens het ontbreken van vraag naar emissierechten) zal dan verdwijnen.

De genoemde kostentarget (< 500€/ton) geeft aan dat micro-algenbiomassa primair zal dienen te worden ingezet voor producttoepassingen waarmee een grote besparing van fossiele inzet kan worden bereikt. Dit zijn met name: inzet van algenolie als vervanging van visolie en daarnaast de toepassing van eiwitten als alternatief voor vismeel en/of grondstof voor de productie van N-chemicals en andere groene producten. In het afgelopen 1/2 jaar is de marktprijs van vismeel voor aquacultuur met 50% gestegen tot ca. 1200 €/ton (bulkprijs) resp. ca. 8000 €/ton (voor eindgebruikers). De prijs van visolie is ca. 1000 €/ton. Bij vervanging van deze producten via micro-algenteelt zou de bulk productwaarde per ton algen (uitgaande van een samenstelling van 30% olie en 40% eiwit) op ca. 1000 €/ton droge stof uitkomen.

11. Aanjagen experimenten

MKB's in samenwerking met kennisinstellingen, lokale overheden (provincie, waterschap), en afnemers van de producten zullen een "proof of principle" moeten ontwikkelen waarbij het concept wordt gedemonstreerd en mogelijkheden voor opschaling bekend zijn. Samenwerking met lopende UKR projecten (b.v. op het gebied van productie van algen t.b.v. visolie) is hierbij van belang. De volgende concepten zijn beschikbaar voor deze ontwikkeling.

11.1. Productie van olie en eiwitten met zoutwater algen:

Energiebesparing door vermindering in het verbruik van het stookolie t.b.v. visvangst nodig voor productie van visolie en vismeel.

Momenteel wordt op wereldschaal ongeveer 30 Mton (zoutwater) vis gevangen voor de productie van visolie (1Mton) met hoogwaardige omega-3 vetzuren en eiwit (vismeel, 7 Mton). Visvangst gaat gepaard met een zeer groot verbruik aan stookolie (500 - 2000PJ) en een emissie tot 150 Mton CO₂ (5 kg CO₂ per kg aangevoerde vis). Hoogwaardige oliën en eiwitten worden ook geproduceerd door sommige mariene algen die, in tegenstelling tot de visvangst, CO₂ vastleggen.

Bij de transitie van de huidige industriële procesketen, op basis van olie en eiwit uit gevangen vis, naar één waar deze stoffen grootschalig en duurzaam met algen worden geproduceerd is sprake van een systemsprong waarbij honderden PJ aan fossiele brandstof bespaard kan worden. Tevens kan een reductie in CO₂ emissie worden gerealiseerd.

11.2. Co-productie van bio-olie en chemicaliën uit micro-algen gecombineerd met waterzuivering

Microalgen bieden een goed perspectief voor de productie van olie ter vervanging van visolie of voor gebruik als brandstof in de vorm van Pure Plantaardige Olie (PPO) of methylesterbrandstof ('biodiesel'). Algenbiomassa kan voor 30 a 40% van het drooggewicht bestaan uit olie. Op lab schaal kunnen zelfs oliegehaltes > 80% worden bereikt. De accumulatie van olie kan worden geïnduceerd door teelt onder stikstof gelimiteerde condities (groenalgen) of silicium (diatomeeën) in zoet, zout of brak water. [9]. De groenalgensoort *Botryococcus sp.* kan grote hoeveelheden koolwaterstoffen accumuleren: typisch 20-60 % van het drooggewicht tot max. 80%, die kunnen worden geëxtraheerd en opgewerkt tot brandstof.

Bij de huidige productiviteit zou in Nederland via algenteelt 8.000 à 10.000 kg olie per ha. kunnen worden geproduceerd (bij een oliegehalte van 30 à 40 gew.%) tegen ca. 1300 kg olie per ha. voor koolzaad. Hieruit kan een hoeveelheid biodiesel worden gemaakt van resp. 9.000-11.000 liter/hectare (algen) en 1.400 liter/hectare (koolzaad). De potentiële olieproductie door algen ligt hiermee per hectare een factor 7 à 8 hoger. De potentiële koolwaterstoffenproductie ligt in dezelfde orde. Door optimalisatie van de biomassa-productie kan de opbrengst per hectare naar verwachting worden verhoogd. Om zo laag mogelijke kosten te bereiken wordt uitgegaan van teelt in open systemen (High Rate Algal Pond). Als alternatief kunnen geheel nieuwe, extensieve teeltwijzen worden ontwikkeld voor (bijvoorbeeld) grootschalige teelt op kustlocaties of op zee.

In [10] is de kostprijs van biodiesel uit algen voor een 1000 ha algenkweekstelsel geraamd op 15 à 20 € / GJ, vergelijkbaar met biodiesel uit koolzaad. De productie van olie uit algen kan economisch aantrekkelijker worden door raffinage concepten te ontwikkelen voor integrale valorisatie van de biomassa. Hiervoor zijn een aantal mogelijkheden, afhankelijk van de algensoort en de samenstelling van de biomassa. Onder meer co-productie van eiwitten als grondstof voor N-chemicals, hoogwaardige chemicaliën (zoals vetzuren, carotenoiden) en/of nevenproductie van biopolymeren, agrochemicaliën, ingrediënten voor diervoeders, en productie van biogas of ethanol uit reststromen kan een gunstig effect hebben op de kostprijs. Van belang is de nevenproducten zo te kiezen dat het marktvolume matcht met de gewenste schaal voor olie- resp. brandstoffenproductie. Het overall doel is volledige valorisatie van de algen biomassa. Daarnaast kan de productie worden gecombineerd met (na)zuivering (polijsting) van afvalwater tot een herbruikbare proceswaterkwaliteit. Dit levert een reductie van kosten en energiegebruik op voor zuivering en lozing en aanvullende baten door inzet van het gezuiverde water. In [4] is de technische mogelijkheid voor nazuivering van industriële effluenten tot een voldoende kwaliteit voor hergebruik voor koeltoeleinden reeds aangetoond.

Referenties

- [1] EU CRAFT. Production and Processing of Algae for Industrial applications. FAIR CT 98-9664.
- [2] EU FAIR. Production of polyunsaturated fatty acids by algae. FAIR CT 97-3146
- [3] EU KP5. Feed for aquatic animals that contain cultivated marine microorganisms as alternative for fish oil. Q5RS-2000-30271
- [4] J.H.Reith (red), 2004. Duurzame co-productie van natuurlijke fijnchemicaliën en energie uit micro-algen. EET K9905/ 398510-1010. <http://www.ecn.nl/docs/library/report/2004/c04037.pdf>
- [5] UKR. Van visolie naar algen. Duurzame productie van omega-3-vetzuren
- [6] MACHT - Microbiële Afval-Conversie naar Hoogwaardige Transportbrandstoffen Subsidie-regeling BSE duurzame energie 2003, DEN 400005338
- [7] N. Staats et al, 2005. Toepassen van microalgenkweeksystemen. Coalitievorming en voorbereiding transitie-experiment. Eindrapport OTC project 5005-03-20-01-021.
- [8] <http://www.greenfuelonline.com/>
- [9] T. Zoethout, 2006. Algen vreten CO₂. P+ Magazine. Mei/juni 2006.
- [10] Weissman, J.C. & D.M. Tillett, 1992. Design and operation of an outdoor microalgae test facility. Large-scale system results. In Brown, L.M. & S. Sprague. Aquatic Species Project Report FY 1989-90. NREL, Golden Colorado. NREL/MP-232-4174, pp. 32-56
- [11] Braun A.R., J.H. Reith e.a. Algen in de Nederlandse energiehuishouding. EWAB rapport 9304, 1993.

Grootschalige teelt van zeewier in combinatie met offshore windparken in de Noordzee.

Hans Reith, ECN Biomassa, Kolen en Milieuonderzoek

1. Beschrijving en afbakening

Grootschalige teelt van zeewier in de Noordzee biedt een enorm potentieel als bron van bio-energie en hernieuwbare, groene grondstoffen, chemicaliën en producten voor de bio-based economy. Het door Nederland beheerde deel van de Noordzee omvat 57.000 km², ongeveer 1,5 maal zo groot als het landoppervlak. De Noordzee biedt daarmee een omvangrijk aanvullend areaal voor biomassa productie, waarbij problemen die gelden voor landgebonden teelt –zoals zoetwater verbruik– kunnen worden vermeden. De ruimte op zee kan efficiënt worden benut door de hoge productiviteit van zeewier en combinatie met andere gebruiksfuncties.

Zeewier of “macro-algen” vormen een zeer diverse groep plantaardige, bladachtige organismen met soorten die een lengte van enkele centimeters tot tientallen meters kunnen bereiken. Wereldwijd wordt ca. 10 miljoen ton zeewier per jaar ingezet voor verschillende doeleinden. Jaarlijks groeit de productie met 2 à 3 procent. De bulk komt voor rekening van een 40-tal bruine, rode en groene zeewiersoorten, via teelt op kustgebonden locaties (90%) en oogst van natuurlijke populaties uit zee (10%). (Figuur 1)



A

A: *Macrocystis pyrifera* (Giant Kelp, California, USA) © C.J. Dawes



B

B: *Laminaria digitata* (Yorkshire, England) © M.D. Guiry

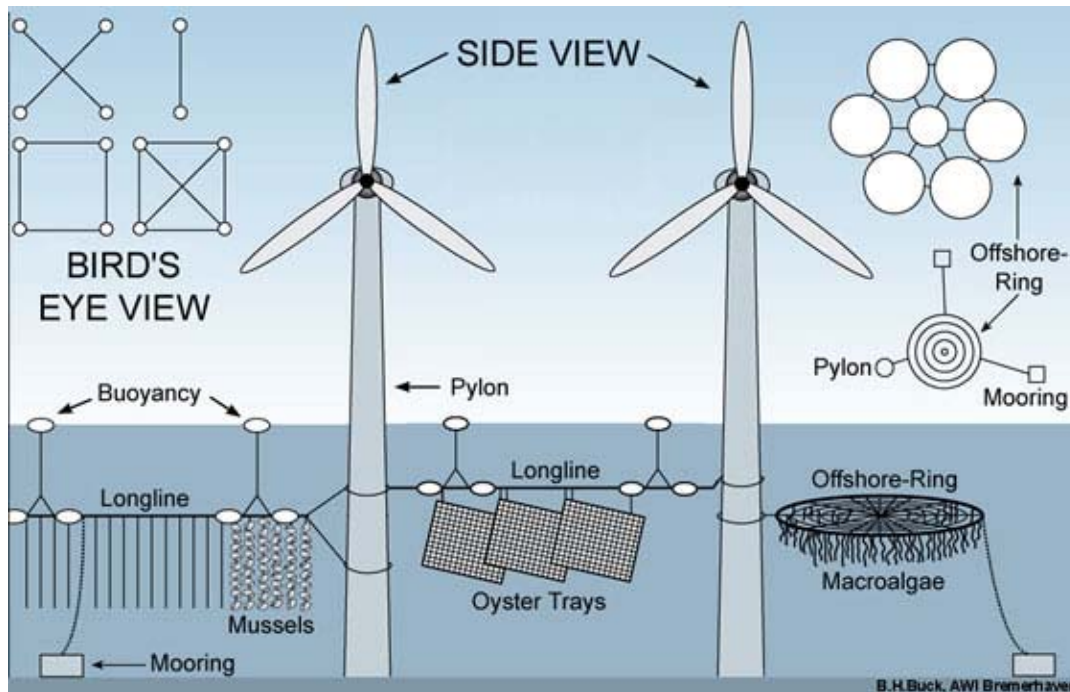


C

C: lijnteelt *Gracilaria*

Figuur 1. Enkele zeewiersoorten die commercieel worden geëxploiteerd.

Grootschalige teelt van zeewier kan plaatsvinden aan lijnsystemen of andere structuren die drijven en/of onder het wateroppervlak zijn verankerd. Lijnsystemen worden het meest toegepast [10]. In de Nederlandse Exclusieve Economische Zone (NEEZ) van de Noordzee worden de komende decennia offshore windparken gerealiseerd. De ondersteuningsconstructies van de windturbines kunnen worden gebruikt als verankering van systemen voor grootschalige zeewierenkweek. Deze combinatie met offshore wind kent een aantal synergetische aspecten die de economische rentabiliteit van beide activiteiten ondersteunt, zoals gezamenlijk beheer en onderhoud. Daarnaast is combinatie mogelijk met andere vormen van aquacultuur zoals teelt van vis, mosselen, oesters e.d. (Figuur 2). Ook stand-alone kweeksystemen zijn denkbaar zoals drijvende productiefaciliteiten of innovatieve productie-eilanden waarop elektriciteitsproductie met windturbines wordt gecombineerd met aquacultuur.



Figuur 2. Meervoudig ruimtegebruik door combinatie van offshore windparken met verschillende vormen van aquacultuur. De figuur toont de combinatie van windturbines met een “longline” systeem voor teelt van mosselen of oesters en een ringsysteem voor zeewierenteelt [10]

Zeewierenteelt biedt uitstekende perspectieven voor duurzaam en meervoudig ruimtegebruik van de Noordzee, het creëren van nieuwe werkgelegenheid voor de visserij- en offshore sector en van nieuwe industriële activiteit voor teelt, logistiek en verwerking [2-6]. Ook elders in Europa wordt actief gewerkt aan realisatie van zeewierenteelt. Naast teelt in de Noordzee bestaat uiteraard ook de mogelijkheid elders gekweekte zeewierenbiomassa of halffabrikaten in Nederland te verwerken.

2. Kwantitatieve doelen voor 2015 en 2030.

Potentiële biomassa bijdrage van zeewierenteelt in de Noordzee

Zeewieren kunnen een hoge productiviteit bereiken door de hoge groeisnelheid en de snelle opname van nutriënten en CO₂ uit het waterig milieu. Voor de Noordzee biedt teelt van groene en bruine of rode zeewiersoorten in een gelaagd teeltsysteem een aantrekkelijk perspectief, omdat het invallend zonlicht optimaal wordt benut door verschillen in absorptiekenarakteristiek. Dit beperkt het benodigde oppervlak en bevordert de inpassing in andere vormen van zeegebruik. Integratie van zeewierenteelt met andere aquacultuur vormen is een reële mogelijkheid. Concrete mogelijkheden voor de Noordzee zijn combinaties met mosselenkweek of viskweek [4]. Zonder nutriëntentoevoer zal de productiviteit in de Noordzee naar verwachting ca. 20 ton droge stof/ha.jaar (2000 ton /km²)bedragen. Door gedoseerde nutriëntentoevoer en/of teelt in gelaagde systemen kan dit naar verwachting worden verhoogd tot ca. 50 ton droge stof/ha.jaar (5000 ton/km²).

De biomassabijdrage hangt af van het gerealiseerde teeltareaal waarbij primair wordt uitgegaan van combinatie met offshore windparken. De overheidsdoelstelling van 6.000 MW offshore windvermogen (ca. 1000 km²) in 2020 lijkt losgelaten, maar verwacht mag worden dat in de komende decennia een aantal windparken zal worden gerealiseerd. Een potentieelraming voor het Nederlandse deel van de Noordzee is in Tabel 1 gegeven als functie van het gerealiseerde windpark areaal. Daarbij is uitgegaan van windparken met 100 turbines van 5 à 6 MW, met een oppervlak van 100 km², een biomassaproductie van 5000 ton/km² en een energie-inhoud van 14 GJ/ton zeewier (droge stof basis). Voor teelt, oogst en transport is 10% in mindering gebracht op het bruto potentieel.

Tabel 1. *Energiepotentieel zeewierenteelt in de Noordzee in 2015 en 2030 en op langere termijn, met aftrek van 10% voor teelt, oogst en transport. Aangegeven als functie van gerealiseerd windareaal, echter deze combinatie is niet noodzakelijk.*

Jaar	Aantal wind-parken [à 100 km ²]	Areaal [km ²]	Biomassa productie [ton d.s. x 1000]	Energiepotentieel [PJ]
2015	5	500	2.500	31,5
2030	20	2.000	10.000	126
Na 2030	50	5.000	25.000	315

Op langere termijn behoort doorgroei naar 5000 km² tot de mogelijkheden (9 % van het Nederlandse deel van de Noordzee) met een potentiële opbrengst van 25 miljoen ton droge stof per jaar (315 PJ na aftrek 10% energiegebruik voor oogst en transport).

Groene grondstoffen, producten en energiedragers uit zeewierenbiomassa

Zeewierenbiomassa is geschikt voor winning van een scala aan CO₂-neutrale producten en energiedragers. Op de eerste plaats producten die tegenwoordig al worden gewonnen zoals phycocolloïden (alginaten, agar, carrageen), voedingssupplementen, diervoeders, meststoffen en ingrediënten voor personal care producten. Deze producten en gebruik als voedingsmiddelen kunnen bijdragen aan de initiële marktontwikkeling. Door het hoge polysacchariden gehalte (ca. 60 gew%) is zeewier tevens geschikt voor productie van gasvormige en vloeibare brandstoffen via fermentatie (methaan, bioethanol) of bio-olie (HTU) en van platformchemicaliën zoals melkzuur, propaandiol en biopolymeren die petrochemische bulkproducten kunnen vervangen. Zeewieren zijn daarnaast een potentiële bron van eiwitten, mannitol, vetzuren, kleurstoffen en bio-actieve stoffen. Zeewieren hebben een hoog gehalte aan mineralen (20 a 30 gew%) die kunnen worden benut voor winning van minerale producten zoals jodium, broom, meststoffen ('potash') of worden teruggevoerd naar de kweeksystemen op zee.

Zeewierenbiomassa is hiermee bij uitstek een grondstof voor bioraffinage voor economisch en ecologisch optimale winning van combinaties van CO₂ neutrale producten en energiedragers via fractionering en secundaire conversie die optimaal gebruik maakt van de eigenschappen van de verschillende biomassafracties.

De verwerking kan deels of geheel op zee plaatsvinden en/of in multifunctionele bioraffinage fabrieken waar winning van producten en energiedragers is geïntegreerd. Gezien het hoge watergehalte bij oogst (85-90%) is in ieder geval een ontwateringsstap op zee noodzakelijk om kosten en energiegebruik van transport te beperken [4]. Uit logistiek oogpunt kunnen verwerkingsinstallaties worden gerealiseerd op de Maasvlakte in het Eemshavengebied of in (voormalige) visserijhavens. Import van onbewerkt zeewier ligt niet voor de hand gezien het hoge watergehalte. Wel is het mogelijk om geconcentreerde biomassa of andere tussenproducten te importeren en in Nederland te verwerken.

Onderstaande Tabel 2 geeft een raming van de potentiële vermeden fossiele inzet voor verschillende toepassingen in de jaren 2015 en 2030 en op langere termijn voor teelt in de Noordzee.

Tabel 2. *Energiepotentieel voor verschillende biomassatoepassingen van zeewierenteelt in het Nederlandse deel van de Noordzee in 2015 en 2030 (en op langere termijn).*

	Biomassa potentieel ¹⁾ [PJ]	Elektriciteit & warmte ²⁾ [PJ]	SNG [PJ]	Fermentatie/ ethanol ²⁾ [PJ]	Bio-olie ^{2,4)} [PJ]	Chemie ^{2,3)} [PJ]
2015	31,5	3,2	-	7,9	7,9	12,6
2030	126	12,6	-	31,5	31,5	50,4
Langere termijn	315	31,5		79	79	126

1) Na aftrek 10% energieverbruik voor teelt, oogst en transport

2) Uitgangspunt is een verdeling over de categorieën elektriciteit/warmte (met name via de productie van biogas), fermentatie/ethanol, bio-olie en chemie/groene producten in de ratio 1:2,5:2,5:4.

3) In de categorie chemie vallen eiwitten, polysacchariden, platformchemicaliën via fermentatie, biopolymeren, agro-chemicaliën, mannitol en beperkte volumes fijnchemicaliën (kleurstoffen, vetzuren, bioactives).

4) Productie van bio-olie via HTU.

3. Uitgangspositie in Nederland

Aansluitend aan de erkenning van het Transitiepad “Aquatische Biomassa” [2,3] is de haalbaarheidsstudie “Bio-Offshore” uitgevoerd [4]. Deze verkenning heeft inzicht opgeleverd in:

- de technologie van zeewierenteelt inclusief mogelijkheden voor combinatie met offshore windparken,
- voor teelt in de Noordzee geschikte snelgroeiende, inheemse zeewiersoorten.
- logistiek en verwerking van zeewieren tot energiedragers en producten
- voorwaarden voor inpassing in beheersfuncties van de Noordzee en (inter)nationaal beleidskader en het verwerven van maatschappelijk draagvlak.
- De ontwikkelingen wereldwijd en in Europa zijn in kaart gebracht.

De verkenning toont dat zeewierenteelt in de Noordzee technisch haalbaar met voldoende economisch potentieel. De benodigde techniekontwikkeling en de kritische succesfactoren zijn geïdentificeerd. De belangrijkste aanbeveling is een pilot experiment uit te voeren op een locatie in zee teneinde de technologische en ecologische aspecten te onderzoeken en een beter beeld te krijgen van de economische haalbaarheid. Hiermee is een eerste aanzet aanwezig voor de ontwikkeling in Nederland.

De benodigde kennis kan worden geleverd door verschillende WUR instituten en ECN in samenwerking met de offshore sector, exploitanten van windparken, visserijsector, land- en tuinbouw, agro-industriële bedrijven (suiker, zetmeel, ethanol), de chemie en met nieuw op te zetten bedrijven. De geplande offshore windparken NSW en Q7 bieden een uitstekende gelegenheid om de ontwikkeling te starten. Een voorstel voor uitvoering van een pilot experiment is ingediend in de FES ronde “Groene Grondstoffen” (2005).

De Associatie Technologie Overdracht (ATO) verkent momenteel de mogelijkheden van zeewierenteelt voor de provincie Noord-Holland. Het deelpad ‘Zeewieren’ past ook goed in het lopende debat over het toekomstig gebruik van de Noordzee en de plannen die worden ontwikkeld voor geïntegreerde aquaproductieparken [6]. Ook is aansluiting mogelijk bij Transitie-initiatieven op het gebied van bioraffinage in Noord-Nederland en het Sea Wing project [5].

4. Stakeholders in Nederland en in het buitenland

In [4] zijn stakeholders geïdentificeerd uit de sectoren: beleid en beheer, financiële instellingen, (internationale) kennisinstellingen, exploitanten van offshore windparken, offshore bedrijven, producenten van biobrandstoffen en fermentatieproducten en maatschappelijke organisaties/NGO’s.

Bij Nederlandse kennisinstellingen is ruime expertise aanwezig voor het ontwikkelen van een optimaal teeltsysteem en het ontwerpen van de processingtechnologie, aangevuld met partners uit de energie- en offshore sector, de verwerkende industrie, eindafnemers en financiers. Er zullen nieuwe logistieke ketens moeten worden opgezet (zie 5) waarbij AKK en Transforum een rol kunnen spelen. Daarnaast is samenwerking met overheden (m.n. RWS Directie Noordzee) en natuur- en milieuorganisaties vereist om gedurende de ontwikkeling een continue duurzaamheidstoets in te bouwen. Naar andere stakeholders in de samenleving dient een communicatietraject te worden opgezet om draagvlak te creëren en eventueel noodzakelijk geachte aanpassingen gaande het transitiepad te realiseren.

Internationaal dient samenwerking te worden gezocht met partijen (R&D, bedrijven) in landen die reeds actief zijn op het gebied van zeewierteelt en –verwerking in de EU en Azië. Ook dient aansluiting te worden gezocht bij elders in de EU lopende projecten via samenwerking met Alfred Wegener Instituut (D), Ifremer (F) en het Irish Seaweed Centre. Voor realisatie lijkt publiek-private samenwerking aangewezen gezien de omvang en de infrastructurele eisen.

In principe zijn alle partijen voor het slagen van dit transitiepad aanwezig. Een eerste evaluatie van de mate van steun/oppositie en invloed (actief/passief) is hieronder aangegeven. Verwacht mag worden dat veel stakeholders (nog) een afwachtende houding aannemen (+/-).

Tabel 3 Overzicht en opstelling stakeholders. Betekenis symbolen: +...+++ weinig tot veel steun of weinig tot erg actief; -...--- zwakke tot sterke oppositie, weinig tot erg passief.

Stakeholder	Steun/Oppositie	Actief / Passief
Beleid en beheer (RWS-DNZ)	+/-	++
Provinciale overheden (Zeeland, NH, Fr)	++	++
Financiële instellingen	+/-	+
Innovatieplatform Aquacultuur	+++	++
R&D instellingen (nationaal en internationaal)	+++	++
Exploitanten offshore windparken	+/-	++
Offshore bedrijven (engineering, logistiek)	+	++
Verwerkende industrie	+/-	+
Industriële eindafnemers	+/-	-
Olie- en gasexploitanten Noordzee	--	++
Scheepvaart	--	++
Energiesector	+/-	++
NGO's	+/-	+++
Potentiële zeewierproducenten (visserij, landbouw)	+++	+/-
Consumentenorganisaties	+/-	++

5. Marktvraag

Wereldwijd wordt ca. 10 miljoen ton zeewier (ca. 2 miljoen ton droge stof) per jaar geproduceerd en toegepast in voeding, diervoeders, meststoffen, chemicaliën, cosmetica en farmaceutische producten. De totale omzet bedraagt ca. 6 miljard US \$ met een groei van 2 à 3 procent per jaar.

De belangrijkste toekomstige klanten/afnemers zijn de verwerkende industrie waaronder de chemie, de agro- en fermentatie-industrie, de voedingsmiddelen- en veevoederindustrie en de energiesector. Voor initiële marktontwikkeling in Nederland lijken bekende toepassingen met hogere toegevoegde waarde voldoende perspectief en omvang te bieden, met name: winning van phycocolloïden (zeewieren uit koudere wateren leveren de beste kwaliteit), vers zeewier voor consumptie en toepassing in “personal care” producten. Vrijkomende (rest)biomassa kan op korte termijn reeds nuttig worden gebruikt voor methaan- of elektriciteitsproductie via vergisting. Op middellange termijn kunnen geheel nieuwe

toepassingsmogelijkheden zoals de productie van platformchemicaliën (via fermentatie) worden ontwikkeld met grote marktomvang. Het marktvoorzicht voor hoogwaardige inhoudstoffen (vetzuren, kleurstoffen, bio-actieve stoffen) is op dit moment minder duidelijk. Zeewieren bieden op dit punt interessante mogelijkheden die nader moeten worden onderzocht.

Marktbarrières

De belangrijkste marktbarrière is de ecologisch verantwoorde inpassing van grootschalige zeewierkweek in de Noordzee en de daaraan gekoppelde vergunningverlening [4]. Ter beoordeling van de ecologische effecten en inpassing in beleid en regelgeving is uitvoering van een pilot experiment de aangewezen weg.

Voor de realisatie dient een nieuwe keten te worden ontwikkeld. Wel is aansluiting mogelijk bij bestaande economische activiteiten. Teelt en oogst kan een nieuwe activiteit worden van exploitanten van windparken, de visserij- en offshore sector en mogelijk de land- en tuinbouwsector voor voorkweek van zeewierenmateriaal. Voor de verwerking is cascadering/bioraffinage de aangewezen weg. Afhankelijk van de toepassing(en) dient samenwerking te worden gezocht met de voedings- en veevoedersector, de agro-industrie, de chemie en de fermentatie-industrie en de energiesector. Uit een peiling van bedrijven blijkt dat het potentieel wordt erkend maar dat nog grote technologische onzekerheden bestaan [4]. Bij de ketenontwikkeling is aandacht gewenst voor de eisen van (industriële) eindgebruikers en de consument.

6. Technisch potentieel/ benodigde ontwikkeling

Teelt en oogst

Voor grootschalige zeewierteelt in volle zee is de nodige ontwikkeling noodzakelijk. De belangrijkste kritische succesfactor is de ontwikkeling van een ecologisch inpasbaar, efficiënt teeltsysteem dat voldoet aan de eisen voor inpassing in offshore windparken en met een goed beheersbare, optimale biomassaproductiviteit. Hierin zijn als deelaspecten te onderscheiden:

- Voorkweek en enten van zeewieren
- De constructie van het kweekstelsel, dat robuust en stabiel dient te zijn in het dynamische zeemilieu en tevens moet voldoen aan de eisen voor inpassing in offshore windparken. Het optimale systeemontwerp voor grootschalige toepassing is onbekend.
- Het systeem moet een optimale productiviteit kunnen bereiken bijv. door een gelaagde opstelling. De kweek van de geselecteerde zeewiersoorten (inclusief voorkweek, enten) moet worden getest.
- Er dient technologie te worden ontwikkeld voor het oogsten, voor de eerste ontwatering (en mogelijk andere bewerkingen) op zee en voor transport en logistiek.
- Het systeem moet zo zijn ingericht dat migratie van zeezoogdieren niet wordt belemmerd of verstoord
- Voor eventuele nutriëntentoevoer dient een precisietechniek te worden ontwikkeld zodanig dat eutrofiëring van het zeewater is uitgesloten. De mogelijkheid van hergebruik van nutriënten die vrijkomen bij verwerking van de zeewieren moet worden onderzocht.
- Eventuele positieve neveneffecten op het milieu en natuurwaarden moeten worden onderbouwd/aangetoond.

Verwerking tot producten en energiedragers

Een tweede belangrijke ontwikkelingsbehoefte betreft de verwerking van de zeewieren tot producten en energiedragers. In eerste aanleg kan bij winning van bekende producten zoals phycocolloïden, mannitol en de valorisatie van eiwitten gebruik worden gemaakt van bestaande verwerkingstechnologie [9]. en productie van energiedragers (methaan, elektriciteit) via anaërobe vergisting en/of productie van bio-olie via HTU. Zeewieren kunnen in zijn geheel worden ingezet voor energieproductie ofwel de (natte) residuen na extractie van producten of fermentaties. Voor andere producten dient nieuwe technologie te worden ontwikkeld zoals voor de hydrolyse en fermentatie van polysacchariden tot bioethanol en

platformchemicaliën zoals melkzuur, biobutanol of propaandiol. Tevens wordt aanbevolen een nadere identificatie uit te voeren van hoogwaardige inhoudstoffen zoals vetzuren, kleurstoffen en bio-actieve stoffen die uit de geselecteerde zeewieren kunnen worden gewonnen.

7. Internationale context

Teelt en verwerking van zeewieren is een sterk groeiende bedrijfstak in China, Japan, de Filipijnen en Indonesië. In de VS en diverse Europese landen (o.a. Spanje, Frankrijk, Ierland en Noorwegen) worden natuurlijke populaties geëxploiteerd. In de EU wordt o.a. in Frankrijk, Duitsland en Ierland gewerkt aan de realisatie van zeewierenteelt in zee [7-10]. De kansen voor succesvolle ontwikkeling in Nederland worden met name bepaald door de ecologische inpasbaarheid en de daaraan gekoppelde vergunningverlening en de opbouw van draagvlak. De benodigde kennis is deels in huis bij Nederlandse R&D instellingen en kan worden aangevuld met expertise elders uit Europa. Samenwerking in EU verband is evident gezien de internationale dimensie van ruimtegebruik op zee en de internationale regelgeving en verdragen, waarop (ook) het Nederlandse beleid is gebaseerd.

In de technologische ontwikkeling van (voor)kweek, oogst, logistiek en verwerking van zeewierenbiomassa kan Nederland een belangrijke rol spelen gezien de sterke positie van de Nederlandse R&D sector en de traditioneel sterke positie van de offshore, de visserijsector en de verwerkende (agro)industrie en biotechnologie. Nederland heeft een vooraanstaande positie in offshore techniek maar ook op landbouwkundig gebied (teeltkunde, veredeling) en kan dit via dit deelpad uitbreiden door beide te combineren. Hierdoor ontstaat werkgelegenheid op een nieuw gebied en een versterking van werkgelegenheid op het bestaand gebied van onze mariene activiteiten.

Nederland beschikt over een sterke logistieke sector en zeehavens die een belangrijke rol spelen bij de aan- en doorvoer van grote volumes aan agro- en biomassa grondstoffen en producten. Momenteel worden bio-ethanol fabrieken gepland in de havens van Amsterdam en Rotterdam. Op termijn kunnen deze activiteiten worden uitgebreid met verwerkingsinstallaties voor zeewieren. De ontwikkeling kan een impuls geven aan de positie van Nederland als spil in de internationale biomassahandel en –verwerking en de ontwikkeling van de aquacultuursector in ons land.

8. Draagvlak

Het verwerven van maatschappelijk draagvlak is een kritische succesfactor. Voorwaarde daarvoor is het realiseren van een productiesysteem met een minimale belasting van het mariene ecosysteem en economisch rendabel produceren. Daarnaast moet aandacht worden besteed aan de ruimtelijke inpassing, natuurwaarden en mogelijk conflicterend ruimtegebruik. De Noordzee behoort tot de zeeën waarop de meeste menselijke activiteiten plaatsvinden. Deze vallen uiteen in drie categorieën in volgorde van afnemend economisch belang: gas- en oliewinning, scheepvaart en visserij. De belangen, die daarmee gemoeid zijn, zijn niet zelden conflicterend.

Bij de bepaling van maatschappelijke randvoorwaarden speelt een aantal zaken een rol. Sommige dragen in positieve zin bij, andere in negatieve zin en soms is het niet duidelijk:

- Positief: groene energie, kraamkamerfunctie.
- Negatief: mogelijk prijsopdrijvend, milieubelasting ten gevolge van eutrofiëring (bemesting), impact op zeezoogdieren en vogels.
- Onduidelijk: ruimtebeleving (geen activiteiten op de zee; het laatste ongerepte gebied op aarde tot een duurzaam gebruik van tot nu toe niet benutte natuurlijke hulpbronnen), veiligheid (onzekerheid over risico's voor mens en milieu tot multifunctionaliteit is goed).

Het doel moet in de eerste plaats zijn om middels een pilot project met een begeleidend monitoring-programma aan te tonen dat zeewierenteelt economisch vitaal en ecologisch duurzaam is, en in dit experiment een component in te bouwen om het maatschappelijk draagvlak te bepalen en in dialoog indien nodig en mogelijk te vergroten. Dit is temeer nodig omdat de ontwikkelingen op de Noordzee door burgers (individueel en in georganiseerd verband) kritisch worden gevolgd.

9. Rol van de overheid

Bij de ontwikkeling is bij uitstek een rol weggelegd voor de Rijksoverheid, gezien haar functie als beheerder en vergunningverlener. De RWS Directie Noordzee (DNZ) is bereid de ontwikkeling te begeleiden. DNZ is als integraal waterbeheerder van het Nederlandse deel van de Noordzee verantwoordelijk voor uitvoering van het (inter)nationale waterbeleid en het operationeel beheer en heeft een stimulerende rol bij het inpasbaar maken van -bestaande en nieuwe- activiteiten in de Noordzee en de afstemming in (inter)nationale regelgeving en beleidskader. Streven daarbij is verontreiniging te voorkómen en verstoring te minimaliseren. DNZ besteedt reeds aandacht aan (mogelijke) combinaties van offshorewindparken met aquacultuur, zoals de teelt van mosselen.

Gelet op de complexe regelgeving is multifunctioneel ruimtegebruik op de Noordzee nog lang niet vanzelfsprekend, vooral niet als het om grootschalige projecten gaat. Parallel aan de technologische ontwikkeling wordt dan ook aanbevolen initiatieven te ontplooien om bij de huidige opzet van vergunningverlening voor offshore windparken harmonisatie met de vergunningverlening voor aquacultures en de gezamenlijk MER aanvraag te bewerkstelligen.

De overheid kan voorts een stimulerende rol spelen via:

- het faciliteren van demonstratieprojecten,
- invoering van duurzaamheidscriteria als grondslag voor planvorming, regelgeving en vergunningverlening. Er dient ruimte te zijn voor de integratie van biologische productiesystemen in het milieu en koppeling met natuurontwikkeling en waterkwaliteitsbeheer.
- certificeringssystemen op basis waarvan financiële prikkels kunnen worden gegeven (waar nodig).

10. Kosten en baten

Beschikbare investeringsramingen inclusief oogst voor grootschalige, offshore zeewier kweeksystemen (250 – 400 km²) uit de literatuur variëren van 1 tot 4 miljoen US \$ per km² [9]. Hierin is nog geen rekening gehouden met combinatie met offshore windparken, waardoor de kosten mogelijk kunnen dalen.

In [4] is getracht een beeld te krijgen van de productiekosten en potentiële marktwaarde van zeewierenbiomassa op basis van gegevens uit de literatuur. De uitkomsten hebben slechts indicatieve waarde, omdat de beschikbare gegevens een grote spreiding tonen en grotendeels zijn ontleend aan systeemontwerpen uit het Amerikaanse *Marine Biomass Program* (1968-1990). De gegevens tonen productiekosten van 20-50 US\$ per ton droge stof voor grootschalige “nearshore” teelt tot 100-400 US\$ per ton droge stof voor “offshore” lijnteelt. Benadrukt wordt dat de genoemde kosten hoogst onzeker zijn en niet representatief zijn voor teelt in de Noordzee en de combinatie met offshore windparken. Een nadere kostenraming op basis van een voorontwerp is nodig. De belangrijkste kostenfactoren zijn de investeringen en onderhoudskosten voor het teeltsysteem en de investeringen en operationele kosten voor het oogsten. De biomassa-productiviteit heeft een groot effect op de kostprijs.

De kosten van “offshore” geteelde zeewieren lijken (te) hoog voor uitsluitend energieproductie. Voor “near-shore” geteelde zeewier is uitsluitend energieproductie mogelijk wel haalbaar. Offshore teelt voor de

winning van phycocolloïden, mannitol, platformchemicaliën, fijnchemicaliën en afzet van zeewier voor consumptie kan naar verwachting rendabel worden uitgevoerd. Ook de waarde van gecombineerde winning van chemicaliën en energiewinning uit restbiomassa toont voldoende marge voor economisch rendabele offshore productie [4].

Realisatie van dit deelpad zal een substantiële bijdrage leveren aan het creëren van nieuwe werkgelegenheid voor de offshore en de visserij- en de landbouwsector, de logistiek en de verwerkende industrie. Het totaal economisch effect wordt geschat op 2,5 tot 10 miljard €/jaar in resp. 2015 en 2030.

11. Duurzaamheidsaspecten

De ecologisch verantwoorde inpassing van kweeksystemen in het natuurlijk milieu is de belangrijkste succesfactor voor grootschalige zeewierenteelt in de Noordzee. Met de selectie van inheemse zeewiersoorten is in principe voldaan aan de eisen ten aanzien van het voorkomen van verstoring door introductie van gebiedsvreemde soorten. Nutriëntentoevoer is niet toegestaan tenzij wordt aangetoond dat er geen eutrofiëring kan optreden. Ook mag geen verstoring optreden van leefpatroon en migratie van zeezoogdieren. Daarnaast is onderzoek nodig naar mogelijke eutrofiëring en zuurstofloosheid in gebieden waar afgebroken zeewierfragmenten kunnen sedimenteren. Potentiële positieve effecten door meervoudig ruimtegebruik, combinatie met kweek van vis en schelpdieren en het vormen van herstelgebieden voor visbestanden ("kraamkamerfunctie") kunnen de ecologische inpasbaarheid en het draagvlak vergroten maar moeten eerst worden onderbouwd/ aangetoond. De ecologische effecten bij de teelt van zeewieren moeten nader worden onderzocht. Mogelijk resulteert dit in bepaalde randvoorwaarden. Anderzijds wordt slechts een beperkt deel (< 10%) van het Nederlandse Noordzee areaal benut.

Voor zeewierenteelt en -verwerking is de verwachting dat volledige valorisatie van biomassa mogelijk is, er geen gebruik van schaarse (zoet)watervoorraden optreedt en geen concurrentie met voedselvoorziening/visserij door parallelle ontwikkeling van vis- en schelpdierenteelt. Het oogsten van zeewieren gebeurt geleidelijk, zodat niet plotseling in omvangrijke gebieden de levenskansen voor andere organismen afnemen. Gunstig is ook dat de teelt van zeewieren door de opname van CO₂ zal bijdragen aan een terugdringing van de verzuring van de oceanen. Potentiële positieve effecten door meervoudig ruimtegebruik, combinatie met kweek van vis en schelpdieren en het vormen van herstelgebieden voor visbestanden ("kraamkamerfunctie") kunnen de ecologische inpasbaarheid en het draagvlak vergroten maar moeten eerst worden onderbouwd/ aangetoond.

De nutriënten die resteren na de bewerking(en) kunnen worden gerecycled ten behoeve van het in stand houden van een hoge productiviteit. Een eventueel surplus aan nutriënten kan worden afgezet als grondstof voor de kunstmestindustrie.

Via de betrokkenheid van maatschappelijke organisaties dient te worden voorzien in een permanente duurzaamheidstoets gedurende de ontwikkeling. Daarnaast dient nadere kwantificering van de duurzaamheid van de integrale keten plaats te vinden.

12. Aanjagen van experimenten

12.1. Pilot experiment in de Noordzee

De hoofddoelstelling van het experiment is de haalbaarheid van zeewierenteelt te demonstreren door het testen van een experimenteel kweekstelsel in de Noordzee. Een locatie in het NSW of Q7 windpark (of andere offshore wind locatie) is optimaal. Door het experiment daar te lokaliseren kan inzicht worden

verkregen in engineering- en operationele aspecten van de beoogde integratie met offshore windturbineparken. Daarnaast is aansluiting mogelijk bij de reeds geplande Monitoring en Evaluatie Programma's die in deze parken zullen plaatsvinden. De doelstellingen zijn:

- Ervaring op te doen met de constructie (ontwerp, engineering, stabiliteit), de teelt van de geselecteerde zeewieren en een indicatie te verkrijgen van de productiviteit.
- Het onderzoeken van de haalbaarheid van nauwkeurig gedoseerde nutriëntentoevoer. Daarbij moet worden aangetoond dat de technologie toereikend is om eutrofiëring uit te sluiten.
- Monitoren van ecologische effecten met name op eutrofiëring en de migratie van zeezoogdieren en daarnaast van potentiële positieve neveneffecten op de biodiversiteit.
- Ervaring op te doen met logistiek (oogst en transport), processing en energieconversie van zeewierenbiomassa door bioraffinage
- Nader in kaart brengen van de maatschappelijke randvoorwaarden via een participatief proces in samenwerking met beleidsinstanties en maatschappelijke organisaties.

De resultaten van het pilot experiment kunnen worden gebruikt voor het maken van een voorontwerp voor een integraal kweekstelsel geïntegreerd met offshore windparken, een economische evaluatie en een nadere evaluatie van de duurzaamheidsaspecten en (opbouw van) maatschappelijk draagvlak. Deze elementen zijn alle van cruciaal belang voor verdere ontwikkeling en grootschalige realisatie.

11.2. Bioraffinage van zeewierenbiomassa

Zeewieren biomassa is geschikt voor winning van een scala aan CO₂-neutrale producten en energiedragers en is daarmee bij uitstek een grondstof voor bioraffinage. Het is van belang de optimale bioraffinage ketens nader te ontwikkelen op basis van case studies en experimentele R&D in samenwerking met afnemers incl. verwerking op pilot- of demo schaal. De belangrijkste R&D thema's zijn:

- Oogsten: ontwikkelen natuurvriendelijke, energiezuinige oogstmethode;
- Eerste voorbewerking (ontwatering/fractionering) op zee en logistiek
- Voorbehandeling met enzymen en/of fysisch/chemische methoden voor viscositeitsverlaging en ontsluiting van de biomassa;
- Extractie en opwerking van producten
- Hydrolyse en fermentatie van suikers uit zeewieren. Hierover is nog zeer weinig bekend. Wel is bekend dat zeewierenbiomassa uitstekend anaëroob kan worden vergist met hoge biogasproductie [8]
- Fysisch-chemische conversie biomassafracties (o.a. HTU)
- Winning minerale producten en recycling van assen
- Ontwerp integrale bioraffinageketen(s) incl. economische evaluatie

11.3. Integrale verwerking op zee door fractionering en HTU

Onderzoek naar de kansen voor gecombineerde bioraffinage/HTU en/of biogasproductie op zee met directe recycling van nutriënten en warmte naar het hiervoor aangepaste kweekstelsel. Nagaan van de mogelijkheden tot voorbewerking (ontwatering, evt. verwijdering Chloride) en fractionering van deelfracties (bijv. eiwitten) op zee voor transport en verdere valorisatie aan land. Systeemevaluatie, voorontwerp en economische evaluatie.

Referenties

- [1] A Guide to the Seaweed Industry, 2003. FAO Fisheries Technical Paper 441.
- [2] Reith, J.H., M. Blom-Zandstra, W. Brandenburg, R.H. Wijffels, J. Steketee, N. Staats, 2003. Transitiepad "Energie en grondstoffen uit Aquatische Biomassa".

- [3] Ministerie van Economische Zaken. 2003. Biomassa: de groene motor in de transitie. Stand van zaken na de tweede etappe. December 2003.
- [4] Reith, J.H., E.P. Deurwaarder, K. Hemmes, A.P.W.M. Curvers, P. Kamermans, W. Brandenburg, G. Zeeman, 2005. Bio-offshore; grootschalige teelt van zeewieren in combinatie met offshore windparken in de Noordzee. ECN rapport C--05-008.
- [5] Hans Langeveld, Andries Koops, Jan Ketelaars, Leo Marcelis, Jan Hassink, Greet Blom & Pieter van de Sanden, 2005. Nieuwe Landbouw-Inventarisatie van kansen. WUR-PRI, Nota 330.
- [6] Zee in Zicht. Zilte waarden duurzaam benut. E. Luiten (Ed), 2004. STT 67. STT/Beweton, Den Haag. I.s.m. Innovatie Netwerk Groene Ruimte en Agrocluster.
- [7] <http://www.algenfarm.de/> en <http://www.awi-bremerhaven.de/Biomeer/aquaculture-top01-e.html>
- [8] Chynoweth, D.P. 2002. Review of biomethane from Marine Biomass. History, results and conclusions of the “*US Marine Biomass Energy Program*” (1968-1990). 194 pp.
- [9] Pérez, R. et al, 1997. Ces algues qui nous entourent. Conception actuelle, role dans la biosphere, utilisations, culture. Editions Ifremer. ISBN 2-905434-75-9.
- [10] Buck, B.H. & C.M. Buchholz, 2004. The offshore ring: A new system design for the open ocean aquaculture of macroalgae. *Journal of Applied Phycology* 16: 355 - 368. 2004.