

BIO-OFFSHORE

Grootschalige teelt van zeewierren in combinatie met offshore windparken in de Noordzee

J.H. Reith, E.P. Deurwaarder, K. Hemmes, ECN Biomassa

A.P.W.M. Curvers, ECN Windenergie

P. Kamermans, WUR - Nederlands Instituut voor
Visserijonderzoek / RIVO

W. Brandenburg, WUR - Plant Research International

G. Zeeman, Lettinga Associates Foundation



ANIMAL SCIENCES GROUP
WAGENINGEN UR



PLANT RESEARCH INTERNATIONAL
WAGENINGEN UR

Revisies		
A Maart 2005		
B Augustus 2005		
Opgesteld door:	Vrijgegeven door:	ECN Biomassa
J.H. Reith		
Geverifieerd / goedgekeurd door:		
R. van Ree	H.J. Veringa	

Augustus 2005

Verantwoording

In het kader van de EZ Biomassa transitie is in 2003 door ECN, WUR-PRI, WU, Tauw BV en IVAM BV een uitwerking ingediend van het - erkende - Transitiepad “Aquatische Biomassa” (C8). Het “deelpad zeewieren” vormt een onderdeel van dit Transitiepad, dat inmiddels is ondergebracht bij het Energietransitie Platform “Groene Grondstoffen” (EZ). Dit rapport geeft de resultaten weer van de in dit kader uitgevoerde haalbaarheidsstudie “BIO-OFFSHORE: Grootschalige teelt van zeewieren in combinatie met offshore windparken in het Nederlandse deel van de Noordzee” met ECN projectnummer 8.20300. Het project is uitgevoerd door ECN Biomassa (hoofdaanvrager), ECN Windenergie, WUR-RIVO en WUR-PRI in opdracht van SenterNovem met subsidie cf. de Uitvoeringsregeling BSE-2003 Ondersteuning Transitie-Coalities (OTC) onder projectnummer 5005-03-20-01-026.

Voor de partners leverden de volgende personen een bijdrage aan het project:

- ECN Biomassa: J.H. Reith (projectleider), E.P. Deurwaarder, K. Hemmes
- ECN Windenergie: A.P.W.M. Curvers
- WUR - Nederlands Instituut voor Visserijonderzoek / RIVO: P. Kamermans
- WUR - Plant Research International: W. Brandenburg

Een techno-economische evaluatie van anaëroobe vergisting van zeewieren werd uitgevoerd door Dr. G. Zeeman, Lettinga Associates Foundation (LeAF), Wageningen in opdracht van ECN.

Abstract

This study addresses the technological feasibility of seaweed cultivation in the North Sea in combination with offshore wind parks and harvesting and conversion of seaweed biomass to renewable energy carriers and chemicals. The study also identifies stakeholders and participants for technology development and the ecological and societal conditions to fit in large-scale seaweed cultivation in the marine environment, existing marine infrastructure and functions, and (inter)national regulations and policies for the North Sea.

Three seaweed species that are native in the North Sea have been selected for potential cultivation: *Ulva sp.* (belonging to the green macroalgae), *Laminaria sp.* (a brown macroalga) and *Palmaria sp.* (a red macroalga). Current commercial seaweed cultivation systems usually consist of (partly) anchored line structures to which the seaweeds are attached and are generally located on coastal locations. International research shows that cultivation systems in the open sea may become easily damaged by wind and wave action. An experimental ring shaped system has thus far shown the best stability for the conditions in the North Sea. However the production costs are high. Considerable system development is therefore required to enable large-scale, economically attractive cultivation of seaweeds combined with offshore wind parks. The optimal system design is unknown. This study proposes a layered system for seaweed cultivation employing the typical light absorption characteristics of green, brown and red macroalgae respectively, to enable optimal use of the available sunlight and enhance areal productivity. Without addition of nutrients the productivity in the North Sea is estimated at approx. 20 tons dry matter/ha.year. Through layered cultivation and/or addition of nutrients this can potentially be increased to ca. 50 tons dry weight /ha.year. Development of precision nutrient dosage technology is required to prevent eutrophication.

Potential negative environmental impacts include: sedimentation of seaweed fragments and other organics with a negative effect on the oxygen budget in the water column, and possible negative impacts on migration of sea mammals including dolphins, porpoises and whales. Seaweed cultivation can also have positive impacts including the uptake of nutrients by the macroalgae (reducing eutrophication) and an enhancement of marine biodiversity, because the seaweeds and the cultivation systems offer substrate for attachment, shelter and feed for

molluscs and fish. Indeed, the system could be managed as a nursery for young fish in order to restore fish populations in the North Sea. Integration of seaweed cultivation with other types of aquaculture e.g. cultivation of mussels or fish is a realistic option.

The Dutch government target for offshore wind in 2020 is 6.000 MW installed turbine capacity. This will involve a surface area of approx. 1000 km². The support constructions for the wind turbines can serve as a structural basis for seaweed cultivation systems. Designs must take into account the additional load on the turbine supports due to currents, wind and wave action, and accessibility of the turbines for maintenance vessels. Potential synergistic effects of the combination of offshore wind and seaweed cultivation supporting the profitability of both activities include joint management and maintenance, alternative employment opportunities for fisheries and ecological benefits.

Harvesting of seaweeds can be mechanized by the use of dedicated ships built or modified for that purpose. Since dry matter content at harvest is typically 10-15 w%, dewatering at sea is recommended before transport to the onshore processing facilities. Further R&D is required to identify the optimal harvesting technology.

Seaweed biomass in general is a suitable source for a range of CO₂-neutral chemicals, products and secondary energy carriers. The worldwide seaweed industry shows consistent growth. Current applications include the use of fresh seaweed for human consumption (primarily in Asia) and production of phycocolloids (alginates, agars and carrageenans), feed, fertilizers and extracts for personal care products. Seaweed offers many additional possibilities for production of renewable chemicals and energy carriers for a future “bio-based economy”. Seaweeds typically contain a high amount of polysaccharides (approx. 60 w%) that are in principle suitable for production of a range of platform chemicals via fermentation to replace petrochemical bulk chemicals. It is expected that development of hydrolysis and fermentation technology for the specific sugars in seaweeds is possible with the use of modern biochemical and genetic tools. Finally seaweed biomass is a potentially rich source for a range of valuable products including omega fatty acids, colorants and bioactive substances.

Several options for energy conversion of seaweed biomass or residues after extraction of specific products or fermentation are considered. The production of bioethanol (through fermentation) has considerable potential in the longer term. Anaerobic digestion for the production of biogas has already shown good results and is therefore feasible in the short term. The possibility of drying of seaweed biomass for thermal conversion through co-firing or stand-alone combustion or gasification was not evaluated in detail. These conversion routes however seem realistic as well.

The investments and operational costs for the cultivation system and harvesting are the major cost drivers for seaweed production. The areal biomass productivity has a large effect on the production cost per ton of biomass. An evaluation of cost data from literature suggests that the cost of seaweed biomass cultivated offshore is too high for exclusive production of bioenergy. Offshore cultivation of seaweed for production of phycocolloids, platform chemicals and fine chemicals is expected to be economically feasible. The same applies for combined production of products and secondary energy carriers from seaweed biomass. For initial market development known applications seem to offer sufficient perspective, especially the production of phycocolloids, fresh seaweed for consumption and application as ingredient in personal care products. In the medium term new applications including production of platform chemicals via fermentation can be developed.

In the study the relevant stakeholders are identified in the (international) R&D sector, governmental organisations, financial institutions, offshore wind and offshore engineering companies, manufacturers of biofuels and fermentation products, societal organisations and NGO's. This has resulted in the formation of a core consortium for further development. The

ecological and societal conditions for realisation of large-scale seaweed cultivation were evaluated through desk study and interviews with the North Sea Directorate of the Ministry of Transport, Public Works and Water Management and NGO the North Sea Foundation. The study shows that the potential ecological impact of cultivation systems in the marine environment is the most important critical success factor for large-scale seaweed cultivation in the North Sea. The selection of native seaweed species is in principle a good approach to prevent introduction of new, exotic species. Addition of nutrients is not allowed unless it can be proven that no eutrophication will occur. Another condition is that cultivation systems do not disturb the life and migration of sea mammals such as dolphins, porpoises and whales. Possibly this can be prevented by system design and/or the use of warning systems, such as are in use for fishery operations. Potential positive ecological impacts need to be demonstrated.

The most important recommendation of the study is to perform a pilot scale seaweed cultivation experiment on a location in the North Sea, preferably integrated with an offshore wind facility, to evaluate the technological and ecological aspects. A description of such an experiment is included in the report. Seaweed biomass is pre-eminently suited as a raw material for biorefinery concepts involving co-production of renewable products, chemicals and energy carriers. Development of biorefinery concepts and technology for seaweed utilization is recommended. This includes the use of seaweeds as a source of valuable products (e.g. omega fatty acids) as well as exploration of the possibilities for fermentative production of bioethanol and other fuels and/or platform chemicals from seaweed biomass.

Trefwoorden

Aquacultuur
Anaerobe vergisting
Bioethanol
Biogas
Bioraffinage
Fermentatie
Haalbaarheid

Hydrothermal Upgrading
Kweeksystemen
Noordzee
Offshore windturbineparken
Oogst
Pilot experiment
Platformchemicalien

Stakeholderanalyse
Synergie
Vergisting
Zeewieren
Zeewierenteelt

Inhoud

Lijst van tabellen	7
Lijst van figuren	7
Managementsamenvatting	9
1. Inleiding	15
1.1 Potentieel en internationale status van zeewierenteelt	15
1.2 Visie voor 2040	16
1.3 Probleemstelling	17
1.4 Doelstelling	17
1.5 Werkwijze en indeling van dit rapport	17
1.6 Referenties Hoofdstuk 1	18
2. Zeewierenteelt	19
2.1 Zeewiersoorten en teeltwijze	19
2.2 Teeltvoorwaarden	27
2.3 Integratie met teelt van vis, schaal en schelpdieren	30
2.4 Zeewierkweeksystemen voor de Noordzee	31
2.5 Productiviteit	35
2.6 Invloed op natuurwaarden en milieu	36
2.7 Referenties Hoofdstuk 2	37
3. OFFSHORE windparken en mogelijkheden voor combinatie met zeewierenteelt	41
3.1 Offshore windenergie in Nederland	41
3.2 Het Near Shore Windpark (NSW)	41
3.3 Het Q7 offshore windpark	43
3.4 Het monitoring- en evaluatieprogramma (MEP)	44
3.5 Implementatie offshore windparken op de Noordzee	45
3.6 Lay-out offshore windturbineparken	48
3.7 Combinatie van offshore windparken en zeewierenteelt	48
3.8 Synergie tussen Windparken en Aquacultures	50
3.9 Referenties Hoofdstuk 3	51
4. Verwerking van zeewieren tot producten en energiedragers	53
4.1 Oogst en transport	53
4.2 Producten uit zeewieren	54
4.3 Productie van energiedragers	58
4.4 Referenties Hoofdstuk 4	66
5. Systeemaspecten en economie	67
5.1 Inleiding	67
5.2 Systeembeschrijving	67
5.3 Energiegebruik en potentiële energieproductie	67
5.4 Economische evaluatie	69
5.5 Potentiële marktwaarde zeewieren	71
5.6 Marktonwikkeling	73
5.7 Duurzaamheidsaspecten	74
5.8 Referenties Hoofdstuk 5	74
6. Stakeholderanalyse en consortiumvorming	75
6.1 Doel en werkwijze	75
6.2 Stakeholderanalyse	75
6.3 Stakeholders voor potentiële deelname aan de ontwikkeling	76
6.4 Consortiumvorming	77

6.5	Referenties Hoofdstuk 6	78
7.	Inpassing in beheersfuncties en beleidskader en verkenning naar het maatschappelijk draagvlak	79
7.1	Inleiding	79
7.2	Inpassing in gebruiks- en beheersfuncties van de Noordzee	79
7.3	Inpassing in nationaal en internationaal beleidskader	82
7.4	Verkenning maatschappelijk draagvlak	86
7.5	Referenties Hoofdstuk 7	92
8.	Conclusies en aanbevelingen voor vervolgonwikkeling	93
9.	Consortium en beschrijving pilot experiment	95
9.1	Consortium	95
9.2	Beschrijving pilot experiment	95
	BIJLAGEN	99
BIJLAGE 2.1	Stroming 30 km ten westen van IJmuiden	101
BIJLAGE 3.1	Gebieden uitgesloten voor offshore windenergie in de NEEZ	102
BIJLAGE 3.2	Potentiële WindEnergie gebieden relatief dicht bij de kust	103
BIJLAGE 3.3	Zeediepte kaart Nederlandse Exclusieve Economische Zone	104
BIJLAGE 3.4	Details Operating Off- and Near shore Wind farms	105
BIJLAGE 3.5	Details geplande offshore windprojecten	107
BIJLAGE 3.6	Offshore Windparken in Europa	109
BIJLAGE 4.1	Samenstelling <i>Laminaria sp.</i>	110
BIJLAGE 4.2	Techno-economische evaluatie anaërobe vergisting zeewieren	114
BIJLAGE 4.3	Bio-ethanolproductie	128
BIJLAGE 4.4	Hydrothermal Upgrading (HTU®)	131
BIJLAGE 4.5	Vergassing in superkritiek water	135

Lijst van tabellen

Tabel 2.1	<i>Geschikte zeewiergenera voor grootschalige teelt.</i>	20
Tabel 2.2	<i>Commercieel gekweekte zeewiersoorten die in de Nederlandse kustwateren vóórkomen.</i>	21
Tabel 2.3	<i>Gegevens over de Noordzee.</i>	30
Tabel 2.4	<i>Gegevens over productie van zeewier in open water.</i>	35
Tabel 4.1	<i>Platformchemicaliën die via fermentatie uit zeewier kunnen worden geproduceerd.</i>	57
Tabel 4.2	<i>Marktwaaarde van producten uit Laminaria.</i>	58
Tabel 4.3	<i>Representatieve biochemische samenstelling van Laminaria.</i>	58
Tabel 4.4	<i>Proximate en ultimate analyse en elementaire samenstelling Laminaria.</i>	59
Tabel 4.5	<i>Raming opbrengsten en productiekosten voor methaan resp. elektriciteit bij anaërobe vergisting van Laminaria.</i>	61
Tabel 4.6	<i>Raming opbrengsten en productiekosten voor co-productie van bio-ethanol en elektriciteit uit zeewier (Laminaria sp.).</i>	63
Tabel 4.7	<i>Kostenraming HTU proces voor verwerking van zeewier (Laminaria) tot "biocrude" resp. elektriciteit.</i>	64
Tabel 4.8	<i>Kostenraming Super Kritieke Vergassing van zeewier (Laminaria) en omzetting van productgas naar elektriciteit.</i>	65
Tabel 5.1	<i>Energiegebruik voor oogst en transport van 100.000 ton zeewierbiomassa</i>	67
Tabel 5.2	<i>Potentiële energieopbrengst en vermeden CO₂ emissie bij volledige inzet van zeewier voor productie van energiedragers</i>	69
Tabel 5.3	<i>Kostenraming van zeewierproductie in verschillende teeltsystemen.</i>	70
Tabel 5.4	<i>Potentiële marktwaaarde zeewierbiomassa voor verschillende toepassingen</i>	72
Tabel 7.1	<i>Beoordeling van de toestand van de Noordzee.</i>	88
Tabel 9.1	<i>Kostenraming pilot experiment.</i>	98

Lijst van figuren

Figuur 1.1	<i>Enkele commercieel geëxploiteerde zeewiersoorten.</i>	15
Figuur 2.1	<i>Levenscyclus van Gracilaria.</i>	19
Figuur 2.2	<i>Het roodwier Palmaria sp.</i>	22
Figuur 2.3	<i>Kweek van Porphyra.</i>	23
Figuur 2.4	<i>Bevestigingsmethode voor Gracilaria.</i>	23
Figuur 2.5	<i>Laminaria soorten die in de Nederlandse wateren voorkomen.</i>	24
Figuur 2.6	<i>Kweek van Laminaria in lijnsystemen.</i>	25
Figuur 2.7	<i>Kweek van Laminaria aan ring constructie.</i>	26
Figuur 2.8	<i>Het groenwier Ulva sp.</i>	27
Figuur 2.9	<i>Zeedieptekaart Nederlandse Exclusieve Economische Zone.</i>	29
Figuur 2.10	<i>Ontwerp "tensioned grid" systeem voor zeewierenteelt.</i>	32
Figuur 3.1	<i>De meteomast bij het toekomstige NSW park.</i>	42
Figuur 3.2	<i>Weergave van de drie meest voorkomende offshore ondersteuningsconstructies.</i>	46
Figuur 3.3	<i>Betonnen fundatie offshore turbines Middelgrunden (bij Kopenhagen)</i>	46
Figuur 3.4	<i>Artist impression van een drijvende ondersteuningsconstructie.</i>	46
Figuur 3.5	<i>Suction Bucket (zuiganker) voor een 3MW turbine in Denemarken.</i>	47
Figuur 3.6	<i>Driepoot constructie die met heipalen op de zeebodem is verankerd.</i>	47
Figuur 3.7	<i>Mogelijkheden voor meervoudig ruimtegebruik door combinatie van offshore windparken met verschillende vormen van aquacultuur.</i>	50
Figuur 4.1	<i>Oogst van Macrocystis met speciaal ontworpen schepen.</i>	53

Figuur 4.2	<i>Systeem voor het oogsten van Laminaria in lijnteeltsystemen. Ontwerp: Ifremer.</i>	54
Figuur 4.3	<i>Processchema van de vergisting van zeewieren, nabehandeling van effluent en gasbehandeling.</i>	60
Figuur 5.1	<i>Ketenontwikkeling en de betrokken stakeholders.</i>	74
Figuur 7.1	<i>Beheers- en gebruiksfuncties in de Nederlandse Exclusieve Economische Zone (NEEZ) van de Noordzee.</i>	80
Figuur 7.2	<i>Vogel- en Habitatrichtlijn gebieden en indicatief begrensde gebieden met een bijzondere ecologische waarde.</i>	81
Figuur 9.1	<i>Schematische weergave van het pilot kweekstelsel</i>	97
Figuur 9.2	<i>Detail van een productielijn</i>	97

Managementsamenvatting

Achtergrond en doelstelling van het project

De teelt van zeewieren heeft een enorm potentieel als bron van bio-energie en hernieuwbare grondstoffen, chemicaliën en producten. In het kader van de EZ Biomassa transitie is in 2003 een uitwerking ingediend van het Transitiepad “Aquatische Biomassa”. In de daarin opgenomen toekomstvisie vindt in 2040 in de Nederlandse Exclusieve Economische Zone van de Noordzee (NEEZ; 57.000 km²) grootschalige teelt van zeewieren plaats op een areaal van 5.000 km², geïntegreerd met offshore windturbineparken. Op dit areaal kan ca. 25 miljoen ton droge stof per jaar (350 PJ_{th}) zeewieren-biomassa worden geproduceerd als grondstof voor de productie van CO₂-neutrale energiedragers en producten, met een potentiële reductie van broeikasgasemissies van ca. 11 Mton CO₂(eq) per jaar. Zeewierenteelt biedt perspectieven voor duurzaam gebruik van de Noordzee en het creëren van werkgelegenheid voor de visserij- en offshore sector en van nieuwe industriële activiteit.

Bij de ontwikkeling spelen zowel technologische als niet-technologische aspecten een rol. Deze haalbaarheidsstudie is bedoeld als eerste stap in het ontwikkelingstraject en heeft tot doel:

- Het verkrijgen van inzicht in de techniek van zeewierenteelt, de mogelijkheden voor combinatie met offshore windparken en de verwerking van zeewierenbiomassa tot energiedragers en producten.
- Het identificeren van stakeholders en potentiële deelnemers aan de ontwikkeling.
- Het in kaart brengen van de voorwaarden voor inpassing in beheersfuncties, natuurwaarden en beleidskader en voor de opbouw van maatschappelijk draagvlak.
- Vormgeven van een pilot experiment, definitie van langer(re) termijn R&D thema's (EOS) en verbreding van het bestaande consortium.

Zeewierenteelt in de Noordzee

Voor de selectie van zeewieren is uitgegaan van soorten die elders reeds worden gekweekt en die tevens inheems zijn in de Noordzee. Hiermee wordt in principe voldaan aan een van de criteria voor aquacultuur in de Noordzee ter voorkoming van verstoring door introductie van gebiedsvreemde soorten. Op basis van de teeltvoorwaarden en de condities in de Noordzee (o.a. nutriënten, temperatuur, saliniteit, licht, diepte) zijn drie zeewiersoorten geselecteerd: *Ulva sp.* (groenwier), *Laminaria sp.* (bruinwier) en *Palmaria sp.* (roodwier).

De bestaande systemen voor zeewierenteelt zijn uitsluitend gerealiseerd nabij de kust. Deze systemen bestaan uit lijnen of netten waaraan de zeewieren worden bevestigd en die aan de bodem en/of met boeien verankerd worden. Een beproefde methode voor offshore kweek van zeewieren (> 10 km uit de kust) is nog niet ontwikkeld. Uit onderzoek in de Californische wateren en de Noordzee blijkt dat beschadiging van kweeksystemen in het dynamische zeemilieu snel kan optreden. Met name door het losraken van verankeringen, breuk van lijnen of het losraken van zeewieren door golfslag en stroming. De beste resultaten in de Noordzee ten aanzien van stabiliteit en levensduur zijn tot dusver bereikt met een kleinschalig, ringvormig teeltsysteem. Uit economisch oogpunt lijkt dit type systeem minder geschikt voor grootschalige teelt omdat het arbeidsintensief is en niet mechanisch kan worden geoogst. Daardoor kan met dit systeem geen “economy of scale” worden gerealiseerd. Voor grootschalige teelt in combinatie met offshore windparken in volle zee is derhalve nog de nodige ontwikkeling noodzakelijk. Het optimale systeem ontwerp (geometrie, materiaalkeuze, uitdemping van golfslag e.d.) is nog onbekend. Een bijzondere opgave is dat de systemen door het ontwerp of andere voorzieningen (zoals bijv. waarschuwingssystemen) zo moeten worden ingericht dat het leefpatroon en de migratie van zeezoogdieren zoals bruinvissen en dolfinen niet wordt

verstoord. Dit is één van de belangrijkste eisen voor een ecologisch verantwoorde inpassing van zeewierenteelt in de Noordzee.

Voor de Noordzee biedt de teelt van meerdere soorten zeewier in een gelaagd teeltsysteem een aantrekkelijk perspectief. Aan de oppervlakte kan gebruikmakend van het groenwier *Ulva* optimaal het rode en blauwe deel van het zonlicht worden benut. Op grotere diepte kan met behulp van de rood- en bruinwieren *Palmaria* en *Laminaria* (die met name het groene licht absorberen) een tweede set van biomassa worden geproduceerd. Een gelaagd productiesysteem beperkt het benodigde oppervlak en bevordert de inpassing in andere vormen van zeegebruik.

Integratie van zeewierenteelt met de teelt van vis en schelpdieren is een reële mogelijkheid. Combinatie met visteelt vindt op pilot schaal plaats op het land en in het open water. Daarnaast zijn experimenten uitgevoerd met de integratie van zeewierenteelt met de kweek van garnalen en mosselen. In deze geïntegreerde systemen nemen de zeewieren de nutriënten op die door de vissen of schelpdieren worden uitgescheiden. Concrete mogelijkheden voor de Noordzee zijn de combinatie van zeewierenteelt met mosselenkweek of viskweek.

De internationale ervaring leert dat de toevoer van nutriënten limiterend kan zijn voor de productiviteit. Zonder nutriëntentoevoer zal de biomassaproductie in de Noordzee ca. 20 ton droge stof per hectare per jaar bedragen. Door teelt in lagen en/of door gedoseerde nutriënttoevoer kan dit mogelijk worden verhoogd tot ca. 50 ton droge stof/ha.jaar. De grote uitdaging is het bereiken van nauwkeurige dosering ter voorkoming van eutrofiëring, eveneens een belangrijke voorwaarde voor teelt in de Noordzee. Hiervoor dienen methoden te worden ontwikkeld waarbij het beschikbaar komen van nutriënten gelijke tred houdt met de opname door de zeewieren. In principe is het mogelijk de mineralen die vrijkomen bij verwerking van de zeewieren terug te voeren naar het teeltsysteem.

In de verkenning zijn potentiële effecten van zeewierteeltsystemen op natuurwaarden en milieu geïdentificeerd, die nader dienen te worden onderzocht. Potentiële negatieve effecten zijn:

- sedimentatie van afgebroken zeewierfragmenten en ander organisch materiaal. Dit kan een negatief effect hebben op het zuurstofbudget in de waterkolom.
- mogelijke versturende effecten op de migratie van bruinvissen en dolfijnen.

De kweek van zeewieren kan ook positieve milieueffecten hebben. Opname van nutriënten door de zeewieren vermindert de eutrofiëring. Daarnaast kan de teelt bijdragen aan de biodiversiteit, doordat de zeewieren en de kweekconstructies een aanhechtingsplaats bieden voor schelpdieren en voedsel en beschutting voor vissen. Door het uitzetten van pootvis kan potentieel een "kraamkamer" worden gerealiseerd voor jonge vis (bijv. kabeljauw) zodat een bijdrage wordt geleverd aan het herstel van de visbestanden in de Noordzee. De mate waarin deze processen optreden dient nader te worden onderzocht.

Integratie met offshore windturbineparken

In de Nederlandse Exclusieve Economische Zone (NEEZ) zal de komende 15 jaar, volgens het beleid van de Nederlandse overheid, 6.000 MW windenergie worden opgesteld. Dit zal een zeeoppervlak van ruim 1.000 km² omvatten. De ondersteuningsconstructies van deze windturbines kunnen worden gebruikt als verankering van systemen voor grootschalige zeewierenkweek. Ontwerpen voor deze productiesystemen moeten rekening houden met:

- De extra belasting op de windturbine-ondersteuningsconstructie ten gevolge van de stroming in zee en wind en golven.
- De toegankelijkheid van de windturbines voor aanlandingsvaartuigen en hefwerk-vaartuigen (groot onderhoud) moet in acht worden genomen.

De combinatie van offshore windparken en het kweken van zeewier kent een aantal synergetische aspecten die de economische rentabiliteit van beide activiteiten kan ondersteunen.

De belangrijkste zijn:

- gezamenlijk beheer en onderhoud;
- alternatief voor personeel uit de teruglopende visserijactiviteiten;
- ecologische voordelen; indien het gebied wordt afgesloten voor de scheepvaart ontstaan zeereservaten.

Aanbevolen wordt de economische haalbaarheid van de gecombineerde activiteit, die op voldoende schaal kan worden uitgeoefend, op hoofdlijnen af te schatten. Hieruit zal het voordeel voor beide activiteiten duidelijk naar voren moeten komen.

Oogst en verwerking van zeewieren tot producten en energiedragers

De oogst kan mechanisch worden uitgevoerd met daarvoor toegeruste schepen. Voor niet-opdrijvende soorten (zoals geselecteerd voor de Noordzee) dienen de lijnen met aangehechte zeewieren naar het wateroppervlak te worden gebracht en langs het oogstvaartuig geleid. Door Ifremer (Frankrijk) is een dergelijk systeem ontwikkeld voor de oogst van *Laminaria*. Dit biedt een aanknopingspunt voor de ontwikkeling van dit belangrijke onderdeel van zeewierenteelt.

Toekomstige verwerkingsinstallaties kunnen gelokaliseerd worden op de Maasvlakte en/of in het Eemshavengebied. Zeewier bevat bij oogst ca. 10-15% droge stof en is goed verpompbaar. Qua kosten en energiegebruik is ontwatering vóór transport sterk aan te bevelen. Ontwatering tot ca. 30% droge stof kan bijv. worden uitgevoerd door drukfiltratie. Nader onderzoek is vereist naar de optimale techniek en de mogelijkheden voor verwerking van vrijkomend perswater op zee.

Zeewieren zijn geschikt voor de winning van een scala van CO₂-neutrale producten en energiedragers. Voor een deel betreft dit producten die ook tegenwoordig al worden gewonnen, zoals phycocolloïden (alginaten, agar en carragenen), diervoeders, bodembemesters, en extracten in cosmetica. Daarnaast zijn er vele mogelijkheden voor winning van andere CO₂-neutrale producten en energiedragers die een rol kunnen spelen in een toekomstige “bio-based economy”, zoals bijv. platformchemicaliën (via fermentatie) ter vervanging van petrochemische bulkchemicaliën. Zeewieren zijn in principe geschikt voor fermentatie door het hoge gehalte (ca. 60 gew%) aan polysacchariden en het geheel ontbreken van lignine. Voor fermentatie van de specifieke suikers in zeewieren (o.a. mannose, galactose en fucose) is nog geen technologie beschikbaar. Naar verwachting is deze ontwikkeling met behulp van moderne biochemische en genetische “tools” een begaanbare weg. Zeewieren zijn daarnaast een potentiële bron van hoogwaardige inhoudstoffen zoals vetzuren, kleurstoffen en bio-actieve stoffen voor klinische/farmaceutische toepassingen en personal care producten. Nader onderzoek is vereist om geschikte producten uit de geselecteerde zeewiersoorten te identificeren.

Zeewieren kunnen in zijn geheel worden ingezet voor energieproductie ofwel de (natte) residuen na extractie van producten of fermentaties. De productie van bio-ethanol (+ elektriciteit) kan een aanzienlijke energieproductie en vermeden CO₂ emissie opleveren. Een areaal van 5000 km² (visie 2040) zou bij volledige inzet voor energieconversie resp. 151 PJ_{th} ethanol plus 10,6 TWh aan elektriciteit kunnen opleveren. De potentiële netto vermeden CO₂ (eq) emissie bedraagt 12,8 Mton per jaar. De technologie is nog in ontwikkeling en heeft met name potentie op langere termijn. Anaërobe vergisting is gezien de reeds behaalde resultaten met vergisting van zeewieren op korte termijn mogelijk. Vergisting heeft een potentiële energieopbrengst van 105 PJ_{th} methaan of 15,1 TWh elektriciteit en een potentiële CO₂ emissiereductie van 4,4 tot 7 Mton CO₂ (eq). Voordeel van deze route is dat de (geraamde) kosten lager zijn dan voor productie van bijvoorbeeld bio-ethanol. Drogen van zeewieren(rest)biomassa en thermische conversie via meestook of stand-alone verbranding of

vergassing werd niet in detail geëvalueerd. Deze wijze van energiewinning lijkt echter eveneens een reële mogelijkheid.

Economie

In de verkenning 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) die niet representatief zijn voor teelt in de Noordzee in combinatie met offshore windparken. De beschikbare 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. De belangrijkste kostenfactoren zijn de investeringen en onderhoudskosten voor het teeltsysteem en de investeringen en operationele kosten voor het oogsten. De biomassaproductiviteit heeft een groot effect op de kostprijs.

De kosten van “offshore” geteelde zeewieren lijken te hoog voor uitsluitend energieproductie. Voor “near-shore” geteeld 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 fijnchemicaliën en energiewinning uit restbiomassa toont voldoende marge voor economisch rendabele offshore productie.

Marktontwikkeling

Voor de initiële marktontwikkeling 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.

Duurzaamheidsaspecten

De ecologisch verantwoorde inpassing van kweeksystemen in het natuurlijk milieu is de belangrijkste kritische succesfactor voor grootschalige zeewierenteelt in de Noordzee. Daarnaast zijn ook andere duurzaamheidscriteria van belang. 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. 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.

Stakeholderanalyse en consortiumvorming

In de verkenning 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. Geselecteerde stakeholders zijn op individuele basis benaderd om hun visie te leren kennen en hun belangstelling te peilen voor deelname aan de ontwikkeling. Hierdoor is

een aanzet gegeven voor de vorming van een consortium met deelname van sleutelpartijen uit de (internationale) R&D sector en de offshore sectoren, met betrokkenheid van beleids- en maatschappelijke organisaties. Ook is aansluiting mogelijk bij andere Transitie-initiatieven. In de komende periode wordt gepoogd het consortium verder te versterken en wordt het overleg voortgezet met windparkexploitanten over de uitvoering van een pilot experiment. De Rijkswaterstaat Directie Noordzee is in principe bereid een begeleidende rol te spelen bij de ontwikkeling vanuit haar rol bij het inpasbaar maken van bestaande en nieuwe activiteiten in de Noordzee, vergunningverlening, en beheer en monitoring. Stichting De Noordzee is bereid om (kritisch) mee te denken over een pilot experiment, om zo de maatschappelijke component vanaf het begin af aan in te brengen en mee te wegen.

Inpassing in beheersfuncties en beleidskader en verkenning maatschappelijk draagvlak

De visserij zal naar verwachting geen extra hinder ondervinden van zeewierenteelt omdat offshore windparken gesloten worden voor de visserij. De kweek van zeewieren heeft mogelijk een positief effect op de visstand en kan een nieuwe bron van werkgelegenheid bieden voor de visserijsector. De recreatievaart kan mogelijk hinder ondervinden indien deze in windturbineparken wordt toegestaan. Ter verkenning van de voorwaarden voor opbouw van maatschappelijk draagvlak zijn gesprekken gevoerd met de RWS Directie Noordzee (DNZ) en Stichting de Noordzee.

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 speelt hierin voor andere overheden een coördinerende rol. DNZ is verantwoordelijk voor het ontwerp van toetsingscriteria en -instrumenten, vergunningverlening en voor beheer en monitoring. Uitgangspunt van DNZ is dat alle activiteiten op de Noordzee toetsing moeten doorstaan aan een set *Ecologische Kwaliteits Doelstellingen* en streefwaarden voor: (toxische) contaminanten, eutrofiëring en verschillende vormen van verstoring van het zeeleven en het zeemilieu. DNZ speelt een stimulerende rol bij het inpasbaar maken van -bestaande en nieuwe-activiteiten in de Noordzee en de afstemming van gewenst gebruik. 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.

Met de selectie van in de Noordzee inheemse zeewiersoorten (*Ulva*, *Laminaria*, *Palmaria*) wordt in principe voldaan aan de eisen ten aanzien van het voorkómen van verstoring door introductie van gebiedsvreemde soorten. Nader onderzoek is nodig omdat bijv. *Ulva* veel voedingsstoffen nodig heeft en in de Noordzee een indicator is voor eutrofiëring. 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.

Stichting de Noordzee maakt zich sterk voor bescherming van natuurgebieden in de Noordzee en voor maatschappelijk verantwoord en duurzaam ondernemen in het gebied van de Noordzee. Er mag derhalve geen milieuschade ontstaan en de Noordzee biodiversiteit mag niet worden aangetast, met speciale aandacht voor de grote zeezoogdieren. De constructie van kweeksystemen moet zodanig zijn dat geen dolfijnen, bruinvissen of walvissen erin verstrikt kunnen raken. Bemesting op zee is in principe uitgesloten tenzij kan worden aangetoond dat de techniek een precisietechniek is die in geval van breuk ook onmiddellijk stopt en niet leidt tot eutrofiëring.. Er is echter ook oog voor de mogelijk positieve effecten zoals de kraamkamerfunctie voor vis en de mogelijkheid van combinatie met bijv. hangcultures voor mosselen.

Gelet op de complexe regelgeving is multifunctioneel ruimtegebruik op de Noordzee nog lang niet vanzelfsprekend, vooral niet als het om grootschalige projecten gaat. Het doel moet op de eerste plaats zijn om door middel van een pilot project aan te tonen dat zeewierenteelt economisch vitaal en ecologisch duurzaam is. In dit pilotexperiment dient een maatschappijwetenschappelijke component te worden opgenomen om het maatschappelijk draagvlak te bepalen en, in dialoog met stakeholders 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.

Kritische succesfactoren en aanbevelingen

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 biomassa-productiviteit. Een tweede kritische succesfactor is het verwerven van maatschappelijk draagvlak. Een derde kritische succesfactor - met name op langere termijn - is de verwerking van de zeewieren tot producten en energiedragers.

De belangrijkste aanbeveling is een pilot experiment uit te voeren op een locatie in de Noordzee teneinde de technologische en ecologische aspecten te onderzoeken. In dit experiment (beschreven in Hoofdstuk 9) is tevens een participatief proces opgenomen voor het nader verkennen van de maatschappelijke randvoorwaarden en opbouw van maatschappelijk draagvlak. De resultaten van het experiment kunnen dienen voor een integraal voorontwerp voor kweek, logistiek en verwerking inclusief massa- en energiebalans en economische evaluatie. En voor het nader beoordelen van de duurzaamheid door middel van een ecologische evaluatie op basis van kwantitatieve gegevens over de (vermeden) milieu-impact van de verschillende eindproducten ten opzichte van alternatieve producten van fossiele oorsprong.

Parallel aan de ontwikkeling van het kweekstelsel wordt aanbevolen initiatieven te ontplooiën om bij de huidige opzet van vergunningverlening voor offshore windparken harmonisatie met de vergunningverlening voor aquacultures en de gezamenlijk MER aanvraag te bewerkstelligen. Ook nader onderzoek naar de mogelijkheden van combinatie van zeewierenteelt met de teelt van vis en schelpdieren in de Noordzee is sterk aan te bevelen.

In eerste aanleg kan bij winning van reeds bekende producten zoals phycocolloïden gebruik worden gemaakt van bestaande verwerkingstechnologie en productie van energiedragers (methaan, elektriciteit) via anaërobe vergisting. Voor andere producten dient nieuwe technologie te worden ontwikkeld zoals voor fermentatie van zeewier-polysacchariden tot bioethanol en de fermentatieve productie van platformchemicaliën. Een nadere verkenning naar de mogelijkheden op dit punt is sterk aan te bevelen.

Zeewieren zijn bij uitstek een grondstof voor bioraffinage, waarbij gestreefd wordt naar ecologisch en economisch optimale winning van combinaties van CO₂-neutrale producten en energiedragers. In dit kader wordt ontwikkeling aanbevolen van bioraffinage concepten teneinde de optimale bioraffinage ketens nader te definiëren op basis van scenario's en case studies. Tevens wordt aanbevolen een inventarisatie uit te voeren van hoogwaardige inhoudsstoffen zoals vetzuren, kleurstoffen en bio-actieve stoffen die uit de geselecteerde zeewieren *Ulva*, *Laminaria* en *Palmaria* kunnen worden gewonnen.

1. Inleiding

1.1 Potentieel en internationale status van zeewierenteelt

De teelt van zeewieren of “macro-algen” heeft een enorm potentieel als bron van bio-energie en hernieuwbare grondstoffen, chemicaliën en producten [1-14]. Zeewierenteelt biedt kansen voor duurzame exploitatie van de zee waardoor een omvangrijk aanvullend areaal ter beschikking komt voor biomassaproductie. Dit is dringend gewenst gezien de zich aandienende problemen van grootschalige productie op land waaronder de afname van geschikt areaal, zoet water tekorten en verlies van biodiversiteit. Daarnaast bereikt de exploitatie van de zee door intensieve bevissing haar grenzen en zijn alternatieve, duurzame exploitatievormen noodzakelijk.

Zeewieren vormen een zeer diverse groep plantaardige organismen met soorten die een lengte van enkele millimeters tot tientallen meters kunnen bereiken. Bij optimale teeltcondities kan een productiviteit worden behaald die enkele malen hoger ligt dan voor landgebonden teelten zoals suikerbieten. Zeewieren hebben een hoog gehalte aan polysacchariden die geschikt zijn voor de productie van energiedragers via fermentatie of andere technieken.. Zeewieren zijn daarnaast een potentiële bron van een scala van hernieuwbare chemicaliën en producten zoals phycocolloïden, vetzuren, kleurstoffen en bio-actieve stoffen [1-8].

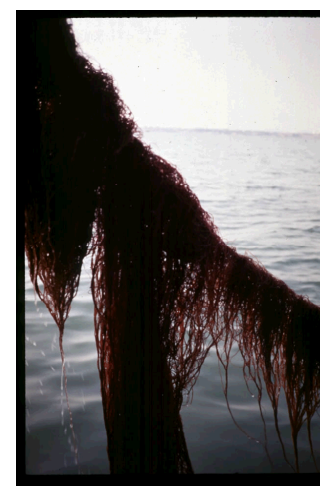
Momenteel wordt wereldwijd ca. 18 miljoen ton zeewier (ca. 2 miljoen ton droge stof) per jaar geproduceerd en toegepast in voeding, diervoeders, chemicaliën, cosmetica en farmaceutische producten [11,12]. Een 40-tal groene, bruine en rode zeewiersoorten worden commercieel geëxploiteerd (Figuur 1.1). Ongeveer 50% van de productie wordt gerealiseerd door teelt op kustgebonden locaties en ca. 50% door het oogsten van natuurlijke populaties uit zee.



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



Laminaria digitata © M.D. Guiry



Lijnteelt Gracilaria

Figuur 1.1 Enkele commercieel geëxploiteerde zeewiersoorten

De omzet van de zeewierindustrie is tussen 1993 en 2002 met 26% gegroeid tot een omvang van 6 Miljard US \$ per jaar [11]. Teelt en verwerking van zeewieren is een sterk groeiende bedrijfstak met name in China, Japan, de Filippijnen 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 en Duitsland gewerkt aan de realisatie van zeewierenteelt in zee [8,13].

Zeewieren worden op dit moment nog nauwelijks gebruikt als grondstof voor duurzame energieproductie. Het potentieel voor deze toepassing is echter duidelijk aanwezig [1-6].

In de periode 1968-1990 is in de Verenigde Staten het “*US Marine Biomass Energy Program*” uitgevoerd [6]. Doel was het onderzoeken van de technische en economische haalbaarheid van methaanproductie (via anaërobe vergisting) uit grootschalig geteelde zeewieren. Voor de teelt van *Macrocystis pyrifera* (“giant kelp”) zijn goede resultaten geboekt m.b.t. de selectie van hoogproductieve stammen, verankering en teelt aan substraten, biomassaopbrengst, periodieke oogst en hergroei [6]. Verschillende typen kweeksystemen zijn in open zee en nabij de kust beproefd met wisselend succes. Methaangisting van zeewierenbiomassa is met succes gedemonstreerd. Daarnaast is beperkte aandacht besteed aan de productie van bio-ethanol en de winning van (neven)producten. Het programma is in 1990 gestaakt vanwege de lage energieprijzen en de verminderde nadruk op hernieuwbare energieproductie in de VS [6].

1.2 Visie voor 2040

In de visie voor 2040 [1,2] vindt in het door Nederland beheerde deel van de Noordzee (de Nederlandse Exclusieve Economische Zone; NEEZ; totaal ca. 57.000 km²) grootschalige teelt van zeewieren plaats op een areaal van 5.000 km² (< 10 % van het totale areaal). De teelt is merendeels geïntegreerd met offshore windturbineparken¹ en vindt daarnaast plaats in drijvende productiefaciliteiten. Ook de teelt van vis en schelpdieren kan hierin worden geïntegreerd. Door gebruik te maken van gelaagde productiesystemen wordt het benodigde oppervlak beperkt en de beheersbaarheid vergroot en is de inpassing in andere vormen van zeegebruik mogelijk gemaakt. In potentie kunnen de zeewierteeltsystemen tevens bijdragen aan versterking van de biodiversiteit door een functie als kraamkamer voor jonge vis t.b.v. het herstel van natuurlijke visbestanden en als aanhechtingsplaats voor schelpdieren.

In de visie voor 2040 bedraagt de totale zeewierproductie in het Nederlandse deel van de Noordzee ca. 25 miljoen ton droge stof per jaar (350 PJ_{th}). De zeewieren worden gebruikt als grondstof voor de productie van energiedragers via fermentatie (CH₄, bioethanol) of HTU. Daarnaast leveren ze phycocolloïden, hernieuwbare platformchemicaliën (zoals melkzuur), en hoogwaardige inhoudstoffen voor toepassing in voeding, diervoeders, chemicaliën en farmaceutische producten. De verwerking vindt plaats in multifunctionele bioraffinage plants waar de winning van producten en energiedragers volledig is geïntegreerd.

De conversie van zeewierenbiomassa kan in 2040 160 PJ_{th} hernieuwbare gasvormige en/of vloeibare energiedragers leveren en ca. 3800 kton (eq. 59 PJ_{th}) “groene” producten ter vervanging van fossiele producten. De potentiële reductie van broeikasgasemissies bedraagt 11,3 Mton CO₂ (eq) per jaar [1]. De technologie biedt perspectief voor duurzaam gebruik van de Noordzee als alternatief en aanvulling voor de visserijsector, versterking van de Nederlandse offshore activiteiten en het creëren van nieuwe industriële activiteit en werkgelegenheid.

Per 31-12-2004 is het verbod voor offshore windturbineparken in de Noordzee opgeheven. In de eerste maanden van 2005 zijn diverse nieuwe initiatieven voor offshore windparken gelanceerd. De realisatie van de reeds geplande windturbineparken (NSW en Q7) voor de Nederlandse kust (verwacht in 2006) en de latere realisatie van grootschalige “offshore” windparken biedt de mogelijkheid van combinatie met grootschalige teelt van zeewieren en andere aquacultuur. De recente snelle ontwikkelingen op het gebied van offshore wind energie bieden een uitgelezen kans om tegelijkertijd te starten met de ontwikkeling van zeewierenteelt in de Noordzee.

¹ De doelstelling van de Nederlandse overheid voor offshore wind in 2020 is 6.000 MW, ofwel een windparkareaal van ca. 1.000 km² (bij ca. 6,5 MW/ km²). Na 2020 kan het areaal offshore windparken nog beduidend toenemen.

1.3 Probleemstelling

Bij de realisatie van grootschalige zeewierenteelt spelen zowel technologische als niet-technologische aspecten een rol. Kritische succesfactoren zijn: de inpassing van de teelt in het mariene ecosysteem met een minimale belasting van natuurlijke systemen, verwerking van zeewieren tot energiedragers en producten, ketenontwikkeling, en het verwerven van maatschappelijk draagvlak [1]. Qua technologieontwikkeling gaat het met name om het ontwikkelen van ecologisch inpasbare, efficiënte productiefaciliteiten en technologie voor oogst en verwerking via geavanceerde bioraffinage concepten.

Dit haalbaarheidsproject is bedoeld als eerste stap in het transitietraject en beoogt met name inzicht te krijgen in:

- de technologie van zeewierenteelt en de mogelijkheden en voorwaarden voor combinatie met offshore windparken;
- logistiek en verwerking van zeewieren tot energiedragers en producten;
- stakeholders en hun belangen en potentiële betrokkenheid bij de ontwikkeling;
- de (voorwaarden voor) inpassing in beheersfuncties en natuurwaarden van de Noordzee, (inter)nationaal beleidskader en het verwerven van maatschappelijk draagvlak.

Over de genoemde aspecten is onvoldoende informatie beschikbaar. Hierdoor ontbreekt inzicht in de benodigde R&D en andere activiteiten voor de ontwikkeling. Ook is identificatie nodig van potentiële partijen voor verbreding van het bestaande consortium.

1.4 Doelstelling

De projectdoelstellingen zijn:

1. Het verkrijgen van inzicht in de technologische aspecten van zeewierenteelt, de mogelijkheden en voorwaarden voor combinatie met offshore windparken en de verwerking van zeewieren tot hernieuwbare energiedragers en producten.
2. Het identificeren van stakeholders die belang hebben bij de beoogde ontwikkeling.
3. Het verkrijgen van inzicht in de (voorwaarden voor) inpassing in beheersfuncties, natuurwaarden en beleidskader en voor de opbouw van maatschappelijk draagvlak.
4. Vormgeven van een pilot experiment, definitie van langer(re) termijn R&D thema's (EOS) en verbreding van het bestaande consortium.

1.5 Werkwijze en indeling van dit rapport

Het project is uitgevoerd op basis van literatuur en expertise van de projectuitvoerders. Voor de stakeholderanalyse is gebruik gemaakt van de netwerken van uitvoerders ECN, WUR-RIVO en WUR-PRI. Met representatieve stakeholders zijn gesprekken gevoerd om een beeld te krijgen van de voorwaarden voor het verwerven van maatschappelijk draagvlak. De projectresultaten zijn gebruikt voor het vormgeven van een pilot experiment, definitie van onderwerpen voor lange(re) termijn R&D en als aanzet voor coalitievorming.

Hoofdstuk 2 is gewijd aan de technische en biologische aspecten van zeewierenteelt in de Noordzee inclusief selectie van soorten, teeltvoorwaarden, potentiële integratie met andere vormen van aquacultuur, inrichting van kweeksystemen, productiviteit en invloed op natuurwaarden.

Hoofdstuk 3 is gewijd aan de status en technologische aspecten van offshore windparken op de Noordzee en de mogelijkheden, voorwaarden en kansen voor combinatie met zeewierenteelt.

Hoofdstuk 4 geeft een beeld van oogst, logistiek en verwerking van zeewier voor winning van producten en energiedragers inclusief indicatie van de potentiële marktwaarde van zeewier voor deze toepassingen.

Hoofdstuk 5 gaat in op een aantal systeemaspecten (o.a. energiegebruik en kosten van transport, energieproductie), economie van zeewierenteelt, marktontwikkeling en duurzaamheidsaspecten.

In Hoofdstuk 6 worden de uitkomsten van de stakeholder analyse gepresenteerd, inclusief de hieruit resulterende aanzet voor consortiumvorming voor de vervolgonwikkeling.

Hoofdstuk 7 gaat in op de (voorwaarden voor) inpassing van gecombineerde zeewier/windenergie systemen in gebruiksfuncties, natuurwaarden en beleid en beheer van de Noordzee. Ook wordt ingegaan op de (voorwaarden voor) het verwerven van maatschappelijk draagvlak.

Conclusies en aanbevelingen voor vervolgonwikkeling worden gepresenteerd in Hoofdstuk 8. Hoofdstuk 9 geeft een beschrijving op hoofdlijn van een experiment met een pilot schaal kweekstelsel op een locatie in de Noordzee voor nader onderzoek van de technologische en ecologische aspecten.

1.6 Referenties Hoofdstuk 1

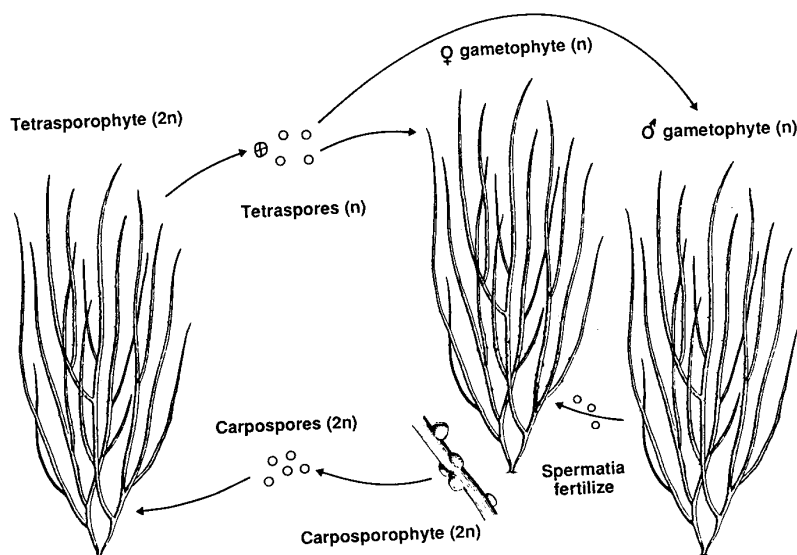
- [1] Reith, J.H., M. Blom-Zandstra, W. Brandenburg, R.H. Wijffels, J. Steketee, N. Staats, 2003. Transitiepad "Energie en grondstoffen uit Aquatische Biomassa".
- [2] Ministerie van Economische Zaken. 2003. Biomassa: de groene motor in de transitie. Stand van zaken na de tweede etappe. December 2003.
- [3] Energy supplies from Sea Farming, 1980. In: N.P. Cheremisinoff, P.N. Cheremisinoff and F. Ellerbusch (eds). Biomass: Applications, Technology and Production. Marcel Dekker Inc. New York and Basel.
- [4] Wilcox, H.A. 1982. The ocean as a supplier of food and energy. In: Mischlin and Bachofen (eds). New trends in Research and Utilisation of Solar Energy through Biological Systems. Experientia Suppl. Vol. 43.
- [5] Aresta, M. et al, 2000. The use of marine biomass as renewable energy source for reducing CO₂ emissions.
- [6] 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.
- [7] www.surialink.com
- [8] Pérez, R. et al, 1997. Ces algues qui nous entourent. Conception actuelle, rôle dans la biosphère, utilisations, culture. Editions Ifremer. ISBN 2-905434-75-9.
- [9] Knoppers R. 2003. Energie uit zee. Technisch Weekblad, 21 november 2003.
- [10] Stam, B., 2003. Potentieel voor exploitatie Noordzee onvoldoende benut. Technisch Weekblad, 24 oktober 2003. Artikel n.a.v. de Noordzeedagen 2003.
- [11] Cijfers FAO-Fisheries Department. Geciteerd in Buck, B.H. & C.M. Buchholz, 2004. [13].
- [12] K. Luning and S. Pang, 2003. Mass cultivation of seaweeds: current aspects and approaches. Journal of Applied Phycology 15: 115-119.
- [13] 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.
- [14] Luiten, E. (red) 2004. Zee in zicht. Zilte waarden duurzaam benut. STT/Beweton publ. 67.

2. Zeewierenteelt

2.1 Zeewiersoorten en teeltwijze

Zeewieren of “macro-algen” behoren tot de lagere planten¹. Dat wil zeggen dat ze geen wortels, steel en bladeren bezitten, maar een thallus (het “blad”) en soms een steel en een voet. Sommige soorten hebben met gas gevulde structuren om het thallus rechtop in het water te houden. De teelt vindt doorgaans plaats aan lijnen of andere structuren die drijven en/of onder het wateroppervlak zijn verankerd.

Er zijn drie groepen wieren: de groenwieren, de roodwieren en de bruinwieren. Macro-algen maken gebruik van seksuele en a-seksuele voortplanting. De sporofyt produceert ééncellige sporen die onder bepaalde omstandigheden uitgroeien tot gametofyten of anders opnieuw tot sporofyten. Bij veel soorten wieren zien volwassen sporofyten en gametofyten er identiek uit. De gametofyt produceert echter mannelijke en vrouwelijke gameten die samensmelten tot zygote. En de zygote groeit uit tot sporofyt (Figuur 2.1). Voor veredeling van de soort is het belangrijk om te weten met welke fase men werkt. Voor de kweek maakt men vaak gebruik van microscopische stadia die gekweekt worden in het laboratorium. Daar wordt het vrijlaten van sporen gestimuleerd en vestigingsubstraat aangeboden (bijv. lege schelpen). De verdere opkweek vindt plaats aan lijnen in het buitenwater. Bij sommige soorten is de laboratorium fase niet nodig en kan een stuk thallus direct aan lijnen worden bevestigd voor verdere uitgroei.



Figuur 2.1 *Levenscyclus van Gracilaria*. Uit Kain, 1991 [17]

Voor de selectie van geschikte zeewiersoorten voor grootschalige teelt gelden volgens Chynoweth (2002) [6] de volgende criteria:

- hoge productiviteit in het heersende klimaat;
- tolerantie voor langdurige blootstelling aan hoge lichtintensiteit;
- verankeringsstructuur voor verankering aan kunstmatig substraat (bijv. lijnen);
- “drijforganel” en/of andere fysische kenmerken benodigd voor teelt en oogst;
- in staat om waterbewegingen te weerstaan in het dynamische zeemilieu;
- snelle nutriëntopname en -vastlegging t.b.v. groei in hoge plantdichtheden;
- eenvoudig mechanisch te oogsten;

¹ Tenzij anders vermeld is de tekst van 2.1 gebaseerd op Kain (1991) [17] en Lobban & Harrison (1994) [25].

- mogelijkheid tot periodiek oogsten van een deel van het thallus door bijv. “afmaaien”. Dit vereist goede, langdurige hergroei vanuit verankeringsstructuur/groeimeristeem.;
- grote bestandheid tegen predatie en parasieten;
- geschikte biomassasamenstelling voor conversie/productwinning;
- beschikbaarheid van voldoende gegevens/database voor vermenigvuldigen/voorkweek.

Op basis van deze criteria is in het Amerikaanse Marine Biomass Program een tiental zeewiergenera geïdentificeerd met potentieel voor grootschalige teelt (Tabel 2.1).

Tabel 2.1 *Geschikte zeewiergenera voor grootschalige teelt. Marine Biomass Workshop, Newport Beach, Florida, 1990. (In: Chynoweth 2002; [6])*

Zeewier genus	Opmerkingen
<i>Alaria</i>	<i>A. fistulosa</i> bezit een drijforganel', voorkomen in arctische wateren
<i>Corallina</i>	“calcareous”, brede verspreiding, klein, kan mogelijk met andere soorten samen worden gekweekt
<i>Cystoseira</i>	gematigde klimaatzone, drijvende reproductiestructuur
<i>Ecklonia</i>	in subtropische en gematigde klimaatzone, één drijvende soort
<i>Egregia</i>	gematigde zone, drijvende structuren, zeer sterke soort
<i>Eucheuma</i>	in tropische zone, wordt reeds gekweekt, beperkte grootte
<i>Gracillaria</i>	brede verspreiding, veel gekweekt, hoge productiviteit
<i>Laminaria</i>	intensief gekweekt, gematigde klimaatzone
<i>Macrocystis</i>	in semi-cultuur, periodieke oogst, gematigde klimaatzone
<i>Pterygophora</i>	gematigde klimaatzone, zeer sterke soort
<i>Sargassum</i>	brede verspreiding (inclusief Sargasso zee), vele soorten, drijvende structuren, in gematigde en tropische klimaatzone

Voor de selectie van zeewieren voor teelt in de Noordzee wordt uitgegaan van zeewiersoorten die 1) elders reeds gekweekt worden en 2) inheems zijn in de Noordzee (Tabel 2.2). Hiermee wordt voldaan aan een van de criteria voor aquacultuur van de RWS Directie Noordzee (zie Hoofdstuk 7) ter voorkoming van verstoring door introductie van “gebiedsvreemde soorten”. Op langere termijn kunnen mogelijk andere zeewiersoorten in aanmerking komen indien deze grote voordelen bieden en afdoende wordt aangetoond dat geen ecologische verstoring optreedt.

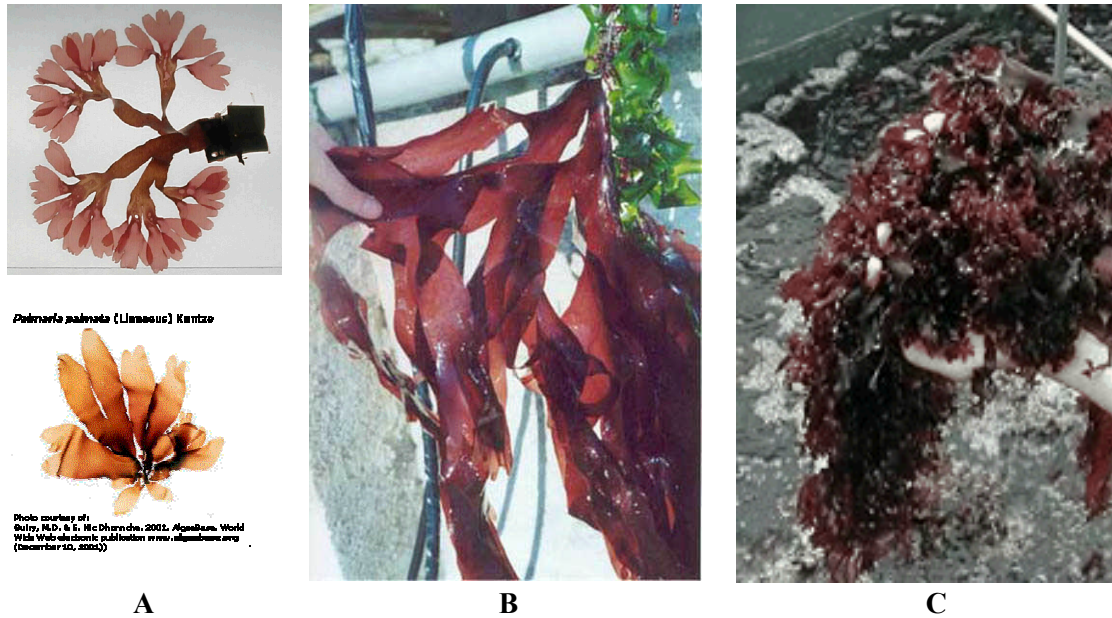
Porphyra wordt gekweekt door in het vroege voorjaar schelpen te inoculeren met sporen. De opkweek vindt plaats in tanks in kassen. In september/oktober worden sporen van de schelpen af geborsteld en vestigen ze zich op netten. Deze netten worden naar zee gebracht waar de uitgroei aan horizontale netten plaats vindt. De kiemplantjes kunnen in de vriezer tot 1 jaar worden bewaard.

In het veld zijn netten van verschillende afmetingen in gebruik (b.v. 1.2x45m, 1.8x60m, 1.2x24m). De eerste weken worden de netten enkele uren per dag blootgesteld aan de lucht i.v.m. het doden van aangroei en het simuleren van sporen productie. Dit gebeurt door de netten in de getijden zone te plaatsen of handmatig te laten zakken en ophijsen, of geheel drijvend op en neer met het getij te laten gaan (Figuur 2.3). Kweek in de getijdezone wordt geprefereerd omdat dan minder aangroei van epifyten en minder ziekten vóórkomen. Voor de oogst wordt gebruik gemaakt van geautomatiseerde oogstmachines. Er wordt 3x per jaar geoogst. Vervolgens worden de thalli schoongemaakt en in stukjes gehakt. Hier wordt een pasta van gemaakt die in vellen wordt gedroogd en afgezet voor consumptie.

Tabel 2.2 *Commercieel gekweekte zeewiersoorten die in de Nederlandse kustwateren vóórkomen. Tussen haakjes is de Japanse naam aangegeven*

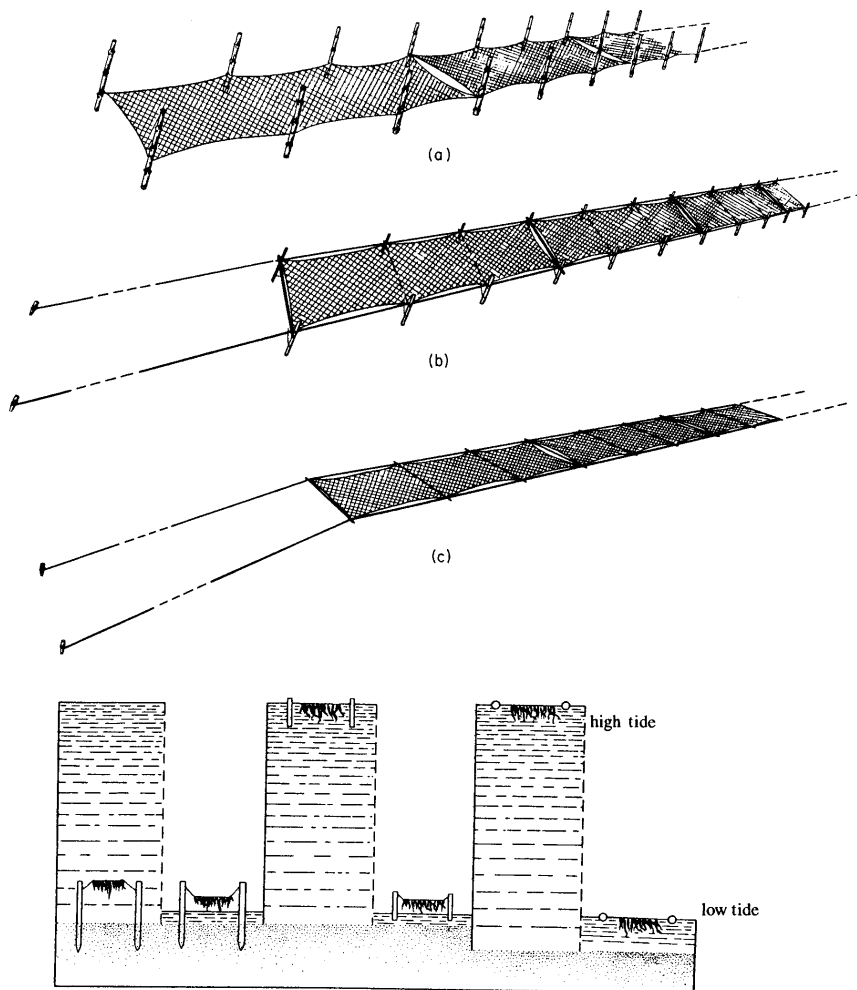
Naam	Type	Belangrijkste product/toepassing	Samenstelling
<i>Porphyra purpurea</i> of <i>P. umbellicalis</i> (nori)	endemisch roodwier	Consumptie, b.v. in sushi	20-25 % WW eiwit, glutaminezuur, glycine, alanine, veel vitamine C en B, jodium
<i>Gracilaria verrucosa</i>	endemisch roodwier	Agar voor voedsel en voor waterzuivering	Agar, voor uitgebreide samenstellinggegevens zie McDermid & Stuercke, 2004 [31]
<i>Palmaria palmata</i> (dulse)	endemisch roodwier, volgens (Buck 2002) is de soort niet inheems omdat er geen hard substraat in de Noordzee aanwezig is	Consumptie	vitaminen, mineralen (Buck, 2002) [3]
<i>Laminaria saccharina</i> <i>Laminaria digitata</i> <i>Laminaria hyperborea</i> (kombu)	endemisch bruinwier	Consumptie, alginaten als bindmiddel	jodium, alginaten, zie samenstellingsgegevens in Hoofdstuk 4.
<i>Undaria pinatifida</i> (wakame)	exotisch bruinwier	Consumptie	vitaminen, mineralen (Buck, 2002) [3]
<i>Enteromorpha sp.</i>	endemisch groenwier	Consumptie	29 % DW as, 11 % DW eiwit, 5 % DW vet, vitamine C 3 mg g ⁻¹ ; zie verder McDermid & Stuercke, 2003 [30]
<i>Ulva sp.</i>	endemisch groenwier	Consumptie en voor waterzuivering	

Gracilaria wordt gekweekt door stukjes alg tussen strengen van een lijn te steken (Figuur 2.4). De lijnen worden horizontaal of verticaal, of in frames, geplaatst. Een opbrengst van 3 kg versgewicht per meter lijn kan worden gehaald. Daarnaast worden ook stukjes alg in de grond gestoken. Een andere manier van kweken maakt gebruik van sporen productie op gravel of schelpen waarna het substraat wordt geplant. En tenslotte is een derde methode het gebruik van sporen op lijnen. De sporen kunnen met cryoprotectie worden bewaard bij -25 °C. Halling et al (2004) vergeleken de prestatie van met sporen bezette lijnen en lijnen met stukjes planten en vonden een vergelijkbare groeisnelheid. De extra kosten van de productie in het laboratorium wegen daardoor niet op tegen het gemak van het gebruik van stukjes alg.

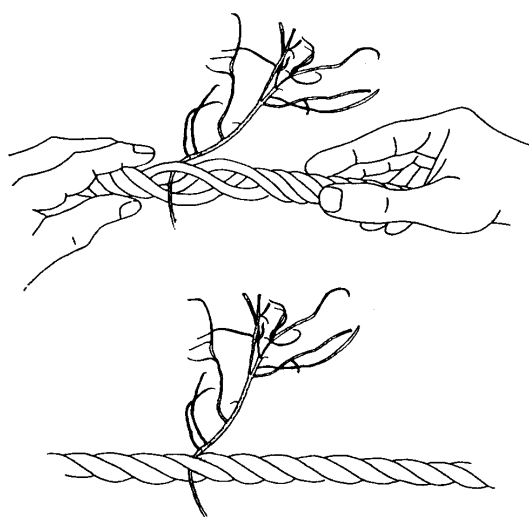


Figuur 2.2 *Het roodwier Palmaria sp.* Bronnen: A: Website SeaPura (<http://www.awi-bremerhaven.de/Benthic/CoastalEco/chronobiology/CMexpmari2.html>) en www.algaebase.org; B Website SeaPura. C. *Palmaria aquacultuur* (<http://www.awi-bremerhaven.de/>)

Palmaria is een meerjarige plant (Figuur 2.2). De vrouwelijke planten zijn microscopisch klein en maken geen sporen. De voortplanting met sporen is weinig succesvol in cultuur. *Palmaria* wordt gekweekt door stukjes alg tussen strengen van een lijn te steken (zie Figuur 2.4). Ook jonge planten die ontstaan op randen van thalli kunnen hiervoor worden gebruikt. Oogsten kan machinaal plaatsvinden.

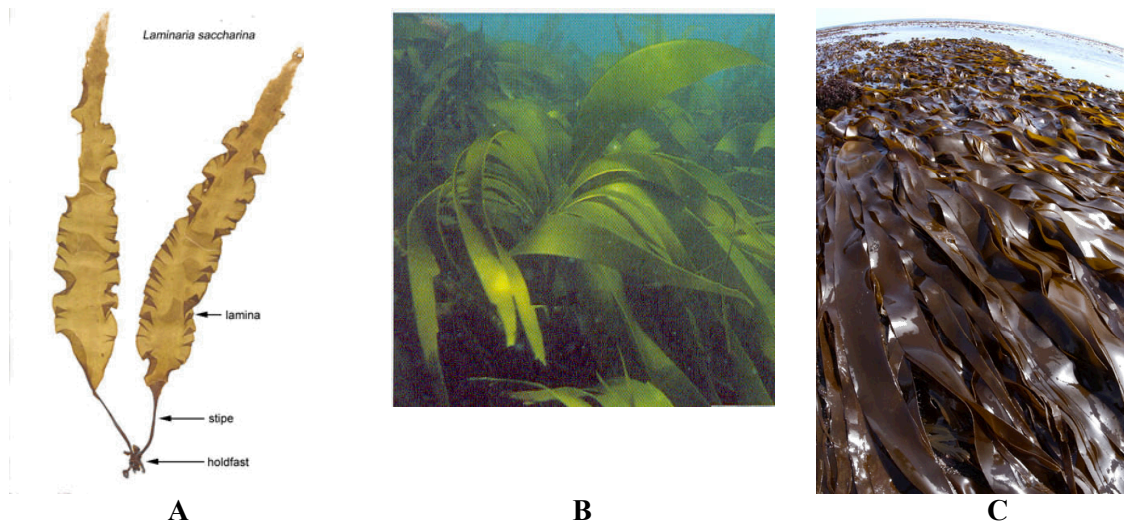


Figuur 2.3 Kweek van *Porphyra*. (a) gefixeerde methode, (b) semi-drijvende methode, (c) drijvende methode. In de onderste tekeningen zijn de drie methodes weergegeven bij hoog en bij laag water. Uit Lobban & Harrison, 1994 [25]



Figuur 2.4 Bevestigingsmethode voor *Gracilaria*. Uit Kain, 1991 [17]

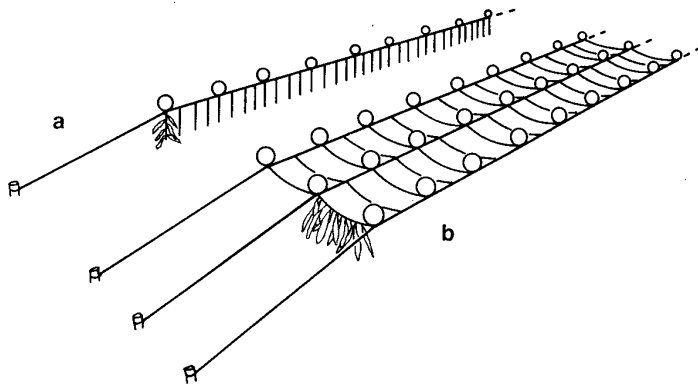
Laminaria (Figuur 2.5 en Figuur 2.6) komt in Nederland in drie soorten voor: *L. saccharina*, *L. digitata*, *L. hyperborea*. *L. saccharina* lijkt het meest op de Aziatische soort *L. japonica* die op grote schaal gekweekt wordt in Japan en China.



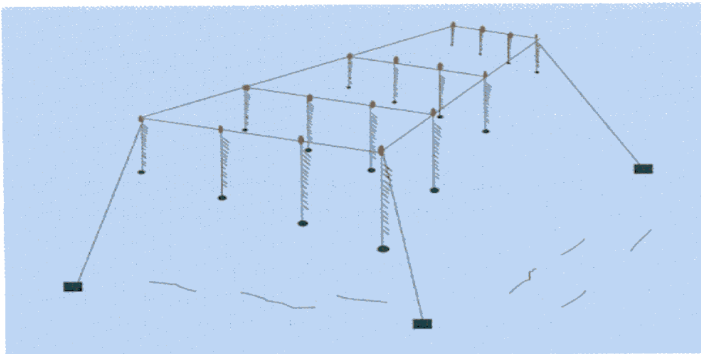
Figuur 2.5 *Laminaria* soorten die in de Nederlandse wateren voorkomen. A. *Laminaria saccharina*; B. *Laminaria hyperborea*; C. *Laminaria digitata*

Sporen vestigen zich aan lijnen en groeien uit tot kiemplanten in een periode van 20-30 dagen in ondiepe bakken in het laboratorium bij een lichtregime van 12 uur licht en 12 uur donker (L:D=12:12). Uitgroei van stukjes alg is vooralsnog niet mogelijk. Buchholz & Lüning (1999) zijn in staat om sporofyten versneld aan te zetten tot sporenvorming. Hierdoor kan de kweek worden losgekoppeld van de natuurlijke seizoensfluctuaties. Vervolgens worden de kiemplanten in februari/maart in zee gebracht. Het later in zee plaatsen van de planten gaf veel epifyten aangroei (diatomeeën). De planten worden op lijnen bevestigd door de lijnen met kiemplanten tussen de strengen van een grotere lijn te steken op een minimale afstand van 25 cm. Buck (2002) [3] noemt echter 12-15 planten per meter cultuur lijn. Het horizontale grid kan 2 m onder het water oppervlak worden geplaatst. In 6 maanden groeien de planten uit tot oogstbaar formaat. Een lijnteeltsysteem voor *Laminaria* is weergegeven in Figuur 2.6.

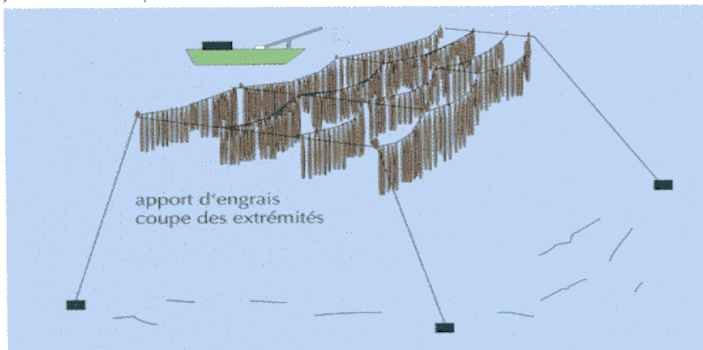
Buck & Buchholz (2004) [4] hebben verschillende typen kweeksystemen voor *Laminaria saccharina* voor de Duitse kust getest. Een longline-, ladder-, grid- en ringsysteem zijn met elkaar vergeleken. Het longlinesysteem zoals afgebeeld in Figuur 2.6A gaf veel mechanische beschadiging. Het laddersysteem (een variatie op het longline systeem door een aantal longlines onder elkaar te plaatsen) gaf veel beschadiging op de bevestigingspunten van de gewichten. De ring voldeed het beste (Figuur 2.7). Deze werd aan land gassembleerd en beënt met *Laminaria* en dan naar zee vervoerd. Bij het oogsten werd de gehele ring weer naar land getransporteerd. De optimale zaaidichtheid op de lijnen aan de ring is nog onbekend. Ook het moment van oogsten kan worden geoptimaliseerd. Bij te late oogst ontstond aangroei van mosdiertjes. De minimale diepte waarop de ring kan worden toegepast is 5-8 m. De ring kan functioneren bij hoge stroomsnelheden. Dit levert voldoende nutriënten en weinig aangroei van epifyten.



novembre-décembre : position verticale



janvier à avril : position horizontale



mai-juin : très forte croissance début juillet (récolte)

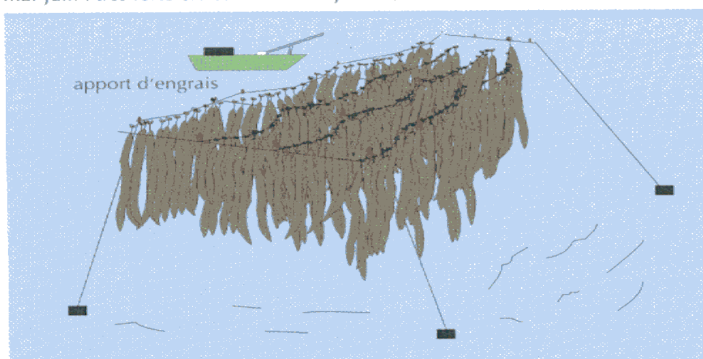
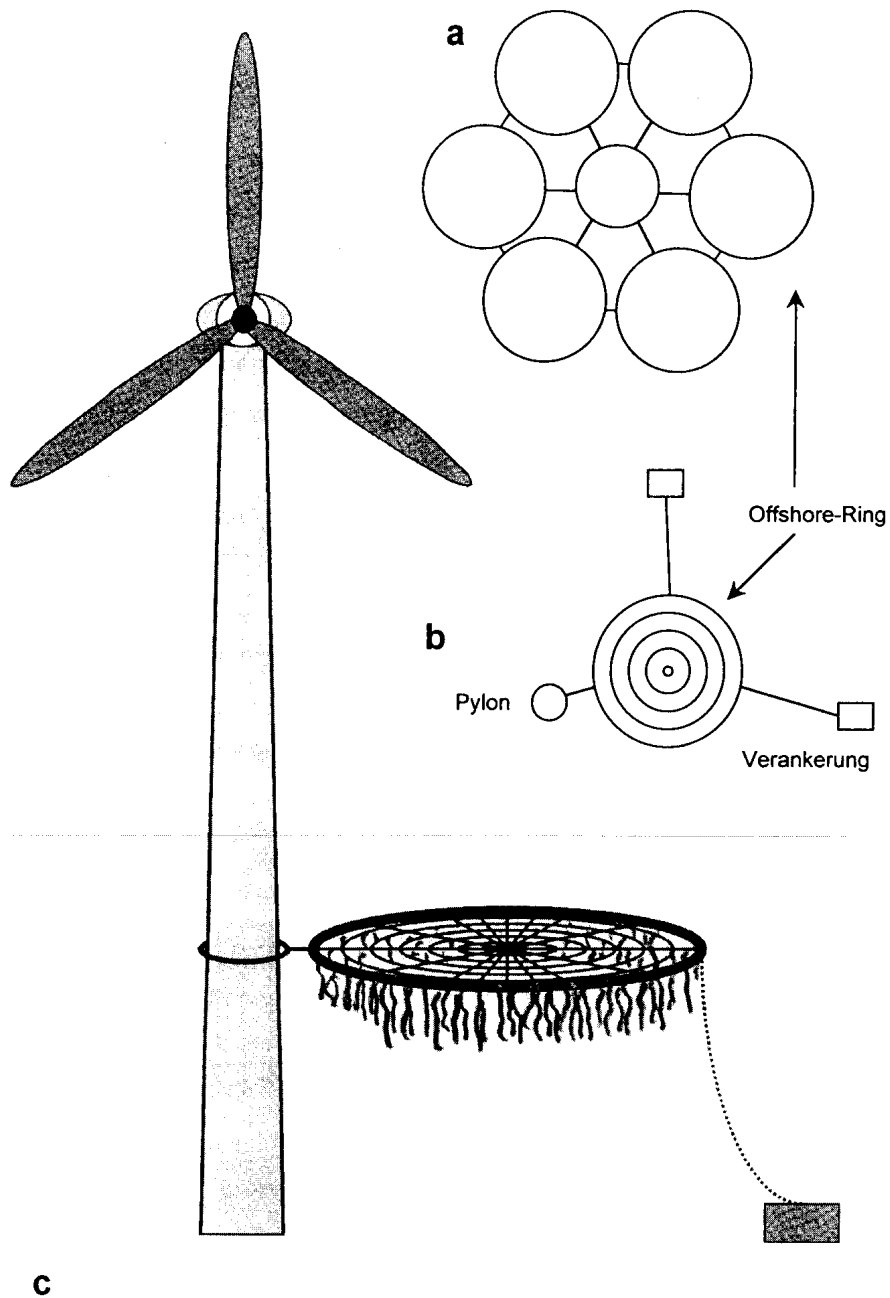


Figure 143 - Disposition des cordages porteurs en pleine mer. Dans un premier temps verticalement. La position horizontale (2 et 3) ne sera adoptée que dans le courant.

Figuur 2.6 Boven: Kweek van Laminaria aan (a) verticale lijnen (b) horizontale "grids" (Kain, 1991; [17]). Onder: Lijnteeltsysteem voor Laminaria (Ifremer. R. Perez et al, 1997 [34])

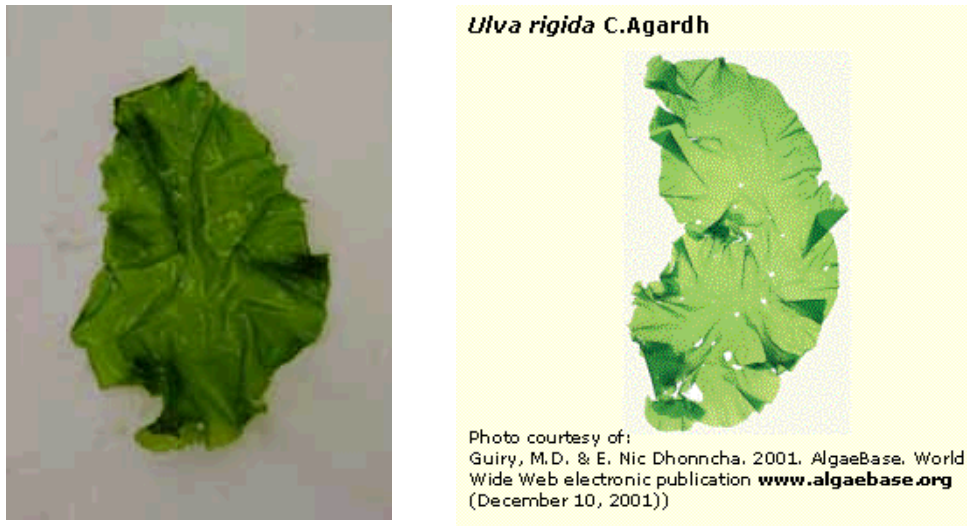


Figuur 2.7 Kweek van *Laminaria* aan ring constructie. (a) bovenaanzicht windturbinemast die als verankering dient voor ringen die onderling met elkaar verbonden zijn, (b) bovenaanzicht windturbinemast met een aan de uiteinden verankerde ring, (c) zijaanzicht windturbinemast met ring en verankering. Uit Buck, 2002 [3]

Undaria pinatifida is in 1971 per ongeluk geïntroduceerd in Frankrijk en komt sinds 1999 voor in de Oosterschelde. De soort groeit in warmer water dan *Laminaria*. Het is een eenjarige plant die 1-2 m lang kan worden. In Japan is de kweek van *Undaria* belangrijker dan die van *Laminaria*. De soort heeft een vroeger en korter groeiseizoen dan *Laminaria* en wordt in Japan vaak gemixt gekweekt. In het laboratorium worden planktonische gametofyten die vegetatieve groei vertonen gekweekt. Deze worden op draden gespreid en de draden worden aan een frame bevestigd. Hier groeien ze verder uit in verrijkt zeewater en met verminderd daglicht, alvorens ze naar zee gaan. Daar vindt de groei plaats in een grid op 2 m onder het wateroppervlak zoals

dat gebruikt wordt bij *Laminaria*. In Nieuw Zeeland werd na 4-5 maanden geoogst bij een thallus lengte van meer dan 1 m (www.cawthron.org.nz). In de Oosterschelde veroorzaakt *Undaria pinatifida* overlast voor oesterkwekers. Door de sterke groei op de oesterschelpen schuift het vistuig over de oesters waardoor ze niet meer kunnen worden opgevist.

Enteromorpha soorten zijn goed bestand tegen lage zoutgehaltes. De productie in Japan gebeurt op dezelfde wijze als *Porphyra*, maar dan aan parallelle lijnen (20 cm uit elkaar geplaatst).



A

B

Figuur 2.8 Het groenwier *Ulva* sp. Bron: A: Website Monterey Bay Aquarium. B: www.algaebase.org

Ulva sp. (Figuur 2.8) kan een bijzonder hoge groeisnelheid halen (tot 40% gewichtstoename per dag (Malta & Verschuure, 1997; [26]). In het zeemilieu is het vóórkomen van *Ulva* geassocieerd met hoge nutriëntconcentraties/eutrofiëring (zie 7.3). *Ulva* plant zicht voort met behulp van sporen, maar kan zich ook vegetatief voortplanten (Kamermans et al, 1998; [18]). De productie in Japan gebeurt op dezelfde wijze als *Porphyra* aan netten tussen bamboe palen in het intergetijd gebied.

2.2 Teeltvoorwaarden

Nutriënten

Porphyra heeft stikstof gehalten in het water nodig van meer dan 0.042 mg N / l (Lobban & Harrison, 1994; [25]). De beste groei werd gevonden bij 0.42 mg N / l (Kain, 1991 [17]). Ook *Gracilaria* heeft veel nutriënten nodig voor de eerste groei, waarbij een gepulseerde toevoeging van nutriënten het meest effectief is (Kain, 1991 [17]). *Gracilaria* is aangepast aan veranderingen in stikstof aanbod door een hoge affiniteit voor zowel nitraat als ammonium (Smit, 2002 [38]). *L. saccharina* kan nog steeds groeien bij nitraat concentraties van 0.014 mg N / l (Kain, 1991 [17]). *Enteromorpha* is een opportunistische soort die is aangepast aan gepulseerde dosering van nutriënten (Fong et al, 2004 [11]). Taylor & Fletcher (2001) [40] vonden de hoogste groeisnelheden voor *Ulva* en *Enteromorpha* bij nutriënten concentraties variërend van 0.31 tot 3.1 mg PO₄-P / l, 1.4 tot 14 mg NO₃-N / l en 0.84 tot 1.4 mg NH₄-N / l. *Undaria* heeft een grotere affiniteit voor ammonium dan voor nitraat bij een hoog aanbod van ammonium. Zelfs bij hoge concentraties werd geen inhibitie gevonden. Deze aanpassing aan veranderende condities is kenmerkend voor een invasieve soort (Torres et al., 2004) [41]. In Tabel 2.3 zijn de nutriëntengehaltes op 2 locaties in de Noordzee weergegeven.

Saliniteit

Porphyra tolereert een grote range aan zoutgehaltes 3 - 30 ‰ (Kain, 1991). *Gracilaria* tolereert een zoutgehalte van 10.4 ‰ (Kain, 1991 [17]). De optimum saliniteit voor *Ulva curvata*, *U. lactuca*, *U. rigida* en *U. scandinavica* is 30 ‰ (Malta et al, 1999 [27]). In Tabel 2.3 zijn de zoutgehaltes op 2 locaties in de Noordzee weergegeven.

Temperatuur

Laminaria is een koud water soort uit diep water. De soort vertoont een optimale groei bij 10-15°C, geen groei boven 20 °C en gaat dood bij 23 °C. Europese *Gracilaria* heeft een optimum temperatuur bij 20 °C (Kain, 1991 [17]). De optimum temperatuur voor *Ulva curvata* is 25 °C, en voor *U. lactuca*, *U. rigida* en *U. scandinavica* is het 10 °C (Malta et al, 1999 [27]). In Tabel 2.3 is de temperatuur op 2 locaties in de Noordzee weergegeven.

Licht

Groenwieren bevatten andere pigmenten om licht in te vangen dan rood wieren en die weer andere dan bruinwieren. Dit veroorzaakt onder natuurlijke omstandigheden een zoneringpatroon gebaseerd op de lichtomstandigheden. De vijf groepen die wij bestuderen komen in de volgende diepte volgorde voor (van ondiep naar diep): *Ulva sp*, *Porphyra purpurea* en *P. umbellicalis*, *Gracilaria verrucosa*, *Palmaria palmata*, *Laminaria hyperborea*, *L. digitata*, *L. saccharina* (Campbell, 1977 [5]). Dit biedt mogelijkheden om de wieren in verschillende lagen te kweken. *Laminaria* heeft een jaarlijkse minimale licht behoefte van 45 tot 50 mol m⁻² yr⁻¹ (Dunton, 1990 [9]). Taylor & Fletcher (2001) [40] vonden de hoogste groeisnelheden voor *Ulva* en *Enteromorpha* bij 18 tot 175 μmol m⁻² s⁻¹. Tabel 2.3 geeft lichtgegevens voor 2 locaties in de Noordzee.

Diepte

De minimale diepte voor de kweek van *Laminaria* is 5 m (Buck & Buchholz, 2004 [4]. Tabel 2.3 en Figuur 2.9 geven dieptegegevens voor de Noordzee. De gemiddelde diepte bedraagt “near-shore” 10-20 meter en “offshore” 20-40 meter. De diepte op de locatie van het geplande Near Shore Windpark (NSW) en het Q-7 windpark bedraagt resp. 15-20 m en 19-24 m (Figuur 2.9). Toekomstige offshore windparken zullen worden gerealiseerd buiten de 12 mijlszone zodat de diepte geen belemmerende factor zal zijn voor zeewierenteelt.

Stroming

Alle genoemde algensoorten komen voor op geëxponeerde kusten en zijn dus in staat om veel waterbeweging te doorstaan. In Tabel 2.3 is de maximale stroomsnelheid (inclusief getijdenstroming) op 2 locaties in de Noordzee weergegeven. In Bijlage 2.1 wordt een indruk gegeven van de stroming op een locatie 30 km ten Westen van IJmuiden, nabij de (toekomstige) locatie van het Q7 offshore-windpark.

Predatie

Verschillende diersoorten eten macro-algen. *Ulva* wordt bijvoorbeeld gegeten door kleine kreeftachtigen zoals Isopoda en Amphipoda (Kamermaans et al., 2002 [19]). Zeewieren zoals *Laminaria* en *Undaria* worden gegeten door zee-egels (Kawamata, 2001 [20]). Zeeoren eten *Ulva* en *Gracilaria* (Shpigel & Neori, 1996 [37]). *Porphyra* wordt begraasd door vissen, maar die kunnen worden tegengehouden door speciale netten (Lobban & Harrison, 1994 [25]). De door grazers geproduceerde nutriënten kunnen mogelijk weer worden opgenomen door de zeewieren.

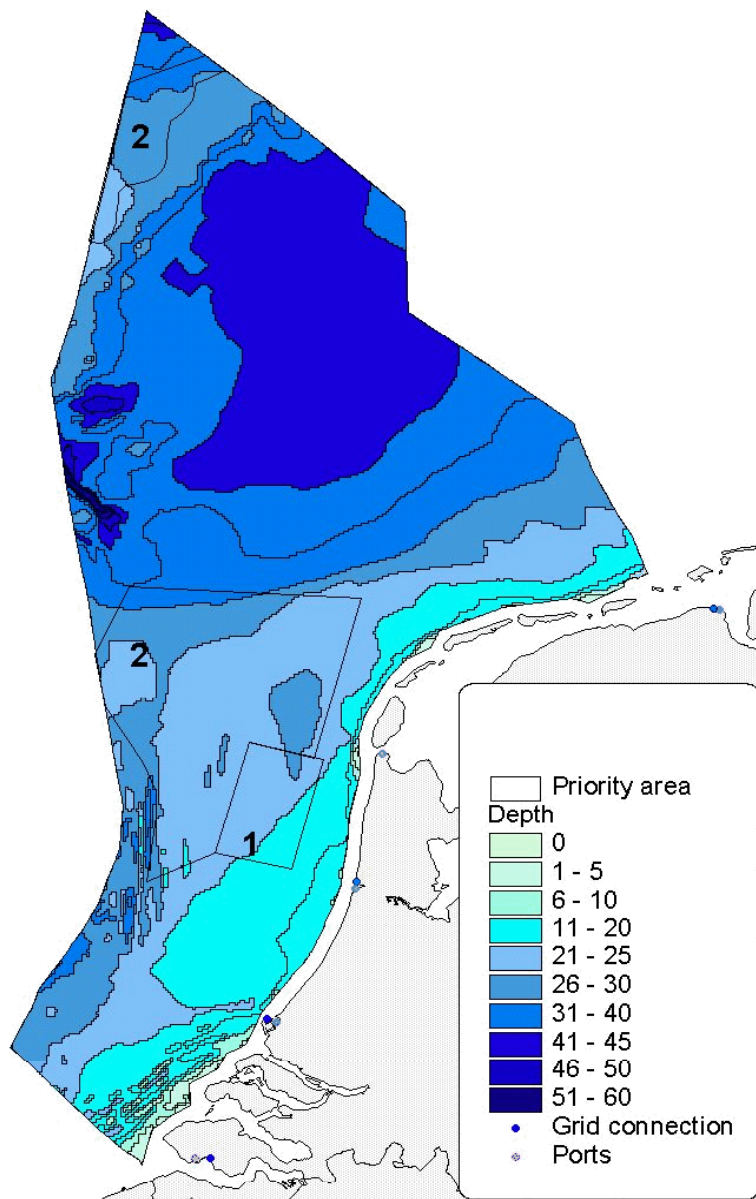
Epifyten

Buck & Buchholz (2004) [4] observeerden de volgende epifyten op *Laminaria* gekweekt in een haven: *Ciona intestinalis*, mosselen, *Fucus*, *Enteromorpha*. Ze troffen geen epifyten op *Laminaria* buiten de haven. De sterke stroming is hiervoor een mogelijke verklaring. *Porphyra* raakt begroeid met groenwieren (b.v. *Enteromorpha*) en met diatomeeën (meestal *Licmophora*)

(Lobban & Harrison, 1994 [25]). De epifyten kunnen worden gedood door de netten bloot te stellen aan de lucht. De epifyten zijn gevoeliger voor uitdroging dan *Porphyra*. *Ulva* kan bij vermindering van de groeisnelheid begroeid raken met diatomeeën (Kamermans et al, 2002 [19]). De aangroei van epifyten op *Gracilaria* varieerde sterk (van 2-70 %) in een sublitorale cultuur met veel stroming en bestaat uit algen zoals *Polysiphonia*, *Ceramium*, *Porphyra*, *Enteromorpha*, *Ulva*, *Cladophora*, *Ectocarpus* en uit mosdiertjes en mosselen (Troell et al., 1997 [42]; Halling et al, 2004 [14]).

Vervuiling

Macro-algen hebben een hoge affiniteit voor absorptie van zware metalen (Buck, 2002) [3]. Lee & Wang (2001) [23] lieten zien dat nutriënten concentratie van het water invloed heeft op de opname van zware metalen. Bij verhoging van de nitraat concentratie werd meer Cd en Zn opgenomen. Cr accumulatie nam toe met een verhoging van de fosfaat concentratie.



Figuur 2.9 Zeedieptekaart Nederlandse Exclusieve Economische Zone. Bron: RWS. DE gebieden 1 en 2 geven voorkeursgebieden aan voor offshore windenergie. Deze voorkeuren worden niet meer gehanteerd

Tabel 2.3 Gegevens over de Noordzee uit (a) waterbase (www.waterbase.nl), (b) Aarup 2002 [1] (c) Peeters et al (1999)[33]

	Near shore	Offshore	Stations (near-shore en offshore)	Jaar
Temperatuur °C ^a	5.8-19.2	6-15.5	Eierlandse Gat en Auckfield Platform	2001
Zoutgehalte ^a (g/l)	29-34	35	Terschelling 4 km en 235 km uit de kust	2003
Zwevend stof ^a gehalte (mg/l)	2-49	0.9-2	Terschelling 4 km en 235 km uit de kust	2003
Ammonium-N ^a (mg/l)	0.002-0.111	0.002-0.016	Terschelling 4 km en 235 km uit de kust	2003
Nitraat-N (mg/l) ^a	0.000-0.589	0.025-0.090	Terschelling 4 km en 235 km uit de kust	2003
Fosfor (mg/l) ^a	0.010-0.038	0.010-0.041	Terschelling 4 km en 235 km uit de kust	2003
Golfhoogte (m) ^a	0.25-5.10	0.25-6.50	Eierlandse Gat en Auckfield Platform	2003
Cadmium (µg/l) ^a	0.01-0.02	Geen actuele data, laatste gegevens uit 1994	Noordwijk 2 km uit kust	2003
Koper (µg/l) ^a	0.4-0.5	Geen actuele data, laatste gegevens uit 1994	Noordwijk 2 km uit kust	2003
Licht (Secchi diepte in m) ^b	2-6	6-10	Kustzone en midden van Noordzee	1970-1999
Diepte (m) ^c	10-20	20-40	Kustzone en deel tussen Friese Front en Doggersbank	1992
Maximale stroomsnelheid (cm s ⁻¹) ^c	80-100	20-40	Zuidelijke Noordzee en centrale Noordzee	1983

1) Inclusief getijdenstroming. In Bijlage 2.1 wordt een indruk gegeven van de stroming op een locatie 30 km ten Westen van IJmuiden, nabij de (toekomstige) locatie van het Q7 offshore-windpark.

2.3 Integratie met teelt van vis, schaal en schelpdieren

Integratie van zeewierenteelt en visteelt vindt op pilot schaal plaats op het land en in het open water. Hieronder worden enkele voorbeelden gegeven.

In Israël wordt goudbrasem (*Sparus auratus*) gekweekt in combinatie met de slak zeeoor (*Haliotis tuberculata*), het groenwier *Ulva* sp. en het roodwier *Gracilaria* sp. (Cohen & Neori, 1991 [7]; Krom et al, 1995 [21]; Shpigel & Neori, 1996 [37]; Neori et al, 2000 [32]). Het zeewier neemt nutriënten van de vissen op en de slakken eten de algen. De nutriënten afvoer kan hierdoor met 80% worden verminderd. Schuenhoff et al. (2003) [36] liet zien dat de biofiltratie van 50% van het water de totale export van opgeloste nutriënten met 30% verminderde.

In het EU project SEAPURA (<http://www.seapura.com/>) is op de Canarische Eilanden en in Portugal onderzocht of hoogwaardige macro-algen soorten, die voorheen niet in polycultuur zijn toegepast, daar wel voor gebruikt kunnen worden. Het gaat onder andere om de soorten *Hypnea spinella*, *Halopytis incurvus*, *Falkenbergia rufolanosa*, *Chondrus crispus*, *Palmaria palmata*. *Chondrus* kon 20-60 % van de stikstof van een tarbot kwekerij verwijderen bij een groei van 29 g droge stof m⁻² d⁻¹. *Palmaria* had een efficiëntie van 30-60% stikstofopname en een opbrengst van 39 g droge stof m⁻² d⁻¹.

In Spanje is de kweek van *Ulva rotundata*, *Enteromorpha intestinalis* en *Gracilaria gracilis* gekoppeld aan de kweek van zeebaars. De meest geschikte soort voor biofiltratie was *Ulva* (Hernandez et al., 2002 [15]; Martinez et al., 2002 [28]).

In Italië is de relatie tussen een viskwekerij en de natuurlijke productie van *Ulva rigida* in een lagune bestudeerd (Porrello et al., 2003 [35]). Het systeem had niet de juiste afmetingen en doorstromingsnelheid om alle nutriënten te verwijderen. Daarnaast ontstaat de *Ulva* in een korte periode waarna snelle afbraak optreedt die voor extreme condities zorgt.

Het afvalwater van een garnalenkwekerij in China is gebruikt als kweekmedium voor *Gracilaria tenuistipitata* en *Ulva pertusa* (Lui & Dong, 2001 [24]). *U. pertusa* is geschikter bij hoge en constante nutriëntenaanvoer, terwijl *G. tenuistipitata* beter werkt bij gepulseerde toevoer van nutriënten.

In open zee is in Chili zalmkweek gecombineerd met de kweek van *Gracilaria*. *Gracilaria* die 10 m van zalm kooi werd gekweekt had een 40% hogere groeisnelheid en een hogere nutriënten concentratie dan wanneer hij 150 m er vandaan werd gekweekt (Troell et al., 1997 [42]). Een latere studie op dezelfde plaats kon dit positieve effect van de zalmkwekerij echter niet bevestigen (Halling et al 2004 [14]). Voor het laten slagen van deze methode is kennis van de hydrologie noodzakelijk vanwege de nutriëntenproductie door de viskooi (Halling 2004 [14]).

In Canada wordt *Laminaria* gekweekt in combinatie met zalm en mosselen. Resultaten van dit AquaNet project laten zien dat *Laminaria* 40% harder groeit bij de zalmkooien dan op de referentie locatie, en dat de mosselen 20% meer in lengte toenamen en 50% meer in gewicht (Stolte, 2004 [39]). Er werden geen aanwijzingen gevonden van besmetting van de mosselen en algen met ziektevoorkomende middelen die worden gebruikt in de zalmkwekerij. Het effect van de algen op de nutriënten wordt momenteel bepaald.

2.4 Zeewierkweeksystemen voor de Noordzee

2.4.1 Constructie

Uit de beschikbare informatie blijkt dat de bestaande systemen voor zeewierenteelt relatief kleinschalig zijn en vrijwel uitsluitend gerealiseerd nabij de kust. Veelal wordt gebruik gemaakt van lijnen of netten, die vast (aan de bodem) en/of m.b.v. drijvende boeien verankerd worden. Een beproefde methode voor offshore kweek van zeewieren in volle zee is nog niet ontwikkeld.

In het Amerikaanse *Marine Biomass Program* zijn verschillende typen grootschalige kweeksystemen ontworpen en getest voor toepassing in open zee (Chynoweth 2002 [6]). De ontwerpen betroffen zowel geheel drijvende kweek systemen (dynamisch gepositioneerd m.b.v. schepen) en systemen verankerd aan de zeebodem en/of aan boeien. In een test met een 3 hectare systeem in open zee voor de kust van Californië ging een van de verankeringen verloren waardoor de lijnen in de knoop raakten. Bij een andere test in zee bleef de structuur van het lijnensysteem intact maar raakten de zeewieren los van de lijnen. Hieruit werd geconcludeerd dat de dynamiek van het systeem en van de aangehechte zeewieren niet compatibel waren (Chynoweth 2002 [6]). Voor een succesvol ontwerp is dan ook van belang de bewegingen van het lijnensysteem te dempen door de geometrie en/of het onder spanning aanbrengen van de lijnen ("tensioned grid") (Figuur 2.10). In het Marine Biomass Program werd ook een drijvende ring structuur getest (near shore) met een diameter van 15 meter. Deze ring bood een goede omgeving voor de teelt van *Macrocystis* (Chynoweth 2002 [6]).

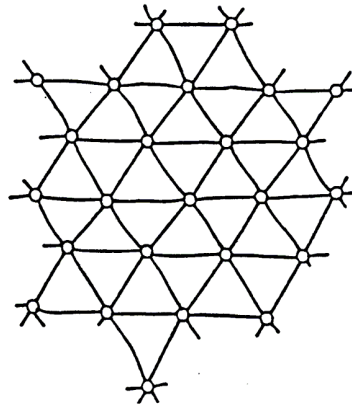


Diagram showing a section of the tensioned grid system on an oceanic farm. The structure consists of triangular substrate modules interconnected by corner buoys.

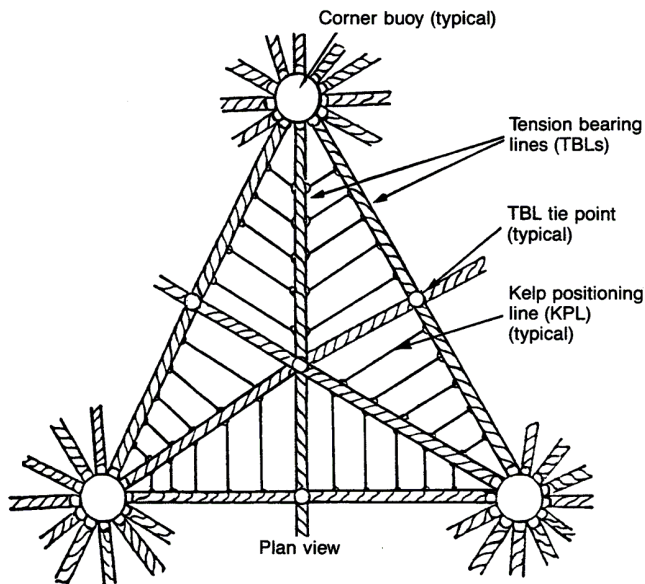


Diagram of an individual triangular substrate module showing detailed arrangements of the functional lines.

Figuur 2.10 Ontwerp 'tensioned grid' systeem voor zeewierenteelt (Chynoweth 2002 [6])

De tests van Buck & Buchholz [4] geven eveneens aan dat beschadiging van kweeksystemen in het dynamische zeemilieu snel kan optreden. Een experimenteel ringsysteem (diameter 5 m; oppervlak 19,6 m²; 80-100 m teeltlijn per ring) zoals afgebeeld in Figuur 2.7 voldeed het beste. Technische voordelen van de ring zijn de hoge stabiliteit in het dynamische zeemilieu en het feit dat de ring aan de wal kan worden voorzien van plantmateriaal. Uit economisch oogpunt lijkt dit type systeem echter minder geschikt voor grootschalige inzet omdat het arbeidsintensief is en niet mechanisch kan worden geoogst. Daardoor kan met dit systeem geen "economy of scale" worden gerealiseerd. Geteste long-line systemen en grid systemen bleken minder stabiel. Deze systemen waren verankerd met behulp van drijvende boeien en aan de bodem met behulp van betonblokken (Buck en Buchholz, 2004 [4]).

Een mogelijk alternatief voor drijvende zeewiersoorten zoals *Sargassum* is "Floating cultivation" waarbij de zeewieren niet aan lijnen verankerd zijn. In dit geval zou een structuur om de (drijvende) zeewieren binnen een beperkt gebied te houden voldoende zijn, hetgeen belangrijke kostenbesparingen levert t.o.v. lijnteelssystemen (Chynoweth 2002). Vooralsnog

zijn voor de Noordzee echter geen geschikte, inheemse drijvende zeeiersoorten bekend die worden geteeld.

Voor de materiaalkeuze voor een lijnteeltsysteem kan worden gedacht aan verschillende typen kunststoffen die dienen te worden geselecteerd op basis van de gewenste technische eigenschappen (treksterkte en stijfheid) duurzaamheid en kosten. In een van de ontwerpen in (Chynoweth, 2002 [6]) wordt uitgegaan van polypropyleen. Andere mogelijkheden zijn kunststofvezels zoals aramide en “Dyneema” die een hoge treksterkte hebben, of kunststoffen gemengd met natuurproducten zoals vlas (Marx 2004 [29]).

Een bijzondere opgave is dat de systemen door materiaalkeuze, ontwerp of andere voorzieningen (waarschuwingssystemen?) zo zijn ontworpen dat verstrikking van zeezoogdieren zoals bruinvissen wordt voorkómen. Dit is eens te meer van belang omdat teeltsystemen een groot oppervlaktebeslag kunnen hebben. Het niet verstoren van het leefmilieu voor zeezoogdieren is een belangrijk toetsingscriterium voor de beoordeling van (nieuwe) activiteiten in de Noordzee door de RWS Directie Noordzee (zie Hoofdstuk 7).

Uit het voorgaande blijkt dat voor grootschalige teelt in zee in combinatie met offshore windparken die enkele tientallen kilometers uit de kust zullen liggen nog de nodige ontwikkeling noodzakelijk is. Dit vormt een uitdaging voor de offshore engineering sector. Het gebruik van de funderingsconstructies van windturbines als basis voor de positionering en verankering van teeltsystemen kan hierbij mogelijk voordelen bieden.

2.4.2 Zeewiersoorten en kweekvarianten

Gebaseerd op de beschrijvingen in 2.1 t/m 2.3 lijken vier zeewiersoorten minder interessant voor verdere bestudering in het kader van dit onderzoek. *Undaria pinatifida* valt af vanwege het feit dat het een niet-inheemse soort betreft. Kweek op de Noordzee zal ongewenste verdere verspreiding kunnen versnellen wat kan leiden tot ecologische neveneffecten zoals het verdringen van inheemse *Laminaria* soorten (Fletcher & Manfredi, 1995 [10]). *Enteromorpha* sp. en *Porphyra* zullen onder de omstandigheden op de Noordzee met een hoge saliniteit niet optimaal groeien. *Gracilaria* heeft een te hoge temperatuur nodig. Dan blijven er drie soorten over: *Ulva*, *Palmaria* en *Laminaria*.

Hieronder worden drie mogelijke varianten beschreven voor de kweek van zeewieren in de Noordzee.

Variant 1: Kweek van drie soorten zeewieren in lagen

Verschillen in lichtbehoefte van de drie geselecteerde soorten bieden mogelijkheden tot de kweek in meerdere lagen. Qua stabiliteit lijkt het door Buck & Buchholz, 2004 [4] beschreven ringsysteem vooralsnog het meest geschikt voor de omstandigheden op de Noordzee. Dit systeem is echter uit economisch oogpunt niet aantrekkelijk. De optimale geometrie moet derhalve nader worden bepaald. De gekozen constructie kan in de diepte worden uitgebreid met twee extra lagen. De bovenste m wordt gebruikt voor de kweek van *Ulva*, 1 m daaronder wordt *Palmaria* gekweekt en vanaf 2 m diepte *Laminaria*. Aan de oppervlakte wordt gebruikmakend van het groenwier *Ulva* optimaal het rode en blauwe deel van het zonlicht benut; de absorptie in de groene spectraal range is laag. Op grotere diepte kan met behulp van de rood- en bruinwieren *Palmaria* en *Laminaria* een tweede set van biomassa worden geproduceerd gebruikmakend van het speciale fotoreceptorsysteem, waarmee met name het groene licht wordt ingevangen.

De opstelling van een gelaagd productiesysteem beperkt het benodigde oppervlak, vergroot daarmee de beheersbaarheid van het systeem en maakt vervolgens de inpassing van een dergelijk systeem in andere vormen van zeegebruik beter mogelijk. Speciale aandacht daarbij is noodzakelijk voor de infrastructurele inpassing in nieuwe vormen van integraal kustmanagement, en andere beheersfuncties zoals de scheepvaart, recreatie en natuurbeheer.

Variante 2: Combinatie zeewieren met mosselenkweek

In plaats van andere soorten zeewieren kan de kweek ook worden gecombineerd met de kweek van mosselen. De door de mosselen uitgescheiden nutriënten kunnen worden opgenomen door de algen. De bovenste laag kan worden voorzien van lijnen van 2 m lang voor mosselen. De jonge mosselen worden vanzelf door de lijnen ingevangen (P. Kamermans). De tweede laag op 2 m diepte wordt gebruikt voor de kweek van *Laminaria*.

Variante 3: Combinatie zeewieren met viskweek

De kweek van macro-algen kan ook worden gecombineerd met de kweek van vis. Viskweek gaat gepaard met een hogere uitstoot van nutriënten dan de kweek van mosselen. *Ulva* is een soort die snel nutriënten kan opnemen. Dit is te realiseren door het omgeven van een kooi voor vis met een constructie waaraan *Ulva* wordt gekweekt.

De productiviteit van de genoemde systemen zal in de praktijk getest moeten worden.

Een alternatieve manier om verschillende soorten zeewieren te kweken is door de soorten afwisselend in de tijd te kweken. Aan de oostkust van de Verenigde Staten is in het New York Biomass Program een systeem getest waarbij *Laminaria* in de koude periode werd gekweekt en *Gracilaria* in de warme periode (Chynoweth, 2002 [6]). De groei en overleving van *Laminaria* was goed, maar de groei en overleving van *Gracilaria* was slecht.

2.4.3 Nutriëntentoevoer

Grootschalige teelsystemen vereisen gebalanceerde toevoer van macro- en micronutriënten. De toevoer van nutriënten kan limiterend zijn voor de productiviteit (Chynoweth 2002 [6], Kain, 1991 [17]). Het meest kritische limiterende element is stikstof, maar ook fosfaat kan beperkend zijn. Onder de micronutriënten kunnen koper en zink limiterend zijn in oppervlaktewater en mangaan en kobalt in zeewater afkomstig van grotere diepte (Chynoweth, 2002 [6]).

Verschiede methoden voor nutriëntentoevoer kunnen worden toegepast. *Laminaria* wordt bemest in China, maar niet in Japan (Kain, 1991 [17]). In de Chinese zeewierenteelt wordt bemesting bewerkstelligd door vloeibaar ammonium nitraat te sproeien vanaf een boot, of door uitspoeling uit keramische potten of cylinders in het kweekstelsel, of door jonge planten bijvoorbeeld bij het planten onder te dompelen in een geconcentreerde nutriëntenoplossing (Chynoweth, 2002 [6]).

Een test in het New York Marine Biomass Program aan de oostkust van de VS liet zien dat bemesten geen snellere groei van *Laminaria* gaf, maar wel hogere nutriëntgehalten in de planten (Chynoweth, 2002 [6]). Onder laboratorium omstandigheden is het residu van vergisting van de algen gebruikt als nutriëntenbron. Het residu kon in 62-83% van de nutriëntenbehoefte van *Gracilaria* voorzien. Oppompen van nutriëntrijk zeewater uit diepere wateren (200-300 m diep) is getest in Californië, maar de stroming voerde het opgepompte water snel weg (Chynoweth, 2002 [6]).

Indien volstaan kan worden met aanwezige nutriënten biedt dit een aanzienlijk kostenvoordeel. (Chynoweth 2002 [6]). Tevens is dit gunstig voor het milieu omdat eutrofiëring wordt gereduceerd. De nutriëntgehalten in Noordzeewater (N ca. 0,7 gram/m³; P ca. 0,04 gram/m³; zie Tabel 2.3) lijken laag voor een hoge productiviteit. Die laatste kan met name worden bereikt wanneer alle benodigde nutriënten (CO₂, N, P, S, sporenelementen) in voldoende mate aanwezig zijn en de toevoer van zonlicht de enige groeibeperkende factor is. Het is dan ook mogelijk dat nutriënten zullen moeten worden toegevoerd om de productiviteit (en daarmee de economie) te optimaliseren. De grote uitdagingen daarbij zijn het bereiken van:

1. gebalanceerde toevoer van macro- en micronutriënten
2. nauwkeurige dosering ter voorkoming van epifytengroei en eutrofiëring

Het tegengaan van eutrofiëring is eveneens een belangrijk criterium van de RWS Directie Noordzee (zie Hoofdstuk 7). Voor eventuele bemesting moeten derhalve methoden worden ontwikkeld die leiden tot een gelijkmatig ter beschikking komen van nutriënten in tijd (“Time-released”) en plaats, die gelijke tred houdt met de opname door de zeewieren. Ook de snelheid en affiniteit van nutriëntopname door de zeewieren speelt hierbij een rol. Monitoring van de nutriëntstatus kan plaatsvinden door het meten van de gehalten in het weefsel (Chynoweth 2002 [6]). Op grote schaal is dit mogelijk te vervangen door satelliet monitoring op basis van fluorescentiemetingen.

2.5 Productiviteit

Onder gecontroleerde condities op lab schaal en in kleinschalige experimentele systemen kunnen zeer hoge productiviteiten worden behaald. Voor intensieve cultuur in tanks op het land wordt een productiviteit genoemd van 31 g d.s. m⁻²d⁻¹ voor *Gracilaria* resp. 16 g d.s. m⁻²d⁻¹ voor *Chondrus* (Chynoweth 2002 [6]). Dit is equivalent met resp. 93 en 48 ton droge stof/ha.jaar (300 dagen). In Tabel 2.4 zijn productiegegevens verzameld in open water voor de zeewiersoorten die in deze verkenning zijn geselecteerd voor de Noordzee resp. *Ulva*, *Palmaria* en *Laminaria*.

Tabel 2.4 Gegevens over productie van zeewieren in open water

Zeewiersoort	Productie	Referentie
<i>Ulva</i> sp.	40% gewichtstoename per dag	Malta & Verschuure, 1997 [26]
	10 m ² produceert 2,5 kg <i>Ulva</i> per dag.	Shpigel, M. & A. Neori, 1996 [37]
<i>Palmaria</i> sp.	0.36 kg versgewicht per m lijn	www.qub.ac.uk
<i>Laminaria</i> sp	1 kg versgewicht per m lijn, 8 kg versgewicht per m lijn in september BC, Canada, 15 t ds.ha ⁻¹ in Gele Zee	Kain, 1991 [17]
	3.75 kg versgewicht per m lijn in ring; 9 kg d.s. m ⁻¹ De behaalde productie aan de ring (20 m ²) bedraagt 40 kg droge stof. Geëxtrapoleerd is dit 20 ton droge stof/ha.jaar zonder bemesting/nutriëntentoevoer.	Buck & Buchholz, 2004 [4]
	28-46 ton daf ha ⁻¹ jaar ⁻¹ ; equivalent met 38-62 ton d.s. ha ⁻¹ jaar ⁻¹ . Experimenteel systeem in zee 1).	Chynoweth, 2002 [6]
	40-85 ton daf ha ⁻¹ jaar ⁻¹ equivalent met 54-115 ton d.s. ha ⁻¹ jaar ⁻¹ . Commerciële teelt in Japan.	Chynoweth, 2002 [6]
25 g d.s. m ⁻² d ⁻¹ natuurlijke populaties bij Nova Scotia.	Chynoweth, 2002 [6]	

Ds= droge stof. Daf= dry ash free weight. 1)Experimenteel lijnsysteem in zee 15 x 37 meter (Chynoweth 2002 [6])

Naast de nutriëntentoevoer zijn ook de methode van planten (“survival rate”¹) en de plantdichtheid (d.w.z. aantal planten per lijn, onderlinge afstand van lijnen) belangrijke factoren

¹ De “survival rate” voor de Japanse planttechniek van *Laminaria* is 100% tegen 62-83% voor de Chinese methode (Chynoweth 2002 [6]).

voor optimale productiviteit (Chynoweth 2002 [6]). De plantdichtheid kan tevens worden vergroot door het kweken van zeevieren in verschillende lagen, zoals beschreven in 2.4.2. Zonder nutriëntentoevoer zal de productiviteit in de Noordzee naar verwachting rond de 20 ton per hectare liggen. Door teelt in lagen en/of door gedoseerde nutriënttoevoer kan dit mogelijk worden verhoogd tot ca. 50 ton droge stof/ha.jaar. Algemeen is er in de offshore cultuur een gebrek aan gedemonstreerde, “harde” productiecijfers voor zeevierskweek in zee. Het vaststellen en verifiëren van de haalbare productiviteit in de Noordzee is dan ook een van de belangrijkste onderwerpen en een kritische succesfactor voor de ontwikkeling, met name door de grote invloed op de economie (zie Hoofdstuk 5).

2.6 Invloed op natuurwaarden en milieu

Studies naar effecten van windturbineparken op natuurwaarden zijn onderdeel van de vergunningsprocedure. Hierbij worden o.a. effecten op vogels, effect van geluid op vissen en zeezoogdieren en het effect op bodemdieren en vissen onderzocht. Het Near Shore Wind (NSW) demonstratie project dat voor de Nederlandse kust wordt uitgevoerd voorziet in monitoring van verschillende natuurwaarden voor en na de bouw ten behoeve van een evaluatie van de milieu-impact (<http://www.offshorewind.nl/>).

Grift et al (2004) [12] verwachten geen effect op de grootte van de populatie van pelagische vis en geen effect op migratie patronen van vissen. Lokaal zal er mogelijk een toename zijn van het aantal vissen bij turbines vanwege verminderde predatie door vogels. Een Deense Milieu Effect Rapportage (Hoffmann et al, 2000 [16]) verwacht dat de vissen tijdelijk weg zullen trekken tijdens de bouw, maar dat ze daarna weer terug komen. De constructies waarop de windturbines worden geplaatst trekken vissen aan en verhogen daardoor de productiviteit van het gebied. Ook hier wordt geen effect van het geluid verwacht (www.hornsrev.dk). Zie ook Hoofdstuk 3.

Bij grootschalige zeevienteelt is de mogelijke sedimentatie van afgebroken zeevierfragmenten en ander organisch materiaal een belangrijk aandachtspunt. (Chynoweth, 2002 [6]). In onderzoek van RIVO (op een specifieke locatie) is weinig sedimentatie van slib gemeten. Dit wordt toegeschreven aan de relatief sterke stroming in de Noordzee. Volgens de RWS Directie Noordzee (zie Hoofdstuk 7) wordt echter wel verhoogde sedimentatie waargenomen in het “Oestergronden gebied” in het Noordelijk deel van de Noordzee. De Oestergronden is een uitgestrekt slibrijk gebied ten noorden van 54° NB. De Oestergronden zijn relatief diep (40-50 m). Door de lage stroomsnelheid kan het slib en fijn organisch materiaal hier sedimenteren. Qua productie springt het gebied er niet uit, zuurstofloosheid als gevolg van algenbloei wordt hier nog wel eens geconstateerd. Wat de Oestergronden bijzonder maakt is de bodemfauna (www.noordzee.nl).

De mate van het losraken en verspreiding van zeevierfragmenten, de sedimentatie van deze fragmenten en het mogelijke effect op de zuurstofbudgetten in de waterkolom is dan ook een belangrijk onderwerp voor nader onderzoek.

Een tweede belangrijk onderwerp (zie ook Hoofdstuk 7) is het in kaart brengen van de mogelijke effecten van zeevienteeltsystemen op de migratie van zeezoogdieren zoals bruinvissen. Daarnaast moeten voor zeer grootschalige systemen ook de mogelijke effecten worden onderzocht op golfpatronen en kustvorming, lokale klimaateffecten en de effecten op visserij en recreatie.

De uitbreiding van windturbineparken met de kweek van zeevieren kan ook een aantal positieve milieueffecten hebben. Opname van nutriënten door de zeevieren kan de eutrofiëring verminderen. De opname van CO₂ (ca. 1,8 ton per ton zeevier) kan de stijging van het CO₂ gehalte in de atmosfeer en daaraan gekoppelde klimaatverandering tegengaan indien de

zeewierenbiomassa daadwerkelijk wordt ingezet voor de productie van grondstoffen en energiedragers die fossiele producten vervangen.

Zeewierenteelt kan mogelijk bijdragen aan versterking van de biodiversiteit. De zeewieren en de kweekconstructies zullen een aanhechtingsplaats bieden voor andere sessiele organismen. Daarnaast kunnen de zeewieren voedsel en beschutting bieden voor diersoorten zoals vissen. Door het uitzetten van pootvis in het teeltsysteem kan potentieel een “broedkamer” worden gerealiseerd voor jonge vis (bijv. kabeljauw) zodat het systeem een bijdrage levert aan herstel van de visstanden in de Noordzee. De mate waarin deze processen optreden dient nader te worden onderzocht.

2.7 Referenties Hoofdstuk 2

- [1] Aarup, T. 2002. Transparency of the North Sea and Balthic Sea - a Secchi depth mining study. *Oceanologia* 44 (3): 323-337.
- [2] Aresta, M. et al, 2000. The use of marine biomass as renewable energy source for reducing CO₂ emissions.
- [3] Buck, B.H. 2002. Open Ocean Aquaculture und Offshore Windparks. Eine Machbarkeitsstudie über die multifunktionale Nutzung von Offshore-Windparks und Offshore-Marikultur im Raum Nordsee. *Berichte zur Polar-und Meeresforschung* 412.
- [4] 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.
- [5] Campbell, A.C. 1977. Elseviers gids van strand en kust. Elsevier, Amsterdam, 320 pp.
- [6] Chynoweth, D.P. 2002. Review of biomethane from Marine Biomass. Review of history, results and conclusions of the “*US Marine Biomass Energy Program*” (1968-1990). 194 pp. October 2002.
- [7] Cohen, I. & A. Neori (1991). Biofilters for marine fishpond effluents. I Ammonia uptake kinetics and nitrogen content. *Botanica Marina* 34: 475-482.
- [8] Demetropoulos, C. L. and C. J. Langdon (2004). “Enhanced production of Pacific dulse (*Palmaria mollis*) for co-culture with abalone in a land-based system: nitrogen, phosphorus, and trace metal nutrition.” *Aquaculture* 235(1-4): 433-455.
- [9] Dunton, K. H. (1990). “Growth and production in *Laminaria solidungula*: Relation to continuous underwater light levels in the Alaskan High Arctic (USA).” *Marine Biology* 106(2): 297-304.
- [10] Fletcher, R.L. & C. Manfredi. 1995. The occurrence of *Undaria pinnatifida* (Phaeophyceae, Laminariales) of the South coast of England. *Bot. Mar.* 38: 355-358.
- [11] Fong, P., J. J. Fong, et al. (2004). “Growth, nutrient storage, and release of dissolved organic nitrogen by *Enteromorpha intestinalis* in response to pulses of nitrogen and phosphorus.” *Aquatic Botany*. 2004; 78(1): 83-95.
- [12] Grift, R.E., I. Tulp, M.S. Ybema, A.S. Couperus 2004. Base line studies North Sea wind farms: Final report fish. RIVO Rapport C047/04
- [13] Halling, C. 2004. Seaweed integrated mariculture. Prospects and constraints towards increased sustainability. Doctoral thesis, Stockholm University.
- [14] Halling, C., G. Aroca, M. Cifuentes, A.H. Buschman & M. Troell, 2004. Comparison of suspended cultivation methods of *Gracilaria chilensis* in an integrated seaweed and fish cage culture. In: Halling, C. 2004. Seaweed integrated mariculture. Prospects and constraints towards increased sustainability. Doctoral thesis, Stockholm University.
- [15] Hernandez, I., J. F. Martinez Aragon, et al. (2002). “Biofiltering efficiency in removal of dissolved nutrients by three species of estuarine macroalgae cultivated with sea bass (*Dicentrarchus labrax*) waste waters 2. Ammonium.” *Journal of Applied Phycology*. 14(5): 375-384.
- [16] Hoffmann, E., Astrup, J., Larsen, F. & Munch-Petersen, S.2000. Effects of marine wind farms on the distribution of fish, shellfish and marine mammals in the Horns Rev area.

- Danish Institute for Fisheries Research. Charlottenlund. Report Nr. Baggrundsrapport nr 24. 42
- [17] Kain, J.M. 1991. Cultivation of attached seaweeds. In: Seaweed resources in Europe: uses and potentials. Eds. M.D. Guiry & G. Blunden. John Wiley & Sons Ltd, Chichester: 309-377.
- [18] Kamermans, P., E-j. Malta, J.M. Verschuure, L. F. Lentz & L. Schrijvers (1998). The role of cold resistance and burial for winter survival and spring initiation of an *Ulva* spp. (Chlorophyta) bloom in a eutrophic lagoon (Veerse Meer lagoon, The Netherlands). *Mar. Biol.* 131: 45-51.
- [19] Kamermans, P., E-j. Malta, J. M. Verschuure, L. Schrijvers, L. F. Lentz & A. Tjin A Lien (2002). Effect of grazing by isopods and amphipods on growth of *Ulva* spp.(Chlorophyta). *Aquat. Ecol.* 36: 425-433.
- [20] Kawamata, S. (2001). "Effect of waves on grazing by sea urchins and abalone on the coast of northern Japan." *Bulletin of Fisheries Research Agency.* [print] December 2001;(1): 59-107.
- [21] Krom, M.D., S. Ellner, J. van Rijn & A. Neori (1995). Nitrogen and phosphorus cycling and transformations in a prototype 'non-polluting' integrated mariculture system, Eilat, Israel. *Mar. Ecol. Prog. ser.* 118: 25-36.
- [22] Laws, E.A. and J.L. Berning, 1991. Photosynthetic efficiency optimization studies with the macroalga *Gracilaria tikvahiae*: Implications for CO₂ emission control from power plants. *Bioresource Technology* 37: 25-33.
- [23] Lee, W. Y. and W. X. Wang (2001). "Metal accumulation in the green macroalga *Ulva fasciata*: effects of nitrate, ammonium and phosphate." *Science of the total environment* 278(1-3): 11-22.
- [24] Liu, J. W. and S. L. Dong (2001). "Comparative studies on utilizing nitrogen capacity between two macroalgae *Gracilaria tenuistipitata* var. *liui* (rhodophyta) and *Ulva pertusa* (chlorophyta) II. Feedback controls of intracellular nitrogen pools on nitrogen uptake." *Journal of environmental sciences china* 13(3): 323-327.
- [25] Lobban, C.S. & P.J. Harrison. 1994. *Seaweed ecology and physiology*. Cambridge University Press. Cambridge, 366 pp.
- [26] Malta E.-j. & J.M. Verschuure, 1997. Effects of environmental variables on between-year variation of *Ulva* growth and biomass in a eutrophic brackish lake. *J. Sea Res.* 38: 71-84.
- [27] Malta, E-j., S.G.A. Draisma & P. Kamermans (1999). Free-floating *Ulva* in the Southwest Netherlands: species or morphotypes? A morphological, molecular and ecological comparison. *Eur. J. Phycol.* 34: 443-454.
- [28] Martinez Aragon, J. F., I. Hernandez, et al. (2002). "Biofiltering efficiency in removal of dissolved nutrients by three species of estuarine macroalgae cultivated with sea bass (*Dicentrarchus labrax*) waste waters 1. Phosphate." *J. Applied Phycology.* 14(5): 365-374.
- [29] Marx, P. 2004. Polypropyleen uit Sneek is ultrasterk, *Technisch Weekblad* 26-11-2004, p.7.
- [30] McDermid, K. J. and B. Stuercke (2003). "Nutritional composition of edible Hawaiian seaweeds." *Journal of Applied Phycology* 15(6): 513-524.
- [31] McDermid K.J. & B. Stuercke. 2004. A comparison of the nutritional content of Hawaiian *Gracilaria* species. In: *Taxonomy of economic seaweed*, I.A. Abbott & K.J. McDermid eds. Hawaii Sea Grant Publication E8004 02 Plant.
- [32] Neori, A., M. Shpigel & D. Ben-Ezra (2000). A sustainable integrated system for culture of fish, seaweed and abalone. *Aquaculture* 186: 279-291.
- [33] Peeters, J.C.H., I. De Vries & H.A. Haas. 1999. *Eutrofiering en productiviteit in de Noordzee. Rapport RIKZ-99.008.*
- [34] Perez, R et al. 1997. Ces algues qui nous entourent. Conception actuelle, role dans la biosphere, utilisations, culture. Editions Ifremer. ISBN 2-905434-75-9. 272 pp.

- [35] Porrello, S., M. Lenzi, et al. (2003). "Reduction of aquaculture wastewater eutrophication by phytotreatment ponds system: II. Nitrogen and phosphorus content in macroalgae and sediment." *Aquaculture* 219(1-4): 531-544.
- [36] Schuenhoff, A., M. Shpigel, et al. (2003). "A semi-recirculating, integrated system for the culture of fish and seaweed." *Aquaculture* 221(1-4): 167-181.
- [37] Shpigel, M. & A. Neori (1996). The integrated culture of seaweed, abalone, fish and clams in modular intensive land-based systems: I. Proportions of size and projected revenues. *Aquacultural Engineering* 15: 313-326.
- [38] Smit, A. J. (2002). "Nitrogen uptake by *Gracilaria gracilis* (Rhodophyta): Adaptations to a temporally variable nitrogen environment." *Botanica marina* 45(2): 196-209.
- [39] Stolte, E. (2004). Integrated aquaculture systems: four project examples. In: *Zee in zicht. Zilte waarden duurzaam benut*. Red. E. Luiten, STT/Beweton publicatie nr. 67: 250-260.
- [40] Taylor, R., R. L. Fletcher, et al. (2001). "Preliminary studies on the growth of selected 'green tide' algae in laboratory culture: Effects of irradiance, temperature, salinity and nutrients on growth rate." *Botanica Marina*. 44(4): 327-336.
- [41] Torres, A. I., M. N. Gil, et al. (2004). "Nutrient uptake rates by the alien alga *Undaria pinnatifida* (Phaeophyta) (Nuevo Gulf, Patagonia, Argentina) when exposed to diluted sewage effluent." *Hydrobiologia* 520(1-3): 1-6.
- [42] Troell, M., C. Halling, A. Nilsson, A.H. Buschmann, N. Kautsky & L. Kautsky 1997. Integrated marine cultivation of *Gracilaria chilensis* (Gracilariales, Rhodophyta) and salmon cages for reduced environmental impact and increased economic input. *Aquaculture* 156: 45-61.

3. OFFSHORE windparken en mogelijkheden voor combinatie met zeewierenteelt

3.1 Offshore windenergie in Nederland

De Nederlandse overheid stimuleert grootschalig gebruik van windenergie voor het duurzaam opwekken van elektriciteit. In Nederland is de mijlpaal van 1.000 MW op land opgesteld windvermogen bereikt in augustus 2004 (<http://home.planet.nl/~windsh/statistiek.html>). Deze mijlpaal is bijna 4 jaren later bereikt dan gepland. Procedures en planning tijdens de ontwikkeling van deze onshore projecten waren in veel gevallen tijdrovend en moeizaam. Nederland is een dichtbevolkt land met weinig vrije ruimte.

De toepassing van windenergie op zee is nu een belangrijk onderdeel van het beleid. Aanzet voor dit beleid is het Kyoto protocol opgesteld tijdens de Klimaatconferentie in 1997, waar afspraken over beperking van de uitstoot van broeikasgassen zijn gemaakt. Offshore windenergie, met haar enorme potentieel, wordt naast biomassa als een belangrijke energiebron gezien die hierin een significante bijdrage kan leveren.

Om offshore windenergie te ontwikkelen is de bouw van het demonstratieproject Near Shore Windpark (NSW) een eerste stap. Het doel is om hiermee kennis en ervaring op te doen die nodig is voor het bouwen en exploiteren van grote windparken op zee. Daarnaast maakt de overheid de weg vrij voor de realisatie van 6.000 MW offshore windenergie in het jaar 2020. Het eerste plan dat concreet op zee uitgevoerd gaat worden is de realisatie van het Q7 park door Econcern en Energy Investments Holding (EIH). Het NSW en het Q7 park zullen volgens de huidige planning in 2006 worden gerealiseerd.

Op 31 december 2004 is het verbod op windturbineparken op zee opgeheven, waardoor het mogelijk is geworden om een vergunning voor de bouw van een windturbinepark aan te vragen (http://www.noordzeeloket.nl/activiteiten_op_zee/windenergie/). Voor windenergie op zee geldt letterlijk: 'wie het eerst komt, het eerst maalt'. Degene die als eerste een complete vergunningaanvraag voor een windturbinepark in de Noordzee indient, inclusief een milieueffectrapportage MER, krijgt een vergunning om op de aangevraagde locatie zo'n windturbinepark te mogen bouwen. Naar verwachting van Rijkswaterstaat zullen in de komende jaren ongeveer 15 tot 20 windturbineparken op zee worden gebouwd. Dit zal ongeveer 1 procent van de totale oppervlakte van het Nederlands Continentaal Plat innemen.

In de eerste maanden van 2005 zijn diverse nieuwe initiatieven voor windturbineparken gelanceerd. De actuele stand van zaken wordt door Rijkswaterstaat bekend gemaakt via: http://www.noordzeeloket.nl/activiteiten_op_zee/windenergie/Stand_van_zaken/. RWS geeft hier aan voor welke initiatieven MER startnotities zijn gepubliceerd inclusief actuele geografische informatie. De website geeft ook informatie over de vervolgstappen in de procedure per initiatief (richtlijnen, aanvraag, etc.) en de stand van zaken in eventuele beroepsprocedures.

3.2 Het Near Shore Windpark (NSW)

Het NSW demonstratieproject is bedoeld om kennis en ervaring op te doen, waarmee het mogelijk is op termijn verder op zee grote windenergieprojecten te kunnen realiseren. Het NSW is gepland ter hoogte van Castricum en Egmond aan Zee op minimaal acht kilometer uit de kust, binnen de territoriale wateren. Om technisch-economische risico's zoveel mogelijk te vermijden, wordt het gebouwd in relatief ondiep water (10 - 15 m) en dicht bij de kust. In plaats van offshore wordt daarom in dit geval gesproken van near shore. Het windpark krijgt een

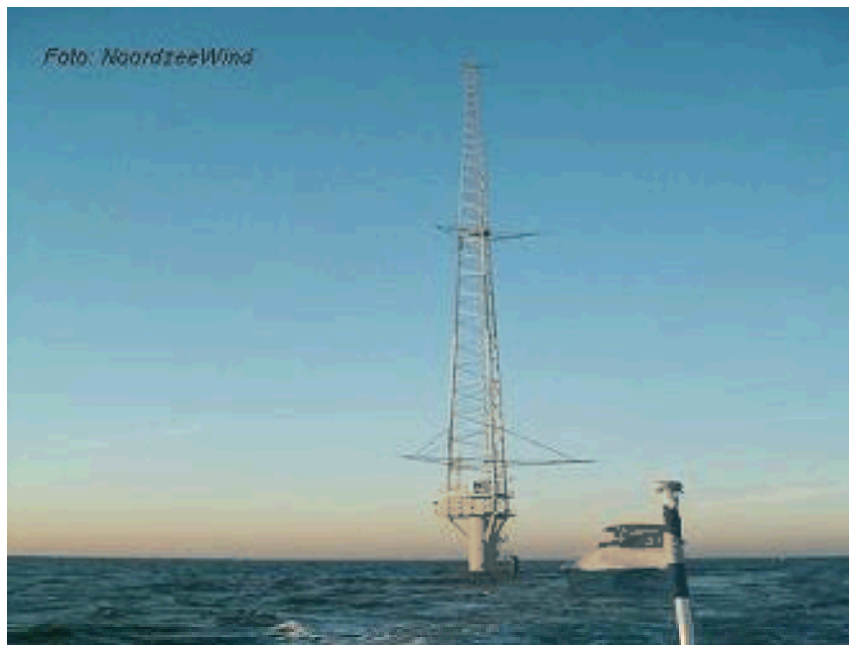
elektrisch vermogen van 100 MW, oorspronkelijk opgebouwd uit 36 turbines van 2,75 MW. (Gezien het feit dat de turbinefabrikant Vestas uit Denemarken Neg-Micon heeft overgenomen, bestaat er een reële kans dat een ander type turbine, van ongeveer gelijke omvang, zal worden gekozen.) Het is een tijdelijk en eenmalig project dat wordt gerealiseerd voor een periode van 20 jaar. In die tijd worden metingen gedaan aan technische, economische en ecologische aspecten (Monitoring- en Evaluatieprogramma MEP; zie 3.4). Na 20 jaar wordt het park weer verwijderd.

Het consortium NoordzeeWind (Shell Wind Energy B.V. en N.V. Nuon Duurzame Energie) gaat het NSW bouwen en exploiteren. De investering bedraagt ongeveer € 200 miljoen. De rijksoverheid ondersteunt het project met een subsidie van € 27 miljoen vanuit het CO₂-reductiebeleid. www.offshorewindenergie.novem.nl/

Korte tijd geleden werd nog verwacht dat het park zomer 2005 operationeel zou zijn. Door het indienen van bezwaarschriften door de Stichting Duinbehoud en de Stichting Vogelwacht Egmond is deze planning vertraagd. Eind november 2004 heeft Stichting Duinbehoud haar bezwaarschrift ingetrokken [11]. Medio januari 2005 heeft de Hoge Raad de bezwaren van de Stichting Vogelwacht Egmond verworpen¹. Gezien de laatste ontwikkelingen wordt de bouw van het park niet eerder verwacht dan 2006.

NoordzeeWind plaatst meetmast NSW (18 december 2003)

Voor de kust van Egmond aan Zee is begin december 2003 een 116 meter boven de zeespiegel uitstekende meteorologische meetmast geplaatst. Zie Figuur 3.1. De mast is een voorbode van het Near Shore Windpark dat NoordzeeWind daar wil gaan aanleggen.



Figuur 3.1 De meteomast bij het toekomstige NSW park 15 km uit de kust bij Egmond aan Zee

De meetmast gaat gegevens verzamelen over windsnelheid en -richting, luchttemperatuur en -druk, stromingssnelheid van het zeewater en golfhoogte. NoordzeeWind zal de resultaten gebruiken om inzicht te krijgen in de invloeden van weer en wind op het toekomstige park en de te verwachten opbrengst van het park. Ook tijdens de exploitatiefase zal NoordzeeWind de

¹ De Vogelwacht Egmond eiste een adequaat meetsysteem, dat de aantallen vogels in kaart moet brengen die door de wiken van de windturbines sneuvelen. Dit werd door de Raad van State niet als doorslaggevend argument gezien, omdat momenteel een aantal nieuwe meetsystemen in ontwikkeling is [11].

meetmast inzetten voor diverse metingen die worden uitgevoerd in het kader monitoring- en evaluatieprogramma (MEP NSW) [9].

3.3 Het Q7 offshore windpark

In 1998 is E-Connection, gevestigd in Bunnik, gestart met de ontwikkeling van windparken buiten de territoriale wateren op het Nederlands Continentaal Plat NCP. In december 1999 heeft E-Connection aanvragen ingediend bij het Ministerie van Verkeer en Waterstaat voor vergunningen van zeven offshore windparken. Op toenmalig verzoek van het Ministerie heeft E-Connection zes aanvragen ingetrokken. In juni 2001 is het MER (Milieu Effect Rapport) voor de 120 MW Offshore windparken Q7-WP en Q4-WP gereed gekomen. In februari 2002 zijn de vergunningen voor het Offshore windpark Q7-WP verleend.

Medio december 2004 hebben Econcern en Energy Investments Holding (EIH)¹ overeenstemming bereikt met E-Connection om de vergunningen en alle overige rechten voor het Q7 Windpark over te nemen. Econcern verwacht dat de samenwerking met partijen uit de financiële en energiesector de realisatie van het park een belangrijke stap dichterbij brengt (http://www.e-concern.com/cms/download/041215_Q7_Econcern_NL.pdf). Wanneer de vergunningen en alle overige rechten zijn overgedragen zal de bouw van het park kunnen aanvangen. E-Connection zal betrokken blijven bij de ontwikkeling van duurzame aquacultures bij Q7-WP, waarbij wordt onderzocht of offshore windparken een goede omgeving vormen voor de kweek van mosselzaad. Volgens Econcern kan in 2005 met de bouw worden gestart en levert het park vanaf medio 2006 elektriciteit aan het Nederlandse net.

Kenmerken van het park

Het park komt buiten de territoriale wateren, op 23 km uit de kust in de Nederlandse Exclusieve Economische Zone, NEEZ, in blok Q7. De waterdiepte is 20 tot 25 m, en de afstand tot het metaansluitpunt op land is 35 km. Zie bijlage A2. Er lopen vanuit het park twee hoogspanningskabels naar de kust. Het park zal bestaan uit 60 Vestas V80-2MW turbines (www.hornsrev.dk) met een totale productie van 430 miljoen kWh/jaar (1425 kWh/m²/jaar), genoeg om ca 142.000 huishoudens in Nederland van elektriciteit te voorzien.

Partners

De partners waarmee het project wordt gerealiseerd zijn: windturbinefabrikant Vestas, Smulders Groep (wereldmarktleider paalfundaties; o.a. voor Deense offshorepark Horns Rev), Fabricom Oil/Gas. Deze laatste is gespecialiseerd in het onderhouden van offshoreplatforms en is verantwoordelijk voor het HV trafostation en het onderhoud van het gehele windpark. De installatie gebeurt door Mammoet/Van Oord.

Vergunning in 2002 verleend, waarom staat het park er nog niet?

De investeringsverplichting is in 2002 aangegaan. Er diende nog aan belangrijke voorwaarden van de financiering voldaan te worden: de fiscale stimuleringsregelingen VAMIL en de regeling Milieukwaliteit Elektriciteitsproductie (MEP). In maart 2001 is een verzoek ingediend voor toepassing van de Vamil en daarop is pas eind 2003 een antwoord ontvangen. In oktober 2003 is de bijdrage vanuit de regeling Milieukwaliteit Elektriciteitsproductie aangevraagd. In mei 2004 is de toezegging hierover eindelijk binnengekomen. Van Groenbeleggen en de CO₂-regeling mag geen gebruik worden gemaakt. Ook bij dit offshore windpark wordt een monitoring MEP programma uitgevoerd dat 5 jaar gaat duren.

¹ Econcern (www.e-concern.com) is een holding waartoe Ecofys, Evelop, Ecostream en Ecoventures behoren. Econcern specialiseert zich in het leveren van kennisintensieve diensten, producten en projecten op het gebied van duurzame energie en energiebesparing in Europa. Energy Investment Holding (EIH) is een internationaal beleggingsfonds dat uitsluitend investeert in productiemiddelen ter opwekking van duurzame energie.

Huidige stand van zaken

Het bodemonderzoek en ander geofysisch onderzoek op locatie en op alle kabelroutes is gereed (uitgevoerd door Fugro BV). Er is een aanzienlijke investering noodzakelijk in verband met scour; dit is het ontgronden rondom de mast door zeestromingen. Bij een waterloopkundig laboratorium in Engeland is hiervoor schaalmodelonderzoek gedaan in een stroomgoot. Hun opgedane kennis was erg waardevol.

Verder zullen langs het strand van Noord-Holland vogels worden geteld met medewerking van de Windbreker; een vogelclub uit Petten die al jaren tellingen verricht. Dit lopend onderzoek wordt de komende jaren gecontinueerd. Als er grotere aantallen vogels aanspoelen dan tot nu toe het geval was (door stookolie), dan wordt gekeken of dit door de windturbines komt (post-mortem-onderzoek). In elk geval is dit een extra informatiebron naast slachtofferonderzoek op het park zelf. De verwachting is dat er geen groot effect zal zijn, maar dit aspect moet goed in de gaten worden gehouden.

Mosselzaad experiment

Los van het MEP gaat E-connection een heel ander experiment uitvoeren met netten rondom de fundatiepalen van de windturbines en de mogelijkheid om hiermee mosselzaad te oogsten. De palen van windturbines staan in de zee en zullen begroeid raken met o.a. mosselen. TNO heeft bedacht dat als je een net rond de palen spant en die periodiek schoonmaakt, mosselen kunnen worden geoogst. Het gaat om mosselzaad (jonge mosselen) die je dan vervolgens kunt uitzaaien op de mosselpercelen. E-connection zal een jaar na de bouw van Q7-WP de netten bevestigen en mosselzaad gaan oogsten.

Naast de plannen voor de netten rond de turbines zijn er ook ideeën voor de kweek van mosselen aan drijvende structuren tussen windturbines. Stichting De Noordzee houdt beide ontwikkelingen in de gaten in verband met mogelijke negatieve gevolgen voor het mariene milieu. De RWS Directie Noordzee is ook betrokken bij de monitoring.

3.4 Het monitoring- en evaluatieprogramma (MEP)

De overheid heeft aan de realisatie van het NSW een verplichting verbonden om op uitgebreide schaal de technische, economische en milieuaspecten te monitoren. Dit staat beschreven in het MEP-NSW (Monitoring- en Evaluatie Programma) [9]. Hoofdonderwerpen in dit monitoringprogramma zijn conform het PKB:

1. Techniek en economie
2. Natuur, milieu en gebruiksfuncties.

De functie van het MEP is het registreren van economische, technische, ecologische en maatschappelijke effecten van offshore windparken. De monitoring wordt uitgevoerd door de exploitant en de resultaten (openbare deel daarvan) komen via de overheid beschikbaar aan toekomstige exploitanten van windparken.

Aspecten in het NSW die van belang zijn voor de combinatie van zeewierenteelt en offshore windparken zijn:

- Invloed van corrosieve condities (maritieme omstandigheden) op de constructies plus inzicht van het effect van corrosiebescherming.
- Invloed van biologische aangroei op de constructie; dit is ook potentieel van toepassing op zeewier productiesystemen.
- Ontwerpcondities met betrekking tot bliksemingslag.

Verder wordt er nog een en ander gemeten betreffende stroming en golfhoogte.

Daarnaast heeft Stichting De Noordzee zich samen met Stichting Natuur en Milieu vanaf het najaar van 2001 o.a. in een Kamerdebat sterk gemaakt voor een uitgebreid

onderzoeksprogramma voor Q7-WP, vergelijkbaar met dat voor het NSW. Ook schreven de beide organisaties dit in brieven aan de Ministeries van EZ en VenW. Daarvoor zou ook extra financiering moeten worden vrijgemaakt door de overheid.

MEP Q7-WP

Het MEP voor Q7-WP is nog steeds niet vastgesteld. Er wordt nog onderhandeld met het Ministerie van Verkeer en Waterstaat over de precieze invulling. Een deel van de nulmetingen wordt al wel uitgevoerd via de nulmetingen die voor het NSW worden gedaan. Stichting De Noordzee hoopt dat binnenkort het MEP zal worden vastgesteld, zodat op een goede manier met onderzoek kan worden begonnen en de nulmetingen compleet worden uitgevoerd. Een groot deel van de MEP voor Q7-WP wordt getenderd en de looptijd is naar verwachting tot 2010.

In één of beide Monitoring en Evaluatie Programma's zouden tests met experimentele zee-wiarteeltsystemen kunnen worden meegenomen.

3.5 Implementatie offshore windparken op de Noordzee

Algemeen

In de NEEZ (Nederlandse Exclusieve Economische Zone) zijn veel activiteiten gaande. In [1] is uitgezocht waar de diverse bestaande activiteiten plaatsvinden waardoor op die locaties geen offshore windparken kunnen worden toegepast. In Bijlage 3.1 is een kaart met deze zogenaamde 'uitsluitingsgebieden' weergegeven inclusief bijbehorende legenda. Deze figuur illustreert dat het op de Noordzee zeer druk is. Dit patroon zet zich voort richting Duitse Bocht en in het zuiden langs de Belgische Kust.

Op basis van deze kaart is een kaart van de Noordzee, relatief dicht bij de kust gemaakt, waarin is aangegeven waar wel offshore windturbineparken, met een minimale omvang van 50 MW, kunnen worden gerealiseerd (Bijlage 3.2). Dit zijn de locaties die in eerste instantie voor windenergie in aanmerking komen omdat het relatief ondiep water betreft en de afstand tot de kust beperkt is. Onderwaterconstructies en aansluiting op het elektriciteitsnet vormen naast de turbines de belangrijkste onderdelen van de projectkosten. Ter illustratie zijn in Bijlage 3.3 de waterdieptes in de Nederlandse EEZ weergegeven.

Zie ook: http://www.windopzee.nl/default.asp?DOC_ID=115400 voor invulling van de Noordzee kaarten volgens het Ministerie van EZ.

Typen ondersteuningsconstructies voor windturbines.

Globaal kunnen er vier typen offshore fundaties worden onderscheiden (Fig 3.2 t/m 3.6):

1. Fundering op basis van gewicht (gravity based foundation), vaak beton;
2. Buismasten (Monopile) die in de ondergrond (zeebodem) worden gedreven;
3. Driepoot (Tripod) constructie die in principe op de zeebodem worden geplaatst en vastgezet met heipalen of zuigankers;
4. Drijvende constructies die door middel van kettingen aan de bodem zijn verankerd.

Globaal kan worden gesteld dat:

1. De funderingen door middel van gewicht tot maximaal 10 m waterdiepte worden toegepast.
2. De monopile in wateren tot maximaal 30m worden toegepast.
3. De driepoot in waterdieptes van ca 40 m diepte, en
4. Drijvende constructies pas bij 50 m en meer interessant worden [3].

Daarnaast is het type ondersteuningsconstructie ook afhankelijk van de lokale bodemgesteldheid.

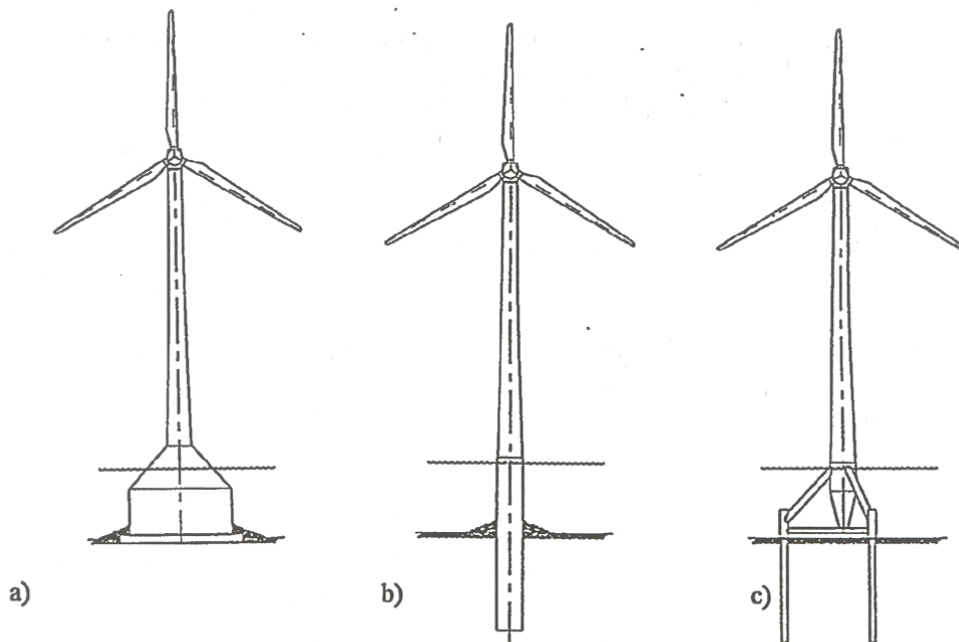


Figure 2 The three basic concepts as envisioned at project start. a) Concrete gravity foundation, b) Steel mono pile and c) Steel tripod

Figuur 3.2 Weergave van de drie meest voorkomende offshore ondersteuningsconstructies [2, 5]



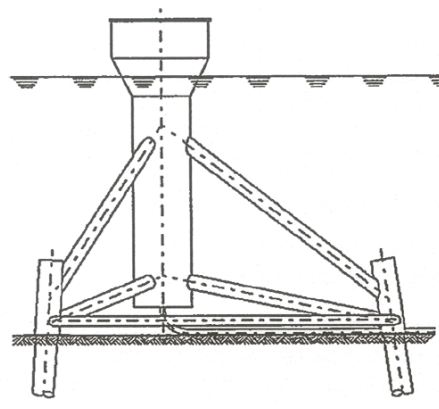
Figuur 3.3 Betonnen fundatie offshore turbines Middelen (bij Kopenhagen)



Figuur 3.4 Artist impression van een drijvende ondersteuningsconstructie [3]



Figuur 3.5 *Suction Bucket (zuiganker) voor een 3MW turbine in Denemarken. Bij toepassing van zuigankers zijn heipalen niet meer nodig*



Figuur 3.6 *Driepoot constructie die met heipalen op de zeebodem is verankerd [2]*

In het overzicht van gerealiseerde offshore projecten (Bijlagen 3.4 en 3.5) zijn de typen funderingen vermeld die tot nu toe zijn of in toekomstige projecten worden toegepast. Het gaat hierbij vooral om gravity based en monopaal fundaties. Bij sommige geplande offshore parken wordt gerekend aan Tripod constructies (<http://home.planet.nl/%7Ewindsh/offshore.html>). De offshore windenergieprojecten die zijn uitgevoerd of die nu worden gepland staan weergegeven in een kaart van Europa volgens Bijlage 3.6.

Vergunningverlening

Voor de bouw, exploitatie en ontmanteling van een offshore windpark op het NCP Nederlandse continentale plat:

1. is een concessie voor de locatie vereist <http://www.noordzeeloket.nl/>
2. zijn vergunningen nodig in het kader van de Wet Beheer Rijkswaterstaatwerken (WBR) en de Wet Milieubeheer (WM)
3. moet er een MER procedure worden doorlopen.

Het Ministerie van Verkeer en Waterstaat (RWS directie Noordzee) coördineert en de Minister is het bevoegde gezag. De vergunningen worden verleend door de Minister van V en W, in overeenstemming met de Minister van VROM.

Per 31-12-2004 is het moratorium op de vergunningverlening voor offshore windturbineparken opgeheven en is de NEEZ weer opengesteld voor aanvragen voor windparken op zee en zullen de daarvoor herziene beleidsregels van kracht worden.

De RWS Directie Noordzee is vergunning verlenend voor aquacultuuractiviteiten op de Noordzee (Zie Hoofdstuk 7). Van groot belang is dat er een harmonisatie tussen de eventueel verschillende werelden van energieopwekking en 'visserij/aquaculture' wordt bewerkstelligd waardoor effectieve regelgeving kan worden opgesteld. Beide activiteiten hebben offshore constructies nodig en zouden in één vergunning geregeld moeten kunnen worden. Volgens Buck [7] is dit punt in Duitsland, één van de belangrijkste drempels om de gezamenlijke activiteiten uit te kunnen oefenen. Voor verdere informatie wordt verwezen naar de website http://www.noordzeeloket.nl/activiteiten_op_zee/windenergie/.

3.6 Lay-out offshore windturbineparken

Algemeen

Offshore parken bestaan uit windturbines die in één enkele rij, of meerdere rijen achter elkaar staan opgesteld. De rijen staan meestal loodrecht op de dominante windrichting (voor Nederland en de Noordzee is de dominante windrichting Zuidwest).

De park-lay-out wordt daarnaast ook bepaald door de bekabeling tussen de turbines en de condities van de ondergrond.

Spacing en grootte van windparken

Turbines in een parkopstelling staan op enige afstand van elkaar. Die afstand wordt bepaald op basis van onderlinge beïnvloeding door het zog (verstoorde wind achter de turbines) en extra kosten door langere kabels. Op zee is het zog, door de relatief lage atmosferische turbulentie, stabiel en dan op land; de afstand tussen de rijen is daarmee groter dan op land. In de huidige praktijk is 10* de rotordiameter van de turbine, als afstand tussen de rijen onderling een goede maat. De afstand tussen de turbines in de rij is ca. 7* de rotordiameter. Andere ruimtelijke indelingen worden echter ook toegepast.

Voor de huidige parken, bestaande uit turbines met 100 m rotordiameter, betekent dit dat de onderlinge afstanden tussen de turbines 700 - 1.000 m bedraagt. Voor toekomstige parken met turbines van 6 MW en rotordiameters van 130 m [4], moeten onderlinge afstanden van 1 - 1.3 km worden aangehouden.

Turbines die nu zijn gepland in het NSW en bij Q7 hebben een rotordiameter van 90 en 80 m, de rotorhoogte is 70 en 80 m. Voor de toekomst worden turbines ontworpen met rotordiameters van 130 m en rotorhoogten van 100 m. De omvang van de toekomstige parken zal variëren maar zullen minimaal 100 - 200 MW bedragen en uitgroeien naar windparken van 500 - 600 MW. Dan hebben we te maken met windparken die in omvang ongeveer 25 km² nu, tot ca 100 km² in de toekomst beslaan.

Voor de geplande 6.000 MW op zee is dan ook een totaal oppervlak van ruim 1.000 km² nodig.

Toegankelijkheid

Ten behoeve van het reguliere bedrijf en onderhoud moeten de windturbines offshore bereikbaar zijn. Een aanlandingssysteem maakt het mogelijk om mensen via schepen direct bij turbines te brengen. Daarnaast komt het voor dat grote hefwerkvaartuigen langsrij moeten kunnen varen in verband met een eventuele reparaties aan de rotor of gondel.

In het grote offshore park te Hornsrev (DK) (<http://www.hornsrev.dk/>) worden personen en klein materieel met behulp van helikopters naar de turbines vervoerd. Recent (2004) groot onderhoud in dit park laat zien dat een hefwerkvaartuig bij elke turbine langsrij en op de bodem afgesteund moet kunnen komen. Bij het ontwerp van zeevier productiesystemen, in combinatie met offshore windparken, moet hiermee rekening worden gehouden.

3.7 Combinatie van offshore windparken en zeevierenteelt

Algemeen

Biomassa is een belangrijke Duurzame Energie (DE) bron; ook in het overheidsbeleid. Ook voor deze DE bron geldt dat landgebonden productie beperkt is en met behulp van aquacultures (zeewieren en algen) grote aanvullende productiearealen voorhanden zijn.

De combinatie van offshore windenergieopwekking en zeevierproductie lijkt dan ook een interessante optie. Gecombineerde activiteit is in elk geval wel een punt waarover nu al wordt nagedacht. De mosselkwekers hebben reeds aansluiting gezocht (zie paragraaf 3.3) in het Q7 park.

Extra belastingen

De combinatie van offshore windparken met andere Duurzame Energie bronnen is tot nu toe niet bekend. In [7 en 8] zijn de eerste serieuze studies over dit onderwerp vastgelegd.

Ervaring met het kweken van zeewier bestaat tot nu toe alleen op relatief kleine schaal. In [7 en 8] zijn mogelijke zeewierproductiesystemen beschreven en een eerste experiment is uitgevoerd. De ondersteuningsconstructies voor windturbines kunnen in principe dienen voor verankering van structuren voor zeewierenteelt.

Indien op grote schaal dit soort systemen aan turbines worden gekoppeld zullen extra belastingen op die turbineconstructie worden uitgeoefend ten gevolge van de stroming van het zeewater, gewichten van de groeisystemen, hulpsystemen, etc. Algemene stromingsgegevens voor de Noordzee zijn weergegeven in [10]. Daarnaast zal bij het ruimtelijk ontwerp de toegankelijkheid van de turbines ten behoeve van bedrijf en onderhoud moeten worden gewaarborgd.

Combinaties met aquacultuur

In het Bio-Offshore project moeten de funderingsconstructies en de mogelijke zeewier productiesystemen met elkaar worden verbonden. Belangrijke vragen die in toekomstige ontwerpfasen van belang zijn:

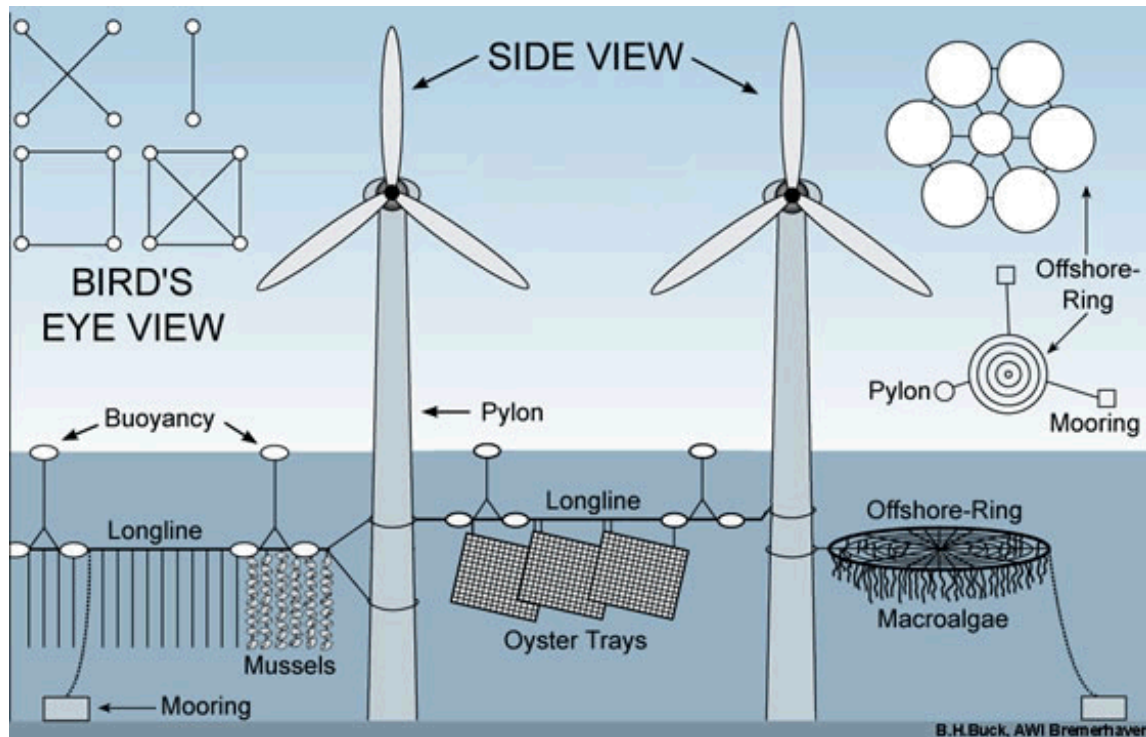
- Welke minimale waterdiepte is er nodig voor de teelt van zeewieren?
- Welke omvang hebben deze constructies, en welke extra belastingen heeft dit tot gevolg?
- Welke additionele voorzieningen zijn nodig aan de windturbine ondersteuningsconstructie?
- Welke locaties op zee zijn voor de gecombineerde activiteiten geschikt?

In [7 en 8] worden door Buck enkele voorbeelden gegeven van nu gebruikte systemen voor zeewierproductie en mogelijke oplossingen voor gecombineerde wind- en aquaculture systemen. Globaal zijn dit nu systemen met lange lijnen en/of ringconstructies [8]. De benodigde infrastructuur om grootschalige offshore activiteiten te ontplooiën omvat:

1. **Voor windparken:** Uitvalshaven, schepen ten behoeve van beheer en onderhoud, hefwerkvaartuigen (installatie, groot onderhoud en ontmanteling), trafostations op zee en op land, overlevingsfaciliteiten.
2. **Voor aquacultures:** Schepen uitgerust (met onder andere een kraan) voor uitzetten van nieuwe planten en oogsten van volgroeide wier. Voorstelbaar is dat de oogst reeds bij het binnenhalen wordt versnipperd en van overtollig water wordt ontdaan. Dit wordt des te meer van belang indien de afstand tot de kust groot is. Daarnaast is op land een faciliteit nodig voor de opkweek van jonge planten en een daarvoor toegerust laboratorium.
3. **Combinatie windparken en zeewierenteelt:** In een gecombineerd windpark met aquaculture, van grote schaal, dienen de schepen meerdere functies te kunnen vervullen. Daarnaast is het voorstelbaar dat een aanwezig platform, voor bijvoorbeeld een trafostation in het park, ook dienst doet als basis voor oogst en/of extra bewerkingen van geoogst materiaal (bijv. een eerste bewerkings- en/of ontwateringsstap), het uitzetten van nieuwe groeisystemen en als overlevingsstation. Ook de uitvalsbasis aan land kan voor beide doelen worden opgebouwd. Planning van activiteiten, voorbereiding van onderhoud turbines en groeisystemen, opslag van geoogst materiaal, etc. Bevestigingsmogelijkheden aan windturbine onderwaterconstructies moeten worden ontworpen samen met die van zeewierproductiesystemen.

3.8 Synergie tussen Windparken en Aquacultures

Het combineren van offshore windparken en “open ocean” aquacultures kan volgens Buck [7] resulteren in punten van synergie en daaruit voortvloeiende kostenbesparingen. Langs deze weg kan effectief, meervoudig ruimtegebruik op zee worden gerealiseerd (Figuur 3.7).



Figuur 3.7 Mogelijkheden voor meervoudig ruimtegebruik door combinatie van offshore windparken met verschillende vormen van aquacultuur. De figuur toont in zij- en bovenaanzicht de combinatie van windturbines met een “longline” systeem voor teelt van mosselen of oesters en een ringsysteem voor zeewierenteelt [12]

De belangrijkste punten van potentiële synergie zijn:

1. **Gezamenlijk beheer en onderhoud.** Daarbij kan gedacht worden aan de toepassing van specifieke vaartuigen die voor beide activiteiten geschikt zijn. Bijvoorbeeld onderhoud aan turbines en zeewier groeisystemen, oogsten en eerste bewerking van deze oogst (ontwateren). Centralisatie van aanvoer- en onderhoudsactiviteiten is meer kosteneffectief. Hiertoe zouden bijvoorbeeld bestaande vissersschepen kunnen worden omgebouwd. In de toekomst kan gedacht worden aan speciaal voor deze toepassing ontworpen vaartuigen.
2. **Opleiding van personeel en personele capaciteit.** Vissers en aanverwante personen, bekend met de offshore condities, kunnen worden omgeschoold tot onderhoudsmonteurs van windturbines, en omgekeerd. Zij kunnen voor beide activiteiten werkzaamheden uitvoeren. Bijkomend voordeel is dat tegenstanders uit de visserijbranche daarmee deelgenoot worden en de offshore activiteiten bevorderen. Het personeel is voor meerdere activiteiten inzetbaar waarmee de efficiëntie wordt vergroot.
3. **Gebruik van offshore constructies voor meerdere doeleinden.** Het op de plaats houden van aquaculture structuren is nu technologisch gezien nog niet goed opgelost. Funderingsconstructies van offshore windparken vormen een goedkoop alternatief voor het bevestigen van lijnen, kooien of ringconstructies. Tevens kunnen windturbineplatforms worden gebruikt als opslagbasis voor onderhoudsgereedschappen, e.d.

4. **Gezamenlijk MER en vergunningstraject.** Beide activiteiten kunnen in een gezamenlijke MER studie worden ondergebracht waardoor veel tijd en geld wordt bespaard. Indien de locatie verboden gebied wordt voor de visserij, ontstaat er een gebied voor kuitschieten en kweek van onderwater flora en fauna. Vanuit Natuur en Milieu oogpunt zou dit zeer wenselijk zijn. Vanuit deze hoek worden er ook al oproepen gedaan om bepaalde gebieden in de Noordzee af te sluiten voor visserij, waarmee de vissen plaatsen (reservaten) krijgen om in aantallen te herstellen.
5. **Sluiting voor scheepvaartverkeer.** Indien het gebied verboden is voor alle vaarverkeer (er zijn dan naast de turbines talloze andere constructies aanwezig) wordt de kans van scheepaanvaringen met turbines of aquaculture systemen veel kleiner. Dit heeft positieve consequentie voor verzekeringspremies e.d.
6. **Toepassing van grotere aquacultuur constructies,** dan tot nu toe gebruikt in ondiepe wateren vlak bij de kust, zal een meer economische exploitatie mogelijk maken.

3.9 Referenties Hoofdstuk 3

- [1] S.A. Herman en J.T.G. Pierik, Locaties en Opwekkosten van 6.000 MW Offshore Windenergie; Revisie maart 2004, Rapport ECN-CX--04-051, maart 2004-06-30.
- [2] Carl Birek; e.a., Cost-efficient foundation structures for large offshore wind farms, Paper OWEMES 97 Conference on Offshore Wind Energy in Mediterranean and other European Seas, Sardinia Italy, 10-11 April 1997.
- [3] B.H. Bulder; e.a., Floating offshore wind turbines for shallow water, Presented at the European Wind Energy Conference, EWEC 2003, in Madrid, Spain, 16-19 June, 2003; PBD: June 2003.
- [4] H.B. Hendriks and M. Zaaijer, DOWEC; Executive summary of the public research activities, January 2004.
- [5] Course Technology of Offshore Wind Energy; Integrated Design of Offshore Wind TURbines and Offshore Wind Farms, DUWIND; Delft University Wind Energy Research Institute 23 and 24 October 2003.
- [6] Website Jaap Langebach WXS: <http://home.wxs.nl/~windsh/>.
- [7] Buck B.H. e.a.. Extensive open ocean aquaculture development within wind farms in Germany: the prospect of offshore co-management and legal constraints, *Ocean & Coastal Management* 47 (2004) 95-122.
- [8] Buck, B.H. Open Ocean Aquaculture und Offshore Windparks. Eine Machbarkeitsstudie über die multifunktionale Nutzung von Offshore-Windparks und Offshore-Marikultur im Raum Nordsee, *Berichte zur Polar- und Meeresforschung* 412, 2002.
- [9] Monitoring- en evaluatieprogramma Near Shore Windpark (MEP-NSW), oktober 2001, Min. EZ, Min. VROM, Min. V&W, Min. LNV.
- [10] WIND and WAVES; Study within DOWEC project. W. Bierbooms; Univ. of Delft; section Wind Energy. <http://www.ecn.nl/wind/other/dowec.html>
- [11] Hoge Raad: Vergunning Windmolens kust Egmond. NRC, donderdag 13 januari 2005.
- [12] Website Alfred Wegner Institute <http://www.awi-bremerhaven.de/Biomeer/aquaculture-top01-e.html>

4. Verwerking van zeewieren tot producten en energiedragers

4.1 Oogst en transport

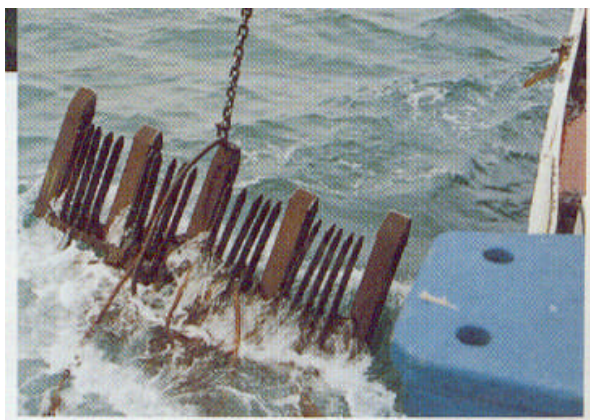
Het periodiek oogsten van zeewierenbiomassa kan mechanisch worden uitgevoerd met behulp van daarvoor toegeruste schepen. De methode is afhankelijk van de geteelde soort. De oogst van opdrijvende soorten zoals *Macrocystis* kan plaatsvinden door het periodiek afmaaien van de bovenste 1 à 2 meter onder het wateroppervlak. Voor de oogst van *Macrocystis* (“giant kelp”) populaties voor de Californische kust worden speciaal hiervoor ontworpen schepen (“dedicated harvesters”) ingezet (Figuur 4.1). Deze methode is ook toepasbaar voor lijnteeltsystemen met drijvende zeewieren. De lijnen en een deel van de zeewierenbiomassa blijven hierbij op hun plaats zodat de biomassa opnieuw kan uitgroeien.



Figuur 4.1 Oogst van *Macrocystis* met speciaal ontworpen schepen (Kelco Companydesign) [5]

Voor het oogsten van niet-opdrijvende soorten zoals *Laminaria* geteeld aan lijnsystemen, dienen de teeltlijnen met aangehecht zeewier naar het wateroppervlak te worden gebracht en langs het oogstvaartuig geleid (Figuur 4.2).

Mogelijk kunnen de vaartuigen zowel voor het oogsten als voor het “planten” worden gebruikt afhankelijk van het tijdstip van oogsten in het seizoen. In het in de VS geteste *Laminaria-Gracillaria Multicrop system* werd het vaartuig gelijktijdig gebruikt voor oogst en het aanbrengen van beënte lijnen voor het volgende groeiseizoen (Chynoweth 2002).



Figuur 4.2 Systeem voor het oogsten van *Laminaria* in lijnteeltsystemen. Ontwerp: Ifremer [5]

Verwerkingsinstallaties kunnen gelokaliseerd worden op de Maasvlakte en/of in het Eemshavengebied. Het verse zeewier bevat bij oogst 85 - 90 % water en is goed verpompbaar [7]. De biomassa wordt in het oogstschip of in opslagvaartuigen gepompt. Transport naar de wal kan rechtstreeks plaatsvinden of via een “docking site” in het teeltsysteem waar de biomassa wordt overgeladen in vrachtschepen. Afhankelijk van transportafstand en -kosten, en de beoogde biomassatoepassing kan een eerste verwerkingsstap op zee (op schepen of een productieplatform) wenselijk zijn, zoals mechanische ontwatering en/of andere voorbereidingen, zoals verkleinen (zie Hoofdstuk 5). De haalbaarheid daarvan hangt (mede) af van de samenstelling en verwerkbaarheid van eventuele (afval)waterstromen en dient nader te worden onderzocht. De biomassa wordt per schip getransporteerd naar de op het land gelegen verwerkingsinstallatie(s).

4.2 Producten uit zeewieren

Momenteel wordt wereldwijd ca. 18 miljoen ton zeewier (ca. 2 miljoen ton droge stof) per jaar geproduceerd voor toepassing in voeding, diervoeders, chemicaliën en farmaceutische producten [2]. Zeewieren zijn door de specifieke samenstelling van de biomassa in principe geschikt voor de winning van een reeks CO₂-neutrale producten en energiedragers. Deels betreft dit producten die ook tegenwoordig al worden gewonnen. Daarnaast zijn er tal van mogelijkheden voor winning van andere CO₂-neutrale producten, platformchemicaliën en energiedragers die een rol kunnen spelen in een toekomstige “bio-based economy”.

Omdat de winning van producten een relatief grote invloed heeft op de economie door de veelal hogere marktwaarde wordt allereerst ingegaan op de verschillende mogelijkheden voor winning van (co-)producten uit zeewieren (4.2.1) Vervolgens wordt ingegaan op de productie van energiedragers (4.2.2).

4.2.1 Gebruik van gehele biomassa

Zeewier wordt momenteel voornamelijk gebruikt voor menselijke consumptie, met name in Azië. De belangrijkste zeewiersoorten die op het menu staan zijn: *Porphyra* (nori), *Laminaria* (kombu) en *Undaria* (wakame). De totale wereldwijde afzet van zeewier voor consumptie is door Perez (1997 [5]) geraamd op 3,6 miljoen ton (versgewicht) per jaar met een waarde van ca. 6 miljard US \$. De gemiddelde marktwaarde ligt hiermee op ca. 1600 US \$/ton vers zeewier. De retail prijzen kunnen tot een factor 10 hoger liggen.

Zeewieren (en extracten) worden daarnaast gebruikt als meststof met groeibevorderende eigenschappen (o.a. in de vorm van “maerl”) en als ingrediënt in diervoeders en voeder voor aquacultuur o.a. voor de teelt van schelpdieren [5,10].

4.2.2 Phycocolloïden

Zeewieren hebben een hoog gehalte aan polysacchariden (enkele tientallen gew%) die vanwege hun bijzondere samenstelling en rheologische eigenschappen voor een reeks toepassingen worden ingezet. Deze “phyco-colloïden” omvatten drie hoofdtypen: alginaten, agars en carragenen.

Alginaten (“alginic acid”) zijn polymeren opgebouwd uit mannose monomeren (C-6) in de vorm van D-mannuronzuur en L-galacturonzuur. Alginaten zijn vergelijkbaar met pectines en geven de celwand flexibiliteit en stevigheid. Alginaten komen onder meer voor in *Macrocystis pyrifera* (18-21 % van de droge stof), *Laminaria japonica* (20-26%), *Laminaria hyperborea* (24-30%) en *Laminaria digitata* (22-36%). [5]. Per polymeer molecuul zijn 1.500 - 2.000 monomeren aanwezig. De polymeren kunnen tot 200 - 300 keer hun eigen gewicht aan water opnemen. Alginaten zijn alleen oplosbaar in de vorm van zouten met monovalente ionen zoals Na^+ , K^+ en NH_4^+ . De toegepaste extractietechnieken zijn beschreven in [5]. De wereldproductie aan zeewieren voor alginatproductie in 1993 bedroeg ca. 200.000 ton (drooggewicht), waaruit ca. 30.000 ton alginat werd geproduceerd. Koud water zeewieren leveren de beste kwaliteit. Belangrijke toepassingsgebieden zijn als vulstof voor papier, textiel en plastics, “suspending agents” in voedselproducten, cosmetica, medicijnen en verf, gels voor tandheelkundig gebruik, immobilisatiemateriaal (Ca-alginaten) voor biotechnologische toepassingen, vlokmiddelen, beschermende folies e.d. [5]. De belangrijkste industrietakken waarin alginaten worden toegepast zijn de textielsector (50%) en de voedingsindustrie (30%).

Agars zijn polymeren opgebouwd uit galactose (C-6) monomeren in de vorm van D-galactose, galactose sulfaat, methyl-galactose en 3-6 anhydrogalactose. Agars worden geproduceerd uit roodwieren met name *Gelidium* (gehalte 21-40%) en *Gracilaria* soorten (27-42%), o.a. in Chili en Spanje. Extractietechnieken zijn beschreven in [5]. In 1994 werd ca. 10.000 ton agar geproduceerd voornamelijk als verdikkingsmiddel en stabilisator voor de voedingsmiddelenindustrie (88%). Daarnaast wordt agar toegepast in de landbouw, bacteriologie, farmacie en de biotechnologie.

Carragenen zijn polymeren van galactose monomeren. Ze lijken daarmee op agar met het verschil dat carragenen een hoger gehalte bevatten aan sulfaat groepen (20-25%) dan agars (5%). Carragenen worden gewonnen uit rode zeewieren waaronder *Kappaphycus* (gehalte 48-65%), *Euclima* (14-37%) en *Chondrus* (15-40%). In 1994 werd ca. 520.000 ton (nat gewicht) geproduceerd met name in de Filippijnen, Canada, Chili en Europa. De verwerking en vermarkting is in handen van een klein aantal bedrijven in Denemarken, de VS en Frankrijk. De belangrijkste toepassingen zijn als verdikkingsmiddel in melkproducten (desserts etc.), sauzen, dieetproducten en andere voedingsmiddelen en in farmaceutische producten [5].

De hoeveelheid zeewier die wordt gebruikt voor winning van phycocolloïden is door Perez et al (1997; [5]) geraamd op 3,2 Miljoen ton (versgewicht), en de marktwaarde van eindproducten op 860 Miljoen US\$/jaar. De marktprijs van alginaten en carragenen bedraagt 6000 - 8000 \$/ton. De marktprijs van agar is ca. 10.000 -15.000 \$/ton. De marktwaarde van zeewier voor winning van deze producten bedraagt gemiddeld ca. 270 \$/ton versgewicht (ca. 2200 \$ ton/droge stof). De wereldmarkt voor phycocolloïden groeit voornamelijk met enkele procenten per jaar. Op langere termijn zou marktverzadiging kunnen optreden.

4.2.3 Extracten en inhoudstoffen met hoge(re) toegevoegde waarde

Zeewierextracten worden op dit moment in beperkte mate gebruikt voor verwerking in gezondheidsproducten, cosmetica en farmaceutische producten. De hoeveelheid zeewier die hiervoor wordt ingezet wordt geschat op < 100.000 ton versgewicht per jaar. Op dit gebied lijken nog vele mogelijkheden te bestaan. Zeewieren zijn een potentiële bron van hoogwaardige inhoudstoffen waaronder vetzuren (o.a. omega vetzuren), kleurstoffen en bio-actieve stoffen

voor klinische/farmaceutische toepassingen en voor cosmetica en personal care producten [3,5,10]. Met name in de groep van de bruine zeewieren (waarin bijv. *Laminaria* valt) zijn veel stoffen met biologische activiteit geïdentificeerd.

Nader onderzoek is vereist om geschikte producten uit geselecteerde zeewierensoort(en) te identificeren. Omdat dit type producten veelal in lagere hoeveelheden in de biomassa aanwezig is (<<5%) kan de winning goed worden gecombineerd met bulktoepassingen van de resterende biomassa zoals productie van energiedragers, bemestingsproducten e.d.

4.2.4 Productie van CO₂-neutrale platform chemicaliën door fermentatie

Er is snel groeiende industriële belangstelling voor de productie van hernieuwbare “platform chemicals” uit biomassa via fermentatie. Deze producten kunnen hun petrochemische tegenhangers vervangen [8]. Momenteel worden uitsluitend zetmeel- en suikerhoudende agrogrondstoffen als bron van suikers voor fermentaties gebruikt zoals mais, suikerbieten, granen en suikerriet. Op langere termijn zijn de beschikbaarheid en de relatief hoge kosten van deze grondstoffen beperkend. In de internationale ontwikkeling ligt het accent op de inzet van ruim voorhanden en goedkope lignocellulose (uit agroresiduen, stro, grassen, hout e.d.) als alternatieve bron van suikers.

Zo vindt veel onderzoek plaats naar de productie van ethanol uit lignocellulose vanwege het grote potentieel van ethanol als CO₂-neutrale transportbrandstof en als grondstof voor de productie van het bulkproduct etheen [6]. Een belangrijk obstakel is het vrijmaken van suikers uit de (hemi)cellulosefractie door een combinatie van fysisch/chemische voorbehandeling en enzymatische hydrolyse. Dit wordt bemoeilijkt door de complexe structuur van lignocellulose waarin de suikerpolymeren zijn ingebed in een matrix van lignine.

Zeewieren vormen in principe een geschikte grondstof voor fermentatie door het hoge gehalte (ca. 60 gew%) aan polysacchariden.. Daarnaast bevatten zeewieren geen lignine (zie Tabel 4.3). De goede fermenteerbaarheid blijkt bijvoorbeeld uit de hoge biogasproducties bij anaërobie methaanproductie [7]. Zie ook 4.3.1.

Voor andere fermentaties en eindproducten is nog de nodige technologieontwikkeling noodzakelijk [10]. Zo is fermentatie van mannitol op basis van de huidige kennis niet zonder meer mogelijk vanwege redoxproblemen. Minimaal zullen hiervoor fermentaties met een mix van substraten nodig zijn. Voor de fermentatie van de mannose, galactose en fucose is nog geen industriële technologie beschikbaar. De benodigde ontwikkeling omvat o.a. het identificeren van geschikte micro-organismen en genen, “metabolic engineering” en “directed evolution”. Naar verwachting is deze ontwikkeling met behulp van de moderne biochemische en genetische “tools” een begaanbare weg. Een nadere verkenning op dit punt is aan te bevelen [10]. Daarnaast zijn er snelle ontwikkelingen op het gebied van industriële enzymen en fermentatietechnologie. Alles bijeen is te verwachten dat zeewierenbiomassa m.b.v. toekomstige technologie een bron kan vormen voor een scala aan fermentatieproducten.

Een aantal belangrijke “platform”chemicaliën die via fermentatie kunnen worden geproduceerd is weergegeven in Tabel 4.1. Tevens is de marktwaarde aangegeven en de hoeveelheden die zouden kunnen worden geproduceerd uit resp. 100.000 (20 km²) en 500.000 ton (100 km²) zeewier. Deze chemicaliën kunnen als grondstof dienen voor de productie van een scala van chemische producten en polymeren die momenteel uit fossiele grondstoffen worden gemaakt.

Tabel 4.1 *Platformchemicaliën die via fermentatie uit zeewieren kunnen worden geproduceerd bij 60 gew% polysacchariden en 90% suikerbenutting. Prijzen gebaseerd op [8]*

Product	Markt- waarde (\$/ton)	Produc- tie (kg/ton zeewier)	Waarde (\$/ton zeewier)	100.000 ton/jaar (20 km ²)		500.000 ton/jaar (100 km ²)	
				(ton product)	Omzet (M\$ /jr)	(ton product)	Omzet (M\$ /jr)
Ethanol	331	255	84	25.400	8,4	127.000	42,0
Azijnzuur	728	247	179	24.600	17,9	123.000	89,5
Butyraldehyde	948	123	117	12.300	11,7	61.500	58,3
Adipine zuur	1.433	370	530	36.900	52,9	184.500	264,4
Butanol	904	123	111	12.300	11,1	61.500	55,6
Melkzuur	300	486	146	48.600	14,6	243.000	72,9
Succinic acid	772	429	331	42.800	33,0	214.000	165,1
Propylene glycol	1.279	133	170	13.300	17,0	66.500	85,0
Glycerol	1.279	247	315	24.600	31,5	123.000	157,3
Citroenzuur	1.808	429	775	42.800	77,4	214.000	386,9
Propion zuur	904	227	205	22.600	20,4	113.000	102,1
2-3 Butanediol	1.984	163	323	16.200	32,1	81.000	160,7
Gemiddelde waarde producten (\$/ton)			1.050				
Gemiddelde waarde zeewier (\$/ton d.s)			274				

De gemiddelde marktwaarde van de producten bedraagt 1050 \$/ton, die van zeewier (als grondstof) gemiddeld 270 \$/ton d.s. Gezien de grote omvang van de markt voor deze producten en het feit dat hier sprake is van een duurzame, CO₂-neutrale vervanging van fossiele producten, zal marktverzadiging niet snel optreden. Dit onder de voorwaarde dat zeewier qua eigenschappen en prijs kan concurreren met cellulose houdende grondstoffen.

4.2.5 Andere producten en specifieke producten uit *Laminaria*

Het Amerikaanse *Marine Biomass Program* was primair gericht op grootschalige zeewierenteelt voor de productie van methaan via anaërobe vergisting. Winning van (neven)producten is slechts beperkt aan de orde geweest [7]. Voor *Macrocystis pyrifera* is een aantal potentiële neven- en bijproducten geïdentificeerd. Voor separate winning uit een deel van de biomassa (nevenproducten) zijn dit: algiinaat, fucidine (een suikerpolymeer) en mannitol. Daarnaast kan door het hoge mineralen gehalte een aantal anorganische producten worden gewonnen waaronder jodium, “potash” (Kalium zouten), magnesium verbindingen, en bromide. Bijproducten die kunnen worden gewonnen uit het effluent van anaërobe vergisting zijn o.m. fenolische verbindingen, “potash”, jodium en bromide.

Potentiële producten uit *Laminaria* zijn alginaten, laminarine, fucidine en mannitol. Als alternatief kunnen deze polymeren worden ingezet voor de productie van platform chemicaliën door fermentatie. Potentiële anorganische producten zijn: “potash”, jodium en bromide. Een aantal marktprijzen is weergegeven in Tabel 4.2. De hoogst waarde wordt bereikt voor de winning van algiinaat, mannitol of fucidine: resp. 1100, 570 en 240 \$/ ton droog zeewier.

Laminaria soorten bevatten verder: glycinebetaine, gamma-aminobutyric acid, betaine, lysinebetaine en (< 1 %) polyphenols. Ook zijn in de biomassa kleinere hoeveelheden aanwezig van o.a. sterolen, carotenen en verschillende vitaminen [5]. Aangezien *Laminaria* geschikt is voor kweek in de Noordzee dient nader onderzocht worden of en in hoeverre dit relevante (neven)producten kunnen zijn.

Tabel 4.2 *Marktwaaarde van producten uit Laminaria. Gebaseerd op [7]*

Product	Markt waarde	Gehalte in Laminaria	Product 1)	Waarde zeewier
	\$ /ton	gew. % ds	ton/ton	\$ /ton droge stof
Alginaat	6.000	23	0,184	1104
Mannitol	6.000	12	0,096	576
Fucoïdine	6.000	5	0,04	240
Jodium	14.500	0,45	0,0036	52,2
Potash	60	9,5	0,076	4,56

1) Bij 80% extractierendement.

4.3 Productie van energiedragers

Momenteel worden zeewieren nog nauwelijks gebruikt voor energieproductie. Het potentieel voor deze toepassing is echter duidelijk aanwezig [1,4,7]. Zeewieren kunnen in zijn geheel worden verwerkt ofwel de relatief natte residuen die ontstaan na extractie van producten of fermentaties. In deze verkenning zijn derhalve conversietechnieken geëvalueerd die geschikt zijn voor verwerking van natte biomassastromen en/of technieken die optimaal gebruik maken van het hoge polysacchariden gehalte in zeewieren. De geëvalueerde routes zijn:

- Anaërobe vergisting (4.3.1)
- Ethanolfermentatie (4.3.2.)
- Hydro Thermal Upgrading (HTU®); (4.3.3)
- Super Kritieke Vergassing (SKV); (4.3.4)

De hiervoor gebruikte samenstellinggegevens (Tabel 4.3 en Tabel 4.4) zijn gebaseerd op diverse bronnen en geven een representatieve samenstelling voor *Laminaria*, een van de geselecteerde soorten voor teelt in de Noordzee (Zie Bijlage 4.1).

Tabel 4.3 *Representatieve biochemische samenstelling van Laminaria. Op basis van samenstellinggegevens uit verschillende bronnen (zie Bijlage 4.1)*

Component	Eenheid	Waarde
Cellulose	gew.% d.s.	6
Hemicellulose	gew.% d.s.	0
Lignine	gew.% d.s.	0
Lipides	gew.% d.s.	2
Proteïnen	gew.% d.s.	12
Zetmeel	gew.% d.s.	0
Alginaten	gew.% d.s.	23
Laminarine	gew.% d.s.	14
Fucoïdine	gew.% d.s.	5
Mannitol	gew.% d.s.	12
Totaal fermenteerbare suikers	gew.% d.s.	60
Asgehalte	gew.% d.s.	26

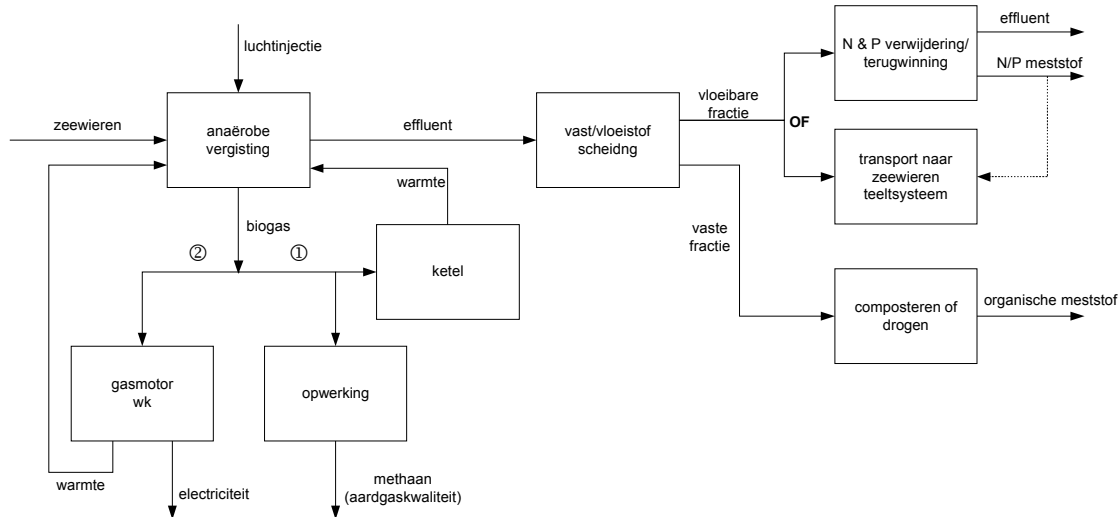
Tabel 4.4 *Proximate en ultimate analyse en elementaire samenstelling Laminaria. De waarden zijn gemiddelden van analyseresultaten uit verschillende bron. Zie Bijlage 4.1*

Component	Eenheid	Waarde
Vochtgehalte	gew.% nat	88 ¹⁾
Asgehalte	gew.% d.s.	26
Vluchtig	gew.% d.s.	74
C	gew.% d.s.	34,6
H	gew.% d.s.	4,7
O	gew.% d.s.	31,2
N	gew.% d.s.	2,4
S	gew.% d.s.	1,0
Cl	gew.% d.s.	-
F	gew.% d.s.	-
Br	gew.% d.s.	-
Al	mg/kg d.s.	7
As	mg/kg d.s.	76,2
B	mg/kg d.s.	-
Ba	mg/kg d.s.	-
Ca	mg/kg d.s.	11.600
Cd	mg/kg d.s.	2,8
Co	mg/kg d.s.	0,08
Cr	mg/kg d.s.	1,25
Cu	mg/kg d.s.	<5
Fe	mg/kg d.s.	511
Hg	mg/kg d.s.	<0,05
I	mg/kg d.s.	4.540
K	mg/kg d.s.	95.760
Mg	mg/kg d.s.	7.290
Mn	mg/kg d.s.	3,3
Mo	mg/kg d.s.	<0,01
Na	mg/kg d.s.	38.120
Ni	mg/kg d.s.	0,57
P	mg/kg d.s.	3540
Pb	mg/kg d.s.	<0,01
Sb	mg/kg d.s.	-
Se	mg/kg d.s.	4,9
Si	mg/kg d.s.	-
Sn	mg/kg d.s.	-
Sr	mg/kg d.s.	-
Te	mg/kg d.s.	-
Ti	mg/kg d.s.	-
V	mg/kg d.s.	0,66
Zn	mg/kg d.s.	4,6
HHV	(MJ/kg d.b.)	13,2
LHV	(MJ/kg d.b.)	12,2 ²⁾
HHV	MJ/kg daf	17,9
LHV	MJ/kg nat	-0,7

¹⁾ Bij oogst. ²⁾ Berekend op basis van HHV.

4.3.1 Anaërobe vergisting (Zie Bijlage 4.2)

Zeewieren kunnen een maximale methaanopbrengst leveren van 0,3 tot 0,48 m³ methaan per kg organische stof. Dit is vergelijkbaar met methaanproductie uit primair rioolwaterslib en kan als goed worden gekarakteriseerd. Zeewieren zijn derhalve een geschikte grondstof voor anaërobe vergisting. Een processchema is weergegeven in Figuur 4.3. Uitgangspunt is vergisting van zeewieren met een droge stof gehalte van 12% (de droge stof concentratie direct na het oogsten). Een influent met een dergelijke concentratie is een verpompbare slurry. Voor de vergisting is daarom gekozen voor toepassing van een *Volledig Gemengd Doorstroom Systeem* (VGD). Daarnaast is gekozen voor mesofiele vergisting (35 °C). In de evaluatie zijn twee verschillende hydraulische verblijftijden (HVT) beschouwd: 30 resp. 20 dagen.



Figuur 4.3 *Processchema van de vergisting van zeewieren, nabehandeling van effluent en gasbehandeling. Bij 1 is de route naar productie van “groen aardgas” aangegeven, bij 2 de route naar productie van elektriciteit (en warmte)*

De zeewierenbiomassa wordt met een droge stof gehalte van 12% in de vergister gebracht. In de vergisters vindt luchtinjectie plaats om het H₂S gehalte van het biogas te reduceren. Op basis van de berekende reactorvolumes zal een installatie uitgevoerd moeten worden met meerdere modulair uitgevoerde vergistingreactoren. Bij de huidige stand van de techniek is dat ca. 5.000 m³ per reactor, zoals wordt toegepast in installaties voor vergisting van zuiveringslib.

Het biogas (65 vol% CH₄, 35 Vol% CO₂) wordt behandeld in een gaswasser voor verwijdering van N, S, deeltjes, en vervolgens gedroogd. Het biogas kan worden opgewerkt tot aardgaskwaliteit voor injectie in het aardgasnet. In dit geval wordt de warmte voor de vergisters verkregen door verbranding van (een deel van) het biogas. Alternatief is de inzet van het biogas in een gasmotor voor productie van elektriciteit (rendement 40%) en warmte. De warmte voor de vergisters wordt in dit geval geleverd door de (rest) warmte van de gasmotoren.

Het effluent van de vergistinginstallatie wordt met een filterpers of centrifuge gescheiden in een vloeibare en vaste fractie. De vloeistoffractie wordt nabehandeld om nutriënten (N & P) terug te winnen dan wel te verwijderen. Hiervoor komen verschillende technieken in aanmerking (zie Bijlage 4.2). Teruggewonnen N & P kan worden ingezet als meststof voor de teelt van zeewieren. Als alternatief kan de vloeistoffractie mogelijk rechtstreeks worden teruggevoerd als vloeibare meststof naar het zeewierenteeltsysteem.

De vaste stof fractie kan na droging worden afgezet als meststof. Hiervoor moet voldaan worden aan de eisen van het Besluit Overige Organische Meststoffen (BOOM). Uit de evaluatie blijkt dat het As en Cd gehalte in het digestaat boven deze BOOM normen kan liggen. Voor het

overige voldoet het digestaat aan de eisen. Dit dient te worden geverifieerd door nadere experimentele analyse van zeewierbiomassa en -digestaat. In zeewierdige staat kunnen hoge gehalten Ca, I, Mg en K aanwezig zijn die mogelijk meerwaarde bieden als meststof.

Voor het beschreven systeem is een raming gemaakt van de investeringen en operationele kosten (zie Bijlage 4.2). Tabel 4.5 geeft de opbrengsten en productiekosten voor methaan resp. elektriciteit bij anaërobe vergisting van *Laminaria*. Op basis van gangbare marktprijzen is een “break-even” grondstofprijs berekend voor zowel methaan- als elektriciteitsproductie, de laatste in- en exclusief MEP vergoeding.

Tabel 4.5 *Raming opbrengsten en productiekosten voor methaan resp. elektriciteit bij anaërobe vergisting van Laminaria. Berekening maximale grondstofkosten voor “break-even”. Schaalgrootte 100.000 en 500.000 ton zeewier*

	Case 1		Case 2	
Schaalgrootte (ton d.s. / jaar)	100.000	100.000	500.000	500.000
Hydraulische Verblijf Tijd (HVT) dagen	30	20	30	20
Investeringskosten (M€)	12,9	9,6	43,3	31,9
Operationele kosten (M€ / jaar)	1,3	0,96	4,4	3,2
Bruto opbrengst methaan (Miljoen m ³ /jaar)	16,6	14,8	83,2	74,0
Netto opbrengst methaan (Miljoen m ³ /jaar) ¹⁾	14,1	12,4	70,7	61,8
Productiekosten methaan (€ / GJ) ²⁾	2,71	2,29	1,81	1,53
Productiekosten methaan (€ / Nm ³) ²⁾	0,09	0,08	0,06	0,05
Break-even kosten zeewier (€ / ton d.s.) ⁴⁾	3,8	5,1	8,1	8,3
Productie elektriciteit (MWh/jaar) ³⁾	68.140	60.570	340.700	302.850
Productiekosten elektriciteit (€ / MWh) ²⁾	19	16	13	11
Break-even kosten zeewier (€ / ton d.s.) ⁵⁾	5	7	10	10
Exclusief MEP vergoeding				
Break-even kosten zeewier (€ / ton d.s.) ⁶⁾	71	65	76	69
Inclusief MEP vergoeding				

1) Bij opwaardering tot aardgaskwaliteit en levering aan het gasnet.

2) Bij grondstofkosten 0 € / ton ds.

3) Bij productie van elektriciteit uit biogas in gasmotoren (e-rendement 40%)

4) Prijs die de biomassa voor de verwerker mag kosten uitgaande van een marktprijs voor methaan van 3,5 € / GJ (cf. aardgasprijs voor grootverbruikers). Geen winstmarge inbegrepen.

5) Prijs die de biomassa voor de verwerker mag kosten uitgaande van een marktprijs voor elektriciteit van 27 € / MWh. Geen winstmarge inbegrepen.

6) Prijs die de biomassa voor de verwerker mag kosten uitgaande van een marktprijs voor elektriciteit van 27 € / MWh PLUS een MEP vergoeding van 97 € / MWh (< 50 MWe). Geen winstmarge inbegrepen.

Uit Tabel 4.5 blijkt dat de zeewierkosten voor productie van methaan ca. 4-8 € / ton d.s zouden mogen bedragen. Voor elektriciteitsproductie zijn de “break-even” kosten 5 -10 € / ton d.s (exclusief MEP vergoeding) resp. 65 - 75 € / ton d.s inclusief MEP vergoeding.

Uit Tabel 4.5 blijkt ook dat bij een HVT van 20 dagen de productiekosten per GJ methaan resp. per MWh elektriciteit wat lager liggen dan voor een HVT van 30 dagen. De economisch optimale verblijftijd (HVT) is derhalve ca. 20 dagen. Daar staat tegenover dat bij een HVT van 30 dagen een grotere hoeveelheid energiedragers kan worden geproduceerd.

De verwerking van zeewier via anaërobe vergisting biedt een interessant perspectief. Voor de verdere ontwikkeling zijn de volgende R&D onderwerpen van belang:

- Scheiding (persen/drukfiltratie) van vaste stof en vloeistof vóór vergisting. Bepalen maximale methaan opbrengst van de vloeistof fractie. Bepalen van het reactor volume en de kosten van toepassing van vaste stof vergisting van vaste fractie en toepassing UASB voor de vloeistof fractie. De productiekosten kunnen langs deze weg naar verwachting worden verlaagd omdat volstaan kan worden met een kleiner (totaal) reactorvolume.
- Bepalen hydrolyse constante en maximale methaan opbrengst voor de verschillende zeewieren en verifiëren van de gedane aannames.
- Bepalen van het effect van voorbehandeling (bijv. verkleinen) op de hydrolyseconstante en daarmee de reactor grootte.
- Bepaling hydrolyseconstante en maximale methaan opbrengst voor thermofiele condities en berekenen van de daarbij behorende reactor grootte.
- Mogelijkheid van recycling van nutriëntenstromen voor zeewierenteelt en de inzet van digestaat als kunstmestvervanger.

4.3.2 Productie van bio-ethanol (Zie Bijlage 4.3)

Bio-ethanol voor brandstoftoepassingen wordt momenteel geproduceerd door fermentatie van suikers uit agro-grondstoffen zoals suikerriet, maïs, suikerbieten en granen. Het gebruik van lignocellulosehoudende biomassa(rest)stromen als grondstof kan de beschikbaarheid verhogen en tegelijkertijd de productiekosten verlagen. Internationaal wordt veel R&D verricht om dit mogelijk te maken. Tot dusver is nog geen industriële technologie beschikbaar, met name door het ontbreken van geschikte technieken voor ontsluiting en hydrolyse voor productie van fermenteerbare suikers uit (hemi) cellulose, en voor de co-fermentatie van C6 en C5 suikers [6].

Zeewieren vormen in principe een geschikte grondstof voor bio-ethanolproductie door het hoge gehalte aan polysacchariden (ca. 60 gew % voor *Laminaria*) en het ontbreken van lignine. Analooq aan de techniekontwikkeling voor lignocellulose (zie Bijlage 4.3) omvat het voorziene productieproces fermentatie van suikers tot bio-ethanol en de productie van elektriciteit uit niet-fermenteerbare biomassafracties. Voor dit proces is een raming gemaakt van de investeringen en operationele kosten (zie Bijlage 4.3). Tabel 4.6 geeft de opbrengsten en productiekosten voor bioethanol resp. elektriciteit. Op basis van de (verwachte) marktprijzen voor deze producten is een raming gemaakt van de “break-even” grondstofprijzen.

Uit Tabel 4.6 volgen negatieve grondstofkosten voor een schaal van 100.000 ton en voor de schaal van 500.000 ton grondstofkosten van 3 € / ton d.s (zonder MEP vergoeding) resp. 44 € / ton d.s (inclusief MEP vergoeding). Opgemerkt wordt dat deze raming is gebaseerd op kostenramingen voor productie van bio-ethanol uit lignocellulose (i.c. bermgras). Zeewieren als grondstof hebben geheel andere grondstofeigenschappen. In een vervolg dienen nadere kostenramingen te worden uitgevoerd op basis van de ontwikkeling van benodigde voorbehandelings-, hydrolyse en fermentatietechnologie en het hieruit resulterende procesontwerp.

Over het gebruik van zeewieren voor bio-ethanolproductie is nog weinig bekend. Er is geen kennis beschikbaar over ontsluiting en hydrolyse van de aanwezige suikerpolymeren (in *Laminaria*: alginaten, laminarine, fucoïdine). De grootste uitdaging ligt naar verwachting in het ontwikkelen van fermentatietechnologie voor de aanwezige suikers (m.n. mannose, galactose en fucose) door het identificeren van geschikte micro-organismen en genen, “metabolic engineering” en “directed evolution”. Daarnaast dient een (waarschijnlijk enzymatische) hydrolyse route te worden ontwikkeld. Deze ontwikkelingen lijken met behulp van moderne biochemische en genetische “tools” een begaanbare weg. Ook zijn er snelle ontwikkelingen op het gebied van industriële enzymen en fermentatietechnologie.

Tabel 4.6 *Raming opbrengsten en productiekosten voor co-productie van bio-ethanol en elektriciteit uit zeewieren (Laminaria sp.). Berekening maximale grondstofkosten voor “break-even”. Schaalgrootte 100.000 en 500.000 ton zeewier*

	Case 1	Case 2
Schaalgrootte (ton droge stof/jaar)	100.000	500.000
Investeringen (M€) ²⁾	71	187
Operationele kosten (M€/jaar) ¹⁾	4,5	22,5
Opbrengst tussenproduct: fermenteerbaar suikers (ton/jaar) ³⁾	48.000	240.000
Opbrengst eindproducten:		
ethanol (GJ/jaar)	607.200	3.036.000
elektriciteit (MWh/jaar)	42.556	212.778
Rendement naar ethanol (%) ⁴⁾	49,8	49,8
Rendement naar elektriciteit (%)	12,6	12,6
Totaal rendement (%)	62,3	62,3
Productiekosten ethanol (€/l) (biomassa 0€, exclusief MEP)	0,56	0,39
Productiekosten ethanol (€/l) (biomassa 0€, inclusief MEP)	0,41	0,24
“Break-even” biomassaprijs (exclusief MEP) ⁵⁾ (€/t d.s.)	-43	3
“Break-even” biomassaprijs (inclusief MEP) ⁶⁾ (€/t d.s.)	-2	44

1) Gebaseerd op economische evaluatie voor bermgras. Zie Bijlage 5.2.

2) Er is een schaalfactor van 0.7 gebruikt.

3) Uitgaande van een omzetting van polysacchariden naar suikers van 80% op massabasis.

4) Fermentatierendement van 90% op massabasis verondersteld.

5) Prijs die de biomassa mag kosten uitgaande van een marktprijs van ethanol van 0.40 €/l en van elektriciteit van 27 €/MWh. Geen winstmarge inbegrepen.

6) Prijs die de biomassa mag kosten uitgaande van een marktprijs van ethanol van 0.40 €/l en van elektriciteit van 27 €/MWh en een MEP vergoeding voor elektriciteit van 70 €/MWh (>50 MWe) of 97 €/MWh (<50 MWe). Geen winstmarge inbegrepen.

In [7] worden kosten genoemd voor bioethanolproductie uit grootschalig geteeld zeewier variërend van 0,40-0,50 \$/ liter ethanol (“baseline”) tot 0,25- 0,40 \$/ liter ethanol (“advanced”). Deze prijzen liggen in de juiste range voor brandstoftoepassingen en zijn vergelijkbaar met de huidige kosten van bioethanolproductie uit bijv. mais [6].

4.3.3 HTU (Bijlage 5.3)

In het HTU[®] proces (HydroThermal Upgrading) wordt biomassa onder hoge druk in water omgezet in ruwe bio-olie (“biocrude”). Zeewieren vormen in principe een geschikte grondstof voor HTU gezien het hoge gehalte aan polysacchariden en het ontbreken van lignine.

De totale thermische efficiency van biomassa naar biocrude is 70-85%, afhankelijk van de voeding en de procesconfiguratie. Het primaire biocrude product wordt met behulp van een flasher gesplitst in een lichte (LCR) en een zware (HCR) fractie. De (wateroplosbare) mineralen komen terecht in het afval-/proceswater en in de HCR fractie. In de huidige ontwikkeling wordt een verhouding van 70% LCR en 30% HCR in de biocrude aangehouden. Deze verhouding lijkt voor zeewieren goed mogelijk door het geheel ontbreken van lignine. De LCR kan worden gebruikt voor elektriciteitsopwekking in een stationaire dieselmotor. Als alternatief kan de LCR veredeld worden naar diesel voor transport door middel van hydro-de-oxygenering. De HCR

fractie voldoet in principe aan de kwaliteitseisen voor kolen, zodat deze direct met de kolenvoeding van een elektriciteitscentrale kan worden gemengd.

In Tabel 4.7 is een kostenraming gegeven voor de productie van LCR en HCR uit zeewieren en voor de verdere conversie naar elektriciteit. Op basis van de marktwaarde van elektriciteit (in en exclusief MEP vergoeding) is tevens een raming gemaakt van de “break-even” grondstofprijs.

Tabel 4.7 *Kostenraming HTU proces voor verwerking van zeewieren (Laminaria) tot “biocrude” resp. elektriciteit. Berekening maximale grondstofkosten voor “break-even”. Schaalgrootte 100.000 en 500.000 ton zeewier/jaar*

	Case 1	Case 2
Schaalgrootte (ton d.s. /jaar)	100.000	500.000
Schaalgrootte (MW _{th} ; LHV droge basis)	39	193
Investerings (M€) ¹⁾	32,1	116,2 ²⁾
Operationele kosten (M€/jaar)	4,1	14,7
Opbrengst tussenproducten ³⁾ :		
1. Lichte fractie biocrude (LCR) (per jaar)	22,8 kton (0,68 PJ)	113,9 kton (3,42 PJ)
2. Zware fractie biocrude (HCR)(per jaar)	9,7 kton (0,29 PJ)	48,8 kton (1,46 PJ)
Productiekosten LCR/HCR (€/GJ)	8,8	6,4
Opbrengst eindproduct ⁴⁾ :		
elektriciteit (MWh/jaar)	114.691	573.454
Totaal rendement naar elektriciteit (%)	32.4	32.4
Productiekosten elektriciteit ⁵⁾ (€/MWh)	75	54
Break-even prijs biomassa exclusief MEP ⁶⁾ (€/t d.s.)	-55	-31
Break-even prijs biomassa inclusief MEP ⁷⁾ (€/t d.s.)	47	71

- 1) Hierbij is aangenomen dat een eerste demonstratieplant van 25.000 t/jaar is gebouwd en getest. Vanwege hoger risico is die eerste installatie waarschijnlijk zo'n 20% duurder. Ook is aangenomen dat de installatie bijv. bij een AVI staat waar onderdelen te integreren zijn. Met name de mogelijkheid tot afname van hoge druk stoom is belangrijk. De investering is exclusief mogelijke investeringssubsidies.
- 2) Een schaalfactor van 0,8 is gebruikt om deze investering te berekenen.
- 3) De efficiency van het HTU[®] proces is 70-85% op LHV droge basis. Hier is 80% aangenomen en de verdeling in LCR en HCR is 70/30. De LHV van LCR en HCR is 30 MJ/kg.
- 4) De efficiency van LCR naar elektriciteit in een stationaire dieselmotor is 50% en de efficiency van HCR naar elektriciteit bij meestoken is 40%.
- 5) Bij biomassaprijs van 0 €/t. Bij een veronderstelde 7% rente en 10 jaar levensduur bedragen de kapitaallasten 14.2% per jaar. Kosten voor de stationaire dieselmotor zijn meegerekend. Additionele kosten voor meestoken zijn niet meegerekend.
- 6) Prijs die de biomassa voor de verwerker mag kosten uitgaande van een marktprijs van elektriciteit van 27 €/MWh. Geen winstmarge inbegrepen.
- 7) Prijs die de biomassa voor de verwerker mag kosten uitgaande van een marktprijs van elektriciteit van 27 €/MWh en een MEP vergoeding van 70 €/MWh (>50 MWe) voor de elektriciteit uit meestoken en 97 €/MWh (<50 MWe) voor de elektriciteit uit de dieselmotor. Geen winstmarge inbegrepen.

Uit Tabel 4.7 volgen negatieve grondstofkosten voor de productie van elektriciteit (exclusief MEP vergoeding) uit HTU[®] biocrude. Inclusief MEP vergoeding zouden de grondstofkosten maximaal 47 € / ton d.s en 71€ / ton d.s mogen bedragen voor een schaal van 100.000 ton resp. 500.000 ton per jaar. Voor (toekomstige) productie van HTU-diesel uit de LCR fractie zou volgens claims van ontwikkelaar Biofuel BV een grondstofprijs van 2 €/GJ mogelijk zijn, ofwel ca. 25 €/ton d.s. zeewieren.

Er bestaan plannen voor een HTU® installatie van 25.000 t d.s./jaar op het terrein van het Afval Energie Bedrijf (AEB) Amsterdam (2006) en verdere plannen voor een installatie van 100.000 t d.s./jaar op hetzelfde terrein (2009). Op langere termijn denkt Biofuel BV installaties te kunnen realiseren met een schaalgrootte van 200.000 ton d.s./jaar. Biofuel BV heeft aangegeven interesse te hebben in verdere ontwikkeling gericht op het gebruik van zeewierien voor HTU. Een eerste stap daarin is de uitvoering van autoclaafexperimenten.

4.3.4 Super Kritieke Vergassing (Bijlage 5.4.)

Een mogelijke conversieroute voor zeewierienbiomassa is vergassing in superkritiek water (Super Critical Water Gasification; SCWG; Bijlage 5.4) De voeding is een slurrie die met een pomp op een druk van 300 bar wordt gebracht. In een tegenstroomswarmtewisselaar wordt de voeding voorverwarmd tot een temperatuur van 400 -550 °C. De reactor wordt bedreven bij 600-650 °C en een verblijftijd van 0.5-2 minuten. In een scheider worden het gasvormige product en de waterfase gescheiden. Mineralen blijven achter in de waterfase. Afhankelijk van de procesvoering kan een waterstofrijk of methaanrijk gas worden geproduceerd.

Tabel 4.8 *Kostenraming Super Kritieke Vergassing van zeewierien (Laminaria) en omzetting van productgas naar elektriciteit. Berekening maximale grondstofkosten voor "break-even". Schaalgrootte 100.000 en 500.000 ton zeewier/jaar*

Schaalgrootte	Case 1	Case 2
Schaalgrootte (ton.d.s input/jaar)	100.000	500.000
Schaalgrootte (MWth; LHV droge basis)	42	210
Investerings (M€) ¹⁾	35,3	95,8
Operationele kosten ²⁾ (M€/jaar)	10,6	24,5
Energetisch rendement MW gas,uit / MWth in (%)	75	75
LHV product (MJ/kg)	64,98	64,98
Opbrengst productgas 57.7 m% H ₂ , 42.3 m% CH ₄ (GJ/jr)	915.000	4.575.000
Productiekosten productgas ³⁾ (€/GJ)	11,6	5,4
<i>Conversie naar elektriciteit</i>		
Investerings (M€) ⁴⁾	50,3	140,8
Operationele kosten (M€/jaar)	14,1	34,9
Rendement elektriciteitsopwekking in gasmotor (%)	40	40
Elektriciteitsproductie (MWh/jaar)	105.580	527.920
Productiekosten elektriciteit ⁵⁾ (€/MWh)	133	66
Break-even prijs biomassa exclusief MEP ⁷⁾ (€/t d.s.)	-112	-41
Break-even prijs biomassa inclusief MEP ⁸⁾ (€/t d.s.)	-9	32

1) Bij bovengenoemde schaalgrootte inclusief CO₂ afvangst. Schaalfactor 0.62 exclusief investering gasmotor.

2) Operationele kosten = Feed cost/ credit = 0 € + Operating supply + Operating Labour / clerical + Material, Maint. & Exp. (10% of FCI) + Depreciation (10 jr, 7% rente); Biomassa kostprijs = 0 € / ton

3) Ter vergelijking: Aardgas 3.5 €/GJ; H₂ grootschalig 6 €/GJ en H₂ kleinschalig 11 €/GJ.

4) Bij bovengenoemde schaalgrootte inclusief CO₂ afvangst. Schaalfactor 0.62 inclusief investering gasmotor.

5) Ter vergelijking: marktprijs elektriciteit 27 -32 €/MWh

6) Prijs die de biomassa voor de verwerker mag kosten bij een marktprijs van elektriciteit van 27 €/MWh. Geen winstmarge inbegrepen.

7) Prijs die de biomassa voor de verwerker mag kosten uitgaande van een marktprijs van elektriciteit van 27 €/MWh en een MEP vergoeding van 70 €/MWh (>50 MWe) en 97 €/MWh (<50 MWe). Geen winstmarge inbegrepen.

Tabel 4.8 geeft een kostenraming voor Super Kritieke Vergassing van zeewierien en verdere conversie van het productgas naar elektriciteit. Op basis van de marktwaarde van elektriciteit (in

en exclusief MEP vergoeding) is een raming gemaakt van de “break-even” grondstofprijzen. Uit de Tabel volgen negatieve grondstofkosten voor de productie van elektriciteit (exclusief MEP vergoeding). Inclusief MEP vergoeding zouden de grondstofkosten -9 € / ton d.s en maximaal 32 € / ton d.s. mogen bedragen voor een schaal van 100.000 ton resp. 500.000 ton.

Zoals aangegeven in Bijlage 5.4 bevindt vergassing in superkritiek water zich nog in een vroeg stadium van ontwikkeling en zijn er nog belangrijke technologische uitdagingen met name voor het op druk brengen van de voeding, katalysatorontwikkeling en het voorkomen van vervuiling en corrosie. Bij verdere (succesvolle) ontwikkeling komen zeewieren mogelijk in aanmerking als grondstof.

4.4 Referenties Hoofdstuk 4

- [1] Energy supplies from Sea Farming, 1980. In: N.P. Cheremisinoff, P.N. Cheremisinoff and F. Ellerbusch. Biomass; Applications, Technology and Production. Marcel Dekker Inc. New York and Basel.
- [2] Cijfers FAO-Fisheries Department. Geciteerd in 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.
- [3] K. Luning and S. Pang, 2003. Mass cultivation of seaweeds: current aspects and approaches. *Journal of Applied Phycology* 15: 115-119.
- [4] M. Aresta et al, 2000. The use of marine biomass as renewable energy source for reducing CO₂ emissions.
- [5] R. Pérez et al, 1997. Ces algues qui nous entourent. Conception actuelle, rôle dans la biosphère, utilisations, culture. Editions Ifremer. ISBN 2-905434-75-9.
- [6] J.H. Reith, H. den Uil, H. van Veen, W.T.A.M. de Laat, J.J. Niessen, E. de Jong, H.W. Elbersen, R. Weusthuis, J.P. van Dijken & L. Raamsdonk. 2002. Co-production of bio-ethanol, electricity and heat from biomass residues. In: Proceedings of the 12th European Conference on Biomass for Energy, Industry and Climate Protection, 17 -21 June 2002, Amsterdam, The Netherlands. 1118 - 1123 / ECN-RX--02-030, July 2002.
- [7] D.P. Chynoweth, 2002. Review of biomethane from marine biomass.
- [8] Wooley, R.J., 1999. Sugar Platform (Bio-energy Initiative Approach) NREL. Presentation Office of Fuels development, Semi-Annual Management Review, December 8-9, 1999.
- [9] www.suralink.com. Studie Indergaard & Jensen 1991.
- [10] W. De Laat, Nedalco BV, 2005. Persoonlijke communicatie.

5. Systemaspecten en economie

5.1 Inleiding

Doel van dit hoofdstuk is inzicht te krijgen in energiegebruik en potentiële energieopbrengst van zeewierenteelt en een indicatie van de productiekosten en potentiële marktwaarde van zeewierenbiomassa als grondstof voor hernieuwbare energiedragers en producten.

Een volledige systeemevaluatie is in dit stadium niet mogelijk door de nog grote technologische onzekerheden en het ontbreken van een integraal (voor)ontwerp voor kweek, logistiek, en verwerking. Voor het beoordelen van de duurzaamheid van de keten zijn daarnaast gegevens nodig over de optimale mix van producten en energiedragers en de (vermeden) milieu-impact van de eindproducten. Het uitwerken van een integraal ketenontwerp, inclusief massa- en energiebalans, economische en ecologische evaluatie is een van de belangrijkste onderwerpen voor vervolgonwikkeling. Daarnaast dienen scenario's te worden ontwikkeld voor de optimale verwerking (bioraffinage) van zeewieren tot combinaties van energiedragers en producten.

5.2 Systeembeschrijving

Toekomstige teeltsystemen zijn geïntegreerd met offshore windparken in de Noordzee. De gemiddelde transportafstand naar de op land gelegen verwerkingsfabrieken (Maasvlakte/Eemshavengebied) bedraagt ca. 100 km. De teeltsystemen zijn opgebouwd uit lijnen of andere structuren, verankerd aan windturbinemasten, boeien en eventuele bodemankers. Het optimale ontwerp (geometrie, teelt in lagen, materiaalkeuze, mogelijke nutriëntendosering, uitdemping golfslag en stroming, waarschuwingssystemen voor zeezoogdieren enz.) is nog onbekend. Dit dient in een vervolg als een van de eerste onderwerpen nader te worden uitgewerkt.

De productiviteit zal naar verwachting variëren van ca. 20 ton droge stof/ha.jaar voor teelt in één laag en zonder nutriëntendosering tot ca. 50 ton droge stof/ha.jaar bij teelt in lagen. Oogst van de zeewieren vindt 1 à 2 maal per jaar plaats m.b.v. speciaal ontworpen schepen. De geoogste zeewieren (12 % droge stof) worden direct of na mechanische ontwatering naar de wal vervoerd of op een "docking site"/productieplatform overgeladen in sleepbakken die door sleepboten naar het aanlandingspunt worden gebracht. Ontwatering en eventuele andere voorbereidingen vinden plaats op het productieplatform.

In de processinginstallaties worden de zeewieren gebruikt als grondstof voor de productie van CO₂-neutrale bulk- en fijnchemicaliën en/of energiedragers via extractie, fermentatie of fysisch/chemische technieken. De producten worden geleverd aan de (industriële) eindgebruikers, energiedragers worden geleverd aan distributeurs/vermarkters.

5.3 Energiegebruik en potentiële energieproductie

5.3.1 Energiegebruik voor oogst en transport

De zuivere transportafstand naar de wal bedraagt gemiddeld 100 km. Voor een raming van het energieverbruik wordt dit vermeerderd met 100 km voor scheepsbewegingen voor het oogsten van de zeewieren. Hiermee komt de totale afstand op 200 km. Voor het energiegebruik worden kengetallen gehanteerd uit Suurs, 2002 [1]. Tabel 5.1 geeft een raming van het energiegebruik voor oogst en transport van 100.000 ton zeewier (droge stof basis).

Tabel 5.1 *Energiegebruik voor oogst en transport van 100.000 ton zeewierenbiomassa*

Hoeveelheid biomassa	Ton d.s.	100.000	100.000
	% droge stof	12%	30%
	Ton nat zeewier	833.333	333.333
Laden en lossen	GJ th/ton 1)	0,04	0,04
Laden	GJ th	33.333	13.333
Lossen	GJ th	33.333	13.333
Subtotaal	GJ th	66.667	26.667
Transport			
Transportafstand	km	200	200
Energiegebruik transport	MJ/t.km 2)	0,20	0,20
	GJ th	33.333	13.333
Energiegebruik totaal	GJ th	100.000	40.000
	GJ th/ton nat zeewier	0,12	0,12
	GJ th/ton d.s.	1,00	0,40
LHV zeewier	GJ th/ton d.s.	12,20	12,20
% Energiegebruik transport	% van LHV	8,2%	3,3%
Verskil	GJ th	-	60.000
	GJ th / ton nat	-	0,18
	kWh e/ ton nat	-	23
1) Feenstra, 1995. Geciteerd in Suurs, 2002.			
2) Op basis van Suurs, 2002.			

Het primaire energiegebruik voor transport van nat zeewier (12 % d.s.) bedraagt 0,12 GJth per ton vers materiaal of 1 GJth per ton droge stof. Dit is ca. 8% van de energie-inhoud (LHV droge basis). Door ontwatering tot 30 % droge stof vóór transport kan het energieverbruik worden teruggebracht tot 0,4 GJth per ton droge stof: ca. 3% van de energie-inhoud. Qua energieverbruik kan derhalve netto voordeel worden geboekt als de ontwatering een lager verbruik heeft dan 0,6 GJth per ton droge stof ofwel 23 kWh per ton nat materiaal (voor een elektrisch parkrendement van 45%). Hiervoor lijken zeker mogelijkheden aanwezig. Een decanteercentrifuge heeft een geschat energieverbruik van ca. 10 kWh / ton input. Drukontwatering (bijv. filterpersen) heeft naar verwachting een aanzienlijk lager specifiek energieverbruik. Het is derhalve zinvol de mogelijkheid van ontwatering vóór transport nader te onderzoeken. Een mogelijk teeltkundig alternatief is het droge stof gehalte te verhogen door voeding en beluchting van de zeewieren te optimaliseren [5].

5.3.2 Potentiële energieopbrengst en CO₂ emissie reductie

In Hoofdstuk 4 zijn verschillende opties beschreven voor de verwerking van zeewieren tot energiedragers. Per conversieroute zijn de potentiële opbrengst en productiekosten van energiedragers geraamd bij een aanbod van resp. 100.000 en 500.000 ton zeewier (droge stof basis) per jaar. Bij een biomassaproductie van 50 ton droge stof/ha.jaar is dit de jaarlijkse productie van een kweekareaal van 20 km² resp. 100 km². Dit laatste areaal is representatief voor een 600 MW offshore windpark (zoals toegelicht in Hoofdstuk 3). In Tabel 5.2 worden de belangrijkste uitkomsten samengevat en geëxtrapoleerd naar een areaal van 1000 km² (overeenkomend met de overheidsdoelstelling voor offshore wind voor 2020) en 5000 km² cf. de visie voor 2040. De reductie van CO₂ (eq) emissies werd berekend m.b.v. de volgende CO₂ (eq) emissiereductiefactoren: bio-ethanol 52 kg CO₂(eq)/GJ; bio-methaan: 42 kg CO₂(eq)/GJ en elektriciteit 0,46 kg CO₂ (eq)/kWh [2]. Dit is de netto CO₂(eq) reductie ten opzichte van resp. ethanol uit zetmeelgewassen, aardgas en de huidige elektriciteitsproductie in Nederland [2].

Tabel 5.2 *Potentiële energieopbrengst en vermeden CO₂ emissie bij volledige inzet van zeevieren voor productie van energiedragers*

Conversie-route	Energie-dragers		case 1 areaal 20 km ² 100.000 ton		case 2 areaal 100 km ² 500.000 ton		Off-shore wind 2020 1000 km ² 5 Mton		Visie 2004 5000 km ² 25 M ton	
			energie-productie	vermeden CO ₂ kton	energie-productie	vermeden CO ₂ kton	energie-productie	vermeden CO ₂ kton	energie-productie	vermeden CO ₂ kton
anaerobe vergisting	methaan	TJth	422	18	2.101	88	21.012	883	105.060	4.413
HVT 20 dagen	methaan	M m ³	12,4		61,8		618		6.180	
	OF									
	elektriciteit	GWh	61	28	303	139	3.029	1.393	15.143	6.966
bio-ethanol	bioethanol	TJth	607	32	3.036	158	30.360	1.579	151.800	7.894
	elektriciteit	GWh	43	20	213	98	2.128	979	10.639	4.894
	Totaal			51		256		2.558		12.788
HTU	elektriciteit	GWh	115	53	573	264	5.735	2.638	28.673	13.189

Uit Tabel 5.2 blijkt dat de productie van bio-ethanol (+ elektriciteit) en elektriciteitsproductie via HTU de hoogste energieproductie en vermeden CO₂ emissie kunnen opleveren. Een areaal van 5000 km² (visie 2040) zou resp. 151 PJth ethanol plus 10,6 TWh aan elektriciteit kunnen opleveren of 28,6 TWh elektriciteit via HTU. De potentiële netto vermeden CO₂ (eq) emissie bedraagt resp. 12,8 en 13,2 Mton per jaar. Beide technologieën zijn nog in ontwikkeling en bieden potentieel op langere termijn.

Anaërobe vergisting is gezien de reeds behaalde resultaten met verwerking van zeevieren op korte termijn mogelijk [3]. Blijkens Tabel 5.2 heeft vergisting een potentiële energieopbrengst van 105 PJth methaan of 15,1 TWh elektriciteit en een CO₂ emissie reductie van 4,4 tot 7 Mton. Voordeel van deze route is dat de geraamde kosten lager zijn dan voor productie van bio-ethanol en HTU (Zie Hoofdstuk 4).

Drogen van zeevieren(rest)biomassa en thermische conversie via meestook of stand-alone verbranding of vergassing werd niet in detail geëvalueerd. Deze wijze van energiewinning lijkt echter eveneens een reële mogelijkheid.

5.4 Economische evaluatie

In deze paragraaf wordt getracht een indicatie te krijgen van de productiekosten en potentiële marktwaarde van zeevierenbiomassa op basis van beschikbare gegevens uit literatuur en andere bronnen. Met nadruk wordt gesteld dat de uitkomsten slechts een indicatieve, oriënterende waarde hebben, omdat de beschikbare (vaak oudere) gegevens een grote spreiding vertonen en grotendeels zijn ontleend aan systeemontwerpen die niet representatief zijn voor teelt in de Noordzee in combinatie met offshore windparken. De resultaten zijn dan ook uitsluitend bedoeld om een eerste indruk te krijgen van de economische haalbaarheid, de belangrijkste “cost drivers” en aandachtspunten en onderwerpen voor de vervolgonwikkeling.

5.4.1 Productiekosten zeevieren

In het US Marine Biomass Program zijn verschillende ontwerpstudies en economische evaluaties uitgevoerd van grootschalige zeevieren teelt voor de productie van methaan via anaërobe vergisting [3]. Bij een evaluatie van deze ontwerpen wordt geconcludeerd [3] dat “*there is a lack of concrete data concerning critical system parameters and [...] uncertainty about subsystem costs*”. De uitkomsten van de ontwerpstudies toonden dan ook belangrijke verschillen. Chynoweth [3] concludeert echter ook dat de analyses belangrijke overeenkomsten vertonen t.a.v. de factoren die bepalend zijn voor de kosten van grootschalige zeevierenproductie. De belangrijkste worden hieronder besproken.

1. De biomassa productiviteit heeft een groot effect op de economische prestatie; het is nodig inzicht te krijgen in de productiviteit die in de Noordzee kan worden bereikt.
2. De investeringen voor het teeltsysteem kunnen 66-92% van de totale investeringskosten bedragen; belangrijke kostenfactoren zijn ook de levensduur en onderhoudskosten.
3. Nutriëntentoevoer; in alle studies in [3] is uitgegaan van nutriëntentoevoer voor het optimaliseren van de productiviteit. Het is onduidelijk of dit in de Noordzee kan worden toegepast gezien de mogelijke negatieve effecten op de eutrofiëring en de restrictieve regelgeving op dit punt. Dit aspect dient nader te worden onderzocht.
4. De kosten voor het oogsten van de zeevieren zijn hoog. Ter illustratie: in ontwerpen [3] voor kweeksystemen van resp. 260 en 400 km² bedragen de investeringen voor oogst resp. 6 en 30% van de totale investeringen en de operationele kosten voor het oogsten 44-47% van de totale operationele kosten.

In Tabel 5.3 zijn productiekosten voor zeevieren weergegeven uit verschillende bronnen.

Tabel 5.3 *Kostenraming van zeevierproductie in verschillende teeltsystemen. De weergegeven kosten gelden voor de aangegeven productiviteit. Voorbeeld: Voor "Nearshore teelt *Macrocystis*" bedragen de kosten bij een productiviteit van 34 ton daf/ha.jr (= 57 ton d.s./ha.jr) 67 \$ /ton daf (=40 \$/ton d.s.).*

Type teelt	Productiviteit		Kosten		Referentie:
	ton daf/ ha.jr	ton d.s./ ha.jr	\$ ton daf	\$ (of €) / ton d.s.	
Chili: handmatige inzameling natuurlijke populaties	-	-	-	250	Internet
Filippijnen: teelt op kustgebonden locaties; handmatige inzameling; 'off-farm' prijs	-	-	-	80 - 160	Internet
Nearshore teelt <i>Macrocystis</i>	34	57	67	40	[3]
	50	83	42	25	
Gracillaria/Laminaria lijnteelt (offshore)	11	14	538	409	[3]
	45	59	147	112	
Tidal Flat farm Gracillaria/Ulva	11	14	44	33	[3]
	23	30	28	21	
Floating cultivation <i>Sargassum</i>	22	32	73	50	[3]
	45	66	37	25	
Experimenteel, kleinschalig ringsysteem voor offshore teelt <i>Laminaria</i> in de Noordzee	-	20	-	2500 €	[4]

Daf = dry ash free. D.s. = droge stof.

De laagste kosten (21 - 50 US\$ / ton droge stof) voor grootschalige teelt worden gegeven door Chynoweth 2002 [3] voor een "tidal flat farm" (*Gracillaria/Ulva*), "floating cultivation" (*Sargassum*) en "nearshore" teelt (*Macrocystis*). De hoogste kosten worden in [3] gegeven voor offshore lijnteelt (*Gracillaria/Laminaria*): 112- 409 US \$ /ton d.s. Deze kostenramingen zijn afkomstig uit het US Marine Biomass Program [3] waar een combinatie met offshore windparken niet aan de orde was. Hierdoor kunnen de kosten voor de inrichting van (offshore) kweeksystemen (de belangrijkste kostenfactor) mogelijk relatief hoog zijn. Uit de Tabel blijkt duidelijk de grote invloed van de biomassa-productiviteit op de kosten per ton zeevier.

De hoogste kosten in de Tabel (2500 €/ton d.s.) zijn gebaseerd op het onderzoek van Buck & Buchholz [4] met een experimenteel ringsysteem voor teelt van *Laminaria*. De ring is met succes getest in de Noordzee voor de Duitse kust. Een voordeel van dit ontwerp is de hoge stabiliteit in het dynamische zeemilieu. De ring wordt periodiek in zijn geheel uit het water verwijderd en geoogst en voorzien van nieuw plantmateriaal. De gegeven kosten zijn gebaseerd op de productie van één ringsysteem (40 kg droge stof) met een diameter van 5 m. (oppervlak

19,6 m²; 80-100 m teeltlijn per ring). Geëxtrapoleerd is dit ca. 20 ton droge stof/ha.jaar (zonder extra nutriëntentoevoer). De kosten voor het optuigen van de ring bedragen ca. € 1000 met levensduur van 10 jaar, d.w.z. € 100 per jaar [4]. Hiermee komen de productiekosten op ca. 2500 €/ton drooggewicht. De onderzoekers geven aan te verwachten de productiviteit te kunnen verhogen [4]. Hoewel de ring tot dusver de beste resultaten geeft ten aanzien van stabiliteit en levensduur in de Noordzee lijkt het systeem uit economisch oogpunt minder geschikt voor grootschalige zeewierenteelt, omdat het arbeidsintensief is en niet mechanisch kan worden geoogst. Hierdoor zijn de productiekosten hoog en kan met dit systeem geen “economy of scale” worden gerealiseerd.

5.4.2 Transportkosten

Voor grootschalige zeewierteeltsystemen is het optimaliseren van de logistiek een belangrijke factor voor het reduceren van de “overall” kosten, omdat grote hoeveelheden biomassa worden geoogst en over relatief grote afstand moeten worden getransporteerd.

Uitgangspunt in de studie van Suurs, 2002 [1] is dat biomassa via bestaande havens per schip wordt getransporteerd. De kosten voor laden en lossen vormen in die situatie het grootste aandeel in de transportkosten. Voor de aangenomen transportafstand van 200 km (inclusief scheepsbewegingen voor oogst) zouden de kosten voor zeewier transport berekend op basis van kengetallen uit [1] op ca. 4 € / ton nat zeewier (12 % droge stof) uitkomen, waarvan 3,2 € voor laden en lossen (2 x 1,6 €/ton) en ca. 0,8 € voor het eigenlijke transport. Dit zou neerkomen op ca. 30 € / ton droge stof hetgeen onaanvaardbaar hoog lijkt. Door ontwatering tot 30% droge stof kunnen deze kosten met een factor 3 dalen. De kosten voor het eigenlijke transport bedragen ca. 0,8 € / ton vers zeewier of 7 € /ton droge stof. Ook dit kan met een factor 3 worden verlaagd door ontwatering tot ca. 30% droge stof.

Het is niet duidelijk in hoeverre in [1] aangegeven laad- en loskosten van toepassing zijn voor “dedicated” transport van zeewieren vanuit kweekinstallaties in zee naar de verwerkingsinstallaties op land. Op dit punt is nader onderzoek nodig. Het is echter wel duidelijk dat besparing op transportkosten een tweede argument vormt om ontwatering van de zeewieren vóór transport (of andere methoden om het drogestof gehalte te verhogen) nader te onderzoeken.

5.5 Potentiële marktwaarde zeewieren

De mogelijkheden voor winning van meerdere producten en energiedragers maken zeewieren bij uitstek een grondstof voor “bioraffinage”. Daarbij wordt gestreefd naar een zo hoogwaardig mogelijke inzet van verschillende biomassafracties voor optimalisatie van zowel het energetisch/ecologisch als het economisch keten rendement. Er zijn vier principiële verwerkingsroutes, waarvan sommige kunnen worden gecombineerd:

1. Inzet gehele biomassa (of reststromen na extractie of fermentatie) in voeding, diervoeders of als meststof.
2. Extractie van producten, waaronder vetzuren, kleurstoffen, alginaten, carragenen, agars, mannitol, anorganische producten
3. Fermentatieve conversie van biomassa (of biomassafracties) voor productie van energiedragers (CH₄, ethanol, H₂) of CO₂- neutrale “platform chemicaliën”.
4. Fysisch/chemische conversie van (rest)biomassa tot energiedragers.

De optimale “bioraffinage keten(s)” is/zijn afhankelijk van een groot aantal factoren, waaronder de biomassasamenstelling, techniek en kosten voor processing en/of energieconversie, marktomvang en -prijs versus productiekosten, energiebalans en het “overall” ecologisch rendement van de integrale verwerkingsketen. De optimale invulling van deze keten(s) is nog

onbekend en dient nader te worden uitgewerkt op basis van scenario's en case studies. Parallel aan de ontwikkeling van het teeltsysteem zal hiermee een start moeten worden gemaakt.

Naast ontwikkeling van bioraffinage concepten (inclusief logistiek) dient nieuwe "groene" processingtechnologie te worden ontwikkeld met een minimaal gebruik van hulpstoffen en energie. Hieronder vallen ook: omgang met variatie in samenstelling, stabilisatie en verwerking van biologische producten en de formulering in eindproducten. Uiteindelijk dienen multifunctionele bioraffinage fabrieken te worden ontwikkeld waar de winning van producten en energiedragers wordt gecombineerd.

In Hoofdstuk 4 is voor bestaande en potentiële producten uit zeevieren een (indicatieve) marktwaarde gegeven en omgerekend naar een potentiële marktwaarde per ton zeevierenbiomassa. Ook zijn kostenramingen uitgevoerd voor energieconversie van zeevieren via anaërobe vergisting, bio-ethanol productie en HTU. Voor deze routes is ook een raming gemaakt van de maximaal toegestane kosten per ton biomassa (break even prijs zonder winststopslag) voor een (toekomstige) energieproducent. In Tabel 5.4 is voor een aantal toepassingsmogelijkheden de potentiële marktwaarde weergegeven op basis van gegevens uit Hoofdstuk 4. De gegeven waarden voor energieproductie zijn alle inclusief MEP subsidie.

Tabel 5.4 *Potentiële marktwaarde zeevierenbiomassa voor verschillende toepassingen*

Toepassing	Waarde eindproduct \$/ton	Waarde \$/ton vers zeewier	Waarde \$/ton droog zeewier
Voeding	1.600	1.600	13.333
Producten			
phycolloïden	6.000	264	2.200
platformchemicalien (fermentatie)	1.050	32	270
kleurstoffen (gehalte 4%; extractierendement 90%)	100.000 (100 \$/kg)	432	3.600
farmaceuticals (gehalte 1%; extractierendement 90%)	500.000 (500\$/kg)	540	4.500
Energiedragers			
elektriciteit via anaerobe vergisting 1)	Zie hfdst. 4	8	70
bio-ethanol + elektriciteit 1)	Zie hfdst. 4	5	44
elektriciteit via HTU 1)	Zie hfdst. 4	7	59
Phycocolloïden + methaangisting restbiomassa			
phycocolloïden (gehalte 20%; extractierend. 90%)	6.000	130	1.080
elektriciteit via anaerobe vergisting 1)	Zie hfdst. 4	7	56
Totaal			1.136
Kleurstoffen + methaangisting restbiomassa			
kleurstoffen (gehalte 4%; extractierendement 90%)	100.000 (100 \$/kg)	432	3.600
elektriciteit via anaerobe vergisting 1)	Zie hfdst. 4	8	67
Totaal			3.667

1) Inclusief MEP vergoeding.

De waarden in Tabel 5.4 kunnen worden vergeleken met de indicatieve zeevierproductiekosten voor grootschalige ontwerpen (zie 5.4.1) afkomstig uit het Amerikaanse Marine Biomass Program. Die variëren van 21 - 50 \$ /ton droge (near shore) tot 112 - 409 US \$ /ton d.s voor offshore lijnteelt (uit [3]). Hoewel voor deze waarden de nodige onzekerheid geldt, lijken de kosten van offshore geteelde zeevieren te hoog voor uitsluitend energieproductie. Voor nabij de kust (near shore) geteeld zeewier is uitsluitend energieproductie mogelijk wel haalbaar.

De marktwaarde voor producten zoals platformchemicaliën en fijnchemicaliën (kleurstoffen en farmaceuticals zoals bijv. vetzuren) en afzet van zeewier voor consumptie liggen in dezelfde orde of fors hoger dan de offshore productiekosten uit de literatuur. In Tabel 5.4 zijn ook twee combinaties aangegeven van winning van fijnchemicaliën en energiewinning door anaërobe vergisting van restbiomassa. Ook de waarden van deze toepassing zijn van dezelfde orde of hoger dan de offshore productiekosten uit de literatuur. De evaluatie onderstreept het belang van de nadere uitwerking van optimale bioraffinage ketens voor de winning van producten en energiedragers.

5.6 Marktontwikkeling

Voor ontwikkeling van zeewierenteelt in de Noordzee zijn de afzetmogelijkheden gaandeweg de ontwikkeling van groot belang. Allereerst kan worden vastgesteld dat de teelt- en verwerking van zeewieren wereldwijd een gestage groei vertoont. Volgens gegevens van de FAO (geciteerd in [4]) is de omzet van de zeewierindustrie tussen 1993 en 2002 met 26% gegroeid (ca. 3% per jaar) tot een omvang van 6 Miljard US \$. Een ander positief signaal is dat in Azië en diverse EU landen sprake is van een sterk groeiende zeewierindustrie.

Marktverzadiging voor de meer “traditionele” toepassingen van zeewieren (consumptie, phycocolloïden) lijkt vooralsnog niet aan de orde. Op middellange termijn (ca. 10 jaar) zullen geheel nieuwe toepassingsmogelijkheden zoals de productie van platformchemicaliën via fermentatie worden ontwikkeld. Voor dit type producten is marktverzadiging in het geheel niet aan de orde omdat het gaat om duurzame vervanging van petrochemische bulkchemicaliën. Het markttechnische vooruitzicht voor hoogwaardige inhoudstoffen (vetzuren, kleurstoffen, bio-actieve stoffen) is op dit moment minder duidelijk. Zeewieren lijken op dit punt echter interessante mogelijkheden te bieden die nader moeten worden onderzocht.

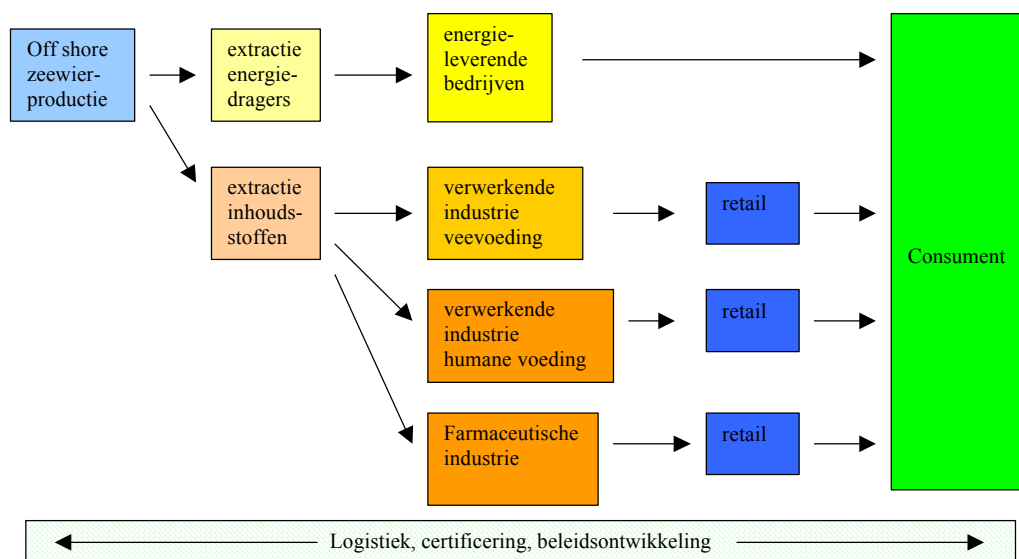
Voor de initiële marktontwikkeling bij teelt in de Noordzee lijken bekende toepassingen met hogere toegevoegde waarde voldoende perspectief en marktomvang te bieden, met name: vers zeewier voor consumptie, winning van phycocolloïden (zeewieren uit koudere wateren leveren de beste kwaliteit!) en toepassingen in cosmetica en personal care producten. Vrijkomende restbiomassa kan op korte termijn reeds nuttig worden gebruikt voor methaanproductie. Naar gelang de ontwikkeling vordert kunnen nieuwe producten en markten worden ontwikkeld.

Ketenontwikkeling is een belangrijk element voor de marktontwikkeling op langere termijn [5] (Figuur 5.1). Hiervoor wordt samenwerking voorzien van de R&D sector met de traditionele agro-industriële bedrijven (suiker, zetmeel, ethanol), de chemie (bio-organische chemie) en met geheel nieuw op te zetten bedrijven. De overheid kan dit stimuleren door o.m. het faciliteren van demonstratieprojecten en regelgeving.

In de ketenontwikkeling is bijzondere aandacht nodig voor de eisen en wensen van (industriële) eindgebruikers en de consument. Er is een groot draagvlak nodig en acceptatie bij de consument voor gebruik van mariene producten en ingrediënten. Verder zijn van belang:

- Integratie tot stand brengen tussen de industriële productie- en de energiesector.
- Ketenoptimalisatie: sluiten van nutriënten- en mineralenkringloop door inzet van aquatische biomassa in een optimale productketen inclusief de inzet van reststromen.
- Certificering.

Op dit moment vormt ontwikkeling en ecologische inpassing van kweeksystemen de belangrijkste uitdaging. In deze verkenning is een beperkt aantal potentiële partijen in de keten gepeild. Daaruit blijkt dat de technologische onzekerheid nog te groot is voor actieve participatie. Bij de uitvoering van een pilot experiment zullen de eerste partijen biomassa beschikbaar komen en zal beter inzicht ontstaan in productiekosten en de productkwaliteit en kan een start worden gemaakt met de ketenontwikkeling.



Figuur 5.1 Ketenontwikkeling en de betrokken stakeholders [5]

5.7 Duurzaamheidsaspecten

In deze verkenning ligt het accent op duurzaamheidsaspecten gerelateerd aan de ecologisch verantwoorde inpassing van kweeksystemen in het natuurlijk milieu. Dit is zonder twijfel de belangrijkste kritische succesfactor voor grootschalige zeewierenteelt in de Noordzee (zie Hoofdstukken 2, 6 en 7). Daarnaast zijn ook andere duurzaamheidscriteria van belang waaronder de (kosten van) reductie van broeikasgasemissies, overige emissies en afvalproductie, beslag op watervoorraden, effecten op biodiversiteit en sociale en economische aspecten. In [5] zijn hiervoor eerste ramingen en kwalitatieve onderbouwingen gepresenteerd. Voor zeewierenteelt en -verwerking is de verwachting dat er geen afvalstromen ontstaan doordat volledige valorisatie van biomassa mogelijk is, geen gebruik nodig is van schaarse (zoet)watervoorraden en er (netto) geen concurrentie optreedt met voedselvoorziening/visserij door de parallele ontwikkeling van vis- en schelpdierenteelt [5]. In het voorgestelde pilot experiment zullen maatschappelijke organisaties worden betrokken voor een duurzaamheidstoets, die gedurende de ontwikkeling wordt voortgezet. Daarnaast dient nadere kwantificering van de duurzaamheid van de integrale keten plaats te vinden via een ecologische evaluatie (screening LCA) op basis van kwantitatieve gegevens over de (vermeden) milieu-impact van de verschillende eindproducten.

5.8 Referenties Hoofdstuk 5

- [1] Suurs, R.. 2002. Long distance bioenergy logistics. An assessment of costs and energy consumption for various biomass energy transport chains. Copernicus Institute, Universiteit Utrecht. NWS-E-2002-01. ISBN 90-73958-83-0. January 2002.
- [2] De gehanteerde emissiereductiefactoren zijn gebaseerd op “life cycle GHG emission” factoren en in-house data van ECN. Voor elektriciteit is de waarde aangehouden voor 2030 cf. opgave van de Transitie Werkgroep Duurzaamheid (2003). Cf. [5].
- [3] 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.
- [4] Buck, B.H. & C.M. Buchholz, 2004. The offshore ring: A new system design for the open ocean aquaculture of macroalgae. J. of Applied Phycology 16: 355 - 368. 2004.
- [5] Reith, J.H., M. Blom-Zandstra, W. Brandenburg, R.H. Wijffels, J. Steketeer, N. Staats, 2003. Transitiepad “Energie en grondstoffen uit Aquatische Biomassa”.

6. Stakeholderanalyse en consortiumvorming

6.1 Doel en werkwijze

Doel van de stakeholderanalyse is het identificeren van potentieel belanghebbende partijen in de logistieke keten (windpark exploitanten, offshore bedrijven, industrie, chemie, E-sector), (internationale) R&D, beleid en beheer, financiers en maatschappelijke organisaties. Zo wordt inzicht verkregen in de belangen van deze stakeholders en de rol die zij zouden kunnen spelen in de ontwikkeling en voor het verwerven van maatschappelijk draagvlak.

Relevante stakeholders uit de belangrijkste betrokken sectoren zijn geïdentificeerd aan de hand van de bestaande netwerken van de projectpartners. Geselecteerde stakeholders zijn op individuele basis benaderd om hun visie te leren kennen en hun belangstelling te peilen voor deelname aan de ontwikkeling. In dit kader zijn o.m. gesprekken gevoerd met de RWS Directie Noordzee en Stichting de Noordzee, waarvan de uitkomsten zijn gerapporteerd in 7.4.

Bij nieuwe maatschappelijke initiatieven is maatschappelijk draagvlak nodig. Belangrijke bijdragen daartoe worden geleverd door ecologisch verantwoord en economisch haalbaar produceren. Bij dergelijke initiatieven is daartoe een transdisciplinaire aanpak logisch: een participatief proces, waarin allerlei stakeholders participeren en waarbij een maatschappij-wetenschappelijke, technologische en biologische aanpak worden gecombineerd. Daarnaast is het logisch dat het principe van de voorgestelde aanpak in een opschaalbaar pilot experiment wordt gedemonstreerd.

6.2 Stakeholderanalyse

Stakeholders zijn ruwweg in vier categorieën te onderscheiden:

- Actief, positief - deze stakeholders zijn enthousiast met betrekking tot de aanpak en eventueel bereid tot actieve deelname aan het experiment;
- Passief, positief - deze stakeholders staan sympathiek tegenover de aanpak, het idee, en volgen dit met belangstelling, maar nemen niet actief deel aan de discussie; ze zijn wel belangrijk waar het gaat om het verkrijgen van voldoende draagvlak;
- Actief, negatief - deze stakeholders staan kritisch tegenover het idee, hebben bezwaren en zijn actief in het uiten daarvan, dan wel voeren actie om het initiatief niet tot uitvoering te brengen; van deze stakeholders is het belangrijk de motieven te kennen, opdat daarmee rekening kan worden gehouden dan wel dat deze motieven kunnen worden weerlegd;
- Passief, negatief - deze stakeholders staan eveneens kritisch tegenover het experiment en volgen de acties met belangstelling zonder deel te nemen; zij zijn eveneens belangrijk in het proces tot verkrijging van draagvlak, want ze zijn te overtuigen met goede argumenten; deze stakeholders zijn mits zij daartoe de argumenten aangedragen krijgen te overtuigen en worden daarmee passief, positief.

Het voorgestelde vervolgonderzoek (zie Hoofdstuk 8) gaat uit van een participatief proces, waarbij gelegenheid bestaat om kennis te nemen van bezwaren en zodoende de maatschappelijke randvoorwaarden te leren kennen. Om dezelfde reden dient een veelzijdig consortium te worden gevormd bestaande uit een mix van bedrijven en kennisinstellingen, derhalve een mix van kennis en ervaring op het gebied van windenergie, offshore technologie, de biologie van algen en wieren en de ecologie van het mariene milieu. Betrokkenheid van overheden en maatschappelijke organisaties is gewenst voor een continue duurzaamheidstoets bij de ontwikkeling en afstemming met de voorwaarden m.b.t. infrastructuur, beheersfuncties en natuurbeheer.

De Noordzee kent in de Nederlandse EEZ vanwege allerlei uiteenlopende functies een beperkt aantal locaties voor een dergelijk project. Dit houdt in dat het voor de hand ligt om uit te gaan van multifunctioneel ruimtegebruik en aansluiting te zoeken bij de bestaande initiatieven op het gebied van offshore windenergie. Regelgeving en de organisatie van de verzekering van risico's kunnen hierbij belemmerend werken. De Noordzee is een van de drukst geëxploiteerde zeeën ter wereld, waarvan het biologisch milieu onder druk staat. Kritische stakeholders maken zich sterk tegen onomkeerbare milieubelasting op de Noordzee, maar hebben zich wel uitgesproken voor windenergie op de Noordzee. Om te komen tot een consortium voor vervolgonwikkeling hebben we ons bepaald tot stakeholders uit de categorie: actief, positief.

Internationaal dient samenwerking te worden gezocht met partners (R&D, bedrijven) in landen die reeds actief zijn op het gebied van zeevicultuur en -verwerking. Naar andere stakeholders in de samenleving dient een communicatietraject te worden opgezet om draagvlak te creëren en eventueel noodzakelijk geachte aanpassingen niet achteraf maar gaande het ontwikkelingstraject te kunnen realiseren.

6.3 Stakeholders voor potentiële deelname aan de ontwikkeling

Bij de ontwikkeling resp. de vorming van het consortium zouden instellingen en bedrijven uit de volgende sectoren dienen te worden betrokken.

Beleid en beheer

- Ministerie van LNV op het gebied van aquacultuur, natuur en visserij
- Ministerie van V&W (Rijkswaterstaat Directie Noordzee; DNZ) op het gebied van ecologische inpassing, vergunningen, logistiek, beheersfuncties, en veiligheid
- Ministerie van VROM op het gebied van milieu en ruimtelijke ordening
- Ministerie van EZ op het gebied van energietransitie
- Ministerie van OCW op het gebied van kennisontwikkeling

Financiële instellingen

- Private instellingen als banken en investeringsmaatschappijen
- Subsidieprogramma's als EUREKA, EOS, EU, STW e.a.

Innovatieplatform Aquacultuur (LNV)

De ontwikkeling kan mogelijk ook aansluiten bij Programma's als het BSIK programma "Climate Change & Spatial Planning", WE@SEA.

Samenwerkende kennisinstellingen

- *Nationaal* - Wageningen UR verschillende instituten zoals Plant Research International, Agrotechnology & Food Innovations en RIVO, Alterra, RIKZ, ECN, TNO (MEP en Voeding), LeAF (anaërobe vergisting)
- *Internationaal* - Ifremer (Frankrijk), Alfred Wegener Institut (Duitsland), Centre for Marine Resources and Mariculture, Cmar (Noord Ierland), Stockholm University, Department of Systems Ecology; Irish Seaweed Centre, National University of Ireland, Galway, (Ierland); buiten EU University of New Brunswick Center for Environmental and Molecular Research (Canada) en Cawthron Institute (Nieuw Zeeland)

Exploitanten offshore windparken en offshore bedrijven

Het uitgangspunt is multifunctioneel ruimtegebruik; op zee is het dan logisch de opzet te combineren met reeds bestaande initiatieven op het gebied van windenergie op zee; een ander uitgangspunt is te vertrekken van zoveel mogelijk kennis op het gebied van mariene constructies; dit lijkt ook reeds gebundeld rond de geplande windenergieparken.

- Noordzeewind (Consortium Near Shore Wind park, NUON/Shell)
- E-concern / E-connection (exploitant Q7 windpark)

- We@SEA consortium
- Fabricom (offshore onderhoudswerkzaamheden; cruciaal voor het beklijven van technische installaties op zee)
- Genius Vos (ontwerp en bouw offshore constructies)
- AKZO Nobel (mogelijk leverancier van de kabels om de constructie te bouwen)

Visserij koepelorganisaties zijn belangrijk om in de toekomst wellicht visserij-activiteiten om te zetten naar wierenteelt en -oogst. Hiertoe zouden de visserskotters moeten worden omgebouwd voor zeewierproductie en (tevens) windturbine onderhoudsschip.

Verwerking biomassa tot energiedragers en producten

- Shell Global Solutions (biofuels)
- Nedalco (productie bioethanol uit biomassa)
- elektriciteitsproducenten
- Purac (productie van melkzuur uit biomassa)
- DSM Life Sciences (biotechnologie en bio-organische chemie)

Transitie initiatieven / OTC trajecten

- Energietransitie Platform “Groene Grondstoffen” (EZ)
- Bio-energie in Noord Nederland (pervoerder Technologie Centrum Noord Nederland)
- Biosaline landbouw (pervoerder Ocean Desert Enterprises)
- HTU keten (pervoerder Biofuel BV)
- Nr. One: productie van bio-ethanol (Nedalco, CE)
- Waterstof uit natte biomassa (A&F)

Monitoring ecologie

(een van de te voorziene randvoorwaarden voor de uitvoering van een monitoringprogramma)

- Wageningen UR Alterra, RIVO
- NIOZ
- RIKZ

NGO

- Stichting de Noordzee (het kritisch meedenken over een pilot experiment, om zo de maatschappelijke component vanaf het begin af aan in te brengen en mee te wegen; evt. vormgeving participatief proces).

6.4 Consortiumvorming

De RWS Directie Noordzee is in principe bereid een begeleidende rol te spelen bij verdere ontwikkeling vanuit haar lopende activiteiten bij het inpasbaar maken van bestaande en nieuwe activiteiten in de Noordzee, vergunningverlening en beheer en monitoring. Stichting De Noordzee is bereid om (kritisch) mee te denken over een pilot experiment, om zo de maatschappelijke component vanaf het begin af aan in de pilot in te brengen en mee te wegen.

Verschillende R&D instituten (zowel nationaal als internationaal) hebben aangegeven geïnteresseerd te zijn in de ontwikkeling en deelname nader te willen onderzoeken. Hetzelfde geldt voor de OTC trajecten Bio-energie in Noord Nederland (gebruik van zeewieren voor productie van energiedragers en producten) en HTU-keten (gebruik zeewieren als grondstof). In principe kunnen door het bestaande consortium aangevuld met de geïdentificeerde R&D partijen de belangrijkste technologische onderzoeksissues (teelt en oogst, verwerking) adequaat worden geadresseerd, evenals de uitvoering van een ecologisch monitoring programma.

De contacten met windparkexploitanten laten zien dat zich men in eerste instantie wil richten op de realisatie van de parken en de uitvoering van de geplande Monitoring en Evaluatie Programma's, waarin de economische, technische, ecologische en maatschappelijke effecten van offshore windparken worden geregistreerd. Voor de eventuele uitvoering van een pilot

experiment met zeewierenteelt op locatie zal allereerst aangetoond moeten worden dat dit geen versturende invloed heeft op de (uitvoering van) deze MEP's. Daarnaast is bij het Q7 park al een experiment gepland met de teelt van mosselzaad. Het overleg met windparkexploitanten over de locatie voor een pilot experiment zal in de komende periode worden voortgezet.

Offshore bedrijf Genius Vos heeft aangegeven een mogelijk geïnteresseerde partner te zijn voor deelname aan vervolgonwikkeling in de vorm van een pilot experiment. De rol van dit bedrijf zou kunnen liggen op het vlak van ontwerp en bouw van offshore constructies voor zeewierenteelt, ontwikkeling van oogstwerktuigen en het ontwikkelen van onderhoudsplannen. Daarnaast is onder meer expertise nodig op het gebied van logistiek.

Uit de peiling van bedrijven met potentiële interesse voor verwerking van zeewierenbiomassa tot energiedragers en producten volgt dat het potentieel van zeewierenteelt wordt erkend maar dat er nog grote technologische onzekerheden bestaan. Onder meer wordt fundamenteel onderzoek aanbevolen naar de fermenteerbaarheid van zeewierenbiomassa. Dit onderwerp kan worden opgepakt door de geïdentificeerde R&D instellingen.

Alles bijeen heeft het project een aanzet gegeven voor de vorming van een consortium met deelname van sleutelpartijen uit de (internationale) R&D sector (technologieontwikkeling, monitoring ecologie) met betrokkenheid van beleids- en maatschappelijke organisaties. Ook is aansluiting mogelijk bij enkele andere Transitie-initiatieven. In de komende periode wordt gepoogd het consortium verder te versterken met partner(s) uit de offshore sector en wordt het overleg voortgezet met windparkexploitanten over de uitvoering van een pilot experiment.

Om te komen tot een pilot experiment is goede publiekprivate samenwerking nodig. Vandaar dat naast subsidieprogramma's in de komende periode ook de belangstelling zal worden gepeild van private financiële instellingen (banken en ontwikkelingsfondsen). Door dit te organiseren op nationaal niveau wordt een uitgangspunt gecreëerd om in EU verband internationale consortia te vormen dan wel aansluiting te krijgen. Daarnaast is van belang dat het hier gaat om een transitieproces. Op zee is al van veel 'transitie' sprake. De visserijsector kent onder druk van de maatschappij al een transitie van vangst naar teelt en duurzame visserij. Bij aquacultuur hoort nadrukkelijk niet alleen de dierlijke productie maar ook plantaardige productie (algen en wieren). Bij energieproductie is sprake van een transitie van delven naar produceren met behulp van hernieuwbare grondstoffen. Dit is eveneens een vertrekpunt voor onderhavig initiatief. Naar andere stakeholders in de samenleving zal een communicatietraject worden opgezet om zodoende voldoende draagvlak te creëren en eventueel noodzakelijk geachte aanpassingen niet achteraf maar gaande het transitiepad te kunnen realiseren.

6.5 Referenties Hoofdstuk 6

- [1] Luiten, E. (red.), 2004. Zee in zicht. Zilte waarden duurzaam benut. STT/Beweton publ. 67:
- [2] Buck B.H., Krause G. Rosenthal, H. 2004. Extensive open ocean aquaculture within wind farms in Germany: the prospect of offshore co-management and legal constraints. *Ocean & Coastal Management* 47 (2004) 95-122.
- [3] Lindeboom, H., 2004. Hoogste tijd voor onderwaterreservaten. *Resource Magazine Wageningen UR #11*, Februari 2004.

7. Inpassing in beheersfuncties en beleidskader en verkenning naar het maatschappelijk draagvlak

7.1 Inleiding

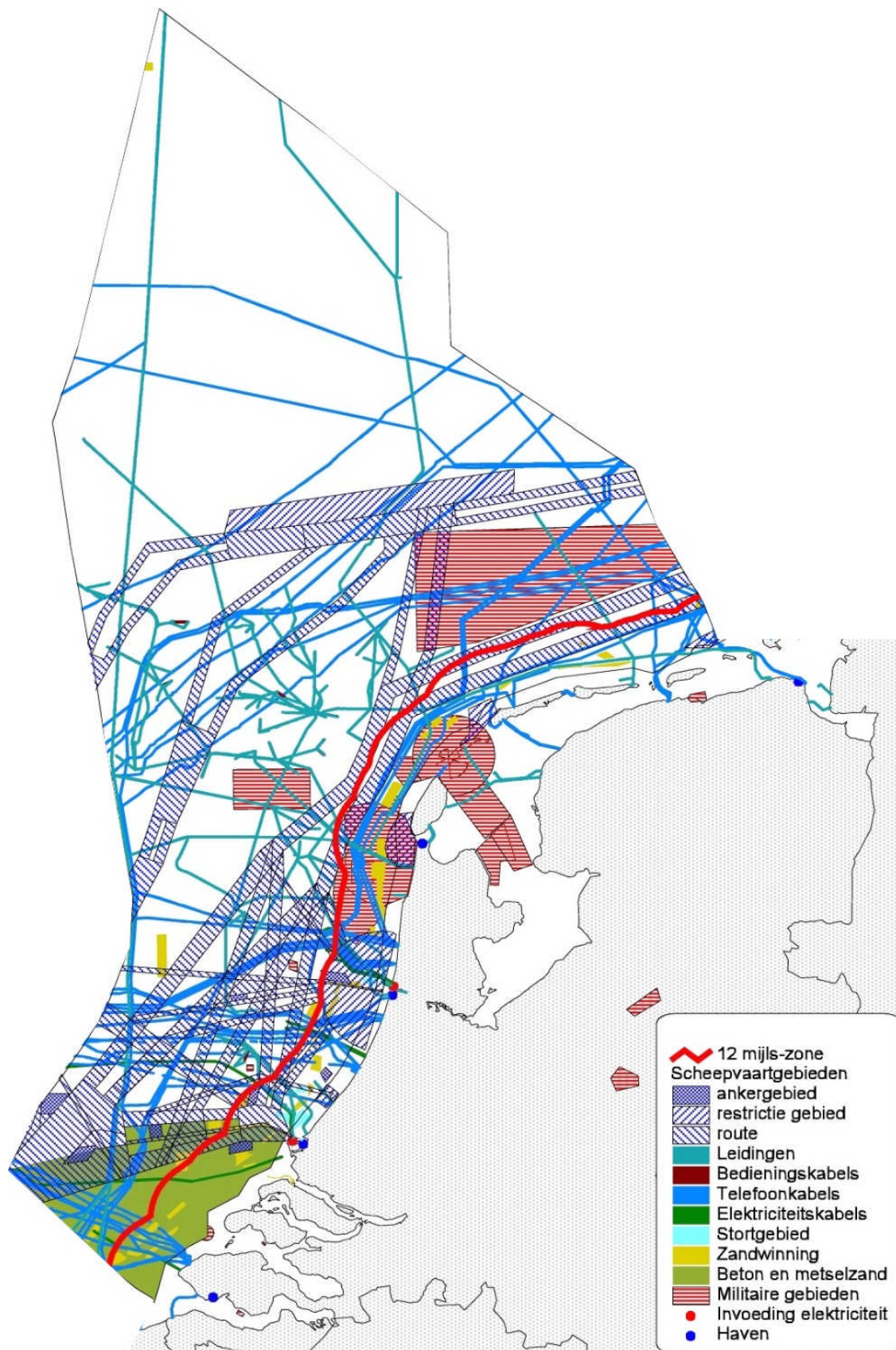
In dit hoofdstuk worden de mogelijkheden en voorwaarden in kaart gebracht voor inpassing van gecombineerde wind/zeewierteelt parken in gebruiks- en beheersfuncties van de Noordzee (7.2). In 7.3 wordt de nationale regelgeving en internationale regelgeving in kaart gebracht en de daaruit voortvloeiende eisen en voorwaarden voor implementatie. Ter verkenning van (de voorwaarden voor) het verwerven van maatschappelijk draagvlak zijn gesprekken gevoerd met de RWS Directie Noordzee en de Stichting Noordzee (7.4).

7.2 Inpassing in gebruiks- en beheersfuncties van de Noordzee

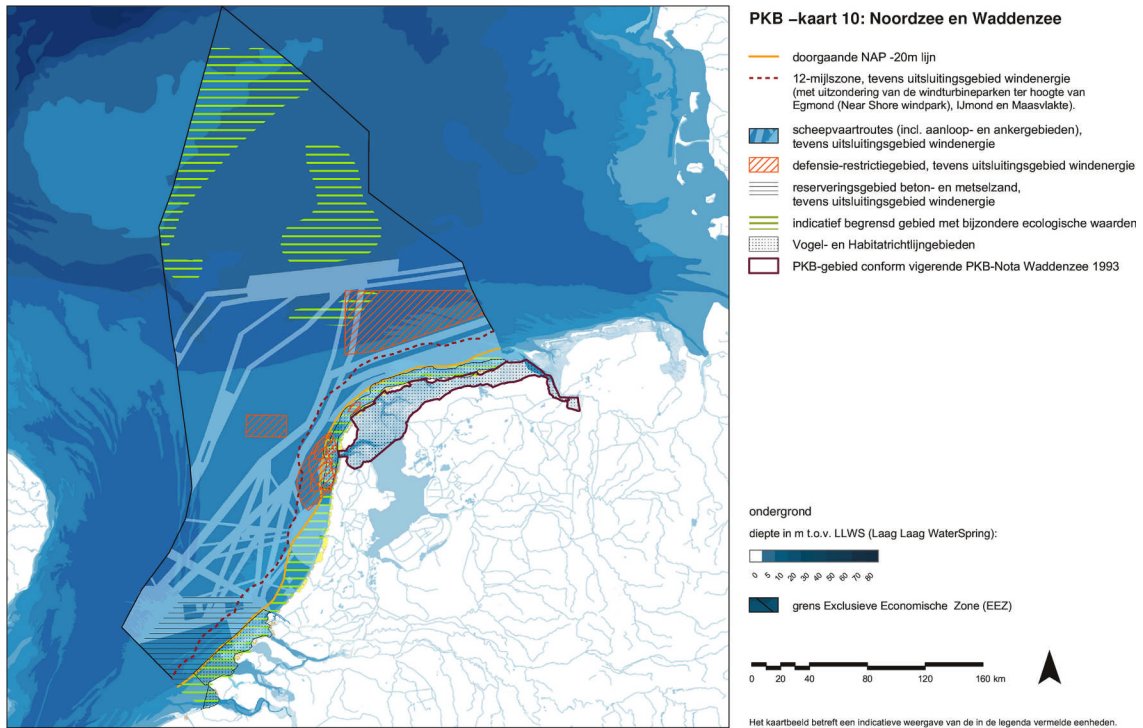
Figuur 7.1 laat de gebieden zien op de Noordzee met specifieke gebruiks- en beheersfuncties. Figuur 7.2 voegt hier nog aan toe de Vogel- en Habitatrichtlijn gebieden en indicatief begrensde gebieden met een bijzondere ecologische waarde. Een bijzondere ecologische waarde is een hoge diversiteit van de bodem- en visfauna, de aanwezigheid van zeldzame dieren, het voorkomen van internationaal belangrijke vogel aantallen, of beschermde zeezoogdieren, of het hebben van een bijzondere ecosysteemfunctie, bijvoorbeeld een kraamkamerfunctie. Hieruit blijkt dat grote delen van de Noordzee niet in aanmerking komen voor de constructie van windturbineparken. Regels voor de inpassing van gecombineerde windenergie/ zeewierteelt parken in de beheersfuncties van de Noordzee zullen in eerste instantie betrekking hebben op de windturbineparken zelf. In deze paragraaf wordt specifiek ingegaan op aspecten betreffende de kweek van zeewieren in deze parken.

7.2.1 Windturbineparken

Het kweken van macroalgen in windturbineparken heeft verschillende voordelen. Ten eerste zijn de kweekinstallaties beschermd tegen scheepvaart, omdat die doorgaans niet mag plaatsvinden in een windturbinepark. Ten tweede kan dezelfde Milieu Effect Rapportage worden gebruikt. Ten derde kunnen schepen die gebruikt worden voor servicing van de windturbines ook worden ingezet voor de oogst van het zeewier. Een nadeel van het combineren van functies is dat de veiligheid mogelijk vermindert. Extra scheepsbewegingen tussen de windturbines levert meer risico tot beschadiging. Buck et al. (2004) hebben een analyse gemaakt van de mogelijkheden tot inpassing van aquacultuur in offshore windparken in Duitsland. Hieruit blijkt dat vergunningen voor offshore windparken in Duitsland geen overwegingen over meervoudig gebruik bevatten. Ook worden windturbineparken wel en aquacultuur activiteiten vaak niet specifiek genoemd in de regelgeving. In Nederland wordt in het kader van het Noordzeebeleid gewerkt aan een integrale benadering. Zie 7.4.



Figuur 7.1 *Beheers- en gebruiksfuncties in de Nederlandse Exclusieve Economische Zone (NEEZ) van de Noordzee. De gemarkeerde gebieden zijn uitgesloten voor offshore windenergie. Bron: Rijkswaterstaat*



Figuur 7.2 *Vogel- en Habitatrichtlijn gebieden en indicatief begrensde gebieden met een bijzondere ecologische waarde. Bron: <http://www.noordzeeatlas.nl/>*

7.2.2 Visserij

De visserij zal geen extra hinder ondervinden van de kweek van zeevieren in een windturbinepark. Dergelijke parken zijn toch al gesloten voor visserij. Mogelijk heeft de aanwezigheid van de zeevieren een positief effect op de visstand door de geboden schuilplaats. Daarnaast kan de kweek van macroalgen in een windmolenpark een alternatief zijn voor vissers die hun visgronden verliezen. Bestaande viskotters kunnen geschikt gemaakt worden voor servicing van de windturbines en voor de oogst van het zeewier. Vissers hebben veel kennis van de omstandigheden op zee wat gunstig kan zijn voor het werk.

7.2.3 Gesloten gebieden

Een aantal gebieden zullen niet in aanmerking komen voor windturbineparken. Dit zijn natuurgebieden, mariene oefengebieden, olie- en gaswinningsgebieden, locaties van zandwinning en storting en locaties van pijpleidingen en kabels. Daarnaast zijn er plannen voor het instellen van zeereservaten (Stichting De Noordzee, Offringa et al., 2004; Greenpeace, www.greenpeace.nl/). Mogelijke uitbreiding van gesloten gebieden kan worden beïnvloed door de aanwezigheid van windturbineparken. De kweek van zeevieren zal hier echter geen effect op hebben.

7.2.4 Scheepvaart

Windturbineparken zullen niet in scheepvaart routes worden gepland. De recreatievaart kan mogelijk hinder ondervinden indien deze tussen windturbines wordt toegestaan. Uitbreiding van een windturbinepark met zeewier kweeksystemen zal de doorvaart belemmeren.

7.3 Inpassing in nationaal en internationaal beleidskader

In deze paragraaf wordt de voorziene ontwikkeling getoetst aan het (inter)nationale beleidskader. Het door de Rijksoverheid ingestelde “Noordzeeloket” geeft informatie over verantwoordelijkheden en taken op de Noordzee van de verschillende overheden en het beleid en de wetten die op de Noordzee gelden in nationaal en EU verband (http://www.noordzeeloket.nl/beleid_en_regelgeving/). Ook geeft de site toegang tot de Noordzee-atlas met een grote diversiteit aan kaarten (<http://www.noordzeeatlas.nl/>).

7.3.1 Nationale regelgeving

Voor het plaatsen, onderhouden en verwijderen van windturbines op zee is een vergunning Wbr (Wet beheer rijkswaterstaatwerken) nodig. Bij de toekenning wordt onder andere gekeken naar veiligheid voor de scheepvaart, het milieu, de natuurwaarden van dit gebied en de samenhang met overige gebruiksfuncties. Een milieueffectrapportage (MER) is in alle gevallen verplicht. Op dit moment is een Wbr-vergunning afgegeven voor het eerste offshore windmolenpark Q7-WP en voor het demonstratieproject Near Shore Windpark in de territoriale wateren. Beide zullen naar verwachting in 2006 gerealiseerd worden. Bij de MER's voor deze parken is nog niet gekeken naar het effect van mogelijke combinatie met aquacultuur.

In een brief aan de Tweede Kamer is aangegeven dat windturbineparken gebouwd mogen worden in de gehele NEEZ, exclusief enkele uitsluitingsgebieden. De beoordeling van de toelaatbaarheid van windparken in gebieden met bijzondere ecologische waarden zal vooralsnog op ad hoc basis dienen plaats te vinden. Een wetswijziging van de Wbr waarin een uitgiftestelsel voor windenergie wordt geregeld, is momenteel in procedure. De regering komt hiermee terug op het voorstel uit deel 3 van de PKB Vijfde Nota RO voor het aanwijzen van voorkeursgebieden voor windturbineparken. Door een negatief advies van de Raad van State op het wetsvoorstel is momenteel onduidelijk hoe en wanneer het stelsel in werking zal treden.

Het rijk heeft eind 2004 het Integraal Beheerplan Noordzee 2015 uitgebracht (Nota Ruimte, 2004). De hoofddoelstelling voor de Noordzee is versterking van de economische betekenis van de Noordzee en behoud en ontwikkeling van internationale waarden van natuur en landschap door de ruimtelijk-economische activiteiten in de Noordzee op duurzame wijze te ontwikkelen en op elkaar af te stemmen met inachtneming van de in de Noordzee aanwezige ecologische en landschappelijke waarden.

7.3.2 EU regelgeving

MER richtlijn

De MER richtlijn ziet toe op het uitvoeren van een milieueffectbeoordeling op bepaalde publieke en private werken. De Richtlijn is geïmplementeerd door Nederland middels de Wet Milieubeheer en het Besluit MER. De Richtlijn verplicht de lidstaten om voorafgaande aan de toelating van bepaalde soorten activiteiten met mogelijkerwijs aanzienlijke milieugevolgen een milieueffectrapport te eisen. Uit een dergelijk rapport moeten de milieugevolgen van de voorgenomen activiteit blijken zodat bij de beslissing omtrent toelating en eventuele voorwaarden daarbij rekening kan worden gehouden met deze gevolgen. De MER(beoordelings)plicht geldt voor bepaalde soorten activiteiten die met regelmaat in de Noordzee worden uitgevoerd (bijvoorbeeld winning van olie en gas, het leggen van grote pijpleidingen, constructie van windturbineparken).

Habitatrichtlijn

De Habitatrichtlijn heeft tot doel bij te dragen tot het waarborgen van de biologische diversiteit door het instandhouden van de natuurlijke habitats en de wilde flora en fauna op het Europese grondgebied van de lidstaten waarop het Verdrag van toepassing is. De op grond van de richtlijn

genomen maatregelen beogen de natuurlijke habitats en de wilde dier- en plantensoorten van communautair belang in een gunstige staat van instandhouding te behouden of te herstellen.

De Richtlijn is van toepassing op het grondgebied van de lidstaten, hetgeen in ieder geval de territoriale zee omvat. De Commissie van de Europese Gemeenschappen heeft gesteld dat de Richtlijn mede van toepassing is in de EEZ voor zover de bevoegdheid van de lidstaten zich uitstrekt over deze zone. Nederlandse regelgeving die beoogt de Habitatrichtlijn te implementeren is in het algemeen niet van toepassing voorbij de territoriale zee.

De Habitatrichtlijn heeft de vorming van een coherent Europees ecologisch netwerk van speciale beschermingszones, Natura 2000 genaamd, tot doel. Dit netwerk bestaat uit gebieden met in Bijlage I bij de Richtlijn genoemde typen natuurlijke habitats en habitats van in Bijlage II bij de Richtlijn genoemde soorten. Natura 2000 dient om de betrokken typen natuurlijke habitats en habitats van soorten in hun natuurlijke verspreidingsgebied in een gunstige staat van instandhouding te behouden of in voorkomend geval te herstellen. Het Natura 2000-netwerk bestrijkt ook de door de lidstaten overeenkomstig de Vogelrichtlijn aangewezen speciale beschermingszones. Voor de totstandkoming van Natura 2000 wijzen de lidstaten, met inachtneming van de doelstellingen van de Richtlijn, gebieden als speciale beschermingszones aan. De criteria die de lidstaten bij de aanwijzing van deze gebieden dienen te hanteren zijn vastgelegd in artikel 4 en Bijlage III van de Richtlijn. De lidstaten zijn verder verplicht tot het nemen van gespecificeerde beschermingsmaatregelen ten aanzien van soorten opgenomen in Bijlage IV bij de Richtlijn. Lidstaten kunnen de nodige maatregelen nemen om ervoor te zorgen dat het aan de natuur onttrekken en de exploitatie van specimina van de in Bijlage V genoemde wilde dier- en plantensoorten verenigbaar zijn met het behoud van die soorten in een gunstige staat van instandhouding. Bij de introductie van uitheemse diersoorten zijn de lidstaten gebonden aan in de Richtlijn neergelegde regels.

De Habitatrichtlijn verplicht de lidstaten tot het treffen van de nodige instandhoudingmaatregelen voor de speciale beschermingszones. Deze omvatten zo nodig passende specifieke of van ruimtelijke ordeningsplannen deel uitmakende beheersplannen en passende wettelijke, bestuursrechtelijke of op een overeenkomst berustende maatregelen, die beantwoorden aan de ecologische vereisten van de typen natuurlijke habitats van Bijlage I en de soorten van Bijlage II die in die gebieden voorkomen. Tevens zijn de lidstaten verplicht passende maatregelen te treffen om ervoor te zorgen dat de kwaliteit van de natuurlijke habitats en de habitats van soorten in de speciale beschermingszones niet verslechtert en er geen versturende factoren optreden voor de soorten waarvoor de zones zijn aangewezen voor zover die factoren, gelet op de doelstellingen van deze Richtlijn een significant effect zouden kunnen hebben. Bij plannen of projecten die significante gevolgen kunnen hebben voor dergelijke gebieden zijn de lidstaten gebonden aan stringente procedures.

De Habitatrichtlijn is door Nederland geïmplementeerd door een groot aantal instrumenten. Naast de Natuurbeschermingswet 1967 en de Flora- en faunawet, bestaan bijvoorbeeld een aantal besluiten ten aanzien van de aanwijzing van gebieden als speciale beschermingszone. Gecombineerde windturbine/macro-algen parken kunnen een gunstige staat van instandhouding behouden of herstellen. Windparken beschermen paai gronden en verhogen mogelijk biodiversiteit. De algen en de groeiconstructies zijn aanhechtingsplaats voor andere sessiele organismen. De macro-algen kunnen voedsel en beschutting bieden voor diersoorten zoals vissen.

Kaderrichtlijn water

De Kaderrichtlijn water heeft betrekking op de bescherming van landoppervlaktewater, overgangswater, kustwateren en grondwater. De richtlijn heeft tot doel:

- a) de kwaliteit van de aquatische ecosystemen te beschermen en te verbeteren;
- b) bevorderen van duurzaam gebruik van water, op basis van bescherming van de beschikbare waterbronnen op lange termijn;

- c) verschaffen van een verhoogde bescherming en verbetering van het aquatische milieu, onder andere door specifieke maatregelen voor de progressieve vermindering van lozingen, emissies en verliezen van prioritair stoffen en door het stopzetten of geleidelijk beëindigen van lozingen, emissies of verliezen van prioritair gevaarlijke stoffen;
- d) zorgen voor de progressieve vermindering van de verontreiniging van grondwater en verdere verontreiniging hiervan wordt voorkomen;
- e) bijdragen aan afzwakking van de gevolgen van overstromingen en perioden van droogte.

De richtlijn strekt zich mede uit tot binnenwateren en kustwateren. Onder kustwateren verstaat de richtlijn: “de oppervlaktewateren, gelegen aan de landzijde van een lijn waarvan elk punt zich op een afstand bevindt van één zeemijl zeewaarts van het dichtstbijzijnde punt van de basislijn vanwaar de breedte van de territoriale wateren wordt gemeten, zo nodig uitgebreid tot de buitengrens van een overgangswater”. Een overgangswater wordt gedefinieerd als een oppervlaktewaterlichaam in de nabijheid van een riviermonding dat gedeeltelijk zout is door de nabijheid van kustwateren, maar dat in belangrijke mate door zoetwaterstromen beïnvloed wordt.

De verplichtingen uit de richtlijn beperken zich dus tot de wateren binnen het grondgebied en in principe het gedeelte van de territoriale zee van de lidstaten dat gelegen is binnen één zeemijl uit de kust. De maatregelen die op basis van de richtlijn door de lidstaten moeten worden genomen dienen echter tevens bij te dragen aan de bescherming van de territoriale en mariene wateren in het algemeen en het bereiken van de doelstellingen van de relevante internationale overeenkomsten. Aandacht voor de Kaderrichtlijn water bij het ontwikkelen van gecombineerde windmolen en macro-algen parken is dus nodig. Opname van nutriënten uit het water gevolgd door oogst kan de eutrofiering verminderen. Dit draagt bij aan het beschermen van de kwaliteit van de aquatische ecosystemen.

Vogelrichtlijn

De Vogelrichtlijn heeft betrekking op de instandhouding van alle natuurlijk in het wild levende vogelsoorten op het Europese grondgebied van de lidstaten waarop het EG-verdrag van toepassing is. De Richtlijn is van toepassing op het grondgebied van de lidstaten, hetgeen in ieder geval de territoriale zee omvat. Ten aanzien van de Habitatrichtlijn heeft de Commissie van de Europese Gemeenschappen gesteld dat de Richtlijn mede van toepassing is in de EEZ voor zover de bevoegdheid van de lidstaten zich uitstrekt over deze zone. Deze opstelling maakt het aannemelijk dat de Commissie een soortgelijk standpunt inneemt/in zal nemen ten aanzien van de Vogelrichtlijn. Nederlandse regelgeving die beoogt de Vogelrichtlijn te implementeren is in het algemeen niet van toepassing voorbij de territoriale zee.

De Richtlijn betreft de bescherming, het beheer en de regulering van bovengenoemde soorten en stelt regels voor de exploitatie daarvan. De materiele verplichtingen van de Richtlijn komen in grote lijnen overeen met het Verdrag van Bern. De Vogelrichtlijn verplicht de lidstaten tot het nemen van alle nodige maatregelen om de populatie van deze soorten op een niveau te houden of te brengen dat met name beantwoordt aan de ecologische, wetenschappelijke en culturele eisen, waarbij zij tevens rekening houden met economische en recreatieve eisen. De door de lidstaten te nemen maatregelen dienen onder andere betrekking te hebben op de instelling van beschermingszones en onderhoud en ruimtelijke ordening van leefgebieden van deze soorten overeenkomstig de ecologische eisen van dergelijke gebieden binnen en buiten de beschermingszones.

Naast deze voor alle natuurlijk in het wild levende vogelsoorten binnen de EG geldende verplichtingen, stelt de Richtlijn nadere regels ten aanzien van de soorten opgenomen in de Bijlagen I en II bij de Richtlijn. Voor de in Bijlage I van de Richtlijn opgenomen soorten, en voor niet in deze Bijlage genoemde, maar geregeld voorkomende trekvogels worden speciale beschermingsmaatregelen getroffen. De lidstaten wijzen met name de naar aantal en oppervlakte voor de instandhouding van deze soorten meest geschikte gebieden als speciale

beschermingszones aan, waarbij rekening wordt gehouden met de bescherming die deze soorten behoeven in de geografische zee - en landzone waar deze richtlijn van toepassing is. Met het oog op trekvogels dienen de lidstaten bijzondere aandacht aan de bescherming van watergebieden en in het bijzonder aan de watergebieden van internationale betekenis te besteden. De Vogelrichtlijn is door Nederland geïmplementeerd door een groot aantal instrumenten. Naast de Natuurbeschermingswet en de Flora- en faunawet, bestaan bijvoorbeeld een aantal regelingen ten aanzien van de aanwijzing van gebieden als speciale beschermingszone.

Gecombineerde windenergie/zeewierteelt systemen leveren extra locaties voor de vogels zoals meeuwen, sterns en aalscholvers, om uit te rusten. De kweek van macroalgen tussen de windturbines heeft geen invloed op trekkende vogels.

7.3.3 Mondiale regelgeving en verdragen

Offringa et al (2004) geven een overzicht van internationale verdragen die gelden voor de Noordzee.

OSPAR

De Oslo-Paris Convention for the Protection of the Marine Environment of the North-East Atlantic (OSPAR) heeft een verdrag opgesteld in 1992 met als doel de vervuiling en degradatie van de Noordoost Atlantische Oceaan tegen te gaan. In 2003 hebben de ministers van de OSPAR lidstaten een verklaring ondertekend waarin zij akkoord gaan met het instellen van beschermde gebieden. Ook gaan zij akkoord met richtlijnen voor het selecteren en beheren van beschermde gebieden. OSPAR Commission for the Protection of the Marine Environment of the North-East Atlantic (www.ospar.org).

Biodiversiteits Conventie

De Biodiversiteits Conventie uit 1992 is in 2002 omgezet in een actieplan om in 2012 netwerken van beschermde gebieden over de hele wereld te hebben. Niet alleen representatieve gebieden met natuurwaarden moeten aangewezen worden, maar ook gebieden met bijzondere functies voor visserij, zoals kraamkamers. Het gaat om permanent, maar ook om tijdelijk gesloten gebieden.

AEWA Overeenkomst

Watervogels vallen onder de overeenkomst inzake de bescherming van Afrikaans-Euraziatische trekkende watervogels (Agreement on the Conservation of African-Eurasian Migratory Waterbirds.; AEWA; <http://www.unep-aewa.org/>). Datum inwerkingtreding voor Nederland: 01/11/1999. Verantwoordelijk is het Ministerie van LNV.

Het doel van de Overeenkomst is de bescherming van watervogels die ten minste een deel van het jaar zijn aangewezen op watergebieden (wetlands), een verspreidingsgebied hebben dat geheel of gedeeltelijk binnen het toepassingsgebied van de overeenkomst valt en zijn opgenomen in de lijst in Bijlage 2 bij de overeenkomst. Het toepassingsgebied van AEWA omvat Afrika, Europa, en delen van Azië en Noord-Amerika. Het Verdrag is van toepassing in alle maritieme zones van Nederland.

Artikel 3 bevat een aantal algemene verplichtingen ter behoud van migrerende watervogels. Dit betreft onder andere de verplichtingen om de leefgebieden van de betrokken soorten te beschermen en het onttrekken van dieren aan een populatie te verbieden.

Een Actieplan bij AEWA geeft maatregelen aan die genomen dienen te worden ten aanzien van alle soorten die vallen onder de overeenkomst. Onder andere zijn dit maatregelen gericht op gebiedsbescherming en het reguleren van menselijke activiteiten die gevolgen hebben voor de betrokken soorten. Daarnaast dienen staten specifieke actieplannen op te stellen voor individuele soorten.

De AEWa overeenkomst houdt in dat inventarisaties worden uitgevoerd voor duikers, futen, zee-eenden en sterns. En dat soortherstelplannen worden opgesteld en hun habitats worden beschermd.

ASCOBANS Overeenkomst

Walvisachtigen in de Noordzee en Oostzee worden beschermd onder de ASCOBANS Overeenkomst. Dit is de overeenkomst inzake de instandhouding van kleine walvisachtigen in de Oostzee en de Noordzee (Agreement on the conservation of small cetaceans of the Baltic and North Seas) <http://www.ascobans.org/>. Datum inwerkingtreding voor Nederland: 29/03/1994. Verantwoordelijk is het Ministerie van LNV.

Het doel van ASCOBANS is de bescherming van kleine walvisachtigen in de Noordzee en de Oostzee. Ten einde dit doel te verwezenlijken zijn de deelnemende landen verplicht om binnen hun rechtsmacht en in overeenstemming met hun internationale verplichtingen de instandhoudings-, onderzoek- en beheersmaatregelen te nemen die zijn vervat in de Bijlage bij het Verdrag.

Ten einde leefgebieden in stand te houden en te beheren dienen de partijen onder andere te werken aan het voorkomen van de inbreng van stoffen die een bedreiging zijn voor de betrokken soorten, bijvangst van de betrokken soorten in visserij te beperken, de negatieve gevolgen voor voedselbronnen van de betrokken soorten te verminderen en andere significante verstoringen te voorkomen, met name die van geluidsbronnen. Daarnaast bevat de Bijlage verplichtingen ten aanzien van het uitvoeren van onderzoek ten aanzien van de betrokken soorten.

Dit houdt onder andere in een herstelplan voor bruinvissen met aandacht voor de bescherming van de kraamkamers van bruinvissen en het voorkomen van bijvangst door visserij.

Verdrag van Ramsar

Het Verdrag van Ramsar (Ramsar Convention on Wetlands, <http://www.ramsar.org/>) is gericht op het behoud van watergebieden van internationale betekenis, met name als verblijfplaats voor watervogels. Het verdrag omvat de territoriale zee, maar tot de 6 m diepte lijn. De Voor Delta en Noordzeekustzone zijn aangewezen als Ramsar gebied. Plannen voor deze gebieden dienen behoud en verstandig gebruik van de gebieden te bevorderen. Daarnaast dient het stichten van natuurreservaten te worden bevorderd.

Overeenkomst van Zeehonden Waddenzee

Het werkingsgebied van de Overeenkomst van Zeehonden Waddenzee strekt zich in de Noordzee uit tot 3 mijl uit de kust. Dit verdrag verbiedt de vangst van de gewone zeehond en roept op tot verbetering van rust en waterkwaliteit en de instelling van beschermde gebieden.

UNCLOS

De United Nations Conventions on Law of the Sea (UNCLOS) geldt voor beschermde gebieden en voorziet in een verbod op stortingen, effectieve bescherming van het milieu tegen schadelijke effecten hiervan en het voorkomen, reduceren en controleren van vervuiling. Daarnaast dienen bijzondere en kwetsbare ecosystemen te worden beschermd.

Offshore windparken zullen buiten de 12 mijl zone worden geïnstalleerd. Hierdoor zullen het Verdrag van Ramsar en de Overeenkomst van Zeehonden Waddenzee niet van toepassing zijn. De overige genoemde verdragen zijn wel van toepassing.

7.4 Verkenning maatschappelijk draagvlak

Het verwerven van maatschappelijk draagvlak is een van de kritische succesfactoren voor realisatie van grootschalige zeewierenteelt in de Noordzee. Om een beeld te krijgen van de

voorwaarden voor maatschappelijk draagvlak zijn gesprekken gevoerd met Rijkswaterstaat Directie Noordzee (DNZ) (7.4.1) en de Stichting Noordzee (7.4.2). Deze gesprekken hebben nadere informatie opgeleverd over de visie op zeewierenteelt, de (maatschappelijke) voorwaarden voor realisatie en een aantal aandachtspunten en aanbevelingen voor de vervolgentwikkeling. In de gesprekken zijn tevens de mogelijkheden verkend voor betrokkenheid van DNZ en Stichting Noordzee bij de ontwikkeling. In het gesprek met DNZ is daarnaast nader inzicht verkregen in de voorwaarden vanuit beleid en regelgeving.

7.4.1 Visie Rijkswaterstaat Directie Noordzee (DNZ)

Het gesprek is op 18-11-2004 gevoerd met Dr. Wanda Zevenboom, Senior projectmanager Waterbeheer, Directie Noordzee, Hoofdafdeling Waterbeheer, Afdeling Beleidsvoorbereiding en Evaluatie (AMB) door J.H. Reith, ECN Biomassa.

Missie en taken Directie Noordzee

Directie Noordzee (DNZ) van Rijkswaterstaat (RWS) is als integraal waterbeheerder van het Nederlandse deel van de Noordzee verantwoordelijk voor uitvoering van het (inter)nationale waterbeleid en het operationeel beheer en speelt hierin voor andere overheden een coördinerende rol. DNZ is verantwoordelijk voor het ontwerp van toetsingscriteria en -instrumenten, vergunningverlening voor activiteiten op de Noordzee, en voor beheer en monitoring.

Uitgangspunt van DNZ is dat alle activiteiten op de Noordzee toetsing moeten doorstaan aan een set *Ecologische Kwaliteits Doelstellingen*. Deze vloeien voort uit de internationaal overeengekomen “Ecosysteem Benadering”¹ die gericht is op het instandhouden van een gezond en duurzaam evenwicht tussen menselijke activiteiten en de effecten daarvan op de Noordzee [1,2]. De Ecologische Kwaliteits Doelstellingen voorzien in een set van streefwaarden waaraan kan worden afgemeten wat de effecten zijn van menselijk handelen en van de genomen maatregelen op het ecosysteem Noordzee. De uitwerking van nationale streefwaarden en maatregelen vindt plaats in nauwe samenhang met verschillende internationale afspraken en verplichtingen met name de Oslo Paris Convention (OSPAR).

DNZ hanteert kwaliteitsdoelstellingen en streefwaarden voor: (toxische) contaminanten, nutriënten/eutrofiëring en verschillende vormen van verstoring van het zeeleven en het zeemilieu. De beoordeling van de actuele toestand van de Noordzee op basis van de ecologische kwaliteitsdoelstellingen en streefwaarden is weergegeven in Tabel 7.1. Voor enkele “impact typen” worden kwantitatieve streefwaarden door DNZ nader uitgewerkt.

DNZ is vergunningverlenend en heeft een coördinerende rol in het Interdepartementaal Directeuren Overleg Noordzee (IDON). Daarnaast is DNZ actief in de Commissie Integraal Visstandbeheer en betrokken bij de uitvoering van de Habitatrictlijn door het Ministerie van LNV.

¹ Op de Vijfde Noordzee Ministers Conferentie (maart 2002) is besloten de “Ecosysteem benadering” voor de Noordzee te implementeren en zijn afspraken gemaakt voor het toepassen van Ecologische Kwaliteits Doelstellingen.

Tabel 7.1 *Beoordeling van de toestand van de Noordzee. Bron: RWS, Directie Noordzee [2]*

Beoordeling volgens o.a. NW3, NW4, QSR en 3 Noordzeeministersconferentie, zie ook bijlage 1. De codes A, B en C verwijzen naar het QSR, zie paragraaf 4.1.

Type impact	Afwijking streefwaarde ¹⁾	Kwantitatieve streefwaarde beschikbaar ²⁾	Aanpak oorzaken volgens Vastgesteld beleid ³⁾
Contaminanten			
➤ PCB (A)	■	■	industrie, landbouw: via atmosfeer/rivieren ^{a)}
➤ PAK (A)	■	■	industrie via atmosfeer ^{a)}
➤ Organotin (A)	■	■	scheepvaart ^{a)}
➤ HCB (A)	■	■	industrie, landbouw: via atmosfeer/rivieren ^{a)}
➤ minerale olie (A/B)	■	■	zeescheepvaart; binnenvaart via rivieren ^{a)}
➤ gebromeerde brandvertragers (A)	■	■	industrie via rivieren ^{a)}
➤ ftalaten (A)	■	■	industrie via rivieren ^{a)}
➤ bestrijdingsmiddelen (A)	■	■	landbouw via rivieren en ook atmosfeer ^{a)}
➤ zware metalen (B)	■	■	industrie via rivieren en ook atmosfeer (lood) ^{a)}
➤ benzeen (A/B)	■	■	offshore mijnbouw ^{a)}
Nutriënten/eutrofiëring			
➤ nutriënten N en P (A) ○ directe effecten ○ indirecte effecten	■	■	landbouw, industrie, huishoudens via rivieren/atmosfeer (stikstof) ^{ab)}
Verstoring			
➤ onttrekken organismen (commercieel) (A)	■	■	alle visserij ^{c)}
➤ onttrekken organismen (niet-commercieel) (A)	■	■	alle visserij ^{c)} , zandwinning ^{d)}
➤ bijvangst zeezoogdieren (A)	■	■	Kieuwnet/pelagische visserij ^{c)}
➤ Bodemberoering			
○ Langdurig (A)	■	■	boomkorvisserij ^{c)} ,
○ Eenmalig (C)	■	■	reguliere zandwinning ^{d)}
○ Eenmalig	■	■	Grootschalige zandwinning ^{d)}
➤ verstikking door zwerfvuil in zee (C)	■	■	scheepvaart ^{a)} , visserij ^{a)} , recreatie ^{a)}
➤ input gebiedsvreemde soorten (B/C)	■	■	scheepvaart ^{a)} (ballastwater), aquacultuur ^{a)}
➤ akoestische verstoring (C)	■	■	diverse gebruiksfuncties ^{a)}
➤ klimaatverandering ○ fysische en biologische effecten	■	■	industrie, verkeer, huishoudens via atmosfeer
➤ conflicterend ruimtebeslag	■	■	alle (huidig + toekomstig) gebruik op zee

1) ■ = sterke afwijking vastgestelde streefwaarde dan wel (Inter)nationaal erkend probleem; ■ = matige afwijking van streefwaarde; ■ = voldoet aan streefwaarde; ■ = mogelijk probleem.

2) ■ = kwantitatieve streefwaarde niet beschikbaar; ■ = kwantitatieve streefwaarde in voorbereiding; ■ = kwantitatieve streefwaarde beschikbaar (operationeel).

3) oorzaak gerangschikt naar belangrijkheid; a) voortzetten/implementatie van (emissie)reductiemaatregelen; b) aanscherpen van emissiereductie doelstelling; c) maatregelen in lijn met ecosysteembenadering (reductie verstoring); d) vergunningverlening in lijn met RON2.

DNZ speelt een stimulerende rol bij het inpasbaar maken van bestaande en nieuwe activiteiten in de Noordzee en de afstemming van gewenst gebruik. Streven daarbij is onnodige verontreiniging te voorkómen en verstoring te minimaliseren. DNZ is onder meer actief betrokken bij: 1) de invoering van “groene visserij” technieken zoals de pulsekorvisserij ter vervanging van de gangbare boomkorvisserij; 2) begeleiding van initiatieven vanuit de visserijsector voor het realiseren van “uithangculturen” voor mosselenteelt bij offshore windturbines. DNZ formuleert hiervoor voorwaarden en begeleidt ontwikkeling en monitoring.

In de visie van DNZ kan “vergroening” van bestaande activiteiten en ecologisch verantwoorde inpassing van nieuwe activiteiten op de Noordzee tegelijkertijd een positief effect hebben op natuurwaarden.

Inpassing in beleidskader en vergunningverlening

Nationaal zal het (komende) “Integraal Beheersplan Noordzee 2015” (IBN 2015) een leidende rol gaan spelen. Binnen het IBN2015 wordt onder andere een afwegingskader ontwikkeld dat duidelijkheid schept over de (on)mogelijkheden van initiatieven voor toekomstig gebruik op de Noordzee. Dit afwegingskader voorziet in een behoefte van maatschappelijke groeperingen en sectoren. Tevens maakt het IBN2015 het voor de Rijksoverheid mogelijk om meer sturing te geven aan de toenemende druk van gebruiksfuncties en het reduceren van de kans op conflicten en ongewenste schade aan het ecosysteem.

Op basis van het IBN 2015 zullen door het IDON de uitvoerende organisaties worden aangestuurd. Internationaal is de Oslo Paris Convention (OSPAR) leidend. De uitwerking vindt plaats in regionale programma’s. De EU werkt hiertoe aan een “European Marine Strategy” (DG XI, Natuur). De EU kaderrichtlijn water geldt tot op 1 mijl uit de kust voor “biologische effecten” en tot de 12 mijlsgrens voor “chemische effecten”.

In het vergunningverleningstraject wordt door DNZ reeds aandacht geschonken aan mogelijke combinaties van offshorewindparken met aquacultuur, zoals de teelt van mosselen.

Aandachtspunten voor zeewierenteelt in de Noordzee

Tot dusver zijn drie in de Noordzee endemische zeewiersoorten geselecteerd: *Laminaria*, *Palmaria*, *Ulva*. Hiermee wordt in principe voldaan aan één van de Ecologische Kwaliteits Doelstellingen t.a.v. het voorkómen van verstoring door introductie van gebiedsvreemde soorten¹. Voor dit type ecologische impact zal DNZ kwantitatieve streefwaarden uitwerken.

Ulva heeft veel voedingsstoffen nodig en is een indicator voor eutrofiëring. *Ulva* “bloei” maakt ander gebruik onmogelijk bijv. doordat dit wier netten verstopt. In ondiepe gebieden (bijv. Deense kustgebieden) veroorzaakt bloei van *Ulva* grote O₂-fluctuaties die leiden tot sterfte van vis en bodemleven. *Ulva* heeft het zeegras verdrongen uit de Waddenzee. Teelt van *Ulva* in open zee kan derhalve op gespannen voet staan met OSPAR.

T.a.v. eventuele nutriëntentoevoer is een harde eis van DNZ dat er geen eutrofiëring mag optreden, conform de Ecologische Kwaliteits Doelstellingen. Zo leidt visteelt in zee tot hoge lokale N-fluxen. Bij hoge N/P verhouding treedt vaak bloei op van dinoflagellaten, die al bij lage dichtheden toxisch kunnen zijn door uitscheiding van (toxische) N-verbindingen.

Andere aandachtspunten zijn:

- het ontsnappen van organismen en eventueel gebruik van biocides (naar analogie met de teelt van zalm in zee);
- eutrofiëring en zuurstofloosheid in gebieden waar afgebroken zeewierfragmenten kunnen sedimenteren. De Noordzee is een gebied met forse stromingen. Echter met name het “Oestergronden gebied”² toont een sterke sedimentatie. Daar kan sedimentatie van afgebroken zeewierfragmenten mogelijk een probleem vormen door reductie van het zuurstofbudget in de waterkolom.

¹ Naast aquacultuur is de scheepvaart een potentiële bron van (onbedoelde) introductie van gebiedsvreemde soorten.

² De “Oestergronden” liggen in het noordelijk deel van de Centrale Noordzee. Het gebied is 40-50 m diep, gestratificeerd (in de zomer). Het is een slibrijk sedimentatiegebied, met een rijk en divers bodemleven.

Potentiële positieve effecten op milieu en natuur

Uit deze verkenning volgt dat de combinatie van offshore windparken en aquacultuur positieve (neven)effecten kan hebben t.w.:

- synergie met offshore wind en meervoudig, multifunctioneel ruimtegebruik.
- combinatie met andere aquacultuur vormen zoals teelt van vis en schelpdieren
- herstelgebieden voor visbestanden die mogelijk kan worden versterkt door het uitzetten van pootvis (“kraamkamerfunctie”).

De opname van voedingstoffen uit het zeewater door zeewieren is een positief milieueffect omdat hiermee de eutrofiëring wordt gereduceerd. De eventuele combinatie met andere vormen van aquacultuur moet nader worden beoordeeld. Herstelgebieden voor visstand en eventueel uitzetten van pootvis (bijv. kabeljauw?) kan een positief nevenaspect zijn. Maar dit moet dan wel worden aangetoond. De aanwezigheid van grote hoeveelheden zeewier kan ook een bedreiging vormen voor de visstand (bijv. voor “oogjagers” doordat de hoeveelheid beschikbaar licht afneemt). Dit moet nader worden onderzocht. Potentieel kunnen synergetische effecten het draagvlak vergroten, indien ze kunnen worden onderbouwd/aangetoond.

Vervolgactiviteiten

In de visie van DNZ zijn de belangrijkste aandachtspunten die het eerst aan de orde moeten komen in de ontwikkeling:

- Nader in kaart brengen van te telen zeewiersoorten
- In kaart brengen teeltechnieken en -systemen en de hieraan gekoppelde effecten op het ecosysteem met name eutrofiëring en potentiële verstoring van zeezoogdieren
- Ruimtebeslag en evt. conflicterend ruimtegebruik (“er is weinig ruimte op de Noordzee”)

DNZ is vergunningverlenend en beoordeelt en begeleidt alle activiteiten op de Noordzee met inbegrip van (initiatieven voor) offshore windparken en aquacultuur. De DNZ Afdeling Beleidsvoorbereiding en Evaluatie is in principe bereid een begeleidende rol te spelen bij de verdere ontwikkeling.

7.4.2 Visie Stichting de Noordzee

Het gesprek is op 1-12-2004 gevoerd met Dr. Esther Luiten, Stichting de Noordzee door W. Brandenburg, WUR-PRI. Stichting De Noordzee (Utrecht) is een onafhankelijke milieuorganisatie, die functioneert als “advocaat van de zee.” Stichting de Noordzee maakt zich onder meer sterk voor bescherming van vijf natuurgebieden in de Noordzee: Doggersbank, Klaverbank, Centrale Oestergronden, Friese Front en de kustzone. Deze gebieden verdienen volgens de stichting extra bescherming omdat er onder andere koudwater koralen, roggen en dolfijnen voorkomen en omdat ze heel belangrijk zijn als voedselgebied voor vogels, vissen en andere zeeorganismen. Stichting De Noordzee vindt dat de overheid in al haar beleid deze zeegebieden moet noemen als een te beschermen gebied. Ook moeten er concrete beschermingsmaatregelen en beheersplannen komen.

De organisatie is veelal actief als lobbyorganisatie met name op de gebieden: scheepvaart, visserij, ruimtelijke ordening; en gevaarlijke stoffen, educatie en bewustwording (www.noordzee.nl). Het takenpakket van Dr. Esther Luiten omvat: Marktontwikkeling duurzame visserij, en duurzame innovatie.

Het gesprek ging met name in op:

- De positie van NGO's t.a.v. de ontwikkeling.
- Maatschappelijke randvoorwaarden voor biomassaproductie op zee.

Positie van NGO's

Naast Stichting de Noordzee is de voornaamste actor in deze Greenpeace. De Stichting beschouwt zichzelf breder maatschappelijk actief. De stichting staat onder meer voor

maatschappelijk verantwoord ondernemen in het gebied van de Noordzee. Er mag derhalve geen blijvende milieuschade ontstaan, de Noordzee biodiversiteit mag niet worden aangetast met speciale aandacht voor de grote zeezoogdieren. Bovenstaande blijkt uit hun actieve deelname aan een internationaal project om het zwerfvuil dat afkomstig is van schepen tegen te gaan en aan te dringen op afdoende maatregelen door de aan de Noordzee grenzende landen.

Speciale aandacht zal er moeten zijn voor de infrastructuur in combinatie met andere activiteiten zoals de combinatie met windenergie en de transportfunctie op zee. Dus enerzijds het multifunctioneel gebruik van de ruimte en anderzijds de scheiding van functies die met het oog op veiligheid niet combineerbaar zijn. De stichting ziet ook dat de regelgeving in deze een obstakel kan zijn. Voorts moet er speciale aandacht besteed worden aan het effect op de in de Noordzee levende organismen. Dit heeft aan de ene kant betrekking op het feit dat wellicht bemesting nodig is (die dus precies zal moeten worden uitgevoerd en daarmee niet leidt tot eutrofiëring van het zeewater) en anderzijds op de constructie waarin geen dolfijnen, bruinvissen of walvissen verstrikt mogen raken.

De regelgeving is in beide gevallen tamelijk restrictief. Zo is bemesting op zee uitgesloten tenzij aannemelijk kan worden gemaakt dat de techniek een precisietechniek is die in geval van breuk ook onmiddellijk stopt. Ten aanzien van de biodiversiteit speciaal gelet op dolfijnen zijn er internationale convenanten die maken dat er geen grote obstakels het leven van deze dieren nadelig mogen beïnvloeden. Er is echter ook oog voor de mogelijk positieve effecten zoals de kraamkamerfunctie voor vis en de mogelijkheid dit te combineren met hangcultures voor mossels.

Maatschappelijke randvoorwaarden voor zeewierenteelt in de Noordzee

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. Zo zien we dat de visserij vaak moet wijken voor de andere activiteiten, maar ook de gas- en oliewinning en scheepvaart kunnen met elkaar in conflict komen. Dit is overigens geregeld doordat de scheepvaart op de Noordzee vaste routes kent en dat voor gas- en oliewinning speciale gebieden in concessie zijn uitgegeven.

Gelet op de complexe regelgeving is multifunctioneel ruimtegebruik op de Noordzee dan ook nog lang niet vanzelfsprekend, vooral niet als het om grootschalige projecten gaat. Het doel moet dan nu ook in de eerste plaats zijn om middels een pilot project met een begeleidend monitoringprogramma aan te tonen dat zeewierenteelt economisch vitaal en ecologisch duurzaam is.

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).

Voor de grootschalige introductie van zeewierenteelt is het derhalve noodzakelijk om in een pilotexperiment een maatschappijwetenschappelijke component in te bouwen om zodoende 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.

Stichting De Noordzee is bereid om (kritisch) mee te denken over een pilot experiment, om zo de maatschappelijke component vanaf het begin af aan in de pilot in te brengen en mee te

wegen. Dit kan bijdragen aan het op gang brengen van de maatschappelijke discussie en het in beeld krijgen van de maatschappelijke randvoorwaarden.

7.5 Referenties Hoofdstuk 7

- [1] Offringa, H.; Blaas, M.; Stephens, M.; van den Akker, S. (2004). Begrenzing natuurgebieden op de Noordzee. Stichting De Noordzee: Utrecht, The Netherlands. 25 pp.
- [2] *Noordzee in Balans. Introductie van de Ecosysteem Benadering bij het reguleren van menselijke activiteiten op de Noordzee.* Brochure Ministerie VenW, Directie Noordzee en Ministerie van LNV.
- [3] *Signalen uit de Noordzee. Signaleren, beoordelen, evalueren en reageren.* juni 2003. Rijkswaterstaat, Directie Noordzee. Hoofdafdeling Waterbeheer. Rapport NZ - 2003/10. pdf file te downloaden van de Noordzee website www.noordzee.org
- [4] Stichting de Noordzee. www.noordzee.nl
- [5] Luiten, E. (red.), 2004. Zee in zicht. Zilte waarden duurzaam benut. STT/Beweton publ. 67:
- [6] Lindeboom,H., 2004. Hoogste tijd voor onderwaterreservaten. Resource Magazine Wageningen UR #11, Februari 2004.

8. Conclusies en aanbevelingen voor vervolgonwikkeling

De realisatie van een ecologisch inpasbaar en efficiënt teeltsysteem met een goed beheersbare, optimale biomassaproductiviteit is de belangrijkste kritische succesfactor voor de realisatie van grootschalige zeewierenteelt in de Noordzee. Hierin zijn als deelaspecten te onderscheiden:

- De constructie van het zeewierkweekstelsel, dat robuust en stabiel dient te zijn in het dynamische zeemilieu en tevens moet voldoen aan de eisen voor inpassing in offshore windparken ten aanzien van de constructie en de toegankelijkheid van de windturbines voor onderhoudswerkzaamheden. Het optimale systeemontwerp (geometrie, materiaalkeuze, uitdemping van golfslag e.d.) voor grootschalige, kosteneffectieve toepassing is onbekend.
- Het systeem moet een optimale productiviteit per oppervlakte eenheid 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 zoals bruinvissen en dolfijnen niet wordt belemmerd of verstoord.
- Zonder nutriëntentoevoer zal de productiviteit in de Noordzee naar verwachting ca. 20 ton droge stof/ha.jaar bedragen. Door gedoseerde nutriëntentoevoer kan dit mogelijk worden verhoogd tot ca. 50 ton droge stof/ha.jaar. 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.
- Ook aspecten als het afbreken en sedimentatie van zeewieren en de potentiële verstoring van het zuurstofbudget in de waterkolom dienen te worden onderzocht.
- Eventuele positieve neveneffecten op het milieu en natuurwaarden moeten worden onderbouwd/aangetoond. Met name de potentiële positieve effecten op de biodiversiteit door aanhechting van schelpdieren en een mogelijke functie als “kraamkamer” voor herstel van visbestanden.

Een tweede kritische succesfactor is het verwerven van maatschappelijk draagvlak. Een belangrijke 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. Daartoe is het essentieel een participatief proces te starten teneinde de maatschappelijke randvoorwaarden nader in kaart te brengen in samenspraak met stakeholders.

De belangrijkste aanbeveling is een pilot experiment uit te voeren gericht op de bovengenoemde kritische succesfactoren. Het experiment omvat de inrichting van een pilot schaal kweekstelsel op een locatie in zee teneinde de technologische en ecologische aspecten te onderzoeken. In dit experiment wordt tevens een participatief proces opgenomen voor het nader verkennen van de maatschappelijke randvoorwaarden en de opbouw van maatschappelijk draagvlak. Een voorstel op hoofdlijn voor het pilot experiment is opgenomen in Hoofdstuk 9.

Op basis van de resultaten kan een voorontwerp worden gemaakt voor een integraal teeltsysteem en een integraal ketenontwerp voor kweek, logistiek en verwerking inclusief massa- en energiebalans en economische evaluatie. Dit ontwerp kan vervolgens dienen voor het nader beoordelen van de duurzaamheid van de integrale keten door middel van een ecologische evaluatie (screening LCA) op basis van kwantitatieve gegevens over de (vermeden) milieu-impact van de verschillende eindproducten ten opzichte van alternatieve producten van fossiele oorsprong.

Parallel aan de ontwikkeling van het kweekstelsel is het aan te bevelen initiatieven te ontplooiën om bij de huidige opzet van vergunningverlening voor offshore windparken harmonisatie met de vergunningverlening voor aquacultures en de gezamenlijk MER aanvraag te bewerkstelligen. Een geïntegreerd regelgevingskader is een belangrijke voorwaarde voor het realiseren van duurzaam, meervoudig ruimtegebruik op zee.

Ook nader onderzoek naar de mogelijkheden van combinatie van zeewierenteelt met de teelt van vis en schelpdieren is sterk aan te bevelen.

Een derde kritische succesfactor -met name op langere termijn- is de verwerking van de zeewieren tot producten en energiedragers. In eerste aanleg kan bij winning van reeds bekende producten zoals phycocolloïden gebruik worden gemaakt van bestaande verwerkingstechnologie en productie van energiedragers (methaan, elektriciteit) via anaërobe vergisting. Voor de laatste wordt aanbevolen de vergistingparameters (hydrolyse snelheid, gasproductie) en de kwaliteit van het digestaat nader te verifiëren. Daarnaast is aan te bevelen de inzet van zeewieren als grondstof voor HTU op lab schaal te onderzoeken. Voor andere producten dient nieuwe technologie te worden ontwikkeld zoals voor de hydrolyse en fermentatie van zeewierpolysachhariden tot bioethanol en voor de productie van platformchemicaliën zoals melkzuur. Een nadere verkenning naar de mogelijkheden op dit punt is sterk aan te bevelen.

Zeewieren zijn bij uitstek een grondstof voor bioraffinage, waarbij gestreefd wordt naar ecologisch en economisch optimale winning van combinaties van CO₂ neutrale producten en energiedragers. In dit kader wordt ontwikkeling aanbevolen van bioraffinage concepten teneinde de optimale bioraffinage ketens nader te definiëren op basis van scenario's en case studies. Tevens wordt aanbevolen een nadere identificatie uit te voeren van hoogwaardige inhoudsstoffen zoals vetzuren, kleurstoffen en bio-actieve stoffen die uit de geselecteerde zeewieren *Ulva*, *Laminaria* en *Palmaria* kunnen worden gewonnen.

Op langere termijn dient naast de ontwikkeling van bioraffinage concepten (inclusief logistiek) nieuwe "groene" processingtechnologie te worden ontwikkeld met een minimaal gebruik van hulpstoffen en energie. Hieronder vallen ook: omgang met variatie in samenstelling, stabilisatie en verwerking van biologische producten en de formulering in eindproducten. Uiteindelijk dienen multifunctionele bioraffinage fabrieken te worden ontwikkeld waar de winning van producten en energiedragers wordt gecombineerd.

9. Consortium en beschrijving pilot experiment

9.1 Consortium

In het consortium dient expertise aanwezig te zijn voor het ontwikkelen van optimaal geïntegreerde systemen, en het ontwerpen van de technologie. Daarnaast is deelname noodzakelijk door partners uit de offshore sector en de verwerkende industrie, financiers en overheden en maatschappelijke organisaties voor een continue duurzaamheidstoets bij de ontwikkeling en afstemming met de voorwaarden met betrekking tot infrastructuur, beheersfuncties en natuurbeheer.

Het (kern)consortium voor uitvoering van het pilot experiment zal bestaan uit: de WUR instituten PRI en RIVO en de ECN units Windenergie en Biomassa. Offshore bedrijf Genius Vos heeft aangegeven geïnteresseerd te zijn in deelname in het project. Daarnaast wordt samenwerking voorzien met internationale R&D instituten, waaronder het Alfred Wegener Instituut (ervaring met *Palmaria* en *Laminaria* teelt in de Noordzee) en Ifremer (ervaring met teelt en oogst van o.a. *Laminaria*). WUR-RIVO en WUR-Alterra kunnen mogelijk de ecologische monitoring uitvoeren gezien hun expertise op dit gebied. Daarnaast wordt samenwerking gezocht met andere Transitieconsortia, met name “Bio-energie in Noord Nederland” voor de verwerking van zeewieren tot producten en energiedragers.

In de komende periode wordt het overleg voortgezet met exploitanten van windturbineparken over mogelijke deelname in het experiment en /of het beschikbaar stellen van locaties en met andere potentiële partners. Voor het ontwikkelen van processingtechnologie zal het consortium worden uitgebreid met kennisinstellingen met specifieke expertise op dit gebied en mogelijk bedrijven. Voor de vormgeving van het participatief proces en de opbouw van maatschappelijk draagvlak zal een Klankbordgroep worden gevormd. De RWS Directie Noordzee en Stichting de Noordzee zullen worden uitgenodigd hierin deel te nemen.

9.2 Beschrijving pilot experiment

9.2.1 Doelstelling

De hoofddoelstelling van het experiment is de haalbaarheid van zeewierenteelt te demonstreren door het testen van een experimenteel kweekstelsel (enkele 100' en m²) in de Noordzee. 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.
- 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 zullen 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 het maatschappelijk draagvlak van/voor grootschalige zeewierenteelt.

9.2.2 Locatie

Om de haalbaarheid en de duurzaamheid van de constructie te onderzoeken is een locatie in het NSW of Q7 windpark (of andere offshore wind locatie) 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.

9.2.3 Fasering

De totale looptijd bedraagt drie jaar met de volgende voorziene fasering:

- Jaar 1: ontwerp en bouw constructies, zowel de kweekconstructie als de koppeling met de windturbines; controle bestendigheid; kweek uitgangsmateriaal; start participatief proces.
- Jaar 2: enten van de lijnen; inregelen van de nutriëntengift; start monitoring; organisatie workshop duurzame bio-energie uit zee, analyse maatschappelijke randvoorwaarden.
- Jaar 3: productiemeting; economische analyse experiment, inclusief maken van het plan voor grootschaliger toepassing en gecombineerd onderhoud van kweeksystemen en windturbines, workshop duurzame bio-energie uit zee.

9.2.4 Monitoring

Om een goed beeld te krijgen van onbedoelde effecten (deze behoeven niet noodzakelijk negatief te zijn) op de omgeving is monitoring noodzakelijk. Een potentieel positief neveneffect is dat een productiesysteem van zeevieren een kraamkamerfunctie kan hebben voor jonge vis en schelpdieren. De toevoeging van nutriënten mag daarentegen geen negatief effect op het zeemilieu uitoefenen. De precieze toevoer van nutriënten dient derhalve ook gemonitord te worden en zonodig bijgesteld te worden. Een tweede ecologische randvoorwaarde is dat er geen verstoring mag optreden van het levenspatroon en de migratie van zeezoogdieren (dolfijnen, bruinvissen, walvissen). Het kweekstelsel moet daarom zo worden ingericht en/of uitgerust met waarschuwingssystemen dat het verstrikt raken van zeezoogdieren uitgesloten is. Monitoring van de combinatie met windturbines is nodig om blijvende toegankelijkheid te waarborgen van de machines waaraan een kweekstelsel is gekoppeld.

Monitoring is, behalve gericht op het milieu, ook bedoeld om te zien of de productiedoelstellingen gehaald kunnen worden binnen een realistisch economisch kader. Dit betekent dat gedurende een jaar de productietoename van de biomassa wordt gemeten.

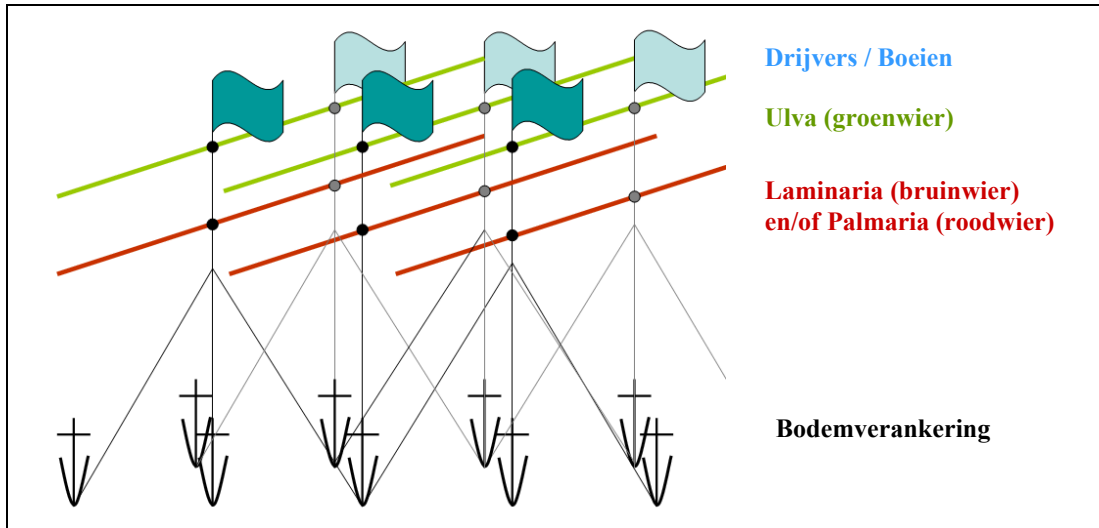
9.2.5 Opzet van het experimentele kweekstelsel

De opstelling moet robuust zijn, bestand tegen golfslag en stroming. Uit het eerder beschreven onderzoek van Buck & Buchholz (zie Hoofdstuk 2) is gebleken dat een experimenteel ringsysteem tot dusverre het beste bestand was tegen de condities in (het Duitse deel van) de Noordzee. Uit economisch oogpunt lijkt dit type systeem echter minder geschikt omdat het arbeidsintensief is en niet mechanisch kan worden geoogst, waardoor met dit systeem geen "economy of scale" kan worden bereikt. Mogelijk kan dit bezwaar door verdere ontwikkeling worden verminderd of opgeheven. Echter op dit moment is het optimale ontwerp voor een systeem dat zowel stabiel als kosteneffectief is niet bekend.

Vooralsnog wordt voor het pilot kweekstelsel uitgegaan van een opstelling die in de Duitse Noordzee is beproefd met verankering aan de bodem (bijvoorbeeld met betonblokken) en drijvende boeien aan het zeeoppervlak (Figuur 9.1). Om twee redenen is uitgegaan van productielijnen, maar wel met verankering aan de bodem en een drijvende boei:

1. De productielijnen zijn driemaal verankerd om zijwaartse verplaatsing tegen te gaan. De initiële verankering kan een windturbinemast op zee zijn of een andere constructie.

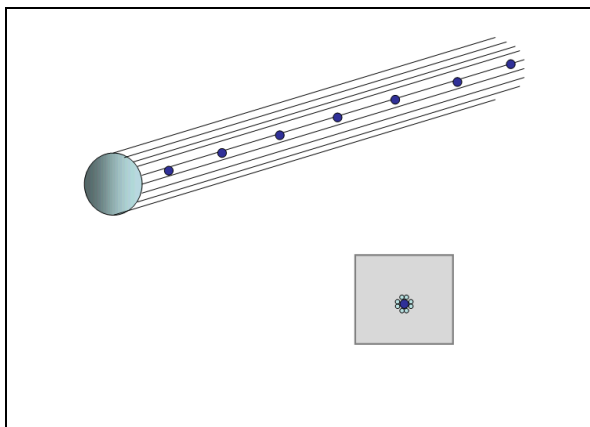
2. De productielijn dient tevens het oogsten van biomassa te vergemakkelijken. Hierbij wordt gedacht aan een biomassa stripper die langs de productielijnen wordt geleid. Op dit punt kan mogelijk worden aangesloten bij het ontwerp van Ifremer voor de oogst van *Laminaria*.



Figuur 9.1 Schematische weergave van het pilot kweekstelsel

Teelt van zeevieren in een gelaagd systeem is een attractief concept omdat zo efficiënt gebruik kan worden gemaakt van het beschikbare oppervlak en het invallende zonlicht. Het kweekstelsel voor het pilot experiment wordt derhalve in meerdere lagen opgezet zodat dit innovatieve concept onder realistische condities kan worden getest. Er zijn twee niveaus van productielijnen (Figuur 9.1). De lijnen aan het oppervlak zijn bedoeld voor *Ulva* productie. Dit groenwier benut optimaal het rode en blauwe deel van het zonlicht; de absorptie in de groene spectraal range is laag. Op grotere diepte worden in een tweede laag rood- of bruinwieren (*Palmaria* of *Laminaria*) gekweekt die door hun specifieke fotoreceptor-systeem een lagere lichtbehoefte hebben en ook het groene deel van het zonlicht kunnen benutten dat door *Ulva* wordt doorgelaten. Het tweede lijnen niveau ligt ongeveer 1,5 meter onder het oppervlak. Het productieoppervlak wordt op deze wijze tweemaal benut.

Figuur 9.2 geeft een detail weer van de productielijnen die hol zijn uitgevoerd voor het doseren van nutriënten. Deze komen in kleine hoeveelheden vrij via kleine openingen die pal naast de aanhechtingsplaatsen liggen van de zeevieren. Onderzocht zal worden of deze methode van “precisie” dosering leidt tot de beoogde productieverhoging en tevens adequaat is om verspreiding van nutriënten in het zeewater afdoende te voorkómen.



Figuur 9.2 Detail van een productielijn

9.2.6 Kostenraming

In Tabel 9.1 is een voorlopige, globale kostenraming gegeven voor het pilot experiment voor uitvoering “nearshore” resp. “offshore”.

Tabel 9.1 *Kostenraming pilot experiment*

Onderdeel	Kosten near shore (€)	Kosten off shore (€)
Constructie	300.000	400.000
Consumables	100.000	100.000
Logistiek	150.000	240.000
Monitoring ecologie	150.000	150.000
Monitoring economie	300.000	300.000
Participatief proces	90.000	90.000
Totaal	1.090.000	1.280.000

BIJLAGEN

De bijlagen zijn genummerd conform het betreffende hoofdstuk.

BIJLAGE 2.1 Stroming 30 km ten westen van IJmuiden

Bron: WIND and WAVES; Study within DOWEC project. www.ecn.nl/wind/other/dowec.
Author: W. Bierbooms; TUDelft; section Wind Energy.

Some information about current on “NL3” location: 52 gr 51 min 53 sec N, 4 gr 24 min 46 sec E. NL3 is located about 30 km west of IJmuiden.

The spread in current direction is very limited due to the tidal effect, see Fig. 2.1.3. It can be assumed that there is little correlation between the waves (or wind) and the current. Comparing the current strength with (fig. 2.1.3) and without tide (fig. 2.1.4; notice the difference in scale) it may be concluded that the current is dominated by the tide.

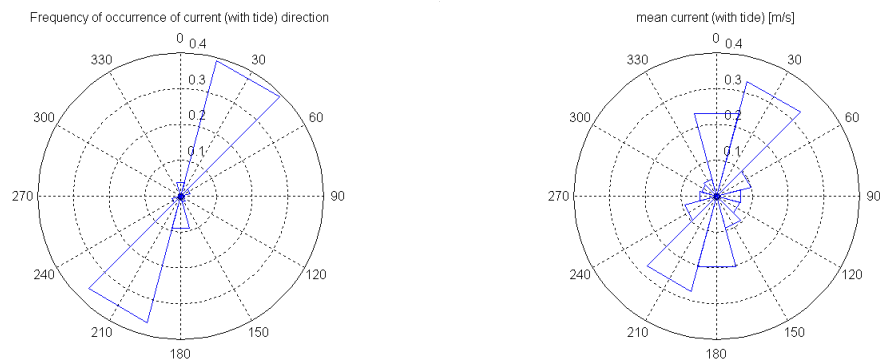


Fig. B-2.1 *Frequency of occurrence of current with tide (left) and polar plot of current speed (right) for the NL3 site*

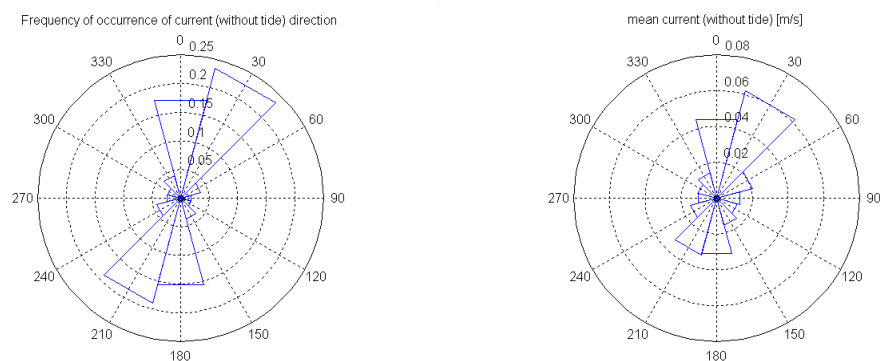
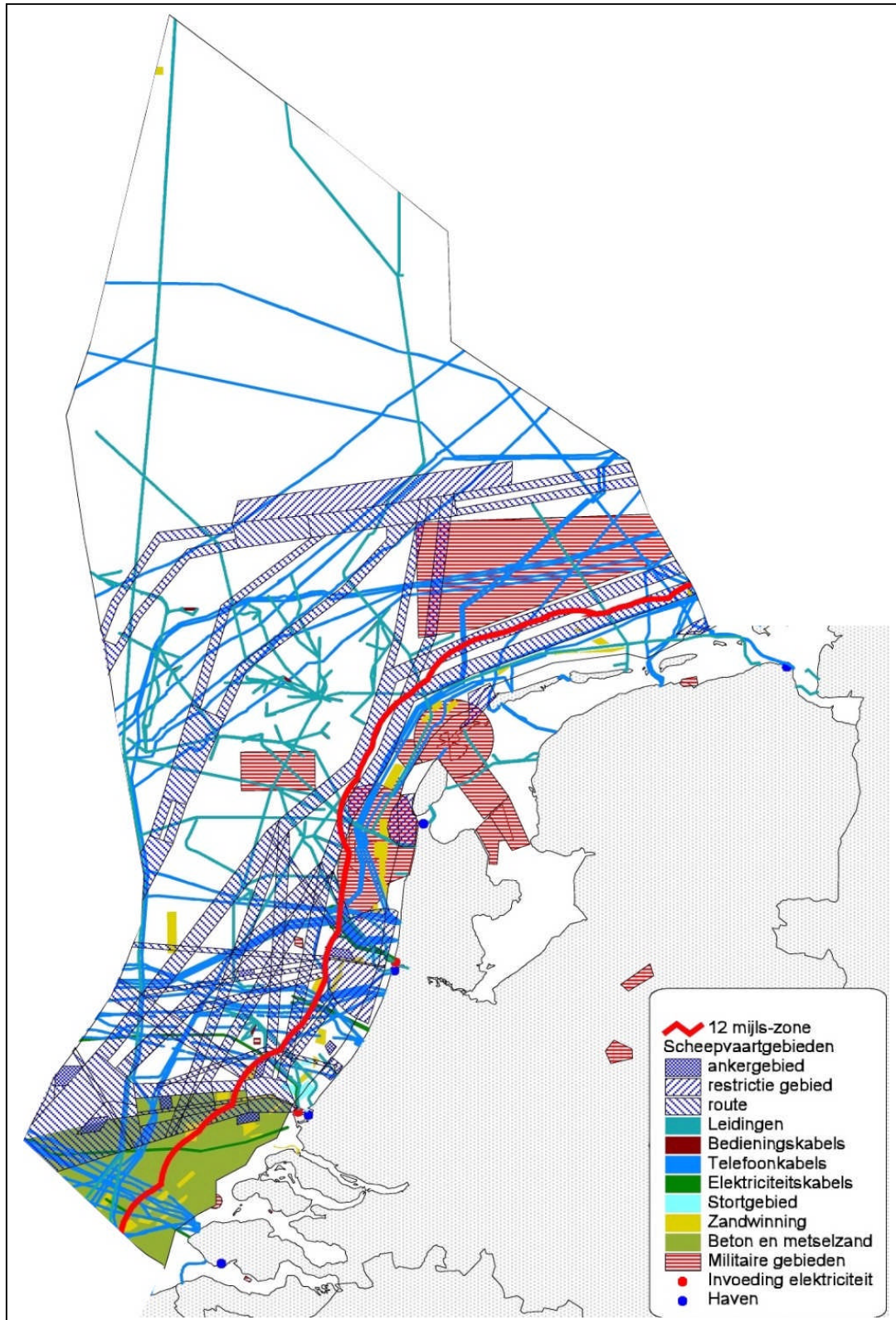


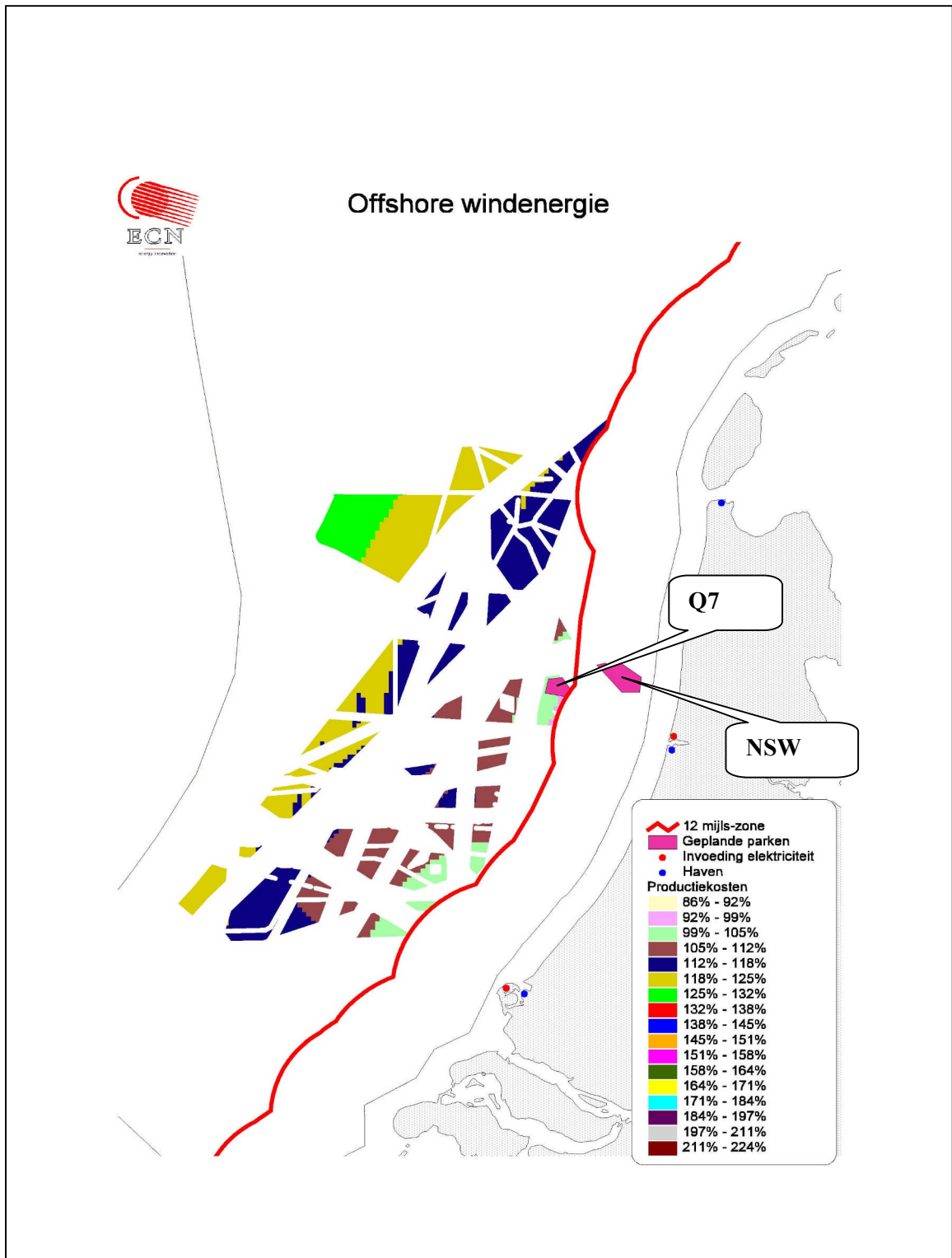
Fig. B-2.2 *Frequency of occurrence of current without tide (left) and polar plot of current strength (right) for the NL3 site*

BIJLAGE 3.1 Gebieden uitgesloten voor offshore windenergie in de NEEZ. Bron: Rijkswaterstaat

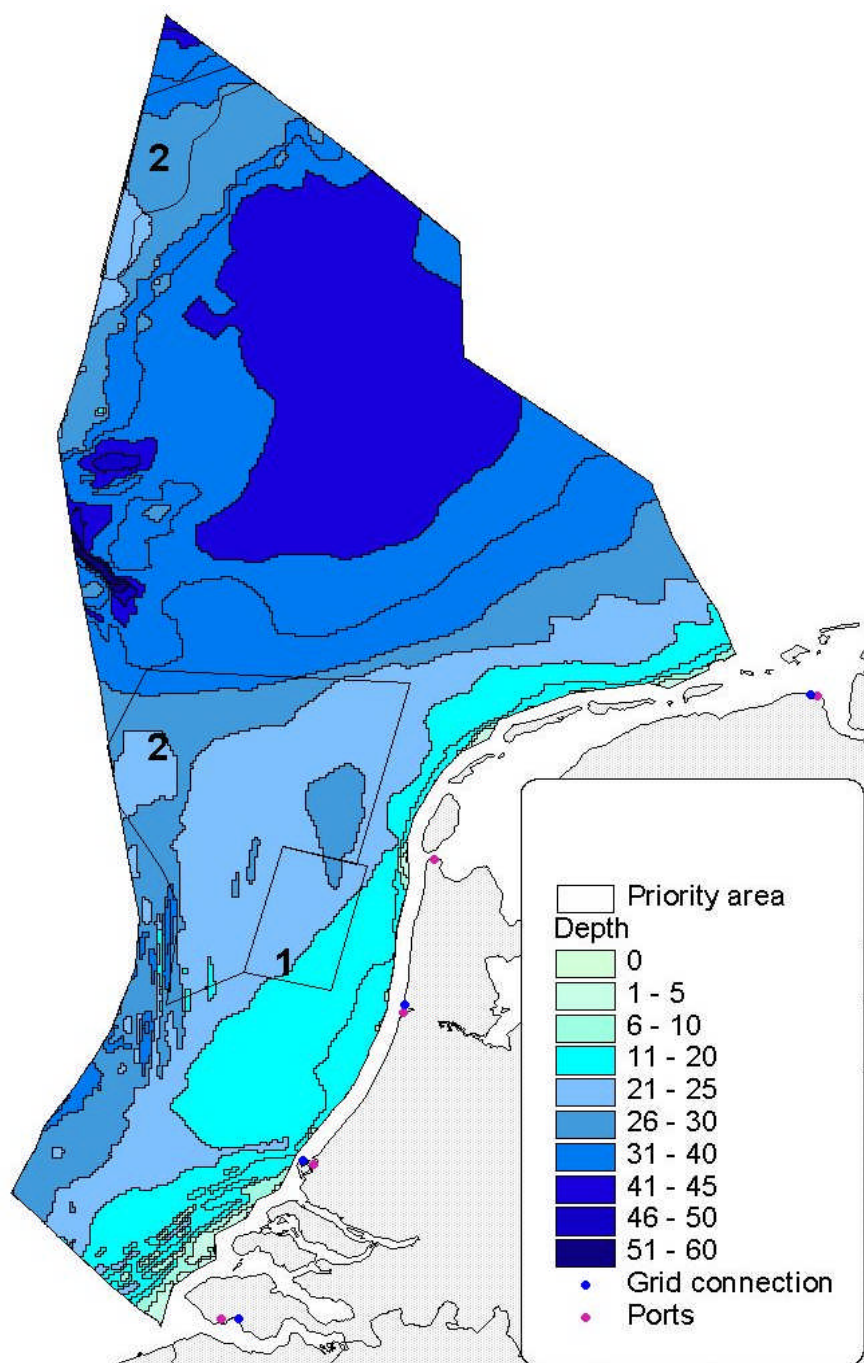


BIJLAGE 3.2 Potentiële WindEnergie gebieden relatief dicht bij de kust

Gebieden, relatief dicht bij de kust, waar windenergie, met een minimaal opgesteld vermogen van 50 MW mogelijk is. Op deze locaties kunnen windparken tot een totaal van 10 GW windvermogen worden opgesteld. De geplande parken NSW en Q7 zijn aangegeven. [1].



BIJLAGE 3.3 Zeediepte kaart Nederlandse Exclusieve Economische Zone



Overzicht van de zeediepte in de Nederlandse Exclusieve Economische Zone (NEEZ). De gebieden 1 en 2 geven voorkeursgebieden aan voor offshore windenergie. Deze voorkeuren worden niet meer gehanteerd.

BIJLAGE 3.4 Details Operating Off- and Near shore Wind farms

Site-Picture Country	Start	# turbines rotor / kW Total Capacity, lay-out	Distance to shore	Water Depth m.	Hub height m.	Foundation	kWh/m ² /y - kWh / y
<u>Nogersund</u> / Sweden	1990	1 * Wind World 25/220	350 m.	6	37,5	Tripod	Out of operation
<u>Vindeby</u> / Lolland - Denmark	1991	11 * Bonus 35 / 450 5 MW / two rows	1,5 – 3 km.	2,5 – 5	37,5	Concrete caisson	1.130 - 11.200.000
<u>Lely IJsselmeer</u> / Netherlands	1994	4 * NedWind 40 / 500 2 MW / single line	800 m.	4 – 5	39	Driven monopile	800 - 4.000.000
<u>Tuna Knob</u> / Denmark	1995	10 * Vestas V 39 / 500 5 MW / two rows	6 km.	3 - 5	40,5	Concrete caisson	1.046 - 12.500.000
<u>Dronten</u> / Netherlands	1996	28 * Nordtank 43 / 600 14 MW / single line	30 m.	1 - 2	50	Driven monopile	900 - 36.700.000
<u>Bockstigen</u> / Gotland - Sweden	March 1998	5 * Wind W 37 / 550 2,8 MW / cluster	4 km.	6		Drilled monopile	1.544 - 8.300.000
<u>Utgrunden</u> / Oland/Sweden	Dec. 2000	7 * Enron W70 / 1500 10,5 MW / cluster	12 km.	7 - 10		Driven monopile	1.370 - 36.900.000
<u>Blyth</u> / UK	2000	2 * Vestas V 66 / 2.000 4 MW	1 km.	6 m 5 m. tide	58	Drilled monopile	1.754 - 12.000.000
<u>Middelgrunden</u> ** Denmark	March 2001	20 * Bonus 76 / 2.000 40 MW, curved line	2 - 3	2 - 6	60	Concrete caisson	1.100 - 99.000.000
<u>Yttre Stengrund</u> Oland -Sweden	July 2001	5 * NEG-M 72 / 2 000 10 MW / line	5 km	8	60	Drilled monopile	1.475 - 30.000.000
<u>Horns Rev Esbjerg</u> - Dk	Dec. 2002	80 * Vestas V80/2.000 160 MW, carré	14 - 20 km.	6 - 14 m.	70	Drilled monopile	1.493 - 600.000.000
Frederikshaven Denmark	Dec 2002	1 * Vestas V 90 - 3.000	500 m.	1	80	<u>Bucket</u>	1200? - 7.600.000

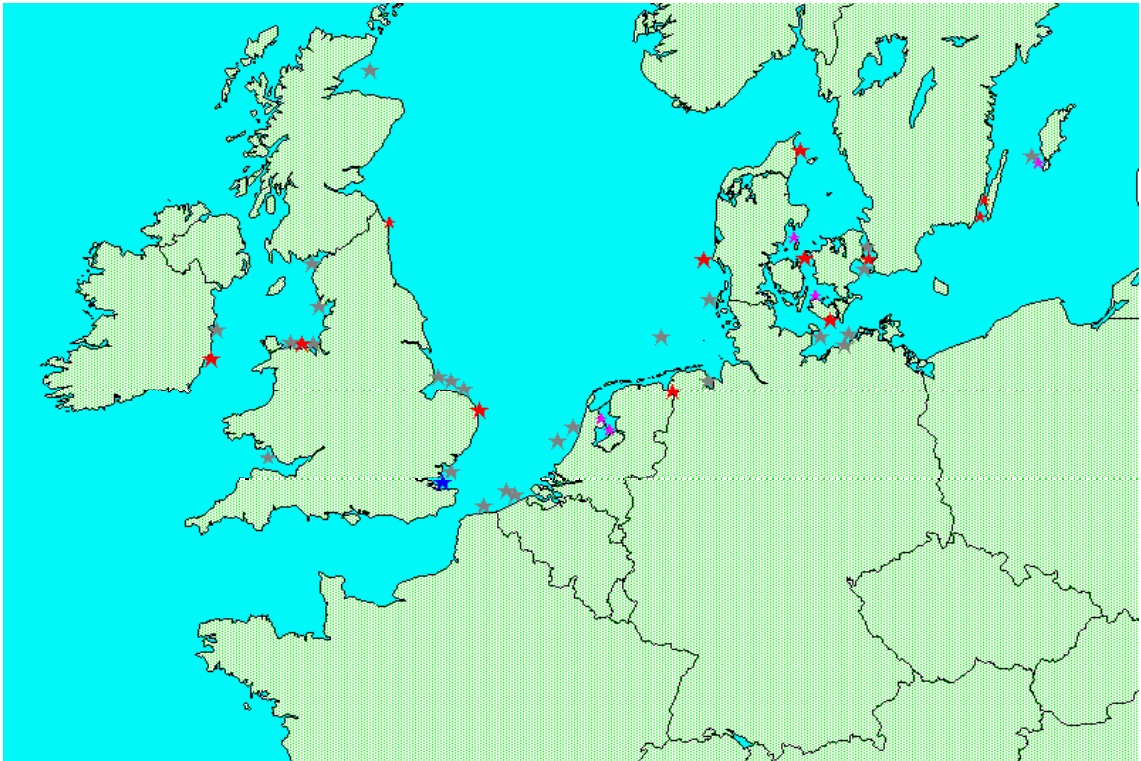
Ronland Jutland-West, DK	Jan. 2003	4* Vestas V 80 / 2.000 4 Bonus 82 / 2.3					1.400? 60.000.000
<u>Samsø</u> , Denmark	Febr. 2003	10 * 82,4 / 2.300 Bonus 23 MW, line	3,5 km	11 - 18	61	Monopile	1.480 - 78.000.000
Frederikshaven Denmark	August- November 2003	1 * Nordex 90 / 2.300 1 * Vestas V 90 / 2.000 1 * Bonus 82 / 2.300	500 m.	1	? / 80 / ?	? / "Bucket" / ?	1200? - 22.000.000
<u>Nysted</u> , Lolland, DK	November 2003	72 * Bonus 82 / 2300 165,6 MW carré	9 km.	6 - 10	70		1.600 - 595.000.000
<u>Arklow Bank</u> Irish Sea, Ireland	December 2003	7 * GEW 104 / 3.600 25 MW	7 - 12 km	5	74	Monopile	1.600? - 95.000.000
<u>North Hoyle</u> , Wales	December 2003	30 * Vestas V80/2.000 60 MW	7-8 km.	12 m. 8 m. tide	67	Monopile	1.600? - 240.000.000

BIJLAGE 3.5 Details geplande offshore windprojecten

Site , Country	On-line	Turbines - Hubb. Farm-Capacity	Water depth m.	Distance to shore	kWh / Y
Klasarden, Gotland, Sweden	2004	NM, 16 * 92/ 2 ,75 MW 44 MW	7 – 11	1,5 km	120 million
Rostock, Breitling River, Germany	2004	1 * Nordex N 90 / 2.300			
<u>Wilhelmshaven</u> , Germany	2004	1 * Enercon E 112 4,5 MW		500 m.	
<u>Scroby Sands</u> Norfolk, UK, WEB-cam: www.utec.co.uk	August 2004	30 * Vestas V 80/2.000 68 m. 60 MW		3 km	
Rhyl Flats, Wales	2004	30 turbines, 100 MW		8 km.	
Grenaa-harbour Jutland-East, DK	2004?	3 turbines NM 92/2.750 8,2 MW			
Barrow Irish Sea, U.K.	Autumn 2004	30 turbines 108 MW		10 km.	
<u>Kentish Flats</u> Thames Estuary, U.K.	2005	NM 92/2.750 30 MW		8 - 10 km.	
Burbo, Irish Sea, UK	2004	30 * 3 MW 90 MW		7 km	
<u>Utgrunden-2</u> , Oland, Sweden	2004	90 MW		7 km.	
Horns Rev - II off Esbjerg, DK	2005?	150 MW			
Inner Dowsing, Lincolnshire, U.K.	2005?	30 turbines 120 MW			
Clacton on Sea Gunfleet Sands Essex, U.K.	2005?	30 turbines GEW 3,6 108 MW			
Cromer, Norfolk U.K.	2005?	30 turbines 120 MW			
Lynn, Lincolnshire, UK	2005?	30 * 3 MW 90 MW			
<u>Borkum-West</u> , Germany	2006-2010	fase 1: 12 turb, 60 MW fase 2; 208 turb, ca. 1000 MW	± 30	45 km. North of Borkum	200 -3.500 million
<u>Long Island</u> New York, USA	2005?	33 turbines 100 MW			
Thornton Bank, Zeebrugge, Belgium	2005?	Vestas turbines 216 - 300 MW		30 km.	
Knokke-Heist Belgium	2005?	50 * Vestas V 80 100 MW			

<u>Q7-WP, North Sea</u> North Sea, Netherlands	2005	60 * Vestas V 80 - 57 120 MW	19 - 24	23 km.	430 million
<u>NSW, North Sea, Netherlands</u>	2005?	36 * NM 92 / 2.750 99 MW	15 - 20	8 - 12 km.	335 million
Solway Firth South West Scotland	2004	60 turbines 199 MW		9 km.	
<u>Cape Cod,</u> Boston, Mass. USA *	2005	130 * 3.6 GEW 468 MW		9 km.	
<u>Butendiek ,</u> North Sea DE	2006	80 * Vestas V 90 - 3.000 240 MW	16 - 20	34 km West from Sylt	800 million
Lillgrund Oresund, Sweden	2006	48 turbines 96-120 MW		10 km from Malmo	
Tunes Plateau Nothern Ireland	?	250 MW		5 km North from Portstewart	
Borkum-Riffgrund Germany	2006	77 turbines 277 MW			
Kish and Bray Bank Ireland	?	50 MW			
Queen Charlotte Isl., Canada (Br. Col.)	2005?	700 MW			
Sky 2000, DE Mecklenburger Bucht	2006	100 MW			
Nordergrunde, Weser- mundung, DE	2006	125 MW			
<u>Pommersche Bucht</u> Baltic Sea, Germany	2006 -	350 - 1000 MW	12 - 20	42 km from Rugen	
<u>Nordsee-Ost</u> North Sea, Germany	2006 -	80 - 170 turbines		30 km West from Amrum	
Amrum Bank West North Sea, Germany	2006?	80 turbines		South West from Amrum	
<u>Prince Rupert</u> Canada	2007?	700 MW			
Cape Trafalgar, Gibraltar Spain	?	200 & 250 MW			
Thames Estuary UK	before 2011	1.864 MW			
Greater Wash UK	before 2011	3.605 MW			
North West UK	before 2011	1.700 MW			

BIJLAGE 3.6 Offshore Windparken in Europa



Windparken Europa

rood en paars = operationeel, blauw = in aanbouw, grijs = gepland

BIJLAGE 4.1 Samenstelling *Laminaria sp.*

Componet	Laminaria japonica bij oogst [Perez, 1996]			Laminaria (farina); (Internet)		Laminaria digitata (Internet)			Laminaria American SuniaLink		Laminaria Japanese SuniaLink		Laminaria sp. Data: P. Kamermans; Zie Annexe.		Gemiddelde samenstelling Laminaria				
	% van droge stof	% van droge stof	% van droge stof	% droge stof	% droge stof	% droge stof	% droge stof	% droge stof	% droge stof	% droge stof	% droge stof	% droge stof	% droge stof	% droge stof	% droge stof	% droge stof	% droge stof		
	Min.	Max.	Gem.			Min.	Max.	Gem.								Min.	Max.	Gem.	%
As	22	28	25	25-28				27,5		26,5	28		As	37,6		22	37,6	26,3	26
Volatile solids (VS)	78	72	75	72-75				72,5		57	79		gemiddeld			78	62,4	73,7	74
eiwit	6	19	12,5	12,15						16	19		eiwit	8-15	11,50	6	19	12	12
lipiden	1	3,5	2,25	1,5						2,0	4,0		lipiden	0,92		0,92	4,0	2,46	2
assimileerbare suikers (glucose, fructose)	8	9	8,5										poly sacchariden	0,4-2,9	1,65				
andere gluciden	43	47	45																
cellulose	3	9	6	7,5												3	9	6,75	6
alginaten	17	19	18	26,75						20	30		alginaten	55		17	30	23,25	23
Laminarine= D-glucose	12	16	14	14				10	18	14						14	14	14	14
Fucoidine (=fucose)	11	23	17	5,5				4	7	5,5						5,5	5,5	5,5	5
Mannitol	8,5	28	18,25	11,3				7	16	11,5						7	18,25	12	12
Minerale zouten	19,4	25,2	22,3					25	28	26,5									
As	22	28	25	26,5						26,5	28		as	37,6					
Totaal (% droge stof)	77,4	103,7	90,55	113	105,2			66	99	82,5		Totaal % d.s.	83,5	107		Totaal % d.s.			
			93,25													Totaal (in % droge stof)	75,4	137,4	102,3
																HHV (berekend)			13,2
																			17,9
																			MJ/kg
Mineralen	mg/100g	mg/100g	mg/100 gr	mg/ kg d.s.	% d.s.	mg/ kg d.s.	% droge stof	% droge stof	% droge stof	mg/ kg d.s.	% droge stof	mg/ kg d.s.	% droge stof	mg/ kg d.s.	% droge stof	mg/ kg d.s.			
	Min.	Max.	Gem.				min.	max.	gem.										
N					1,67	16.700									2,23	3,42	28.250	N	16.700
P	150	222	186	1.860	0,39	3.900	0,3	0,8	0,55	5.500	0,425	4.250	0,22	2.200				P	1.860
S					1,17	11.700	0,9	1,5	1,2	12.000					1,33	6.650		S	6.650
																			12.000
Al																		Al	7,00
Ca	225	880	552,5	5.525	2,27	22.700				0,94	9.400	0,88	8.800				Ca	5.525	
Na			3111	31.110	4,53	45.300				4,5	45.000	3,1	31.000	3,82	38.200		Na	31.110	
K	4350	12680	8515	85.150	4,58	45.800	7	9	8	80.000	11,2	112.000	12,7	127.000	13,34	11.58	124.600	K	45.800
Mg			757	7.570	0,57	5.700				0,9	9.000	0,76	7.600	0,659	6.590		Mg	5.700	
I	130	690	410	4.100	0,5	5.000	0,3	0,8	0,55	5.500	0,14	1.400	0,67	6.700			I	1.400	
Fe	15	43	29	290	0,14	1.400				0,04	400	0,043	430	33	40	36,50	Fe	36,50	
Mn			0,4	4,0						0,00012	1,2	0,0004	4,0	3,04	5,0	4,02	Mn	1,2	
Se			0,4	4,0												5,70	Se	4,0	
Co																0,08	Co	0,08	
Mo																<0,01	Mo	<0,01	
			0,2	2,0						0,0002	2,0	0,0002	2,0			<5	Cu	2	
Cu																			<5
As																76,2	As	76,2	
Cr										0,0002	2,0					<0,5	Cr	<0,5	
Cd																2,8	Cd	2,8	
Hg																<0,05	Hg	<0,05	
Ni																0,57	Ni	0,57	
Pb																<0,01	Pb	<0,01	
Va																0,66	V	0,66	
Zn			0,13	1,3						0,00029	2,9	0,0001	1,0			13,1	Zn	1,0	
																			13,1
																			4,6
																			5

Bronnen: Perez et al, 1996; www.surialink.com; andere internetdata; Chynoweth 2002; P. Kamermans, deze verkenning, 2004. Zie annex A

Samenstellingsgegevens *Laminaria* sp. (P. Kamermans, RIVO, 2004, deze studie).

Samenstelling <i>Laminaria</i>	Soort alg	gehalte	referentie
Vetzuren	<i>L. ochroleuca</i>		4
Kleurstoffen	<i>L. saccharina</i>	0.3-2.4 mg chlorofyl a per g versgewicht	7
Alginaten	<i>L. saccharina</i>	total guluronate (F sub(G) = 0.55); G-block fractions (F sub(GG) = 0.43)	6
Eiwit	<i>L. digitata</i>	8-15 % van DW	3
Polysaccharide	<i>L. japonica</i>	0.4-2.9 % van DW	2
Lipide	<i>L. ochroleuca</i>	0.92 % van DW	4
Watergehalte	<i>L. saccharina</i>		9
Asgehalte	<i>L. digitata</i>	37.59 % van DW	11
Verbrandingswaarde			
C	<i>L. saccharina</i>	23.9 to 31.4 % van DW	1
H			
N	<i>L. saccharina</i>	2.23 to 3.42 % van DW	1
P	<i>L. saccharina</i>		10
S	<i>L. saccharina</i>	1.33 % van DW	11
Al	<i>L. saccharina</i>	7 µg/g DW	13
Si			
K	<i>L. japonica</i> <i>L. digitata</i>	11.76-14.91 % van DW 11.58 % van DW	5 11
Na	<i>L. digitata</i>	3818 mg/100 g DW	11
Mg	<i>L. digitata</i>	659 mg/100 g DW	11
Fe	<i>L. saccharina</i> <i>L. digitata</i>	40 µg/g DW 3.29 mg/100 g DW	13 11
Ti	<i>Laminaria</i> sp.		12
As	<i>L. saccharina</i>	76.2 µg/g DW	13
Ba	<i>Laminaria</i> sp.		12
Be			
Cd	<i>L. saccharina</i>	2.8 µg/g DW	13
Co	<i>L. saccharina</i>	0.084 µg/g DW	13
Cr	<i>L. saccharina</i>	<0.5 µg/g DW	13
Cu	<i>L. digitata</i> <i>L. saccharina</i>	<0.5 mg/100 g DW <0.5 µg/g DW	11 13
Hg	<i>L. saccharina</i>	<0.05 µg/g DW	13
Mo	<i>L. saccharina</i>	<0.01 µg/g DW	13
Mn	<i>L. digitata</i> <i>L. saccharina</i>	<0.5 mg/100 g DW 3.04 µg/g DW	11 13
Ni	<i>L. saccharina</i>	0.57 µg/g DW	13
Pb	<i>L. saccharina</i>	<0.01 µg/g DW	13
Se	<i>L. saccharina</i>	5.7 µg/g DW	13
Te			
V	<i>L. saccharina</i>	0.66 µg/g DW	13
Zn	<i>L. digitata</i> <i>L. saccharina</i>	1.77 mg/100 g DW 8.5 µg/g DW	11 13

Referenties

1. Gevaert, F; Davoult, D; Creach, A; Kling, R; Janquin, M-A; Seuront, L; Lemoine, Y Carbon and nitrogen content of *Laminaria saccharina* in the eastern English Channel: biometrics and seasonal variations. *J. Mar. Biol. Assoc. U.K.* Vol. 81, no. 5, pp. 727-734. 2001.
2. Zvyagintseva 2003
3. Fleurence 1999
4. Sanchez-Machado 2004
5. Funaki, Minoru; Nishizawa, Makoto; Sawaya, Takuji; Inoue, Sadanobu Mineral composition in the holdfast of three brown algae of the genus *Laminaria*. *Fisheries science*. Tokyo [Fish. Sci.]. Vol. 67, pp. 295-300. 2001.
6. Indergaard, M; Skjaak-Braek, G; Jensen, A Studies on the influence of nutrients on the composition and structure of alginate in *Laminaria saccharina* (L.) Lamour. (Laminariales, Phaeophyceae). *Botanica Marina [BOT. MAR.]*, vol. 33, no. 3, pp. 277-288, 1990
7. Aguilera, J; Bischof, K; Karsten, U; Hanelt, D; Wiencke, C* Seasonal variation in ecophysiological pattern in macroalgae from an Arctic fjord. 2. Pigment accumulation and biochemical defence systems against high light stress *Marine biology [Mar. Biol.]*. Vol. 140, no. 6, pp. 1087-1095. 2002.
8. Fourest, E; Volesky, B* Alginate properties and heavy metal biosorption by marine algae *Applied Biochemistry and Biotechnology [APPL. BIOCHEM. BIOTECHNOL.]*. Vol. 67, no. 3, pp. 215-226. Sep 1997.
9. Dorgelo, J Intertidal fucoid zonation and desiccation. *Hydrobiol. Bull.* Vol. 10, no. 2, pp. 115-122. 1976.
10. Carhini, L; Dazzi, E; Grisorio, MR Composizione in nutrienti di alcune specie di macroalghe *Rivista di scienza dell'alimentazione*. Rome [Riv. Sci. Aliment.]. Vol. 27, no. 3, pp. 169-173. 1998.
11. Ruperez 2002.
12. Kuhnlein, H. V., Soueida, R. 1992 Use and nutrient composition of traditional Baffin Inuit Foods *Journal Of Food Composition And Analysis* 5(2) 112-126
13. Van Netten, C; Hopton Cann, SA; Morley, DR; Van Netten, JP., 2000. Elemental and radioactive analysis of commercially available seaweed. *The Science of the Total Environment* 225 (2000) 169 – 175.

Representatieve biochemische samenstelling van *Laminaria sp.*

Component	Eenheid	Waarde
Cellulose	gew.% d.s.	6
Hemicellulose	gew.% d.s.	0
Lignine	gew.% d.s.	0
Lipides	gew.% d.s.	2
Proteinen	gew.% d.s.	12
Zetmeel	gew.% d.s.	0
Alginaten	gew.% d.s.	23
Laminarine	gew.% d.s.	14
Fucoidine	gew.% d.s.	5
Mannitol	gew.% d.s.	12
Totaal fermenteerbare suikers	gew.% d.s.	60
Asgehalte	gew.% d.s.	26

Proximate en ultimate analyse en elementaire samenstelling *Laminaria sp.*

Component	Eenheid	Waarde
Vochtgehalte	gew.% nat	88 ¹⁾
Asgehalte	gew.% d.s.	26
Vluchtig	gew.% d.s.	74
C	gew.% d.s.	34,6
H	gew.% d.s.	4,7
O	gew.% d.s.	31,2
N	gew.% d.s.	2,4
S	gew.% d.s.	1,0
Cl	gew.% d.s.	-
F	gew.% d.s.	-
Br	gew.% d.s.	-
Al	mg/kg d.s.	7
As	mg/kg d.s.	76,2
B	mg/kg d.s.	-
Ba	mg/kg d.s.	-
Ca	mg/kg d.s.	11.600
Cd	mg/kg d.s.	2,8
Co	mg/kg d.s.	0,08
Cr	mg/kg d.s.	1,25
Cu	mg/kg d.s.	<5
Fe	mg/kg d.s.	511
Hg	mg/kg d.s.	<0,05
I	mg/kg d.s.	4.540
K	mg/kg d.s.	95.760
Mg	mg/kg d.s.	7.290
Mn	mg/kg d.s.	3,3
Mo	mg/kg d.s.	<0,01
Na	mg/kg d.s.	38.120
Ni	mg/kg d.s.	0,57
P	mg/kg d.s.	3540
Pb	mg/kg d.s.	<0,01
Sb	mg/kg d.s.	-
Se	mg/kg d.s.	4,9
Si	mg/kg d.s.	-
Sn	mg/kg d.s.	-
Sr	mg/kg d.s.	-
Te	mg/kg d.s.	-
Ti	mg/kg d.s.	-
V	mg/kg d.s.	0,66
Zn	mg/kg d.s.	4,6
HHV	(MJ/kg d.b.)	13,2
LHV	(MJ/kg d.b.)	12,2 ²⁾
HHV	MJ/kg daf	17,9
LHV	MJ/kg nat	-0,7

¹⁾ Bij oogst.

²⁾ Berekend op basis van HHV.

BIJLAGE 4.2 Techno-economische evaluatie van anaërobe vergisting van zeewieren

De evaluatie is uitgevoerd door Dr. G. Zeeman, Lettinga Associates Foundation, Wageningen, in opdracht van ECN in het kader van het OTC-project "BIO-OFFSHORE. Grootschalige teelt van zeewieren in combinatie met offshore windparken in de Noordzee". Januari 2005.

1. Inleiding

Grootschalig geteelde zeewierenbiomassa kan een belangrijke bron (gaan) vormen voor productie van methaan via anaërobe vergisting [1,2,5,8]. De technische en economische aspecten van zeewiervergisting zijn onvoldoende bekend. De doelstellingen van deze evaluatie zijn:

- het vaststellen van vergistbaarheid, methaanproductie en samenstelling van reststromen van zeewiervergisting;
- keuze van het type vergistingsinstallatie en de grootte van de installatie, inclusief conversie van biogas naar elektriciteit en warmte en effluent nabehandeling;
- raming van de investeringen en de productiekosten van methaan resp. elektriciteit geproduceerd door grootschalige zeewiervergisting.

De evaluatie is uitgevoerd op basis van literatuurgegevens [1-11], procesberekeningen en in-house expertise LeAF, en kostengegevens voor recent in Nederland gerealiseerde vergistingsinstallaties [3]. De evaluatie is toegespitst op vergisting van *Laminaria sp.*, een van de zeewiersoorten die zijn geselecteerd voor mogelijke teelt in de Noordzee [4]. Er werden twee cases doorgerekend voor vergisting van resp. 100.000 en 500.000 ton (droge stof basis) zeewierenbiomassa per jaar, in overleg met opdrachtgever ECN [4].

2. Samenstelling, gasopbrengst en vergistings-snelheid van de zeewiersoorten laminaria, macrocystis en ulva

In Tabel 1 zijn de samenstellingsgegevens en vergistingskarakteristieken weergegeven van een drietal zeewiersoorten. Uit Tabel 1 blijkt dat de verschillende zeewieren een maximale methaanopbrengst (B_0) hebben van 0,3 tot 0,48 m³ methaan per kg organische stof. De maximale methaanopbrengst is vergelijkbaar met die van primair rioolwaterslib en kan als goed worden gekarakteriseerd. Chynoweth (1987) [5] geeft aan dat vooral het gehalte mannitol, de maximale methaanopbrengst in belangrijke mate beïnvloedt. Hoe hoger het mannitol gehalte hoe hoger de maximale methaanopbrengst. Resultaten van onderzoek uitgevoerd door Fannin *et al.* (1983) [5] met de model substraten mannitol en alginaat laten zien dat mannitol zowel een hogere maximale gasopbrengst als een hogere afbraaksnelheid heeft.

Het stikstof gehalte van de verschillende in Tabel 1 weergegeven zeewieren is dusdanig dat bij de toegepaste drogestof gehalten geen NH₄⁺-N toxiciteit in de vergister zal optreden. Verdere concentratie van het influent behoort tot de mogelijkheden.

Concluderend: Zeewierenbiomassa is een uiterst geschikte grondstof voor toepassing van anaërobe vergisting.

Tabel 1. Samenstelling en vergistingkarakteristieken van de zeewierren *Laminaria sp.*; *Macrocystis pyrifera* en *Ulva sp.* [4– 8]

Grondstof		<i>Laminaria sp.</i> [4]	<i>Macrocystis pyrifera</i> ; lot no 53 (Chynoweth, 1987) [5]	<i>Ulva lactuca</i> (Wahbeh 1997 [6], Ventura 1998 [7])	<i>Macrocystis pyrifera</i> ; (gemiddelde) (Chynoweth, 1987) [5]
Proximate analyse					
Vochtgehalte	(gew.%)	88 ¹⁾	87	84	88
Asgehalte	(gew.% DS.)	26	40	18-34	42
Vluchtig (organische stof)	(gew.% DS.)	74	60	83	58
Ultimate analyse					
C	(gew.% DS.)	34,6	29,8		27,4
H	(gew.% DS.)	4,7	4,0		3,7
O	(gew.% DS.)	31,2			
N	(gew.% DS.)	2,3	2,0		1,9
S	(gew.% DS.)	1,0	0,9		1,0
P	(gew.% DS.)	0,4	0,3		0,3
Cl	(gew.% DS.)				
F	(gew.% DS.)				
Br	(gew.% DS.)				
Totaal	(gew.% DS.)	100,0	100		100
Verbrandingswaarde					
LHV	(MJ/kg DS.)	12,2 ²⁾			
HHV	(MJ/kg DS.)	13,2	11,3	14	10,5
Biochemische samenstelling					
Cellulose	(gew.% DS.)	6		9	
Hemicellulose	(gew.% DS.)	0		9	
Lignine	(gew.% DS.)	0		3	
Lipides	(gew.% DS.)	2		5	
Proteïnes	(gew.% DS.)	12		18-22	
Zetmeel	(gew.% DS.)	0			
Alginaten	(gew.% DS.)	23			
Laminarine	(gew.% DS.)	14			
Fucoidine	(gew.% DS.)	5			
Mannitol	(gew.% DS.)	12	21,4		14,6
Maximale Methaan opbrengst (B₀)					
K _h ⁴⁾	(m ³ /kg os)	0,30 ³⁾	0,43 ³⁾	0,48	0,31 ⁵⁾
	Dag ⁻¹	0,1 ⁴⁾	0,1 ⁴⁾		0,1 ⁴⁾

1) Na oogst; 2) Berekend op basis van HHV; 3) Chynoweth, (1987)) [5]. 4) De eerste-orde hydrolyse constante is berekend op basis van CSTR vergisting van *Macrocystis pyrifera* lot 53 (Chynoweth (1987) [5]; 5) Marine Biomass workshop (1990) in [2]

3. Berekeningen energiewinning uit laminaria sp. d.m.v. anaërobe vergisting

3.1 Gemiddelde structuurformule organische componenten Laminaria

De gemiddelde elementaire samenstelling (C,H,O,N) van *Laminaria* is gegeven in Tabel 2.

Tabel 2. Samenstelling C, H, O & N van *Laminaria sp.* [5]

Element	Gew% d.s.	Mol ratio
C	34,6	2,88
H	4,7	4,7
O	31,2	1,95
N	2,3	0,16

Op basis van de gegevens in Tabel 2 is de gemiddelde structuurformule van de organische componenten in *Laminaria* vastgesteld: $(C_{2,9}H_{4,7}O_{1,95}N_{0,16})_x$

3.2 Berekening CZV/OS ratio

De hoeveelheid O_2 moleculen benodigd voor oxidatie van biomassa met de algemene formule $C_nH_aO_bN_d$ bedraagt: $n+1/4a - 1/2b - 3/4d$.

Hiermee kan worden berekend dat 1mol $C_{2,9}H_{4,7}O_{1,95}N_{0,16}$ overeenkomt met 95,36 g CZV

1mol $C_{2,9}H_{4,7}O_{1,95}N_{0,16}$ is 72,94 g OS. Dit betekent dat de CZV/OS ratio voor $(C_{2,9}H_{4,7}O_{1,95}N_{0,16})_x$ 1,31 bedraagt.

Bij 100% (theoretisch) OS afbraak zal $:1,31*0,35=0,46$ l CH_4/g OS (=theoretische methaanopbrengst) worden gevormd (1 g CZV= 0,35 l CH_4 (STP). Chynoweth et al. (1987) [5] geeft een theoretische methaan opbrengst van 0,49 l CH_4/g OS voor *Laminaria sp.*

Bij een B_0 van 0,3 l CH_4/g OS (zie Tabel 1) en een theoretische methaanopbrengst van 0,46 l CH_4/g OS bedraagt de afbreekbaarheid ((maximale methaanopbrengst/ theoretische methaanopbrengst)*100) = 65%.

3.3 Methaanproductie bij anaërobe vergisting van *Laminaria* in een Volledig Gemengd Doorstroom (VGD) systeem als functie van de verblijftijd

De influent concentratie van Laminaria is gesteld op 12% DS (zie Tabel 1). Dit komt overeen met de droge stof concentratie direct na het oogsten van de zeewieren [4]. Een influent met een dergelijke concentratie is een verpompbare slurry. Voor de energiewinning d.m.v. anaërobe vergisting wordt daarom gekozen voor toepassing van een *Volledig Gemengd Doorstroom Systeem* (VGD). In onderstaande Tabel 3 zijn de verwachte gasproducties weergegeven, berekend op basis van eerste orde kinetiek voor de hydrolyse van gesuspenderde organische stof en ervan uitgaande dat de hydrolyse de snelheidbeperkende stap is.

Er is gekozen is voor mesofiele vergisting (35 °C). Toepassing van thermofiele vergisting is tevens een optie. Voor thermofiele vergisting zijn echter geen gegevens beschikbaar over de hydrolysesnelheden. Het is daarom niet mogelijk in dit stadium energieopbrengsten bij verschillende verblijftijden te berekenen. Bij toepassing van thermofiele vergisting kunnen in

principe kortere verblijftijden worden toegepast. Daarentegen is het proces kwetsbaarder voor met name toxische componenten (b.v. $\text{NH}_4^+\text{-N}$).

Tabel 3. Berekende methaangasproductie en effluent OS en DS concentratie, als functie van de verblijftijd, tijdens vergisting van *Laminaria* in een Volledig Gemengd Doorstroom (VGD) systeem, bij 35°C

Verblijftijd (dagen)	*CH ₄ yield (m ³ /kgOS)	** OS _{Effluent} (kg/m ³)	** DS _{Effluent} (kg/m ³)
10	0,15	60	91
20	0,2	50	82
30	0,225	46	77
40	0,24	43	74
50	0,25	41	72

* Berekend met een eerste orde hydrolyse constante (kh) van 0,1 dag⁻¹ en een maximale methaanopbrengst (B₀) van 0,3m³ CH₄/kg OS

** Bij een influent DS concentratie van 12% en een OS gehalte van 74% (DS basis).
 $\text{OS}_{\text{Effluent}} = [(B_0 - \text{CH}_4\text{yield})/B_0] * 0,65 * 0,74 * 120 + 0,35 * 0,74 * 120$ (kg/m³);
 $\text{DS}_{\text{Effluent}} = [(B_0 - \text{CH}_4\text{yield})/B_0] * 0,65 * 0,74 * 120 + 0,35 * 0,74 * 120 + 0,26 * 120$ (kg/m³);

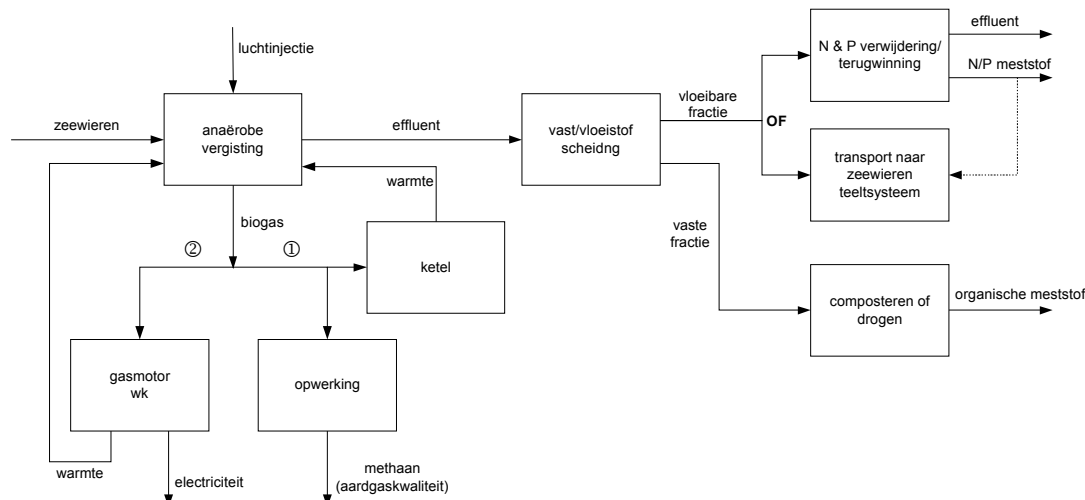
Op basis van de gasproducties in Tabel 3 is gekozen voor een hydraulische verblijftijd van 20 of 30 dagen. In een VGDsysteem is de Hydraulische Verblijftijd (HVT) gelijk aan de slibverblijftijd (SVT).

4. Procesbeschrijving inclusief nabehandeling en gasgebruik

In Figuur 1 is een processchema weergegeven voor de vergisting van zeewieren, inclusief inzet van biogas voor elektriciteitsproductie of opwerking tot aardgaskwaliteit en nabehandeling van het digestaat.

De zeewierenbiomassa wordt met een droge stof gehalte van 12% in de vergister gebracht, (debiet 2.280 - 11.415 m³/dag). In de vergisters vindt luchtinjectie plaats om het H₂S gehalte van het biogas te reduceren. Het biogas (65 vol% CH₄, 35 Vol% CO₂) wordt behandeld in een gaswasser voor verwijdering van N, S, deeltjes, en vervolgens gedroogd.

Het geproduceerde biogas kan worden opgewerkt tot aardgaskwaliteit voor injectie in het aardgasnet. (route 1 in Figuur 1). In dit geval wordt de warmte voor de vergisters verkregen door verbranding van (een deel van) het biogas. Alternatief is route 2 (Figuur 1) waar het biogas wordt ingezet in een gasmotor voor productie van elektriciteit (rendement 40%) en warmte. De warmte voor het opwarmen van de vergisters wordt in dat geval geleverd door de (rest) warmte van de gasmotoren.



Figuur 1. Processchema van de vergisting van zeewieren, nabehandeling van effluent en gasbehandeling. Bij 1 is is de route naar productie van “groen aardgas” aangegeven, bij 2 de de route naar productie van elektriciteit (en warmte)

4.1 Raming gasproductie bij een schaalgrootte van 100.000 en 500.000 ton per jaar

In Tabel 4 worden de reactordebieten en bruto en netto gasproducties berekend voor mesofiele vergisting op twee schaalgroottes resp. 100.000 en 500.000 ton droge stof/jaar bij een verblijftijd van 20 en 30 dagen. De benodigde warmte voor het op temperatuur houden van de vergisters wordt in mindering gebracht op de gasopbrengst (zie berekening in Annexe 1). Het geproduceerde gas wordt opgewerkt tot aardgaskwaliteit en geleverd aan het aardgasnet. De bedrijfstijd van het systeem is gesteld op 365 dagen (8760 uur) per jaar.

Tabel 4. Reactor volume en aantal benodigde modules van 5000 m³, bruto en netto gasproductie bij anaërobe vergisting van zeewieren in een VGD systeem bij een procestemperatuur 35°C, bij verwerking van 100.000 en 500.000 ton DS zeewieren per jaar

Debiet Kg DS/jaar (*10 ³)	Debiet (Kg DS/dag)	⁺ Debiet (m ³ /dag)	Reactor volume (m ³)	Vergistingsmodules (aantal)	Bruto Gasproductie (m ³ CH ₄ /jaar)	Af voor verwarming (m ³ CH ₄ /jaar)	Netto Gasproductie (m ³ CH ₄ /jaar)
100.000 HVT=30 dagen	273.973	2.283	68.493	14	16.650.024	2.501.853	14.148.171
100.000 HVT=20 dagen	273.973	2.283	45.662	9	14.800.021	2.431.766	12.368.255
500.000 HVT=30 dagen	1.369.863	11.415	342.466	68	83.249.999	12.509.265	70.740.734
500.000 HVT=20 dagen	1.369.863	11.415	228.311	46	73.999.999	12.158.832	61.841.167

⁺ influent DS gehalte 12%

⁺⁺ influent temperatuur 15°C; procestemperatuur 35°C. Berekening zie bijlage 1.

Op basis van de berekende reactorvolumes (Tabel 4) zal een installatie uitgevoerd moeten worden met meerdere modulair uitgevoerde vergistingsreactoren. Bij de huidige stand van de techniek is dat ca. 5.000 m³ per vergistingseenheid, zoals wordt toegepast in installaties voor vergisting van zuiveringsslib. Het aantal benodigde modules is weergegeven in Tabel 4. De netto methaanproductie bedraagt bij een HVT van 30 resp. 20 dagen, 14.1 Miljoen m³ en 12,4 Miljoen m³ (case 100.000 ton) en 70,7 resp. 61,8 miljoen m³/jaar (case 500.000 ton).

4.2 Raming elektriciteitsproductie bij een schaalgrootte van 100.000 en 500.000 ton per jaar

In Tabel 5 wordt de elektriciteitsproductie berekend. Uitgangspunt is inzet van het biogas (65% methaan, 35% CO₂; 22,1 MJ/Nm³) in gasmotoren met een elektrisch rendement van 40 % (Tabel 4A). De warmte voor het op het temperatuur houden van de vergisters wordt onttrokken aan de restwarmte geproduceerd door de gasmotoren. Voor opwarming is 15-17% van het thermisch vermogen van het ingaande biogas benodigd. Deze warmte kan worden onttrokken aan de “Engine jacket water Heat Exchanger” en een “Exhaust gas Heat Exchanger” van de gasmotoren (Tabel 4A).

Tabel 4A. Energiebalans gasmotoren. Op basis van [11]

	Percentage
Totaal thermisch vermogen	100%
Omzetting naar mechanische energie	42%
Af: Generator verliezen	2%
Output elektriciteit	40%
Omzetting in warmte	58%
Af: Warmteverliezen	10%
HE-1 Mixture Intercooler	4 %
HE-2 Oil Heat Exchanger	6%
HE-3 Engine Jacket water heat exchanger	12%
HE-4 Exhaust gas Heat Exchanger	26%

De elektriciteitsproductie (Tabel 5) bedraagt bij een HVT van 30 resp. 20 dagen, 68.140 MWh en 60.570 MWh /jaar (case 100.000 ton) en 340.700 resp. 302.850 MWh /jaar (500.000 ton).

Tabel 5. Elektriciteitsproductie bij anaërobe vergisting van zeewieren en conversie van biogas in gasmotoren bij verwerking van 100.000 en 500.000 ton DS per jaar

Debiet Kg DS/jaar (*10 ³)	Bruto Gasproductie (m ³ CH ₄ /jaar)	Thermisch vermogen gasmotor (MWth)	Elektrisch vermogen gasmotor Rendement 40% (MWe)	Elektriciteits- productie (MWh/jaar)
100.000 HVT=30 dagen	16.650.024	19	8	68.142
100.000 HVT=20 dagen	14.800.021	17	7	60.570
500.000 HVT=30 dagen	83.249.999	97	39	340.708
500.000 HVT=20 dagen	73.999.999	86	35	302.852

+ influent DS gehalte 12%

++ influent temperatuur 15°C; proces temperatuur 35°C. Berekening zie Annexe 1.

4.3 Nabehandeling effluenten en kwaliteit digestaat

Het effluent van de vergistingsinstallatie wordt bijvoorbeeld met een filterpers of centrifuge gescheiden in een vloeibare en vaste fractie (Metcalf & Eddy, 2003) [9]. Berekende debieten en de samenstelling van de vaste stof en vloeistof fracties zijn weergegeven in de Tabellen 6 en 7. De vloeistoffractie wordt nabehandeld om nutriënten (N & P) terug te winnen dan wel te verwijderen. Teruggewonnen N & P, kan worden ingezet als meststof voor de teelt van zeewier. Janus & v.d. Roest (1997) [10] onderscheiden de volgende technieken voor de verwijdering of terugwinning van stikstof tijdens de nabehandeling van rejectie water (vloeistof fractie na scheiding van vergist rioolwaterslib): lucht- en stoomstrippen, airlift reactor met nitrificatie/denitrificatie, bioreactor zonder slibretentie met sharon/denitrificatie, membraan bioreactor met nitrificatie /denitrificatie.

Tabel 6. Berekende debieten* van vaste stof & vloeistof fractie na scheiding van het effluent van de vergistingsinstallatie voor *Laminaria*

Debiet vergisting (VGD) Kg DS/jaar (*10 ³)	*debiet vaste stof, na scheiding effluent VGD (m3/dag)	*debiet vloeistof, na scheiding effluent VGD (m3/dag)	**debiet vaste stof, na scheiding effluent VGD (m3/dag)	**debiet vloeistof, na scheiding effluent VGD (m3/dag)
100.000 HVT=30 dagen	392	1.891	317	1.966
100.000 HVT=20 dagen	421	1.862	348	1.935
500.000 HVT=30 dagen	1.961	9.454	1.586	9.829
500.000 HVT=20 dagen	2.107	9.308	1.741	9.674

* drogestof gehalte vaste stof fractie 40% & drogestof gehalte vloeistof fractie 0,1%, **organische stof gehalte vaste stof fractie 30% & organische stof gehalte vloeistof fractie 0,05%, (OS en DS effluent vergister tabel 3)

Als proces voor de verwijdering van fosfaat is het MAP (magnesium ammonium fosfaat) proces een aantrekkelijke optie (Janus & v.d. Roest, 1997) [10]. De ontwikkeling van het Sharon / anammox proces voor de autotrofe verwijdering van stikstof is een veelbelovende nieuwe techniek voor de verwijdering van stikstof en geschikt in combinatie met terugwinning van fosfaat d.m.v. MAP precipitatie. De keuze van de optimale behandelingsmethode is afhankelijk van locatie specifieke factoren (Janus & v.d. Roest, 1997) [10]

Als alternatief kan de vloeistof fractie mogelijk direct worden teruggevoerd als vloeibare meststof naar het zeewierenteeltsysteem.

De vaste stof fractie kan na (biologische) droging worden afgezet als meststof, indien voldaan wordt aan de eisen van het Besluit Overige Organische Meststoffen (BOOM). Additionele tests zullen moeten uitwijzen of de vaste fractie voldoende aëroob afbreekbaar CZV bevat, om biologische droging (compostering) te bewerkstelligen. Indien dit niet het geval is, zal geforceerde ventilatie of thermische droging moeten worden toegepast.

Tabel 7. Samenstelling vloeistof na scheiding vaste stof/vloeistof van het effluent van de vergistinginstallatie voor *Laminaria*

Debiet vergisting (VGD) Kg DS/jaar (*10 ³)	⁺ debiet vloeistof, na scheiding effluent VGD (m ³ /dag)	**NH ₄ ⁺ -N vloeistof fractie (kg/ m ³)	***P vloeistof fractie (kg/ m ³)	****H ₂ S-S vloeistof fractie (kg/ m ³)
100.000 HVT=30 dagen	1.891	1,6	0,12	0,6
100.000 HVT=20 dagen	1.862	1,4	0,12	0,7
500.000 HVT=30 dagen	9.454	1,6	0,12	0,6
500.000 HVT=20 dagen	9.308	1,4	0,12	0,7

OS/D_{seffluent}=OS/D_{sinfluent}; ⁺drogestof gehalte vaste stof fractie 40% & drogestof stof gehalte vloeistof fractie 0,1%; **omzetting % org-N tot NH₄⁺-N gelijk aan OS reductie (Tabel 3); ***75% P naar vaste stof; %;****omzetting % org-S tot H₂S-S gelijk aan OS reductie (Tabel 3)

In Tabel 8 wordt de berekende kwaliteit van het digestaat vergeleken met de BOOM normen. De samenstelling is afgeleid van de elementaire samenstelling van *Laminaria sp* (Annexe 2). Er is aangenomen dat alle in het zeewier aanwezige metalen in het digestaat terecht komen. De ingaande droge gstofconcentratie bedraagt 12 gew. %, de uitgaande concentratie 8 gew. % bij een HVT van 20 dagen (zie Tabel 3). De (maximale) concentratiefactor bedraagt daarmee 1,5.

Tabel 8. Samenstelling van zeewieren digestaat en BOOM-eisen voor compost

BOOM-eisen voor compost				Digestaat van zeewiervergisting	
Component	Eenheid	Zeer schone compost	Schone compost	Gehalte in <i>Laminaria</i>	Gehalte in digestaat
C (org. stof)	gew% d.s.	> 20	> 20	34,6	Ca. 22
As	mg/kg d.s.	< 5	< 15	76	114
Cd	mg/kg d.s.	< 0.7	< 1	2,80	4,2
Cr	mg/kg d.s.	< 50	< 50	1,25	1,9
Cu	mg/kg d.s.	< 25	< 60	5,00	7,5
Hg	mg/kg d.s.	< 0.2	< 0.3	< 0,05	< 0,08
Ni	mg/kg d.s.	< 10	< 20	0,57	0,86
Pb	mg/kg d.s.	< 65	< 100	< 0,01	< 0,02
Zn	mg/kg d.s.	< 75	< 200	4,60	6,9

Uit Tabel 8 blijkt dat het As en Cd gehalte in het digestaat boven de BOOM normen kan liggen. Voor het overige voldoet het digestaat aan de eisen. Dit dient te worden geverifieerd door nadere experimentele analyse van zeewierenbiomassa¹ en zeewierdigestaat. In zeewierdigestaat kunnen hoge gehalten aan Ca, S, Mg en K aanwezig zijn die mogelijk meerwaarde bieden als meststof.

¹ De relatief hoge As en Cd gehalten in *Laminaria* zijn gebaseerd op 1 referentie. Zie Bijlage 4.1.

5. Raming investeringen en operationele kosten

De vergistingsinstallatie wordt samengesteld uit een aantal modulaire reactoren van 5000 m³, waarvan de dimensies en bouwkosten zijn weergegeven in respectievelijk Tabel 9 en 10.

Tabel 9. *Dimensies modulaire vergistingseenheden; volledig gemengde doorstroom (VGD) systemen

Diameter (m)	Hoogte (m)	Volume per module (m ³)	Materiaal
20	16	5.000	Staal

*Informatie Haskoning [3]

Tabel 10. *Bouwkosten van één modulaire vergistingseenheid van 5.000 m³ (zie Tabel 7)

Inclusief	Bouwkosten (€)
Ontvangstbuffer, rooster(goedpers), versnijders, toevoerpompen, leidingwerk, mengsysteem, drijfslagverwijdering en warmtewisselaars	1.000.000,-
Plus ontwatering, gasbenuttingsapparatuur en filtraatnabehandeling	1.300.000,-
Plus toeslag voor inrichting, engineering, bijkomende kosten en BTW = 1,4 x bouwkosten	1.800.000,-

*Informatie Haskoning [3]

De stichtings-, afschrijving-, en totale operationele kosten, worden gepresenteerd in de Tabellen 11 t/m 14.

Tabel 11. Reactorvolume en Stichtingskosten voor anaërobe vergisting van zeewieren (*Laminaria*), temperatuur 35°C in een volledig gemengd doorstroom systeem, bij verwerking van 100.000 en 500.000 ton ds zeewieren per jaar

Debiet (*10 ³) Kg DS/jaar (verblijftijd)	Debiet (Kg DS/dag)	Debiet (m ³ /dag)	Reactor volume (m ³)	Netto gasproductie (m ³ CH ₄ /jaar)	Stichtingskosten (€)
100.000 (HVT=30 dagen)	273.973	2283	68.493	14.396.669	12.959.210
100.000 (HVT=20 dagen)	273.973	2283	45.662	12.609.792	9.561.149
500.000 (HVT=30 dagen)	1369.863	11415	342.466	71.983.226	43.331.825
500.000 (HVT=20 dagen)	1369.863	11415	228.311	63.048.852	31.969.733

* voor bepaling van de totale kosten voor de berekende capaciteiten wordt een opschaalcoëfficiënt van 0,75 aangenomen: kosten capaciteit X = (X / 5000) ^ 0,75 * kosten voor 5000 m³ (Haskoning [3])

Tabel 12. Stichtingskosten & afschrijvingskosten voor anaërobe vergisting van zeewieren (*Laminaria*), temperatuur 35°C in een volledig gemengd doorstroom systeem, bij verwerking van 100.000 ton ds zeewieren per jaar

	stichtingskosten (€) HVT 30dagen	Afschrijving (€/jaar) HVT 30dagen	stichtingskosten (€) HVT 20dagen	Afschrijving (€/jaar) HVT 20dagen
*Bouw	7.120.445	463.195	5.253.379	341.740
**Ontwatering, gas- benuttingsapparatuur en filtraatnabehandeling	2.136.134	205.800	1.576.014	151.837
***toeslag voor inrichting, engineering, bijkomende kosten en BTW = 0,4 x bouwkosten	3.702.631	240.861	2.731.757	177.705
TOTAAL	12.959.210	909.857	9.561.149	671.281

* afschrijving 30 jaar, * *afschrijving 15 jaar; *** afschrijving 30 jaar

Tabel 13. Stichtingskosten & afschrijvingskosten voor anaërobe vergisting van zeewieren (*Laminaria*), temperatuur 35°C in een volledig gemengd doorstroom systeem, bij verwerking van 500.000 ton DS zeewieren per jaar

	stichtingskosten (€) HVT 30dagen	Afschrijving (€/jaar) HVT 30dagen	stichtingskosten (€) HVT 20dagen	Afschrijving (€/jaar) HVT 20dagen
Bouw	23.808.695	1.548.790	17.565.787	1.142.680
Ontwatering, gasbenuttingsapparatuur en filtraatnabehandeling	7.142.609	688.135	5.269.736	507.698
toeslag voor inrichting, engineering, bijkomende kosten en BTW = 0,4 x bouwkosten)	12.380.521	805.371	9.134.209	594.193
TOTAAL	43.331.825	3.042.296	31.969.733	2.244.572

* afschrijving 30 jaar, * *afschrijving 15 jaar; *** afschrijving 30 jaar

Tabel 14. Totale operationele kosten, inclusief arbeid, onderhoud en afschrijving

	Kosten (€/jaar)	Kosten (€/jaar)	Kosten (€/jaar)	Kosten (€/jaar)
Debiet (*10 ³) Kg DS/jaar	100.000	100.000	500.000	500.000
HVT (dagen)	30	20	30	20
*Arbeid	136.478	100.692	456.344	336.686
**Onderhoud	259.184	191.223	866.637	639.395
Afschrijving	909.857	671.281	3.042.296	2.244.572
Totaal	1.305.519	963.196	4.365.277	3.220.652

* ca. 15% van afschrijvingskosten; **2% van de investeringskosten per jaar.

In Tabel 15 worden de resulterende productiekosten gegeven voor methaan resp. elektriciteit en worden deze vergeleken met gangbare marktprijzen. De methaanproductiekosten variëren (bij

aangenomen biomassakosten van 0 €/ton) van 1,5 tot 2,7 €/GJ (0,05 tot 0,09 €/Nm³) en zijn daarmee competitief met de huidige aardgasprijs voor grootverbruikers (3,5 €/GJ). De geraamde elektriciteitsproductiekosten bedragen 11 tot 19 € / MWh. Ook deze kosten zijn competitief met de huidige, representatieve elektriciteitsprijzen van 27 €/MWh.

Tabel 15. Raming productiekosten voor methaan en elektriciteit bij anaerobe vergisting van zeewieren. Vergelijking met representatieve marktprijzen en berekening maximale grondstofkosten voor “break-even”

	Case 1		Case 2	
	100.000	100.000	500.000	500.000
Schaalgrootte (ton d.s. / jaar)	100.000	100.000	500.000	500.000
Hydraulische Verblijf Tijd (HVT) (dagen)	30	20	30	20
Investeringskosten (M€)	12,95	9,6	43,3	31,96
Productiekosten (M€ / jaar)	1,3	0,96	4,4	3,2
Bruto opbrengst methaan (Miljoen m ³ /jaar)	16,6	14,8	83,2	74,0
Netto opbrengst methaan (Miljoen m ³ /jaar) ¹⁾	14,1	12,4	70,7	61,8
Productiekosten methaan (€ / GJ) ²⁾	2,71	2,29	1,81	1,53
Productiekosten methaan (€ / Nm ³) ²⁾	0,09	0,08	0,06	0,05
Break-even kosten zeewier (€ / ton d.s.) ⁴⁾	3,8	5,1	8,1	8,3
Productie elektriciteit (MWh) ³⁾	68.140	60.570	340.700	302.850
Productiekosten elektriciteit (€ / MWh) ²⁾	19	16	13	11
Break-even kosten zeewier (€ / ton d.s.)				
Exclusief MEP vergoeding ⁵⁾	5	7	10	10
Break-even kosten zeewier (€ / ton d.s.)				
Inclusief MEP vergoeding ⁶⁾	71	65	76	69

1) Bij opwaardering tot aardgaskwaliteit en levering aan het gasnet.

2) Bij grondstofkosten 0 € / ton ds.

3) Bij productie van elektriciteit uit biogas in gasmotoren.

4) Prijs die de biomassa voor de verwerker mag kosten uitgaande van een marktprijs voor methaan van 3,5 € / GJ (cf. aardgasprijs voor grootverbruikers). Geen winstmarge inbegrepen.

5) Prijs die de biomassa voor de verwerker mag kosten uitgaande van een marktprijs voor elektriciteit van 27 € / MWh. Geen winstmarge inbegrepen.

6) Prijs die de biomassa voor de verwerker mag kosten uitgaande van een marktprijs voor elektriciteit van 27 € / MWh PLUS een MEP vergoeding van 97 € / MWh (< 50 MWe). Geen winstmarge inbegrepen.

Uit Tabel 15 blijkt dat bij een HVT van 20 dagen de productiekosten per GJ methaan resp. per MWh elektriciteit lager liggen dan voor een HVT van 30 dagen. Daar staat tegenover dat bij een HVT 30 dagen een grotere hoeveelheid energiedragers kan worden geproduceerd.

Voor zowel methaan- als elektriciteits-productie is in Tabel 15 tevens de “break-even” grondstofprijs berekend (exclusief winststopslag). Uit de Tabel blijkt dat de zeewierkosten voor productie van methaan ca. 4-8 € / ton d.s zouden mogen bedragen. Voor elektriciteitsproductie zijn de “break-even” kosten 5 –10 € / ton d.s (exclusief MEP vergoeding) resp. 65 – 75 € / ton d.s. inclusief MEP vergoeding.

6. Onderzoeksaspecten

Voor de verdere ontwikkeling zijn de volgende R&D onderwerpen van belang:

- Scheiding (persen) van vaste stof en vloeistof vóór vergisting. Bepalen maximale methaan opbrengst van de vloeistof fractie. Bepalen van het reactor volume en de kosten van toepassing van vaste stof vergisting van vaste fractie en toepassing UASB voor de vloeistof

fractie. De productiekosten kunnen langs deze weg naar verwachting worden verlaagd omdat volstaan kan worden met een kleiner (totaal) reactorvolume.

- Bepalen hydrolyse constante en maximale methaan opbrengst voor de verschillende zeewier en bijstellen/verifiëren van de gedane aannames.
- Bepalen van het effect van voorbehandeling (bijv. verkleinen) op de hydrolyseconstante en daarmee de reactor grootte.
- Bepaling hydrolyseconstante en maximale methaan opbrengst voor thermofiele condities en berekenen van de daarbij behorende reactor grootte.

7. Referenties

- [1] Energy supplies from Sea Farming, 1980. In: N.P. Cheremisinoff, P.N. Cheremisinoff and F. Ellerbusch. Biomass; Applications, Technology and Production. Marcel Dekker Inc. New York and Basel.
- [2] D.P. Chynoweth, 2002. Review of biomethane from marine biomass. 194 pp.
- [3] Gegevens aangeleverd door Ton Schomaker, Royal Haskoning BV 2004.
- [4] Door te rekenen cases en samenstelling Laminaria. Opdracht ECN, J.H. Reith, 2004.
- [5] Chynoweth, D. P., Fannin, K.F., Srivastava, V. J.(1987). Biological gasification of marine algae. In: Bird, K.T., Benson, P.H. (eds); Seaweed Cultivation for Renewable Resources. Elsevier, Amsterdam, p 265-303.
- [6] Wahbeh, M. I. (1997) Amino Acid and fatty acid profiles of four species of macro algae from Aquaba and their suitability for use in fish diets. Aquaculture 159, p 101-109
- [7] Ventura, M. R. & Castañón (1998). The nutritive value of seaweed (*Ulva latuca*) for goats. Small Ruminant Research 29 (1998), 325-327
- [8] ^{Marine Biomass workshop (1990)}. In: D.P. Chynoweth, 2002. Review of biomethane from marine biomass [2].
- [9] Metcalf & Eddy, Wastewater engineering; Treatment and Reuse, 4th edition, Mc Graw Hill.
- [10] Janus, H.M. & v.d. Roest, H. F. (1997) Don't reject the idea of treating reject water. Water Science and Technology, no. 10, p 27-34.
- [11] Documentatie Jenbacher Energie. Co-generation with gas engines, 2005.

8. Afkortingen

CZV	Chemisch Zuurstof Verbruik
VGD systeem	Volledig Gemengd Doorstroom systeem
DS	Droge Stof gehalte
OS	Organische Stof gehalte
HVT	Hydraulische VerblijfTijd
SVT	Slib VerblijfTijd
STP	Standard Temperature and Pressure

ANNEX 1

Berekenen van de benodigde hoeveelheid energie voor verwarming van de vergister

De volgende stap is het berekenen van de energie die nodig is om het systeem op 35°C te houden. De energie (Q_{tot}) die nodig is kan opgedeeld worden in twee delen. Een deel voor het opwarmen van de afvalstroom tot de gewenste temperatuur van 35°C (Q_{H}). Het andere deel is voor compensatie als gevolg van warmte uitwisseling met de omgeving. In formule wordt dit (vergelijking 8):

$$Q_{\text{tot}} = Q_{\text{H}} + Q_{\text{D}} = \frac{1}{0.85} \times \{(\tau_{\text{F}} \cdot C_{\text{F}} \cdot \phi_{\text{V}} \cdot (30 - t_{\text{a}}) + F \cdot k \cdot (30 - t_{\text{env}}))\} \quad (8)$$

Waarbij

Q_{tot} = de totale hoeveelheid energie nodig voor een afvalwater met een debiet van ϕ_{V} , m³/h

Q_{h} = energie nodig voor opwarmen afvalstroom tot 35°C

τ_{F} = dichtheid (~1 kg/l voor afvalwater)

C_{F} = specifieke warmte (~1 kcal/kg C afvalwater)

t_{a} = temperatuur voeding; aanname dat deze temperatuur 15°C is

F = uitwisselings oppervlak van de vergistingstank (m²)

k = warmte overdrachtscoëfficiënt (kcal/m².h.°C), is afhankelijk van materiaal en dikte volgens vergelijking 9:

t_{a} = temperatuur omgeving; aanname dat deze temperatuur 15°C is

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{d_1}{l_1} + \frac{d_2}{l_2} + \frac{1}{\alpha_u} \quad (9)$$

α_1 = warmte overdrachtscoëfficiënt binnenkant (~3000 kcal/m².h.°C)

α_u = warmte overdrachtscoëfficiënt buitenkant (~20 kcal/m².h.°C)

d_1, d_2 = dikte van de eerste en tweede isolatie laag, respectievelijk

l_1, l_2 = warmte geleidbaarheid van de eerste en tweede isolatie laag, respectievelijk (kcal/m.h.°C)

Wanneer er wordt gekozen voor een isolatie materiaal met een warmte geleidbaarheid van 0.04 kcal/m.h.°C (b.v. kurk of glaswol) in twee lagen van beide 5 cm krijgt k de waarde: 0.39 kcal/m².h.°C.

Berekening benodigde CH₄

De energievoorziening komt uit de verbranding van methaan. Hierbij geldt dat verbranding van 1 m³ methaan 8.556 kcal (35,8 MJ/m³) oplevert. Op basis van deze waarde en het debiet worden Q_{tot} en daarmee de benodigde methaanproductie berekend.

ANNEX 2

Proximate en ultimate analyse en elementaire samenstelling Laminaria. De waarden in de Tabel zijn gemiddelden van analyseresultaten uit verschillende bronnen [4].

Component	Eenheid	Waarde
Vochtgehalte	gew.% nat	88 ¹⁾
Asgehalte	gew.% d.s.	26
Vluchtig	gew.% d.s.	74
C	gew.% d.s.	34,6
H	gew.% d.s.	4,7
O	gew.% d.s.	31,2
N	gew.% d.s.	2,4
S	gew.% d.s.	1,0
Cl	gew.% d.s.	-
F	gew.% d.s.	-
Br	gew.% d.s.	-
Al	mg/kg d.s.	7
As	mg/kg d.s.	76,2
B	mg/kg d.s.	-
Ba	mg/kg d.s.	-
Ca	mg/kg d.s.	11.600
Cd	mg/kg d.s.	2,8
Co	mg/kg d.s.	0,08
Cr	mg/kg d.s.	1,25
Cu	mg/kg d.s.	<5
Fe	mg/kg d.s.	511
Hg	mg/kg d.s.	<0,05
I	mg/kg d.s.	4.540
K	mg/kg d.s.	95.760
Mg	mg/kg d.s.	7.290
Mn	mg/kg d.s.	3,3
Mo	mg/kg d.s.	<0,01
Na	mg/kg d.s.	38.120
Ni	mg/kg d.s.	0,57
P	mg/kg d.s.	3540
Pb	mg/kg d.s.	<0,01
Sb	mg/kg d.s.	-
Se	mg/kg d.s.	4,9
Si	mg/kg d.s.	-
Sn	mg/kg d.s.	-
Sr	mg/kg d.s.	-
Te	mg/kg d.s.	-
Ti	mg/kg d.s.	-
V	mg/kg d.s.	0,66
Zn	mg/kg d.s.	4,6
HHV	(MJ/kg d.b.)	13,2
LHV	(MJ/kg d.b.)	12,2 ²⁾
HHV	MJ/kg daf	17,9
LHV	MJ/kg nat	-0,7

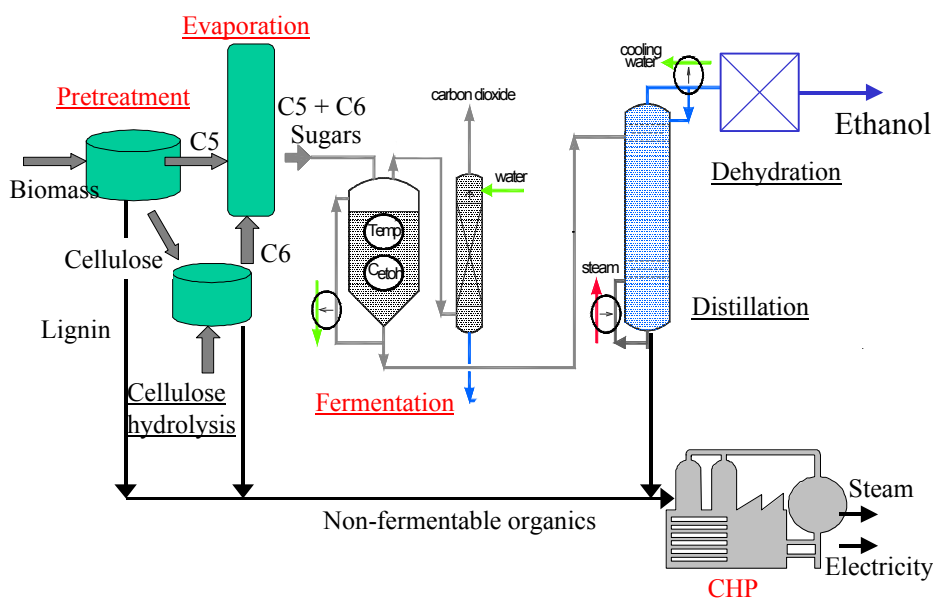
1) Bij oogst. 2) Berekend op basis van HHV.

BIJLAGE 4.3 Bio-ethanolproductie

Bio-ethanol voor brandstoftoepassingen wordt momenteel geproduceerd door fermentatie van suikers uit agro-grondstoffen zoals suikerriet, maïs, suikerbieten en granen. Wereldwijd wordt ca. 20 M ton ethanol per jaar (ca. 600 PJth) geproduceerd voor brandstoftoepassingen, met name in Brazilië (suikerriet) en de VS (maïs). Vooral in de VS groeit de productie sterk. In de EU is de productie nog beperkt (< 0.5 M ton/jr). Als gevolg van het EU stimuleringsbeleid zullen echter op afzienbare termijn in de EU grote hoeveelheden biobrandstof voor transportdoeleinden beschikbaar moeten zijn.

Het gebruik van goedkope lignocellulosehoudende biomassa(rest)stromen als grondstof kan de beschikbaarheid verhogen en tegelijkertijd de productiekosten verlagen. Internationaal wordt veel R&D verricht om de inzet van lignocellulose als grondstof mogelijk te maken. Op dit moment is nog geen industriële technologie beschikbaar, met name door het (nog) ontbreken van geschikte technieken voor ontsluiting en hydrolyse voor productie van fermenteerbare suikers uit (hemi) cellulose, en voor de co-fermentatie van C6 en C5 suikers. Zeewieren vormen in principe een geschikte grondstof voor bio-ethanolproductie door het hoge gehalte aan polysacchariden (ca. 60 gew % voor Laminaria) en het ontbreken van lignine.

Procesbeschrijving



Figuur 1. Schematische weergave van bioethanol productie uit lignocellulose

In Figuur 1 is het proces weergegeven zoals dat thans in ontwikkeling is voor productie van bio-ethanol uit lignocellulose. Het (toekomstig) gebruik van zeewieren als grondstof zal globaal volgens dit concept kunnen verlopen. Deze route omvat dan de volgende processen (Figuur 1):

- Verkleinen van de biomassa door malen. Hierdoor worden de vezels opengeboken;
- Fysisch/chemische voorbehandeling/ontsluiting. In dit proces worden de polysacchariden vrijgemaakt voor aansluitende enzymatische hydrolyse;
- Enzymatische hydrolyse m.b.v. industriële enzymen;
- Indamping van de suikeroplossing (optioneel). Richtlijn is dat de fermentatie een ethanol concentratie > 6 vol% dient op te leveren;
- Fermentatie van suikers naar ethanol;

- Destillatie tot ruwe ethanol (ca. 45 vol%), gevolgd door rectificatie (tot 95 vol%) en verdere ontwatering tot brandstofkwaliteit (99,9 vol%);
- Thermische conversie: omzetting van het niet-fermenteerbare gedeelte van de biomassa, in elektriciteit en warmte voor het productieproces en externe levering.

Tabel 1. Massa en energiebalans voor een 156 kton/jaar bioethanol fabriek voor verwerking van de (lignocellulose) grondstoffen bermgras, wilgenhout en tarwegries [1]

		Verge- grass	Willow tops	Wheat milling residue
Feedstock composition:				
- (Hemi)cellulose	(wt.%)	61	75	82 ¹⁾
- Lignin	(wt.%)	21,5	23	0
- Other organics	(wt.%)	10,5	0,5	18 ²⁾
- Ash	(wt.%)	7	1,5	0
Feedstock	(kton/year)	1295	1110	939
Gross water consumption	(l/l ethanol)	54	46	28
Energy efficiency ³⁾				
- Ethanol	(% LHV)	40	47	55
- Electricity ⁴⁾	(% LHV)	15	15	12
- Total	(% LHV)	56	62	68

1) Including 20% starch.

2) Protein

3) Net energy output. Internal steam and electricity consumption in the process are fully covered by the CHP.

4) Surplus electricity supplied to the grid.

Ontwikkelingsstatus

Het gebruik van lignocellulose voor ethanol productie vereist nog aanzienlijke techniekontwikkeling. Internationaal vindt die o.a. plaats in de VS, Canada, Zweden en Finland. In Nederland vindt ontwikkeling onder meer plaats in een E.E.T. project [2]. Voor bio-ethanol productie uit lignocellulose wordt commercialisatie verwacht op een termijn van 8 à 10 jaar. Toekomstige fabrieken voor de productie van brandstof ethanol zullen een omvang hebben van 50-200 miljoen liter ethanol per jaar.

Over het gebruik van zeewieren voor bio-ethanolproductie is nog weinig bekend. Over ontsluiting en hydrolyse van de aanwezige suikerpolymeren (in Laminaria: alginaten, laminarine, fucoïdine) is nog geen kennis beschikbaar. De afwezigheid van lignine kan een voordeel zijn omdat de polymeren beter toegankelijk zijn voor enzymen dan in lignocellulose.

De grootste uitdaging ligt naar verwachting in het ontwikkelen van fermentatietechnologie [3]. Zo is fermentatie van mannitol op basis van de huidige kennis niet mogelijk vanwege redoxproblemen. Voor de fermentatie van de aanwezige suikers (m.n. mannose, galactose en fucose) is nog geen technologie beschikbaar. De benodigde ontwikkeling omvat o.a. het identificeren van geschikte micro-organismen en genen, "metabolic engineering" en "directed evolution". Naar verwachting is deze ontwikkeling met behulp van de moderne biochemische en genetische "tools" een begaanbare weg. Daarnaast zijn er snelle ontwikkelingen op het gebied van industriële enzymen en fermentatietechnologie. Alles bijeen is te verwachten dat zeewierenbiomassa m.b.v. toekomstige technologie een bron kan vormen voor een scala aan fermentatieproducten, waaronder bioethanol.

Emissies en reststromen

Het afvalwater moet gezuiverd worden van organische bestanddelen via anaërobe vergisting en nageschakelde waterzuivering. Ook moeten eventueel mineralen verwijderd worden. Na thermische verwerking van het fermentatieresidu, blijft minerale as over. Dit kan mogelijk verwerkt worden in bouwmaterialen of worden gebruikt als meststof.

Kostenraming¹⁾ voor bio-ethanol productie uit zeewier (Laminaria sp.)

	Case 1	Case 2
Schaalgrootte (ton droge stof/jaar)	100.000	500.000
Schaalgrootte (MW _{th}) LHV droog	39	193
Investerings (M€) ²⁾	71	187
Operationele kosten (M€/jaar)	4,5	22,5
Opbrengst tussenproduct: fermenteerbaar suikers (ton/jaar) ³⁾	48.000	240.000
Opbrengst eindproducten: ethanol (GJ/jaar)	607.200	3.036.000
elektriciteit (MWh/jaar)	42.556	212.778
Rendement naar ethanol (%) ⁴⁾	49,8	49,8
Rendement naar elektriciteit (%)	12,6	12,6
Totaal rendement (%)	62,3	62,3
Productiekosten ethanol (€/l) (exclusief biomassakosten, exclusief MEP)	0,56	0,39
Productiekosten ethanol (€/l) (exclusief biomassakosten, inclusief MEP)	0,41	0,24
Biomassaprijs (exclusief MEP) ⁵⁾ (€/t)	-43	3
Biomassaprijs (inclusief MEP) ⁶⁾ (€/t)	-2	44

1. Gebaseerd op economische evaluatie voor bermgras in [1]. De daar genoemde reductie van enzymkosten met een factor 10 is verwerkt, omdat dit vanwege nieuwe ontwikkelingen reëel is.
2. Er is een schaalfactor van 0.7 gebruikt.
3. Uitgaande van een omzetting van (hemi)celluloses naar suikers van 80% op massabasis.
4. Fermentatierendement van 90% op massabasis verondersteld.
5. Prijs die de biomassa mag kosten uitgaande van een marktprijs van ethanol van 0.40 €/l en van elektriciteit van 27 €/MWh. Geen winstmarge inbegrepen.
6. Prijs die de biomassa mag kosten uitgaande van een marktprijs van ethanol van 0.40 €/l en van elektriciteit van 27 €/MWh en een MEP vergoeding voor elektriciteit van 70 €/MWh (>50 MWe) of 97 €/MWh (<50 MWe). Geen winstmarge inbegrepen.

Referenties

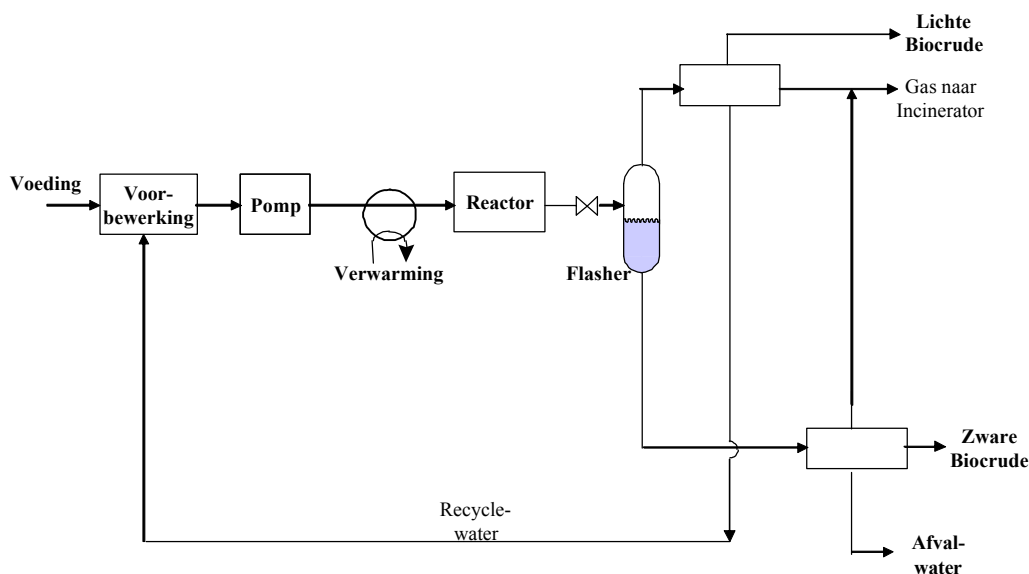
1. J.H. Reith, H. den Uil, H. van Veen, W.T.A.M. de Laat, J.J. Niessen, E. de Jong, H.W. Elbersen, R.Weusthuis, J.P. van Dijken & L. Raamsdonk. 2002. Co-production of bio-ethanol, electricity and heat from biomass residues, 2002. In: Proceedings of the 12th European Conference on Biomass for Energy, Industry and Climate Protection, 17 -21 June 2002, Amsterdam, The Netherlands. 1118 – 1123 / ECN-RX--02-030, July 2002.
2. www.bemz.ecn.nl
3. W. de Laat, Nedalco, 2005. Persoonlijke mededeling.

BIJLAGE 4.4 Hydrothermal Upgrading (HTU®)

In het HTU® proces (HydroThermal Upgrading) wordt biomassa onder hoge druk in water omgezet in ruwe bio-olie (“biocrude”) [1-6]. Zeewieren vormen in principe een geschikte grondstof voor HTU gezien het hoge gehalte aan polysacchariden en het ontbreken van lignine.

Procesbeschrijving

Een vereenvoudigd processchema is weergegeven in Figuur 1. In het proces wordt de biomassa gewassen (om zand e.d. te verwijderen), met recyclewater op de vereiste droge stof concentratie gebracht (> 10 %), verkleind en in één continue stap op een druk gebracht van 120-180 bar. Via warmtewisseling wordt de stroom op een temperatuur van 300-350°C gebracht en vervolgens gedurende 5-15 minuten geconverteerd. Hierbij worden drie producten gevormd: een gas dat voornamelijk uit CO₂ bestaat, een waterstroom en de “biocrude”. Omdat een groot deel (ca. 85%) van de zuurstof uit de biomassa wordt omgezet in CO₂ en omdat de waterstof grotendeels achterblijft in de biocrude, heeft de biocrude een grote energiedichtheid (30-35 MJ/kg). De totale thermische efficiency van biomassa naar biocrude is 70-85%, afhankelijk van het type voeding en de procesconfiguratie. Het primaire biocrude product wordt met een flasher gesplitst in een lichte (LCR) en een zware (HCR) fractie. Wateroplosbare mineralen uit de biomassa komen terecht in het water en in de HCR fractie.



Figuur 1. Schematische weergave van het HTU® proces

Tabel 1 geeft een massabalans voor verwerking van bermgras. Het aandeel van het organische deel van LCR resp. HCR fractie in de biocrude is ongeveer gelijk. Die verhouding kan worden beïnvloed via de scheidings(flash)stap. In de huidige ontwikkeling wordt een verhouding van 70% LCR en 30% HCR in de biocrude aangehouden [11].

De LCR kan worden gebruikt voor elektriciteitsopwekking in een stationaire dieselmotor. Ook kan de LCR verder veredeld worden naar diesel voor transport door middel van hydro-de-oxygenering, een proces waarbij waterstof gebruikt wordt om de zuurstof uit de LCR te verwijderen. Hydro-de-oxygenering is echter een kostbaar proces dat alleen op grote schaal rendabel kan zijn (> 100.000 ton biomassa-input). De HCR voldoet in principe aan de kwaliteitseisen voor kolen, zodat deze direct met de kolenvoeding van een electriciteitscentrale kan worden gemengd. Het geproduceerde gas bestaat voor meer dan 90% uit CO₂ en verder

voornamelijk CO en kleine hoeveelheden CH₄ en H₂. Het is laagcalorisch en wordt verbrand. Bij een grote installatie kan de energie-inhoud van het gas benut worden in het proces.

Tabel 1. Massabalans van het HTU[®] proces voor bermgras als voeding op basis van [5]

IN	ton/uur	UIT	ton/uur
Biomassa (droog, as-vrij)	2,7	Lichte biocrude (LCR)	0,75
Water	4,1	Zware biocrude (HCR)	1,05*
Oplosbare mineralen	0,1	Gas	1,5
Niet-oplosbare mineralen	0,3	Afvalwater	3,9
Totaal	7,2	Totaal	7,2

* waarvan 0.3 t/uur aan mineralen

Ontwikkelingsstatus

Het HTU[®] proces is oorspronkelijk afkomstig van Shell. De ontwikkeling is overgenomen door Biofuel BV in samenwerking met o.a. TNO-MEP. De huidige proefinstallatie in Apeldoorn heeft een capaciteit van 100 kg/uur (ca. 800 t d.s./jaar). Een belangrijk knelpunt is het, in één stap, op druk brengen van de voeding. De ontwikkeling van de voedingspomp heeft tot flinke vertragingen geleid. Het op druk brengen van suikerbietenpulp en uienpulp als voeding is inmiddels getest. Maar voor bijvoorbeeld wilgenhoutsnippen is een gecompliceerdere en duurder pomp nodig. Verontreinigingen in de voeding, zoals steentjes, kunnen in de pomp en in de rest van het proces tot problemen leiden. Voorbehandeling door middel van wassen en verkleinen is belangrijk.

Uit literatuur is nog onduidelijk wat de precieze chemische samenstelling van biocrude is en of de kwaliteit van de LCR en HCR voldoende is voor respectievelijk gebruik in een stationaire dieselmotor en meestoken met kolen. Een gedetailleerde analyse van de samenstelling van de biocrude van de proefinstallaties is uitgevoerd, maar (nog) niet gerapporteerd in open literatuur. Het uiteindelijke doel van de ontwikkelaars is om de LCR door hydrodeoxygenatie te veredelen naar diesel voor transport. De benodigde waterstof wordt verkregen door de HCR te vergassen. Het energetisch rendement zou uit kunnen komen op 49% naar HTU-diesel en 8% naar elektriciteit. De ontwikkelaars verwachten dat de geproduceerde HTU-diesel competitief zal zijn met diesel geproduceerd uit aardolie uitgaande van een biomassaprijs onder de 2 €/GJ en een olieprijs van 25 \$/vat (ca. 6 € / GJ) Het gebruik van biocrude voor stationaire dieselmotoren of meestoken is in dit geval alleen een tussenstap om de demonstratie-installatie financieel rendabel te krijgen.

Schaalgrootte

Er bestaan plannen voor een installatie van 25.000 t d.s./jaar op het terrein van de AVI Amsterdam (2006) en verdere plannen voor 100.000 t d.s./jaar op hetzelfde terrein (2009). Voor beide is een economische evaluatie gedaan. 130.000 t d.s./jaar is de grootste in detail bekeken optie, maar een 100.000 t d.s./jaar evaluatie is veel recenter. Schaalgrootten van 300.000 en 500.000 t d.s./jaar worden terloops in literatuur genoemd, maar gezien de huidige status kan moeilijk beoordeeld worden hoe reëel dit is. Het relatieve schaalvoordeel van 500.000 vs. 100.000 t d.s./jaar zal waarschijnlijk kleiner zijn dan bij 100.000 vs. 25.000 t d.s./jaar. Op langere termijn denkt Biofuel BV installaties te kunnen realiseren met een schaalgrootte van 200.000 ton d.s./jaar.

Emissies

Het afvalwater bevat het grootste deel van de mineralen uit de voeding en een kleine hoeveelheid laagmoleculaire opgeloste organische stoffen zoals methanol, ethanol en azijnzuur. Dit moet worden afgevoerd naar een Waste Water Treating Unit (WWTU), alwaar de aanwezige opgeloste organische stoffen worden omgezet in biogas. De WWTU omvat een anaërobe/aërobe biologische behandeling, inclusief nitrificatie/denitrificatie, en een Reverse Osmosis unit voor het concentreren van de mineralen. Het gezuiverde water van de WWTU kan geloosd worden op oppervlakte water. De geconcentreerde mineralen kunnen bij voorkeur

gerecycled worden als meststof. Daarvoor is echter nader onderzoek naar de samenstelling en een ontheffingstraject noodzakelijk. Het afgas met vluchtige organische stoffen wordt verbrand in een incinerator. Eventueel is een katalytische NO_x-reductie nodig om aan de te stellen normen te voldoen.

Kostenraming voor verwerking van zeewieren

In Tabel 2 wordt een globale kostenraming gegeven voor de productie van LCR en HCR en voor verdere conversie naar elektriciteit. De raming is gebaseerd op gepubliceerde ontwerpen met name [4].

Tabel 2. Kostenraming HTU[®] proces voor zeewieren als voeding

	Case 1	Case 2
Schaalgrootte (ton d.s. /jaar)	100.000	500.000
Schaalgrootte (MW _{th}) voor LHV droge basis	39	193
Investerings (M€) ¹⁾	32,1	116,2 ²⁾
Operationele kosten (M€/jaar)	4,1	14,7
Opbrengst tussenproducten ³⁾ :		
1. Lichte fractie biocrude (LCR) (per jaar)	22,8 kton (0,68 PJ)	113,9 kton (3,42 PJ)
2. Zware fractie biocrude (HCR)(per jaar)	9,7 kton (0,29 PJ)	48,8 kton (1,46 PJ)
Productiekosten LCR/HCR (€/GJ)	8,8	6,4
Opbrengst eindproduct ⁴⁾ :		
elektriciteit (MWh/jaar)	114.691	573.454
Totaal rendement naar elektriciteit (%)	32.4	32.4
Productiekosten elektriciteit ⁵⁾ (€/MWh)	75	54
Break-even prijs biomassa exclusief MEP ⁶⁾ (€/t)	-55	-31
Break-even prijs biomassa inclusief MEP ⁷⁾ (€/t)	47	71

- 1) Hierbij is aangenomen dat een eerste demonstratie van 25.000 t/jaar is gebouwd en getest. Vanwege hoger risico is die eerste installatie waarschijnlijk zo'n 20% duurder. Verder is aangenomen dat de installatie op een bedrijventerrein, bijvoorbeeld bij een AVI, staat waar onderdelen te integreren zijn. Met name de mogelijkheid tot afname van hoge druk stoom is belangrijk. De investering is exclusief mogelijke investeringssubsidies.
- 2) Een schaalfactor van 0,8 is gebruikt om deze investering te berekenen.
- 3) De efficiency van het HTU[®] proces heeft in literatuur een range van 70-90% op LHV droge basis. Hier is 80% aangenomen en de verdeling in LCR en HCR is 70/30. De LHV van LCR en HCR is 30 MJ/kg.
- 4) De efficiency van LCR naar elektriciteit in een stationaire dieselmotor is 50% en de efficiency van HCR naar elektriciteit bij meestoken is 40%.
- 5) Bij biomassaprijs van 0 €/t. Bij een veronderstelde 7% rente en 10 jaar levensduur bedragen de kapitaallasten 14.2% per jaar. Kosten voor de stationaire dieselmotor zijn meegerekend. Additionele kosten voor meestoken zijn niet meegerekend.
- 6) Prijs die de biomassa voor de verwerker mag kosten uitgaande van een marktprijs van elektriciteit van 27 €/MWh. Geen winstmarge inbegrepen.
- 7) Prijs die de biomassa voor de verwerker mag kosten uitgaande van een marktprijs van elektriciteit van 27 €/MWh en een MEP vergoeding van 70 €/MWh (>50 MWe) voor de elektriciteit uit meestoken en 97 €/MWh (<50 MWe) voor de elektriciteit uit de dieselmotor. Geen winstmarge inbegrepen.

Referenties:

- [1] B. Scholtens, *Stop eens een ui in je tank: proeffabriek maakt eerste diesel van natte biomassa*, Volkskrant 17 april 2004.

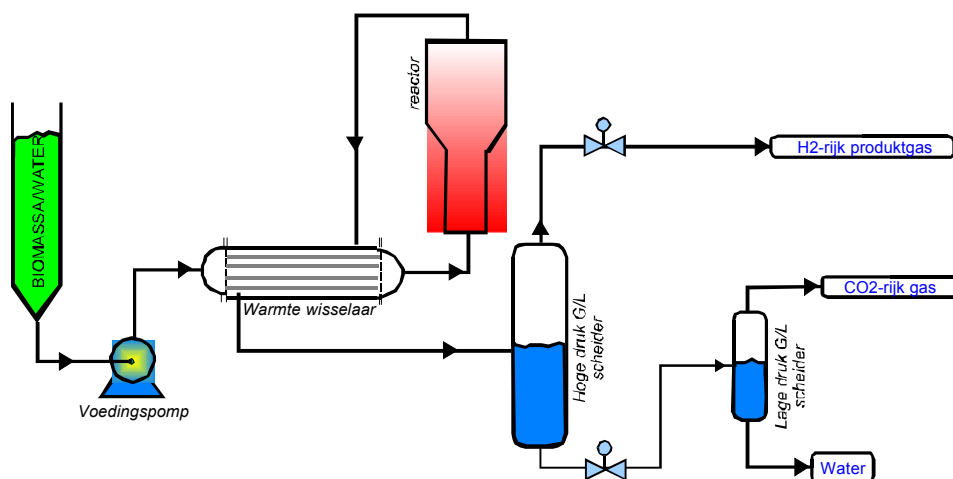
- [2] M. Kerksen, R.H. Berends, *Life cycle analysis of the HTU® process*, Paper presented at the Second World Biomass Conference, Rome, May 2004.
- [3] F. Goudriaan, J.E. Naber, *Transportation fuels from biomass via the HTU® process*, Paper presented at the 4th European Motor Biofuels Forum, Berlin, 24-26 November 2003.
- [4] Biofuel BV, *Transportbrandstoffen via hydrothermale liquefactie van biomassa met het HTU® proces*, GAVE programma 2002, Novem Projectnr. 6247-02-01-11-1002, Maart 2003.
- [5] F. Goudriaan, B. van de Beld, F.R. Boerfijn, G.M. Bos, J.E. Naber, S van der Wal, J.A. Zeevalkink, *Thermal efficiency of the HTU® process for biomass liquefaction*, Paper conference 'Progress on thermochemical biomass conversion', Tyrol Austria, September 2000.
- [6] J. E. Naber, Biofuel BV, 2005. Persoonlijke communicatie.

BIJLAGE 4.5 Vergassing in superkritiek water

Een mogelijke conversieroute voor zeeieren is vergassing in superkritiek water (Super Critical Water Gasification; SCWG) [1-7].

Procesbeschrijving

Een vereenvoudigd processchema is weergegeven in Figuur 3. Een exergiebalans is gegeven in Tabel 1. De voeding is een slurrie of waterige vloeistof die met een pomp op een druk van 300 bar wordt gebracht. In een tegenstroomwarmtewisselaar wordt de voeding voorverwarmd tot een temperatuur van 400 –550 °C. Het superkritieke punt van water wordt dus in de warmtewisselaar gepasseerd. De reactor wordt bedreven op een temperatuur van 600-650 °C en een verblijftijd van typisch 0.5-2 min. Het uitgangspunt van de reactor wisselt, in een tegenstroom warmtewisselaar, warmte uit aan de voeding. De stroom uit de warmtewisselaar kan verder gekoeld worden of gevoed worden aan de hoge druk gas-vloeistof scheider. In de scheider worden het gasvormige product en de waterfase gescheiden. Vanwege de hoge druk zal echter ook een deel van het gas oplossen in de waterige fase. Het betreft dan vooral CO₂ en indien aanwezig HCl, H₂S, NH₃. Mineralen zullen logischerwijs ook in de waterfase achterblijven. Het topproduct van de scheider is het hoofdproduct. De waterstroom wordt in een tweede lagedruk scheider gebracht, waarbij een tweede CO₂ –rijke gasstroom vrijkomt. Afvangen van CO₂ in geconcentreerde vorm biedt wellicht de mogelijkheid dit effectief op te slaan. Het proces is dan niet CO₂-neutraal, maar legt netto CO₂ vast.



Figuur 3. Schematische weergave van het SCWG proces

Tabel 1. Exergie-balans van een 100 MW_{th,input} SCWG installatie met glucose als voeding

IN	Exergy [MW]	UIT	Exergy [MW]
Lucht (verbranding)	0.048	Productgas	78.226
Biomassa slurrie		Elektriciteit van expansie turbine	3.31
– watercomponent	1.289		
– biomassa component	101.35		
Elektriciteit voor HD pomp	0.88	Rookgas	1.833
Koelwater	22.114	Condensaat (puur water)	1.886
		Koelwater verliezen	21.721
			18.711
Totaal	125.681	Totaal	125.681

Ontwikkelingsstatus

In Twente staat een laboratoriumopstelling van 30 kg/hr en in het Forschungszentrum in Karlsruhe staat een opstelling van 100 kg/hr. Beide opstellingen draaien nog niet op biomassa, maar alleen op ideale voedingen zoals b.v. glycerol. Bij meer complexe voedingen zijn de knelpunten o.a.: het op druk brengen van de voeding en de vervuiling/corrosie aspecten van de warmtewisselaar/reactor. Intensieve warmte-uitwisseling is essentieel en kritisch bij SCWG omdat de voeding al tijdens het opwarmen decompositie producten, zoals teer en koolstof, vormt. Een ander aspect is het reinigen van het productgas en grote hoeveelheden afvalwater. Om voedingen met een hoger droge stof gehalte (5 - 20%), bij een temperatuur < 600°C, volledig om te zetten in een productgas met een hoog methaan gehalte, dient de vergassing te worden uitgevoerd met een katalysator. Deze katalysator is op dit moment nog niet beschikbaar.

De conclusie is dat SCWG zich nog in een vroeg stadium van ontwikkeling bevindt en nog verre van commercialisatie is. Op basis van de status en de technische onzekerheden in het proces is het zelfs nog te vroeg voor het opzetten van een eerste demo-installatie. Alle bovengenoemde aspecten/onzekerheden vereisen onderzoek en ontwikkeling op lab-/pilot schaal. Publicaties over de technisch-economische analyse van vergassing van natte biomassa / reststromen in superkritiek water (SCWG) varieerden in schaal van 0,15 tot 100 MW en in het geproduceerde eindproduct: gezuiverde waterstof (<95%), SNG of een waterstofrijk gas (CH₄/H₂ mengsel).

Emissies

Emissies naar lucht zijn beperkt tot CO₂. Door 'centrale' productie kan deze geconcentreerde CO₂ opgeslagen worden; de keten zorgt dan voor netto vastlegging van CO₂. Andere emissies m.n. mineralen en H₂S zitten in het afvalwater. Een belangrijke aandachtspunt is de kwaliteit van het afvalwater en eventuele terugwinning van mineralen.

Kostenraming voor verwerking van zeewieren

In Tabel 2 wordt een globale kostenraming gegeven voor SCWG van zeewieren en verdere conversie van het productgas naar elektriciteit m.b.v gasmotoren. De raming is gebaseerd op [1, 5-7].

Tabel 2. Kostenraming Super Kritieke Vergassing zeewieren

Schaalgrootte	Case 1	Case 2
Schaalgrootte (ton.d.s input/jaar)	100.000	500.000
Schaalgrootte (MWth; LHV droge basis)	42	210
Investerings (M€) ¹⁾	35,3	95,8
Operationele kosten ²⁾ (M€/jaar)	10,6	24,5
Energetisch rendement MW gas,uit / MWth in (%) ³⁾	75	75
LHV product (MJ/kg)	64,98	64,98
Opbrengst productgas 57.7 m% H ₂ , 42.3 m% CH ₄ (GJ/jr)	915.000	4.575.000
Aardgas equivalenten. (M Nm ³ /jr)	28,9	144,5
a.e./ton d.s. (Nm ³ / ton d.s.)	289	289
Productiekosten productgas ⁴⁾ (€/GJ)	11,6	5,4
<i>Conversie naar elektriciteit</i>		
Investerings (M€) ⁵⁾	50,3	140,8
Operationele kosten ³⁾ (M€/jaar)	14,1	34,9
Rendement gasmotor (%)	40	40
Elektriciteitsproductie (MWh/jaar)	105.580	527.920
Productiekosten elektriciteit ⁶⁾ (€/MWh)	133	66
Break-even prijs biomassa excl MEP vergoeding ⁷⁾ (€/t)	-112	-41
Break-even prijs biomassa inclusief MEP vergoeding ⁸⁾ (€/t)	-9	32

- 1) Bij bovengenoemde schaalgrootte inclusief CO₂ afvangst. Schaalfactor 0.62 exclusief investering gasmotor.
- 2) Operationele kosten = Feed cost/ credit =0 € + Operating supply + Operating Labour / clerical + Material, Maint. & Exp. (10% of FCI) + Depreciation (10 jr, 7% rente); Biomassa kostprijs = 0 € / ton
- 3) Schatting gebaseerd op [6]
- 4) Ter vergelijking: Aardgas 3.5 €/GJ; H₂ grootschalig 6 €/GJ en H₂ kleinschalig 11 €/GJ.
- 5) Bij bovengenoemde schaalgrootte inclusief CO₂ afvangst. Schaalfactor 0.62 inclusief investering gasmotor.
- 6) Ter vergelijking: marktprijs electriciteit 27 –32 €/MWh
- 7) Prijs die de biomassa voor de verwerker mag kosten uitgaande van een marktprijs van electriciteit van 27 €/MWh. Geen winstmarge inbegrepen.
- 8) Prijs die de biomassa voor de verwerker mag kosten uitgaande van een marktprijs van electriciteit van 27 €/MWh en een MEP vergoeding van 70 €/MWh (>50 MWe) en 97 €/MWh (<50 MWe). Geen winstmarge inbegrepen.

Referenties

- [1] Amos, W.A.: Assessment of supercritical water gasification: alternative design, milestone report for the U.S. Department of Energy's Hydrogen, Program, National Renewable Energy Lab., 1999b.
- [2] Beld, L. van de, Hutten, R. van, Kokke, R.: *Productie van SNG/CNG via vergassing van natte biomassa in superkritiek water*. Novem-NEO nr: 0268-03-04-02-010, April 2004b.
- [3] Beld, L. van de, Penninger, J.: *Vergassing in superkritiek water: status en toekomstperspectief voor Nederland*. Novem-NEO nr: 0268-03-07-01-0018, April 2004a.
- [4] Hemmes, K., Beld, L. van de, Kersten, S.R.A.: *Vergassing van natte biomassa / reststromen in superkritiek water (SCWG), voor de productie van "groen gas"(SNG), SNG/H₂ mengsels, basis chemicaliën en puur H₂*, ECN-C-04-107, Dec 2004.
- [5] Matsumura, Y.: *Evaluation of supercritical water gasification and biomethanation for wet biomass utilization in Japan*. Energy Conversion and Management 43: 1301, 2002.
- [6] Mozaffarian, M., Deurwaarder, E.P., Kersten, S.R.A.: *"Green gas"(SNG) production by supercritical gasification of biomass..* Final report, ECN-C--04-081, November 2004.
- [7] Sparqle International B.V., The Netherlands and Callaghan Engineering Ltd., Ireland: *Clean Fuel Gases from Aqueous Biomass*, EU JO-ST-3042, March 1998.