

3. Landbouwgrondstoffen

Andries Koops & Johan Sanders

3.1 Inleiding

Biomassa heeft de aandacht. Wereldwijd wordt biomassa gezien als een van de hulpbronnen van waaruit de toekomstige samenleving van energie en chemiegrondstoffen kan worden voorzien. Voor beleidsmakers is het is niet eenvoudig om temidden van de veelheid aan informatie, opvattingen en technische mogelijkheden een heldere en levensvatbare route te vinden, waarlangs biomassa in energiedragers of chemiegrondstoffen kan worden omgezet. Vaak is al niet duidelijk wat met biomassa wordt bedoeld. Suiker, zetmeel of plantaardige olie is biomassa, maar houtsnippers, tarwestro of GFT is ook biomassa. De routes om al deze biomassagrondstoffen in energiedragers of chemiegrondstoffen om te zetten, zijn van een compleet verschillende orde, evenals de daarbij behorende technische, maatschappelijke en juridische uitdagingen. Daarnaast kunnen verschillende partijen, overheden, boeren, agri-ondernemingen, chemische bedrijven en energieleveranciers verschillende belangen en rollen bij biomassa hebben, en bekijken daarom biomassa vanuit verschillende perspectieven.

Voor LNV is de uitdaging is om vast te stellen welke partijen in het agribusiness-complex belang hebben bij biomassa-verwerking of controle hebben over biomassastromen, en om een manier te vinden om deze partijen, waar nodig en maatschappelijk gewenst, te ondersteunen en kansen te identificeren voor innovatie en nieuwe bedrijvigheid.

In het hoofdstuk landbouwgrondstoffen worden een aantal initiatieven beschreven, te weten

- energietransitie in Nederland
- mestvergisting en mest/biomassa co-vergisting
- vloeibare brandstoffen, ethanol en biodiesel
- biomassa voor chemische grondstoffen
- wieren

die te maken hebben met het gebruik van biomassa als grondstof voor energie- of chemietoepassingen. Er is een beperkte set veelbelovende initiatieven uitgewerkt. Het is nodig om twee initiatieven, die niet zijn uitgewerkt, met name te noemen: bioethanol en bioraffinage. Bio-ethanol kan uit suiker, zetmeel of lignocellulose worden geproduceerd en bijvoorbeeld als vervanger van benzine worden gebruikt. Bioraffinage is een methodologie waarbij biomassa eerst wordt gescheiden in haar individuele componenten (hemicellulose, cellulose, lignine en eiwit), waarna deze componenten voor verschillende toepassingen gebruikt wordt. Ook deze initiatieven zijn kansrijk en bieden op korte en lange termijn business perspectieven voor de agrosector.

3.2 Energietransitie in Nederland

3.2.1 Beschrijving

Het doel van de energietransitie (ET) is om in Nederland een duurzame energiehuishouding te realiseren en tegelijk een impuls te geven aan innovatie van het Nederlandse bedrijfsleven¹.

De horizon voor deze transitie is 2040-50, en verschilt daarmee van het lopende energie- en klimaatbeleid dat een doelstelling heeft voor 2010. In de Lange Termijn Energieverkenning (LTVE 2001)² was reeds vastgesteld dat een duurzame energiehuishouding in Nederland gebaseerd moet zijn op 4 peilers: 1. *efficiency*; 2. *biomassa*; 3. *gas* en 4. *betrouwbare groene elektriciteit*.

¹ Innovatie in het energiebeleid. Energietransitie: stand van zaken en het vervolg. Ministerie van EZ, juni 2004

² Energie en samenleving in 2050, Nederland in wereldbeelden. Ministerie van Economische Zaken, december 2002

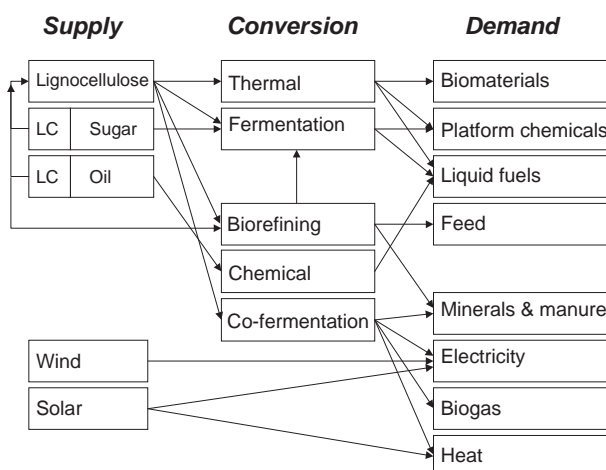
In de eerste fase van de ET zijn 23 paden uitgewerkt die in 2004 zijn gebundeld tot 5 hoofdroutes: 1. *efficiënt en groen gas*; 2. *ketenefficiëntie*; 3. *alternatieve motorbrandstoffen*; 4. *groene grondstoffen* (biomassa als bron); 5. *duurzame elektriciteit* waarbij de laatste hoofdroute al onderdeel is van bestaand energiebeleid.

De ambitie achter de energietransitie is dat in 2040 30% van de energievoorziening en 20-45% van de grondstoffen voor chemie uit biomassa afkomstig moet zijn.

Biomassa

Biomassa is alle materiaal van biologische oorsprong. Voor toepassing als energie en chemiegrondstof is vooral plantaardige biomassa relevant. Afhankelijk van hun samenstelling kunnen gewassen worden ingedeeld in suiker- & zetmeelgewassen (suikerbiet en aardappel), oliegewassen (koolzaad) en lignocellulosegewassen (hout). Alle gewassen bevatten naast hun typische hoofdcomponenten kleinere hoeveelheden suiker, zetmeel, aminozuren, eiwit, olie of vet, cellulose, hemicellulose en lignine. Mineralen en talloze andere inhoudstoffen komen in kleine hoeveelheden voor. Sommige van deze gewascomponenten zijn vooral geschikt voor voedsel en voeder, andere componenten voor energietoepassingen of chemiegrondstoffen, sommige voor beide toepassingen. Biomassa is een inherent energierijke grondstof, die kan dienen voor de productie van warmte, transportbrandstoffen, stroom, materialen en chemiegrondstoffen.

Biomassa kan in laatstgenoemde producten worden omgezet met behulp van biologische (e.g. fermentatie), thermische (e.g. vergassing) of fysische methoden (bioraffinage). Biomassa heeft daardoor een breder palet aan toepassingsmogelijkheden dan andere duurzame energiebronnen, zoals wind- en zonenergie. Omdat biomassa ontstaat door binding van atmosferische CO₂ draagt biomassaproductie ook bij aan het realiseren van CO₂-reductiedoelstellingen.



De landbouwsector is een leverancier van biomassa en zou in een aantal hoofdroutes een significante rol kunnen spelen, waaronder groen gas, duurzame elektriciteit (zie hiervoor hoofdstuk (co)vergisting), alternatieve motorbrandstoffen (zie hiervoor hoofdstuk biodiesel) en groene grondstoffen (zie hiervoor het hoofdstuk grondstoffen voor chemie). Deze thema's worden nog niet verder uitgewerkt in één van de 23 transitiepaden, hoewel ze zeer relevant zijn, zowel vanuit landbouwperspectief, als vanuit beheer van de groene ruimte. Vandaar dat deze thema's in dit overzicht als aparte hoofdstukken zijn opgenomen. Wieren is wel één van de transitiepaden, maar is nog nauwelijks uitgewerkt en wordt daarom eveneens als apart hoofdstuk uitgewerkt.

3.2.2 Initiatiefnemer en spelers

Initiatiefnemer is het Ministerie van Economische zaken. Er zijn talloze spelers, waaronder het bedrijfsleven, energiebedrijven, onderzoeksinstituten (o.a. ECN, TNO-MEP, WUR), Universiteiten (Delft, Twente, Eindhoven, Groningen), Ministeries (EZ, VROM, LNV), alsmede de DEN-BSIK- en NEO-programma's.

3.2.3 Status van het initiatief

Het meest recente rapport waarin de stand van zaken wordt samengevat, is van april 2004³. In de komende tijd worden de hoofdroutes verder uitgewerkt samen met relevante stakeholders als voorbereiding op zogenaamde transitie-experimenten. Voor dit laatste wordt € 35 miljoen gereserveerd. Verder zal - onder andere door het servicepunt transitie dat is opgericht door VROM, EZ en LNV - in kaart worden gebracht welke veranderingen noodzakelijk zijn op het gebied van generiek beleid (fiscale regelingen), energie-innovatie en alternatieve motorbrandstoffen. Ook de onderzoeksprogrammering en de wijze waarop betrokken kennisinstellingen (NOVEM, ECN) opereren, zal op de transitieaanpak worden toegesneden.

3.2.4 Kansrijkheid en duurzaamheid

De grote gemene deler van het energietransitie-initiatief is de inzet van biomassa(reststromen) voor energie en chemische grondstoffen. De discussie of biomassa nu wel of niet een zinvolle grondstof voor energie- of chemiegrondstoffen beschouwd moet worden, is eigenlijk niet meer relevant. Door talloze overheden en internationaal opererende chemie-, energie- en *agbiotech* bedrijven wordt de *biobased economy* gezien als noodzaak én als kans. Er is al een vraag naar biomassa en er is behoefte aan goede verwerkingsmethoden voor biomassa. Relevant is nu vooral op welke wijze biomassa zo efficiënt mogelijk verwerkt en zo optimaal mogelijk tot waarde gebracht kan worden. Verschillende in biomassa geïnteresseerde partijen hebben toegang tot verschillende biomassa-bronnen, hebben verschillende technologische portfolio's, Zij zullen daarom op een verschillende manier met biomassa omgaan.

De landbouwsector kan in dit krachtenveld een rol van betekenis spelen omdat zij een groot deel van biomassa-stromen in Nederland beheert. De boer zit over het algemeen dicht bij de bron van biomassa en beschikt over biomassa die nu nog niet nuttig gebruikt wordt (bijv. gewasresten). Hij kan kiezen voor tijdelijke opslag (bijv. silage) om verwerking op industriële schaal (op afroep) mogelijk te maken, of verwerking van biomassa op het bedrijf te laten plaatsvinden (bijv. via co-vergisting). De Agro-processing-industrie, die in Nederland sterk vertegenwoordigd is, beschikt over een ander deel van de verhandelde biomassa (bijv. zaadschroten, aardappel en bietenpulp) en kan ook beschikken over meer hoogwaardige technologie om meer toegevoegde waarde met biomassa te creëren. Voor de landbouwsector in zijn geheel is het een uitdaging om vast te stellen welke opties er zijn om biomassa(reststromen) om te zetten in energie, chemische grondstoffen of andere materialen, en uit te zoeken welke route de meeste duurzaamheidswinst en economisch gewin voor de sector oplevert. Het is noodzakelijk dat het Agribusinesscomplex (processors van zetmeel, suiker en oliegewassen, Nedalco, Purac) verbindingen zoekt met andere sterke Nederlandse sectoren, waaronder de chemie (DSM, Shell, AKZO) en infrastructuur (Haven R'dam). Op dit moment is deze verbinding nog zeer zwak. Het is ook noodzakelijk dat er nog meer verbindingen komen tussen bestaande landbouwsectoren onderling (akkerbouw, bosbouw, tuinbouw, veeteelt, visteelt), onder andere door plantaardige afvalstromen van de ene sector te benutten als bron van energie, warmte, CO₂, meststoffen, voedereiwitten en veenvervangers in een andere sector. Scheiding van biomassa in afzonderlijke deelfracties (bioraffinage) maakt het mogelijk om deze fracties in verschillende markten af te zetten (bijv. cellulose voor papier of industriële fermentatie, eiwit voor visvoer, lignine als veenvervanger, aminozuren voor chemie). Doordat met bioraffinage de intrinsieke waarde van biomassa maximaal gehandhaafd blijft, kan vanuit dezelfde kg biomassa, zowel de veevoeder- als de chemiemarkt van materiaal worden voorzien zonder dat onderlinge vraagconcurrentie optreedt. Binnen de energietransitie wordt bioraffinage jammer genoeg niet als deeltraject uitgewerkt, maar deze technologie biedt kansen om de intrinsieke waarde van biomassa beter te benutten dan wanneer biomassa rechtstreeks wordt omgezet in energiedragers. Er zijn succesvolle voorbeelden van bioraffinageconcepten³, maar verdere verfijning van de technologie is noodzakelijk om ook tot verwaarding van cellulose, lignine, waardevolle eiwitten, aminozuren en andere inhoudsstoffen te komen. Bioraffinage zal verder in een aparte position paper uitgewerkt worden.

³ <http://www.purevisiontechnology.com/technology>

3.3 Mestvergisting en mest/biomassa co-vergisting

3.3.1 Beschrijving

Mestvergisting is een van de mogelijkheden om laagwaardige biomassa, bijvoorbeeld biomassa die ongeschikt is voor vervoer, om te zetten in energie. Mestvergisting is een proces waarbij biomassa door middel van anaërobe bacteriën wordt omgezet in een mengsel van methaan en CO₂ (biogas). Het biogas kan in een gasturbine worden omgezet in warmte en (groene) stroom. Uit diverse studies komt naar voren dat vergisting van uitsluitend mest, op het niveau van een individuele boerderij, economisch niet haalbaar is. Het economische rendement kan op twee manieren worden verhoogd, nl. door (1) het opschalen van de bedrijfsomvang⁴ en (2) het verhogen van de methaanproductie per m³ mest door extra toevoegen van koolstofrijke biomassa, zoals tarwestro, gras en bietenloof⁵.

Door onhelderheden in regelgeving komt mestvergisting in Nederland maar traag van de grond. Voor het vergisten van (alleen) mest afkomstig van het eigen bedrijf, kan worden volstaan met een Wet Milieubeheer vergunning van de gemeente, maar door een te kleine omvang heeft een dergelijke installatie geen economisch rendement. Door clustering van bedrijven is het economisch perspectief beter, maar zodra een bedrijf mest gaat vergisten voor derden, worden er ook vanuit ruimtelijke ordening eisen gesteld aan de locatie van vergisting (schaalaspecten, landschappelijke waarde, milieubelasting, verkeersdruk, etc.). Bij installaties groter dan 25000 m³ verloopt de vergunningaanvraag bovendien via Gedeputeerde Staten, bij installaties groter ca. 36000 m³ moet ook nog een Milieu-Effect-Rapportage worden opgesteld.

Co-vergisten van mest met biomassa is mogelijk met een eenvoudige gemeentelijke milieuvergunning, zolang de producten afkomstig zijn uit de eigen bedrijfsvoering. Zodra materiaal van buiten wordt aangevoerd, heeft dat juridische consequenties ten aanzien van de Wet Milieubeheer, Wet Ruimtelijke Ordening en de Meststoffenwet.

3.3.2 Initiatiefnemers en spelers

Individuele boeren en boerenorganisaties zijn de initiatiefnemers; belangrijke spelers zijn verder gemeentes, provincies, leveranciers van vergistingsinstallaties en stroomleveranciers.

3.3.3 Status van het initiatief

Kort geleden is er een belangrijke belemmering weggenomen, doordat het Ministerie van LNV in juni 2004 een lijst⁶ heeft gepubliceerd van landbouwproducten die kunnen worden aangewend voor co-vergisting, en waarbij het vaste eindproduct van de vergisting (het digestaat) als meststof mag worden vervoerd of verhandeld. Verwacht wordt dat later dit jaar de lijst wordt aangevuld met producten en reststromen uit de diervoeder-, voedings- en genotmiddelenindustrie en met industrieel bewerkte landbouwproducten. Opname van deze producten in de lijst is afhankelijk van de uitkomsten van een (milieu)risicoanalyse die momenteel wordt uitgevoerd. Verwacht wordt dat de belangstelling voor co-vergisting behoorlijk zal toenemen.

Een voorbeeld van een recent initiatief is het plan van Oerlemans, verwerker van diepvriesgroenten om de ongeveer 200.000 ton snijafval te laten co-vergisten op het bedrijf van een van hun grootste contracttelers. Door een zekere mate van leveringszekerheid kan de vergistingsinstallatie met maximale efficiëntie draaien. De opgewekte stroom wordt teruggeleverd aan Oerlemans. De CO₂ die is opgewekt tijdens vergisting wordt geleverd aan een kasterder. Het vergistingsresidue kan wellicht op de tuinderij als meststof worden ingezet, hoewel de regelgeving nog niet goed toegesneden is op dit punt. Voor de kortere termijn biedt dit voor Oerlemans een manier om kostenreductie te realiseren. De intrinsieke waarde van groenteafval wordt door vergisting niet tot waarde gebracht. Voor de langere termijn zou technologie ontwikkeld moeten worden de waardevolle inhoudsstoffen zoals vitamines, aminozuren, eiwitten, cellulose, etc. te isoleren, zodat ze gescheiden vermarkt kunnen worden.

⁴ Tachtig varkenshouders bouwen biogasinstallatie in Heeten, 6 februari 2004, <http://www.agriholland.nl/nieuws/artikel.html?id=42249>

⁵ Mestvergisting op boerderijniveau, <http://www.novem.nl/default.asp?documentId=26385>

⁶ <http://www.minlnv.nl/infomart/parlemnt/2004/par04200.htm>

3.3.4 Kansrijkheid en duurzaamheid

Technisch

- Technisch zijn er vrijwel geen belemmeringen. In Duitsland en Denemarken staan enkele duizenden vergisting-installaties.

Economisch

- Uit diverse studies volgt dat vergisting van uitsluitend mest economisch niet rendabel is, maar dat toevoeging van biomassa aan het vergistingsproces het economische rendement behoorlijk kan verhogen. Het financiële rendement van een vergistinginstallatie kan verder worden verbeterd door gebruik te maken van de MEP (stimulering milieukwaliteit energieproductie) subsidie, die exploitanten van biogasinstallaties een minimumprijs van 6.8 cent/kWh garandeert. Samen met een korting op de regulerende energiebelasting (enkele centen per kWh) en een afnamekorting van het energiebedrijf kan de totale opbrengst oplopen tot ongeveer € 0,11/kWh opgewekt met biogas.
- Het is economisch nog aantrekkelijker om het gas door te leveren aan een nabijgelegen tuinder.
- De *virtuele* overweging om ook *cultuurgras* via vergisting om te zetten in energie, is om economische redenen niet relevant. Het gras van 1 miljoen ha cultuurgrasland in Nederland wordt nu omgezet in melk, in essentie door vergisting van de grasbiomassa door de koe. De economische waarde van de in Nederland geproduceerde melk (11.5 miljoen ton/jaar) is ongeveer € 3.6 miljard. Bij een geschat economisch rendement van 5% is de netto opbrengst voor de melkveehouderijsector € 200 miljoen per jaar. Wanneer hetzelfde gras via vergisting wordt omgezet in elektriciteit, is de economische waarde ongeveer een factor 8.5 lager (Tabel 1), waarbij in dit laatste cijfer de afschrijving van de vergistinginstallatie nog niet is meegerekend.
- Dit laatste voorbeeld laat al zien dat de eindproducten van biomassavergisting tamelijk laagwaardig zijn. Door hetzelfde gras op een andere wijze te gebruiken, namelijk vergisting via de koe, is de waarde van de eindproducten al 8.5 maal hoger. Ook een koe is echter tamelijk inefficiënt in het gebruik van biomassa. Cultuurgras kan nog beter verwaard worden door gras eerst te scheiden in deelcomponenten (eiwit, suiker en de verschillende koolhydraten), de koe te voeren met een optimale mix van deze deelcomponenten en het restant voor andere toepassingen te gebruiken, waaronder vergisting tot biogas of stroom een (laagwaardige) optie is. De waarde van cultuurgras kan dan wellicht nog eens met een factor 2 verhoogd worden.

Organisatorisch

- Initiatiefnemers krijgen bij het ontwikkelen van projecten te maken met complexe regelgeving, vooral met de emissie-, afval- en mestwetgeving. Het vergunningstraject is lang en duur, sommige beleidsterreinen zijn niet goed op elkaar afgestemd (energiebeleid versus mest- en emissiebeleid) en het aantal betrokkenen is groot. Een overzicht van de knelpunten is weergegeven in een rapport van de werkgroep co-vergisting⁷.
- Er is behoefte aan meer helderheid welke organische reststromen, ook die nu worden beschouwd als afval in de zin van de wet milieubeheer, zoals GFT, in principe geschikt zijn voor co-vergisting.
- Er is behoefte aan meer helderheid over de effecten van nieuwe mest wetgeving 2006 voor co-vergisting.
- Co-vergisting is ingewikkelder dan het runnen van een windmolen. Om mislukte investeringen te voorkomen is goede begeleiding van boeren bij aankoop en bedrijfsvoering van installaties noodzakelijk.

Bijdrage aan duurzaamheid

- De bijdrage van de vergisting van Nederlandse drijfmest en biomassa aan de *totale Nederlandse energie-opwekking* is beperkt. Volgens de berekening in Tabel 2 kan, wanneer alle in Nederland geproduceerde drijfmest vergist wordt, mestvergisting voor maximaal 1% (30 PJ) bijdragen aan de totale Nederlandse energiebehoefte. Door het meevergisten van biomassa kan dit getal verder verhoogd worden met:
 - een additionele 0.06%, wanneer alle beschikbare bermgras (500.000 ton) wordt meevergist;
 - extra 0.05% wanneer biomassa uit de natuur wordt meevergist (430.000 ton), waarbij voor het laatste getal wordt aangenomen dat er per ha natuur per jaar gemiddeld 1 ton biomassa geoogst kan worden;

⁷ <http://www2.minlnv.nl/thema/mest/inftm22.pdf>

- nog maximaal 1 procent extra, wanneer ook andere biomassa-bronnen mogen worden vergist, zoals het loof van land- en tuinbouwgewassen (vermoedelijk meer dan 1.5 miljoen ton), pulp suikerbiet en zetmeel-aardappelen (1 miljoen ton), GFT (4 miljoen ton), groenafval van particulieren (1.5 miljoen ton), afval van bollenteelt (260.000 ton) en kippenmest (1.5 miljoen ton);
- alles bij elkaar genomen kan de bijdrage van co-vergisting van Nederlandse mest en biomassa aan de totale Nederlandse energiebehoefte maximaal 2% zijn; daarmee kan co-vergisting ook significant bijdragen (maximaal 2%) aan het nakomen van *CO₂ reductieafspraken* (de afspraak is een reductie van 5% in 2008-2012 t.o.v. 1990).
- Co-vergisting biedt ook mogelijkheden om de mineralen NPK efficiënter te recyclen en mest met minder stank-overlast te verwerken of uit te rijden.

Sociale aspecten

- Co-vergisting van biomassa past uitstekend bij de rol van een boer als dienstverlener. De mogelijkheid om uit variabele biomassa decentraal energie op te wekken past uitstekend in de potentiële rol van een boer om zorg te dragen voor een gezond, aantrekkelijk en productief land(schap). Hij wordt hiermee in feite beheerder van lokaal geoogst zonlicht. Plantengroei is de goedkoopste manier om zonlicht in chemische energie vast te leggen. De boer besluit over de manier waarop deze plantenenergie maximaal tot waarde gebracht kan worden. Voor goed gedefinieerde biomassa (aardappelen, suikerbieten, tarwezaad) is de keten tot economische verwaarding al min of meer geoptimaliseerd. Het verwaarden van slecht gedefinieerde biomassa (GFT afval, snoeihout, bermgras, tarwestro, loof van landbouwgewassen, etc.) is nog grotendeels in de experimentele fase, hoewel (co)vergisting de experimentele fase begint te ontgroeien.

De conclusie uit het bovenstaande is dat co-vergisting van mest en laagwaardige biomassa op boerderijniveau op korte termijn een bescheiden bijdrage levert aan de nationale energievoorziening en aan de inkomenspositie van de boer. Laagwaardige biomassa zijn reststromen die nu niet goed tot waarde gebracht kunnen worden, maar wel verwerkt moeten of kunnen worden. Een voorbeeld is bermgras of biomassa uit natuur. Door de heterogeniteit van het materiaal en de slechte kwaliteit is het materiaal niet geschikt als veevoertoepassing en wordt nu vercompost, waardoor de in potentie waardevolle energie wordt omgezet in nutteloze warmte en CO₂.

Behalve energie, in de vorm van stroom, kan uit biomassa nog een aantal andere waardevolle producten worden gewonnen, zoals basisgrondstoffen voor de chemie (zoals alcohol of etheen op basis van de fermenteerbare vezel fractie), bemeste tuingrond (op basis van de minerale fractie), potgrond (op basis van de niet fermenteerbare vezel fractie) of eiwitten voor hoogwaardig vee of visvoer, die via raffinagetechnieken uit de biomassafractie gewonnen kunnen worden. Een aantal hiervan worden in andere hoofdstukken verder uitgewerkt (witte biotechnologie en veen-ervangers).

Tabel 1. Vergelijking tussen de economische waarde van de producten 'melk uit gras' en 'stroom uit gras'.

Areaal grasland	1 10 ⁶ ha
Totale biomassa productie cultuurgrasland	12 10 ⁶ ton verse biomassa (50% water)
Potentiële biogas productie uit cultuurgras	2.8 10 ⁹ m ³
Potentiële energieproductie uit cultuurgras	4.3 10 ¹⁶ J
Stroomproductie uit biogas ⁸	1.1-1.9 kWh per m ³ biogas (stel 1.5 kWh/m ³)
Potentiële stroomproductie uit cultuurgras	4.2 10 ⁹ kWh
Opbrengst aan stroom (bij € 0.1/kWh)	€ 4.2 10 ⁸
Opbrengst aan zuivelproducten	€ 3.6 10 ⁹

⁸ Mestvergisting op boerderijniveau, <http://www.novem.nl/default.asp?documentId=26385>

Tabel 2. Potentiële bijdrage van mestvergisting en mest-biomassa co-vergisting aan de Nederlandse energiebehoefte.

Energie uit mest via vergisting	
Drijfmestproductie in Nederland ⁹	75 10 ⁶ ton per jaar (~75 10 ⁶ m ³)
Potentiële biogasproductie per m ³ (ton) mest ¹⁰	18-35 m ³ biogas per m ³ mest, stel 25 m ³ /m ³
Totale potentiële biogasproductie uit NL drijfmest	1.9 10 ⁹ m ³ biogas
Samenstelling biogas	45-68% methaan, stel 50%
Energie-inhoud methaan	31.4 MJ/m ³
Totale potentiële energieproductie uit mest	3.0 10 ¹⁶ J per jaar
Totale potentiële stroomproductie uit mest	1.1-1.9 kWh per m ³ biogas (stel 1.5 kWh/m ³)
Totale opbrengst aan stroom uit mest (bij € 0.1/kWh)	€ 2.9 10 ⁸
Totale energieconsumptie in Nederland ¹¹	3 10 ¹⁸ J per jaar (=3000 PJ)
Maximale bijdrage van biogas aan NL energievoorziening	1%
Energie uit plantaardige biomassa via co-vergisting	
Biomassa-productie van bermgras in NL	500.000 ton vers gras (50% water) ¹²
Potentiële biogas productie uit bermgras	230 m ³ biogas per ton vers bermgras ¹³
Potentiële energie productie uit bermgras via biogas (bij een geschat gehalte van 50% methaan)	1.8 10 ¹⁵ J (1.8 PJ)
Areaal bos en natuur	438.000 ha
Schatting biomassa-productie door bos en natuur	438.000 ton (25% vocht)
Potentiële energie productie biomassa van bos en natuur (bij 200 m ³ biogas per ton biomassa)	1.5 10 ¹⁵ J

3.4 Vloeibare brandstoffen, ethanol en biodiesel (met nadruk op biodiesel)

3.4.1 Beschrijving

De initiatieven die worden gestart op het gebied van vloeibare, op biomassa gebaseerde brandstoffen, hebben voor de deel te maken met de recent geïntroduceerde EG richtlijn EC directive 2003/30/EC on biofuels¹⁴, die bepaalt dat in 2005/6 2% en in 2010/11 5.75% van de energie-inhoud van de verhandelde transportbrandstoffen afkomstig moet zijn van biobrandstoffen.

Een aantal brandstoffen, zoals biodiesel (zie Bijlage I voor verdere uitleg) op basis van (gerecyclede) plantaardige oliën, ethanol uit bietsuiker of aardappelzetmeel, pyrolyse olie uit plantaardige reststromen, etc., zouden in principe als vloeibare biobrandstof kunnen dienen, hoewel het gebruik ervan weer beperkt of gereguleerd kan worden door andere richtlijnen, zoals de transportbrandstoffenrichtlijn (98/70/EC), benzine- (EN288) en dieselnorm (EN590:2003). Over het algemeen geldt dat ethanol de biobrandstof voor benzinemotoren is en dat brandstoffen op basis van plantaardige olie of pyrolyse-olie kunnen worden toegepast in dieselmotoren. De twee kortste, en op korte termijn te realiseren, verbanden tussen landbouw en motorbrandstoffen zijn:

1. De route van oliezaadgewassen naar biodiesel.
2. De route van suiker (melasse) of zetmeel (van aardappel of tarwe) naar ethanol.
3. Een derde route is die van de ongeraffineerde biomassa (stro, houtsnippers, etc.) naar ethanol. Deze stap is aanzienlijk ingewikkelder dan route 2, maar heeft de belofte in zich van lagere kosten per liter geproduceerde alcohol. Voorwaarde is dat hierbij een aantal technische bottlenecks worden opgelost.

⁹ <http://www.cbs.nl/nl/publicaties/artikelen/milieu-en-bodemgebruik/Milieu/mest/dierlijke-mest-mineralen.htm>

¹⁰ <http://www.agriholland.nl/nieuws/artikel.html?id=42510>

¹¹ <http://www.energie.nl/index2.html?stat/trends126.html>

¹² De haalbaarheid van energieopwekking uit bermgras, http://www.emis.vito.be/EMIS/Media/energietechnologie_novem_bermgras.pdf

¹³ De haalbaarheid van energieopwekking uit bermgras, http://www.emis.vito.be/EMIS/Media/energietechnologie_novem_bermgras.pdf

¹⁴ http://europa.eu.int/comm/energy/res/legislation/biofuels_en.htm

- 4 Een vierde route is de verwerking van gewassen, die nu vooral voor veevoedertoepassingen worden gebruikt, zoals voederbiet en cultuurgras. Voederbiet is een gewas met een zeer hoge opbrengst en een potentieel gewas voor verzilde gronden, terwijl gras het meest geschikte gewas is voor natte gronden (een groot deel van het huidige graslandareaal). Deze gewassen zijn een bron van waardevolle componenten (suiker, fructaan, (hemi)cellulose, eiwit, aminozuren, organische zuren). Door deze componenten separaat te vermarkten is de toegevoegde waarde van een hectare gewas groter. In dit concept worden de eiwitten en de makkelijk verteerbare koolhydraten vooral gebruikt voor veevoer, de slecht verteerbare koolhydraten voor energietoepassingen. Per hectare gewas kan eenzelfde hoeveelheid vlees of melk worden geproduceerd, maar ook andere markten (zoals de fermentatie-industrie) van grondstoffen worden voorzien.

In dit hoofdstuk wordt voornamelijk gerekend aan biodiesel. Ethanol is eveneens een zinvol eindproduct van biomassa-verwerking, vooral omdat veel reststromen ongeschikt zijn voor biodiesel maar wel voor ethanolproductie kunnen worden gebruikt. Over ethanol is al vrij veel gepubliceerd.

3.4.2 Initiatiefnemers en spelers

In Nederland zijn dat overheden (belastingmaatregelen), boeren, boerenorganisaties, processors, Kamers van Koophandel, gemeentes. In Europa, EC (fuel directive), boerencoöperaties, processing industrie (bijv. ADM), industrie voor technische installaties.

3.4.3 Status van het initiatief

Ondanks behoorlijke onzekerheden in het toekomstige subsidieregime worden in Europa steeds meer en steeds grootschaliger initiatieven genomen voor het opzetten van een keten van oliezaden, voornamelijk koolzaad, naar biodiesel. Binnen Europa lopen vooral Duitsland, Frankrijk en Italië voorop bij het vergroten van de productiecapaciteit voor biodiesel. Hieronder volgt een kort overzicht van de status in een aantal Europese landen.

In Duitsland zijn tientallen fabrieken operationeel en zijn diverse in aanbouw. De grootste fabriek in aanbouw heeft een capaciteit van 100.000 ton/jr. Na gereedkomen is de totale Duitse productiecapaciteit 1 miljoen ton/jr, ongeveer 50% van het totale huidige Europese productievolume. Verder is een flink aantal nieuwe (Duitse) automodellen standaard aangepast aan het gebruik van biodiesel.

België wil in 2005 2% biodiesel aan minerale diesel toevoegen en mogelijk 6% in 2010; tevens wil men er accijns-vrijstelling geven en wil men pompen openen voor pure biodiesel. Er is nog geen productiecapaciteit voor biodiesel. In Frankrijk wordt biodiesel al voor 1-5% toegevoegd aan minerale diesel en in stedelijke voertuigen tot 30%. Het productievolume in 2003 wordt geschat op 500.000 ton/jaar.

In het Verenigd Koninkrijk is er sinds juli 2002 een *duty incentive* van £0.2/liter. In de UK is vrijwel nog geen capaciteit voor biodiesel productie, hoewel Biofuels Corp. Ltd. in juli 2004 is gestart met de bouw van een biodiesel-fabriek in Teeside (250.000 ton/jr).

Nederland heeft nog geen accijnsvrijstelling ingevoerd voor biodiesel. Het kabinet streeft er wel naar om vanaf 2006 2% van de huidige brandstof door biobrandstof te vervangen, inclusief nichemarkten zoals pure plantaardige olie (zie verder). Verder is ATEP Nederland op zoek naar een locatie voor een biodieselfabriek die gaat draaien met een licentie van het Duitse Ohlmühle Leer Connemann GmbH & Co (onderdeel van ADM).

In de Verenigde Staten wordt vooral soja-olie gezien als grondstof voor biodiesel. De productiecapaciteit is met ongeveer 0.3 miljoen ton (2003) nog beperkt, hoewel de capaciteit binnen 12 maanden verdrievoudigd kan worden.

Biodiesel is in Europa vooral gebaseerd op raapzaad en zonnebloemolie. Onzeker is ook hoe andere plantaardige oliën zoals palm- en kokosolie een rol zullen gaan spelen in de biodieselproductie; deze oliën lijken in sommige opzichten minder goed geschikt te zijn voor biodieseltoepassingen¹⁵. De biodieselfabriek die in aanbouw is in het

¹⁵ Advanced combustion research for energy from vegetable oils (ACREVO). FAIR-CT95-0627, Final report, 1998

verenigd Koninkrijk, gaat zeer waarschijnlijk draaien op palmolie¹⁶. In de palmolieproducerende landen lopen, zover bekend, nog geen initiatieven voor het opzetten van biodieselfabrieken.

Binnen Nederland lopen een paar initiatieven om pure koolzaadolie (PPO), dus zonder verdere derivatisering tot biodiesel, als brandstof te gaan gebruiken. Vrijwel altijd moet hiervoor het brandstofsysteem worden aangepast (kosten meer dan € 500 per systeem). Binnen Nederland zijn diverse initiatieven om te komen tot productie van koudgeperste olie. Delfzijl krijgt een oliemolen (Solaroilsystems en NLTO) voor koudgeperste raapzaadolie met toestemming (2004) om 1.2 miljoen liter accijnsvrij af te zetten, waardoor prijs van de olie ongeveer € 0.15-0.20/l onder de gangbare dieselprijs ligt. De Organisatie voor Plantenolie en Ecologische Krachtbronnen (OPEK) in Zeewolde neemt in het najaar een koolzaadoliepers in gebruik. OPEK mag tot 2010 per jaar vijfhonderdduizend liter accijnsvrije olie verkopen. De stichting Innovatief Platteland Venray, die de accijnsvrijstelling heeft gevraagd voor twee miljoen liter PPO per jaar, heeft echter geen accijnsvrijstelling gekregen. Afzetmarkten voor PPO zijn vrachtwagenbedrijven, gemeentelijke wagenparken (Venlo als eerste), vaartuigen, etc.

3.4.4 Kansrijkheid en duurzaamheid van biodiesel

Organisatorisch

- In de EC Biofuels directive is afgesproken dat elk Europees land een inspanning levert om te komen tot een getrapte verhoging van het percentage biobrandstoffen in transportbrandstoffen (tot 5.75 in 2010). Introductie van bioethanol op basis van suiker (uit bietsuiker of tarwezetmeel) en biodiesel op basis van koolzaad- of andere plantaardige oliën zijn eigenlijk de enige manier om binnen 2-3 jaar aan de EU doelstellingen te voldoen.
- Biodiesel, maar ook bioethanol, zijn aan de pomp alleen prijsconcurrerend met petrobbrandstoffen als de biobrandstof geheel of gedeeltelijk vrij wordt gesteld van accijnzen en andere heffingen. Accijnsvrijstelling op bioethanol en biodiesel is dus één van de weinige instrumenten om afzet van biofuels te stimuleren.
- Daarnaast zijn er een aantal andere routes voor productie van op biomassa gebaseerde brandstoffen in ontwikkeling, waaronder productie van ethanol uit lignocellulose en routes voor thermische conversie van biomassa in energierijk gas of olie (e.g. FT diesel, HTU biocrude). Het is van belang dat snel helder wordt welke route op lange termijn het hoogste economische en energetische rendement oplevert en welke technische uitdagingen genomen moeten worden om de EU doelstellingen voor de langere termijn (5.75% vervanging) te halen. De verwachting is dat de tweede generatie brandstoffen (FT diesel en ethanol uit lignocellulose, zoals *Miscanthus*) per GJ of per bespaarde hoeveelheid CO₂ minder zal kosten dan biodiesel uit plantaardige olie en ethanol uit suiker, maar hierover is nog weinig met zekerheid te zeggen.
- De tweede generatie biomassa-naar-energie-keten zal sterk internationaal georganiseerd zijn. De technologische modules in de keten voor biodiesel uit koolzaadolie zullen nauwelijks herbruikbaar zijn in een keten voor een 2^{de} generatie diesel-achtige brandstoffen. De bestaande keten voor conversie van suiker naar ethanol (Nedalco) staat wel veel dicht bij de 2^{de} generatie alcoholproductie uit lignocellulose.
- Wat betreft de tweede generatie biobrandstoffen is het de uitdaging voor Nederlandse ondernemers om in dat deel van de keten een positie te verwerven waar de meeste toegevoegde waarde te vinden is. Meestal is dat aan het eind van de keten; in geval van een energieketen is dat import van biomassa en thermische conversie naar olie, of biologische conversie naar ethanol. Ook toegang en intellectueel eigendom op elite plantaardig uitgangsmateriaal en kennisintensieve taken, zoals proeftuinentaken en beheer van zaadvermeerdering, dragen bij aan het verwerven van een sterke positie in energieketens.

Economisch

- Gezien de potentiële afzetmarkt kan koolzaad binnen een aantal jaren een substantieel deel van het Nederlandse akkerbouwareaal (= totaal 580.000 ha) in beslag nemen. Gezien de toenemende verschuiving van Nederlandse aardappelen naar tropische cassave als bron van zetmeel en de neerwaartse druk op het areaal suikerbieten als gevolg van veranderingen in de Europese suikerregeling, zal het beschikbare landbouwareaal vermoedelijk toenemen. Met 125.000 ha koolzaad is het mogelijk om 2% van alle diesel in Nederland te vervangen door

¹⁶ <http://focus.comdirect.co.uk/en/news/article.html?server=afx&id=1093007241>

biodiesel. Gezien de belemmeringen van de teeltpraktijk (vruchtwisseling) is het technisch beschikbare areaal op dit moment ongeveer de helft lager¹⁸.

- In Nederland is het saldo van koolzaadproductie, met de huidige rassen en teeltpraktijken, lager dan het saldo van winter tarwe, het laagst renderende gewas op dit moment. Op verplichte braakgrond is het saldo iets hoger dan voor tarwe; in dat geval is het maximaal bereikbare koolzaadareaal echter maar 5000 ha¹⁷. Opmerkelijk is dat het saldooverschil tussen koolzaad en tarwe voor Duitse, Deense en Franse boeren wel positief is. Verschillen in schaalgrootte, teeltpraktijk en afzetmogelijkheden, bijvoorbeeld als hoogwaardige spijsolie, dragen bij aan het saldooverschil tussen de verschillende landen.
- Accijnsvrijstelling creëert, via biodiesel, een grotere afzetmarkt voor koolzaadolie. Omdat biodieselproducenten op de wereldmarkt inkopen, betekent accijnsvrijstelling niet zonder meer een gegarandeerde afzetmarkt voor de Nederlandse boer. Verder is het onzeker of accijnsvrijstelling op biodiesel het saldo voor de boer zal verhogen. Voor PPO heeft accijnsvrijstelling wel een positief effect, omdat PPO regionaal of in nichemarkten afgezet wordt.
- Een afzetmarkt voor koolzaad die meer toegevoegde waarde heeft dan biodiesel is spijsolie, wat een aanzienlijk potentieel afzetvolume heeft. Het areaal koolzaad in Canada, de grootste koolzaadproducent (5.1 miljoen ha, 2005, 10% groei t.o.v. 2004) is bijvoorbeeld vrijwel volledig bestemd voor de voedselmarkt. Interessante nichemarkten zijn olie met een verhoogde thermische stabiliteit en een verhoogd gehalte aan onverzadigde vetzuren
- Geschat wordt dat per 100.000 ton biodiesel productiecapaciteit 60-80 banen worden gegenereerd en in de landbouw nog eens 550¹⁸.
- Een belangrijk deel van het saldo voor de boer is gebaseerd op het verwaarden van het schroot en de glycerol die vrijkomt bij het veresteren. Glycerol wordt gebruikt in dranken, personal care producten, pharmaceuticals, nutraceuticals en voedingsproducten en in toenemende mate in low-carbohydrate and fat-free foods. Het marktvolume groeit met ongeveer 2% per jaar. Vraag en aanbod zijn op dit moment redelijk in evenwicht. Gezien de toenemende productiecapaciteit voor biodiesel is de verwachting dat de prijs voor glycerol behoorlijk onder druk komt te staan.
- Het is onwaarschijnlijk dat biodiesel, op basis van koolzaad, op de lange termijn de economisch meest efficiënte route voor productie van biobrandstoffen is. Men zou de hypothese kunnen hanteren dat productie van zaadolie voor energietoepassingen zinvol is als de prijs van de zaadolie ongeveer gelijk is aan die van minerale olie (in juli 2004: ± \$40/barrel of \$280/ton). In juli 2004 was de marktprijs voor plantaardige olie ongeveer 2 maal zo hoog: \$430/ton voor palmolie en \$590/ton voor sojaolie¹⁹. De technologie om zaadolie om te zetten in biodiesel is zo volwassen, dat verder kostenbesparing op dit terrein niet te verwachten is. In potentie kan de zaadolie-opbrengst nog stijgen tot 2.5-3.0 ton/ha, maar daarmee zal de prijs niet halveren (palm levert al 4-5 ton olie/ha).

Technisch

- Een van de bijproducten, de eiwitrijke perskoek (koolzaad levert ongeveer 2-3 ton/ha cake), wordt op dit moment gebruikt voor veevoertoepassingen. Vanwege de lagere voederwaarde is de prijs enigszins lager dan sojaschroot: rond de US\$150-200/ton. De waarde van het schroot voor veevoertoepassingen kan verhoogd worden door het gehalte aan essentiële aminozuren, zoals lysine, te verhogen. Op dit punt heeft WUR een goede kennispositie, en kan daarmee een eigen marktniche verwerven. Daarnaast zijn er goede toepassingsmogelijkheden in humane voeding als vervanger voor dierlijke eiwitten. Deze sterk groeiende industrietak is relatief goed ontwikkeld voor soja-eiwitten (Dupont Protein Technologies International, Cargill), en is eveneens kansrijk voor koolzaadeiwitten (zie Burcon²⁰). Het is echter zeer onzeker of het volume van de markt voor vleesvervangende eiwitten in gelijke mate ontwikkeld als het volume van de biodieselmkt.
- Gewasresten worden op dit moment niet gebruikt, maar kunnen via co-vergisting naar biogas, fermentatie naar ethanol, of bioraffinage (extractie van eiwitten) tot waarde worden gebracht. Ook dit is een manier om het saldo van de boer iets te verhogen.

¹⁷ Beschikbaarheid van koolzaad voor biodiesel. LEI, rapport 2004, in opdracht van LNV

¹⁸ http://www.dft.gov.uk/stellent/groups/dft_roads/documents/pdf/dft_roads_pdf_028393.pdf

¹⁹ <http://www.imf.org/external/np/res/commod/index.asp>

²⁰ <http://www.burcon.ca>

- Vergeleken met de koolhydraatgewassen suikerbiet en aardappel, die een gemiddelde opbrengst van 10 ton/ha suiker of zetmeel hebben (3 ton/ha andere droge stof), is de olieopbrengst van koolzaad (1.2 ton/ha) nog tamelijk beperkt. Als wordt gecorrigeerd voor de hogere energie-inhoud van olie is de potentiële bovengrens voor een olieopbrengst in NW-Europa, ongeveer 2.5-3 ton olie/ha naast 3 ton/ha andere droge stof (loof + zaadkoek). Onder proefveldomstandigheden wordt soms al een productie van 5.3 ton zaad/ha gehaald (Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, Lelystad), terwijl in 2004 op sommige percelen in Groningen 5.5 ton werd gehaald en een geschatte olieopbrengst van bijna 2000 liter olie/ha. Deze getallen geven aan dat er voldoende potentie is om de gemiddelde opbrengst nog aanzienlijk te verhogen. Een andere gewaseigenschap waar verbetering nodig is en die directe invloed heeft op de olie-opbrengst is zaadvastheid. Zaadverlies leidt gemiddeld tot een opbrengstverlies van 500 kg zaad/ha/jaar en hogere kosten in de volgende teelt.

Bijdrage aan duurzaamheid

- Een van de redenen voor de belangstelling voor plantaardige olie als grondstof voor motorbrandstoffen is de EU-richtlijn om petrochemische motorbrandstoffen te vervangen door energiedragers van biologische herkomst. In 2003 werd in Nederland voor het transport voor 482 PJ aan energie gebruikt, waarvan 173 PJ benzine (4.2 miljoen ton), 267 PJ diesel (6.3 miljoen ton) en 19.6 PJ LPG (120 miljoen m³) (CBS)²¹. Om alle diesel (de energie-inhoud is ± 43 GJ/ton) te kunnen vervangen door biodiesel (± 38 GJ/ton) zou in 2003 ongeveer 7 miljoen ton biodiesel en 5.8 miljoen ha koolzaadgewas nodig zijn geweest (uitgaande van een opbrengst van 1.2 ton olie/ha). Om de EC directive 2003/30/EC, die uitgaat van 2% vervanging in 2005, te vertalen naar de Nederlandse situatie, is 9.6 PJ aan biobrandstof nodig. In het theoretische geval dat dit volledig gedekt zou moeten worden met biodiesel, zou in 2005 255.000 ton biodiesel, overeenkomend met 210.000 ha koolzaad, nodig zijn. Als alleen 2% van de diesel vervangen zou worden, dan is 152.000 ton biodiesel en 125.000 ha koolzaad voldoende. Om in 2010 5,75% van de diesel te vervangen, zou 730.000 ton biodiesel, overeenkomend met 29 PJ, en 605.000 ha koolzaad nodig zijn. Om tegelijkertijd 2 en 5.75% van de benzine te vervangen, zou respectievelijk 130.000 en 385.000 ton ethanol nodig zijn.
- Uit het bovenstaande blijkt dat met koolzaad alleen Nederland niet in staat is om te voldoen aan de EU richtlijn voor fossiele motorbrandstoffen. Ook de inzet van andere biobrandstoffen, zoals ethanol uit lignocellulose biomassa, is hierbij noodzakelijk. Ook koolzaad kan een rol spelen bij de ethanolvoorziening. Koolzaad levert, naast de zaadolie, 2-3 ton/ha gewasresten op, dat uitstekend als grondstof voor ethanol kan dienen. Dus naast 1200 liter biodiesel, kunnen gewasresten in potentie nog eens 600-1000 liter ethanol/ha opleveren.
- Andere biomassa-bronnen die met de huidige technologie kunnen worden gebruikt voor productie van ethanol zijn bietmelasse, C-zetmeel uit de tarweverwerking, aardappelstoomschillen en reststromen uit de verwerking van patataardappelen met een totaal van 2.5 miljoen ton. Hiermee kan naar schatting 170.000 ton ethanol gemaakt worden²², hetgeen correspondeert met 2.5% van het benzinegebruik in Nederland.
- Wat betreft uitstoot van schadelijke verbrandingsgassen, scoort biodiesel beter dan diesel, met uitzondering van de NO_x uitstoot.
- Biodiesel kan op korte termijn helpen om duurzaamheidsdoelstellingen te realiseren. Op het moment dat de 2^{de} generatie thermische conversie- (FT vergassing) of fermentatietechnologie beschikbaar komt, zijn biobrandstoffen op basis van snelgroeende gewassen mogelijk goedkoper te produceren dan biodiesel. Het verdient aanbeveling om dit eens op basis van een scenariostudie door te rekenen.
- Snelgroeende biomassa als Miscanthus kan - zeker na verbetering van het uitgangsmateriaal - prima op Nederlandse bodem geteeld worden. In principe is het zelfs mogelijk alle biotransportbrandstof die nodig is om 5.75% van de petrobrandstoffen te vervangen hier te telen. Daarbij zijn de kosten van subsidiëring, bedoeld om de kostprijs van biobrandstof voor de industrie/consument gelijk te krijgen aan de kostprijs van fossiele brandstof, bij Miscanthus het laagst. Per ha is Miscanthus zelfs een aantrekkelijker optie voor de boer, omdat veel meer energie per hectare wordt geteeld en de subsidie naar rato van hoeveelheid energieproductie kan zijn. De schaal waarop Miscanthus geteeld zou moeten worden past goed in de omvang van het Nederlandse akkerbouwareaal. Voor koolzaad lijkt dit niet het geval.

²¹ <http://statline.cbs.nl/StatWeb/table.asp?LYR=G1:0&LA=nl&DM=SLNL&PA=7453&D1=0,12-13,16,19&HDR=T&STB=G2>

²² Ethanol from biomass. A Dutch case study, 2003. Industry Note Food & Agribusiness Research Rabobank International

- In principe liggen de grootste kansen voor Nederland echter bij hoogwaardige toepassingen, zoals teelt van hoogwaardige producten of teeltkundige en andere technische ondersteuning van laagwaardige toepassingen elders. Hierbij kan men denken aan de productie van hoogproductieve rassen en teeltsystemen.
- Knelpunt bij de implementatie van *Miscanthus* is bijvoorbeeld de beperkte inpasbaarheid in de rotatie. Nu is een 10-jarige (of langere) teelt nodig, vanwege de hoge kosten van aanleg van *Miscanthus* met rhizomen. Eén van de strategieën is om een 'zaaibare' *Miscanthus* te ontwikkelen op basis van *Miscanthus sinensis*. Waarmee vermeerdering via zaad mogelijk is. Op basis van *Miscanthus sinensis* kan een productiewijze worden ontwikkeld waarbij met een hoge zaaidichtheid een *Miscanthus* gewas kan worden gestart. Door de lagere kosten van inzaai in vergelijking met planten van wortelstokken kan de teelt met een kortere teeltduur al rendabel zijn (bijvoorbeeld na drie jaar). Daardoor wordt een rotatie van *Miscanthus* met andere akkerbouwgewassen voorstelbaar, bijvoorbeeld met een schema van 3 tot 5 jaar *Miscanthus*, 1 jaar aardappel, 1 jaar suikerbiet, 1 jaar tarwe.

3.5 Biomassa voor grondstoffen voor chemie

3.5.1 Beschrijving en status

In diverse visiedocumenten en scenariostudies wordt biomassa, behalve als mogelijke bron voor energietoepassingen, ook genoemd als grondstof voor de chemie²³. Het streefbeeld binnen de Nederlandse Energie Transitie is dat in 2050 20-45% van producten en chemische grondstoffen zijn gebaseerd op biomassa. In een van de deeltrajecten binnen de ET is deze visie voor het gebruik van biomassa in Nederland verder uitgewerkt²⁴.

In de US worden vergelijkbare cijfers gehanteerd: 12% in 2010, 18% in 2020 en 25% in 2030²⁵. In de US is al een omvangrijk onderzoeksprogramma uitgewerkt voor de periode 2004-2008²⁶, dat wordt uitgevoerd door US Department of Energy²⁷ (DOE) en Agriculture (USDA). De onderliggende visie is dat voor consolidatie van een levensvatbare, onafhankelijke economie en een veilige samenleving het noodzakelijk is om de voorziening van energie en chemische grondstoffen voor een deel te baseren op plantaardige grondstoffen²⁸. Het programma in de US is onder andere gebaseerd op de volgende peilers:

1. *Green Biotechnology*. Het ontwikkelen van dedicated crops.
2. *Sugar Platform*. Het ontwikkelen van een goedkope chemische of biologische technologie om suikers (C5 en C6 suikers) uit lignocellulose biomassa te isoleren. Deze suikers kunnen door fermentatie m.b.v. micro-organismen worden omgezet in ethanol (voor energie of als grondstof voor etheen, een basisgrondstof voor de bulkchemie), melkzuur (grondstof voor bioplastics), 1,3-propaandiol (grondstof voor polyesters) en diverse andere stoffen (de zgn. *Witte Biotechnologie*).
3. *Thermochemical Platform*. Het ontwikkelen van technologie om biomassa thermochemisch om te zetten in gasvormige (CO, H₂) en vloeibare intermediëren die kunnen worden gebruikt voor energie of grondstof voor chemische producten. De technologieën waar het hier om gaat zijn genoemd in Bijlage I.
4. *Biorefinery*. De *biorefinery* is een conceptueel ontwerp voor een fabriek, waarin diverse technologieën om biomassa om te zetten in waardevolle eindproducten worden geïntegreerd (Figuur 1). In een aantal opzichten is de *biorefinery* analoog aan een olieraffinaderij, hoewel ze verschillen in de gebruikte grondstoffen (biomassa versus ruwe olie) en ze verschillende producten opleveren. De visie achter *biorefineries* is dat ze zowel hoogwaardige energiedragers als chemische grondstoffen leveren en dat zowel thermochemische, biologische (fermentatie) en chemokatalytische technologieën zullen worden gebruikt.

²³ <http://www.shell.com/static/royal-en/downloads/scenarios.pdf>

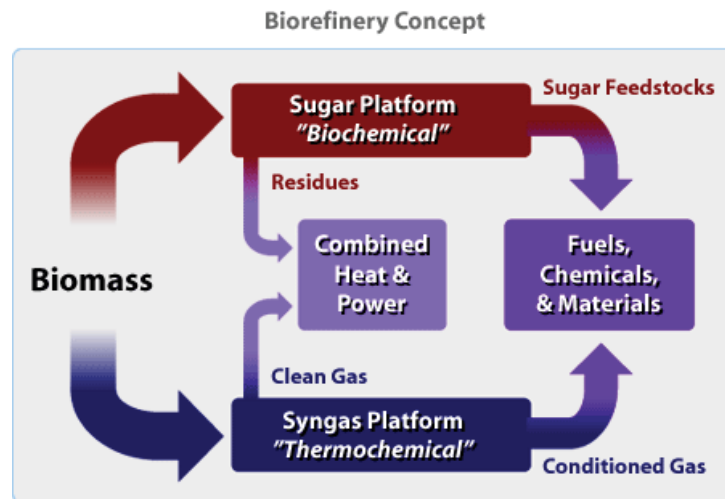
²⁴ Visie op biomassa. De rol van biomassa in de Nederlandse energievoorziening 2040. Augustus 2003

²⁵ Roadmap for Biomass Technologies in the United States (2002)

²⁶ Biomass Program Multi-Year Technical Plan

²⁷ <http://www.eere.energy.gov/biomass/>

²⁸ Plant/crop-based renewable resources 2020 (1998), <http://www.science.doe.gov/bes/eb/Publications/vision2020.pdf>



Figuur 1. Conceptueel ontwerp voor een fabriek, waarin diverse technologieën om biomassa om te zetten in waardevolle eindproducten worden geïntegreerd.

(Bron: <http://www.eere.energy.gov/biomass/>)

Binnen de EU ontbreekt een visie op het gebruik van biomassa en in het zesde kaderprogramma van de EU zijn ook geen fondsen beschikbaar. Recent is door een groep vooraanstaande Europese onderzoekers er wel op aangedrongen om, in navolging van de US 2020 visie, te komen tot een Europese visie ten aanzien van de *Biobased Economy* en tot de definitie van een onderzoeksagenda voor *Plant genomics* en *White Biotechnology*²⁹. Parallel hieraan is onder leiding van Philippe Busquin, Europees commissaris voor onderzoek, een visiedocument *Plants for the future* geformuleerd³⁰, waarin *bio-based products* een van de drie doelen zijn. Ook op het gebied van Witte Biotechnologie heeft de EU nog geen zichtbaar beleid ontwikkeld. Een aantal wereldwijd opererende bedrijven (DSM, Dupont, Genencor, BASF, Novozymes, Cargil Dow) hebben zich daarom verenigd in EuropaBio³¹, met de bedoeling om de potentie van industriële biotechnologie in duurzame, op biomassa gebaseerde productie onder de aandacht van consumenten en beleidsmakers te brengen. Elk van deze bedrijven beschikt over een stukje van de kennis en het technologiepalet dat nodig is om de transitie van een minerale olie naar een biomassa gebaseerde chemie mogelijk te maken. Een essentiële voorwaarde voor deze transitie is de beschikbaarheid aan goedkope suiker, in ieder geval aanmerkelijk goedkoper dan riet- en bietsuiker. Biomassa³² wordt gezien als een dergelijke bron, hoewel de isolatie van suikers uit biomassa een behoorlijke uitdaging is.

Binnen Nederland loopt sinds 2004 een aantal 5-jarige onderzoeksinitiatieven. Een daarvan is *Chemistry and Energy for Sustainability/ B-Basic* (25 M€) dat het gericht is op kennisontwikkeling leidend tot efficiëntere productieprocessen op het gebied van chemie en energie. Hieronder valt ook het ontwikkelen van nieuwe productieroutes, waarbij biomassa (Syngas, EtOH, C-5 en C-6 suikers) wordt omgezet in chemicaliën via microbiële fermentatie of enzymen.

Een andere initiatief is *The Kluyver Centre for Genomics of Industrial Fermentation*, één van de *Centres of excellence* binnen het Nederlands Genomics Initiatief. Doel is het toepassen van microbiële genomics voor het verbeteren van micro-organismen die gebruikt worden in industriële fermentatie ten behoeve van de productie van antibiotica, geur en smaakstoffen, aminozuren, organische zuren, vitamines, voedingsmiddelen en dranken.

Een paar aan Witte Biotechnologie gelieerde, maar die hier niet verder uitgewerkte, onderzoeksinitiatieven, zijn Zenit, Hydrogen, PonC, IBOS, en ASPECT die vanuit OC&W via NWO worden gefinancierd.

²⁹ <http://www.nf-2000.org/publications/york0401.pdf>

³⁰ <http://www.epsoweb.org/Catalog/TP/index.htm>

³¹ <http://www.europabio.org/>

³² Riet en bietsuiker vallen onder de brede definitie van biomassa, maar hier wordt nadrukkelijk biomassa-afval bedoeld (hout-snippers, gewasresten, tarwestro, etc.), dat voor een lage prijs verkregen kan worden. Dergelijke biomassa wordt ook wel lignocellulose genoemd, naar de twee hoofdcomponenten van biomassa: lignine en (hemi)cellulose

Naast de grootschalige initiatieven om lignocellulose biomassa te gebruiken voor energie en chemiegrondstoffen zijn er in diverse landen initiatieven om ook kleine gewassen met specifieke inhoudsstoffen te stimuleren. Voor Nederland is dat *Calendula*, dat grondstoffen levert voor hoogwaardige verf.

3.5.2 Initiatiefnemer en spelers

In de Verenigde Staten: de overheid (Department of Energy(DOE), USDA), research Labs (NREL), universiteiten, bedrijfsleven. Het Biomassaprogramma wordt gecoördineerd door het Office of the Biomass Program, onderdeel van DOE.

In Nederland: B-BASIC is een consortium van universiteiten TUD, UG, UL, WUR, onderzoeksinstituten (TNO-MEP, AnF) en industrie (o.a. Shell, AKZO, DSM, Paques).

The Kluyver Centre is een consortium van de Universiteiten (TUD, WUR, LU, NU, UU) en onderzoeksinstituten (TNO, Wageningen Centre for Food Sciences, Agrotechnology and Food Innovations and NIZO food research).

3.5.3 Kansrijkheid en duurzaamheid

De mogelijkheden en initiatieven om biomassa te gebruiken als grondstof voor energie en chemie zijn door de veelheid aan mogelijke routes, waarvan er een flink aantal in de ontwikkelingsfase zitten, moeilijk op hun haalbaarheid en kansrijkheid te beoordelen. Daarom wordt volstaan met een aantal observaties.

- De fraaiste voorbeelden van het gebruik van biomassa - in dit geval suiker - voor de productie van non-food of chemische intermediären zijn ethanol (m.b.v. *Saccharomyces*), melkzuur (*Lactobacillus*) en 1,3-propanediol.
 - 1.3-Propaandiol is een van de bouwstenen voor een nieuwe type polyester dat wordt vermarkt onder de merknaam Sorona®. Tot dusver werd 1.3-propanediol uit petrochemische grondstoffen gemaakt. In een nieuw biologisch productieproces, dat is ontwikkeld door Dupont en Genencor, wordt 1.3-propanediol uit maïs-glucose gemaakt met behulp van een GM micro-organisme. De productiekosten van de bio-route zijn bovendien lager dan de petro-route. Commerciële productie via de bio-route is gepland in de VS in 2006 (DuPont Tate & Lyle BioProducts).
 - Melkzuur (lactic acid, 2-OH-propionic acid) is de bouwsteen voor afbreekbare kunststoffen (Poly Lactic Acid, PLA). De productie van het monomere melkzuur is vooral in handen van het Nederlandse bedrijf Purac. De productie van PLA is vooral in handen van Cargill DOW LCC met een productiecapaciteit van 140.000 ton (US). Cargill investeert de komende jaren \$250 miljoen aan commercialisering en productontwikkeling van PLA en aan technologie om PLA te produceren uit biomassa (maïs- en tarwestro, gras en andere landbouwkundige afvalproducten).
 - De verwachting is dat ook andere fermentatieproducten die dienen als bouwstenen voor kunststoffen, zoals 3-OH-propionic acid, 1,4 butaandiol, adipinezuur en succinaat, commercieel geproduceerd gaan worden, terwijl de productievolumes van citroenzuur, itaconzuur en gluconzuur toe zullen nemen.
- Er zijn plantaardige grondstoffen die een belangrijke verbindingsschakel kunnen vormen tussen landbouw en chemie. Voorbeelden van dergelijke schakelgrondstoffen, ook wel platformchemicaliën, zijn plantaardige olie, lysine, fructose, glucose en glycerol.
 - Olie is in feite een biologische koolwaterstof en kan via een tamelijke eenvoudige derivatiseringsstap worden omgezet in motorbrandstof (biodiesel) of in een scala aan basischemicaliën.
 - Lysine is een grondstof voor de vorming van caprolactam of adipinezuur, de N-houdende basischemicaliën voor de productie van nylons.
 - Glucose is een grondstof voor de fermentatieve productie van melkzuur (kunststoffen), ethanol (brandstof of basischemicalie via etheen), itaconzuur en succinaat (beide basischemicaliën). Winning van suiker uit biomassa-reststromen (ontsluiting) en de daaropvolgende omzetting in de hierboven genoemde hoogwaardige basischemicaliën is in feite de route die in een aantal landen, zoals de Verenigde Staten, uitgewekt wordt.

- Zowel glucose als glycerol zijn grondstof voor de productie van 1,3-propaandiol, een bouwsteen voor nieuw type polyester.
- Fructose is een grondstof voor de productie van de chemische grondstof 5-hydroxymethylfurfural.
- Sommige vertegenwoordigers van sommige chemische industrieën beweren dat glucose de nafta (de grootste huidige chemiegrondstof) van de toekomst is, maar maken tevens de kanttekening dat zij er pas in geloven als de prijs van glucose op de wereldmarkt minstens gehalveerd is. Het heeft echter weinig zin om uit biomassa de goedkope bulkchemicaliën te maken. Nafta of etheen zijn C-H verbindingen, terwijl biomassa voornamelijk C-H-O of C-H-N verbindingen zijn. Bij de omzetting van biomassa (CHO en CHN) in CH verbindingen treed veel verlies van de chemisch gebonden energie op. Andersom, om nafta chemisch om te zetten in CHO (bijv. propyleenoxide) of CHN verbindingen (caprolactam), moet er veel energie in het proces worden ingebracht. Het is daarom economisch zinvoller om te werken aan conversieroutes waarbij biomassa kan omgezet in de duurdere CHO of CHN verbindingen. Caprolactam, adipinezuur, 1,3-propaandiol, succinaat, etc. zijn daar voorbeelden van.
- Diverse partijen hebben twijfels of Nederland geschikt is voor intensieve productie van biomassa en of productie van eigen bodem een relevante rol kan spelen bij de grondstofvoorziening voor de chemie.
 - Eén waarschijnlijk scenario is dat biomassa die op dit moment in Nederland geproduceerd, verhandeld of verwerkt wordt (40 miljoen ton/jaar) op een andere wijze benut gaat worden. Veel van deze biomassa (90%) gaat nu verloren. Inefficiënte conversie van veevoeder(biomassa) naar vlees of melk is daar een voorbeeld van. Door betere scheidingstechnologie (bioraffinage), betere formulering tot veevoergrondstoffen en gescheiden vermarkting van de gescheiden inhoudsstoffen kunnen deze verliezen aanzienlijk beperkt worden, waardoor met dezelfde biomassa meer partijen van grondstoffen voorzien kunnen worden.
 - Een ander waarschijnlijk scenario voor Nederland is dat er meer biomassa wordt geïmporteerd en, analoog aan de olieraffinage, in grootschalige installaties wordt omgezet in energie en/of chemische halffabrikaten. Zodra één van de technologieën-in-ontwikkeling is uitgerijpt, ligt het voor de hand dat deze wordt geadopteerd door bedrijven die reeds beschikken over de technologie en infrastructuur om de bijbehorende halffabrikaten om te zetten in consumentenproducten (bijv. Shell). Hoewel Shell zich niet uitspreekt over welke conversie technologie kansrijk is, investeren ze in ieder geval in de ontwikkeling van ethanolproductie uit biomassa (logen³³) en *Fischer-Tropsch gasification* van biomassa³⁴. Waarschijnlijk is dat mede omdat ze al ervaring hebben met vergassing van vloeibare en vaste grondstoffen en omdat de producten van biomassavergassing (bijv. H₂, methanol, ethanol) goed aansluiten bij hun huidige energie- en chemietechnologie, maar ook bij andere veelbelovende technologieontwikkelingen, zoals de brandstofcel, die kan worden gevoed met H₂ en op relatief korte termijn ook met methanol, ethanol of zelfs plantaardige olie.

3.6 Wieren

3.6.1 Beschrijving

Levensvormen

Wieren of algen is eigenlijk een verzamelterm voor 'lagere' planten (met een laag niveau van differentiatie) die meestal in zout water groeien. Er zijn geweldige verschillen in grootte, habitus, samenstelling en toepassingsgebied: algen variëren van eencellige micro-algen, met een grootte van 3 µm, tot meercellige kelpen met een lengte van 70 meter. Algen zijn vrij-levend of leven in symbiose met andere organismen; ze komen voor in de grond, op stenen of bomen, in zout of zoet water. Op een aantal manieren kan enige orde worden aangebracht in de caleidoscopische chaos van levensvormen. Een daarvan is de typisch taxonomische benadering. Deze taxonomische classificatie van algen/wieren is voor een deel gebaseerd op de kleur van de fotosynthetische pigmenten. Zo zijn er *Rhodophyta* of roodwieren, *Chlorophyta* of groenwieren, en verder bruin-, blauw- en goudwieren, etc. Ook de samenstelling van reservepolysacchariden is een criterium bij de onderverdeling. Een andere zinvolle, hoewel grofstoffelijke classificatie is die van micro-algen (eencellige algen of kleine kolonies van algen) en bladachtige macroalgen. Dit onderscheid

³³ <http://www.iogen.ca/>

³⁴ http://www.shellglobalsolutions.com/news_room/news_stories/2002_3/syn_diesel121.htm

doet in ieder geval recht aan de verschillende wijzen waarop deze twee groepen algen geteeld, geoogst en gebruikt worden. De term algen (*algae*) wordt dan vaak, hoewel niet consequent, gebruikt voor de micro-algen; de term wieren (*seaweeds*) voor de bladachtige macroalgen.

Gebruik van wieren (macroalgen, macrowieren of seaweeds)

Macrowieren worden op een aantal manieren gebruikt:

1. Als groente. Vooral Japan, Korea en China hebben een bloeiende industrie rond wieren. In Japan is *Nori* het meest bekende wier, die een jaarproductie van 90.000 ton (drooggewicht) heeft en een waarde vertegenwoordigt van \$1500 miljoen³⁵. Enkele tienduizenden vissers zijn betrokken bij de teelt en oogst van *Nori*. De drijvende kracht achter deze activiteit is de consument die per jaar gemiddeld 60 velletjes *nori* (elk kleiner dan een A4'te) eet en bereid is \$15 voor een kilo wier te betalen. Naast *Nori* worden enkele tientallen andere wierensoorten als groente gebruikt.
2. Voor de extractie van Phycocolloïden of geleermiddelen, waaronder alginaat, carrageenan en agar. De marktwaarde van phycocolloïden bedraagt wereldwijd ongeveer \$550 miljoen (Tabel 3). Agar en carrageenan worden voor 80% in voeding en voor 10% in farma-producten gebruikt.
 - a. De wierenproductie voor carrageenan vindt voornamelijk plaats in de Filippijnen (50% van mondiale productie), Canada, Chili en Europa, terwijl 90% van de processing in handen is van 5 bedrijven (Denemarken, USA, Frankrijk). Vroeger was de in het wild geoogste roodwier *Chondrus*, die de voorkeur geeft aan koud water, de belangrijkste bron van carrageenan. Door beperkte beschikbaarheid van *Chondrus* is de productie verplaatst naar twee gecultiveerde warmwatersoorten (Tabel 3) die 85% van de wereldproductie voor hun rekening nemen. De productie groeit met ongeveer 8% per jaar. Carrageenan wordt voornamelijk toegepast in food (melkproducten) en farma.
 - b. Alle bruinwieren bevatten alginaten; echter wieren uit koude wateren leveren de hoogste kwaliteit. De meeste bruinwieren worden in het wild geoogst, een deel van de alginaten wordt betrokken van het surplus aan *Laminaria*, die in China en Japan wordt geteeld als groente. Alginaten worden vooral toegepast in textielprinting, food en farma, cosmetica en biotechnologie. Noorwegen is de grootste leverancier van bruinwieren.
 - c. Agar wordt gewonnen uit twee roodwieren, waarbij *Gracilaria* wordt geteeld en *Gelidium* in het wild wordt opgevisst. Chili, Japan en Spanje nemen ongeveer 60% van de wereldproductie voor hun rekening. Productieomvang groeit met 1-2%/jaar.
3. Wieren worden verder gebruikt als bodem- of bladmeststof (groeistimulant) en als veevoederadditief.
4. Een andere toepassing van wieren is de teelt van schelpdieren, zoals Abalone, die vanwege overbevissing en relatieve schaarste één van de duurste schelpdieren is. Larven van Abalone groeien op micro-algen (diatomeeën). Het schelpdier, de kruipende abalone, groeit op marine macrowieren (bijv. kelp).

Tabel 3. Productievolumes en herkomst van de diverse alginaten.

	Jaarproductie (ton)	Retail prijs \$/kg)	Volume (miljoen \$)	Wier
Agar	6000	15-40	125	Gracilaria, Gelidium
Alginaat	27000	5-15	230	<i>Ascophyllum</i> , <i>Laminaria</i> (EU), <i>Lessonia</i> (S Am), <i>Ecklonia</i> (S Afr), <i>Durvillaea</i> (Austr, Chili), <i>Macrocystis</i> (US)
Carrageenan	28000	5-10	270	<i>Eucheuma</i> , <i>Kappaphycus</i>

³⁵ <http://www.fao.org/DOCREP/004/Y3550E/Y3550E04.htm>

Gebruik van algen (micro-algen)

Micro-algen worden commercieel geteeld voor de productie van voedingssupplementen (gehele biomassa), voeding voor aquacultuur, natuurlijke kleurstoffen en omega-vetzuren of PUFA's (zie verder). Een belangrijke kleurstoffengroep wordt gevormd door de carotenen, waaronder beta-caroteen, dat wordt geproduceerd met de groenalg *Dunaliella* (Aquacarotene³⁶) en asthaxanthine met de groenalg *Haematococcus* (Cyanotech³⁷). Een tweede groep kleurstoffen vormen de rode en blauwe phycobiliproteïnen die worden gebruikt in diagnostische kits. Het marktvolume is klein, maar de prijs is hoog. Cyanotech is de grootste leverancier van phycobiliproteïnen gewonnen uit o.m. *Spirulina*. Daarnaast worden algen (*Spirulina*, *Chlorella*, etc.) als voedingssupplement verkocht. Overdreven gezondheidsclaims worden hierbij niet geschuwd. Verder zijn er zorgen over de veiligheid van het product (aanwezigheid van blauwalgtoxines) die in sommige Aziatische landen mogelijk niet altijd goed gewaarborgd is. Het productievolume van *Spirulina* is wereldwijd 3-4000 ton, waarbij USA, China en India de grootste producenten zijn. Gehele biomassa van een tiental algensoorten wordt commercieel toegepast in de aquacultuur (larven-/vis-kwekerij). Andere relatief kleinschalige toepassingen van algen zijn additieven in diervoeders en in cosmetica.

Algen zijn verder de meest voorkomende bron van poly-onverzadigde vetzuren (PUFA's), waarvan arachidonic acid (AA, C20:4 omega 6), eicosapentaenoic acid (EPA, C20:5 omega 3) en docosahexaenoic acid (DHA, C22:6 omega 3,3) de meest bekende zijn. PUFA's zijn essentiële nutriënten voor mensen, maar ook voor veel zeedieren, zoals zalm en garnalen. PUFA's, nu nog meestal in de vorm van visolie, zijn daarom een noodzakelijk ingrediënt van visvoer. Gezien de verwachte snelle groei van de visteelt en de beperkte beschikbaarheid van visolie, is het zeer waarschijnlijk dat PUFA's ook uit andere bronnen betrokken zullen moeten worden. Algen zijn hiervoor een logische kandidaat, hoewel zeer recent ook een transgene vlas is gemaakt³⁸, die in staat is PUFA te maken.

Er zijn diverse ondernemingen die PUFA-algen produceren, vaak gekoppeld aan de teelt van rotiferen (die weer als visvoer worden gebruikt) en (jonge) garnalen en schelpdieren. In de VS produceert de firma Martek algen-PUFA's voor toepassing in zuigelingenvoeding.

3.6.2 Initiatieven rond micro-algen en macrowieren in NW-Europa

Initiatieven in Nederland of buurlanden hebben nog veelal een wetenschappelijke of een start-up status. Een paar voorbeelden:

- Vis-plus. Dit is een bedrijfsconcept, dat is ontworpen door medewerkers van WUR, waarin zowel micro-algen als vis wordt gekweekt onder volledig gecontroleerde productieomstandigheden. De algen zijn bijvoorbeeld geselecteerd op nutritionele kwaliteit (PUFA's en eiwit) die optimaal is voor carnivore vissen (zalm).
- In 2004 is een meerjarig EET project afgerond door een consortium van Nederlandse bedrijven en R&D instellingen waarin technologie is ontwikkeld voor de productie van fijnchemicaliën en energiedragers uit micro-algen gecombineerd met waterzuivering tot industriewaterkwaliteit. Zie <http://www.ecn.nl/docs/library/report/2004/c04037.pdf>.
- Er zijn een tweetal wetenschappelijk georiënteerde initiatieven, die de mogelijkheden onderzoeken voor de teelt van macrowieren op zee, eventueel gekoppeld aan off-shore windturbineparken. Eén daarvan is <http://www.awi-bremerhaven.de/Biomeer/aquaculture-top01-e.html>. Een Nederlands initiatief op dit gebied in het kader van de Biomassa Transitie is het project BIO-OFFSHORE (WUR en ECN).

Daarnaast zijn er een aantal (startup) bedrijven die zich richten op de teelt van micro-algen en macrowieren waaronder:

- Aquacultura. Een Nederlands bedrijf dat op kleine schaal (enkele ha) op enkele locaties (Borculo, Barchem en binnenkort in Geesteren) micro-algen teelt. Om welke alg het hierbij gaat, is niet bekend. Afzetmarkten zijn voeding, diervoeders, huisdiervoer, zeep en cosmeticaproducten voor mens en dier. Er worden twee

³⁶ <http://www.aquacarotene.com/>

³⁷ <http://www.cyanotech.com/>

³⁸ Biosynthesis of Very-Long-Chain Polyunsaturated Fatty Acids in Transgenic Oilseeds (2004) Plant Cell. 2004, <http://www.plantcell.org/cgi/rapidpdf/tpc>

teeltwijzen toegepast: (1) algenteelt op basis van artificiële groeimedia en bronwater en (2) teelt op basis van drijfmest. De geclaimde opbrengst is 25 ton drooggewicht/ha.

- TechnoGrow BV (i.s.m. WUR), dat betrokken is bij de ontwikkeling van algenteelt in fotobioreactoren in tuinbouwkassen, als aanvullend product voor de tuinbouw sector
- Een tweetal Duitse bedrijven die een palet aan algenproducten leveren voor voeding, visvoer, farma en cosmetica) (www.bluebiotech.de; www.kroonaqa.com).
- Een Duits project dat zich richt op de teelt van macrowieren *Laminaria saccharina* en *Palmaria palmata* voor de versmarkt (www.algenfarm.de).
- Een start-up bedrijf, waarbij medewerkers van WUR en Techno Invent betrokken zijn, is bezig met de ontwikkeling van een Groene Zonnecollector. Het doel is het ontwikkelen van een fotobioreactor, waarmee met behulp van zonlicht een zeer hoge productie van micro-algen gerealiseerd kan worden, en dat tevens moet kunnen concurreren met open teeltsystemen voor algen.

Een initiatief dat nog genoemd kan worden in deze context is de teelt van eendekroos, dat overigens geen enkele verwantschap met wieren of algen heeft. Eendekroos is een drijvend plantje met een hoog productieniveau (tot 80 ton drooggewicht/ha onder optimale groeiomstandigheden) en een hoog eiwitgehalte (tot 43% van het drooggewicht). Uitgaande van 25 ton drooggewicht en een eiwit gehalte van 35% is een eiwitproductie van 9 ton/ha haalbaar. Een Nederlandse tuinder heeft een aantal jaren geleden eendekroos voor restaurants geteeld, maar is teruggefloten door de gezondheidsraad, omdat eendekroos niet in humane voeding is toegestaan. Succesvol lijkt het gebruik van eendekroos voor de productie van farmaceutische eiwitten door het Amerikaanse bedrijf Biolex (www.biolex.com). Verder wordt eendekroos ingezet voor de zuivering van afvalwater of als diagnostisch tool voor de classificatie van (afval)water (Lemnatec).

3.6.3 Kansrijkheid en duurzaamheid

Op dit punt is het zinvol om onderscheid te maken tussen teelt van micro-algen en macrowieren, omdat de inhoud, teeltwijze, processing en afzetmarkt voor deze twee groepen totaal verschillend zijn.

Productievermogen

Over het algemeen kan gesteld worden dat productie van beide groepen algen hoog kan zijn.

- Onder gecontroleerde condities (bassins op land) kan met macro-algen een productie van meer dan 50 ton droge stof/ha/jaar gehaald worden. Bij teelt in zee, is voor *Laminaria* in een Amerikaans programma een productie behaald van 28-46 ton asvrij drooggewicht per ha per jaar. Vanuit de Japanse zeewierenindustrie komen soortgelijke cijfers (Ref. D.P. Chynoweth, 2002. Review of Biomethane from Marine Biomass). Ook voor andere zeewieren zoals *Ulva* en *Macrocystis* is de productie hoog. De behoefte bestaat die productiecijfers nader te onderbouwen.
- Ook met micro-algen kan een hoge productie gerealiseerd worden. De productie in open (raceway)systemen van *Nannochloropsis*, een tamelijk snelgroeiende micro-alg die hoogwaardige PUFA's maakt, is ongeveer 110 kg drooggewicht/ha/dag. Dit is ongeveer vergelijkbaar met de jaarproductie van suikerbieten in Nederland (20 ton drooggewicht/ha, waarvan 15 ton wortels en 5 ton loof).
- In Nederland kan met sommige micro-algen, in open vijvers, ongeveer 30 ton droge stof/ha/jaar geproduceerd worden in de periode maart t/m oktober. Dit komt overeen met een gemiddeld rendement van de fotosynthetische actieve straling (photosynthetic active radiation, PAR) (400-700 nm) van 5% over een periode van 8 maanden. Over een wat kortere periode van enkele maanden, wordt nu al een rendement van 10% gehaald, wat zich vertaalt in een opbrengst van 60 ton droge stof/ha/jaar. Het theoretisch maximum rendement is ca. 22% van PAR. In de systemen die door WUR worden ontwikkeld wordt voor Nederland een PAR-rendement van 15% haalbaar geacht, dat overeenkomt met 90 ton droge stof/ha/jaar. Op meer zuidelijke breedtes kan de instraling maximaal drie maal hoger zijn, en is een navenant hogere productiviteit mogelijk.
- De grote uitdaging is om het rendement van de lichtconversie te verhogen via: systeemconfiguratie, mengregime en operationele dichtheid, zoals op dit moment wordt toegepast in het 'Groene zonnecollector' concept (WUR).

- Conclusie: met micro-algen kan nu al hogere productiviteit gerealiseerd worden dan met landbouwgewassen. Omdat algen nog nauwelijks zijn veredeld op productiviteit, zoals wel is gebeurd met suikerbiet, hebben de algen de potentie om per hectare een biomassaproductie te realiseren die enkele malen hoger is dan die van de huidige akkerbouwgewassen. De opgave is om deze hoge productie op kosteneffectieve en grootschalige wijze uit te voeren.
- Hoewel de waarde van sommige inhoudsstoffen, waaronder kleurstoffen, PUFA's voor humane toepassingen, hoog is, zijn ook de kosten voor teelt, oogsten en verwerking hoger dan voor landplanten.

Technische kansrijkheid

- Er zijn geen technische beperkingen voor de open teelt van macrowieren. In diverse, meest Aziatische landen worden wieren geteeld op touwen in min of meer afgeschermden stukken zee langs de kust. De wieren worden met de hand geplant en geoogst. De verse producten worden lokaal afgezet. Vanwege hoge arbeidskosten is het niet te verwachten dat deze teeltwijze in Nederland rendabel toegepast kan worden. Voor de grootschalige teelt van macrowieren, bijvoorbeeld tussen windmolens op zee, voor energie- of veevoertoepassingen, moeten het planten en oogsten in hoge mate geautomatiseerd worden. Op dit terrein is nog geen ontwikkeling gestart.
- Er is vrijwel geen ervaring met de teelt van macrowieren in bassins op het land. Veel soorten wieren zijn moeilijk te vermeerderen of te telen. Er is nauwelijks genetische variatie beschikbaar. De houdbaarheid van het verse product is gering. Er is niet of nauwelijks veredeld op kwaliteit of opbrengst, zodat op dit punt nog behoorlijk vorderingen gemaakt kunnen worden.

Economische kansrijkheid (macrowieren)

- Oogst van macrowieren uit het wild is gezien het beperkte volume een economische marginale bezigheid. Gezien de beperkte beschikbaarheid van wieren zal dit volume ook nauwelijks kunnen groeien.
- Grootschalige teelt van (macro)wieren voor energietoepassingen is benoemd als een van de transitiepaden binnen de Energietransitie. Het is noodzakelijk om uit te rekenen of de teelt van wieren voor alleen energie, of zelfs veevoertoepassingen, economisch rendabel is. Teelt van macrowieren is wellicht pas haalbaar na cascade-processing en gescheiden vermarkting van diverse groepen waardevolle inhoudsstoffen, waarbij veevoer of energietoepassingen pas in beeld komen voor de meest laagwaardige restproducten van wierenprocessing.
- Teelt van macrowieren voor de hoogwaardige versmarkt, in bijvoorbeeld kassen, is voor Nederland een interessante uitdaging. Een lange termijn technische uitdaging zou zijn om wieren te telen voor de kostprijs van paprika's. Marktpotentieel, beschikbaarheid van snelgroeiend uitgangsmateriaal, teelt- en vermeerderingsstrategieën zijn grotendeels onbekend en moeten verder uitgewerkt worden.

Economische kansrijkheid (micro-algen)

Bij de evaluatie van de kansrijkheid is het zinvol om onderscheid te maken tussen open systemen (vijvers) en gesloten systemen (reactoren).

- De huidige productiekosten van Spirulina in *open* vijvers (High Rate Algal Pond) bedragen \$2-5 per kg droge stof. Een recent afgerond EET-project (zie hierboven) geeft een ongeveer gelijke uitkomst: productiekosten van \$2-4 per kg droge stof, voor een open cascade kweekstelsel in combinatie met zuivering van industrieel proceswater.
- Bij volledig gesloten systemen, waarbij gebruik wordt gemaakt van kunstlicht, zullen de kosten voor algenproductie hoger zijn. Vanuit procesmatig oogpunt is een dergelijke gecontroleerde teelt van micro-algen vergelijkbaar met industriële fermentatie van micro-organismen, bijvoorbeeld bakkersgist. De minimaal haalbare kosten voor de volledig gecontroleerde productie van algen zullen in het meest optimale geval die van de productie van gist kunnen benaderen: € 4-5/kg droge gist. Aangezien suiker (15.7 MJ/kg, € 0.20/kg), het groeimedium voor gist, ongeveer 4 maal goedkoper is dan kunstlicht (3.6 MJ/kW, € 0.18/kWh) zullen de kosten voor teelt onder kunstlicht minimaal vier maal hoger zijn. Daarnaast groeien algen langzamer dan gist, wat de kosten voor algenproductie verder zal verhogen.
- De productiekosten van algen in een volledig gesloten systeem, waarbij gebruik wordt gemaakt van zonlicht (zie de Groene Zonnecollector: www.marine.wur.nl), worden geschat op € 8-10 per kg droge stof.

Conclusie: productie van algen voor energiedoelinden alleen is niet haalbaar. Voor hoogwaardige grondstoffen voor voedsel, aquacultuur, cosmetica en fijnchemicaliën zijn algen een veelbelovend productiesysteem, en is binnen Nederland voldoende kennis aanwezig om teelt economische succesvol in te richten.