



# Kansen voor duurzame biomassa in Zeeland

## Achtergrondnotitie

**Rapport**  
Delft, april 2009

**Opgesteld door:**  
H.J. (Harry) Croezen  
A. (Ab) de Buck

# Colofon

## Bibliotheekgegevens rapport:

H.J. (Harry) Croezen, A. (Ab) de Buck  
Kansen voor duurzame biomassa in Zeeland  
Achtergrondrapport  
Delft, CE Delft, april 2009

Rapport Kansen voor duurzame biomassa in Zeeland Achtergrondrapport Biomassa / Duurzaamheid / Energiebeleid / Provincies / Economische factoren / Milieufactoren

Publicatienummer: 09.3864.15

Alle openbare CE-publicaties zijn verkrijgbaar via [www.ce.nl](http://www.ce.nl)

Meer informatie over de studie is te verkrijgen bij de projectleider Harry Croezen.

© copyright, CE Delft, Delft

CE Delft  
Committed to the Environment

CE Delft is een onafhankelijk onderzoeks- en adviesbureau, gespecialiseerd in het ontwikkelen van structurele en innovatieve oplossingen van milieuvraagstukken. Kenmerken van CE-oplossingen zijn: beleidsmatig haalbaar, technisch onderbouwd, economisch verstandig maar ook maatschappelijk rechtvaardig.

# Inhoud

<b>1</b>	<b>Ambities in Zeeland</b>	<b>4</b>
1.1	Zeeland nu	4
1.2	Ambities	5
1.3	Mogelijkheden voor biobased transitie	6
1.4	Biomassa beschikbaarheid in Zeeland	8
<b>2</b>	<b>Duurzaamheidsaspecten</b>	<b>12</b>
2.1	Criteria	12
2.2	Broeikasgasemissies	13
2.3	Concurrentie met voedsel	15
2.4	Welvaart en economische rendabiliteit	15
<b>Bijlage A</b>	<b>Het begrip biomassa</b>	<b>18</b>
<b>Bijlage B</b>	<b>Biomassa en koolstofstromen</b>	<b>20</b>
<b>Bijlage C</b>	<b>Ruimtelijke distributie van groei en huidig mondiaal landgebruik</b>	<b>22</b>
<b>Bijlage D</b>	<b>Wat wordt onder bio-energie, voertuigbrandstoffen uit biomassa en grondstoffen uit biomassa verstaan?</b>	<b>24</b>
<b>Bijlage E</b>	<b>Aparte installatie voor elektriciteit en warmte uit biomassa</b>	<b>26</b>
E.1	Overzicht	26
E.2	Rendementen en andere milieurelevantie aspecten	28
E.3	Kostenindicaties	30
E.4	Implementatie in kader van ambities	31
E.5	Initiatieven in Zeeland	32
<b>Bijlage F</b>	<b>Biobrandstoffen</b>	<b>34</b>
F.1	Overzicht	34
F.2	Milieurelevante aspecten	36
F.3	Kostenindicaties	38
F.4	Implementatie in kader van ambities	38
F.5	Initiatieven in Zeeland	39
<b>Bijlage G</b>	<b>Consumentenproducten en chemicaliën uit biomassa</b>	<b>40</b>
G.1	Mogelijke routes	40
G.2	Bioraffinage en directe productie van grondstoffen en eindproducten	41
G.3	Biologische conversie	44
G.4	Thermochemische conversie	47

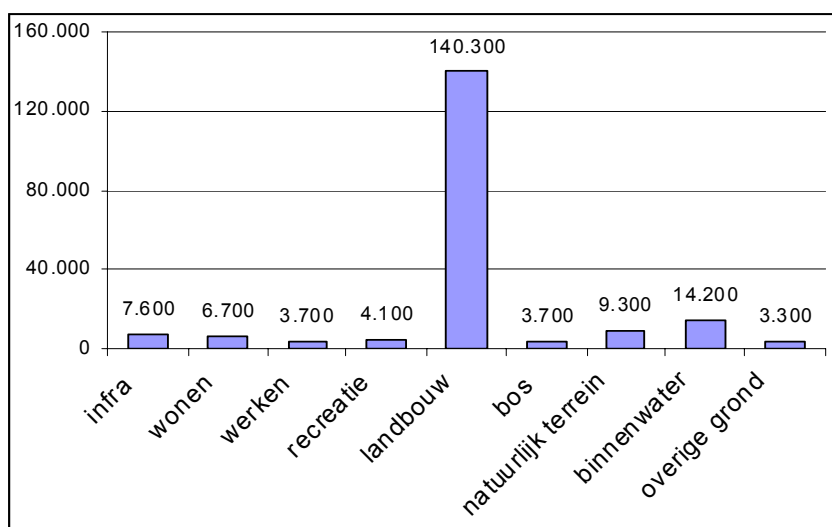


# 1 Ambities in Zeeland

## 1.1 Zeeland nu

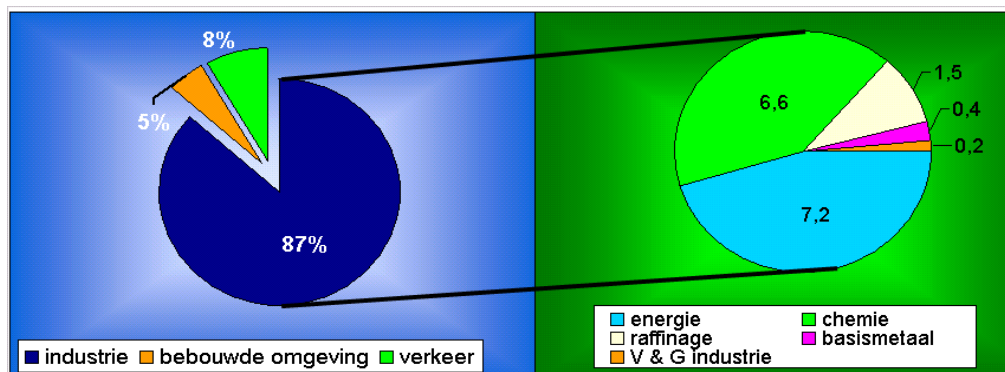
Zeeland is een provincie met veel agrarische bedrijvigheid (zie bijvoorbeeld overzicht van het landgebruik in Figuur 1) maar ook met veel energie-intensieve zware industrie (zie bijvoorbeeld Figuur 2). Dat vertaalt zich in een hoog energiegebruik en veel CO<sub>2</sub>-emissie per inwoner van de provincie Zeeland.

Figuur 1 Landgebruik provincie Zeeland, totaal oppervlak = 192.900 h



Het hoge energiegebruik en de daaraan gerelateerde hoge CO<sub>2</sub>-emissie maakt de Zeeuwse economie kwetsbaar voor prijsstijgingen van CO<sub>2</sub>-emissierechten en energie. In Figuur 2 wordt een overzicht gegeven van de CO<sub>2</sub>-emissies in de drie sectoren industrie, bebouwde omgeving en verkeer met een verdere uitsplitsing van de sector industrie.

Figuur 2 CO<sub>2</sub>-emissies in de provincie Zeeland, inclusief Sloecentrale (3 Mton/jaar)



Tabel 1 Schatting energiegebruik per sector (PJ/jaar)

	Gas	Olie	Kolen
Bebouwde omgeving		16	
Verkeer			21
Industrie			
- energie		85	23
- chemie		69	33
- raffinage			21
- basismetaal		6	
- V&G-industrie		7	
<b>Totaal</b>		<b>182</b>	<b>75</b>
			<b>26</b>

De twee belangrijke CO<sub>2</sub>-emitterende sectoren zijn:

1. Energiesector - Borssele 12 kolencentrale, Elsta STEG, Sloe Gascentrale
2. Chemie - voornamelijk Yara Kunstmestproductie, DOW Petrochemie en Thermphos Fosforproducten.

De bijdragen aan de Zeeuwse CO<sub>2</sub>-emissie vanuit basismetaal industrie, voeding- en genotmiddelenindustrie en raffinage betreft steeds één bedrijf:

- De basismetaalbijdrage is afkomstig van Zalco. De productie van Zalco is 230.000 ton aluminium per jaar. Daarnaast is er een productie van 100.000 ton anodes per jaar voor het eigen productieproces maar ook voor derden.
- De bijdrage vanuit de voeding- en genotmiddelenindustrie betreft de emissie van Cargill, per jaar ongeveer 250.000 ton maïs en 750.000 ton tarwe dat wordt verwerkt tot zetmeel.
- De Total Raffinaderij is de enige raffinaderij in Zeeland en verwerkt jaarlijks 7 Mton ruwe olie en 2,5 Mton halffabrikaten tot circa 8,7 Mton producten, zoals benzine, diesel en nafta.

## 1.2 Ambities

Zeeland heeft zich als doel gesteld om klimaatneutraal te zijn in het jaar 2050. De verwachting is dat biomassa een belangrijke rol kan spelen in de realisatie van deze doelstelling, vooral middels:

- ontwikkeling en productie van tweede generatie biobrandstoffen;
- teelt (en verwerking) van algen voor energietoepassingen (aquacultuur);
- op- en overslag, bewerking en toepassing van biomassa.

Van deze routes wordt verwacht dat ze ook sterk kunnen bijdragen aan regionale economische ontwikkeling en werkgelegenheid.

De doelstellingen voor het jaar 2020 uit het overheidsprogramma 'Schoon en Zuinig' zullen een tussenstation zijn bij realisatie van het einddoel, een klimaatneutraal Zeeland in 2050. Dit betekent dat in het jaar 2020:

- 30% reductie in broeikasgassen t.o.v. 1990;
- 20% duurzame energie, waarvan:
  - 8-12% groen gas;
  - 10% biobrandstoffen.

Ook hierin is een hoofdrol voor biomassa weggelegd.

De doelstellingen uit 'Schoon en Zuinig' vergen vervanging van aardgas en benzine/diesel of voor productie van warmte en elektriciteit.

Klimaatneutraal worden vergt ook vermindering van procesemissies zoals gerelateerd aan:

- emissies door anodegebruik bij Zalco en cokesgebruik bij Thermphos;
- inzet van aardgas als grondstof bij Yara;
- inzet van restgassen van naftakraker bij DOW afkomstig.

Vermijden van dergelijke procesemissies vergt óf overschakelen op organische equivalenten voor deze grondstoffen<sup>1</sup> óf overschakelen op andere economische activiteiten, bijvoorbeeld bioraffinage en productie van consumentenproducten en chemicaliën op basis van biomassa.

De mogelijkheden voor productie van warmte, elektriciteit, SNG en consumentenproducten en chemicaliën uit biomassa wordt in navolgende paragraaf en in de bijlagen bij deze rapportage behandeld.

### 1.3 Mogelijkheden voor biobased transitie

Op dit moment zijn er al legio mogelijkheden om op biomassa gebaseerde alternatieve routes voor energieproductie, biobrandstoffen en groene grondstoffen toe te passen. Vaak betreft het op basis van hout of voedselgewassen gebaseerde processen.

Daarnaast zijn er een aantal thermochemische processen in ontwikkeling waarmee chemische grondstoffen en voertuigbrandstoffen kunnen worden geproduceerd op basis van hout en houtachtige restproducten.

In het kader van de ronde tafelbijeenkomst hebben we - om de genodigden een beeld te geven - een inschatting gemaakt van wat implementatie van deze routes zou betekenen qua kosten, landgebruik en milieubelasting (zie Tabel 2).

---

<sup>1</sup> Cokes zou kunnen worden vervangen door houtskool. Houtskool toepassen in metallurgische gebeurt bijvoorbeeld in Brazilië (houtskool uit eucalyptushout en de schalen van de babassunoot).

Aardgas kan worden vervangen door SNG uit biomassa. SNG wordt al geproduceerd op basis van biogas.

Nafta, diesel en andere grondstoffen voor de naftakraker kunnen op termijn worden geproduceerd via Fischer Tropsch-synthese of deoxy hydrogenatie van HTU biocrude.

Vervanging van petrocokes voor anodes voor metallurgische elektrolyseprocessen door biomassa is nog in ontwikkeling (zie bijvoorbeeld <http://www.csiro.au/files/files/pc92.pdf> en [http://www.csiro.au/news/newsletters/Metals/0803\\_metals/Compilation.pdf](http://www.csiro.au/news/newsletters/Metals/0803_metals/Compilation.pdf)).

Tabel 2 Overzicht bio-alternatieven en indicatieve specificaties voor toepassing in Zeeland

	Alternatieve bioroute	Status	Biomassa nodig	Uitge- spaad (PJ/jaar)	Areaal (aantal malen Zee- land)	Kosten (percentu- eel t.o.v. conventio- neel)	CO <sub>2</sub> -reductie (percentueel t.o.v. conven- tioneel)	Nutriënten- kringloop?
Elektriciteit	Verbranden	Commercieel	Hout, stro, kippenmest	150	5	150% - 300%	-500% tot +100%	nee - ?
	Vergisten	Commercieel	Mest, mais		2 - 3	150% - 200%		ja
	Bio-ollemotor	Commercieel	Plantenolie, restolie		?	200% - 250%		ja
Warmte	1) zie elektriciteit							
	2) direct vervangen aardgas	Commercieel	Schoon hout	15 - 45	0,5 - 1,5	?	tot 100%	nee - ?
	3) SNG <sup>2</sup> , biogas	Commercieel	Zie vergisten, elektriciteit	110	3 - 4	100% - 150%	50% - 100%	ja
	4) SNG, vergassing	Pilot	Hout	110	6 - 7	200% - 300%	?	nee - ?
Voertuigbrandstoffen	Biobrandstoffen, 1e generatie	Commercieel	Granen, oliezaden	20	1	100% - 300%	-600% tot +90%	
	Biobrandstoffen, 2e generatie	Pilot	Zie grondstoffen petro, ...		1	100% - 500%	100% - 300%	
Grondstoffen petrochemie + raffinage	Fischer Tropsch <sup>3</sup>	Pilot	Hout, vaste houtachtige restproducten	> 55	?	100% - 200%	80% - 100%	nee - ?
	HTU proces <sup>4</sup>	Pilot	Natte reststromen, hout			100% - 200%	60% - 120%	ja
Aardgas als grondstof	Zie SNG							
Anodes	Houtskool	Laboratorium	Hout, vaste houtachtige restproducten	3	0,05	?	tot 100%	nee - ?
Cokes	Houtskool	Commercieel	Hout, vaste houtachtige restproducten	3	0,05	?	tot 100%	nee - ?

<sup>2</sup> SNG = synthetic natural gas.

<sup>3</sup> Fischer Tropsch is een proces waarin biomassa eerst wordt vergast waarna uit geproduceerde synthese gas (CO en H<sub>2</sub>) weer grotere moleculen worden gebouwd als diesel, benzine, nafta, LPG en smeerolie.

<sup>4</sup> HTU = hydrothermal upgrading, een proces waarin biomassa middels koken bij hoge druk in een olieachtig product wordt omgezet.



Onze inschatting is dat een veelvoud van het oppervlak van de provincie aan landareaal nodig is en dat er een grote kans is dat overschakelen op deze routes een significante toename van de kosten geeft.

Voor meer achtergrondinformatie over de in de tabel genoemde routes wordt verwezen naar de bijlagen.

Niet in de tabel opgenomen zijn routes voor de productie van consumentenproducten en chemicaliën op basis van biomassa.

#### 1.4 Biomassa beschikbaarheid in Zeeland

##### **Momenteel beschikbare reststromen en mogelijkheden voor teelt op braak**

Op basis van literatuur wordt ingeschat dat in Zeeland de volgende hoeveelheden biomassa vrijkomen:

- circa 50 kton GFT, gecomposteerd tot circa 20 kton compost;
- 20 kton bermgras, gecomposteerd;
- 13 kton grof tuinafval, gecomposteerd;
- 13 kton plantaardig bedrijfsafval;
- 26 kton plantsoenafval;
- 7,5-12,5 kton houtafval;
- 14 kton vaste mest, toegepast op akker/grasland;
- 800-830 kton dunne mest, toegepast op akker/grasland.

Het betreft in totaal ongeveer 125 kton droge stof en 2,3 PJ stookwaarde. Dit materiaal is grotendeels contractueel vastgelegd.

Voor teelt van biomassa voor energie of grondstoffen zou ongeveer 2.000 hectaren aan voor groene braak bestemd areaal beschikbaar zijn op een totaal van zo'n 140.000 hectaren landbouwgrond. Hierop zou nog zo'n 360 TJ biomassa kunnen worden geproduceerd.

Teelt van tarwe en gerst in Zeeland levert naar schatting zo'n 120 kton stro op. Het stro is (deels) nodig om de bodemstructuur en bodemvruchtbaarheid op peil te houden. Teelt van aardappels geeft naar schatting nog zo'n 250 kton loof, kriel en oogstrest, voornamelijk natte stof. Dit materiaal wordt waarschijnlijk grotendeels ondergeploegd om organisch materiaal terug te geven aan de bodem en om de bodemstructuur op peil te houden.

Samenvattend schatten we in dat zonder veranderingen in gebruik van het bestaande landbouwareaal er minder dan 10 PJ aan biomassa reststromen vrijkomt en dat areaal beschikbaar voor energieteelt beperkt is.

##### **Energieteelt**

Het bestaande landbouwareaal in Zeeland zou kunnen worden gebruikt voor energieteelt of teelt van gewassen voor de productie van biobrandstoffen of groene grondstoffen. Vormen van energieteelt waarvan veel wordt verwacht zijn bijvoorbeeld:

Tabel 3 Innovatieve mogelijkheden voor energieteelt

Gewas	Toepassing	Opbrengst (ton d.s./ha)
Energiemais	Vergisting	30
Algen	a Vetten → biobrandstoffen, groene grondstoffen/producten.	40
	b Chemische grondstoffen (vitaminen, anti-oxidanten, kleurstoffen, vetzuren, etc.).	
Kort rotatie-hout <sup>5</sup>	Bio-energie, Fischer Tropsch synthese, lignocellulose-ethanol	8 - 18

- teelt van energiemais, tot 30 ton d.s./ha;
- teelt van algen, tot 40 ton d.s./ha;
- teel van kort rotatiehout op basis van.

Energiemais kan mogelijk als tweede opbrengst op zelfde areaal worden geteeld, bijvoorbeeld in combinatie met suikerbieten. Het gewas wordt nog veredeld, maar in Duitsland worden in Nordrhein-Westfalen al opbrengsten tot 25 ton d.s./ha gehaald. Maisteelt vergt een hoge stikstofgift, aan de andere kant blijft een groot deel van de stikstof in het gewas achter en kan het tijdens of na vergisting weer worden teruggewonnen.

De biogasopbrengst zou bij een droge stof opbrengst van 30 ton per hectare per jaar circa 17.000 Nm<sup>3</sup>/jaar of ongeveer 350 GJ/ha/jaar bedragen. Het digestaat kan eventueel als brandstof worden benut. Benutting van het suikerbietenareaal voor energiemaissteelt (indien mogelijk) zou ongeveer 4 PJ biogas opleveren.

Of teelt van algen aantrekkelijk is staat ter discussie.

In Nederland worden opbrengsten tot 40 ton d.s. per hectare gerealiseerd van Chlorella-algen met een oliegehalte van ongeveer 40% (bij Ingrepro Borculo). Teeltkosten kunnen waarschijnlijk<sup>6</sup> worden beperkt door de algen te voeden met rioolwater, dunne mest en rookgassen.

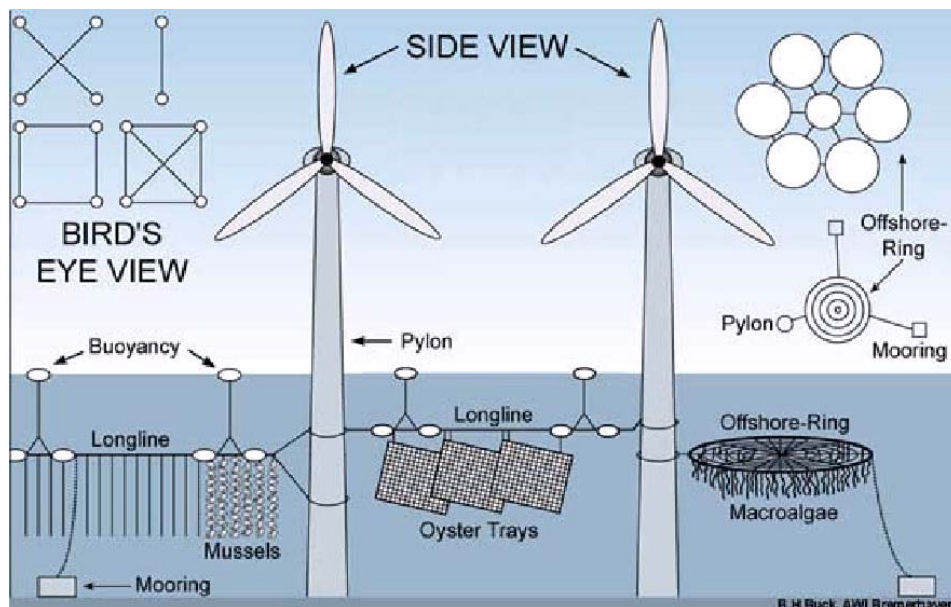
Maar de teelt zou - zeker bij gebruik van beltenreactoren - veel energie voor rondpompen en koelen of verwarmen van de teeltsystemen vergen. De directeur van algenkweker LGem zette recentelijk uiteen dat de teelt bijna evenveel elektriciteit kost als er in de vorm van algen kan worden geoogst. Teelt voor bio-energie of biobrandstoffen zou niet rendabel zijn tenzij dit kan worden gecombineerd met productie van hoogwaardige producten met hoge marktwaarde, bijvoorbeeld kleurstoffen of antibiotica. Voorlopig worden algen in Nederland alleen voor toepassing als diervoeder of productie van voedings-supplementen geproduceerd.

Algen zouden misschien ook worden geteeld aan netten, opgespannen tussen windmolens.

<sup>5</sup> Populier, berk of els.

<sup>6</sup> Waarschijnlijk, omdat dit concept tot nog toe alleen of voornamelijk in proefvijvers is uit-geprobeerd (zie <http://www.emis.vito.be/AFSS/fiches/technieken/MEST%20-%20algenkweek.pdf>).

Figuur 3 Voorbeeld van algenteelt in combinatie met off shore windenergie



Teelt van kort rotatiehout zou gecombineerd kunnen worden met landschapsinrichting, bijvoorbeeld creatie van houtwallen of oibossen. Oibossen zouden ook kunnen worden benut voor de reiniging van slib. Kort rotatiehout kan worden geoogst als hele boom of als hakhout. In het laatste geval wordt de boom op borsthoogte geknot en krijgt het de kans daarna weer uit te lopen.



# 2 Duurzaamheidsaspecten

## 2.1 Criteria

Realisatie van een duurzame samenleving vergt inzet van duurzame biomassa. Wanneer geen randvoorwaarden worden gesteld kan gebruik van biomassa als energiedrager of grondstof juist leiden tot extra milieubelasting en sociale misstanden. Voorbeelden van ongewenste effecten zijn:

- grootschalige ontbossing voor productie van biomassa voor voedsel en energie - bijvoorbeeld de ontbossing op Kalimantan en in de Amazone of aantasting van bos in Afrika voor brandhout en houtskool;
- erosie door ondeugdelijke landbouwpraktijken en degradatie van bodemvruchtbaarheid door uitputting of door te hoge chemische belasting door overmaat aan bestrijdingsmiddelen en kunstmest - elk jaar gaat mondiaal tientallen miljoenen hectare landbouwgrond verloren door deze oorzaken;
- onteigening van kleine zelfstandige boeren en veehouders en verdrijving van de oorspronkelijke bevolking voor de aanleg van plantages - bijvoorbeeld voor sojaplantages in Latijn Amerika;
- blootstelling aan schadelijke hoeveelheden bestrijdingsmiddelen - bijvoorbeeld op oliepalimplantages in Zuidoost Azië of zoals geïllustreerd door de 100.000 mensen die jaarlijks in Brazilië overlijden als gevolg van vergiftiging met bestrijdingsmiddelen;
- asociale werkomstandigheden - slavernij op suikerrietplantages in Brazilië.

Algemene criteria voor duurzame biomassa voor toepassing als energiedrager of grondstof zijn nog in ontwikkeling. Vanuit de industrie zijn er wel criteria en certificeringssystemen voor specifieke producten palmolie en hout ontwikkeld. Een aanzet vanuit Nederland voor de ontwikkeling van algemene criteria zijn de Cramer-criteria. Deze criteria en toetsingskaders ontwikkeld in andere landen, worden momenteel in de Europese wetgeving geïntegreerd (Renewable Energy Directive).

### De Cramer criteria:

- een reductie van broeikasgasemissies van tenminste 45% voor biobrandstoffen (EU-eis) en van tenminste 50-70% voor bio-energie;
- geen concurrentie met productie van biomassa voor toepassing als voedsel, lokale energievoorziening, medicijnen en bouwmaterialen;
- biomassaproductie voor energie gaat niet ten koste van beschermde of kwetsbare biodiversiteit en versterkt waar mogelijk biodiversiteit;
- productie van biomassa voor energie draagt bij aan lokale welvaart;
- productie van biomassa voor energie draagt bij aan het welzijn (mensenrechten, arbeidsomstandigheden, corruptie, landgebruiksrechten) van werknemers en lokale bevolking;
- bij productie en verwerking van biomassa blijven bodem-, water- en luchtkwaliteit en beschikbaarheid van schoon water behouden of worden verbeterd.

Maar vanuit de milieubeweging is er kritiek op deze criteria. Ze zouden op bepaalde punten niet ambitieus genoeg zijn en zouden negatieve effecten van biomassagebruik als energiedrager of chemische grondstof onvoldoende tegengaan. Met name Stichting Natuur en Milieu heeft om die reden een eigen set criteria ontwikkeld, neergelegd in het visiedocument 'Heldergroene biomassa'.

**Heldergroene biomassa - aanbevelingen voor aanvullende duurzaamheidscriteria door milieubeweging:**

- meenemen van indirecte landgebruiksveranderingen;
- indien dit niet mogelijk is hanteren van een doelstelling voor reductie van broeikasgasemissies van tenminste 70%;
- verbod op toepassing van GMO-gewassen;
- bij productie van biomassa en bij verwerkingsinstallaties dienen ook voorwaarden te worden gesteld aan de landelijke inpasbaarheid;
- het beleid zou moeten focussen op cascadering en gebruik van niet verder nuttig toepasbare reststromen zoals bijvoorbeeld vrijkomen in bosbouw en papierindustrie;
- eerste generatie biobrandstoffen geproduceerd uit voedselgewassen dienen niet te worden gestimuleerd door de overheid;
- bij productie en verwerking van biomassa blijven bodem-, water- en luchtkwaliteit en beschikbaarheid van schoon water behouden of worden verbeterd.

In onderstaande paragrafen wordt kort ingegaan op de criteria ten aanzien van <sup>1)</sup>de reductie van broeikasgassen, <sup>2)</sup>concurrentie met voedsel en <sup>3)</sup>welvaart. Aangegeven wordt welke discussies er spelen en welke opties er zijn om eventuele discussies over en negatieve effecten van initiatieven in Zeeland te beperken.

Over de criteria voor welzijn is geen discussie. Er zijn internationaal ook voldoende tools ontwikkeld om deze aspecten te monitoren en te toetsen. Het biodiversiteitscriterium is lastig te implementeren, anders dan door geen biomassa te betrekken uit gebieden met beschermde of kwetsbare biodiversiteit<sup>7</sup>. Het behouden van bodem-, water- en luchtkwaliteit en beschikbaarheid van schoon water staat niet ter discussie. Er is echter nog geen uniform instrumentarium voor monitoring en toetsing van deze aspecten.

Overigens dekken de Cramer-criteria niet alle relevante issues:

- Dat teelt van biomassa voor energie leidt tot een toename van het gebruik en versnelde uitputting van niet-hernieuwbare grondstoffen, met name van fosfaat kunstmest, blijft buiten beschouwing. Fosfaat is cruciaal voor de wereldvoedselproductie;
- Er ontbreekt een criterium over genetische modificatie. Dit is niet in lijn met het door Nederland ondertekende Cartagena Protocol en doet geen recht aan de bestaande maatschappelijke weerstand tegen deze technologie.

## 2.2 Broeikasgasemissies

Er zijn doelstellingen voor de te realiseren netto broeikasgasemissiereducties door gebruik van biomassa als energiedrager (of grondstof). Er zijn ook methodieken ontwikkeld of in ontwikkeling om te bepalen of gebruik van een bepaalde soort biomassa als energiedrager ook de vereiste minimale reductie geeft.

---

<sup>7</sup> Bijvoorbeeld nationale parken, vogelhabitat richtlijn gebieden of national heritat areas.

Maar in de eerste plaats staan de doelstellingen zelf ter discussie. Met name de doelstelling voor biobrandstoffen is steeds als te weinig ambitieus bekritiseerd. NGO's wensen hogere doelstellingen. De doelstelling voor te realiseren broeikasgasemissiereductie door toepassing van biobrandstoffen sluit niet aan bij het uiteindelijke doel om te komen tot 70-80% reductie van broeikasgasemissies ten opzichte van 1990. Daarvoor zou - gezien de groei in autogebruik sinds 1990 - een reductie van tenminste 80% nodig zijn. Dergelijke reductiepercentages zijn alleen met reststromen te realiseren.

Daarnaast vertonen de ontwikkelde rekenmethodieken nog een aantal lacunes:

- indirecte emissies door indirecte landgebruikverandering worden niet meegenomen;
- effecten op de broeikasgasemissies bij minerale olieraffinaderij worden niet meegenomen<sup>8</sup>;
- emissies gerelateerd aan verwijderen van oorspronkelijke vegetatie bij omzetten van natuur in landbouwgrond worden niet meegenomen;
- de berekeningsmethodiek voor bepalen van N<sub>2</sub>O-emissies uit de bodem is grof en geeft vaak - vergeleken met meetwaarden - onjuiste uitkomsten.

Met name indirecte emissies door indirecte verandering van landgebruik is een heikel onderwerp. Dit aspect houdt in dat teelt van biomassa voor energie op bestaande landbouwgrond indirect leidt tot ontbossing. Omdat de voor bio-energie teelt in gebruik genomen grond niet meer beschikbaar is voor voedselteelt (of teelt voor textiel,...) en de vraag naar voedsel (textiel,...) niet zal afnemen zal ergens anders nieuw areaal moeten worden gecreëerd. Er is een redelijke tot grote kans dat dit gebeurt door ontbossing.

In het Verenigd Koninkrijk heeft het parlement een commissie (Gallagher review) ingesteld die met behulp van experts uit heel Europa heeft gekeken naar de indirecte effecten van biofuels. De hoofdconclusie was dat de negatieve effecten van verandering in indirect landgebruik zeer groot kunnen zijn en dat daarom de doelen t.a.v. aandeel biobrandstoffen in voertuigbrandstoffen verlaagd dienden te worden.

Effecten van biobrandstoffenbeleid op landgebruik zijn merkbaar. In de VS is het maisareaal toegenomen ten koste van het soja-areaal om meer mais te produceren voor bio-ethanolproductie.

Kans op indirecte landgebruikverandering kan worden voorkomen door:

- teelt van gewassen met een zo hoog mogelijke opbrengst per hectare (bijvoorbeeld energiemais) en maximalisatie van opbrengst door optimale teelt om op die manier landbehoefte voor energieteelt te minimaliseren;
- oogst van biomassa voor energie als tweede oogst op zelfde areaal;
- gebruik van braakliggende grond, om economische redenen uit productie genomen grond, vervuild terrein<sup>9</sup>;
- beschikbaar maken van biomassa voor energie, biobrandstoffen en grondstoffen door opbrengstverbetering;
- gebruik van restproducten;
- teelt van algen en wieren op zee, in kelders of vijvers of in industriële installaties.

---

<sup>8</sup> Bijmenging van biobrandstoffen vergt aanpassing van de kwaliteit van de door de raffinaderij aangeleverde benzine en diesel. Die verandering in kwaliteit heeft ook effecten op de bedrijfsvoering van de raffinaderij en de daaraan gerelateerde broeikasgasemissies.

<sup>9</sup> In Oost Europa zou circa 800.000 hectare aan vervuild terrein beschikbaar zijn. Vaak betreft het stortplaatsen voor mijnafval, industrieel afval of huisvuil.

Het is wel de vraag of track and trace-systemen voldoende goed zijn om te kunnen nagaan waarvandaan biomassa afkomstig is en of de biomassa is geteeld op omgezette natuur, gedegradeerd land of bestaand landbouwareaal.

In een studie voor de EEA<sup>10</sup> naar de potentieel in de EU aan duurzaam producerbare biomassa voor energie worden vooral de volgende gewassen als duurzaam aangemerkt:

- gewassen voor biogasproductie (mais, grassen), met name als tweede gewas op zelfde areaal;
- korte rotatie teeltsystemen van populier, els, berk, Miscanthus, en sorghum;

Volgens dezelfde studie kan daarnaast een bepaalde hoeveelheid teeltresten en restproducten uit de bosbouw op een duurzame wijze worden toegepast. Het potentieel voor deze gewassen wordt voor 2030 geschat op ongeveer 280 Mtoe, ongeveer 15% van de totale energiebehoefte in de EU in 2030. Met andere woorden, de EU kan voor de eigen energievoorziening slechts een beperkte hoeveelheid als duurzaam aan te merken biomassa produceren of vrijmaken.

### 2.3 Concurrentie met voedsel

De issue concurrentie met voedsel betreft het gebruik van voedselgewassen voor de productie van biobrandstoffen en het gebruik van landbouwgrond voor bio-energie teelt. Wat het laatste betreft is de discussie vergelijkbaar met indirecte verandering van landgebruik.

Concurrentie met voedsel en de impact van gebruik van voedselgewassen verschilt overigens sterk per type voedselgewas. Voor realisatie van de huidige doelstellingen voor biobrandstoffen in de EU, VS en elders is ongeveer 20% van de huidige productie aan oliezaden nodig. Maar de hoeveelheid voedselgewassen nodig voor realisatie van de doelstellingen voor ethanol is ongeveer 2% van de totale productie aan suikergewassen en granen (EU Renewable Energy Directive).

Voor het vermijden of minimaliseren van de kans op concurrentie met voedselproductie voor land kunnen dezelfde opties worden gebruikt als voor minimalisatie van de kans op indirecte ontbossing (zie voorgaande paragraaf). Om directe concurrentie tussen toepassingen van voedselgewassen te voorkomen zou voor bio-energie en gebruik van biomassa als grondstof andere gewassen dan voedselgewassen moeten worden gebruikt. Als gezegd is dit vooral relevant voor oliezaden.

### 2.4 Welvaart en economische rendabiliteit

Een aantal toepassingen van biomassa voor c.q. als elektriciteit, warmte, transportbrandstof of grondstof zijn duurder dan fossiele energiedragers of grondstoffen uit fossiele energiedragers. Dat komt vooral omdat biomassa duur is om te produceren/telen en te transporteren, zeker in Westerse landen en omdat rendementen voor biomassaconversie lager zijn dan voor conversie van fossiele energiedragers:

- pellets geproduceerd in West Canada uit - verder niet toepasbaar - hout dat is aangetast door de mountain pine beetle kost in Europa nog altijd

---

<sup>10</sup> European Environmental Agency. De studie is: 'How much bio energy can Europe produce without harming the environment?'



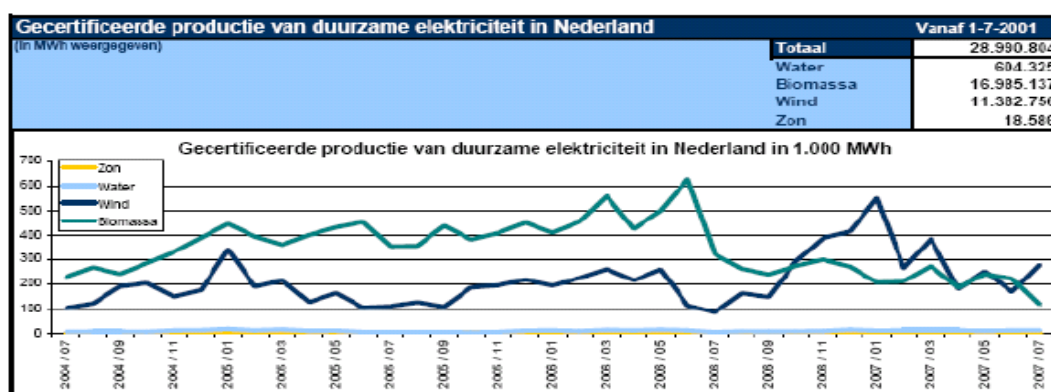
ongeveer € 6/GJ, ongeveer evenveel als aardolie en aardgas en 2-3 maal meer dan steenkool;

- het energetisch rendement voor productie van elektriciteit, tweede generatie biobrandstoffen en een aantal chemische grondstoffen uit biomassa is lager als bij gebruik van fossiele energiedragers, waardoor relatief meer biomassa nodig is.

Het is de vraag of dergelijke toepassingen als duurzaam kunnen worden beschouwd.

Het stopzetten van de ontwikkeling van de tweede generatie bio-ethanolafabriek bij Nedalco vanwege onvoldoende overheidssteun en het tijdelijk staken van meestoken door energiecentrales in 2006 bij de tijdelijke afschaffing van de MEP-subsidie geven aan hoe kwetsbaar van zichzelf economisch niet rendabele initiatieven zijn. Ze drijven in feite op overheidssteun en houden op te bestaan wanneer die wegvalt.

Figuur 4 Illustratie afname mee/bijgestookte hoeveelheid biomassa<sup>11</sup>



Bovendien gaan de meerkosten ten koste van de welvaart van de samenleving waar de biomassa wordt toegepast.

Vanuit het welvaartcriterium zou dan ook moeten worden gekozen voor inzet van biomassa in die toepassingen waarin het kan concurreren met fossiele energiedragers en/of andere vormen van duurzame energie.

De economisch meest interessante opties zijn:

- concurrentie met aardgas als brandstof in ketels - biomassa is even duur en kan aardgas vrijwel 1 ÷ 1 vervangen;
- gebruik van goedkope reststromen;
- routes waarbij hoogwaardige grondstoffen of eindproducten met een hoge marktprijs worden geproduceerd;
- productie van eindproducten met toegevoegde waarde - zie biologische smeermiddelen.

<sup>11</sup> Zie: [http://www.host.nl/nl/wp-content/uploads/2008/01/subsidie-en-regelingen-nederland-senternovem-dhr-kees-kwant\\_tcm24-253599.pdf](http://www.host.nl/nl/wp-content/uploads/2008/01/subsidie-en-regelingen-nederland-senternovem-dhr-kees-kwant_tcm24-253599.pdf).

Figuur 5 Potentie voor verschillende biomassaroutes in de huidige Nederlandse economie

	Voorbeelden	Duurzame alternatieven	Koolstof doorzet Mton C/jaar in NL	Prijs fossiel
<b>Grondstoffen</b>				
Traditioneel, bestaand	Papier, textiel, hout, rubber, etc			
Alternatief voor petrochem. producten	Bioplastics, inkt, smeermiddel, specialty chemicalien	-	4,4 Grondstof organische basischemie + smeermiddelen en vetten	Nafta: 6 - 13 €/GJ
Voertuig brandstoffen	Ethanol, ETBE, PPO, biodiesel, groene diesel, biogas.	Elektrisch, H <sub>2</sub>	9,8 geëmitteerd als CO <sub>2</sub> (36 Mton)	Benzine: 9 - 17 €/GJ Diesel 8 - 16 €/GJ
Warmte en elektriciteit	Houtkachel, meestoken, biogas	Wind, geo, waterkracht, zon (PV, CSP, zonthermisch)	45,0 geëmitteerd als CO <sub>2</sub> (165 Mton)	Kolen: 2 - 3 €/GJ Gas: 6 - 12 €/GJ Olie: 7 - 14 €/GJ

# Bijlage A Het begrip biomassa

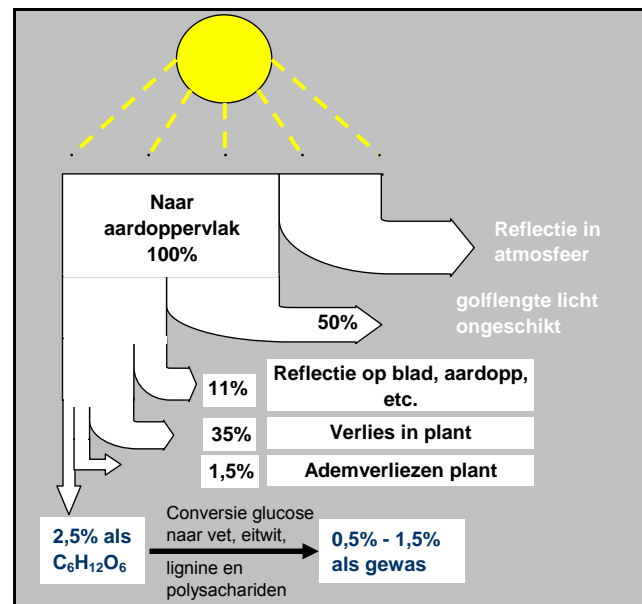
Biomassa omvat in principe al het plantaardige en dierlijke materiaal en alle daarvan afgeleide producten op aarde. Zeg maar al het bezielde of ooit bezielde geweest zijnde materiaal. Of zoals verwoord in de 'Europese richtlijn betreffende de bevordering van elektriciteitsopwekking uit hernieuwbare energiebronnen op de interne elektriciteitsmarkt' (Richtlijn 2001/77/EG):

*'De biologisch afbreekbare fractie van producten, afvalstoffen en residuen van de landbouw (met inbegrip van plantaardige en dierlijke stoffen), de bosbouw en aanverwante bedrijfstakken, alsmede de biologisch afbreekbare fractie van industrieel en huishoudelijk afval'<sup>12</sup>.*

We zullen ons in deze notitie beperken tot plantaardig materiaal omdat de discussie rond biomassa voor grondstoffen en/of energie zich richt op toepassing van plantaardig materiaal. Bovendien wordt dierlijk leven in de regel niet primair voor grondstoffen en/of energie gefokt en gehouden, maar voor voedsel<sup>13</sup>.

Planten groeien door zonlicht te gebruiken voor het vastleggen van CO<sub>2</sub> (met water) in eenvoudige suikers (bijvoorbeeld glucose). Zonlicht wordt ook gebruikt om de suikers vervolgens in de plant deels om te zetten in complexere verbindingen als zetmeel, cellulose, eiwitten en olie. De mate waarin een plant kan groeien hangt af van de beschikbare hoeveelheid zonlicht en de efficiëntie waarmee de plant die gebruikt. Maar groei wordt daarnaast ook gelimiteerd door beschikbaarheid van water en mineralen in de bodem. De energie-inhoud van de geproduceerde biomassa vertegenwoordigt ongeveer 1% van het op het aardoppervlak vallende zonlicht.

Figuur 6 Vastlegging van zonlicht in biomassa



<sup>12</sup> Merk op dat natuur hierin niet terugkomt.

<sup>13</sup> Uitzonderingen zijn pelsdieren en dieren gefokt voor leer.



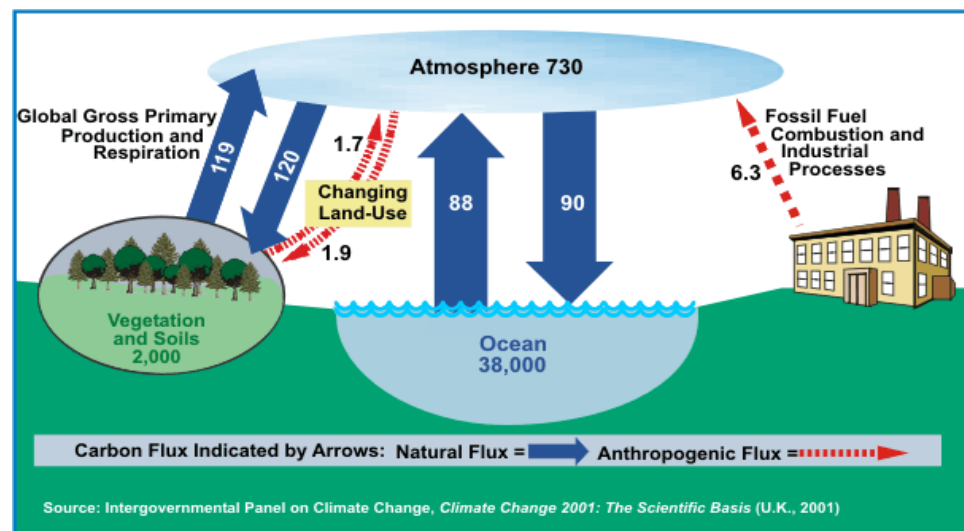
## Bijlage B Biomassa en koolstofstromen

Biomassagroei en -afbraak betreffen de grootste koolstofstromen in onze leef-omgeving, ongeveer 20 maal groter dan de door gebruik van fossiele energie-dragers als olie, gas en kolen in de atmosfeer gebrachte hoeveelheid koolstof.

Mondiaal wordt er jaarlijks ongeveer 440.000 Mton CO<sub>2</sub> opgenomen en netto 220.000 Mton CO<sub>2</sub> vastgelegd als nieuwe vegetatie, in de biogeochemie respectievelijk bruto (GPP) en netto primaire productie (NPP) genaamd. Dit betreft zowel kortlevende zaken als bladeren en eenjarige gewassen (185.000 Mton CO<sub>2</sub>) als langlevende zaken als wortels en stam van bomen (35.000 Mton CO<sub>2</sub>).

De in de kortlevende planten en plantonderdelen vastgelegde CO<sub>2</sub> komt weer vrij wanneer deze planten en plantonderdelen vergaan. Maar ook langlevende gewassen sterven uiteindelijk, zodat er netto uiteindelijk slechts ongeveer 4.000 Mton CO<sub>2</sub> blijvend wordt vastgelegd in biomassa.

Figuur 7 Mondiale koolstofcyclus en de plaats daarin van biomassa<sup>14</sup>



De mondiale productie aan biomassa zou daarom in principe meer dan voldoende groot zijn om onze huidige vraag naar brandstoffen en koolstofhoudende grondstoffen - voor bijvoorbeeld plastics - te dekken, ware het niet dat een groot deel van de productie natuur betreft en we ook biomassa nodig hebben voor voedsel, textiel, papier en houtproducten, etc.

<sup>14</sup> <http://www.eia.doe.gov/oiaf/1605/gccebpro/chapter1.html>.

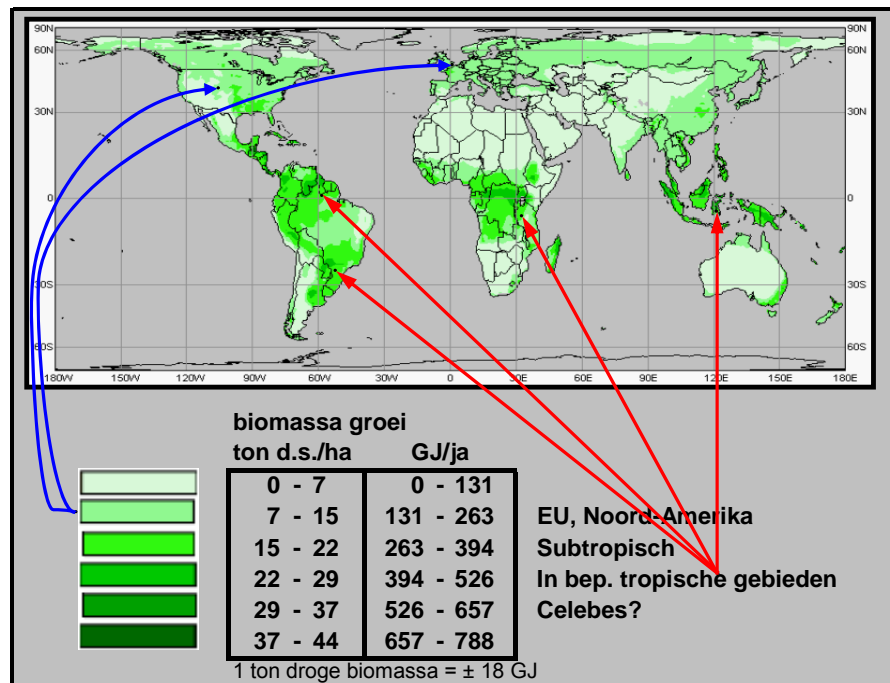


# Bijlage C Ruimtelijke distributie van groei en huidig mondiaal landgebruik

Een globaal overzicht van de verdeling van de netto primaire productie op aarde als functie van beschikbaarheid van zonlicht en water is gegeven in Figuur 7. Niet geheel onverwacht is de plantengroei het grootst in vochtige tropische gebieden rond de evenaar.

Als gezegd is maar een deel van de mondiale biomassa productie bestemd voor het menselijke economische systeem en wordt ook maar een deel van het totale landoppervlak gebruikt - of is überhaupt bruikbaar - voor voedselgewassen en gewassen die biologische grondstoffen en materialen leveren.

Figuur 8 Mondiale verdeling van netto biomassa productie



Van het totale landoppervlak produceert ongeveer 30% geen tot weinig biomassa omdat de bodem onvoldoende vruchtbaar is (geworden) en/of het gebied in een te koud of te droog en te warm klimaat ligt. Deze categorie omvat ook areaal dat door verwoestijning, erosie en door overmatig gebruik van chemicaliën onvruchtbaar is geworden.

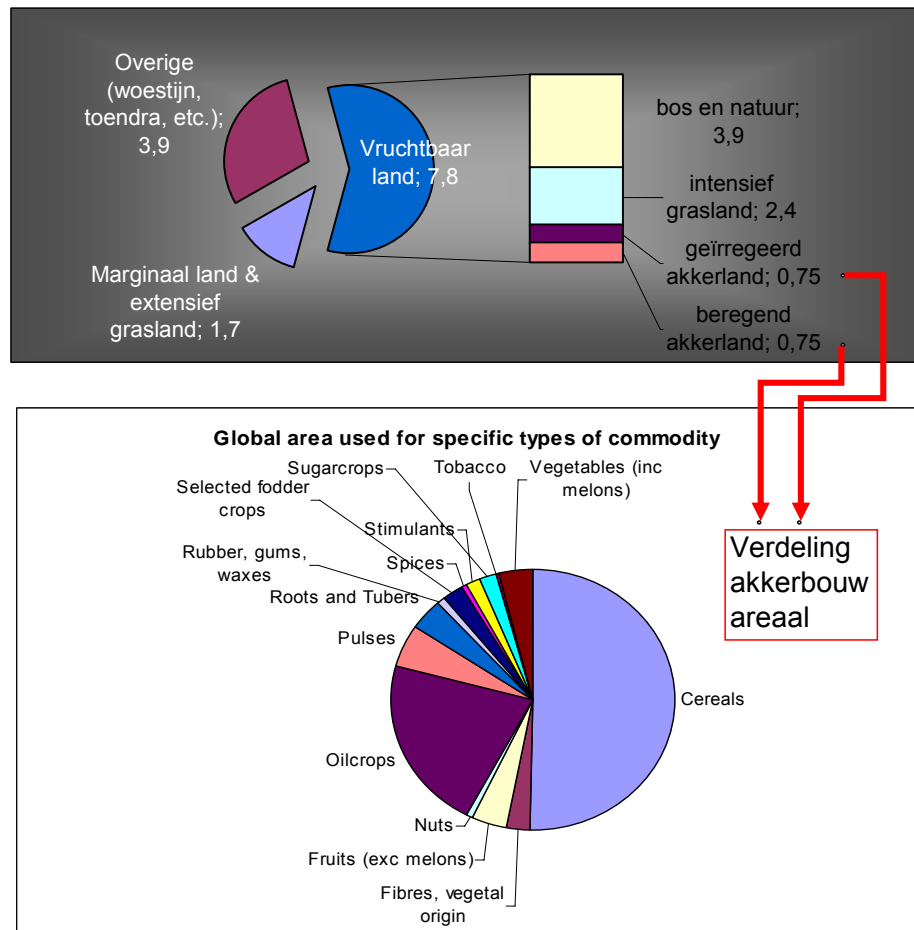
Vruchtbaar en klimatologisch gunstig gelegen land wordt als volgt benut:

- Ongeveer 10% van het mondiale landoppervlak wordt benut voor akkerbouw (VS, India, China en Rusland) en teelt van permanente gewassen (China, India, Indonesië, Maleisië, Brazilië, maar ook Canada en Spanje (olijven)).
- Ongeveer 30% van het totale landareaal betreft graslanden die extensief dan wel intensief worden benut voor beweiding van veestapels (Australië, VS, China, Brazilië).

- De resterende 30% van het aardoppervlak wordt beslagen door bossen (Canada, Rusland, VS en Brazilië). Maar een beperkt deel hiervan is niet aangetast door menselijke handelingen als houtkap, ondergroei verwijdering om te kunnen jagen en het laten grazen van vee.

Het landbouwareaal wordt voor ongeveer 50% gebruikt voor granen, voor 20% voor olieproducerende gewassen en slechts 2% voor suikerproducerende gewassen als suikerriet, sorghum en suikerbiet.

Figuur 9 Overzicht huidige mondiale landgebruik (miljard hectaren)



Nog uit te bouwen met overzicht van hoeveelheden landbouwgewassen, houtproducten, textiel, tabak, etc. om gevoel te geven voor hoeveelheden. Ook toegevoegd wordt inzicht in mondiale variatie in opbrengsten per hectare voor bepaalde landbouwgewassen om te illustreren wat de effecten van teeltoptimalisatie zijn. In de derde plaats zullen we een indruk geven aan de hand van Nederlandse productielocaties wat de schaalgrootte is waarop landbouwproducten worden verwerkt.



## Bijlage D Wat wordt onder bio-energie, voertuigbrandstoffen uit biomassa en grondstoffen uit biomassa verstaan?

In feite kan bij gebruik van biomassa (net als voor aardolie en aardgas) onderscheid worden gemaakt tussen twee - en niet drie - soorten toepassingen:

- Toepassing van biomassa en afgeleide producten als energiedrager voor warmte, elektriciteit en als voertuigbrandstof. In al deze toepassingen wordt de biomassa uiteindelijk volledig verbrand onder benutting van de energie die daarbij vrijkomt. Biobrandstoffen worden alleen onderscheiden omdat het een ander beleidsveld betreft dan de elektriciteit en warmte genererende energiesector. Een aantal van biomassa afgeleide energiedragers (groen gas, plantenolie) zijn toepasbaar voor productie van warmte en/of elektriciteit maar ook als voertuigbrandstof.
- Toepassing van biomassa als grondstof, waarbij grondstof een heel palet aan toepassingen betreft, variërend van C1-chemie tot en met bioraffinage en gebruik van al van nature in de biomassa aanwezige verbindingen. In alle onder deze noemer vallende routes wordt de biomassa gebruikt als koolstofbron.

De twee toepassingen overlappen deels. Ethanol is bijvoorbeeld zowel een biobrandstof als een chemisch product en een breed inzetbare chemisch intermediair halffabrikaat (een zogenaamd platform chemical). Fischer Tropsch-synthese en vergassing kan gebruikt worden voor de productie van diesel en benzine/nafta, beide producten die zowel als voertuigbrandstof als ook als grondstof in de organische basischemie worden toegepast.



# Bijlage E Aparte installatie voor elektriciteit en warmte uit biomassa

## E.1 Overzicht

Gebruik van biomassa voor productie van warmte en elektriciteit vindt op beperkte schaal plaats in Nederland, maar speelt een belangrijke rol in de energiesectoren in Scandinavië, Duitsland en Oostenrijk.

Tabel 4 Overzicht beschikbare en in ontwikkeling zijnde technieken voor opwekking van elektriciteit en warmte uit biomassa

	Status technologie	Vermogen (MW <sub>e</sub> )	Typen brandstof	Voorbeelden in Nederland
Verbrandingsinstallatie < 10 Mwe	Commercieel	1 - 50	Hout, stro, kippenmest	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Schijndel</li> <li>- Sittard</li> <li>- De Lier</li> <li>- Goor</li> <li>- Lelystad</li> <li>- Berlikum</li> </ul>
Verbrandingsinstallatie > 10 Mwe	Commercieel	30 - 570	Hout, stro, kippenmest, RDF	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cuijk</li> <li>- Alkmaar (HVC)</li> <li>- Hengelo (Twence)</li> <li>- Moerdijk (DEP)</li> </ul>
Bio-olie W/K-motor	Commercieel	1 - 100	Primaire plantenolie, opgewerkt slachtafval of frituurvet	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ermelo (zwembad Calluna)</li> <li>- Delfgauw (peakshaving installatie bij tuinder)</li> </ul>
Vergasser, dual fuel motor	Demo	1 - 8	Hout, (kippenmest)	n.v.t.
Vergisting	Commercieel	tot 80	Mest, GFT, natte reststromen voedingsmiddelen-industrie	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Vagron</li> <li>- Orgaworld</li> <li>- diverse mestvergisters</li> </ul>

Technische haalbaarheid van vergassing in combinatie met een STEG is wel gedemonstreerd op een schaal van 6 MW<sub>e</sub> (Varnamo, Zweden), maar groot-schalige wervelbedovens zijn goedkoper en halen een hoger rendement. De combinatie vergassing STEG lijkt zodoende weinig toegevoegde waarde te hebben en is in deze achtergrondpaper verder buiten beschouwing gelaten.

Hieronder enige additionele informatie over de verschillende technieken.

### Verbrandingsinstallaties

Voor kleinere vermogens worden vooral roosterovens gebruikt, voor grotere vermogens vooral wervelbedovens. De grootste biomassacentrale - Alholmens Kraft eenheid II in Pietarsaari - heeft een netto vermogen van 240 MW<sub>e</sub> bij een netto elektrisch rendement van 42%.

Hout is de meest toegepaste brandstof, maar stro (Denemarken) of kippenmest (Nederland, Groot-Brittannië) kan ook worden verstoekt.

Met hoge stoomdrukken en stoomtemperaturen zijn ook bij kleinere installaties ( $\pm 10 \text{ MW}_e$ ) hoge elektrische rendementen van +30% te halen<sup>15</sup>. Het thermisch rendement kan worden gemaximaliseerd door terugwinning van condensatiewarmte uit de rookgassen. Het totale rendement (elektrisch + thermisch) kan oplopen tot  $\geq 90\%$  of zelfs meer dan 100% bij toepassing van de condensatiewarmte uit de rookgassen.

Indicaties voor investeringskosten variëren van € 1.500/kWe voor een 10  $\text{MW}_e$  W/K wervelbedoven in Finland tot € 4.000/kWe voor <10  $\text{MW}_e$  roosteroven in Nederland<sup>16</sup>.

De technologie biedt weinig mogelijkheden voor het sluiten van nutriënten kringloop:

- assen moeten deels als chemisch afval worden verwijderd;
- fosfor, kalium en calcium in de assen zijn maar beperkt beschikbaar voor gewassen;
- stikstof in de brandstof gaat verloren.

Mogelijk zijn de assen geschikt als grondstof voor fosforproductie bij Thermphos.

### Bio-olie W/K-motoren

Gebruik van bio-olie in dieselmotoren vindt al enkele decennia plaats in Duitsland en Oostenrijk. In Duitsland betreft het vaak zogenaamde Block HeizKraftWerken (BHKW's) in woonblokken met een netto elektrisch vermogen van enkele honderden kWe's of motoren bij MKB-bedrijven met een vermogen tot enkele duizenden kWe's. De ambities van BIOX betreft realisatie van installaties tot 50  $\text{MW}_e$ .

Het elektrisch rendement varieert van circa 35% voor <1  $\text{MW}_e$  tot 40-45% voor motoren van enkele  $\text{MW}_e$ 's. Het elektrisch rendement kan worden gemaximaliseerd door de warmte uit rookgassen en koelvloeistoffen te gebruiken voor stoomcycli (bijvoorbeeld bij BIOX) of ORC's<sup>17</sup>. Met een ORC zou het rendement bij grotere motoren met 10-20% kunnen worden verbeterd (bijvoorbeeld van  $\eta_e = 40\%$  naar  $\eta_e = 44\% - 48\%$ ).

Warmte kan worden gewonnen uit koelvloeistoffen (koelwater, koelolie). Het thermisch rendement kan worden gemaximaliseerd door terugwinning van condensatiewarmte uit de rookgassen.

Gebruikte brandstoffen zijn pure plantenolie uit geteelde oliezaden (koolzaad, palm), maar in Duitsland wordt ook opgewerkt frituurvet toegepast en in Ermelo olie geproduceerd uit slachtafval (Bioline V).

---

<sup>15</sup> Zie bijvoorbeeld Assens W/K roosteroven in Denemarken (4,7  $\text{MW}_e/10,3 \text{ MWth}$ -warmtenet) bij  $\eta_e$  van 27%), Lycksele W/K wervelbedoven in Zweden (14  $\text{MW}_e/28 \text{ MWth}$ -warmtenet bij  $\eta_e$  van 32%) en Iisalmi W/K wervelbedoven in Finland (14,7  $\text{MW}_e/30 \text{ MWth}$ -warmtenet bij  $\eta_e$  van 31%).

<sup>16</sup> Ter vergelijking: de 30  $\text{MW}_e$  installatie in Cuijk vergde een specifieke investering van € 2.000/kWe, de 1  $\text{MW}_e$  installatie in Schijndel een specifieke investering van € 2.900/kWe en de 1,7  $\text{MW}_e$  W/K installatie in Lelystad een investering van € 6.900/kWe.

<sup>17</sup> ORC = Organic Rankine Cycle, een soort stoomcyclus, maar dan met een organische vloeistof als werkstof.

De gebruikte brandstof is een afgeleid product zonder nutriënten, geproduceerd uit oliehoudende zaden (in geval van primaire plantenolie). Er is daarom de mogelijkheid om nutriënten zo goed mogelijk in kringloop te houden.

### **Kleinschalige vergassers met dual fuel-motor**

Kleinschalige vergassers gecombineerd met dual fuel-motoren voor W/K-bedrijf met een thermisch vermogen tot circa 10 MW<sub>brandstof</sub> zijn sinds enkele jaren commercieel verkrijgbaar bij diverse producten in binnen- en buitenland.

Ook voor deze technologie wordt meestal hout als brandstof gebruikt. HoST heeft ook vergassers geleverd voor kippenmest en zonnebloemkaf. In Duitsland is een installatie in gebruik voor de verwerking van gedroogd RWZI-slib.

Het netto elektrisch rendement van de combi bedraagt maximaal 30% en is beperkt door enerzijds rendementverlies bij vergassing en anderzijds omdat het rendement van de motor 10-30% daalt vanwege de lage calorische waarde van het geproduceerde stookgas.

Warmte kan worden teruggewonnen uit koelvloeistoffen en rookgassen van de dual fuel-motor en door warmtewisseling met de hete stookgassen uit de vergasser.

Praktijk informatie over kosten is alleen bekend voor de 8 MW<sub>brandstof</sub> installatie in Güssing in Oostenrijk.

Over de kwaliteit van assen en de beschikbaarheid van nutriënten uit die assen voor planten zijn geen gegevens bekend. Wel zal stikstof uit de biomassa voor een groot deel verloren gaan tijdens het vergassingsproces.

Voor zover bekend zijn er in Nederland geen voorbeeld installaties met dual fuel-motor operationeel<sup>18</sup>.

### **Vergisten**

Voor biogasproductie middels vergisten worden installaties gebruikt variërend van kleinschalige co-vergisters bij agrarische bedrijven tot industriële installaties voor verwerken van restproducten uit de voeding- en genotmiddelen industrie. Voor grote verwerkingscapaciteiten worden meerdere parallelle vergistinginstallaties gebruikt.

Geproduceerd biogas wordt na reiniging in de regel verbrand in een gasmotor. Bij grotere vergistinginstallaties wordt biogas ook wel opgewerkt tot synthetisch aardgas of 'groen gas' en in het aardgasnet geïnjecteerd. Bij deze grotere installaties zou bij gebruik van biogas als brandstof ook een gasturbine (eventueel met nageschakelde stoomcyclus) in plaats van een gasmotor kunnen worden toegepast.

De in de vergiste biomassa aanwezige nutriënten blijven vrijwel volledig achter in de restproducten (digestaat, waterfase) en kunnen worden hergebruikt in plantenteelt.

## **E.2 Rendementen en andere milieurelevantie aspecten**

Het totale rendement voor benutting van de energie-inhoud van de brandstof kan hoog zijn bij maximale warmteafzet, maar netto elektrische rendementen zijn over het algemeen 5-10% punten lager als voor een kolencentrale.

---

<sup>18</sup> De BIVKIN vergasser in Tzum, Friesland levert stookgas aan een stoomketel.

Alleen bij grote W/K-motoren wordt een vergelijkbaar elektrisch rendement gehaald.

Mogelijkheden voor kringloopsluiting voor nutriënten verschillen sterk per techniek. Thermische technieken vernietigen stikstof en sluiten P en K deels in. Daarnaast kan de concentratie van zware metalen door de volumereductie tijdens conversie zo hoog worden dat de assen - en daarmee P en K - als chemisch afval moeten worden verwijderd. Mogelijk dat dit soort assen in de toekomst wel bij Thermphos kunnen worden verwerkt als grondstof voor fosfor, maar kalium zal dan alsnog verloren gaan.

Nettoreductie van broeikasgassen hangt sterk af van de ingezette biomassa, maar ook van de mate waarin warmte kan worden afgezet.

Tabel 5 Indicatief overzicht milieugerelateerde specificaties voor opwekking van elektriciteit van warmte uit biomassa

	Rendementen <sup>19</sup> bij W/K-bedrijf T = 70°C						Geschikt voor kringloopsluiting nutriënten?
	e		totaal W/K-bedrijf				
Verbrandingsinstallatie < 10 Mwe	20%	-	30%	80%	-	90%	-
Verbrandingsinstallatie > 10 Mwe	30%	-	35%	85%	-	95%	-
Bio-olie W/K-motor	35%	-	45%	75%	-	95%	+
Vergasser, dual fuel-motor			25%			80%	-
Vergisting (rendement hebben betrekking op biogas toepassing)	35%	-	45%	75%	-	95%	++

Wat betreft emissies naar lucht moet in Nederland voor schone brandstoffen worden voldaan aan NeR (<5 MW), BEES (> 5 MW) en BREF LCP (>50 MW) en aan BVA voor afvalstoffen.

Daarnaast is in het kader van de 'Regeling aanwijzing categorieën duurzame energieproductie 2008' een aantal emissie-eisen vastgesteld voor duurzame, voor de SDE-regeling toegankelijke bio-energie. Die emissie-eisen zijn vergelijkbaar met de eisen voor kolen en biomassa gesteld in de BREF LCP.

Tabel 6 Emissie-eisen voor duurzame biomassa

	SDE-eisen	BREF LCP voor biomassa en kolen (> 300 MWth)	
		Bestaand	Nieuw
SO <sub>2</sub> (mg/Nm <sup>3</sup> )	200	50-150	50-200
PM <sub>10</sub> (mg/Nm <sup>3</sup> )	5	5-10	5-20
CxHy (mg/Nm <sup>3</sup> )	1.200		
NO <sub>x</sub> (g/GJ)	40	19-56	19-75

Om aan deze eisen te voldoen zal in veel gevallen voor de NO<sub>x</sub> een SCR DeNO<sub>x</sub> nodig zijn. Bij vaste biomassa is er meestal ook een fijn stoffilter nodig<sup>20</sup>.

<sup>19</sup> Rendementen op basis van calorische onderwaarde.

<sup>20</sup> <http://www.oosterhof-holman.nl/nl/nieuws/454/emissie-eisen-voor-sde-biomassainstallaties>.

### E.3 Kostenindicaties

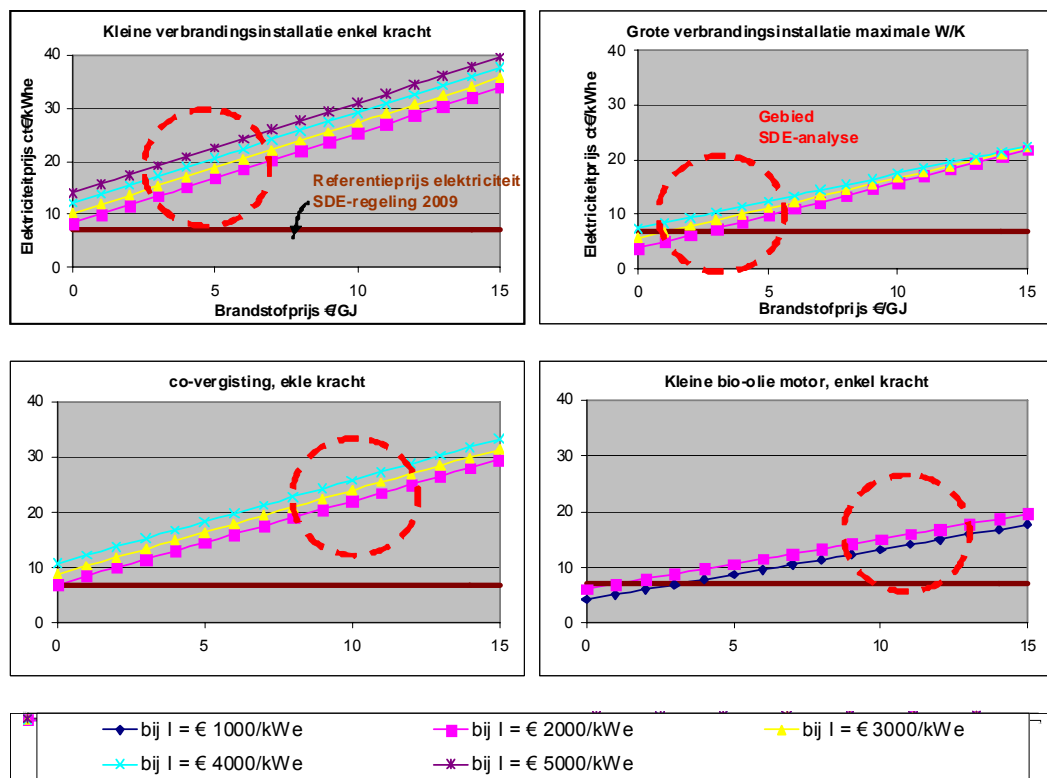
Een overzicht van productiekosten en van economische parameters is gegeven in **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden..** Productiekosten voor elektriciteit hangen sterk af van de brandstofprijs, investering en thermisch rendement. Voor vergasser met dual fuel-motor zijn nog weinig kostengegevens bekend om meer dan een indicatie te geven.

Ter vergelijking zijn ook productiekosten voor alternatieve productieroutes voor duurzame elektriciteit gegeven. Windenergie is aanzienlijk goedkoper dan bio-energie opgewekt op basis van brandstoffen als snoeihout en primaire plantaardige oliën.

Tabel 7 Economische parameters voor installaties voor opwekking van elektriciteit en warmte uit biomassa, hoofdzakelijk uit SDE-berekeningen

	Investering (€/kW <sub>e</sub> )		Productiekosten conform SDE ct€/kW <sub>h</sub> e
Bio-energie opties:			
Verbrandingsinstallatie < 10 Mwe	Tot	4.000	19,9
Verbrandingsinstallatie > 10 Mwe	1.500 -	3.250	11,5
Bio-olie W/K-motor	1.200 -	1.350	14,6-18,4
Vergasser, dual fuel-motor	4.000 -	5.350	n.v.t.
Vergisting (rendement hebben betrekking op biogas toepassing)	2.700 -	3.900	12,4-17,9
Meestoken, 500 MW <sub>e</sub> kolencentrale	600		n.v.t.
Alternatieven			
Wind op land			9,1
Wind off shore			13,6
PV			45,9-52,6

Figuur 10 Productiekosten versus brandstofprijs



De productiekosten voor elektriciteit uitzettend tegen de brandstofprijs<sup>21</sup> maakt duidelijk dat de productiekosten voor alle technieken zonder maximale warmteafzet alleen bij zeer lage brandstofprijzen in de buurt van de gemiddelde marktprijs voor elektriciteit komen. Bij maximale warmteafzet mag de brandstof een paar €/GJ kosten.

#### E.4 Implementatie in kader van ambities

Aparte installatie voor elektriciteit en warmte uit biomassa zijn vooral geschikt voor dekken van de vraag naar ruimteverwarming en stoom en voor productie van elektriciteit.

We schatten dat er ongeveer 10 Mton/jaar aan houtpellets nodig zijn wanneer houtpellets zouden worden gebruikt voor:

- dekken van de huidige vraag naar ruimteverwarming in de bebouwde omgeving ( $\pm 6 \text{ PJ}_{\text{th}}$ /jaar);
- dekken van de huidige stoomvraag bij de voeding- en genotmiddelen-industrie ( $\pm 7 \text{ PJ}_{\text{th}}$ /jaar);
- opwekken van een equivalente hoeveelheid elektriciteit als momenteel geproduceerd wordt of geproduceerd zal gaan worden door de centrales Borssele 12, Sloe en Elsta (circa 55 PJe/jaar?).

<sup>21</sup> De figuurtjes zijn geproduceerd gebruikmakend van de spreadsheets van ECN uit de SDE-regeling voor 2009 voor het bepalen van de productiekosten per technologie.



Daarbij is aangenomen dat elektriciteit hoofdzakelijk wordt opgewekt met grootschalige verbrandingsinstallaties met een rendement van 40% en dat warmte in kleinere W/K-verbrandingsinstallaties met een elektrisch en thermisch rendement van respectievelijk 30 en 60% worden geproduceerd.

De 10 Mton aan houtpellets zouden - uitgaande van een gemiddelde opbrengst van 10 ton d.s./ha/jaar - tenminste 1 miljoen hectaren aan teeltareaal vergen, vijf maal het oppervlak van de provincie zelf.

## E.5 Initiatieven in Zeeland

In Zeeland zijn de volgende initiatieven ontwikkeld of in ontwikkeling:

- meestoken van biomassa bij Delta;
- ontwikkeling van co-vergisting in Sluis, Sluiskil en mogelijk ook bij de Groene Poort in Rilland;
- ontwikkeling bio-olie WKK van BIOX.



# Bijlage F Biobrandstoffen

## F.1 Overzicht

Momenteel op de markt beschikbare biobrandstoffen (biodiesel) worden vooral geproduceerd op basis van voedselgewassen. Hierdoor is er risico op concurrentie met voedsel. Uitzonderingen zijn:

- productie van biodiesel en 'groene diesel' (NexBTL-proces) uit afgedankt frituurvet, slachtafval of andere reststromen niet geschikt voor diervoeder toepassing;
- biogas uit reststromen.

Alle verkrijgbare biobrandstoffen zijn beperkt compatibel met gangbare voertuigbrandstoffen uit aardolie:

- biogas is niet compatibel;
- ethanol mag om wettelijke redenen maar tot een paar procent worden bijgemengd;
- biodiesel mag om technische redenen tot 5% worden bijgemengd.

Voor hogere percentages is aanpassing of vervanging van de motor nodig, zie bijvoorbeeld auto's met flex fuel-motor voor ethanol.

De in ontwikkeling zijnde biobrandstofproductieprocessen (de onderste drie van Tabel 8) kunnen een breed palet aan grondstoffen verwerken. De meeste processen (behalve 'tweede generatie bio-ethanol') en ook de TCP en NexBTL-processen produceren bovendien een brandstof die compatibel is met de huidige brandstoffen uit aardolie en vaak ook superieur is aan conventionele benzine en diesel, bijvoorbeeld door vrijwel ontbreken van aromaten en zwavel.

Vrijwel alle processen kunnen of worden beoogd om op grote industriële schaal per installatie te worden toegepast, behalve vergisting. De verwerkingscapaciteit van vergistingsinstallaties is door de aard van het proces gelimiteerd tot enkele tientallen kilotonnen biogas per jaar

Vergisting zou overigens ook kunnen worden gebruikt als voorbewerking om natte biomassa om te zetten in een energiedrager (biogas) geschikt voor Fischer Tropsch-synthese.

Een andere optie - pyrolyse van biomassa en opwerking van pyrolyse-olie - is niet beschouwd omdat de ontwikkeling van de opwerking van pyrolyse-olie voor toepassing als voertuigbrandstof het niveau van laboratoriumonderzoek nog niet ontgroeit is.

Pyrolyse zou overigens wel een opwerkingsproces kunnen zijn voor ethanolproductie en vergassing.

Tabel 8 Overzicht beschikbare en in ontwikkeling zijnde technieken voor productie van biofuels uit biomassa

	Status technologie	Typische schaal-grootte (kton product)	Typen grondstof						Compatibel met huidige brandstoffen?	
			Suiker-gewassen	Granen	Oliezaden	Natte bio-massa <sup>22</sup>	Restvetten <sup>23</sup>	Droge reststromen		Hout-achtige gewassen
Ethanol uit voedselgewassen	Commercieel	100-500	X	X						Nee
Biodiesel uit voedselgewassen	Commercieel	10-1.000			X		X			Nee
Biogas/SNG	Commercieel	10-50		X		X				Nee
Chemisch behandelde oliën/vetten (NexBTL)	Commercieel	500-1.000			X					Ja
TCP - slachtafval	Demo	± 100					X			Ja
HTU proces + hydro-deoxygenatie	Pilot					X	X			Ja
HTU-proces zelf		150-300								
HDO-proces		750-1.500								
Vergassen + Fischer Tropsch	Pilot	500-1.000							X	Ja
Ethanol uit lignocellulose grondstoffen	Pilot	100-500							X	Nee

<sup>22</sup> GFT, restproducten landbouw en V&G-industrie.

<sup>23</sup> Slachtafval, afgedankt frituurvet.

## F.2 Milieurelevante aspecten

Alle biobrandstoffen, behalve ethanol en met name biodiesel, hebben een positieve - reducerende - invloed op de voertuigemissies vanwege het ontbreken van aromaten en zwavel. Bij biodiesel is er een risico op verkoking bij verhitten. Bij het verkoken ontstaan juist aromaten.

Rendementen - t.o.v. de energie-inhoud van de grondstof - kunnen sterk variëren als functie van:

- het aandeel aan in biobrandstof omzetbare componenten (suiker/zetmeel bij ethanol, olie in zaden bij biodiesel) in de grondstof;
- het vochtgehalte van de biomassa (HTU-proces).

Bij Fischer Tropsch-synthese is het rendement ongeveer 50% petrochemische producten (+ 10% elektriciteit) doordat twee chemische conversies achter elkaar plaatsvinden. Ethanolproductie vergt 0,4-0,2 GJbrandstof/GJethanol, vooral voor destillatie. Mogelijk kunnen in de toekomst membranen voor afscheiding van ethanol worden gebruikt.

Bij een aantal processen komt een geconcentreerde (> 80%) stroom CO<sub>2</sub> vrij, die eventueel zou kunnen worden afgevangen en behandeld voor ondergrondse opslag. Bio-ethanolfabrieken in de VS en Canada leveren vaak CO<sub>2</sub> voor industriële toepassingen.

Bij diverse processen komt een nuttig bijproduct vrij:

- Distiller grains van ethanolproductie uit voedselgewassen en perskoek van oliezaden kan gebruikt worden als eiwitrijke diervoeder component en kan in die toepassing sojaschroot vervangen. Door toepassing van deze bijproducten kan theoretisch indirect de expansie van sojateelt gerelateerde ontbossing worden voorkomen.
- Char (een soort houtskool) kan worden benut als grondverbeteraar. Het houdt nutriënten beter vast, waardoor kunstmest effectiever kan worden gebruikt. De char fungeert bovendien als een vorm van koolstofopslag.
- Bij vergisting, TCP- en HTU-proces worden de nutriënten in de grondstof afgescheiden als aparte fractie (TCP, HTU) of blijven ze beschikbaar in het - niet als diervoeder toepasbare - bijproduct/residu.

Tabel 9 Overzicht milieuaspecten voor biobrandstof productieprocessen

	Impact op voertuigemissies	Rendement t.o.v. grondstof	Mogelijkheid voor CCS?	Nuttig bijproduct?		
				Dier-voeder	Char	Meststof
Ethanol uit voedselgewassen	0	45-55%	X	X		
Biodiesel uit voedselgewassen	- / 0	30-90%		X		
Biogas/SNG	+	50-75%	X			X
Chemisch behandelde olien/vetten (NexBTL)	+	30-90%		X		
TCP - slachtafval	+	70%			X	X
HTU proces + hydro-deoxygenatie	+	35-75%	X			X
Vergassen + Fischer Tropsch	+	50%				
Ethanol uit lignocellulose grondstoffen	0	50%	X			

Een indicatie van de netto broeikasgasreductie percentages zijn gegeven in Tabel 10 en Tabel 11.

Tabel 10 Indicatie van broeikasgas emissiereducties zonder verdiscontering eventueel landgebruik verandering, alle keteneffecten verdisconteerd

	Max.	Average	Min.
Ethanol voedselgewassen	88%	59%	29%
Biodiesel	71%	53%	35%
Biogas/SNG	100%	100%	100%
NexBTL	71%	53%	35%
TCP	100%	100%	100%
HTU	110%	88%	65%
Fischer Tropsch	95%	93%	90%
Ethanol ligno	98%	98%	98%

Tabel 11 Indicatie van broeikasgasemissiereducties met verdiscontering landgebruik verandering

	Max.	Average	Min.
Ethanol voedselgewassen	55%	-68%	-190%
Biodiesel	27%	-271%	-568%
Biogas/SNG	nvt	nvt	nvt
NexBTL	27%	-271%	-568%
TCP	nvt	nvt	nvt
HTU	nvt	nvt	nvt
Fischer Tropsch	nvt	nvt	nvt
Ethanol ligno	nvt	nvt	nvt

Bij ethanol uit voedselgewassen en biodiesel uit voedselgewassen ontstaat een significante toename van broeikasgasemissies wanneer tropisch regenwoud moet worden gekapt (soja in Argentinië, suikerriet in Brazilië). Percentages voor biogas, TCP, HTU, Fischer Tropsch en ethanol uit lignocellulose grondstoffen hebben steeds betrekking op reststromen. Bij inzet van geteelde biomassa zullen de percentages lager zijn en kan er ook sprake zijn van toename van emissies wanneer teelt plaats vindt op voormalig natuurlijk gebied.

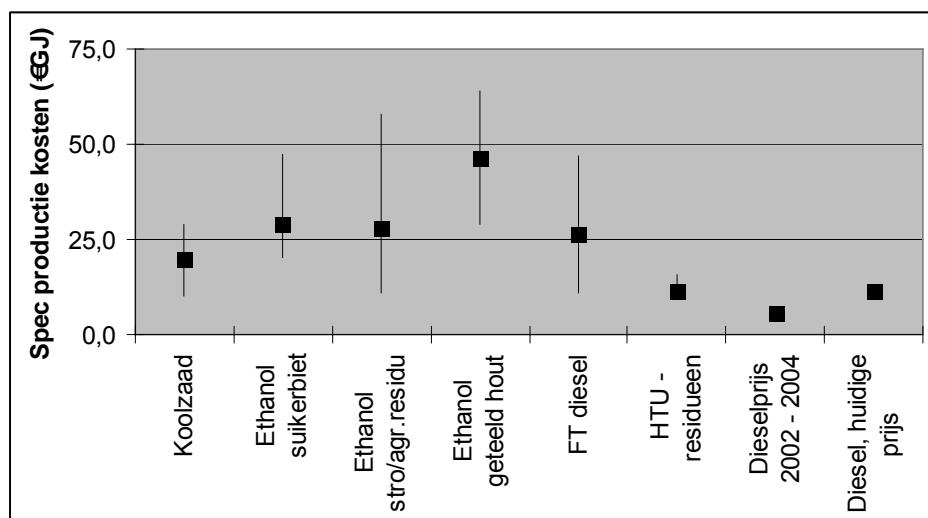
### F.3 Kostenindicaties

Een indicatie van de productiekosten op basis van literatuurbronnen is gegeven in Figuur 10.

Productiekosten lijken op basis van de geraadpleegde literatuur voor alle routes hoger dan de productiekosten voor diesel uit aardolie. Benzine heeft iets hogere productiekosten als diesel.

Alleen bij hoge olieprijsen zouden productiekosten voor routes op basis van reststromen vergelijkbaar kunnen worden. Processen geschikt voor de verwerking van reststromen hebben echter als nadeel hoge investeringen en een rendement van ongeveer 50% (Fischer Tropsch, lignocellulose ethanol). Hierdoor zijn kapitaallasten hoog en tikken brandstofkosten snel hard door.

Figuur 11 Indicatie van productiekosten voor biobrandstoffen



### F.4 Implementatie in kader van ambities

Biobrandstoffen zouden kunnen worden gebruikt voor het dekken van de behoefte aan voertuigbrandstoffen in Zeeland. Op basis van de gerapporteerde verkeergerelateerde CO<sub>2</sub>-emissie schatten we dat verkeer in Zeeland momenteel ongeveer 20 PJ/jaar aan voertuigbrandstoffen gebruikt.

Ervan uitgaande dat op termijn vooral compatibele tweede generatie biobrandstoffen als Fischer Tropsch diesel of HTU-diesel worden gebruikt schatten we de behoefte aan biomassa op ongeveer het dubbele (40 PJ/jaar), equivalent met ongeveer 2,5 Mton droge biomassa.

Bij bereidstelling van deze hoeveelheid biomassa in de vorm van in Europa geteeld kort rotatie hout zou het overeenkomstige ruimtebeslag ca. 250.000 ha bedragen, ongeveer even veel als het oppervlak van provincie Zeeland.

## F.5 Initiatieven in Zeeland

In Zeeland zijn de volgende initiatieven ontwikkeld of in ontwikkeling:

- bio-ethanolfabriek bij Nedalco;
- ontwikkeling van biodieselproductie zoals beoogd bij Rosendaal Energy BV in Sluiskil;
- biovergisting reststromen bij de Groene Poort (Rilland).



# Bijlage G Consumentenproducten en chemicaliën uit biomassa

## G.1 Mogelijke routes

Energiegebruik en broeikasgasemissies gerelateerd aan de chemie in Zeeland betreft drie sterk verschillende chemische bedrijven:

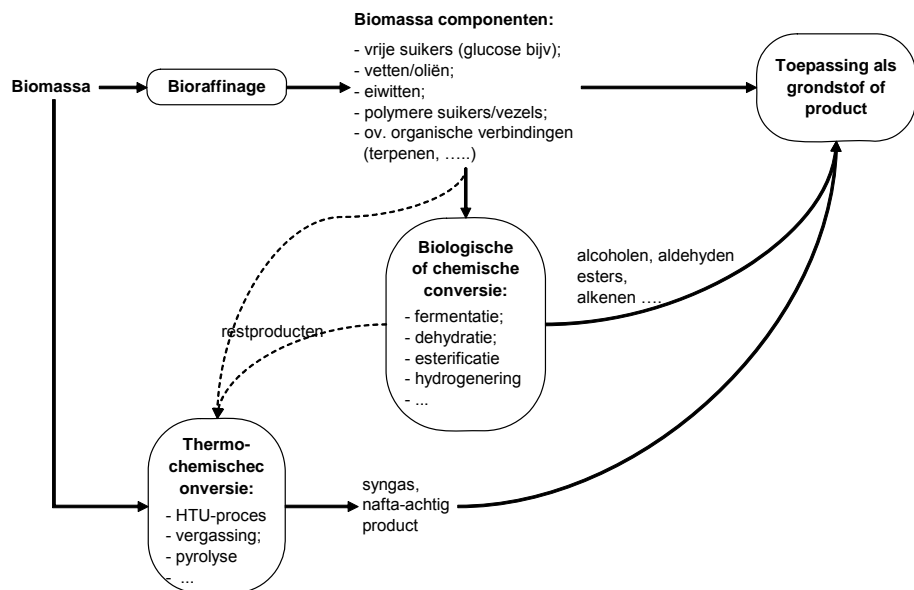
- Thermphos, gebruiker van cokes als reductiemiddel;
- Yara, producent van N-kunstmest producten op basis van aardgas;
- DOW, een petrochemisch bedrijf.

Als aangegeven in hoofdstuk 1 zijn er twee routes om in het proces naar een klimaatneutrale provincie de broeikasgassen van deze bedrijven te reduceren of vermijden:

- fossiele grondstoffen vervangen door grondstoffen uit biomassa;
- overschakelen op andere economische activiteiten, bijvoorbeeld productie van alternatieve consumentenproducten en chemicaliën op basis van biomassa.

Om uit biomassa chemicaliën te maken is een aantal routes beschikbaar, weergegeven in Figuur 11.

Figuur 12 Globaal overzicht van mogelijke productieroutes voor concurrentie met petrochemische producten en intermediairs



Globaal gezien zijn er drie mogelijkheden:

1. Grondstoffen worden direct uit de biomassa geïsoleerd middels 'bioraffinage' en direct toegepast in eindproductfabricage. Dit is bijvoorbeeld het geval bij textiel (katoen, linnen), papier en plantaardige oliën.
2. Grondstoffen worden middels 'bioraffinage' geïsoleerd en vervolgens biologisch en chemisch omgezet in intermediairs of eindproducten.
3. De biomassa wordt via thermochemische processen integraal omgezet in chemische bouwstenen.

De laatste route kan worden gebruikt om fossiele grondstoffen te vervangen door grondstoffen uit biomassa. De eerste twee routes leiden tot alternatieve consumentenproducten en chemicaliën op basis van biomassa.

De verschillende routes worden hieronder in aparte paragrafen behandeld.

Alleen voor thermochemische processen is indicatief aangegeven hoeveel biomassa en ruimte nodig is in het kader van het bereiken van een klimaat-neutraal Zeeland. Voor de beide andere routes is dit niet goed mogelijk omdat het nieuwe activiteiten met een naar believen te bepalen productiecapaciteit betreft.

## G.2 Bioraffinage en directe productie van grondstoffen en eindproducten

In is een samenvattend overzicht gegeven voor enkele eindproducten geproduceerd via bioraffinage, die nu al grootschalig zouden kunnen worden geproduceerd.

Tabel 12 Indicatieve specificaties voor bioraffinageroutes

	Huidige potentieel op EU-15 markt		Relatieve CO <sub>2</sub> -emissie <sup>24</sup>	Relatieve prijs <sup>25</sup>
	% markt	kton/jaar		
Smeermiddelen	10%	370	50%	200-300%
Oplosmiddelen	10%	200	10-50%	80-300%
Inkten	±10%	120		
Bioplastics: via bioraffinage (zetmeel);	?	?	35-50%	100-300%

In onderstaande paragrafen worden potentie, kosten en milieuaspecten van deze producten verder besproken.

### Indicatie van routes

In deze paragraaf kan slechts een indicatie van mogelijke opties worden gegeven vanwege de breedte van het veld.

Bestaande voorbeelden van grootschalige industriële bioraffinage zijn:

- verwerken van hout tot papier en bijproducten als tall oil;
- winning van plantaardige olie uit zaden en noten door persen en extraheren met oplosmiddelen (hexaan bijvoorbeeld).

<sup>24</sup> Ten opzichte van CO<sub>2</sub>-emissies bij productie op basis van aardolie.

<sup>25</sup> Ten opzichte van fossiele alternatief.

Voor groene grondstoffen worden nieuwe routes ontwikkeld, vooral om chemische grondstoffen direct uit de biomassa te produceren:

- oplosmiddelen uit goudbloemen;
- kleurstof uit meekrapwortel;
- castor-olie voor chemicaliën;
- vezels uit hennep en vlas.

Bij deze routes komen ook bijproducten vrij, die kunnen worden toegepast als alternatieve grondstoffen voor chemische producten. Voorbeelden zijn de houtverduurzamingmiddelen, die op basis van hennepolie worden geproduceerd en de toepassing van olie uit brandnetels in cosmetische producten. Het product van bioraffinage is door de specifieke eigenschappen vaak niet inzetbaar in de bestaande petrochemie<sup>26</sup>. In plaats daarvan levert het een product op dat direct concurreert met petrochemische eindproducten of producten uit de anorganische chemie. Voorbeelden van concurrerende producten zijn:

- vezels uit vlas, jute of hennep (concurrereert met glasvezel);
- oplosmiddelen uit bijvoorbeeld goudbloem (concurrereert met oplosmiddelen op basis van aardolie);
- smeermiddelen op basis van plantaardige oliën (concurrereert met smeermiddelen op basis van aardolie).

Deze producten presteren soms beter dan de conventionele tegenhangers. Biologische, snel afbreekbare smeermiddelen bijvoorbeeld presteren beter dan smeermiddelen uit aardolie<sup>27</sup>.

De toegepaste technologie bestaat of is gebaseerd op bestaande technologische processen uit voedingindustrie, oleochemie, bij papierfabrieken, zetmeelfabrieken en oliezaad verwerkende fabrieken<sup>28</sup>. Verwerkingscapaciteit is honderden kilotonnen grondstof per jaar per fabriek.

Via bioraffinage en eventuele navolgende conversies kan nu al een deel van de verschillende markten worden ingevuld met bioproducten<sup>29, 30</sup>:

- Ongeveer 10% van de smeermiddelen zou kunnen worden vervangen door bioproducten, een potentie voor de EU-15 van circa 370 kton/jaar. Momenteel is het marktaandeel voor biosmeermiddelen slechts zo'n 40 kton.
- Van de totale Europese markt voor inkt van circa 1.000 kton/jaar zou circa 120 kton kunnen worden gedekt door inkt op basis van plantaardige grondstoffen. Tot nu toe wordt een heel klein percentage van dit potentieel benut.
- Er is een potentie van circa 200 kton aan oplosmiddelen op plantaardige basis op een totale markt in de EU-15 van 2.000 kton aan oplosmiddelen op basis van koolwaterstoffen. Momenteel wordt nog slechts 30 kton gebruikt.

---

<sup>26</sup> Bioraffinageproducten zijn een mengsel van verbindingen en niet een eenduidige individuele verbinding, zoals in de petrochemie wordt geproduceerd. Zetmeel uit mais, aardappels en tarwe heeft per grondstof andere eigenschappen, zoals verschillende lengten van zetmeelmoleculen. Plantaardige oliën bestaan uit een mengsel van verschillende vetzuren, variërend in lengte en aantal dubbele bindingen.

<sup>27</sup> Overigens zijn de smerende eigenschappen van plantaardige olie al langer bekend. Koolzaad geproduceerd in Canada bijvoorbeeld is gedurende de tweede wereldoorlog algemeen toegepast als smeermiddel bij de geallieerde strijdmachten.

<sup>28</sup> Bijvoorbeeld extractie, malen, decanteren, hydrolyseren en persen.

<sup>29</sup> Zie IENICA executive summary: <http://www.biomatnet.org/publications/f1495fin.pdf>.

<sup>30</sup> <http://www.ienica.net/>; <http://www.biomatnet.org/>.

De marktpotentie voor de toepassing van bioplastics op basis van zetmeel polymeren is niet duidelijk. Dit heeft te maken met de eigenschappen van de bioplastics en de mate waarin deze nog verder kunnen worden ontwikkeld. De potentie voor ontwikkeling wordt geïllustreerd door de sterk verbeterde treksterkte van dit soort polymeren in folietoepassingen: waar een tasje van zetmeel polymeren vroeger weinig draagkracht had is het nu een dusdanig volwaardig alternatief dat in Frankrijk gebruik van draagtassen uit dit soort plastics verplicht wordt gesteld.

### **Milieubelasting**

Producten van bioraffinage vertonen vaak een betere milieuprestatie dan hun petrochemische tegenhangers, ook wanneer teelt van gewassen wordt meegenomen:

- plantaardige vezels hebben een 'eco-impact' die 50% lager is dan die van glasvezel;
- plantaardige smeermiddelen geven een lagere emissie van broeikasgassen gedurende de levenscyclus en zijn significant minder toxisch voor het ecosysteem;
- bioplastics uit zetmeel vergen in de gunstige gevallen 65% minder fossiele energie en leveren gedurende de levenscyclus 65% minder CO<sub>2</sub> (1 ton/ton i.p.v. 3 ton/ton). Een aantal andere bioplastics vergen soms meer energie dan fossiele plastics.

### **Economische aspecten**

Producten als bioplastics en smeermiddelen uit primaire grondstoffen – d.w.z. specifiek geteelde gewassen – zijn vaak duurder dan de petrochemische alternatieven, zo ligt de prijs van smeermiddelen en bioplastics uit zetmeel een factor 2,5-3 hoger dan bij het reguliere proces. Zetmeelplastics uit geteelde biomassa kosten bijvoorbeeld € 2,50-€ 3,00 per kilo, terwijl het concurrerende PE – bij de olieprijsen begin van dit millennium – slechts € 1,00 per kilo kost. Dit prijsverschil verklaart ook het beperkte percentage van het potentieel dat momenteel wordt benut. Deze producten worden alleen toegepast wanneer wettelijk vereist of wanneer een bedrijf zich wil profileren als milieuvriendelijk.

Succesvolle implementatie van nieuwe routes blijft soms ook achterwege vanwege onbekendheid met het geleverde product (bijvoorbeeld bij natuurvezels als vezelversterking in kunststofproducten).

Implementatie wordt soms gestimuleerd door specifieke wetgeving, waarin toepassing van het bioproduct wordt vereist vanwege de lagere ecotoxiciteit. Een voorbeeld is de eis van gebruik van biosmeermiddelen in motorzagen in de bosbouw. Sowieso lijken regels rond ecotoxiciteit een sterke aanjager van bioproducten in nichemarkten.

Kans op economisch succes is groter wanneer een groot deel van of de gehele droge stof fractie van een gewas of reststroom kan worden opgesplitst in nuttig toepasbare componenten. In die zin verdient het de aanbeveling niet een gewas te selecteren op één beoogde component, maar gewassen te selecteren, veredelen en mogelijk ook te modificeren zodat ze een maximale opbrengst hebben aan nuttige componenten.

Milieubelasting en kosten kunnen worden gereduceerd door restproducten toe te passen als grondstof. Rodenburg bijvoorbeeld claimt zetmeel polymeren te kunnen produceren uit restproducten van consumptieaardappelen tegen een prijs vergelijkbaar met die van PE. Kosten kunnen ook worden gereduceerd

door grondstoffen te betrekken uit lage lonen landen. Goudsbloemteelt in Nederland voor oplosmiddelen voor verf bijvoorbeeld bleek in Nederland onrendabel, maar in Marokko rendabel.

### G.3 Biologische conversie

In Tabel 13 is een samenvattend overzicht gegeven voor enkele eindproducten geproduceerd via bioraffinage, die nu al grootschalig zouden kunnen worden geproduceerd.

Tabel 13 Indicatieve specificaties voor bioconversieroutes

	Huidige potentieel op EU15-markt		Relatieve CO <sub>2</sub> -emissie <sup>31</sup>	Relatieve prijs <sup>32</sup>
	% markt	Mton/jaar		
PLA	100% ?	20-30 <sup>33</sup>	Negatief - 40%	300-400%
PLA-folie				500-600%
Etheen/PE	± 100%	± 10	± 100%	80-100%
Aceton	± 100%	4	n.b.	n.b.
Butanol	± 100%	2	n.b.	n.b.

In onderstaande paragrafen worden potentie, kosten en milieuaspecten van deze producten verder besproken.

#### Voorbeelden van/en routes

Biologische conversie komt kort gezegd neer op omzetting van organische polymeren middels micro-organismen in monomeren. De monomeren zijn een eenduidige grondstof en kunnen weer worden gebruikt als bouwstenen voor platform chemicals en eindproducten. Biologische conversie biedt daarmee de mogelijkheid om biomassa te laten aansluiten bij de bestaande petrochemie.

Voor de omzetting van polymeren als suikers en eiwitten voor navolgende processen is fermentatie binnen het veld de dominante technologie. Een scan van de literatuur op het gebied van chemicaliënproductie middels biologische processen ((Frauenhofer, 2003; BREW, 2005), diverse websites) laat zien dat zo ongeveer alle bekende initiatieven gebaseerd zijn op fermentatie.

Voorbeelden van nu of vroeger grootschalig toegepaste routes zijn bijvoorbeeld:

- De productie van ethanol uit suikers, gevolgd door dehydratatie tot etheen over een zure katalysator bij 170°C. Deze techniek wordt momenteel nog steeds toegepast in regio's met beperkte aardolie raffinage capaciteit en lage suikerprijzen, zoals India en China. Ethanolfabrieken hebben een verwerkingscapaciteit van honderden kilotonnen per jaar.
- Het ABE-proces waarin suikers door fermentatie werden omgezet in aceton, butanol en ethanol, met de nadruk op aceton en butanol. Dit proces was voor de tweede wereldoorlog de belangrijkste productieroute voor aceton en butanol. Productievolumes bedroegen honderden kiloton-

<sup>31</sup> Ten opzichte van CO<sub>2</sub>-emissies bij productie op basis van aardolie.

<sup>32</sup> Ten opzichte van fossiele alternatief.

<sup>33</sup> Vervangt in potentie PE/PP, mogelijk ook PS en PVC.

nen per jaar. Momenteel wordt geprobeerd dit proces nieuw leven in te blazen in bijvoorbeeld Frankrijk.

- Productie van 1,3-propaandiol bij DuPont in de V.S. Het product wordt verwerkt in plastics.

Nieuwe technische ontwikkelingen richten zich ondermeer op:

- productie van ethanol uit xylose en xylose polymeren - op korte termijn;
- productie van iso-sorbitol - een mogelijk nieuw platform chemical voor polyesters;
- productie van stikstofbevattende verbindingen, met name natuurlijke polyamiden, bijvoorbeeld cyanophycine, dat in polyasparaginezuur kan worden omgezet.

Ontwikkelingen op het vlak van fermentatie worden door een aantal maatschappelijke en economische processen bevorderd:

- politieke ambities om meer biobrandstoffen in de transportsector toe te passen;
- productie van nieuwe platform chemicals met toegevoegde waarde, die op basis van petrochemische producten moeilijk produceerbaar zijn (bijvoorbeeld 1,3-propaandiol);
- productie van platform chemicals waarvan productie op basis van petrochemische grondstoffen veel energie en hulpstoffen vergt (nitrilverbindingen);
- hoge prijs voor olie, zoektocht naar goedkopere grondstoffen.

De potentie voor deze routes is alleen al met de huidige beschikbare technologie enorm: in principe kan via dehydratatie van ethanol en het ABE-proces een Europese markt van 10 Mton etheen vervanging in PE en PVC en een markt van 6 Mton aan butanol en aceton worden bediend. Daar komt nog bij dat met PLA waarschijnlijk ook PP en PS kunnen worden beconcurrerd. Dat dit nu niet gebeurt zegt iets over de kosten voor deze routes.

### Kosten en milieuprestaties

De proceskosten voor een fermentatieproces hangen mede af van:

- de kosten voor het substraat;
- investeringen voor fermentatie reactor;
- kosten voor afscheiden en zuiveren van het product - chemicaliën en energie;
- kosten voor afzet van restproducten.

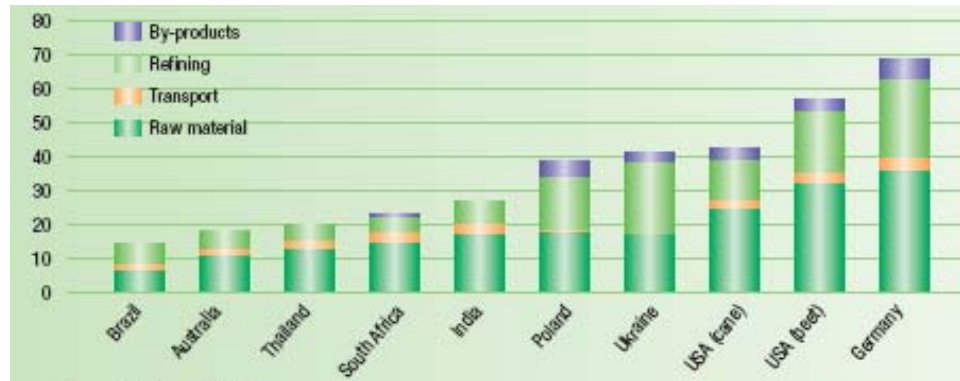
Ethanolproductie is een voorbeeld van een geoptimaliseerd proces omdat zelfs met een duur substraat als glucose uit suikerbiet nog een lage productprijs kan worden verkregen, terwijl de kapitaallasten nauwelijks bijdragen aan de kosten. Het proces heeft een hoge efficiency, een hoge selectiviteit voor productie van ethanol (weinig bijproducten) en hoge productie per eenheid reactorvolume.

Kosten zouden kunnen worden gedrukt door toepassing van restproducten uit de voeding- en genotmiddelenindustrie en uit de landbouw. Er zijn echter een aantal kanttekeningen bij dit idee te plaatsen:

- De grondstof kan componenten bevatten, die micro-organismen remmen in groei en productie. Het is bijvoorbeeld bekend dat ruwe glycerine componenten bevat die storend zijn in de productie van 1,3 propaandiol (Frauenhofer, 2002).
- Het is mogelijk dat anders als bij glucose grote hoeveelheden restproducten ontstaan die als afval moeten worden verwijderd.

Kosten kunnen ook worden beperkt door teelt van landbouwgewassen voor grondstoffen in lage lonen landen. Het is echter waarschijnlijk dat bulk-productie waarvoor de technische kennis beperkt is zich ook in die landen vestigt.

Figuur 13 Kostprijs voor suikerproductie in diverse landen (€/ton suiker)



Als gevolg van energiegebruik en emissies tijdens het proces is de milieubelasting van biologische conversie vaak hoger dan de milieubelasting van petrochemische conversieroutes. Dit nadeel overtreft in sommige gevallen de lagere broeikasgasemissies door uitsparing van aardolie. Tabel 14 geeft een indicatieve vergelijking van kosten en CO<sub>2</sub>-emissies van producten gebaseerd op biologische conversie vs. petrochemische conversie.

Tabel 14 Vergelijking bioproducten en petroproducten op milieubelasting en kostprijs

	Bioproduct			Petroproduct			Vervangt
	Prijs (€/kg)	Energie Behoefte (GJ/ton)	CO <sub>2</sub> (ton/ton)	Prijs (€/kg)	Energie behoefte (GJ/ton)	CO <sub>2</sub> (ton/ton)	
PLA	3,30-3,40						
- PLA-folie	5,50-6,00			1,00	77-85	3,0	PE/PP
- PLA van rogge			62	1,00	77-85	3,0	PE/PP
- PLA van wei			40	1,00	77-85	3,0	PE/PP
- Nature works			54	3,3	77-85	3,0	PE/PP
PHA	10-20		81	4,8	75-85	3,0	PE/PP
PUR, biobased polyol	4,40-5,40		?	?			
Bio-ethanol	0,5	± 10		0,5	63		Ethanol uit aardolie
Bio-etheen	0,6	20	1,1	0,7	66	1,4	Etheen uit nafta

## G.4 Thermochemische conversie

Met het oog op de bestaande chemie in Zeeland zijn de volgende processen relevant:

- Fischer Tropsch-synthese en HTU-proces met deoxy-hydrogenatie voor de productie van nafta, LPG en diesel als grondstof voor DOW (al behandeld in voorgaand hoofdstuk);
- houtskoolproductie voor de productie van cokes en anodes voor Thermphos en Zalco en teer of pitch voor de productie van anodes.

### Fischer Tropsch-synthese en HTU-proces

Het zal nog circa tien tot vijftien jaar ontwikkeling vergen voordat commercieel rijpe processen gerealiseerd zijn. De potentie voor deze route beslaat zo ongeveer het gehele petrochemische veld omdat deze processen kunnen worden gebruikt voor productie van de in deze industrietaak geconsumeerde grondstoffen - nafta, LPG, diesel.

De thermochemische conversieroutes zijn duur en alleen concurrerend bij toepassing van gratis biomassa en bij hoge olie- en gasprijzen.

Er is een milieuvoordeel, voornamelijk vanwege de uitsparing van de koolstofinhoud van de gesubstitueerde petrochemische grondstoffen. Voor milieubelasting en kosten geldt dat de bereidstelling van de biomassa - de teelt en nabewerking - weinig tot niks moet bijdragen om te kunnen concurreren met petrochemische routes.

Beide processen zouden kunnen worden gebruikt voor het dekken van de behoefte aan grondstoffen bij DOW. Op basis van de gerapporteerde totale CO<sub>2</sub>-emissie voor DOW en het opgestelde W/K vermogen schatten we dat DOW momenteel ongeveer 30 PJ/jaar aan grondstoffen gebruikt.

Ervan uitgaande dat op termijn vooral compatibele tweede generatie biobrandstoffen als Fischer Tropsch-diesel of HTU-diesel worden gebruikt schatten we de behoefte aan biomassa op ongeveer het dubbele (65 PJ/jaar), equivalent met ongeveer 3,5 Mton droge biomassa. Teelt van kort rotatie hakhout in Europa (10 ton d.s./ha/jaar aan opbrengst) zou 350.000 hectaren vergen, bijna twee maal het oppervlak van de provincie Zeeland.