

**CE**

**Oplossingen voor  
milieu, economie  
en technologie**

Oude Delft 180

2611 HH Delft

tel: 015 2 150 150

fax: 015 2 150 151

e-mail: ce@ce.nl

website: www.ce.nl

Besloten Vennootschap

KvK 27251086

## **Is er een vruchtbare toekomst voor groene grondstoffen in Nederland?**

Een evaluatie ten behoeve van het  
transitiemanagement

### **Rapport**

Delft, augustus 2006

Opgesteld door: H.J. (Harry) Croezen  
G.C. (Geert) Bergsma  
M.C.M. (Marjolein) Koot



# Colofon

Bibliotheekgegevens rapport:

H.J. (Harry) Croezen, G.C. (Geert) Bergsma, M.C.M. (Marjolein) Koot

Is er een vruchtbare toekomst voor groene grondstoffen in Nederland? : Een evaluatie ten behoeve van het transitie management

Delft, CE, 2006

Grondstoffen / Biomassa / Technologie / Productie / Kosten / Milieubelasting / Analyse /

Publicatienummer: 06.8218.43

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

Opdrachtgever: Natuur- en Milieuplanbureau.

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

© copyright, CE, Delft

## **CE**

### **Oplossingen voor milieu, economie en technologie**

CE 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.

De meest actuele informatie van CE is te vinden op de website: [www.ce.nl](http://www.ce.nl).

Dit rapport is gedrukt op 100% kringlooppapier.

# Inhoud

Samenvatting	1
1 Groene grondstoffen terug van weggeweest?	5
1.1 Eerdere transitie van groene grondstoffen weg	5
1.2 Beoogde re-transitie richting vernieuwde groene grondstoffen: bio-producten	6
1.3 Leeswijzer	8
2 Van olie en gas naar product	11
2.1 Overzicht over de markt	11
2.2 Milieudruk per eenheid product	16
2.3 Doelwit voor vervanging	18
3 Nieuwe bioproducts	19
3.1 Potentiële conversie routes, overzicht	19
3.2 Toelichting op technologische routes	20
3.2.1 Bioraffinage	20
3.2.2 Biologische conversie	24
3.2.3 Thermo chemische conversie	31
3.3 Samenvatting en conclusies: de mondiale potenties voor bioproducts	33
3.3.1 Bioraffinage	34
3.3.2 Biologische conversie	34
3.3.3 Thermochemische conversie	35
3.4 Visie van stake holders	35
4 Geteelde biomassa of restproducten, milieubelasting en kosten van de grondstoffen	37
4.1 Inleiding	37
4.2 Milieubelasting van grondstoffen	37
4.2.1 Marktprijzen voor suikers en perspectief voor fermentatie - in Nederland en elders	39
4.3 Genetisch gemodificeerde gewassen	40
5 Inventarisatie Groene grondstof initiatieven in Nederland	43
5.1 Overzicht over bestaande initiatieven	43
5.2 Grondstoffen beschikbaarheid: halen we het met 'onze' grondstoffen	48
6 Het speelveld van de groene grondstoffen in Nederland	51
6.1 Spelers en het speelveld	51
6.2 Competitie om biomassa met biobrandstoffen en bio-energie	53
6.3 Andere bio-opties niet alleen meer geld maar ook meer aandacht door concrete politieke doelen	53
6.4 Stimulerende en remmende ontwikkelingen voor groene grondstoffen	54
6.5 Samenwerking landbouw en chemie	55
6.6 Vergelijking met andere transitie sporen	55
6.7 Overkoepelend	56

7	Conclusies en aanbevelingen	57
7.1	Antwoord op de voorliggende vragen: conclusies	57
	Literatuurlijst	61
A	Een bloemlezing uit LCA's over biopolymeren en andere groene producten en grondstoffen	67
B	Overzicht Nederlandse initiatieven	83

## Samenvatting

Het MNP (Milieu- en Natuurplanbureau) is gevraagd om het transitie management te evalueren. Net als het transitie management zelf is de evaluatie van dit instrument nieuw en een zoekproces. Het MNP heeft er voor gekozen op basis van het inzoomen op een aantal systeemopties en een meta-analyse van deze bevindingen te komen tot een eerste evaluatieresultaat.

CE heeft in het kader van de evaluatie voor MNP voor de systeemoptie 'Groene Grondstoffen' een analyse uitgevoerd van de huidige stand der techniek en de te verwachten ontwikkelingen daarin. Gebruikte bronnen betreffen literatuurstudies en interviews met een zestal mensen 'uit het veld'. In de studie is ook een globaal inzicht in de aan 'groene grondstoffen gerelateerde productiekosten en milieubelasting gegenereerd, afgezet tegen de productiekosten en milieubelasting voor de concurrerende gangbare petrochemische alternatieven.

Uit de beschikbare informatie blijkt naar ons idee dat op dit moment al veel technologie beschikbaar is en in principe een aanzienlijk deel tot een zeer groot deel van de huidige grondstoffen technisch gezien zou kunnen worden geproduceerd op basis van biomassa. Ter illustratie enkele cijfers uit geraadpleegde bronnen in Tabel 1.

Tabel 1 Productieomvang en –potentieel en relatieve kosten en broeikasgasemissies voor enkele op biomassa gebaseerde producten

	Productie (kton/jaar)		Huidige potentieel op EU-markt		Toekomstig potentieel (kton)	Relatieve CO <sub>2</sub> -emissie	Relatieve prijs
	NL	EU	% markt	kton/jaar			
Smeermiddelen		40	10%	370	?	50%	200% - 300%
Oplosmiddelen	?	30	10%	200	?	10% - 50%	80% - 300%
Inkten	nihil	?	±10%	120	?		
Bioplastics:							
- via bioraffinage (zetmeel);	40	?				35% - 50%	100% - 300%
- via fermentatie (PLA, etc.)	5	?			35.000	Negatief - 40%	100% - 2.000%
Vergassing, HTU	-	-			68.000	± 50%	≥ 100%

Belangrijkste knelpunten voor de introductie op de markt zijn met name de kostprijs en de onbekendheid met het product bij afnemers. Bij kostprijzen die soms 2 - 3 maal hoger liggen als voor de te vervangen gangbare petrochemische producten wordt vaak alleen geïmplementeerd wanneer het petrochemische product vanwege de milieuschade bij toepassing ervan (smeermiddelen, oplosmiddelen, inkten en verven) wordt verboden of wanneer een eindgebruiker zich als duurzaam wil profileren (bioplastics). Er zijn een beperkt aantal voorbeelden gevonden waarin productie op basis van biomassa goedkoper is als productie op basis van petrochemische grondstoffen (ethanol, 1,3 propaandiol). Dit hangt samen met de kosten voor de technologie, maar in Europa zeker ook met de vaak hoge

kosten voor landbouw gewassen en afgeleide producten. De productiekosten voor suiker zijn bijvoorbeeld 2½ - 4½ maal hoger als in Brazilië. Daarnaast ontbreekt soms nog de technologie om bepaalde eindproducten of intermediaire producten te kunnen produceren, bijvoorbeeld voor intermediaire chemische producten als 2,3-butaandiol, acrylzuur, acrylamide en acrylnitril, adipinezuur.

De voordelen van groene grondstoffen qua milieubelasting bij productie betreffen vooral de lagere toxiciteit bij gebruik van bepaalde producten (smeermiddelen, oplosmiddelen, inkt en verven).

Milieubelasting per eenheid product in de vorm van broeikasgasemissies is vaak alleen lager omdat een petrochemische grondstof - en dus de fossiele energie-inhoud en koolstof inhoud van deze grondstof - wordt uitgespaard. Maar de productieprocessen voor groene grondstoffen zijn vaak minder efficiënt met energie als de petrochemische productieroutes. Mogelijke uitzondering is de productie van chemicaliën waarin een stikstofatoom is opgenomen.

Bovendien kan bij de teelt van met name eiwit producerende gewassen (bijvoorbeeld koolzaad) een significante emissie van broeikasgassen optreden door de benodigde gift aan stikstof meststoffen. Meerjarige olieproducerende of suikerproducerende gewassen hebben dit euvel vaak niet.

Een derde kanttekening voor specifiek de toepassing van geteelde biomassa als grondstof is dat het benodigde ruimtegebruik van dit soort grondstoffen een ernstige aanslag op het milieu kan veroorzaken wanneer natuur moet wijken voor teeltarealen. Het verdient dan ook de aanbeveling zoveel mogelijk gebruik te maken van reststromen of anders van gewassen met een zo hoog mogelijke opbrengst per hectare aan nuttige componenten in het gewas (suikerriet, suikerbiet, palmolie).

De verdere ontwikkeling van de technologie voor de productie van groene grondstoffen is deels gerelateerd aan de ontwikkeling van technologie voor biobrandstoffen productie. De voor biobrandstoffen productie benodigde technologie kan ook worden gebruikt voor de productie van bepaalde groene grondstoffen of chemicaliën die in de chemie als grondstof kunnen worden toegepast. De huidige productie technologie voor biobrandstoffen kan goedkope grondstoffen voor groene grondstoffen productie opleveren.

Overigens is de wereldbehoefte aan voedsel zo groot, of zal deze zo groot worden naar verwachting van sommige deskundigen, dat zowel biobrandstoffen productie als de productie van groene grondstoffen op basis van geteelde biomassa feitelijk niet mogelijk is.

Een andere reden waarom groene grondstoffen worden geproduceerd of ontwikkeld is de lagere kostprijs van de productieroute in vergelijking met productie op basis van petrochemische grondstoffen (vergelijk ethanol, 1,3 propaandiol) en/of de behoefte aan een product met een duurzaam imago.

We zien verder dat in Europa de subsidie op toepassing van biomassa voor elektriciteitsproductie en voertuig brandstoffen een ongelijk speelveld heeft gecreëerd waarin ontwikkeling van groene grondstoffen minder prioriteit krijgt en waarin kosten voor de grondstoffen voor de huidige groene grondstoffen stijgen omdat

deze grondstoffen worden onttrokken aan de markt voor de gesubsidieerde toepassingen in elektriciteit productie en voertuig brandstoffen productie.

Onze aanbevelingen zijn - aansluitend bij het bovenstaande - dan ook:

- Creëer een gelijk speelveld en een overkoepelende visie op het biomassa speelveld met aandacht voor de concurrentie en mogelijke synergie tussen bio-energie, biobrandstoffen, bioproducts en voedsel.
- Overweeg om naast vergelijkbaar aan een kWhe biosubsidie een tijdelijke bioproducts CO<sub>2</sub>-reductie subsidie in te voeren.
- Overweeg om naast overheidsdoelen voor bio-energie en biobrandstoffen een doel vast te stellen voor duurzame nieuwe bioproducten.
- Zorg voor een filter waarmee kansrijke opties en routes sneller kunnen worden geselecteerd en andere sneller kunnen afvallen.
- Concentreer de inspanningen op routes met een duidelijk onafhankelijk aangetoond milieuvoordeel met een redelijk kostenplaatje.
- Focus voor subsidieverlening voor R&D ook op toegevoegde waarde wat betreft toxiciteit of dwing dat wettelijk af – bijvoorbeeld biosmeermiddelen in natuurgebieden.
- Laat de productie van bulkchemicaliën en de teelt van de benodigde gewassen buiten Nederland plaatsvinden en stimuleer op dit veld hooguit de ontwikkeling van conversietechnologie.





# 1 Groene grondstoffen terug van weggeweest?

## 1.1 Eerdere transitie van groene grondstoffen weg

Groene grondstoffen waren tot medio 19e eeuw verreweg de belangrijkste grondstoffen voor alle producten anders dan constructies (gebouwen, bruggen, fabrieken, machines, etc.) en grote transportmiddelen (schepen, treinen). Ook nu nog zijn groene grondstoffen belangrijk voor de economie, gezien de hoeveelheden van met name zetmeel, papier, hout, vetten, natuurlijke vezels (katoen, wol, linnen) die rondgaan in bijvoorbeeld de Nederlandse economie.

Maar op de markten voor vezels, behuizingen voor consumentenproducten, verpakkingen, oplosmiddelen, coatings, etc., zijn groene grondstoffen vervangen door chemicaliën of grondstoffen uit fossiele bronnen, en hebben ze de concurrentieslag verloren. De substitutie begon bij het te gelde maken van de bij cokes productie vrijkomende teren en andere organische verbindingen. Dit mechanisme werd belangrijk versterkt door het beschikbaar komen van grote hoeveelheden chemische grondstoffen uit olieraffinage ten gevolge van de toenemende vraag naar autobrandstoffen. Deze beschikbaarheid van goedkope chemische grondstoffen deed daarnaast een gehele nieuwe range aan synthetische polymeren voor toepassingen in materialen ontstaan. Het resultaat is dat:

- verven, oplosmiddelen en aceton tegenwoordig grotendeels op basis van aardolie worden gemaakt;
- rubber van rubberbomen is grotendeels vervangen door synthetische rubbers;
- katoen en linnen deels zijn vervangen door nylon en polyester;
- traditionelere kunststoffen uit groene grondstoffen als bakeliet en cellofaan voorbij zijn gestreefd of uit de markt zijn gedrukt door kunststoffen op basis van olie als polyethyleen (PE), polypropreen (PP) en PET.

Een indruk van het belang van de verschillende typen grondstoffen wordt gegeven in Tabel 1. De bouw consumeert enorme hoeveelheden materiaal. De tweede categorie is de veehouderij en aanverwante industrie met een totale consumptie van 12 - 13 Mton per jaar in de vorm van voedergewassen, dierlijke eiwitten, etc. Plantaardige grondstoffen en op plantaardige grondstoffen geproduceerde producten vormen met bijna 9 Mton (papier, hout, zetmeel gewassen) de derde en zeker niet verwaarloosbaar aandeel.

De historische opkomst van fossiele grondstoffen in plaats van groene grondstoffen kan met recht een transitie genoemd worden. Vooral gericht op het vergroten van welvaart en het verlagen van kosten.

In een aantal belangrijke sectoren als papier, zetmeel en oleochemie is fossiele transitie niet doorgedrongen.

Tabel 2 Materiaal en grondstof stromen door de Nederlandse samenleving (kton/jaar)

	Productie	Import	Export	Consumptie
Lood	22	60	17	65
Aluminium	284	510	512	282
Secundair aluminium	120	417	419	118
Nikkel	0	68	29	39
Zink	203	171	236	139
Koper	0	343	202	141
Plastics				
PE	1.223	388	1.009	603
PS	291	42	192	141
PET	211	117	161	166
PP	1.019	289	960	348
PVC	452	212	404	260
Papier	3.346	3.306	2.819	3.833
Glas	3.252	1.116	1.241	3.127
Cement	3.100	652	196	3.557
Keramik en bakstenen	2.356	742	661	2.437
Beton	25.598	0	0	25.598
Funderingszand	59.228	0	0	59.228
Staal	6.144	5.556	4.540	7.160
Zetmeel gewassen	3.542	4.136	2.409	5.270
Voedinggewassen	4.129	6.340	6.417	4.051
Dierlijke vetten	47	64	99	12
Eiwit gewassen	3	40	13	31
Dierlijke eiwitten	3.259	850	2.359	1.750
Oliegewassen	4	3.916	1.226	2.694
Dierlijke vetten	7.665	3.664	5.332	5.997
Vismeel, e.d.	284	640	518	406
Houtpulp	118	936	137	917
Voedergewassen	5.461	9.292	4.623	10.129

## 1.2 Beoogde re-transitie richting vernieuwde groene grondstoffen: bio-producten

Het huidige 'groene grondstoffen concept' is gericht op het weer vervangen van de uit - met name - olie geproduceerde grondstoffen en daarvan afgeleide materialen en andere producten. Het betreffen echter wel andere groene grondstoffen en andere ketens dat de groene grondstoffen van 100-150 jaar geleden.

Omdat re-transitie misschien overkomt als 'terug naar de goede oude tijd' (hoewel het eigenlijk back to the future is) en omdat 'groene grondstoffen' eigenlijk de lading van de initiatieven niet dekt<sup>1</sup> hebben we in deze studie de term 'bioproducten' gehanteerd.

<sup>1</sup> Zetmeel, papier, hout, tall oil, vetzuren en andere grondstoffen zijn immers eveneens 'groen'.



Achterliggende doelen bij de ontwikkeling van OBIP's in hier te lande opgestarte ontwikkelingstrajecten zijn met name:

- impuls voor de agrosector door benutting en verwaarding van agrogrondstoffen;
- realiseren van maatschappelijke effecten door duurzaamheidswinst - het bieden van alternatieven voor producten met een hoge milieubelasting per eenheid;
- vervanging van op termijn uitgeputte grondstoffen door hernieuwbare.

Bovenstaande is ook de focus van deze studie. Gangbare toepassingen in bijvoorbeeld papierindustrie, zetmeel industrie en oleochemie en worden niet behandeld. De focus is alleen op die grondstoffen die onderwerp zijn van de re-transitie.

In deze studie wordt een inventarisatie gemaakt van de huidige inspanningen en het ontwikkelingsstadium van de verschillende initiatieven. Daarbij wordt antwoord gegeven op de volgende vragen:

- 1 Wat is het huidige gebruik van groene grondstoffen door de chemie (in tonnen grondstof) en wat is het toekomstige potentieel van deze toepassing? Maak daarbij onderscheid in gerealiseerde productie, potentiële productie van lopende of geplande investeringen en het potentieel op de langere termijn (uiterlijk 2050).
- 2 Geef aan welke groene grondstoffen worden toegepast en van welke (sub)sectoren deze afkomstig zijn.
- 3 Geef aan welke toepassingen van groene grondstoffen het meest belangrijk zijn (in ton product). Maak daarbij onderscheid in bulktoepassing en producten met een hoge toegevoegde waarde (bijv. producten in de fijn-chemie).
- 4 Is er in Nederland/Europa sprake van verwerking van regionaal beschikbare groene grondstoffen of gaat het ook om importen uit regio's buiten Europa? Geef ook aan hoe de verhouding in herkomst zich in de toekomst mogelijk zal ontwikkelen. Is het waarschijnlijk dat speciale teelten een belangrijke rol zullen spelen in de toekomst.
- 5 Welke chemische en biotechnologische processen voor de conversie van groene grondstoffen worden toegepast of zijn in ontwikkeling? Zullen dat ook de processen zijn die in de toekomst het meest belangrijk zijn?
- 6 Wat zijn de belangrijkste milieu voor- en nadelen van de productie van groene grondstoffen. Probeer waar mogelijk de voor- en nadelen te kwantificeren voor m.n. de belangrijkste producten.

Per vraag hebben we de volgende nadrukken gelegd:

- Ad 1 Wij denken als gezegd de nadruk te leggen op de nieuwe toepassingen.
- Ad 2 en 3 De groene grondstoffen zijn ingedeelde conform de structuur van de organische chemie: plastics en rubbers en andere toepassingen (verf, inkt, etc.).

- Ad 4 Op basis van diverse rapporten wordt inzicht worden gegeven in het aanbod aan biomassa voor chemische processen in Nederland. De initiatieven die er zijn mondiaal en specifiek in Nederland zullen worden gebruikt voor een indicatie over de rol van speciale gewassen die specifiek worden geteeld om grondstoffen te leveren voor chemische producten.
- Ad 5 Wat betreft de processen wordt onderscheid gemaakt tussen bio-raffinage, biologische conversie processen als fermentatie en C1-processen (vergassing, pyrolyse, etc.), waarin biomassa via chemische processen wordt omgezet in kleinere componenten.
- Ad 6 De voor en nadelen voor het milieu worden geanalyseerd conform de door CML ontwikkelde LCA-methodiek en de analyse is dienovereenkomstig gebaseerd op diverse LCA's van groene grondstoffen, zoals uitgevoerd door gerenommeerde instituten als Fraunhofer, Universiteit van Utrecht en CE.

### 1.3 Leeswijzer

We beginnen de rapportage in hoofdstuk 2 met een stukje theorie door - globaal - inzicht te geven in de structuur van de petrochemie en belendende chemie op basis van aardgas. Globaal wordt aangegeven welke producten in welke omvang worden geproduceerd en wat de orde van grootte van de milieubelasting per product is. Hierdoor creëren we inzicht in de omvang van potentiële afzetmarkten en in de relevantie van die afzetmarkten voor duurzame ontwikkeling middels substitutie door - liefst - meer milieuvriendelijke groene grondstoffen of alternatieve groene producten. Ook proberen we een indicatie te geven van de kosten per type product om een indruk te geven waar de potentieel economisch meest aantrekkelijke opties voor groene grondstoffen zijn.

In hoofdstuk 3 wordt globaal aangegeven welke potentiële routes er zijn om vanuit biomassa alternatieven te bieden voor petrochemische grondstoffen, intermediaire producten of halffabrikaten en eindproducten. We brengen hierbij een structuur aan door verschillende conversieroutes te definiëren.

Technologie is één ding, beschikbaar stellen van de benodigde biomassa de andere. In hoofdstuk 4 wordt ingegaan op aspecten als kosten, milieubelasting en eventuele modificatie van biomassa voor toepassing als grondstof voor chemicaliën.

In hoofdstuk 5 geven we een inventarisatie van de ontwikkelingen in Nederland op het gebied van groene grondstoffen, waarbij de verschillende initiatieven zijn ingedeeld conform de in voorgaand hoofdstuk gedefinieerde structuur. We geven aan waar de focus ligt - op wat voor type route, op wat voor type eindproduct of intermediair product - en waarom juist deze wordt gekozen.

Aan de hand van - vooralsnog - openbare literatuur geven we per route een indicatie van kosten en milieubelasting en aan de hand van een vergelijking met de indicaties voor de milieubelasting en kosten per eenheid te substitueren



petrochemisch product geven we een indicatie van de toegevoegde waarde van de alternatieve route en het alternatieve 'groene' product.

Voor dit project hebben we naast literatuur ook via interviews met deskundigen verzamelde kennis gebruikt. Daarvoor zijn geïnterviewd:

- Edith Engelen, secretaris van het platform Groene Grondstoffen;
- Gerald van Engelen, business development manager van non food toepassingen bij Cosun;
- Jan Berends van DSM;
- professor L. van der Wielen, hoogleraar biotechnologie bij de TU Delft en één van de spillen in B-Basic, het onderzoeksprogramma voor microbiotechnologie gericht op productie van chemicaliën uit biomassa;
- Marc van der Heuvel van AKK in Den Bosch;
- professor Sanders van WUR.



## 2 Van olie en gas naar product

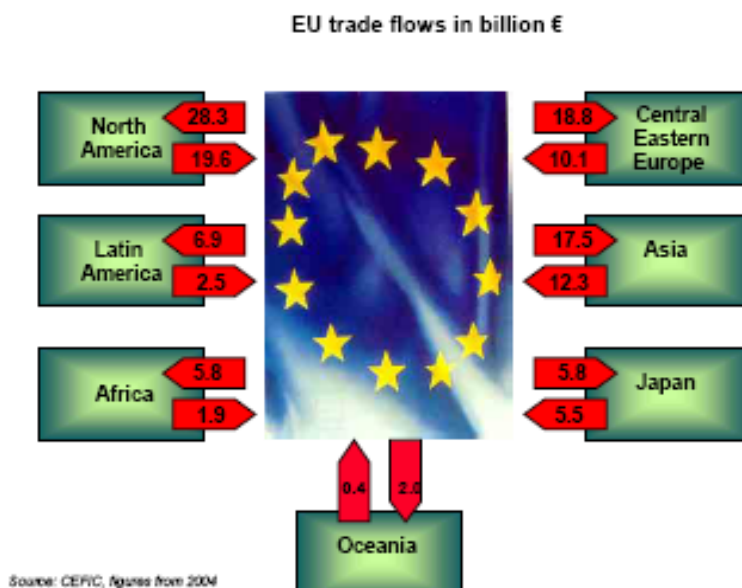
### 2.1 Overzicht over de markt

Olie en gas worden in de petrochemie en gasindustrie - met wat additieven uit de anorganische chemie - verwerkt tot een aantal intermediaire verbindingen ('intermediates') welke in de daarop aansluitende chemische producten industrie worden verwerkt tot bulkgrondstoffen<sup>2</sup> en een breed spectrum fijnchemicaliën<sup>3</sup>.

In Figuur 1 zijn de belangrijkste grondstoffen, intermediates en producten in chemische basisindustrie en chemische producten industrie aangegeven. Om het schema begrijpelijk te houden is niet geprobeerd volledig te zijn.

De Europese chemische industrie is geenszins enkel gerelateerd aan de Europese markt. De export is qua geldwaarde twee maal de import en van de productie wordt slechts 30% in de EU zelf afgezet.

Figuur 1 Handelsbalans EU voor chemische eindproducten



<sup>2</sup> Plastics, rubbers, vezels, harsen en vezels.

<sup>3</sup> Bijvoorbeeld oplosmiddelen (bijv. ethanol, butanol, aceton), antivries, weekmakers, verf en coatings, inkt, gewasbeschermingsmiddelen, lijm.

Het internationale karakter geldt zowel voor eindproducten als voor grondstoffen en brandstoffen. Zo importeert de EU circa 15 Mton Russische dieselolie en export het circa 19 Mton aan benzine naar de VS<sup>4</sup>. Een 'vervanging' van petrochemische producten of grondstoffen door hernieuwbare grondstoffen of afgeleide producten zal daarom naar onze verwachting niet direct leiden tot het instorten van de chemische industrie, maar veel eerder hooguit tot verschuiving van afzet en aanpassing van marktprijzen.

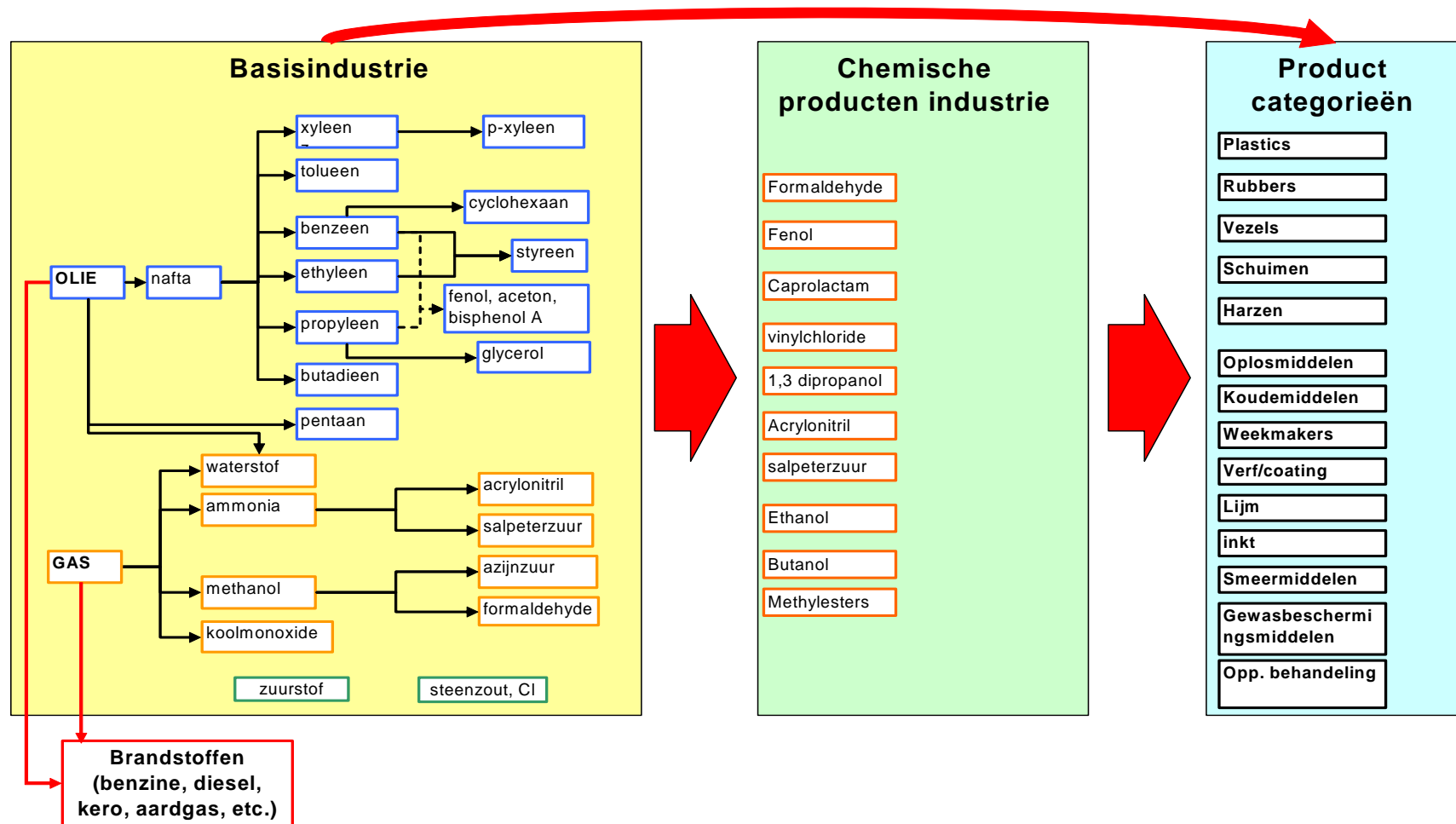
---

<sup>4</sup> Zie <http://setris.jrc.nl/docs/EUR%2021378%20EN.pdf>.





Figuur 2 Globaal overzicht over de structuur van de petrochemie en aansluitende chemische producten industrie



Een indicatie van de geconsumeerde volumes van de verschillende eind producten binnen de EU wordt gegeven in Tabel 3. De categorieën onder de noemers 'oplosmiddelen', 'verven' en 'inkten' overlappen deels omdat in de laatste twee categorieën oplosmiddelen worden toegepast.

Tabel 3 Indicatieve omvang van het gebruik van diverse chemische eindproducten binnen de EU (EU 15) (CE, 2006; Ecorys, 2005)

	Indicatieve omvang gebruik EU (kton/jaar)	Aandeel biologische oorsprong	Indicatieve markt prijs (€/ton)
Plastics, rubbers, vezels, harsen		1%	
- PE/PP	21.000	-	± 1.000
- PS	3.100	-	?
- PVC	5.800	-	?
- PET	3.800	-	800
- Polyamiden (PA)	1.400		2.000 - 4.000
- ABS/SAN (rubber)	800		2.000 - 4.000
- Polycarbonaten, acrylics, PM-MA	1.100		2.000 - 10.000
- PUR	2.700		4.400 - 5.400
- Amino harsen	2.600		2.000 - 4.000
- Fenolische harsen	1.000		2.000 - 4.000
- Epoxy harsen	400		2.000 - 4.000
- Polyesters	500		2.000 - 4.000
Oplosmiddelen:	4.000 - 4.500		500 - 1.000
- <i>Apolaire koolwaterstoffen;</i>	1.500 - 2.000		
- <i>Gechloroerde koolwaterstoffen</i>	±200		
- <i>Geoxygeneerde koolwaterstoffen</i> <sup>5</sup>	2.000 - 2.500		
Koudemiddelen	5.400		?
Verf, coating	±6.000		±1.500
Lijm	Niet bekend, 1/3 van biologische oorsprong		?
Inkt	1.000		3.000 - 3.500
Gewasbeschermingsmiddelen	?		
Smeermiddelen	4.500 - 5.000 <sup>6</sup>		
Oppervlakte behandelingsmiddelen	2.300		
Ftalaten voor weekmakers	?		
Houtbeschermingsmiddelen	?		

Het totaal aan plastics, rubbers en vezels bedraagt circa 44 Mton/jaar en het totaal aan andere producten bedraagt circa 24 Mton/jaar. Een doelstelling als geformuleerd door het platform groene grondstoffen - productie van 30% van de

<sup>5</sup> Alcoholen (± 1 Mton/jaar), esters (± 0,5 Mton/jaar), ketonen en glycol ethers.

<sup>6</sup> Zie <http://www.pra.org.uk/publications/eprn/eprnbriefing-2004.htm>.

chemicaliën op basis van biomassa - is alleen te realiseren door over het gehele palet aan producten alternatieven voor petrochemische producten te creëren. De petrochemie is klein in vergelijking met de markt voor voertuigbrandstoffen. De Europese productie aan autobrandstoffen, vliegtuigbrandstoffen en verschillende kwaliteiten stookolie bedraagt in totaal meer dan 600 Mton, de productie aan grondstoffen voor de petrochemie bedraagt slechts 80 Mton. De petrochemie is ondergeschikt aan de brandstoffen markt en is eerder een zaak van maximale verwaarding c.q. valorisering van bijproducten van de brandstof productie.

Een belangrijke plaats binnen de chemische industrie wordt ingenomen door platform chemicals, intermediaire chemische verbindingen, die worden toegepast als grondstof in een groot aantal productieroutes. Voorbeelden zijn methanol, aceton, ammoniak en laag moleculaire (= kleine) olefinen als etheen en propaan.

In Tabel 4 is een indicatief overzicht gegeven van de productievolumes voor een beperkt aantal platform chemicals. In de tabel is ook aangegeven wat op dit moment het aandeel geproduceerd op basis van biomassa is.

Tabel 4 Overzicht mondiale productievolumes voor een aantal intermediaire platform chemicals (Frauenhofer, 2003)

	Totale productie (ton/jaar)
Ethanol	25.000.000
Acrylamide	500.000
Melkzuur	80.000
Xanthaan	20.000
Glycerine	800.000
Itaconzuur	12.500
Pullulaan	10.000
Polyhydroxy alkanoaat (PHA)	750
Chitine/Chitosan	80.000
1,3-propaandiol	50.000
Lignine	1.400.000
Aceton	4.000.000
Butanol	2.000.000
1,2 – propaandiol	900.000
2,3-buaandiol	14.167.000
Acrylzuur	2.000.000
Adipinezuur	2.300.000

In Tabel 3 zijn geen prijzen gegeven. Deze blijken moeilijk te vinden in de beschikbare literatuur. Een paar gevonden prijzen:

- methanol € 250/ton - € 300/ton, bij aardgasprijzen in 2003;
- ethanol circa € 600/m<sup>3</sup>, Rotterdamse haven, productiekosten van € 200 in Brazilië;
- butanol circa € 600/m<sup>3</sup> - € 900/m<sup>3</sup>, markt in VS;

- glycerine circa € 500/ton voor ruwe glycerine (20% water), tot voor kort € 1.000 – 1.200/ton voor farmaceutische kwaliteit (99,5% puur)<sup>7</sup>.

## 2.2 Milieudruk per eenheid product

Een geschatte omvang van gebruik en van milieubelasting per type product is voor de EU (EU15) gegeven in Tabel 5. De geconsumeerde hoeveelheden hebben betrekking op 2002. Er is met opzet gerefereerd naar de EU en niet naar Nederland omdat veel van de genoemde commodities niet nationaal maar op een Europese schaal worden verhandeld.

De cijfers voor energie-inhoud en milieubelasting zijn deels gebaseerd op (CE, 2006). De energie-inhoud is ook een maat voor bepaalde vormen van milieubelasting. De energie-inhoud is vaak proportioneel met de bijdragen aan klimaatverandering, verzuring en vermesting. Daarnaast is een indicatie gegeven van de relatieve bijdrage per eenheid product aan humane en ecotoxiciteit en aan smogvorming. Hoe groter de milieubelasting c.q. bijdrage aan deze milieuthema's, hoe groter het aantal kruizen dat de gemeenschap moet dragen.

De milieubelasting bij de thermoplastische kunststoffen als PE en PP hangt voor een groot deel samen met het energiegebruik tijdens de productie. Het energiegebruik wordt vaak gedomineerd door het gebruik bij de productie van de bulkgrondstoffen oftewel het gebruik van de naftakraker en de raffinage.

Met name bepaalde typen fijnchemische producten kunnen een grote milieubelasting per gewichtseenheid veroorzaken, maar ook bepaalde plastic soorten kunnen een significante bijdrage geven vanwege de toxiciteit van de gebruikte grondstoffen. Bij de polymere producten betreft dit met name producten waarin xyleen, benzeen, pentaan, fenol, VCM, chloor en fosgeen zijn verwerkt. Smeermiddelen zijn zeer toxisch voor grondwater. Een kilo smeermiddel kan vele honderden m<sup>3</sup> grondwater verontreinigen. De toxiciteit van gewasbeschermingsmiddelen is evident.

De bovenste drie polymeren (PE/PP, PS) in de tabel hebben een energie-inhoud die twee maal die van ruwe aardolie (40 MJ/kg) is. Deze bestaat uit:

- de stookwaarde van het product;
- de bij aardolie raffinage benodigde energie;
- het energiegebruik bij nafta kraken;
- energiegebruik van polymerisatie.

De daaronder genoemde polymeren hebben een nog hoger energiegebruik. Dit hangt vooral samen met de extra energie die nodig is om in de koolwaterstoffen een hetero atoom in te bouwen.

Vooraf bij koppeling met stikstof is veel energie nodig. Er is in de synthese van deze verbindingen vaak een intermediair gechloreerd product nodig en is het energie-intensieve ammoniak of HCN nodig voor het leveren van de stikstof. Chloorproductie is ook energie-intensief. Bij zuurstof koppelen is het energie-

<sup>7</sup> De marktprijs schijnt tegenwoordig ingestort tot ongeveer de helft als gevolg van de enorme toevloed van glycerine uit biodiesel productie.



gebruik minder extreem, de zuurstof kan bijvoorbeeld aan een dubbele binding worden gekoppeld in koolwaterstoffen die compleet met dubbele binding door de nafta kraker wordt opgeleverd.

Voor oplosmiddelen, verven, inkten en andere niet-polymere producten is het lastig om gegevens over milieubelasting en energie-inhoud te vinden omdat weinig gegevens als LCA's beschikbaar zijn. Zelfs voor producten waarvoor een Europees ECO-keurmerk bestaat zoals verf zijn weinig gegevens te vinden. Op de website van ECO-keurmerk is bijvoorbeeld enkel een LCA uit 1993 te vinden.

Tabel 5 Indicatie van de milieubelasting per type product (CE, 2006; IVAM, 2003; BIO-IS, 2002)

	Benodigde energie (GJ/ton)	Toxiciteit (indicatief)	POCP (indicatief)
Plastics, rubbers, vezels, harsen			
- PE/PP	75 - 85	X / X X	X
- PS	85 - 90	X / X X	X
- PVC	60	X X X X	X
- PET	80 - 85	X X	X
- Polyamiden (PA)	120 - 140	X X	X
- ABS/SAN (rubber)	90 - 95	X	X
- Polycarbonaten, acrylics, PMMA	110	X	X
- PUR	100 - 105	X	X
- Amino harsen		X X	X
- Fenolische harsen	125	X X X X	X X
- Epoxy harsen	135	X	X
- Polyesters		X X X	X
Oplosmiddelen (als aceton, butanol, ethanol)	10 - 30		X X X X
Koudemiddelen			
Verf, coating	50 - 100		X X X X
Lijm			X X X X
Inkt			X X X X
Gewasbeschermingsmiddelen		X X X X	
Smeermiddelen		X X X	
Oppervlakte behandelingsmiddelen			X X X
Ftalaten voor weekmakers en		X X X X	
Houtbeschermingsmiddelen		X X X X	

X = weinig, XXXX = grote milieubelasting

Tabel 5 geeft een indicatie voor welke producten het vanuit duurzaamheids-oogpunt het meest zinvol is te speuren naar groene grondstoffen.

### 2.3 Doelwit voor vervanging

Gegeven de marktvolumes, prijzen en milieubelasting per eenheid product lijkt vooral de vervanging van de duurdere en meer milieubelastende kunststoffen als harsen, PA en polyesters aantrekkelijk.

Oplosmiddelen dragen weliswaar sterk bij aan met name fotochemische oxidantvorming, maar hun prijs is laag omdat het deels eenvoudige chemicaliën betreft als ethanol en butanol. Bovendien wordt met name ethanol al voor het grootste deel op basis van biomassa geproduceerd.



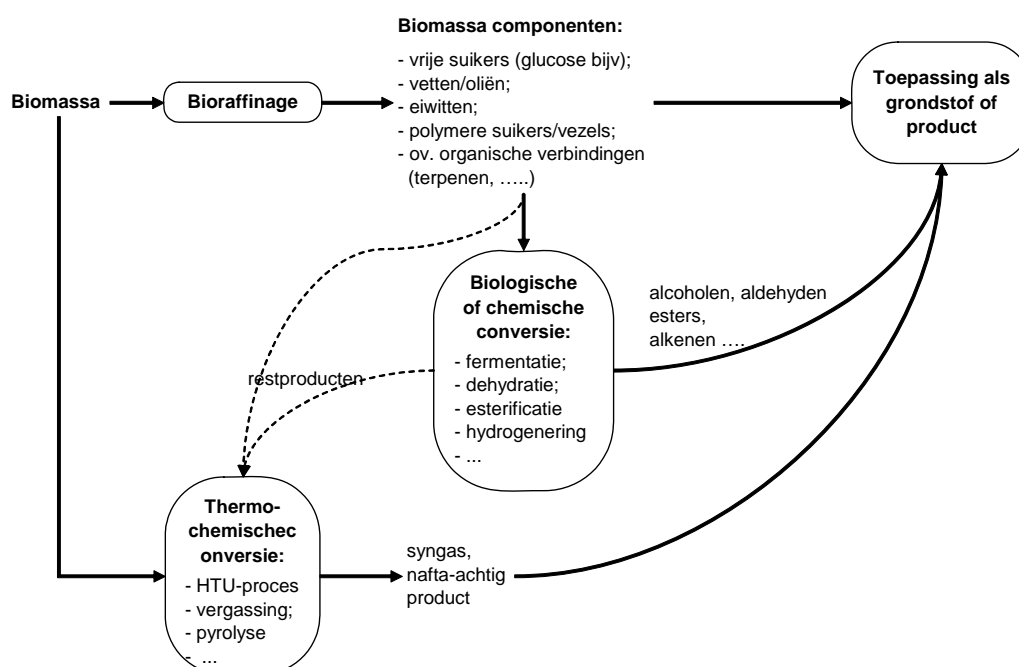
## 3 Nieuwe bioproducts

### 3.1 Potentiële conversie routes, overzicht

Biomassa is een mengsel van verschillende soorten polymere suikers en eiwitten, vetten, in sappen opgeloste mineralen en organische zuren (bijvoorbeeld azijnzuur) en andere in water oplosbare verbindingen. Houtachtig materiaal bevat bovendien lignine, een verzameling van fenolpolymeren.

Om van dit mengsel chemicaliën te maken is een aantal routes beschikbaar, weergegeven in Figuur 3.

Figuur 3 Globaal overzicht van mogelijke productieroutes voor concurrentie met petrochemische producten en intermediairs



Globaal gezien zijn er drie mogelijkheden:

- grondstoffen worden direct uit de biomassa geïsoleerd middels 'bioraffinage' en direct toegepast in eindproduct fabricage. Dit is bijvoorbeeld het geval bij textiel (katoen, linnen), papier en plantaardige oliën;
- grondstoffen worden middels 'bioraffinage' geïsoleerd en vervolgens biologisch en chemisch omgezet in nieuwe, chemisch afwijkende verbindingen;
- de biomassa wordt integraal omgezet in chemische bouwstenen.

Met de processen onder thermochemische conversie en ook met bepaalde conversieroutes via bioraffinage en conversie van geïsoleerde functionele componenten kunnen in de petrochemie als intermediairs functionerende chemische verbindingen worden gemaakt. Bekende voorbeelden zijn ethanol en producten uit syngas.

Middels directe toepassing van functionele biomassa componenten en deels ook middels geconverteerde biomassa componenten kunnen ook alternatieven voor producten en intermediairs uit de petrochemie worden geproduceerd.

Tabel 6 Aansluiting biomassa conversie routes bij huidige petrochemie

	Vervanging intermediairs petrochemie	Productie alternatief voor petrochemische grondstoffen en producten
Bioraffinage, directe toepassing		X
Bioraffinage en conversie	X	X
C1-chemie	X	

Hieronder een korte toelichting per stap.

## 3.2 Toelichting op technologische routes

### 3.2.1 Bioraffinage

De term bioraffinage is een container begrip voor een grote verscheidenheid aan activiteiten die gemeenschappelijk hebben dat een gewas of een reststroom uit de voedingsmiddelenindustrie wordt ontleed in afzonderlijke componenten. De term raffinage verwijst naar de aard van het verwerkte materiaal - een combinatie van functionele componenten - en het splitsen van het verwerkte materiaal in afzonderlijke componenten. De afgescheiden componenten kunnen worden gebruikt als grondstof in chemische of biologische processen en/of kunnen rechtstreeks worden toegepast als grondstof in eindproducten.

Bioraffinage an sich is niets nieuws. Bestaande voorbeelden van grootschalige industriële bioraffinage zijn:

- het verwerken van hout tot papier en bijproducten als tall oil is bioraffinage middels mechanisch pulpen of hydrolyse en oplossen (Sulfaatpulp);
- de verwerking van suikerbieten tot suiker, Betacal, melasse en bietenpulp middels extractie met heet water, precipitatie met kalk, indampen en kristallisatie;
- productie van zetmeel uit tarwe, maïs en aardappels middels malen, extractie met warm water en indampen;
- winning van plantaardige olie uit zaden en noten middels persen en extraheren met apolaire oplosmiddelen (hexaan bijvoorbeeld).



Wel worden nieuwe routes ontwikkeld, met name om:

- functionele componenten voor 'functional foods' te isoleren - zoals cholesterol verlagende stoffen - of andere waardevolle componenten te isoleren;
- cellulose en hemicellulose op een milieuvriendelijkere manier te isoleren uit hout en houtachtige restproducten;
- winning van chemische grondstoffen direct uit het gewas - oplosmiddelen uit goudsbloemen, kleurstof uit meekrap wortel, castor olie voor chemicaliën.

Parallel hieraan is er in de EU aandacht voor het opnieuw toepassen van traditionele gewassen voor winning van additieven voor functional foods, vezels, olie, organische kleurstoffen en oplosmiddelen als brandnetel, hennep, vlas, meekrap en goudsbloem. Wat betreft de vezeltoepassingen wordt deels ook geconcurrerd met biologische grondstoffen als wol en katoen of met hout voor vezeltoepassingen in papier. Bij deze routes komen echter ook bijproducten vrij, die kunnen worden toegepast als alternatieve grondstoffen voor chemische producten. Voorbeelden zijn de houtverduurzamingsmiddelen, die op basis van hennepolie worden geproduceerd en de toepassing van olie uit brandnetels in cosmetische producten.

#### **Ontsluiten van lignocellulose**

Bij het ontsluiten van houtachtige gewassen worden meerdere routes ontwikkeld:

- enzymatische afbraak – zie bijvoorbeeld de initiatieven van Nedalco en logen;
- afbraak met zuur of base, zoals gebruikelijk in de papierindustrie;
- ontsluiting met stoomexplosie.

De laatste technologie is commercieel verkrijgbaar, wordt aangeboden door Sun Opta uit Ontario, Canada en wordt bij een aantal fabrieken in Noord-Amerika en de EU toegepast. In Nederland wordt vooral in het laboratorium geëxperimenteerd met omzetting van lignocellulose. Nedalco bouwt daarnaast een proeffabriek. In Finland, Italië en Frankrijk blaast men echter al op commerciële schaal hout en stro op om uit de afgescheiden hemicellulose xylose te isoleren voor xylitol productie of isoleert men suikers om er aceton en butanol van te maken.

De toegepaste technologie bestaat of is gebaseerd op bestaande technologische processen – bijvoorbeeld extractie, malen, decanteren, hydrolyseren en persen. Bestaande technologische processen worden in de voedingindustrie en oleochemie toegepast op een grote schaal: papierfabrieken, zetmeelfabrieken en oliezaad verwerkende fabrieken verwerken honderden kilotonnen grondstof per jaar per fabriek.

Het product van bioraffinage is vaak een mengsel van - gelijksoortige - verbindingen en niet een spectrum aan eenduidige individuele chemische verbindingen. Zetmeel uit maïs, aardappels en tarwe heeft per grondstof andere eigenschappen, zoals een ander specifiek bereik van ketenlengte van de zetmeel polymeren. Plantaardige oliën bestaan uit een mengsel van verschillende vetzuren, variërend in lengte van 12 koolstofatomen tot meer dan het dubbele aantal koolstofatomen en met een wisselend aantal dubbele bindingen.

Het product van bioraffinage is vanwege dat karakter van mengsel en de afwijkende eigenschappen van de geïsoleerde moleculen vaak niet inzetbaar in de bestaande petrochemie. In plaats daarvan is bioraffinage een proces van

voorbewerking voor navolgende biologische conversieprocessen of levert het een product op dat direct concurreert met petrochemische producten of producten uit de anorganische chemie. Voorbeelden van concurrerende producten zijn:

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

Succesvolle implementatie van nieuwe routes blijft soms achterwegen of nieuwe routes hebben soms een beperkt succes vanwege:

- tegenvallende economische perspectieven voor eindproducten (Progras initiatief, c.q. te lage opbrengst per kilo gewas aan componenten met een hoge marktprijs);
- te hoge kosten voor verwerking (hennep als 'het 4<sup>e</sup> landbouwgewas' als papiergrondstof);
- te hoge grondstofkosten (goudsbloemteelt voor verf oplosmiddelen<sup>8</sup>);
- onbekendheid met het geleverde product (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 biosmeermiddelen gebruik in motorzagen in de bosbouw. Sowieso lijken regels rond ecotoxiciteit een sterke aanjager van bioproducts 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 modifieren zodat ze een maximale opbrengst hebben aan nuttige componenten.

### **Stand der techniek en toekomstige ontwikkelingen**

Via bioraffinage en eventuele navolgende conversies kan nu al een deel van de verschillende markten worden ingevuld met bioproducten<sup>9,10</sup>:

- Ongeveer 10% van de smeermiddelen zou kunnen worden vervangen door bioproducten, een potentie van circa 370 kton/jaar. Momenteel is de het marktaandeel voor biosmeermiddelen slechts zo'n 40 kton aan biosmeermiddelen aangeboden.
- Van de totale Europese markt voor inkten van circa 1.000 kton/jaar zou circa 120 kton kunnen worden gedekt door inkten op basis van plantaardige grondstoffen. Tot nu toe wordt een heel klein percentage van dit potentieel benut.

---

<sup>8</sup> Teelt van goudsbloem blijkt overigens wel economische rendabel in Marokko.

<sup>9</sup> Zie IENICA executive summary: <http://www.biomatnet.org/publications/f1495fin.pdf>.

<sup>10</sup> <http://www.ienica.net/>; <http://www.biomatnet.org/>.



- Er is een potentie van circa 200 kton aan oplosmiddelen op plantaardige basis op een totale markt van 2.000 kton aan oplosmiddelen op basis van koolwaterstoffen. Momenteel wordt nog slechts 30 kton gebruikt.
- Chitine kan worden gewonnen uit resten van schaaldieren en kan worden toegepast in een groot aantal polymeer toepassingen. De potentiële productiecapaciteit in de EU is nog niet duidelijk.
- Ook de potentie 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.

De potentie voor toepassing van oppervlaktebehandelingmiddelen op plantaardige basis vergt de toepassing van vetzuren met een korte ketenlengte. In Europa gangbare oliegewassen als koolzaad en zonnebloem produceren olie met een hoog gehalte aan lange vetzuren.

#### **Milieubelasting en kosten**

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

- plantaardige vezels hebben een 'eco-impact' die 50% lager is dan die van glasvezel (zie Bijlage A);
- plantaardige smeermiddelen geven een lagere of hooguit vergelijkbare 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 (25 GJ/ton i.p.v. 75 - 80 GJ/ton) 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 helaas soms meer energie dan fossiele plastics.

Producten als bioplastics en smeermiddelen uit primaire grondstoffen - d.w.z. specifiek geteelde gewassen - zijn vaak duurder dan de petrochemische alternatieven, zowel smeermiddelen als bioplastics uit zetmeel een factor 2,5 - 3. Zetmeel plastics 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.

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.

### 3.2.2 Biologische conversie

#### Techniek en ontwikkelingen

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.

De bekendste bestaande voorbeelden van biologische conversie zijn:

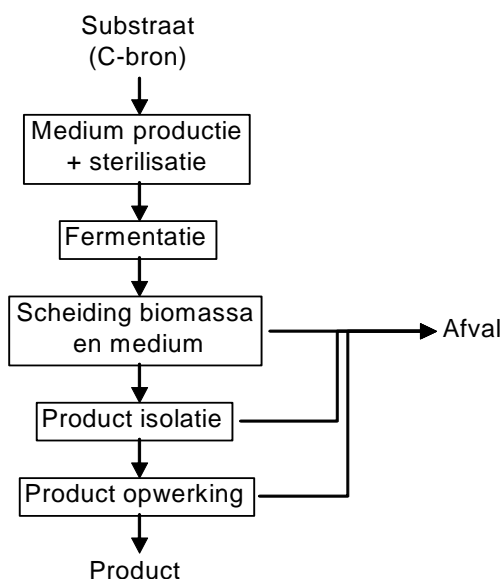
- fermentatie van glucose tot alcohol, hetzij bij wijn- en bierproductie, hetzij in grootschalige industriële installaties met productiecapaciteiten van honderden kilotonnen per jaar;
- vergisting van biomassa tot methaan en CO<sub>2</sub>.

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 chemicaliën productie middels biologische processen ((Frauenhofer, 2003; BREW, 2005), diverse websites) laat zien dat zo ongeveer alle bekende initiatieven gebaseerd zijn op fermentatie.

In Figuur 4 is een typische opzet voor een enzymatisch fermentatie proces gegeven.

Voorafgaand aan fermentatie wordt een medium bereid en gesteriliseerd. Het medium bestaat naast water uit de voedingsstoffen voor de bij fermentatie toegepaste micro-organismen - zoals C-bron<sup>11</sup> en zouten - en chemicaliën voor de juiste zuurgraad.

Figuur 4 Schema fermentatie



<sup>11</sup> Gangbaar zijn suikers en vetten, maar ook CO, CO<sub>2</sub>, methaan, glycerine en alcoholen worden genoemd.

De truc bij fermentatie is vervolgens om een micro-organisme of een team van verschillende soorten micro-organismen te vinden die:

- goedkoop te produceren zijn<sup>12</sup>;
- een zo hoog mogelijke productie per reactor volume (in g/l/uur) kunnen genereren;
- een zo hoog mogelijke selectiviteit voor het beoogde eindproduct hebben;
- een zo hoog mogelijk omzettingsrendement hebben;
- een zo geconcentreerd mogelijk eindproduct met een minimale productie aan reststoffen opleveren.

Enige specifieke waarden voor deze parameters zijn in Tabel 7 gegeven.

Tabel 7 Specificaties van enkele commercieel toegepaste fermentatie processen (Lysine, 2005; Frauenhofer, 2003)

	Specifieke Productiviteit (g/l/uur)	C-conversie naar product	Eind-Concentratie (g/l)	Stoom gebruik (% van stookwaarde)
PHA (aëroob)	2 - 5*	85% - 90%	100	
PLA (anaeroob)				
1,3-propaandiol (anaëroob)	2*	40%	100 - 130	
Ethanol (anaëroob)	10*	95%	100	20% - 25%

\*Ter vergelijking: Chemische reactoren hebben specifieke productie van 6 – 10 g/l/uur.

Voor isolatie wordt een verscheidenheid aan technieken gebruikt: filtratie (o.a. nanofiltratie en omgekeerde osmose), centrifugeren, extractie, destillatie en indampen, adsorptie.

Ontwikkeling van een route van de eerste laboratorium werkzaamheden vergen volgens openbare bronnen en geïnterviewde deskundigen in de regel 10 jaar, maximaal 20 jaar. Ontwikkeling van commerciële fermentatieprocessen voor 1,3 propaandiol en melkzuur bijvoorbeeld vergde 10 jaar, waarvan circa 5 jaar voor de ontwikkeling van een micro-organisme met een voldoende hoge productiesnelheid. Daarna is er nog steeds vijf jaar nodig om het micro-organisme en het proces op pilotschaal uit te testen voordat een first-of-a-kind installatie op commerciële schaal wordt gebouwd. Ook optimalisatie van micro-organismen voor bestaande processen vergt blijkens bijvoorbeeld de werkzaamheden van Genencore en Novozymes om cellulose goedkoper te maken blijkbaar circa 5 jaar. Er zijn ook claims dat micro-organismen met voor industriële processen voldoende goede eigenschappen in 2, hooguit 3 jaar kunnen worden ontwikkeld.

<sup>12</sup> De voor afbraak van cellulose tot fermenteerbare glucose benodigde cellulase enzymen waren enkele jaren geleden nog zo duur, dat ethanol productie op basis van hout of houtachtige gewassen onrendabel was.

### Stand der techniek

De productie van ethanol uit suikers vindt al sinds begin 20<sup>e</sup> eeuw plaats in grootschalige industriële installaties. De geproduceerde ethanol werd in regio's met goedkope suiker tot in de jaren 60 onder andere verdere verwerkt tot etheen door dehydratatie over een zure katalysator bij 170°C. Deze techniek wordt momenteel nog steeds toegepast in regio's met beperkte raffinage capaciteit en lage suikerprijzen, zoals India en China.

Een tweede belangrijk proces was 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, maar is eveneens weggeconcurrereerd door relatief goedkope petrochemische grondstoffen. Productievolumes bedroegen honderden kilotonnen per jaar.

Momenteel wordt geprobeerd dit proces nieuw leven in te blazen in bijvoorbeeld Frankrijk. In de VS is een afgeleid proces ontwikkeld waarmee enkel butanol wordt geproduceerd en dat verder zal worden ontwikkeld door BP en DuPont. Vanaf 2010 moet een omgebouwde ethanolfabriek jaarlijks 30.000 ton butanol gaan produceren.

Een overzicht van het huidige belang van fermentatie in de productie van platform chemicals wordt gegeven in Tabel 8. Hoeveelheden fermentatieproducten zijn in ingekleurde cellen weergegeven.

Nieuwe technische ontwikkelingen richten zich ondermeer op:

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

Voor een aantal belangrijke platform chemicals worden voor zover bekend geen initiatieven ontwikkeld: 2,3-butaandiol, acrylzuur, acrylamide en acrylnitril, adipinezuur.

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.



Tabel 8 Overzicht productievolumes via fermentatie van enkele platform chemicaliën in 2000 (Frauenhofer, 2003)

	Totale productie (ton/jaar)	Waarvan o.b.v. biomassa (ton/jaar)	Op petrochemische basis (ton/jaar)
Ethanol	25.000.000	23.026.000	1.974.000
Acrylamide	500.000	85.000	415.000
Melkzuur	80.000	72.000	8.000
Xanthaan	20.000	20.000	
Glycerine	800.000	15.000	785.000
- <i>chemische productie</i>			95.000
- <i>vet verestering/splitsing</i>			690.000
Itaconzuur	12.500	12.500	
Polyamiden (polyglutaminezuur en polylysine)		Enkele honderden tonnen?	
Pullulaan	10.000	10.000	
Polyhydroxy alkanooat (PHA)	750	750	
1,3-propaandiol	100.000	50.000	50.000
Aceton	4.000.000		4.000.000
Butanol	2.000.000		2.000.000
- <i>vanaf 2010</i>		30.000	
1,2 - propaandiol	900.000		900.000
2,3-buaandiol	14.167.000		14.167.000
Acrylzuur	2.000.000		2.000.000
Adipinezuur	2.300.000		2.300.000

De beide eerste drie processen waren tot nu toe dominant, met name de wens om meer biobrandstoffen toe te kunnen passen. Deze wens heeft geleid tot een toename van de ethanolproductie met circa 25 Mton/jaar in de afgelopen 30 jaar. De verwachting is dat het productievolume nog veel verder zal stijgen aangezien de politieke ambitie voor meer biobrandstoffen voor wegverkeer vooral in de EU pas sinds enkele jaren echt belangrijk wordt gevonden. In de toekomst zal hier butanol bijkomen, vanwege de betere brandstofeigenschappen waarschijnlijk ook deels voor in de plats komen. Mogelijk dat daarnaast ethanol gebruikt gaat worden - zoals in de jaren 50 - voor de productie van etheen.

Productie van nieuwe platform chemicals met toegevoegde waarde of ontwikkeling van alternatieve enzymatische processen vindt plaats vanuit de wens tot kostenoptimalisatie.

De tabel roept misschien ook de vraag op waarom sommige chemicaliën maar voor een klein percentage afkomstig zijn van biomassa en waarom niet de helft of meer. Dat zelfde geldt voor de stoffen waarvan zover bekend op dit moment geen initiatieven genomen worden. Waarom zijn er geen initiatieven?

Vanuit de beschikbare bronnen is moeilijk aan te geven waarom dit zo is. De indruk, die bijvoorbeeld door (Frauenhofer, 2002) wordt achtergelaten is dat de technologie voor de stoffen waarvoor geen initiatieven worden ondernomen momenteel nog te ver weg is. Bij de platform chemicaliën waarbij slechts een klein deel van de markt wordt gedekt door productie via fermentatie is de technologie nog niet geoptimaliseerd - nog onvoldoende productieve micro-organismen - en is mede daardoor de route gewoon nog niet concurrerend genoeg.

## Kosten en milieuprestaties

De proceskosten voor een fermentatieproces hangen mede af van:

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

In Tabel 9 is ter illustratie voor een tweetal chemicaliën de opbouw van de kosten weergegeven. Duidelijk is dat ethanol productie is geoptimaliseerd 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. Dit heeft ook te maken met de hoge efficiency van het proces en het hoge productie volume (zie Tabel 7).

Specifieke productiviteit (g/l/h) kan worden verhoogd en investeringskosten verkleind door processen continu uit te voeren in plaats van in fed batch. Ethanol bijvoorbeeld wordt in continue fermentatieprocessen geproduceerd.

Tabel 9 Productiekosten voor een drietal chemicaliën op basis van glucose

	Productie-capaciteit (ton/jaar)	Investering: (M€)	Substraat kosten (€/ton product)*	Energie kosten (€/ton product)	Personeel + kapitaal (€/ton product)	Afvoer rest-producten (€/ton product)	
1,3 propaandiol <sup>13</sup>	45.000	77	610 (210)	60	440	n.b.	1.110
Ethanol uit suikerbiet	100.000	70	350 (650)	50	150?		550

\*Tussen haakjes prijs substraat (€/ton).

Een alternatief zou goedkope biomassa in de vorm 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.

De milieubelasting van op basis van fermentatie geproduceerde chemicaliën en eindproducten wordt zeker niet alleen bepaald door het fermentatieproces. Het aan fermentatie gerelateerde energiegebruik kan hoog zijn en zwaar kan meewegen bij lage eindconcentraties eindproduct omdat in dat geval veel reactie-medium op temperatuur en in beweging moet worden gehouden. Maar daarnaast kunnen energie-intensieve processen, een groot aantal nageschakelde stappen en gebruik van oplosmiddelen de totale milieubelasting eveneens sterk verhogen. De emissies over de hele keten zijn helaas regelmatig zelfs hoger dan bij het product gebaseerd op fossiele grondstoffen.

<sup>13</sup> <http://www.cleandedge.com/story.php?nID=3750>.





Enkele voorbeelden:

a De door Nature Works, een dochter van Cargill, opgegeven 54 GJ/ton PLA aan procesenergie bestaat uit:

- maïsteelt en malen van maïs, 5,3 GJ/ton;
- omzetting maïs zetmeel in dextrose middels hydrolyse, 9,4 GJ/ton;
- omzetting van dextrose in melkzuur middels fermentatie, 26,3 GJ/ton;
- omzetting van melkzuur in lactide en polymersatie (ringvormige koolwaterstof vormen en weer openen), 13,2 GJ/ton.

Productie van het concurrerende PE vergt een procesenergie input van 35 GJ/ton tot 45 GJ/ton, minder dus dan de PLA-route.

b Ethanolproductie uit suikerriet of suikerbiet en dehydratatie van ethanol over een katalysator bij 170°C vergt een energie input van circa 20 GJ (9 GJ destillatie, 11 GJ dehydratatie) en er ontstaat een CO<sub>2</sub>-emissie van circa 1,1 ton/ton etheen, exclusief energiegebruik voor en broeikasgas emissies tijdens gewasteelt. Fermentatie kost nauwelijks energie want is in dit geval exotherm.

Productie van etheen uit nafta vergt een procesenergie van circa 20 GJ en geeft een CO<sub>2</sub>-emissie van 1,4 ton/ton etheen. Ook hier is zeker als er tijdens teelt emissie optreden door kunstmest maar een bescheiden broeikaswinst.

c Productie van PHA geeft in vergelijking met PE, ook wanneer de fossiele energie-inhoud van PE en het gehalte aan koolstof van fossiele oorsprong in PE wordt verdisconteerd, hogere CO<sub>2</sub>-emissies en een hoger totaal energiegebruik. Ook de score op toxiciteit is aanzienlijk slechter als voor PE-productie. Reden is het gebruik van veel energie en van oplosmiddelen bij de isolatie van PHA.

Tabel 10 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	1,00	77 - 85	3,0	PE/PP
PPT (met 0,35 kg/kg PDO à € 1,77/kg)	1,15	65	2,9	0,80	80 - 85	6,5	PET
PBT, ongevulde pure polymeer	2,85 - 3,00	?	?	1,80	81 - 85	6,5	PET
PHA	10 - 20	81	4,8	1,00	75 - 85	3,0	PE/PP
PUR, biobased polyol	4,40 - 5,40	?	?				
Ethanol	0,5	±10		0,5	63		Ethanol
Etheen	0,6	20	1,1 excl. Teelt	0,7	66	1,4	Etheen

Samenvattend: het lijkt er op dat de op biologische conversie gebaseerde routes an sich niet efficiënter of schoner zijn dan de petrochemische conversieroutes. Vaak is het omgekeerde het geval. Op biologische conversie gebaseerde routes geven lagere broeikasgasemissies vooral door uitsparing van energiedragers met koolstof van fossiele oorsprong.

In deze vergelijking is echter nog niet het energiegebruik en de milieubelasting gerelateerd aan bereidstellen van de gebruikte biomassa grondstof verdisconteerd. Deze varieert van heel groot (bij intensieve teelt gepaard gaande met ontbossing) tot zeer beperkt (reststromen met een lage marktwaarde).

Er worden in Nederland claims gemaakt als zou productie van chemicaliën via biologische conversie van biomassa soms 3 - 4 maal meer broeikasgasemissies uitsparen als vervanging van transportbrandstoffen door 'biobrandstoffen'. In de eerste plaats zijn deze claims met de beschikbare informatie moeilijk te verifiëren. In de tweede plaats: biobrandstoffen geven bij productie en gebruik een 30% - 90% lagere broeikasgasemissie als hun fossiele tegenhangers. Als de claim waar is, zou inzet van biomassa in de chemie gekoppeld moeten zijn aan een 'sink' van CO<sub>2</sub>, bijvoorbeeld in de vorm van CO<sub>2</sub>-opslag. Zelfs bij toepassing van biobrandstoffen met een beperkte reductiepotentieel wordt immers altijd nog gemiddeld 30% en het drie- tot viervoudige hiervan is bijna 100% tot meer dan 100%.

De reductie aan broeikasgassen bij productie van nieuwe bioproducts op basis van plantaardige conversie varieert dus in het algemeen tot een vergroting van de emissies tot ongeveer 60% reductie. Voor overheidsbeleid is het daarmee cruciaal bij stimulering onderscheid te gaan maken op basis van deze parameter.

### 3.2.3 Thermo chemische conversie

De conversie van biomassa in chemische bouwstenen is relatief nieuw. De oudste voorbeelden zijn de in de tweede wereldoorlog toegepast biomassa en turf vergassers voor productie van stookgas. Deze techniek wordt nu verder ontwikkeld.

Binnen het veld van chemisch thermische conversies worden in het algemeen 3 routes ontwikkeld:

- allotherme vergassing of vergassing met zuurstof;
- pyrolyse;
- hydrolyse en pyrolyse met superkritisch water.

De motivatie voor de ontwikkeling van deze technologieën is niet de productie van groene grondstoffen, maar productie van biobrandstoffen voor verkeer en vervoer en de ontwikkeling van een route voor de inzet van biomassa in elektriciteitsopwekking met een hoog rendement.

## Vergassing

Vergassing levert synthesesgas, voornamelijk CO en H<sub>2</sub>. Synthesegas als grondstof voor productie van chemicaliën als ammoniak, methanol, oxo-chemicaliën en koolwaterstoffen (via Fischer Tropsch synthese) zijn commercieel gangbare technieken. Vergassing van biomassa is gedemonstreerd in pilotinstallaties. Verdere ontwikkeling van de techniek tot een volwassen technologie op commerciële schaal zal naar algemeen wordt verwacht nog 10 jaar vergen. Er is een kans dat wervelbed vergassing met zuurstof eerder marktrijp is<sup>14</sup>.

Vergassing is zeer geschikt voor verwerking van droge heterogene biomassa en restproducten. De op basis van synthesesgas te maken producten zijn bulkproducten uit de bestaande petrochemie, zodat vergassing in principe de weg kan openen voor biomassa naar bulkchemie.

Vergassing met navolgende productie van chemicaliën heeft een energetisch rendement van circa 50% - 60%. Uitgespaarde broeikasgasemissies bedragen 40 tot 55 kg/GJ product, wanneer eventuele broeikasgasemissies bij de bereidstelling van de biomassa niet worden verdisconteerd<sup>15</sup>. Uitsparing van broeikasgasemissies is niet zozeer gerelateerd aan een efficiënter of schoner proces, maar puur aan het gehalte aan koolstof van fossiele oorsprong in de gesubstitueerde fossiele energiedragers (aardgas, nafta, etc.).

Kosten voor afschrijvingen en bedrijfsvoering en onderhoud zijn zowel voor methanol als voor Fischer Tropsch diesel in de orde van € 10 - € 15 per GJ product. Hier komen de kosten voor de biomassa nog bij. Ter vergelijking:

- productiekosten voor methanol, inclusief aardgas kosten, bedragen circa € 12/GJ - € 15/GJ;
- de huidige marktprijs voor nafta bedraagt bij de huidige olieprijsen ongeveer € 15/GJ en bij de prijzen uit de periode 2001 - 2004 ongeveer € 7/GJ.

Productie van deze bulkchemicaliën op basis van biomassa kan alleen economisch concurreren wanneer de biomassa gratis is en de olieprijsen en gasprijzen hoog.

## Pyrolyse

Bij pyrolyse worden de polymere ketens in biomassa afgebroken tot char, teer en kleinere condenseerbare en gasvormige verbindingen. Het product spectrum hangt sterk af van de verwerkte biomassa, maar ook van de toegepaste technologie. De techniek biedt in principe de mogelijkheid voor productie van etheen (25%), benzeen (25%) en CO (45%) uit biomassa. De techniek is al medio jaren

---

<sup>14</sup> Vergassing van biomassa met zuurstof is eind jaren 80 en in de eerste helft van de jaren 90 in Europa toegepast in commerciële installaties voor de productie van synthesesgas uit laagwaardige brandstoffen als turf en bruinkool voor de productie van ammoniak (Kemira Oy in Oulu, Finland) en methanol (Berrenrath, Duitsland) en is ook beproefd voor lastigere brandstoffen als RDF uit huisvuil en biomassa. De techniek wordt nu niet meer toegepast. De fabrieken zijn gesloten vanwege de gedurende lange tijd lage aardgasprijzen.

<sup>15</sup> Deze indicatieve waarden zijn als volgt bepaald:

- 50% reductie bij vervanging van methanol uit aardgas = 50% x 80 kg/GJ ≈ 40 kg/GJ;
- 60% reductie bij vervanging van benzine = 60% x 89 kg/GJ ≈ 55 kg/GJ.

90 op pilot schaal beproefd, maar is voor zover ons bekend nooit commercieel geworden. Bij nadruk op olieproductie ontstaat een waterhoudende olie met daarin ruim 100 verschillende organische verbindingen. Isolatie van de verbindingen of verdere verwerking van de olie middels bijvoorbeeld hydrogenering bevindt zich nog aan het begin van het ontwikkelingstraject.

Pyrolyse lijkt daarom vooralsnog vooral geschikt als een voorbereidingsproces.

### Superkritisch water

De bekendste toepassing van superkritisch water als reactiemedium en reactant is het in Nederland ontwikkelde HTU-proces. Het product is een soort ruwe aardolie, die via hydrogenatie kan worden opgewerkt tot nafta, kerosine en andere gangbare brandstoffen en grondstoffen voor de bulkpetrochemie. De techniek is inmiddels gedemonstreerd en het wachten is op voldoende investeerders voor de eerste commerciële installatie. Het zal naar verwachting nog 10 - 15 jaar duren voordat de technologie marktrijp is. De techniek is bij uitstek geschikt voor de verwerking van natte biomassa reststromen zoals natte bietenpulp.

Het energetisch rendement van biomassa tot chemische grondstof bedraagt circa 50% en de uitgespaarde CO<sub>2</sub>-emissie per bedraagt circa 45 kg/GJ product, wanneer broeikasgasemissies voor bereidstelling van de biomassa niet worden verdisconteerd. Uitsparing van broeikasgasemissies is ook hier weer niet zozeer gerelateerd aan een efficiënter of schoner proces, maar puur aan het gehalte aan koolstof van fossiele oorsprong in de gesubstitueerde fossiele energiedragers (aardgas, nafta, etc.).

Productiekosten voor een grootschalig systeem met meerdere HTU-installaties en hydrogenatie van circa 5 Mton natte biomassa tot circa 200 kton nafta en diesel bedragen circa € 6/GJ - € 8/GJ product, zonder aanschafkosten voor de biomassa.

### 3.3 Samenvatting en conclusies: de mondiale potenties voor bioproducts

In Tabel 11 samengevat kan de potentie van de verschillende routes als volgt worden weergegeven.

Tabel 11 Overzicht verwachtingen voor prestaties van de verschillende conversieroutes

	Huidige marktaandeel	Potentie markt (kton/jaar)	Prijs (relatief)	Milieubelasting (relatief)
Bioraffinage	80	800	2 - 3 maal hoger	Lager (50%?)
Biologische conversie	250	16.000 - 20.000	Gelijk of hoger	Soms beter, soms niet
Thermochemische conversie	-	68.000	Gelijk of hoger	Beter, mits juiste biomassa grondstof

Een nadere toelichting is hieronder in drie aparte subparagrafen bijgevoegd.

### 3.3.1 **Bioraffinage**

Bioraffinage als directe productieroute voor producten en grondstoffen is op zich een gangbare technologie, die deels verder wordt ontwikkeld, deels weer nieuw leven in wordt geblazen. De huidige potentie is binnen de EU ongeveer 800 kton, voornamelijk in andere toepassingen dan plastics. Van dit potentieel wordt nog slechts zo'n 10% benut. De potentie voor bioplastics op basis van bijvoorbeeld zetmeel en chitine is niet duidelijk.

Bioraffinage wordt toegepast en ontwikkeld met het oog op de productie van concurrerende en vooral juist van duurzamere, minder milieubelastende producten.

Via bioraffinage geproduceerde producten en grondstoffen hebben vaak een lagere milieubelasting als de petrochemische alternatieven, maar de bioproducten zijn in de regel ook duurder, tenzij reststromen kunnen worden gebruikt.

### 3.3.2 **Biologische conversie**

Grondstoffen en producten op basis van biologische conversie hebben nu mondiaal gezien een afzetmarkt van 20 - 30 Mton, voor het overgrote deel ethanol voor toepassing als brandstof in wegvervoer. Daarnaast wordt mondiaal circa 250 kton aan andere platform chemicals en bioplastics afgezet.

De potentie 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.

De internationale technologische ontwikkeling richt zich op en op ontwikkeling van nieuwe platform chemicals, met name iso-sorbitol en stikstof bevattende verbindingen. Concurrerende petrochemische producten zijn met name PET, polyesters en polyamiden met een afzetmarkt van enkele Mtonnen per jaar. Voor een aantal belangrijke platform chemicals worden voor zover bekend geen initiatieven ontwikkeld: 2,3-butaandiol, acrylzuur, acrylamide en acrylnitril, adipinezuur.

Via biologische procesroutes geproduceerde grondstoffen en producten kunnen concurrerend geprijsd zijn in vergelijking met petrochemische alternatieven. Maar dan moet de grondstof goedkoop zijn.

Het lijkt er op dat de op biologische conversie gebaseerde productieroutes an sich niet efficiënter of schoner zijn dan de petrochemische conversieroutes. Vaak is het omgekeerde het geval. Op biologische conversie gebaseerde routes geven lagere broeikasgasemissies voornamelijk door uitsparing van energiedragers met koolstof van fossiele oorsprong, vaak niet door hogere energieefficiency. In deze vergelijking is echter nog niet het energiegebruik en de milieubelasting gerelateerd aan bereidstellen van de gebruikte biomassa grondstof



verdisconteerd. Deze varieert van heel groot (bij intensieve teelt gepaard gaande met ontbossing) tot zeer beperkt (reststromen met een lage marktwaarde).

Een belangrijke drijfveer voor de ontwikkeling van ethanol en butanol is toepassing als voertuigbrandstof. Bij ontwikkeling van andere producten en platform chemicaliën speelt eerder ontwikkeling van goedkopere routes of van producten met toegevoegde waarde als betere mechanische eigenschappen of biologische afbreekbaarheid.

### **3.3.3 Thermochemische conversie**

Productie van chemicaliën via thermochemische conversie van biomassa is nog in ontwikkeling en zal nog tien tot vijftien jaar ontwikkeling vergen voordat commercieel rijpe processen gerealiseerd zijn.

De potentie voor deze route is beslaat zo ongeveer het gehele petrochemische veld.

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 vervangen petrochemische grondstoffen. Niet omdat de processen zoveel efficiënter zijn als de petrochemische productieroutes. Voor milieubelasting en kosten geldt dat de bereidstelling van de biomassa weinig tot niks moet bijdragen om te kunnen concurreren met petrochemische routes.

De ontwikkeling van deze routes is niet gerelateerd aan ontwikkeling van het groene chemie veld, maar aan de wens om biomassa als transportbrandstof en in elektriciteitsproductie in te kunnen zetten.

## **3.4 Visie van stake holders**

De diverse geïnterviewde stake holders gaven allen aan dat ontwikkeling en stimulering van groene chemie niet op één route zou moeten zijn gericht, maar dat alle routes parallel aan elkaar zouden moeten worden ontwikkeld en gestimuleerd.

Er was wel hier en daar een verschil in inzicht wat hierbij de beste insteek was. Er was bij een aantal stake holders een voorkeur voor aansluiting bij de bestaande petrochemische industrie door productie van vooral bestaande platform chemicals. Vooral thermochemische conversieroutes en op suiker gebaseerde biologische conversieroutes sluiten hier in principe goed bij aan. Vanwege het relatief geringe belang van de petrochemie in vergelijking met het belang van de brandstoffen markt en vanwege de sterke stimulering van de technologie zou zoveel mogelijk moeten worden aangesloten bij de ontwikkelingen in de biobrandstoffen markt. Dit kan qua technologische ontwikkeling (ethanol uit houtachtige grondstoffen, thermochemische conversie), maar ook door gebruik te maken van de eventueel bij biobrandstoffen productie overblijvende reststromen bijvoorbeeld glycerine. Deze zouden een lage marktprijs hebben door de enorme hoeveel-

heid, die bij grootschalige biobrandstoffen productie overblijft. Hierbij is echter ook concurrentie met de gesubsidieerde bio-energiesector om grondstoffen.

Maar zoals één stake holder aangaf, bij de zogenaamde 2<sup>e</sup>-generatie biobrandstof productieroutes blijven nauwelijks reststromen over en is er alleen kans voor groene chemie door tijdens biobrandstoffen productie waardevolle componenten uit biomassa af te scheiden of door het eindproduct of bijproducten te gebruiken. Ethanol bijvoorbeeld kan als gezegd prima als grondstof voor chemische producten worden gebruikt. Productie van diesel via Fischer Tropsch synthese uit synthesesgas levert ook nevenproducten als nafta en wassen op.

Er is verder een verschillend inzicht in de aandacht die zou moeten worden besteed aan ontwikkeling van stikstof verbindingen. De ene stake holder legt hier de nadruk omdat door gebruik te maken van natuurlijke stikstofbevattende moleculen en vanwege het hoge energiegebruik bij productie van dergelijke verbindingen op basis van petrochemische grondstoffen hier een grote reductie in energiegebruik en milieubelasting mogelijk zou zijn.

De andere stake holder geeft als mening dat stikstof kringlopen in de teelt ook gesloten dienen te worden en dat het daarom beter is om stikstofverbindingen uit biomassa als meststof te gebruiken. Bovendien wordt op die manier ook gebruik van fossiele energie (NH<sub>3</sub>- en HNO<sub>3</sub>-productie uit aardgas) uitgespaard.

Naast de aan biobrandstoffen gerelateerde ontwikkelingen zullen er ook bioproducten worden ontwikkeld vanwege de unieke eigenschappen in vergelijking met concurrerende petrochemische producten. Dit kunnen als gezegd betere fysische eigenschappen zijn, maar kunnen ook een lagere milieubelasting bij productie en/of gebruik zijn. Ook biologische afbreekbaarheid is een reden voor de ontwikkeling.

De verwachting van een aantal geïnterviewde stake holders is dat deze ontwikkeling parallel zal lopen aan de ontwikkeling van productieroutes voor bij de petrochemie aansluitende platform chemicals. Een aanbeveling van één stake holder was om ontwikkeling middels wetgeving te stimuleren en bijvoorbeeld gebruik van milieuvriendelijkere bioproducten te verplichten.



## 4 Geteelde biomassa of restproducten, milieubelasting en kosten van de grondstoffen

### 4.1 Inleiding

In voorgaand hoofdstuk is een overzicht gegeven van de verschillende technische mogelijkheden voor de productie van bioproducten. Daarbij is enkel de technologie beschouwd, niet de bereidstelling van de te gebruiken biomassa.

Bereidstelling van de grondstoffen heeft echter een enorme invloed op de totale kosten van en milieubelasting gerelateerd aan bioproducten. De broeikasgas-emissie gerelateerd aan bijvoorbeeld een plantaardige olie is zeer verschillend voor verschillende gewassen. Er is zowel in kostprijs als in aan de grondstof gerelateerde milieubelasting een groot verschil tussen middels intensieve teelt met inzet van veel kunstmest geteelde grondstoffen en biomassa reststromen zonder marktwaarde.

Mogelijk, maar misschien ook niet, kan modificatie via kruisen of genetische aanpassingen van gewassen de aan teelt gerelateerde kosten en milieubelasting reduceren.

Al deze aspecten worden hieronder in drie aparte paragrafen verder uitgediept.

### 4.2 Milieubelasting van grondstoffen

Qua toe te passen biomassa zou grosso modo onderscheid kunnen worden gemaakt tussen:

- geteeld hout en andere;
- geteelde suikerhoudende gewassen voor fermentatieprocessen - suikerbiet, suikerriet, sweet sorghum;
- geteelde oliehoudende gewassen voor oleochemie, smeermiddelen en vetzuur fermentatie - bijvoorbeeld koolzaad, castor olie;
- voor specialty chemicals geteelde gewassen - bijvoorbeeld rode meekrap;
- houtachtige reststromen en reststromen met een hoog gehalte aan cellulose en andere moeilijk afbreekbare componenten (stro, bietenpulp);
- reststromen met nog een hoog gehalte aan makkelijk afbreekbare suikers - bijvoorbeeld restproducten van zetmeel aardappel verwerking.

Vanuit kostenoogpunt en milieuoogpunt is vooral inzet van restproducten met een lage of nihil marktwaarde aantrekkelijk (zie Tabel 12):

- lagere milieudruk, omdat geen teelt met bijkomend gebruik van energie, meststoffen en gewasbeschermingsmiddelen nodig is;
- lagere kosten vanwege de lagere marktprijs van het materiaal;
- toegevoegde waarde voor de aanbieder c.q. producent van het restmateriaal.

Tabel 12 Voorbeelden van kosten en milieubelasting voor enkele gewassen en reststromen (GM, 2002), (

	Marktprijs in Nederland (€/ton)	Bijdrage broeikasgas emissies (kg CO <sub>2</sub> -eq/ton)	Gehalte aan			
			Opgeloste suikers en zetmeel	Cellulose en hemicellulose	Eiwitten	Olie
Suikerbiet	35	64	60% - 65%	10%		
- bietenpulp	90 - 100	-	3%	46%		
Koolzaad	200	880		40%	20%	40% - 45%
- olie	600 - 650					100%
- eiwitrijk schroot	400			60%	30% - 35%	5% - 10%
Stro (tarwe)	40	15		80%		

Toelichting bij tabel:

Suikerbieten vergen relatief weinig mest en hebben een hoge opbrengst per hectare (60 ton), waardoor de milieudruk per eenheid biet laag is. Het restproduct bietenpulp van suikerproductie komt qua milieubelasting min of meer gratis.

Koolzaad heeft juist veel mest nodig voor het aanmaken van eiwitten en heeft een lage opbrengst per hectare en dus een hoog specifiek energiegebruik voor grondbewerking en vergelijkbare werkzaamheden.

Maar zoals aangegeven in paragraaf 3.2.2 kunnen reststromen zeker bij biologische conversieprocessen ook nadelen hebben:

- het materiaal kan voor kwaliteit van eindproduct en voor micro-organismen storende stoffen bevatten;
- er kunnen bij conversie restproducten ontstaan, die tegen meerkosten moeten worden verwijderd;
- de voor conversie waardevolle componenten komen in dusdanig lage concentraties voor dat relatief veel reststof moet worden gebruikt en inkoop en proceskosten hoog zijn;
- de kwaliteit wil nog wel eens fluctueren.

Een deel van de reststromen bezit deze nadelen echter niet en is goed en stabiel in te zetten. Speciaal interessant zijn reststromen die nu in grote hoeveelheden in lage prijzen op de markt komen door het snel aanjagen van de biobrandstoffen markt. Het gaat dan om eiwitrijke reststromen, parafine, etc. Deze grondstoffen dalen nu sterk in prijs door het grote aanbod uit de biobrandstoffensector, zijn stabiel qua samenstelling en daarmee interessant voor de bioproducts sector.

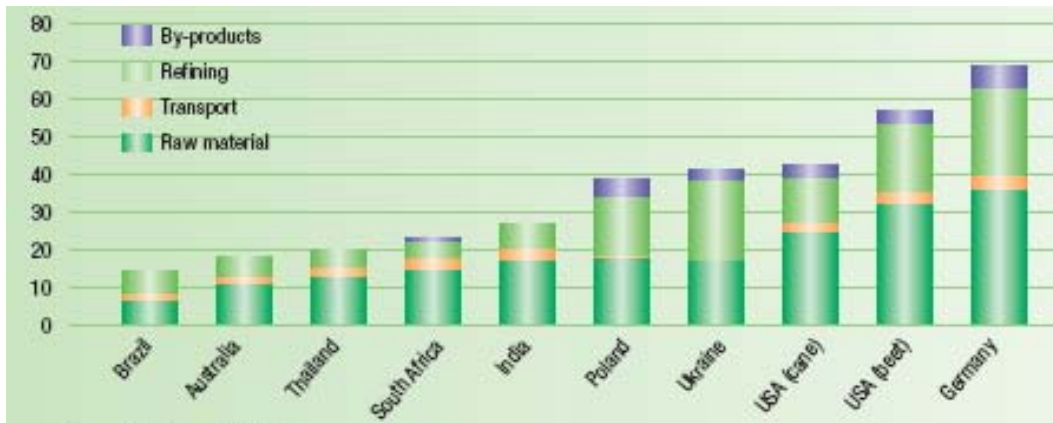
Bij teelt van gewassen of bij inzet van restproducten met een hoge marktwaarde kunnen nog indirecte vormen van milieubelasting optreden. Intensivering van het gebruik van geteelde biomassa als grondstof kan het noodzakelijk maken om te ontbossen en extra landbouw areaal te creëren. Dit gaat gepaard met verlies aan natuur en biodiversiteit en verhoogt de kans op plagen en ziekten doordat het ecosysteem minder opvangvermogen heeft. Bovendien wordt bij ontbossing koolstof vrijgemaakt uit bodem en gewassen en aan de koolstofkringloop toegevoegd. De emissie van broeikasgassen kan enorm zijn, zeker bij teelt op veenbodems.

Een dergelijk effect kan ook optreden bij gebruik van restproducten die anders bijvoorbeeld in de veevoeder sector zouden worden ingezet. Wegzuigen van deze stromen kan teelt van primaire gewassen noodzakelijk maken om het ontstane gat op te vullen. En extra teelt kan weer leiden tot verdere ontbossing.

#### 4.2.1 Marktprijzen voor suikers en perspectief voor fermentatie - in Nederland en elders

Suiker in de Europese markt is duur en zeker in Nederland en Duitsland, zoals Figuur 5 laat zien. Dat betekent dat systemen gebaseerd op fermentatie van primaire suikers in Nederland weinig kans heeft ten opzichte van een concurrent in bijvoorbeeld een land als Polen of de VS, laat staan ten opzichte van een concurrent in Brazilië of Australië.

Figuur 5 Kostprijs voor suikerproductie in diverse landen (€/ton suiker)



Het betekent daarnaast dat biotechnologische processen in Nederland minder concurrentiekansen hebben ten opzichte van petrochemische processen. De kosten voor substraat zijn in de biotechnologische routes van biomassa naar product belangrijk, want ze vormen 1/3 tot de helft van de totale productprijs.

Een alternatief zou goedkope biomassa in de vorm van restproducten uit de voeding- en genotmiddelenindustrie en uit de landbouw. Er zijn echter een aantal kanttekeningen bij dit idee te plaatsen:

- In de eerste plaats bestaat deze industrie ook in de lagere lonen landen en zijn daar ook dergelijke restproducten voorhanden. Dus is de vraag wat het concurrentievoordeel is.
- In de tweede plaats is vaak een voorbewerking nodig om de fermenteerbare suikers vrij te zetten, zeker bij hout of houtachtige reststromen. Dit geeft extra investerings- en operationele kosten.
- In de derde plaats is het transport en inzameling vaak aanzienlijk duurder als bij een geconcentreerde vloeistof als glucose. Stro aanleveren bijvoorbeeld kost circa € 40/ton. Op zich niet geweldig veel, maar misschien wel net genoeg voor een potentiële aanbieder om het materiaal maar niet aan te bieden.

- In de vierde plaats kan het materiaal 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).
- In de vijfde plaats is het mogelijk dat anders als bij glucose grote hoeveelheden restproducten ontstaan die als afval moeten worden verwijderd.

Kortom, het is niet gezegd dat een restproduct als grondstof gebruiken voordelen biedt of überhaupt mogelijk is.

Dat het kan wordt bijvoorbeeld bewezen door de productie van plastics uit aardappel reststoffen bij Rodenburg en van PLA uit wei.

Het is echter steeds case specifiek te bepalen of reststromen kunnen worden toegepast en of dit voordelen oplevert.

### 4.3 Genetisch gemodificeerde gewassen

Andere ontwikkelingen zijn gericht op het genetisch modifieren van het gewas zodat het meer van het beoogde product aanmaakt. Voorbeelden zijn:

- hennep, gemodificeerd voor hoger percentage lange vezels;
- modificatie van bepaalde - niet bekende - gewassen voor de in situ productie van PHA - een bioplastic;
- genetische modificatie van zetmeel aardappelen voor het verkrijgen van een betere zetmeel kwaliteit.

Deze ontwikkelingen schijnen maar moeizaam van de grond te komen. Dit heeft deels een technische oorzaak, maar hangt deels ook samen met de publieke perceptie op GMO.

Voor genetische modificatie van gewassen staan in principe drie routes open:

- kruisen van gewassen;
- sys-modificatie: het inbouwen van complete delen van andere gewassen;
- trans-modificatie: genetisch modifieren van het gewas zelf.

Kruisen van gewassen wordt al sinds millennia gedaan en is nog steeds een route met veel potentie. De techniek schijnt als nadeel te hebben dat het relatief veel tijd kost om de eigenschappen van een gewas aan te passen. Kruisen van gewassen wordt momenteel toegepast om maïs en grassoorten met een hoge droge stof opbrengst te ontwikkelen met het oog op vergisting en inzet in thermische processen.

Sys-modificatie en trans-modificatie zijn technisch complexere processen en pogingen nieuwe eigenschappen in te bouwen zijn niet altijd succesvol. Zo heeft Monsanto-initiatieven ten aanzien van in situ PHA-productie gestaakt omdat de ontwikkeling van een dergelijk gewas via genetische modificatie technisch te gecompliceerd bleek. Ook de ervaringen met gewassen die resistenter zijn tegen plagen en bestrijdingsmiddelen zijn niet altijd succesvol. Maïs en soja die



geschikt zijn gemaakt voor toepassing van het bestrijdingsmiddel 'roundup' blijken frequent een lagere productiviteit te hebben dan de reguliere gewassen en bovendien blijkt het te bestrijden onkruid binnen korte tijd resistent te worden. De voordelen van sys- en trans-modificatie zijn het sneller kunnen aanpassen van de gewaseigenschappen en de mogelijkheid om meer gewaseigenschappen te kunnen aanpassen. De potentiële voordelen zijn duidelijk, maar de technologie is blijkbaar weerbarstig. Tot nu toe is ons geen succes bekend uit deze hoek.

Naast de technische barrières speelt bij sys- en trans-modificatie van gewassen ook de in Europa negatieve publieke perceptie een rol bij het niet van de grond komen. Bij AVEBE's beslissing om geen genetisch gemodificeerde zetmeel aardappelen te ontwikkelen speelde publieke perceptie nadrukkelijk een rol. Die negatieve perceptie is deels ook terecht. Roundup ready maïs blijkt zich in de VS. wél te verspreiden en via natuurlijke weg te kruisen met andere maïssoorten, ondanks alle beloften van de producent Monsanto dat dit niet mogelijk zou zijn.

### **GMO inzetten in de fabriek**

Rond toepassing van genetisch gemodificeerde organismen in industriële processen speelt een hele andere discussie en deze toepassing is ook veel breder geaccepteerd. Zo wordt de inzet van GMO-gist en GMO-enzymen voor de productie van tweede generatie ethanol uit houtige biomassa over algemeen geaccepteerd door de milieubeweging mits er wordt voldaan aan voldoende veiligheidseisen. Deze contained toepassing van GMO voor bioproducten is daarmee over het algemeen ook redelijk geaccepteerd.



## 5 Inventarisatie Groene grondstof initiatieven in Nederland

### 5.1 Overzicht over bestaande initiatieven

Er zijn in Nederland zo'n 25 binnen het kader van deze studie passende initiatieven (zie Tabel 13), qua mate van ontwikkeling variërend van fundamenteel onderzoek tot commercieel uitontwikkelde productie routes (zie ook Tabel 22 in bijlage B). Het overzicht is gegenereerd op basis van

- de websites van EET-programma, IOP-programma en EOS van SenterNovem;
- de website van IVAM;
- de website van plant research institute en Agrotechnology & Food Innovations van WUR;
- de website van het Platform Groene Grondstoffen.

Projecten waarover geen informatie is gevonden binnen de voor het project beschikbare tijdbestek zijn bijvoorbeeld:

- Uniqema: bio-based smeermiddelen (priolube);
- Desch Plantpak; biobased containers voor potplanten met producties van 15.000-35.000 stuks);
- Bioclip van Deleco;
- Noviant (Nijmegen, CMC);
- Rodachem (Roosendaal, castor oil).

#### Het spectrum aan beoogde producten

De in ontwikkeling zijnde of inmiddels ontwikkelde initiatieven richten zich met name op plastics en verven. Er is daarnaast één initiatief op het gebied van lijmen (ecobinder) en één initiatief op het gebied van oppervlakteactieve stoffen c.q. oplosmiddelen (TOPROM).

De initiatieven op het gebied van plastics richten zich zowel op plastics waarmee de thermoplasten PE/PP en PS kunnen worden vervangen (PLA, zetmeel polymeren) als op de meer specialty plastics en rubbers (PHA voor rubber).

Initiatieven op het gebied van inktten, koudemiddelen en smeermiddelen ontbreken. Maar mogelijk zijn resultaten voor verven en oplosmiddelen ook toepasbaar op het gebied van inktten.

Ook ontwikkeling van alternatieven voor de meer milieubelastende plastics als polyamiden, fenolische harsen en polyesters ontbreken.

Wat ook ontbreekt - en node gemist wordt als mogelijkheid om droge niet biologisch omzetbare biomassa reststromen te verwerken - is vergassing dat een voor productie van chemische grondstoffen geschikt productgas oplevert. Aan de andere kant kan deze technologie nu al in het buitenland worden aangeschaft.

Het HTU-proces kan deze rol op korte termijn gaan vervullen voor natte biomassa reststromen.

De toegevoegde waarde van onderzoek naar enzymatische afbraak van houtachtige biomassa en van aceton, butanol en ethanol uit ontsloten houtachtige biomassa is een beetje Fragwürdig. De technologie om houtachtige biomassa te ontsluiten bestaat al (zie paragraaf 3.1).





Tabel 13 Overzicht projecten in Nederland

	Beschrijving	Initiatiefnemer	Ontwikkelingsstadium				Rest-stromen?	Chemische grondstoffen of producten?
			Commercieel	Demo	Pilot	Laboratorium		
Bioraffinage								
- Progras initiatief	Ontleden gras in waardevolle componenten middels malen	AVEBE		X			ja (berm-gras)	ja
- Oplosmiddel voor alkydverf	Oplosmiddel uit goudbloem			X			nee	ja
Biologische conversie								
• fermentatie en melkzuur polymerisatie		PURAC	X				?	ja
• omzetting zetmeel in afbreekbare bioplastics	Zetmeel uit aardappelschillen verwerkt tot plastics	Rodenburg	X				ja	ja
• aanslagremmers op basis van inuline	Oppervlakte-actieve stof o.b.v. inuline	Sensus	X				nee	ja
• conditioner in cosmetica	Vetzure inuline-ester als conditioner	Sensus	X				nee	ja
• Bioethanol-Melkzuur						X	ja	ja
• ABE proces	Micro-biologische productie van aceton butanol en ethanol middels fermentatie	A & F			X		ja	ja
• Olie uit reststoffen	Omzetting restproducten middels schimmels	A & F				X	ja	ja
• EU Sustainpack project: nieuwe op agro-vezels gebaseerde producten	Nanovezels en nanokleien	A & F				X	?	ja
• EU Biofoam project: nieuwe polyesters		A & F				X	?	ja
• omzetting van vetzuren in PHA, grondstof voor afbreekbare rubber, latex en kaascoating		A & F, TU Delft, PURAC, AVEBE e.a.				X	?	ja
• Open tijd verlengers	Ander oplosmiddel o.b.v. eiwit voor professionele markt met als voordeel verlenging van droogtijd	A & F				X	?	ja

	Beschrijving	Initiatiefnemer	Ontwikkelingsstadium				Rest-stromen?	Chemische grondstoffen of producten?
			Commercieel	Demo	Pilot	Laboratorium		
• Weekmakers uit suikers	Omzetting van glucose in isosorbide esters	A & F en PVC industrie			X		?	ja
• Milieuvriendelijke houtverduurzaming		A&F, Cindu, Triodos, Syntens				X (?)	?	ja
• Brandvertragende bouwmaterialen		A&F, SHR Hout Research, div. bedrijven				X (?)	?	ja
• Ecobinder	Binders op basis van furfuryl alcohol en lignine voor productie van duurzaam hout, emissievrije houtvezel plaatmaterialen en oplosmiddelresistente 3-dimensionale composiet producten	A & F				X	?	ja
• TOPROM: vetzuuresters voor metaalbewerking	Productie en toepassing van vetzuren uit plantaardige oliën als ontvetter in metaalproducten industrie				X		?	ja
• Oplosmiddelen voor alkydverf	Op basis van plantaardige oliën	A & F, Ursa paint			X		?	ja
• Anti corrosie coating	Biopolymeren als anticorrosie additieven voor waterdragende heavy duty coatings	TNO, RU Groningen + Utrecht, div. bedrijven						
C1-chemie								
- HTU-proces				X				ja
- Kleinschalige CFB vergasingsstechnologie			X					nee
- Pyrolyse			X					nee

De technologie om ethanol te produceren is technisch uitontwikkeld. Voor butanol is een zeer veelbelovende alternatieve route in ontwikkeling in de VS. die de belofte heeft goedkoop energetisch zeer efficiënt te zijn<sup>16</sup>. Er zou misschien beter een andere insteek kunnen worden overwogen: productie van aceton middels genetisch gemodificeerde micro-organismen.

### **Technologieën**

Veel initiatieven gaan uit van fermentatie. Onderzoek van met name A & F is gericht op ontwikkeling van op gist gebaseerde micro-organismen voor industriële fermentatie routes. Dit is in lijn met de internationale ontwikkelingen binnen industrie en onderzoekswereld, waar de nadruk van de technische innovatie eveneens op fermentatie ligt. Het veld van nanovezels en nanoklei lijkt nog sterk op het niveau van fundamenteel onderzoek te staan.

### **Stand van technologie ontwikkeling**

Het spectrum aan initiatieven is er één van groen en rijp door elkaar, van fundamenteel onderzoek tot commercieel aangeboden producten.

Een aantal producten wordt vanuit commerciële bedrijven aangeboden of verder ontwikkeld, met name op het gebied van C1-chemie en bioplastics. De huidige productieomvang bedraagt:

- Rodenburg zetmeel polymeren: circa 40.000 ton/jaar;
- PURAC PLA: enkele honderden tonnen per jaar;
- Sensus: hooguit enkele tientallen tonnen per jaar.

Ook bij deze producten en processen is het uitgangspunt toepassing van reststromen uit voedingsmiddelenindustrie en landbouw. De verdere ontwikkeling van het uit geteelde cichorei gewonnen inuline als grondstof voor chemische producten leunt op de toepassing van inuline als component in functional foods. Overigens is op dit terrein zowel onderzoek als commerciële activiteit te bespeuren. Er wordt nog onderzoek gedaan naar toepassing van afgeleide producten als wateronthardingsmiddel en dergelijke, maar toepassing van inuline of afgeleide producten in cosmetica is inmiddels een commercieel gegeven.

De initiatieven die zijn ontstaan vanuit het E.E.T.-programma en het I.O.P. Zware Metalen programma zijn helaas nog niet zover ontwikkeld dat ze ook commercieel toegepast kunnen worden.

Interessante routes met een groot potentieel qua toepassingsgebieden (Suspac, Biofoam, PHA-rubbers) of waarin mogelijk producten worden gerealiseerd met een duidelijk lagere milieudruk als hun gangbare tegenhangers (houtverduurzaming, brandvertragers, Ecobinder) staan helaas nog aan het begin van het ontwikkelingstraject. Aangezien het in de regel minstens 10, maar eerder 15 - 20 schijnt te duren voordat een technologie vanaf laboratoriumschaal op commerciële schaal is gebracht zal het nog de nodige tijd duren voordat deze routes hun bijdrage kunnen leveren.

---

<sup>16</sup> Zie bijvoorbeeld Production of Butyric Acid and Butanol from Biomass' van David Ramey en Shang-Tian Yang.

Het lijkt in principe mogelijk om op termijn met de beoogde producten de doelstelling van het Platform Groene grondstoffen - vervanging van 20% van de chemische producten in 2030 - te realiseren. Of dat al in 2030 zal zijn is nog een beetje de vraag.

Daarnaast blijkt uit Europese onderzoeken dat nu al een aanzienlijk deel van de markt voor smeermiddelen en inktten zou kunnen worden ingevuld door bioproducten met een lagere milieubelasting per eenheid product (zie paragraaf 3.1). Deze mogelijkheid wordt tot nu toe in Nederland en in de rest van Europa niet benut.

### **Milieuvoordelen en kostenvoordelen?**

De huidige commercieel al gerijpte trajecten als zetmeelpolymeren en PLA geven als gezegd een milieuvoordeel ten opzichte van de te vervangen petrochemische producten, zie paragraaf 3.2.2. PLA is echter zoals aangegeven in dezelfde paragraaf deels ook erg duur. De door Rodenburg geproduceerde plastics kunnen naar het schijnt wel concurreren met de petrochemische tegenhangers.

Wat de voordelen en concurrentiepositie van producten uit goudsbloem en insuline betreft ontbreekt de informatie om hierover iets te kunnen zeggen.

De in ontwikkeling initiatieven richten zich deels sterk op fijnchemicaliën. Er is wat betreft de in onderzoek zijnde trajecten een tweeledige insteek:

- valorisatie van restproducten uit de bestaande voedingsmiddelenindustrie;
- vervanging van producten met een hoge specifieke milieubelasting door duurzame en hernieuwbare alternatieven.

Eén en ander belooft de ontwikkeling van producten met een duidelijk toegevoegde waarde vanuit milieuoogpunt.

Gezien de beoogde producten (verven en duurdere plastics) zijn er ook mogelijkheden voor kostentechnisch aantrekkelijke routes.

## **5.2 Grondstoffen beschikbaarheid: halen we het met 'onze' grondstoffen**

Zoals in voorgaande paragraaf uiteen is gezet is er een veelheid aan initiatieven waarmee waarschijnlijk op de termijn van 20 - 30 jaar tientallen procenten van onze behoefte aan chemische producten kan worden gedekt. Vraag is nog of er in Nederland voldoende biomassa - of land - is om de gerelateerde grondstoffen behoefte te kunnen dekken. Die behoefte is - wanneer wordt uitgegaan van een equivalente behoefte per EU-inwoner: circa 3 Mton/jaar (zie Tabel 14).



Tabel 14 Overzicht gebruiken in EU en Nederland (bij equivalente consumptie per EU-inwoner)

	EU15	Nederland
Plastics en rubbers	44.200	1.861
Oplosmiddelen	1.900	80
Koudemiddelen	5.400	227
Verf, coating	6.000	253
Lijm	?	?
Inkt	1.000	42
Gewasbeschermingsmiddelen	?	?
Smeermiddelen	4.750	200
Oppervlakte behandelingsmiddelen	2.300	97
Ftalaten voor weekmakers en	?	?
Houtbeschermingsmiddelen	?	?
	65.550	2.760

Een eerste analyse van in Nederland beschikbare reststromen (zie Tabel 15) laat zien dat er ongeveer 4,0 – 4,5 Mton restproducten uit de voeding- en genotmiddelen industrie beschikbaar is en ongeveer 2,5 – 3,0 Mton aan hout. Daarnaast is er nog een aanzienlijke hoeveelheid stro, waarvan een deel kan worden benut zonder daarmee de koolstofbalans in de bodem al te zeer te verstoren.

Een groot deel van de reststromen zal overigens in de huidige situatie niet beschikbaar zijn omdat ze als veevoer worden toegepast. Toepassing van reststromen in mengvoeders wordt echter steeds minder populair vanwege de risico's van de afnemer op verontreinigingen en een nieuw voedselschandaal. Daarnaast neemt de veestapel af, waardoor meer materiaal overblijft en prijzen van reststromen dalen.

Tabel 15 Overzicht van enkele reststromen in Nederland (o.a. TNO, 2005), (ATO, 2002)

	€/ton	Aanbod in Nederland (kton/jaar)	Energie-inhoud (GJ/ton)	Prijs per GJ
DE98 glucose EU	500			
Zetmeelhydrolysaat <sup>17</sup>	300	?		
Tarwehydrolysaat	300	?		
Tapioca hydrolysaat	200	?		
Bietmelasse	150 - 200	?		
Schillen	80	100	16,5	5
Schroot/schilfers	150	100	15	10
Aardappel restproducten		990		
Aardappelpersvezels en andere restproducten zetmeel bereiding	60 - 80	1.760		
Suikerbiet restproducten	90 - 100	1.090 (afnemend)		
Vetzuren	45 - 125	60	38	2 - 3
Droge VGI producten	60 - 80	100	18	3 - 5
Dierlijke vetten	250	200	25	10
Wei	200			
Bierbostel	?	475		
Vers resthout	10 - 20	1.500 - 1.600	10	1 - 2
A-hout	15	500	15,5	1
B-hout	15	700	15,5	1
Stro van granen		Veel		

Daarnaast moet worden opgemerkt dat de genoemde hoeveelheden betrekking hebben op natte stof. En de hoeveelheden eindproducten hebben betrekking op droge stof.

De genoemde 4,0 - 4,5 Mton reststromen uit de voedingsmiddelenindustrie bestaat voor misschien slechts 1 - 2 Mton uit droge stof. Hout heeft vochtgehalten van 50% voor vers hout en 75% voor oud hout. Hiervoor corrigerend resteert een hoeveelheid van nog steeds circa 2 - 3 Mton droge stof.

Stel dat alle restproducten wel beschikbaar zouden zijn, dan kan met de beschikbare hoeveelheden droge stof ook bij lage conversierendementen van 25% - 50% nog steeds een aanzienlijk deel van de grondstofbehoefte worden gedekt.

<sup>17</sup> Een hydrolysaat is een soort voorverteerd eiwit. De moleculen zijn in de leverende fabriek al door enzymen voor een deel gesplitst in polypeptiden, peptiden en 2% vrije aminozuren. Het hydrolyseniveau is 13%. De aminozuren van een hydrolysaat worden sneller opgenomen dan van het wei-eiwit zelf. Er wordt een grotere spieropbouwende waarde aan toegekend, maar het is wel bitter van smaak.



## 6 Het speelveld van de groene grondstoffen in Nederland

### 6.1 Spelers en het speelveld

Vele onderzoekers, beleidsmakers en ook het bedrijfsleven wereldwijd zien grote mogelijkheden voor het gebruik van biomassa voor toepassing in energie, transportbrandstoffen en producten ten behoeve van klimaatbeleid, energievoorzieningzekerheid, plattelandsontwikkeling, ondersteuning van boeren, etc. Binnen de Transitie Biomassa en haar opvolger het Platform Groene Grondstoffen wordt ingeschat dat ongeveer 30% van deze sectoren zou kunnen overschakelen op biomassa in 2040.

In een aantal buitenlanden als Finland maar ook ontwikkelingslanden als Thailand is door de goedkope beschikbaarheid van goedkope restproducten (resten van bosbouw of rijstkaf) een economische basis voor vooral bio-energie.

In Nederland is door de relatieve grote veestapel en de afwezigheid van bosbouw geen grote natuurlijke bron van goedkope biomassa voor deze nieuwe toepassingen. De toepassing van biomassa in energie, transportbrandstoffen en producten is daarom over het geheel genomen op dit moment in Nederland nog niet economisch rendabel. De toepassing en daarmee ook de ontwikkeling wordt daarom in Nederland zeer sterk bepaald door overheidsondersteuning.

Ook in andere landen is het overheidsbeleid sterk sturend. In de EU-landen is in de jaren 90 sterk gekozen voor het stimuleren en subsidiëren van elektriciteit op basis van biomassa. In deze eeuw wordt daarnaast een sterk stimuleringskader met verplichtingen en accijnskorting voor biotransportbrandstoffen opgezet. Daarnaast zijn voor deze twee toepassingen zowel op EU als op nationaal niveau doelstellingen vastgelegd waar politici aan gehouden worden. In de EU is er maar een zeer beperkt beleid op het gebied van nieuwe bioproducten. Er zijn geen toepassingssubsidies, geen verplichtingen en ook zijn er geen doelstellingen voor het inzetten van biomassa in producten. Het ontwikkelen van innovatieve producten op basis van biomassa wordt aan de markt overgelaten.

Er zijn zelfs voorbeelden waarbij de overheid bioproducten remt. Zo is officieel overeengekomen dat bioplastics kunnen worden afgedankt in de GFT-bak maar veel overheden willen hier toch niet aan.

In de VS is het biomassabeleid vanaf het begin zowel op energie als op producten gericht. De Act van president Clinton in 2000 ging nadrukkelijk zowel over bioenergy als bioproducts. Nieuwe kansen voor boeren en vooral voor de biotechnologie werden gezien als kansen voor biomassa.

THE WHITE HOUSE  
Office of the Press Secretary

For Immediate  
Release

January 27, 2000

President Clinton Announces Bioenergy & Bioproducts Tax Incentives  
January 27, 2000

President Clinton's FY 2001 Budget includes \$976 million in tax incentives over 5 years and \$2.1 billion over ten years to accelerate the development and use of bio-based technologies, which convert crops, trees, and other "biomass" into a vast array of fuels and products. These tax credits support the President's August 1999 Executive Order 13134 and Memorandum on Promoting Biobased Products and Bioenergy, aimed at tripling U.S. use of biobased products and bioenergy by 2010. This initiative will increase the viability of alternative energy sources, help meet environmental challenges like global warming, support farm incomes, and diversify and strengthen the rural economy.

**Cleaner Energy, Cleaner Environment.** Bioenergy and bioproducts can dramatically reduce greenhouse gas emissions that contribute to global warming. Since crops absorb carbon during growth, their use for energy and other applications results in near zero net carbon release. Tripling our use of bioenergy and bioproducts by 2010 will reduce annual greenhouse gas emissions by up to 100 million tons -- the equivalent of taking over 70 million cars off the road.

**New Economic Opportunities for a New Century.** The goal of these tax incentives is to take advantage of advances in farm, forestry, and other biological sciences that are making biomass a viable competitor to fossil fuels as an energy source. These advances are fueling a revolution in the use of biomass to make low polluting electricity by burning willows and switchgrass along with coal in existing plants and by converting paper industry by-products into fuel gases. By creating high-tech jobs and new economic opportunities, meeting the President's goal of tripling U.S. use of bioenergy and bioproducts could add \$15 billion to \$20 billion in new income for farmers and many rural communities

<http://clinton4.nara.gov/WH/New/html/20000127.html>

Het speelveld in Nederland voor innovatieve groene grondstoffen is mede door het overheidsbeleid dat is gericht op bio-energie en op biobrandstoffen een kleine niche. Een aantal industriële partijen als DSM, AVEBE voeren met onderzoeksinstellingen onderzoeken en verkenningen uit maar opschaling naar productie en marktintroductie is nog schaars. Vaak wordt bio-caprolactan van DSM genoemd als interessante route in het veld. DSM meldt echter dat de productie daarvan helaas nog duurder is dan fossiele productie en omdat er ondanks het duidelijke milieuvoordeel geen overheidsstimulering is net zoals bij bio-energie is deze route uiteindelijk niet in productie genomen.

Ook initiatieven op het gebied van Bioraffinage zijn nog beperkt. Ondanks claims van bijvoorbeeld Johan Sanders dat de CO<sub>2</sub>-emissiewinst per kg biomassa bij bioraffinage 4 maal hoger is dan bij bio-energie en de kosten lager komt er geen overheidsbeleid gericht op het gebruiken van de duurzaamheid van bioprodukten.



Veelzeggend is het feit dat vrijwel alle initiatieven die vallen onder het platform groene grondstoffen gericht zijn op bio-energie en biobrandstoffen omdat daar subsidie voor beschikbaar is.

Alleen een aantal niche markten ontwikkelen zich wel gekoppeld aan functies als biosmeermiddelen in natuurgebieden en bioplastics voor GFT inzamelen.

## **6.2 Competitie om biomassa met biobrandstoffen en bio-energie**

De grote vraag naar biomassa voor gesubsidieerde biobrandstoffen en bio-energie voor de EU leidt tot een flinke prijsstijging in de oliën en vetten sector. Bestaande groene grondstoffenproducenten als Uniqema in Gouda (zeep, smeermiddelen, etc.) melden dat deze prijsstijging van hun grondstoffen de concurrentie met fabrikanten in Azië en met fossiele producten veel moeilijker maakt. Het zou heel goed kunnen zijn dat deze bestaande groene grondstoffen sector door de gestegen grondstofprijzen het heel moeilijk krijgt mochten de olieprijsen weer gaan zakken waardoor fossiele productie relatief goedkoper wordt. Deze oleochemie heeft hiermee direct last van de concurrentie van bio-energie en biobrandstoffen door de overheidssubsidie.

Deze verschuiving van oliën en vetten van de oleochemie naar biobrandstoffen levert zo milieukundig weinig op als daarmee bioproducten weer vervangen worden door fossiel. Een biobrandstoffenbeleid dat zou sturen op daadwerkelijk milieuwinst en rekening houdt met concurrerende toepassingen zou dit effect daarom grotendeels kunnen voorkomen.

Ook de geïnterviewden noemen vrijwel allemaal de ongelijke behandeling van bio energie, biotransportbrandstoffen en bioproducts. Vooral de huidige MEP regeling voor elektriciteit wordt vaak genoemd als aanzuiger van reststromen naar de energieproductie die misschien met minder kosten en meer milieuvoordeel tot bioproducts kunnen worden omgezet.

Voor nicheproducten in de fijnchemie speelt de competitie om biomassa veel minder. Daar zijn de kosten voor de grondstof relatief beperkt in verhouding tot de kapitaalslasten.

## **6.3 Andere bio-opties niet alleen meer geld maar ook meer aandacht door concrete politieke doelen**

Zoals al genoemd is in het Nederlandse korte overheidsbeleid zeer weinig steun voor nieuwe groene grondstoffen voor de chemie. In het lange termijn transitieproject worden ze genoemd na bio-energie en biotransportbrandstoffen maar in het korte termijn stimuleringsbeleid komen ze niet voor.

Een andere punt is het ontbreken van een doelstelling voor bioproducten. De percentages die vastgesteld zijn voor de markt voor bio-energie en biobrandstoffen voor 2010 garanderen politieke aandacht en daarmee middelen en overheidsondersteuning. Regering en parlement zijn immers sterk gericht op het afrekenen van de regering op concrete doelen als een percentage in 2010.

## 6.4 Stimulerende en remmende ontwikkelingen voor groene grondstoffen

De nichemarkt van groene grondstoffen is sterk afhankelijk van verschillende ontwikkelingen. In Tabel 16 is overzicht gegeven van de ontwikkelingen die wij zien als belangrijkste potentiële remmers en stimulansen.

Tabel 16 Potentiële stimulansen en remmers voor nieuwe bioproducten

(Potentiële) Stimulansen voor bioproducten	(Potentiële) remmers voor bioproducten
Milieusubsidie voor klimaatwinst bioproducten vgl met bio-energie	Daling van de olieprijs
Strengere normen voor toxiciteit van smeermiddelen	Verdere groei van de doelstellingen voor bio-brandstoffen en bio-energie in 2015 zonder scherpe milieugerichte sturing
Milieugerichte stimulering van biobrandstoffen rekening houdend met mogelijkheden van bioproducten	Weerstand tegen GMO's
Concrete demonstratieprojecten met name op het gebied van bioraffinage	Achteruitgang van de Nederlandse landbouw en landbouwverwerkers als AVEBE en Cosus waardoor innovatie stopt
Een heropleving van het verpakkingenmilieu-bewustzijn met kansen voor bioplastics	
Een politieke doelstelling voor bioproducten	

Belangrijkste potentiële stimulans voor bioproducten zeker in de competitie met bio-energie en biobrandstoffen lijkt ons een marktsubsidie voor het milieuvoordeel van het daadwerkelijk afzetten van bioproducten vergelijkbaar als dat voor bio-energie. Alternatief daarvoor zou een politieke doelstelling plus een verplichting in de markt kunnen zijn.

Belangrijke potentiële remmer is een dalende olieprijs zeker bij een gelijkblijvende of toenemende steun voor biobrandstoffen. Bestaande groene grondstoffen met name in oleochemie krijgen het dan heel moeilijk door de hoge prijs voor grondstoffen en goedkopere fossiele concurrenten.

Een milieugerichtere sturing van bio-energie en biobrandstoffen waarin verschuiving van biomassa van groene grondstoffen naar energie of brandstoffen geen steun meer zou krijgen zou een duidelijke kans zijn voor biobrandstoffen.

Voor een deel van de groene grondstoffen is de relatief grote weerstand in de EU tegen genetische modificatie een remmer. Deze grondstoffen maken veel meer kans in de VS.

Een ander belangrijk potentiële remmers is de economische positie van agrarische verwerkers als bijvoorbeeld AVEBE. Deze hebben het regelmatig moeilijk en dan is er geen geld voor innovatie.

Voor nichemarkten als smeermiddelen en ook de bioverpakkingen is milieubewustzijn en ook overheidregulering een duidelijke kans.

Tot slot is er op het gebied van bioraffinage een kans als er net als in de VS geld komt voor concrete demonstratieprojecten. Deze techniek mist de schakel tussen het laboratorium en de praktijk.

## **6.5 Samenwerking landbouw en chemie**

Samenwerking tussen landbouw en chemie is beperkt tot een paar bedrijven die als coöperaties zijn opgezet, zoals AVEBE en Sensus/Cosun. De landbouwers leveren aan, het bedrijf verwerkt en zoekt naar de juiste markten voor de producten en reststromen. Initiatieven voor nieuwe groene grondstoffen en producten, zoals brandnetels voor textiel, worden volgens hetzelfde principe opgezet. Het voordeel is dat ieder zich bezighoudt met de kernkwaliteit. Coöperaties worden zowel vanuit bedrijfsleven (Sensus) als vanuit de landbouwers (AVEBE) opgezet.

Een discussie die ook speelt op dit vlak is de nadruk op niches of de bulkchemie. De chemische sector ziet biomassa niet als interessante bulkgrondstof. Zo meldt DSM dat voor de bulk procesoptimalisaties voorlopig nog veel interessanter is dan biograndstoffen. Ook ziet men de olie voorlopig nog niet opraken en dan is er altijd nog steenkool.

Sommige nicheproducten scoren wel goed maar dan gaat het om producten met een duidelijk voordeel in het gebruik van biologische smeermiddelen die de natuur niet vervuilen en verf die niet slecht voor de gezondheid is. Ook binnen de waterbehandeling en de GFT-inzameling zijn er nicheproducten aanwezig.

De bioproductssector noemt vaak dat de olie snel op zal raken en dat Rotterdam geen olie meer toegevoerd zal krijgen. Binnen de petrochemie die investeert in nieuwe productie als bijvoorbeeld teerzand in Canada, Coal to Liquid en Gas to Liquid ziet dit heel anders. Bio is interessant voor biotransportbrandstoffen omdat de overheid dat wil.

## **6.6 Vergelijking met andere transitie sporen**

De transitie naar groene grondstoffen binnen de energietransitie is als bestuurlijke route een interessante uitzondering omdat zij als enige van de weinige routes geen korte termijn doelstellingen en marktsubsidies ontvangt maar wel een lange termijn doelstelling heeft geformuleerd van 25% in 2030 (zie doelstelling platform groene grondstoffen). Bij de meeste andere sporen is sprake van een sterke nadruk op korte termijn steun en doelen.

Tabel 17 Verschillen in overheidsbenadering van bestaande bio transitiepaden

Transitiepad	Lange termijn	Korte termijn	Opvallend
Bio-elektriciteit	30% doel 2040	EU en NL doel voor 2010 plus MEP subsidie	Resultaten sterk MEP subsidie gedragen
Biobrandstoffen	20% doel EU 2020	EU en NL doel 2010 plus verplichting	EU verplichting gedragen
Biogas	Geen doelstelling	Geen directe subsidie maar alleen bij omzetten bio-elektriciteit	Sturing richting elektriciteitsproductie door subsidie
Groene Grondstoffen	25% in 2030 (platform GG)	Alleen R&D subsidie	Alleen in nichemarkten
Zuinige auto's	EU doelen	ACEA EU-doelen en NL-subsidie	Sturing richting tot net onder de doelen

Vergeleken met andere transitiepaden valt dus op dat de overheid voor het transitiepad Groene Grondstoffen geen korte termijn beleid lijkt te voeren. Zeker in een situatie dat andere biomassa opties wel op de korte termijn gesteund en gestimuleerd worden leidt dit tot een zeer beperkte ontwikkeling.

## 6.7 Overkoepelend

Groene grondstoffen voor de chemie zijn het relatief onbekend en onbemand binnen het biomassaveld zeker waar het overheidsbeleid betreft. Dit lijkt te gelden voor Nederland en de EU. Het aantal initiatieven op dit gebied is daarmee in vergelijking met bio-energie en biobrandstoffen zeer beperkt.

In de VS is de aandacht binnen het biomassaveld meer gericht op bioproducts. Er lijkt daarmee duidelijk meer aandacht en ontwikkeling te zijn. Een verder analyse van dit verschil en de redenen hiervoor zou interessante suggesties voor het Nederlands beleid kunnen geven.

Doordat de lange termijn aandacht voor groene grondstoffen binnen de energietransitie niet wordt ondersteund door korte termijn beleid en steun is er eigenlijk nog geen sprake van een start van de transitie maar van een aantal nichemarkten waarvan de toekomst en groei onduidelijk is.

## 7 Conclusies en aanbevelingen

### 7.1 Antwoord op de voorliggende vragen: conclusies

Opzet van het onderzoek was het beantwoorden van de volgende vragen:

- 1 Wat is het huidige gebruik van groene grondstoffen door de chemie (in tonnen grondstof) en wat is het toekomstige potentieel van deze toepassing? Maak daarbij onderscheid in gerealiseerde productie, potentiële productie van lopende of geplande investeringen en het potentieel op de langere termijn (uiterlijk 2050).

Antwoord: Op dit moment wordt circa 40 kton/jaar aan innovatieve groene producten geproduceerd in Nederland. Relatief is de productie dus nog heel klein. Gegevens over investeringen en realisatie van nieuwe productie capaciteit op de korte termijn zijn ons niet bekend. Op de lange termijn zou alleen al op basis van in Nederland momenteel beschikbare reststromen en houtachtige restmaterialen meerdere Mtonnen per jaar aan groene producten en grondstoffen kunnen worden geproduceerd. In andere landen in de EU worden ook andere producten geproduceerd in beperkte hoeveelheden.

- 2 Geef aan welke groene grondstoffen worden toegepast en van welke (sub)sectoren deze afkomstig zijn.

Antwoord: De belangrijkste groene grondstoffen voor productie van groene eindproducten zijn reststromen uit de aardappel industrie. Deze worden toegepast voor de productie van afbreekbare plastics.

- 3 Geef aan welke toepassingen van groene grondstoffen het meest belangrijk zijn (in ton product). Maak daarbij onderscheid in bulktoepassing en producten met een hoge toegevoegde waarde (bijv. producten in de fijn-chemie).

Antwoord: De In de huidige situatie verreweg belangrijkste toepassing betreft biopolymeren op basis van zetmeel. De genoemde 40 kton betreft voor 95% de productie van biopolymeren bij Rodenburg. Rodenburg is overigens mondiaal één van de grotere biopolymeer producenten. Nature Works, de grootste biopolymeren producent ter wereld, produceert bijvoorbeeld sinds 2001 circa 140 kton PLA en de totale mondiale markt bedraagt 300 kton<sup>18</sup>. Daarnaast is er een nichemarkt voor biologisch afbreekbare smeermiddelen en verfingrediënten

---

<sup>18</sup> Zie <http://www.european-bioplastics.org/index.php?id=141>.

- 4 Is er in Nederland/Europa sprake van verwerking van regionaal beschikbare groene grondstoffen of gaat het ook om importen uit regio's buiten Europa? Geef ook aan hoe de verhouding in herkomst zich in de toekomst mogelijk zal ontwikkelen. Is het waarschijnlijk dat speciale teelten een belangrijke rol zullen spelen in de toekomst.

Antwoord: Voor deze vraag hebben we niet specifiek een antwoord gezocht omdat de huidige toepassing van nieuwe bioproducten nog zeer klein is en dat dit dus weinig zegt over de toekomst. Je zou op basis van de huidige situatie in Nederland voor ons land kunnen stellen dat productie plaatsvindt op basis van hier vrijkomende grondstoffen. Teelt van specifieke gewassen heeft nu - in de vorm van goudsbloem teelt in Marokko en teelt van Chicorei - een bescheiden bijdrage c.q. rol.

- 5 Welke chemische en biotechnologische processen voor de conversie van groene grondstoffen worden toegepast of zijn in ontwikkeling? Zullen dat ook de processen zijn die in de toekomst het meest belangrijk zijn?

Antwoord: Op dit moment is fermentatie duidelijk het belangrijkste proces, gezien het mondiale volume aan ethanol. Ook vele andere chemicaliën op plantaardige basis worden via fermentatie geproduceerd. Dit zal in de toekomst ook zo blijven gezien de onderzoeken, die gaande zijn. In de toekomst kunnen HTU-proces en vergassing mogelijk een aanvullende rol spelen als minder kritische verwerkingsprocessen voor heterogeenere natte en droge reststromen.

- 6 Wat zijn de belangrijkste milieu voor- en nadelen van de productie van groene grondstoffen? Probeer waar mogelijk de voor- en nadelen te kwantificeren voor m.n. de belangrijkste producten.

Antwoord: Voordelen voor biograndstoffen in het algemeen zijn nu nog moeilijk aan te geven. Er is ook geen eenduidig beeld. Sommige conversieroutes vergen minder energie en emitteren minder broeikasgassen als hun petrochemische tegenhangers. Maar dit geldt zeker niet voor alle productieroutes. Sommige bioproducten emitteren duidelijk meer broeikasgassen dan hun fossiele concurrenten. De milieu-impact situatie van nieuwe bioproducten lijkt op die van biofuels. De perceptie van het publiek en de politiek is dat het milieuvoordeel groot is maar in werkelijkheid is er een breed scala aan opties variërend van geen milieuvoordeel tot een reductie van milieubelasting tot -65%.

Voor biologische smeermiddelen die gebruikt worden voor machines in natuurgebieden is er een duidelijk voordeel van het voorkomen van bodemverontreiniging en voor biograndstoffen voor verf is er een voordeel op ecotoxiciteit en dus gezondheid. Ook de functie biologische afbreekbaar wordt vaak als voordeel gepromoot bij bioproducten in het algemeen maar dit geeft in een beperkt aantal toepassing echt een milieuvoordeel. Het meeste afval



wordt in Nederland immers binnen een paar dagen na inzameling verbrand.

Daarnaast zouden bioproducten minder milieubelasting in de vorm van verspreiding van toxische stoffen en fotochemische smog genererende stoffen kunnen genereren. Dit moet eerst nog verder aan de hand van LCA's worden bevestigd. Er zijn momenteel eigenlijk nog te weinig gegevens beschikbaar en gevonden om dat hard te kunnen maken. Bestaande LCA's spreken elkaar op dit punt ook tegen.

### **Aanbevelingen**

- Creëer een gelijk speelveld en een overkoepelende visie op het biomassa speelveld met aandacht voor de concurrentie en mogelijke synergie tussen bio-energie, biobrandstoffen, bioproducts en voedsel.
- Overweeg om naast vergelijkbaar aan een kWhe biosubsidie een tijdelijke bioproducts CO<sub>2</sub>-reductie subsidie in te voeren.
- Overweeg om naast overheidsdoelen voor bio-energie en biobrandstoffen een doel vast te stellen voor duurzame nieuwe bioproducten.
- Zorg voor een filter waarmee kansrijke opties en routes sneller kunnen worden geselecteerd en andere sneller kunnen afvallen.
- Concentreer de inspanningen op routes met een duidelijk onafhankelijk aangetoond milieuvoordeel met een redelijk kostenplaatje.
- Focus voor subsidieverlening voor R&D ook op toegevoegde waarde wat betreft toxiciteit of dwing dat wettelijk af – bijvoorbeeld biosmeermiddelen in natuurgebieden.
- Laat de productie van bulkchemicaliën en de teelt van de benodigde gewassen buiten Nederland plaatsvinden en stimuleer op dit veld hooguit de ontwikkeling van conversietechnologie.





# Literatuurlijst

## Literatuur (voor zover niet aangegeven via website verwijzing in voetnoten)

### **ATO, 2002**

H.W. Elbersen, F. Kappen, J. Hiddink  
Quickscan hoogwaardige toepassingen voor bijproducten uit de voedings- en genotmiddelenindustrie  
ATO-DLO, Wageningen, 2002

### **BIO-IS, 2002**

Anonymus  
European Ecolabel to indoor paints and varnishes  
BIO INTELLIGENCE SERVICE S.A., Paris, september 2002

### **Bio-Licht**

J.P. Nauta, J.P. Overbeek, J. Braam, H. Bos, R. Brouwer, G. Pott, D. van Rooien, J. Visser, B. van Voorn  
Eindrapportage BIO-LICHT : lichtgewicht transportmiddelen op basis van hernieuwbare grondstoffen  
Petten : ECN (Energieonderzoek Centrum Nederland), 2001

### **Cargill DOW, 2002**

E.T.H. Vink, K.R. Rábago, D.A. Glassner, P.R. Gruber  
Applications of life cycle assessment to NatureWorks™ polylactide (PLA) production  
Cargill DOW  
In : Elsevier Science Ltd, Polymer Degradation and Stability 80 (2003) 403-419, 11 November 2002

### **Ecorys, 2005**

EU market survey chemicals 2005, Compiled for CBI by:  
ECORYS Netherlands BV, Jan Ramakers Fine Chemical Consulting Group  
October 2005

### **Fraunhofer, 2003**

B. Hüsing, G. Angerer, S. Gaisser, F Marscheider-Weidemann  
Biotechnologische Herstellung von Wertstoffen unter besonderer Berücksichtigung von Energieträgern und Biopolymeren aus Reststoffen  
Fraunhofer-Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung (Fraunhofer ISI)  
Berlin : Umweltbundesamt, 2003

**GM, 2002**

R. Choudhury et al.

Well-to-Wheel analysis of energy use and greenhouse gas emissions of advanced fuel/vehicle systems

L-B-Systemtechnik en General Motors, Ottobrunn, september 2002

**IVAM, 2003**

D. Theodori, R.J. Saft, H. Krop, P. van Broekhuizen

Concept Background Document Development of criteria for the award of the European Eco-label to lubricants

Amsterdam : IVAM, 27 november 2003

**Lysine, 2005**

H.J. Huizing

Productie van lysine als hulpstof in veevoeders in Noord-Nederland : een haalbaarheidsstudie

Utrecht : InnovatieNetwerk Groene Ruimte en Agrocluster, 2005

**MSU, 2004**

R. Narajan

Drivers & Rationale for Use of Biobased Materials Based on Life Cycle Assessment (LCA)

Michigan State University, Department of Chemical Engineering & Materials Science

In : Proceedings, Society for Plastic Engineers (SPE), GPEC -- 2004, February 18 -20, 2004, Detroit ,MI

**NREL, 2000**

K. Ibsen, R. Wooley, A. McAloon, F. Taylor, W. Yee

Determining the Cost of Producing Ethanol from Corn Starch and Lignocellulosic Feedstocks (NREL/TP-580-28893)

National Renewable Energy Laboratory, Golden, October 2000.

**RUU, 2005**

M. Patel, C. Bastioli, L. Marini, E. Würdinger

Environmental assessment of bio-based polymers and natural fibres

Utrecht University, Department of Science, Technology and Society ; Novamont ; BIFA (Bavarian Institute of Applied Environmental Research and Technology)

S.I. : S.n., 2005

**SenterNovem, 2004**

Anonymus

Lange termijn EOS-onderzoeksprogramma's

Utrecht : SenterNovem, 28 juni 2004



**TNO, 2005**

J. Koppejan, P.D.M. de Boer - Meuleman  
De verwachte beschikbaarheid van biomassa in 2010  
TNO-MEP  
Utrecht : SenterNovem, 2005

**VROM, 2004**

J.A. van Ast, et al.  
Industriële biotechnologie duurzaam getoetst  
Den Haag : Ministerie van VROM, 2004

**Presentaties****Cargill DOW, 2005**

E. Vink  
Building a sustainable business system for the production of PLA polymers  
Presentatie op BREW symposium in Wiesbaden, 11 mei 2005.

**Roquette, 2005**

Anonymus  
Isosorbide as sustainable diol from the C6 platform  
Presentatie op BREW symposium in Wiesbaden, 11 mei 2005.

**Avebe, 2005**

R. van Haren  
Bioraffinage, de biovaluator van de toekomst  
Presentatie op symposium Platform Groene Grondstoffen in Wageningen op 13 juni 2006.

**Interviews: zie Hoofdstuk 1**

- Edith Engelen, secretaris van het platform Groene Grondstoffen;
- Gerald van Engelen, business development manager van non food toepassingen bij Cosun;
- Jan Berends van DSM;
- professor L. van der Wielen, hoogleraar biotechnologie bij de TU Delft en één van de spullen in B-Basic, het onderzoeksprogramma voor microbiotechnologie gericht op productie van chemicaliën uit biomassa;
- Marc van der Heuvel van AKK in Den Bosch;
- professor Sanders van WUR.



**CE**

**Oplossingen voor  
milieu, economie  
en technologie**

Oude Delft 180

2611 HH Delft

tel: 015 2 150 150

fax: 015 2 150 151

e-mail: ce@ce.nl

website: www.ce.nl

Besloten Vennootschap

KvK 27251086

# **Is er een vruchtbare toekomst voor groene grondstoffen in Nederland?**

Een evaluatie ten behoeve van het  
transitiemanagement

Bijlagen

## **Rapport**

Delft, augustus 2006

Opgesteld door: H.J. (Harry) Croezen  
G.C. (Geert) Bergsma  
M.C.M. (Marjolein) Koot





# A Een bloemlezing uit LCA's over biopolymeren en andere groene producten en grondstoffen

## A.1 Fraunhofer studie

B. Hüsing, G. Angerer, S. Gaisser, F Marscheider-Weidemann.  
Biotechnologische Herstellung von Wertstoffen unter besonderer Berücksichtigung von Energieträgern und Biopolymeren aus Reststoffen.  
Fraunhofer-Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung (Fraunhofer ISI).

Uitgebracht door: Umweltbundesamt, Berlin, September 2003.

In het rapport wordt een inventarisatie gemaakt van productieroutes van polymeren en energiedragers op basis van biomassa. Geanalyseerd wordt:

- de stand der technische ontwikkeling;
- productiekosten;
- milieubelasting gerelateerd aan productie.

Ook wordt nagegaan in hoeverre reststromen uit landbouw en voeding en genotmiddelenindustrie inzetbaar zijn als grondstof.

Anno 2002 werden de volgende producten op commerciële basis geproduceerd uit biomassa:

- Polylactide (PLA);
- Diverse exopolysacchariden:
  - Xanthan;
  - Pullulan;
  - Gellan;
  - Curdlan;
  - bacteriële cellulose;
  - diverse oligosaccharide;
- Itaconzuur.

Toentertijd ontwikkeld tot op niveau van pilot en demonstratie waren:

- productie van 1,3 propaandiol;
- productie van bepaalde polyhydroxy-alkanoaten;
- productie van chitosan;
- productie van barnsteenzuur;
- enzymatische polymerisatie van Ligninen.

Toetertijd was de mondiale productie van biopolymeren zeer bescheiden met een productievolume van 0,2 Mton/jaar ten opzichte van een mondiale polymeer productie van 150 Mton/jaar. De biopolymeren worden toegepast in nichemarkten en dat blijft ook zo aangezien ze geen exceptioneel betere eigenschappen bezitten die de in vergelijking met petropolymeren hogere prijs per eenheid rechtvaardigen. Aangezien toentertijd geen initiatieven in ontwikkeling waren die op beide of

één van beide aspecten meer perspectief leken te bieden was de conclusie destijds dat biopolymeren de komende tijd een marginale rol zouden blijven spelen op de polymeren markt.

Mondiale ethanolproductie bedroeg anno 2002 circa 31·109 liter (25 Mton of 841 PJ), waarvan:

- 93% van biogene oorsprong (voornamelijk VS en Brazilië);
- 60% voor de autobrandstoffen markt.

Een verder overzicht van de huidige stand der mondiale ontwikkelingen is gegeven in Tabel 18. Milieubelasting en kostenaspecten zijn momenteel in onderzoek.

Tabel 18 Mondiale productie platform chemicals op petrochemische en biologische basis

	Totale productie		Biotechnisch productie				petrochemische productie			
	ton/jaar	Ton/jaar	technische ontwikkeling			Type grondstof regenererbaar		hoeveelheid	Type grondstof regenererbaar	
			commerciëel	pilot	lab	fossiel	reerbaar		fossiel	reerbaar
Ethanol	25.000.000	23.026.000	X			X	X	1.974.000	X	
Acrylamide	500.000	85.000	X			X		415.000	X	
Melkzuur	80.000	72.000	X				X	8.000	X	
Xanthaan	20.000	20.000	X				X		X	
Glycerine	800.000	15.000	X				X	785.000	X	
- chemische productie								95.000	X	
- vet verestering/splitsing								690.000		X
Itaconzuur	12.500	12.500	X				X			
Pullulaan	10.000	10.000	X				X			
Polyhydroxy alkanooat	750	750	X				X			
Oligo saccharide	?	?	X				X	?		
Gellaan, Curdlaan	?	?	X				X	?		
bacteriële cellulose	?	?	X				X	?		
Chitine/Chitosan	80.000	?	X				X	?		X
1,3-propaandiol	50.000			X			X	50.000	X	
lignine	1.400.000			X			X	1.400.000		X
aceton	4.000.000			X			X	4.000.000	X	
butanol	2.000.000			X			X	2.000.000	X	
barnsteenzuur					X		X		X	
alginaat					X		X			X
polyaminozuren					X		X		X	
1,2 - propaandiol	900.000			X			X	900.000	X	
2,3-buaandiol	14.166.667			X			X	14.166.667	X	
acrylzuur	2.000.000			X			X	2.000.000	X	
adipinezuur	2.300.000			X			X	2.300.000	X	

## A.2 BIO-LICHT studie

J.P. Nauta, J.P. Overbeek, J. Braam, H. Bos, R. Brouwer, G. Pott, D. van Rooijen, J. Visser, B. van Voorn

Eindrapportage BIO-LICHT; Lichtgewicht transportmiddelen op basis van hernieuwbare grondstoffen.

Het Bio-licht project is uitgevoerd in het kader van het EET programma van de Ministeries van EZ, OC&W, VROM. De projectpartners zijn ECN, Wientjes Kunststoffen, CERES, KIEM, TU Delft, ATO en de brancheorganisatie FOCWA/CINTEC

Uitgebracht door: Energieonderzoek Centrum Nederland (ECN), Petten, rapport nummer ECN-C-01-036, 14 maart 2001





Doel van het onderzoek is de ontwikkeling van composieten die zowel prijstech- nisch als mechanisch kunnen concurreren met composieten op basis van glas- vezels.

In dit project worden met natuurlijke vezels (met name vlas) sterke composietma- terialen ontwikkeld voor de transportsector. Vlas is goedkoper en lichter in verge- lijking met glasvezels en is een hernieuwbare grondstof. Bovendien heeft vlas bij gelijk gewicht een hogere stijfheid, wat een gunstig effect heeft op de kostprijs. Een ander voordeel van natuurlijke vezels is dat ze in vergelijking met glasvezels minder slijtage veroorzaken aan de productieapparatuur en dat de verwerkbaar- heid beter is.

LCA-onderzoek wijst uit dat met name in de gebruiksfase van de *spoilers* milieu- winst wordt behaald als gevolg van gewichtsreductie van transportvoertuigen. Voor de aggregatie is de Eco-indicator 95 gebruikt.

In alle levensfasen scoort de NVK (Natuurvezel Versterkte Kunststof) spoiler be- ter dan de GVK (Glasvezel Versterkte Kunststof) spoiler.

CO<sub>2</sub>-emissiereductie: 0,123g/tonkm per kg gewichtsvermindering.

Energiebesparing: 0,0361MJ/km per 100 kg gewichtsvermindering.

Na het onderzoek naar een zo optimaal mogelijke samenstelling van de compo- sieten, ligt de nadruk momenteel op het optimaliseren van de productietechnie- ken. Op basis van vacuüminjectie zijn in het voorjaar van 2000 de rompen van een catamaran geproduceerd. Op basis van SMC (Shield Moulding Compound) zijn succesvol proefproducten geproduceerd . Het vezelstrooiproces verdient nog de nodige aandacht. Ondertussen heeft onderzoek aangetoond dat veel van de mechanische eigenschappen van natuurvezel versterkte composieten inderdaad kunnen concurreren met glasvezel versterkte composieten.

Gewichtsbesparing is en blijft de belangrijkste doelstelling om NVK-componenten toe te passen in transportmiddelen. Gewichtsreductie is voor elk voertuigtype re- levant omdat eisen worden gesteld aan maximale asdruk en/of bruto voertuigge- wicht. Tevens dalen de integrale kosten en de milieubelasting per vervoerde eenheid als een voertuig lichter wordt. In dit project is aangetoond dat *gewichts- reducties van 10 tot 20%* haalbaar zijn.

#### *Toekomst*

Een concurrerende prijs is een zeer belangrijke randvoorwaarde voor het toe- komstige succes van NVK-componenten. In een aantal gevallen lijkt een lagere kostprijs met NVK-componenten nu al mogelijk.

Wanneer voldoende aandacht wordt besteed aan de verdere ontwikkeling dan lijkt er een veelbelovende toekomst weggelegd voor de natuurvezel composieten in de transportmiddelensector.

### A.3 Studie van de Universiteit van Utrecht, Novamont en BIFA

M. Patel, C. Bastioli, L. Marini, E. Würdinger  
Environmental assessment of bio-based polymers and natural fibres  
Utrecht University, Department of Science, Technology and Society; Novamont;  
BIFA (Bavarian Institute of Applied Environmental Research and Technology)  
2005.

Er zijn in deze studie 20 LCA's bekeken van:

- 7 zetmeel polymeren;
- 5 PHA;
- 2 PLA;
- 3 bio polymeren (houtstof-expoxy harssen, epoxidised lijnzaadolie);
- 3 composieten (vlas, hennep en China reed (miscathus)).

Alle materialen zijn uitsluitend geproduceerd op basis van hernieuwbare grondstoffen. De soorten eindproducten van deze materialen zijn:

- primair plastic materiaal (hoofdzakelijk korrels);
- loose-filling verpakkingsmateriaal (chips verpakking);
- folies;
- zakken;
- mulch folies;
- elektronische print borden (voor elektronica);
- bindmiddel voor lakken;
- twee verschillende panelen voor auto's;
- transport pallets.

De producten zijn vergeleken met equivalente producten gemaakt van petrochemische polymeren, veelal PE, PP en PS.

Algemene conclusie: bio-based polymeren kunnen substantieel de milieu-impact verlagen door het materiaal gebruik:

- Zetmeel polymeren korrels: 25% - 75% minder energie vereist en 20% - 80% minder CO<sub>2</sub>-emissie, in vergelijking met PE.
- Verschillen komen door: verschillende zetmeel/copolymeer mengsels, verschillende afvalverwerking en verschillende polyolefine materialen die zijn gebruikt als referentie.
- PLA: De weg van graf tot fabriek: energie vereiste voor PLA is 20% - 30% minder dan voor PE, terwijl GHG emissie 15% - 25% minder is.
- De resultaten voor PHA, grote variatie: de weg van graf tot fabriek: energie vereiste, in het beste geval, (66GJ/t) is 10% - 20% minder dan voor PE. Voor meer energie intensieve productie processen is de vergelijking voor PHA niet gunstig met petrochemische polymeren.
- Zeer aantrekkelijke besparingspotentiëlen zijn gevonden voor:
  - epoxidised lijnzaad olie als bindmiddel voor lakken; 90% minder energie en GHG-emissie;
  - de substitutie van vlasvezel matten voor glasvezel matten: meer dan 80% energie vermindering;



- het gebruik van andere natuurlijke vezels: 14% voor een bodemplaat voor auto's en 45 - 50% energie vermindering voor binnenkant panelen en transport pallets.

In de volgende tabellen wordt een samenvatting gegeven van LCA's voor kunststofkorrels en eindproducten (al of niet op commerciële basis).

Table 17a: Summary of LCA key indicators for plastic pellets (only commercialised products manufactured by state-of-the-art technologies are listed)

Type of plastic	Functional unit	Cradle-to-gate non-renewable energy use <sup>1)</sup> [MJ/functional unit]	Type of waste treatment assumed for calculation of emissions	GHG emissions [kgCO <sub>2</sub> eq./functional unit]	Ozone precursors [g ethylene eq.]	Acidification [g SO <sub>2</sub> eq.]	Eutrophication [g PO <sub>4</sub> eq.]	Reference
<b>Petrochemical polymers</b>								
HDPE	1kg	79.9	Incineration	4.84 <sup>2)</sup>	n/a	n/a	n/a	Boustead, 1999; own calc.
LLDPE	1kg	72.3	Incineration	4.54 <sup>2)</sup>	n/a	n/a	n/a	Boustead, 1999; own calc.
LDPE	1kg	80.6	Incineration	5.04 <sup>2)</sup>	n/a	n/a	n/a	Boustead, 1999; own calc.
LDPE	1kg	91.7	80% incin.+ 20% landfilling	5.20 <sup>2)</sup>	13.0	17.4	1.1	Dinkel et al., 1996
Nylon 6	1kg	120	Incineration	7.64 <sup>2)</sup>	n/a	n/a	n/a	Boustead, 1999; own calc.
PET (bottle grade)	1kg	77	Incineration	4.93 <sup>2)</sup>	n/a	n/a	n/a	Boustead, 1999; own calc.
PS (general purpose)	1kg	87	Incineration	5.96 <sup>2)</sup>	n/a	n/a	n/a	Boustead, 1999; own calc.
EPS	1kg	84	Incineration	5.88 <sup>2)</sup>	n/a	n/a	n/a	Boustead, 1999; own calc.
EPS	1kg	88	none (cradle-to-factory gate)	2.80	43.0	170.0	5.8	Estermann et al., 2000
EPS (PS + 2%SBR + Pentan + Butan)	1kg	87	none (cradle-to-factory gate)	2.72	1.2	18.5	1.5	Würdinger et al., 2001
<b>Petrochemical co-polymers</b>								
Polycaprolactone (PCL)	1kg	83	Incineration	3.1 <sup>2)</sup>	6.1	5.5	0.5	Estermann/Schwarzwälder, 1998
Polycaprolactone (PCL)	1kg	77	Incineration	5.0-5.7 <sup>2)</sup>	n/a	n/a	n/a	Kopf, 1999
Polyvinyl alcohol (PVOH)	1kg	102	Incineration	2.7 <sup>2)</sup>	8.9	8.0	0.9	Estermann et al., 2000
Polyvinyl alcohol (PVOH)	1kg	58	Incineration	4.1-4.3 <sup>2)</sup>	n/a	n/a	n/a	Kopf, 1999
<b>Bio-based plastics (pellets)</b>								
TPS	1kg	25.4	Incineration	1.14	n/a	n/a	n/a	Patel et al., 1999
TPS	1kg	25.5	80% incin.+ 20% compost.	1.20	4.7	10.9	4.7	Dinkel et al., 1996
TPS	1kg	25.4	100% composting	1.14	5.0	10.6	4.7	Dinkel et al., 1996
TPS (maize starch+5.4%maize grit+12.7%PVOH)	1kg	18.9	none (cradle-to-factory gate) <sup>3)</sup>	1.10 <sup>2)</sup>	0.2	4.6	0.5	Würdinger et al., 2001
TPS + 15% PVOH	1kg	24.9	Incineration	1.73	n/a	n/a	n/a	Patel et al., 1999
TPS + 52.5% PCL	1kg	48.3	Incineration	3.36	n/a	n/a	n/a	Patel et al., 1999
TPS + 60% PCL	1kg	52.3	Incineration	3.60	n/a	n/a	n/a	Patel et al., 1999
Mater-Bi foam grade	1kg	32.4	Composting	0.89	5.5	20.8	2.8	Estermann et al., 2000
Mater-Bi foam grade	1kg	36.5	Waste water treatment plant	1.43	5.8	20.7	3.1	Estermann et al., 2000
Mater-Bi film grade	1kg	53.5	Composting	1.21	5.3	10.4	1.1	Estermann/Schwarzwälder, 1998
PLA	1kg	54	Incineration	3.45	n/a	n/a	n/a	Vink, 2002
PHA by fermentation	1kg	81	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	Gerngross and Slater, 2000
PHA, various processes	1kg	66 - 573	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	Heyde, 1998

1) Total of process energy and feedstock energy. Non-renewable energy only, i.e. total of fossil and nuclear energy. In the 'cradle-to-factory gate' concept the downstream system boundary coincides with the output of the polymer or the end product. Hence, no credits are ascribed to valuable by-products from waste management (steam, electricity, secondary materials).

2) Only CO<sub>2</sub>. Embodied carbon: 3.14 kg CO<sub>2</sub>/kg PE, 2.34 kg CO<sub>2</sub>/kg nylon 6, 2.29 kg CO<sub>2</sub>/t PET, 3.38 kg CO<sub>2</sub>/t PS, 2.32 kg CO<sub>2</sub>/t PCL, 2.00 kg CO<sub>2</sub>/t PVOH.

3) No credit for carbon uptake by plants.

Table 17b: Summary of LCA key indicators for end products (some of the products listed are commercialised, others not; see text)

Type of plastic	Functional unit	Cradle-to-gate non-renewable energy use <sup>1)</sup> [MJ/functional unit]	Type of waste treatment assumed for calculation of emissions	GHG emissions [kgCO <sub>2</sub> eq./ functional unit]	Ozone precursors [g ethylene eq.]	Acidification [g SO <sub>2</sub> eq.]	Eutrophication [g PO <sub>4</sub> eq.]	Reference
<b>Loose fills</b>								
Mater-Bi starch loose fills	1 m <sup>2</sup> (10 kg)	492	Waste water treatment plant	21.0	115	276	39.0	Estemann et al., 2000
FloPak starch loose fill	1 m <sup>2</sup> (12 kg)	277	30% incin., 70% landfilling	33.5	10	83	9.9	Würdinger et al., 2001
EPS loose fill	1 m <sup>3</sup> (4.5 kg)	680	Incineration	56.0	1200	326	42.0	Estemann et al., 2000
EPS loose fill	1 m <sup>3</sup> (4kg)	453	30% incin., 70% landfilling	22.5	67	65	8.0	Würdinger et al., 2001
EPS loose fill (by recycling of PS waste)	1 m <sup>3</sup> (4 kg)	361	30% incin., 70% landfilling	19.6	55	107	9.9	Würdinger et al., 2001
<b>Films and bags</b>								
TPS film	100 m <sup>2</sup> , 150 µm <sup>2)</sup>	649	80% incin. + 20% landfilling	25.30	100	239	103.0	Dinkel et al., 1996
Mater-Bi starch film	100 m <sup>2</sup> , 20 µm <sup>2)</sup>	133	Composting	2.98	14.0	26.5	2.8	Estemann/Schwarzwalder, 1998
PE film	100 m <sup>2</sup> , 150 µm <sup>2)</sup>	1340	80% incin. + 20% landfilling	66.70	180	238	15.0	Dinkel et al., 1996
<b>Printed wiring boards</b>								
Conventional epoxy <sup>3)</sup>	1 kg	-17 <sup>4)</sup>	Disposal as MSW	100%				Kosbar et al., 2001
Kraft lignin/epoxy	1 kg	-12 <sup>4)</sup>	Disposal as MSW					Kosbar et al., 2001
Organosolve lignin/epoxy	1 kg	-10 <sup>4)</sup>	Disposal as MSW					Kosbar et al., 2001
<b>Lacquer</b>								
Conventional petrochemical thickener	1 kg lacquer	220	No waste m/mt (cr.-to-fact.gate)	9.6 <sup>5)</sup>		26 <sup>6)</sup>		Diehlmann/Kreisel, 2000
Epoxidised linseed oil as thickener	1 kg lacquer	25	No waste m/mt (cr.-to-fact.gate)	1.3 <sup>5)</sup>		3 <sup>6)</sup>		Diehlmann/Kreisel, 2000
<b>Under-floor panel for passenger car</b>								
Glass-fibre reinforced polypropylene	1 panel	155						Diener/Siehler, 1999
Flax reinforced polypropylene	1 panel	134						Diener/Siehler, 1999
Glass fibre mat	1 kg fibre mat	54.7						Diener/Siehler, 1999
Flax fibre mat	1 kg fibre mat	9.6						Diener/Siehler, 1999
<b>Interior side panel for passenger car</b>								
ABS copolymer	1 panel	132	No waste m/mt (cr.-to-fact.gate)	5.4				Witzel et al., 1999
Hemp fibre/epoxy composite	1 panel	73	No waste m/mt (cr.-to-fact.gate)	4.7				Witzel et al., 1999
<b>Transport pallet</b>								
Glass-fibre reinforced polypropylene (GF)	1 pallet	1400	No waste m/mt (cr.-to-fact.gate)	75.3	208	653	58.2	Corbière-Nicollier et al., 2001
China reed reinforced polypropylene (CF)	1 pallet	717	No waste m/mt (cr.-to-fact.gate)	40.4	133	432	52.8	Corbière-Nicollier et al., 2001
Glass-fibre reinforced polypropylene (GF) <sup>7)</sup>	1 kg pallet	93	No waste m/mt (cr.-to-fact.gate)	5.0	14	44	4.5	Corbière-Nicollier et al., 2001
China reed reinforced polypropylene (CF) <sup>7)</sup>	1 kg pallet	61	No waste m/mt (cr.-to-fact.gate)	3.4	11	37	5.3	Corbière-Nicollier et al., 2001

<sup>1)</sup> Total of process energy and feedstock energy. Non-renewable energy only, i.e. total of fossil and nuclear energy. In the "cradle-to-factory gate" concept the downstream system boundary coincides with the output of the polymer or the end product. Hence, no credits are ascribed to valuable by-products from waste management (steam, electricity, secondary materials).

<sup>2)</sup> An important explanation for the large difference between the values reported in the following columns is that Dinkel et al. (1996) assume a film thickness of 150µm while it is only 20 µm in the case of Estemann/Schwarzwalder (1998).

<sup>3)</sup> Epoxy resin (FR4) cured with dicyandiamide (DICY)

<sup>4)</sup> The publication (Kosbar, 2001) provides only energy data for two cradle-to-grave systems. These are firstly 100% incineration for metal reclamation and secondly a combination of 50% disposal as municipal solid waste and 50% incineration for metal reclamation. Based on the results for these two cases we have roughly estimated the cradle-to-gate energy use.

<sup>5)</sup> Only CO<sub>2</sub> emissions

<sup>6)</sup> Calculated only on the basis of NO<sub>x</sub> emissions since no information was available for SO<sub>2</sub> and other acidifying emissions; assumed conversion factor: 1 kg NO<sub>x</sub> = 0.7 kg SO<sub>2</sub> (Heijungs et al., 1992).

<sup>7)</sup> The data in these two rows have been calculated from the preceding two rows by using the pallet weight (1 GF pallet = 15 kg; 1 CF pallet = 11.8 kg).

#### A.4 PLA-studie van Cargill

E.T.H. Vink, K.R. Rábago, D.A. Glassner, P.R. Gruber  
Applications of life cycle assessment to NatureWorks™ polylactide (PLA) production

Cargill DOW

Uitgegeven door: Elsevier Science Ltd, Polymer Degradation and Stability 80 (2003) 403–419, 11 November 2002

De paper geeft een overzicht van toepassingen van LCA op de productie van PLA en daarbij inzicht hoe ze zijn gebruikt.

De eerste toepassing laat de GER-waarde zien voor PLA: 54 MJ/kg. In de tweede toepassing is PLA vergeleken met petrochemisch gemaakte polymeren op 3 indicatoren: energiegebruik, CO<sub>2</sub>-uitstoot en watergebruik. De laatste toepassing geeft in meer detail de potentiële reductie in energie gebruik en CO<sub>2</sub>.

Het doel van Cargill Dow voor de komende 5-8 jaar is om het fossiele energiegebruik te verminderen van 54 MJ/kg PLA naar 7 MJ/kg PLA. Het doel voor CO<sub>2</sub>-reductie is van +1.8 naar -1.7 kg CO<sub>2</sub> equivalenten/kg PLA.

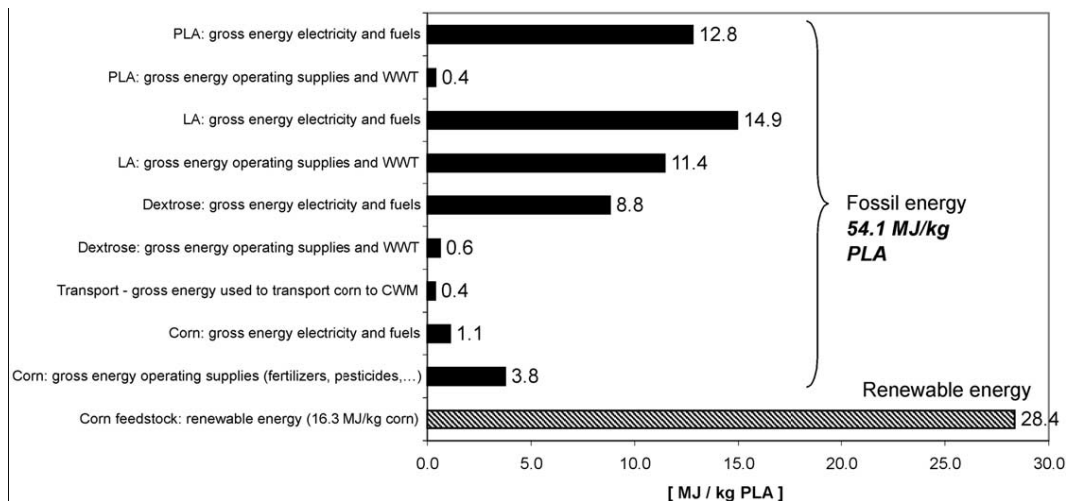
In de onderstaande afbeeldingen wordt dit weergegeven.

Cargill Dow's merknaam PLA, NatureWorks™ is een composteerbaar polymeer en wordt in een wijde range van producten toegepast. De tabel hieronder geeft een overzicht van Cargill Dow's huidige business segmenten met voorbeelden van commerciële mogelijke toepassingen.

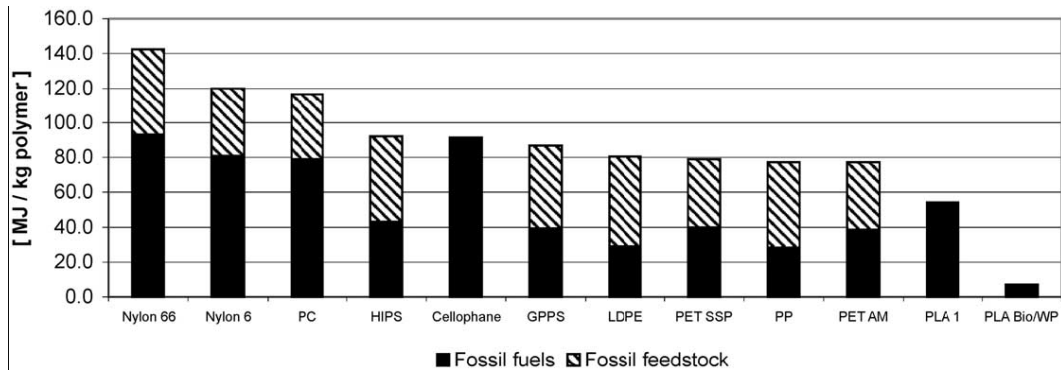
Tabel 19 Cargill Dow business segments

Business segment	Commercially available applications
Rigid thermoforms	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Clear, short shelf life trays &amp; lids</li> <li>• Opaque dairy containers</li> <li>• Consumer displays &amp; electronics packaging</li> <li>• Disposable articles</li> <li>• Cold drink cups</li> </ul>
Biaxially-oriented	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Shrink wrap for consumer goods packaging films</li> <li>• Twist wrap candy and flower wrap</li> <li>• Windows for envelopes, bags and cartons</li> </ul>
Bottles	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Short shelf-life milk and oil packaging</li> </ul>
Apparel	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sport, active and underwear</li> <li>• Fashion</li> </ul>
Non-wovens	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Agricultural and geo textiles Hygiene products (diapers and feminine hygiene)</li> <li>• Wipes</li> <li>• Shoe liners</li> <li>• Blends with natural fibers–hemp, sisal and flax</li> </ul>
Household, industrial and institutional fabrics	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bedding, drapery, table cloths, curtains, mattress ticking</li> <li>• Wall and cubicle fabrics, upholstery</li> </ul>
Carpet	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Surface yarns &amp; fibers</li> </ul>
Fiberfill	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pillows</li> <li>• Comforters</li> <li>• Mattresses</li> <li>• Duvets</li> </ul>
Foams	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Structural protective foams</li> </ul>
Lactide	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Raw material for ethyl lactate production, a high purity solvent</li> </ul>

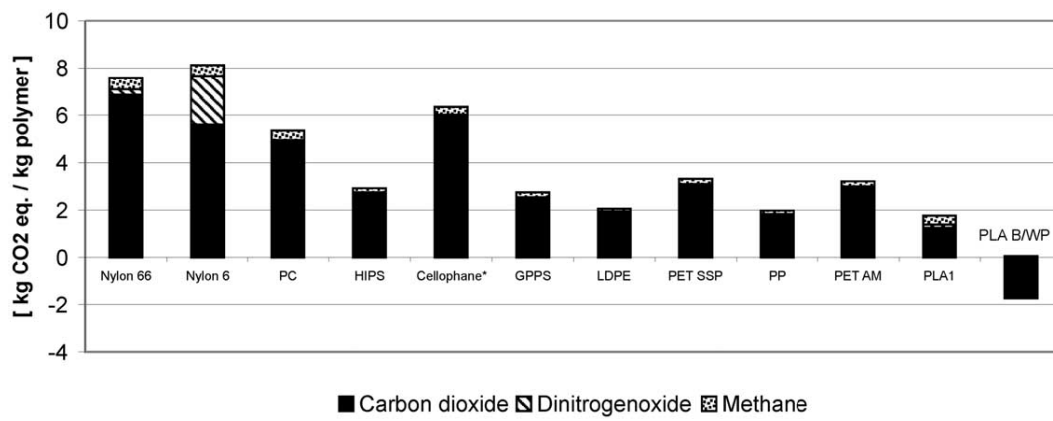
Figuur 6 GER-waarde: PLA1: 82,5 MJ/kg



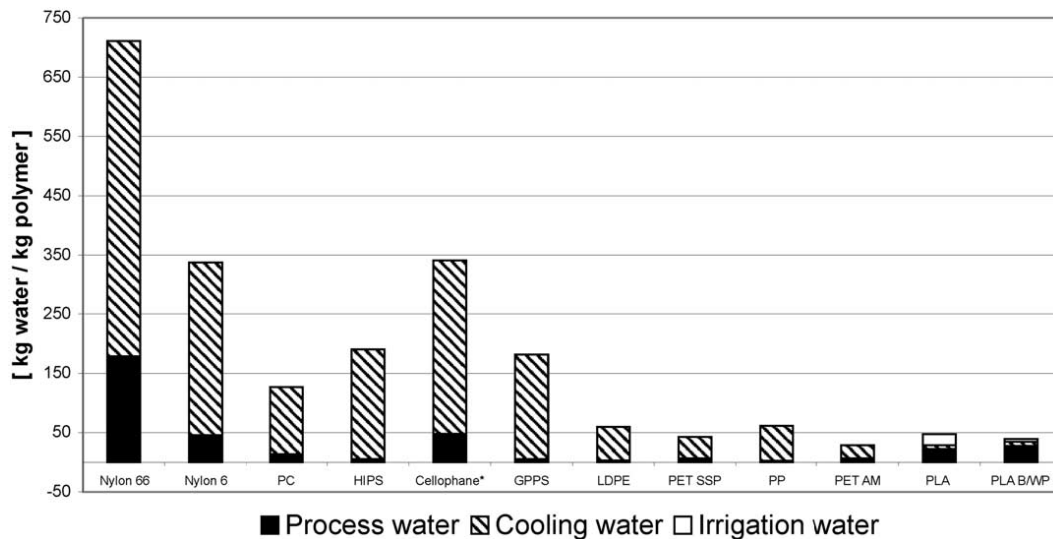
Figuur 7 Fossiele energie gebruik vergelijking



Figuur 8 CO<sub>2</sub>-emissievergelijking



Figuur 9 Watergebruikvergelijking



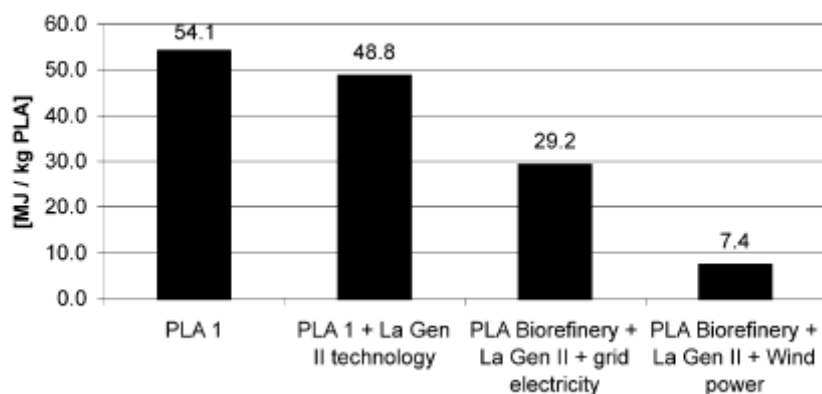
De vergelijking laat zien:

- energie: PLA1 goed, PLA Bio/WP: zeer goed;
- CO<sub>2</sub>: PLA1 goed, PLA Bio/WP: heel erg goed (geen uitstoot);
- water: PLA1 goed, PLA Bio/WP: goed.

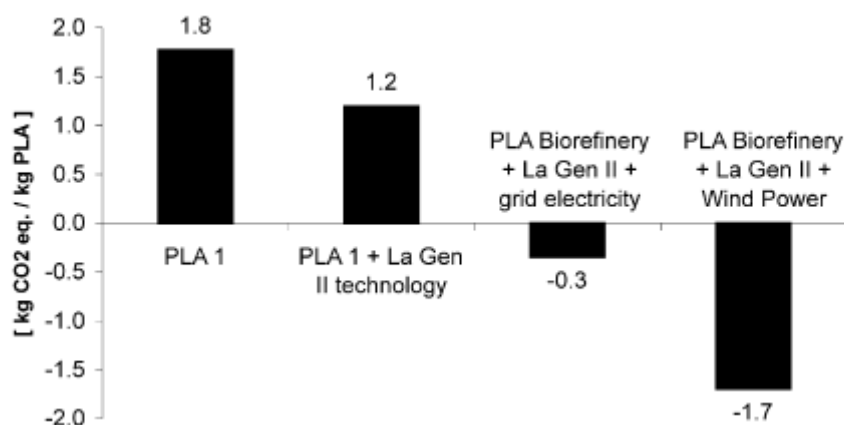




Figuur 10 Potentiële reductie van de GER-waarde in PLA-productie



Figuur 11 Potentiële reductie van de CO<sub>2</sub>-emissie in PLA-productie



### Conclusie

Polymers from renewable resources can be significantly lower in greenhouse gas emissions and fossil energy use today as compared with conventional petrochemical-based polymers. Over the longer term, LCA demonstrates that PLA production processes can become both fossil-energy free and a source of carbon credits. This bright future will come only with significant investment of time, effort and money. A final, important benefit of LCA is that it can serve as a tool for monitoring return on these investments over time.

## A.5 Michicagan studie

R. Narajan

Drivers & Rationale for Use of Biobased Materials Based on Life Cycle Assessment (LCA)

Michigan State University, Department of Chemical Engineering & Materials Science

Proceedings, Society for Plastic Engineers (SPE), GPEC -- 2004, February 18 - 20, 2004, Detroit ,MI

In deze paper worden beweegredenen en drivers gegeven voor een transitie naar polymeermaterialen op basis van groene grondstoffen. Biodegradeerbare en biobased polymeermaterialen zullen namelijk een belangrijke rol gaan spelen richting een duurzame en "milieuverantwoord" materialen basis.

De LCA's van biobased polymeermaterialen geven meestal een lagere milieubelasting en energiegebruik in vergelijking met op aardolie gebaseerde materialen. Daarnaast geeft de paper een illustratie van diverse commerciële technologieën of technologieën die commercieel worden gebruikt door anderen.

### Energiebesparing

De tabel hieronder geeft de energiebehoefte van diverse materialen (op aardolie gebaseerde kunststoffen en op groene grondstoffen gebaseerde kunststoffen). Hierbij is een onderscheid gemaakt in proces energie en feedstock energie.

Tabel 20 Energiebehoefte van diverse materialen

	Cradle to factory gate fossil energy requirements in GJ/ton plastic		
	Process energy	Feedstock energy	Total
Thermoplastic starch pellets	25	0	25
Plastic starch + 15% PVOH	24	6	30
Plastic starch + 50% polyester	32	20	52
PLA (from starch)	53	0	53
PHA (grown in corn plants)	90	0	90
PHA (bacterial fermentation)	80	0	80
HDPE	31	49	80
PET (bottle grade)	38	39	77
PS (general purpose)	39	48	87

Data for petrochemical polymers from APME (1999).

Data for starch polymers from Fraunhofer, ISI (1999).

Tabel 21 LCA's van zetmeelpolymeren en PE

Plastic type	Cradle to gate non-renewable energy use MJ/functional unit	Waste treatment for emission calculation	GHG emission s[kg CO <sub>2</sub> eq/functional unit]	Ozone precursors [g ethylene eq]	Acidification [g SO <sub>2</sub> eq]	Eutrophication [g PO <sub>4</sub> eq]	Ref
HDPE	80	Incineration	4.84	n/a	n/a	n/a	APME
LDPE	91.7	80% incineration 20% landfill	5.20	13.0	17.4	1.1	Carbo tech, 1996
Starch pellets	25	Incineration	1.14	n/a	n/a	n/a	Fraunhofer, ISI 1999
Starch pellets	25	100% composting	1.14	5.0	10.6	4.7	

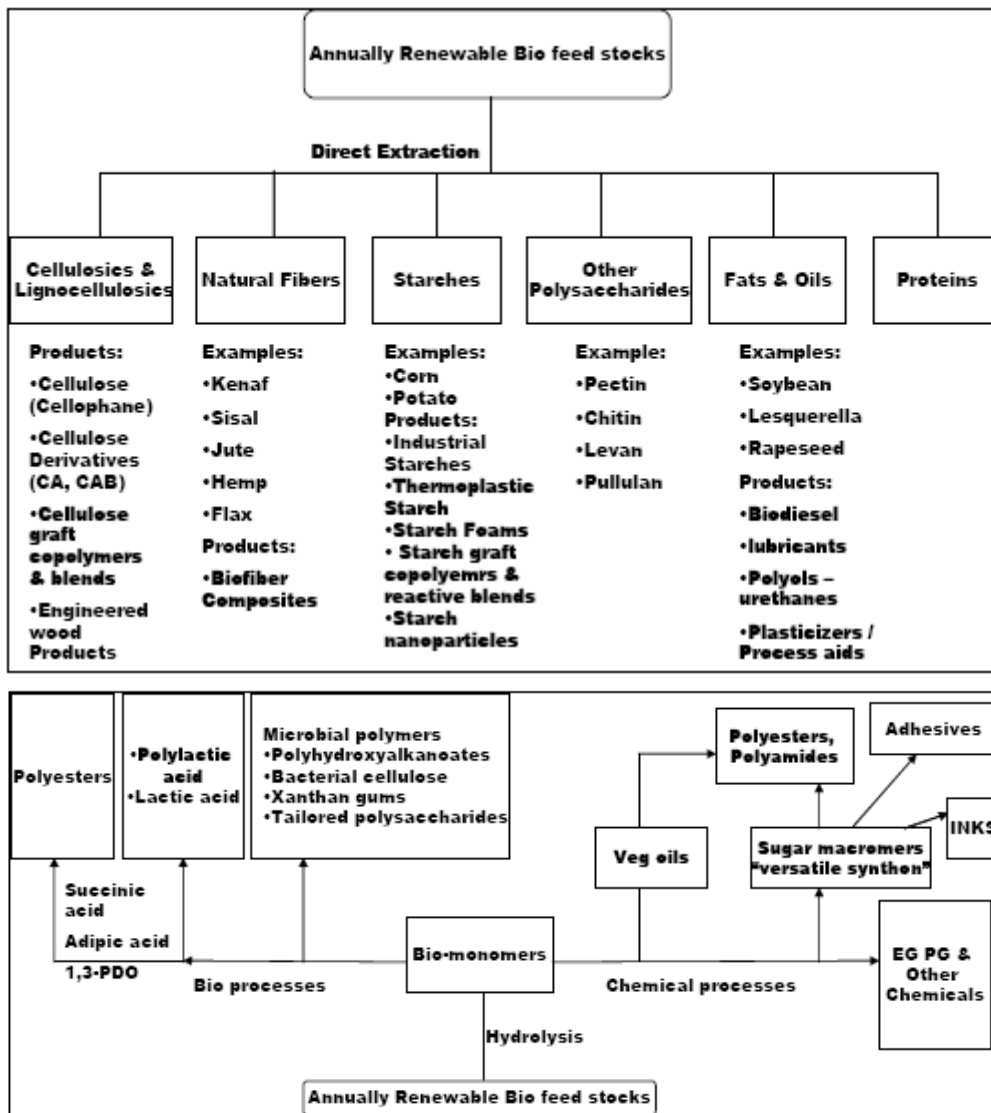


### Productieroutes

Er zijn 2 basis routes voor het maken van biopolymeren. De onderstaande afbeeldingen geven hiervan een overzicht.

- directe extractie;
- conversie middels fermentatie of hydrolyse.

Deze grondstoffen kunnen worden gebruikt in producten die een korte levensduur hebben, eenmalig worden gebruikt, wegwerpverpakkingen en consumenten producten.



### Commerciële technologieën

#### Polyesters Derived From Agricultural Feedstocks-Poly(Lactic acid) (PLA) polymers

- Cargill and Purac have a 50-50 joint venture to build and operate a 70 million lb/yr lactic acid facility in the US; the current US consumption of lactic acid is 55 million lb/yr.

- Cargill Dow LLC products NatureWorks™ PLA and NatureWorks fibers represent commercial PLA's in the market place. The fundamental technology and engineering development for PLA polymers that forms the basis for the Cargill technology was developed by us. The plant is capable of producing more than 300 million pounds (140,000 metric tons) of NatureWorks PLA per year and uses up to 40,000 bushels of locally grown corn per day as the raw material for the manufacturing process. The manufacturing plant represents nearly \$ 750 million of investment to develop this new technology.
- Shimadzu of Japan has been producing PLA in a 100 ton/yr pilot plant and has plans for future scale-up. They have developed a lactic acid fermentation process and have plans to be a PLA resin supplier. They are collaborating with Mitsubishi Plastics to develop PLA.

#### *Microbial Polyesters-Polyhydroxyalkanoates*

Poly(hydroxybutyrate) (PHB), and poly(3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyvalerate) (PHBV) are novel thermoplastic polyesters that are prepared by a bacterial fermentation process using a variety of feed stocks including glucose and acetic acid .

- PHB is a brittle polymer. However, the introduction of hydroxyvalerate groups in the polymer backbone (0-30%) reduces the crystallinity, and the resultant material is much more ductile and flexible. A good balance of properties can be achieved by varying the co-monomer content to yield polymers for specific applications.
- PHBV has seen commercial use in blow molded shampoo bottles in the U.S., Japan, and Germany. There is considerable R&D activity in the field of bacterial polyesters under the general name of polyhydroxyalkanoates and the subject of yearly International Symposia.  
Proctor & Gamble Company are promoting the commercialization of these long chain bacterial polyesters under the trade name NODAX. Zeneca was the major commercial developer of this resin. The technology was acquired by Monsanto. Their goal was to genetically engineer plants like soybean and canola to produce PHB, thereby dramatically reducing cost of the polymer which is currently \$ 4-10/lb. The technology has been acquired by Metabolix Inc.

#### *Natural Polymer Based Biodegradables*

##### **Starch**

The first starch plastics in the marketplace were starch filled polyethylene. They were only biodegradable and not completely biodegradable in practical time frames. Data showed that only the surface starch biodegraded leaving behind a recalcitrant polyethylene material. Products made from these resins do not meet the criteria of complete biodegradability in defined disposal systems (like composting) and within the operational time frames of the disposal system.

##### **Starch Foam Technology**

Using appropriately designed screw elements and dies, we have engineered starch foam products of differing shapes, sizes, and flexibility. Starch foam sheets have been manufactured and introduced to the market under the Green



Cell trade name ([www.ktmindustries.com/greencell](http://www.ktmindustries.com/greencell)) for cushion packaging and insulation. Four different grades are available for different target applications. The attached figure shows a Green Cell protective packaging system designed for Toyota's video entertainment system. Currently, trials are underway for packaging of automotive headliners, bumpers, windshields, and running boards for Toyota (see our paper in this GPEC 2004 conference titled "Biodegradable Starch Foam Packaging for Automotive Applications").

#### Seed Oils

American agriculture produces over 16 billion pounds of vegetable oils each year. These domestic oils are extracted from the seeds of soybean, corn, cotton, sunflower, flax, and rapeseed. Although more than 12 billion pounds of these oils are used for food products, not much usage is seen in the plastics and plasticizer fields. Alkyd resins, which today constitutes about 35% of all resins used in organic coatings, was developed and grew because of the plentiful supply of low-cost soybean oil and highly refined fatty acids from tall oil.

Unfortunately, the market share enjoyed by the soybean oil in the alkyd resin coatings market has remained the same since the initial introduction in the while the newer synthetics have captured and expanded the alkyd resin coating markets.

Fourteen companies which include some major names like Ferro Corporation, Union Carbide, Akzo Chemicals, Elf Atochem, Henkel, Huls-America Inc., Witco Corporation produce the epoxidized soybean oil. One hundred million pounds per year of epoxidized soybean oil finds use as a plasticizer for different plastic resins.



## B Overzicht Nederlandse initiatieven

### B.1 Belangrijkste conclusies op basis van het overzicht

Er zijn in Nederland zo'n 25 binnen het kader van deze studie passende initiatieven, qua mate van ontwikkeling variërend van fundamenteel onderzoek tot commercieel uitontwikkelde productie routes (zie Tabel 22).

Daarnaast zijn een aantal bekende initiatieven niet opgenomen:

- Mogelijke productie van caprolactam uit middels suiker fermentatie geproduceerde lysine door DSM?
- Teelt en verwerking van hennep door Hempworld.

In beide gevallen is niet duidelijk wat de status van dit initiatief op dit moment is. Het oorspronkelijke Hempworld is inmiddels gestaakt wegens het vermoeden van belastingfraude, maar er schijnt een doorstart te worden overwogen door agrariers in de Veenkoloniën. Eventuele plannen van DSM voor caprolactam productie op basis van lysine zijn afgevoerd vanwege de onrendabiliteit van de route.

De wel in ontwikkeling zijnde of inmiddels ontwikkelde initiatieven richten zich deels sterk op fijnchemicaliën. Er is een tweeledige insteek:

- valorisatie van restproducten uit de bestaande voedingsmiddelenindustrie;
- vervanging van producten met een hoge specifieke milieubelasting door duurzame en hernieuwbare alternatieven.

De initiatieven zijn ontstaan vanuit het E.E.T.-programma en KIEM-programma, maar ook vanuit het I.O.P. Zware Metalen programma. Helaas zijn deze routes nog niet zover ontwikkeld dat ze ook commercieel toegepast kunnen worden.

Veel initiatieven gaan uit van fermentatie. Onderzoek van met name de TU Delft is gericht op ontwikkeling van op gist gebaseerde micro-organismen voor industriële fermentatie routes. Dit is in lijn met de internationale ontwikkelingen binnen industrie en onderzoekswereld, waar de nadruk van de technische innovatie eveneens op fermentatie ligt.

Het veld van nanovezels en nanoklei is ons eerlijk gezegd nog niet bekend, maar lijkt nog sterk op het niveau van fundamenteel onderzoek te staan.

Een aantal andere producten wordt inmiddels wel vanuit commerciële bedrijven aangeboden of verder ontwikkeld, met name op het gebied van C1-chemie en bioplastics. Ook bij deze producten en processen is het uitgangspunt toepassing van reststromen uit voedingsmiddelenindustrie en landbouw.

De verdere ontwikkeling van het uit geteelde cichorei gewonnen inuline als grondstof voor chemische producten leunt op de toepassing van inuline als component in functional foods. Overigens is op dit terrein zowel onderzoek als commerciële activiteit te bespeuren. Er wordt nog onderzoek gedaan naar toepassing van afgeleide producten als wateronthardingsmiddel en dergelijke, maar toepassing van inuline of afgeleide producten in cosmetica is inmiddels een commercieel gegeven.

### *Biopolymeren*

Infomil, Milieu informatie, Kunststofverwerkende industrie, juni 2002

<http://www.infomil.nl/contents/pages/21348/t02.pdf>

#### **A2 Grondstofaanpassing biopolymeren**

De huidige thermoplastische grondstoffen van spuitgiet- en extrusiebedrijven worden gemaakt van olie. De oliebronnen zijn eindig. Met invoering van onderstaande maatregel ontstaat een duurzamer productieproces.

Milieumaatregel	Toepassing van biopolymeren van zetmeel, bacteriële oorsprong en melkzuur (polylactides)
<b>Beschrijving</b>	Door de traditionele thermoplastische grondstoffen te vervangen door biopolymeren ontstaat een duurzamer productieproces. Biopolymeren worden namelijk gemaakt van hernieuwbare grondstoffen en zijn biologisch afbreekbaar.
<b>Branche</b>	Kunststofverwerkende industrie
<b>Processtap</b>	Verwerking
<b>Compartiment</b>	Afval
<b>Emissie</b>	Afval
<b>Aangrijpingspunt</b>	Grondstofaanpassing
<b>Ontwikkelingsstadium</b>	Marktintroductie
<b>Toepasbaarheid</b>	Spuitgieten en extrusie, voornamelijk specifieke toepassingen; Interessant voor producten met een korte levensduur
<b>Voor- en nadelen</b>	
-biopolymeren van zetmeel en -biopolymeren van melkzuur (polylactides) -biopolymeren van bacteriële oorsprong	Geen netto bijdrage aan het broeikas-effect bij verbranding; Biologisch afbreekbaar; Toepassing van hernieuwbare grondstoffen; Netto milieuwinst via LCA nog onduidelijk. Milieubelasting veroorzaakt door gebruik van pesticiden tijdens grondstofproductie Alleen afbreekbaar onder de juiste omstandigheden i.t.t. zetmeel-biopolymeren
<b>Financiële aspecten</b>	Grondstofprijs ligt behoorlijk hoger t.o.v. kunststofpolymeren
-biopolymeren van zetmeel	€ 1,82 tot € 4,54 per kg granulaat
-biopolymeren van bacteriële oorsprong	± € 5,90 per kg granulaat
-biopolymeren van melkzuur (polylactides)	€ 2,72 tot € 6,81 per kg granulaat
<b>Informatiebron</b>	[58] [59] [60]
<b>Referentie / praktijkvoorbeeld</b>	Avebe B.A., Foxhol; Velca Trading, Capelle a/d IJssel

## **B.2 Overzicht initiatieven**

Zie Tabel 22 voor een overzicht van de initiatieven.





Tabel 22 Overzicht initiatieven

	Betrokken partijen	Projecten	Subsidie programma?	Grondstof en proces	Stadium	Vervangt	
<b>Bioplastics</b>							
a	Omzetting zetmeel in afbreekbare bioplastics	Roodenburg	Solanyl plastic van Roodenburg		Zetmeel uit aardappel bijproducten	Commercieel product	PE en PS
b	Fermentatie en melkzuur polymerisatie	PURAC				Commercieel product	Specialties
c	Nieuwe op agrovezels gebaseerde producten	Vanuit Nederland o.a. A & F en Kappa	EU programma Sustainpack	EU en in Nederland LNV	Verpakkingstechnologieën, gebaseerd op hernieuwbare agrovezel bronnen. Generatie fundamentele kennis op gebied van verwerking van nanovezels-, nanoklei en engineering hiervan	Fundamenteel onderzoek	
d	Nieuwe polyesters	A&F, Universiteit Twente, Ecole de Mines de Paris (Fr), University of Stuttgart (D), Dow Benelux NV, British Vita (UK)	Biofoam	EU en in Nederland LNV	Ontwikkeling productieproces polylesteramide via fermentatie en/of chemische modificatie uit hernieuwbare grondstoffen	Fundamenteel onderzoek	PUR
<b>Biorubbers</b>							
a	Omzetting van vetzuren in PHA, grondstof voor afbreekbare rubber, latex en kaascoating	A & F, TU Delft, Schoutengroep, PURAC, CSK food enrichment, Terpo Rubber, AVEBE	Diverse laboratoriumonderzoeken		Fermentatie van plantaardige oliën tot PHA	Fundamenteel onderzoek	PUR, wassen
<b>Oplosmiddelen en verf additieven</b>							
a	Oplosmiddelen voor alkydverf	A & F, Ursa Paint			Op basis van plantaardige oliën	Pilot	
b	Open tijd verlengers	A & F			Ander oplosmiddel o.b.v. eiwit voor professionele markt met als voordeel verlenging van droogtijd	Fundamenteel onderzoek	

	Betrokken partijen	Projecten	Subsidie programma?	Grondstof en proces	Stadium	Vervangt
c	Anto corrosie coating	TNO Industrie Den Helder, RU Groningen, Corus, VNSI, Zandleven coatings, RU Utrecht		Ontwikkeling en testen van middels genetisch gemodificeerde enzymen uit suikers geproduceerde biopolymeren (polylactaat?)		Zware metalen, oplosmiddelen
d	Oplosmiddel voor alkydverf	Van de Bunt Adviseurs voor Organisatie en Beleid	PESP	Productie goudsbloemolie als oplosmiddel vervanger voor alkydverf. Levert tevens etherische oliën, 20% hogere tarwe opbrengst (in wisselteelt) en eiwit- en vezelrijk bijproduct	Commercialisering en onderzoek	
e	Vetzuuresters voor metaalbewerking	TNO-RT; reinigingsmiddelenleveranciers Hijmeco en Mavom; proefbedrijven Corus, CompX Regout, Philips ETG, Damen Shipyards, PGE; en verffabrikant AKZO	EET	Productie en toepassing van vetzure esters uit plantaardige oliën als ontvetter in metaalproducten industrie	Onderzoek	
Additieven voor kunststoffen						
a	Weekmakers uit suikers	A & F, weekmakerproducenten, suikerproducenten	LNV	Omzetting van glucose in isosorbide esters	Pilot	Ftalaten
Houtverduurzaming						
	Milieuvriendelijke houtverduurzaming	A&F, Cindu, Triodos, Syntens		Gebruik van pyrolyseolie als vervanging van creosoot en wolmanzouten?	Onderzoek	
	Brandvertragende bouwmaterialen	A&F, SHR Hout Research, IVAM Environmental Research, Dick Peters (Clariant), Kegro Deuren, Mill Panel, Heraklith	EET en LNV			

	Betrokken partijen	Projecten	Subsidie programma?	Grondstof en proces	Stadium	Vervangt
Ecobinder			EU Ecobinder programma	Binders op basis van furfuryl alcohol en lignine voor productie van duurzaam hout, emissievrije houtvezel plaatmaterialen en oplosmiddel-resistente 3-dimensionale composiet producten		Alternatief voor de traditioneel toegepaste houtprotectie chemicaliën en harsen
Overige specialties, fijnchemie						
a aanslagremmers op basis van inuline	Sensus, Parenco, Zeepfabriek De Klok, etc.	Inuline en inulinederivaten voor ind. Toepassingen, fase II		Toepassing van op basis van inuline uit cichorei geproduceerde CMI	Pilot	Polyacrylaten
b conditioner in cosmetica	Sensus			Toepassing van op basis van inuline uit cichorei geproduceerde vetzuren esters	Commercieel	?
Ligno-cellulose naar biobrandstoffen en grondstoffen						
a Bio-ethanol-Melkzuur	A&F, Shell Global Solutions, Nedalco, Purac Biochem, TNO-MEP, TNO-Voeding, WU, ECN	Bio-ethanol-Melkzuur	EET	Vrijmaken van fermenteerbare suikers uit ligno-cellulose materialen en experimenteren met verdere verwerking van suikers en restproducten	Fundamenteel onderzoek. Snelle doorstroom mogelijk	Benzine en diesel (via ethanol), plastics (via melkzuur en ethanoldehydrogenatie)
b ABE-proces	A & F	Butanol uit ligno-cellulose		Fermentatie van suikers naar aceton-butanol-ethanol	Fundamenteel onderzoek.	Butanol uit raffinage producten
c Olie uit reststoffen	A & F			Omzetting ligno-cellulose houdende reststoffen in plantaardige olie middels schimmels		
d HTU-proces	Biofuels, HVC groep, Total	Bouw demonstratie-installatie		Productie van biocrude op schaal van 10 kton d.s. input per jaar	Demonstratiefase	Fossiele brandstoffen

	Betrokken partijen	Projecten	Subsidie programma?	Grondstof en proces	Stadium	Vervangt	
e	Kleinschalige CFB vergassingstechnologie	Dahlman Industrial Group Maas-sluis, HoSt, ECN	Commercialisering vergasser en gasreinigingstechnologie		5 MWth vergasser in gebruik in Roemenië, 2,5 MWth vergasser kippenmest in aanbouw. Olga technologie wacht op commerciële demo.		
f	Pyrolyse	BTG (dochter TNO-MEP)	Commercialisatie pyrolyse-technologie		Eerste commerciële installatie verkocht aan Maleisische palmolie-plantage		
Vergisting							
a	Energiemaïs	PPO Lelystad, onderdeel van WUR			Onderzoek naar teelt optimalisatie en verdere rasverbetering van energimaïs	Fundamenteel onderzoek	
b	Biologische waterstof	A&F, Wageningen UR-Microbiologie, Wageningen UR-Proceskunde, TNO-MEP, Rijksuniversiteit Groningen, ECN, Agromiscanthus, Duynie, Techno Invent, Green Vision, NedStack, Grontmij Nederland, Technogrow, Sparqle International	Biologische waterstof productie II	EET en LNV	Ontwikkeling van een proces voor de productie van schone waterstof uit hernieuwbare grondstoffen - m.n. natte reststromen - middels thermofiele vergisting	Fundamenteel onderzoek	Fossiele energiedragers
Bioraffinage							
a	Progras initiatief	AVEBE, NOM	Progras	NOM	Splitsen van gras in aparte componenten	Demonstratie	Fossiele energiedragers