

# **GROENE CHEMIE DOOR BOEREN MET ENERGIE.**

**Door prof.dr. Johan P.M. Sanders**



**WAGENINGEN UNIVERSITEIT**

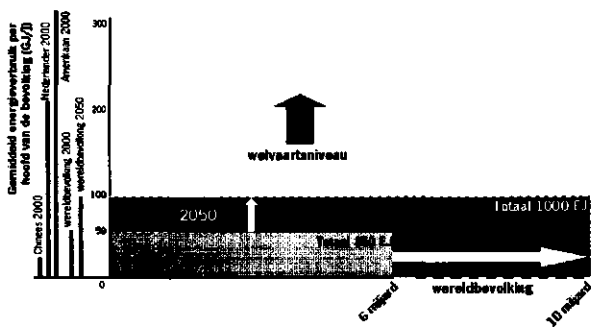
## **Groene Chemie door boeren met energie**

Mijnheer de Rector, Dames en Heren,  
Velen van U vroegen mij het afgelopen jaar wat het onderwerp van mijn leerstoelopdracht is en wat mijn oratie zou gaan inhouden. Ik gaf toen aan, dat ik dat nog niet precies wist, en dat ik hoopte dat ik dat binnen een jaar scherp zou krijgen. Vandaag is het zover en wil ik U mee nemen in mijn verkennings-, en ontdekkingstocht naar de Valorisatie van Plantaardige Productieketens, zoals mijn leerstoel officieel heet.

## **Relevantie van de leerstoel**

Wij leven in een goede welvaart. Dat geldt voor zo'n miljard mensen in een aantal landen waar Nederland ook toe hoort. Voor 5 miljard andere mensen geldt dit niet of in veel mindere mate. Voor onze welvaart zijn we sterk afhankelijk van de fossiele energiebronnen zoals we die nu kennen: aardolie, aardgas, steenkool en, hiernaast, ook van kernenergie. Bij het verbruik van de fossiele brandstoffen, komt een hoeveelheid koolzuurgas vrij waardoor het gehalte in de atmosfeer significant is toegenomen, en nog verder zal stijgen. Verhoging van de concentratie van koolzuurgas en van andere broeikasgassen in de atmosfeer vertoont een sterke correlatie met de verhoging van de temperatuur op aarde en daarmee samenhangende klimaatveranderingen. Voor aardolie is de verwachting, dat de voorraad, naar huidig inzicht, in 50 jaar grotendeels uitgeput zal zijn (1). De afhankelijkheid van olie is voor verschillende landen een reden tot militaire acties en grote spanning in de wereld

In figuur 1 is het gemiddeld gebruik van energie per hoofd van de bevolking weergegeven. De Amerikaan gaat aan kop, de Nederlander neemt een middenpositie in en

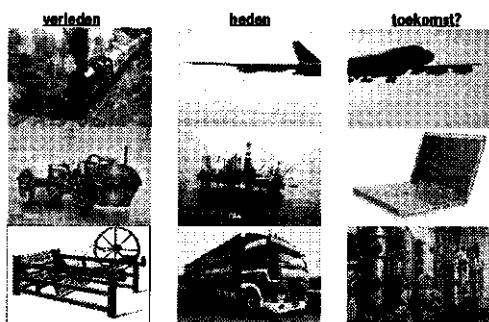


Figuur 1. Energieverbruik in 2050 is driemaal groter dan in 2000

de Chinees is nu nog bescheiden in zijn energie consumptie. Door groei van de welvaart enerzijds en de wereldbevolking anderzijds melden officiële scenario's dat de energiebehoefte in 2050 circa 3 keer toegenomen zal zijn t.o.v. van het huidige wereldverbruik(2). Dit alles maakt het zoeken naar alternatieve energie en duurzame grondstoffen tot een groot maatschappelijk belang.

### Hoe is het zo gekomen en waar gaat het heen?

Totdat James Watt in 1769 de stoommachine ontwikkelde was men voor warmte en energie aangewezen op bronnen uit de natuur zoals hout, turf, wind- en watermolens en, mens-, en dierkracht. De industrie kwam door de introductie van de stoommachine tot ontwikkeling en voor uiteenlopende processen werd steenkool als energiebron grootschalig geëxploiteerd. De "Spinning Jenny" werd het eerste industriële proces dat op kolenenergie verliep. De stoommachine luidde de transportfunctie als grootschalige energie verbruiker in, daarna kwam de chemische industrie, de staal industrie en het massaal kleinschalige transport.



Figuur 2. Voor onze kinderen wordt 'aardolie' wat voor ons de 'stoomtrein' is geworden

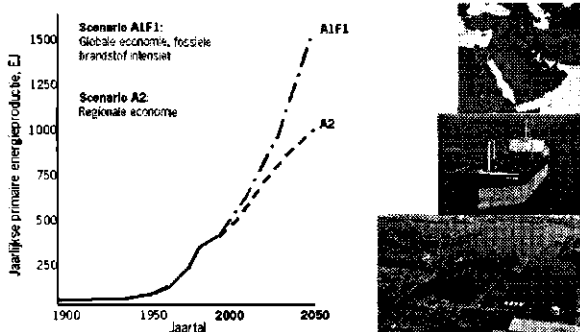
In onze moderne wereld zijn het elektriciteitsverbruik en de verschillende energie toepassingen in huishoudens voor verwarming, koken en sanitair eveneens grote gebruikers van fossiele grondstoffen geworden. Stelt U zich eens voor dat wij allen het -voor het einde van dit jaar- voortaan zonder aardolie zouden moeten doen?

Voor onze kinderen wordt 'Aardolie' wat voor ons de 'stoomtrein' is geworden (figuur 2)

### **Aardolie en aardgas en de verwevenheid in onze maatschappij**

Eind 19<sup>e</sup> eeuw werd op verschillende plaatsen in de wereld aardolie aangetroffen. Deze was makkelijk te winnen en te transporteren en had, naast een aantal technische voordelen ten opzichte van de steenkolen, ook voordelen vanwege de betere arbeidsomstandigheden waarbij mensen deze vorm van energie konden winnen. Het gebruik van deze en andere energiebronnen is sinds de eerste toepassingen van olie heel sterk toegenomen. Wanneer we 50 jaar terugkijken dan was het toenmalig energieverbruik nog slechts een derde van wat we nu verbruiken.

Dertig jaar geleden sprak de club van Rome zijn zorgen uit over de uitputting van energiebronnen maar ook van andere delfstoffen zoals ijzer, koper, goud enz. (3) Deze zorg bleek overtrokken omdat de reserves veel groter bleken dan gedacht en, omdat de technologie om de delfstoffen te winnen steeds verfijnder werd en men steeds beter uit moeilijk winbare voorraden kon gaan putten.



Figuur 3. Verbruik olie; verleden en toekomst

Toch is de zorg gebleven dat we niet eindeloos kunnen doorgroeien naar een verdrievoudiging of meer van het energieverbruik in de komende 50 jaar, zoals de twee scenario's in figuur 3 aangeven.

Als consequentie van deze ontwikkeling zien we een verhoging van de broeikasgassen en een parallele opwarming van de aarde, met grote invloeden op het klimaat en daarvan afgeleide effecten, zoals bijvoorbeeld de verhoging van de zeespiegel. Omdat olie vooralsnog de belangrijkste bron voor de chemie en de transportbrandstoffen is, moeten we in een relatief korte tijd alternatieven opbouwen,

er van uitgaande dat deze voorspellingen van de oliemaatschappijen als betrouwbaar mogen worden aangemerkt.

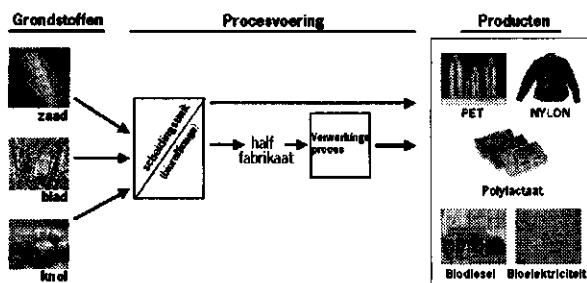
De 50 jaar voorraad kun je nog verder nuanceren door te stellen dat veel landen zoals de Verenigde Staten en Japan voor een relatief groot deel afhankelijk zijn van olie en veel landen slechts beperkte toegang hebben tot de fossiele energiebronnen. Bij een toenemende vraag zal de politieke rust in de wereld steeds meer op de proef worden gesteld. Nederland heeft met haar grote voorraad aan aardgas en haar aardgasinfrastructuur een bijzondere aantrekkelijke positie. Hoewel deze aantrekkelijkheid niet geldt voor haar lage ligging t.o.v. de zeespiegel en haar netto concurrentie positie, is in Nederland er nog weinig 'Sense of Urgency' te bekennen.

### **Alternatieve bronnen**

Het besef dat er additionele energiebronnen en energiedragers moeten komen om dit wereldprobleem niet uit de hand te laten lopen is niet nieuw. We hebben naast waterkracht natuurlijk ook kernenergie, dat vanwege de risico-perceptie geen grotere toepassing lijkt te krijgen. Daarnaast wordt gewerkt aan vormen van energieopwekking waarbij ook geen CO<sub>2</sub> vrijkomt zoals zonnepanelen, windenergie, getijdenenergie. Deze systemen hebben als nadeel dat de energie vooralsnog niet efficiënt is op te slaan.

## Biomassa als grondstof voor de chemie en energie

Vandaag wil ik met U uitdiepen wat Biomassa, en met name hernieuwbare grondstoffen afgeleid uit de plantenteelt, als vervanger voor fossiele energie ons kunnen brengen: wat gebeurt er al, waar liggen de kansen, wat zijn de problemen.



Titel: Figuur 4. Groene chemie door boeren met energie

Hoe kunnen we uit biomassa producten maken zoals nylon, PET- flessen, de plastic buitenkant van de jongste Sony MP3speler, maar ook de biodiesel of de benzine. Na plantenteelt en een toegesneden scheidingsproces, de bioraffinage, kunnen we deze producten direct of na omzetting vanuit een halffabrikaat maken. (Figuur 4)

Met deze uitdaging wil ik mij de komende tien jaar hier in Wageningen bezighouden.

Er is in Wageningen op het gebied van biomassa productie en toepassing veel relevante kennis beschikbaar, maar deze is verspreid over vele leerstoelgroepen en Kennisinstituten. Als we deze kennis en disciplines bijeen

kunnen brengen en integreren, dan komt er zicht op grootschalige, kosteneffectieve en maatschappelijk gedragen toepassing van biomassa ter besparing van fossiel grondstofgebruik.

Om dit beeld in praktijk te krijgen is veel integratie nodig van de expertise in Wageningen en soms ook van daarbuiten:

- plantenteelt en –veredeling, inclusief Genetische Modificatie; voor wat je in de plant maakt hoeft je niet meer in roest vrij staal te investeren;
- proceskunde en levensmiddelentechnologie; voor de winning van producten, de omzetting en de opwerking tot waardevolle chemicaliën tegen lage investerings- en operationele kosten;
- chemie, microbiologie, enzymologie en biotechnologie; de omzettingen zullen gericht en heel efficiënt moeten zijn;
- logistiek en de (rurale) economie, waar worden de verschillende schakels in de keten uitgevoerd en op welke schaal?
- milieukunde en –economie, veel kennis over alternatieve routes, beslag op areaal/biodiversiteit en footprint; En nog fundamentele de
- thermodynamica om de efficiëntie van het gebruik van de energie in de gehele keten te beschouwen en te verhogen.

### **Centrale vragen**

Er zijn hierbij veel complexe vragen die spelen in algemene zin en een aantal specifieke vragen waarmee ik mij binnen de leerstoel wil bezig houden:

Eerst zal ik ingaan op een aantal algemene vragen:

- Wat is biomassa
- Waarom is biomassa duurzaam



- Gaat productie van non food ten koste van biodiversiteit en voedsel
- Is er wel voldoende biomassa?
- Hoe krijgen we biomassagebruik grootschalig, kostenefficiënt en maatschappelijk breed gedragen?

### **Wat is biomassa, waarom is biomassa duurzaam?**

Onder biomassa wordt verstaan alle organische stof van (tot voor kort) levende materie. Planten zijn in staat om energie uit zonlicht te binden en in allerlei stoffen, biochemicalïën, vast te leggen. Bij de fotosynthese worden suikers aangemaakt met de energie van het licht als drijvende kracht en de  $\text{CO}_2$  uit de lucht en water als grondstof. Deze suikers worden vervolgens in de plant in allerlei andere biochemicalïën omgezet en deze kunnen dienen als voedsel voor mens, dier en micro-organismen, die tenslotte in deze kringloop de mineralen en  $\text{CO}_2$  weer vrijgeven.

Gebruik van de energie die is vastgelegd in biomassa verhoogt de  $\text{CO}_2$  niet, ten minste indien we ervoor zorgen dat de plantengroei in balans blijft met het gebruik, terwijl gebruik van fossiele grondstoffen juist deze balans verstoort en de  $\text{CO}_2$  in de atmosfeer laat stijgen.

### **Gaat biomassa gebruik ten koste van biodiversiteit en van de voedselvoorziening?**

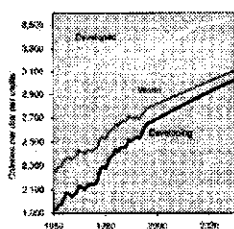
Wanneer we grondstoffen voor chemie, energie en voeding willen maken en daarvoor grond nodig hebben, kan er een conflict ontstaan vanwege verlies aan biodiversiteit. Hoeveel grond is nodig? Waar is deze beschikbaar en waar is deze nodig voor voedsel en waar niet.

Biodiversiteit als eenheid is nog moeilijk te kwantifice-

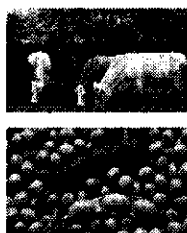
ren. Hoewel het hier om een belangrijke randvoorwaarde voor de leerstoel gaat zal ik op de meetbaarheid nu in het kader van deze openbare les niet verder in gaan. Een randvoorwaarde bij duurzaam biomassagebruik is het behoud van de biodiversiteit.

### Is er voldoende voedsel te produceren in de wereld? Gaat Food ten koste van non food?

Het aantal voor voedsel beschikbare calorieën per hoofd van de bevolking is de laatste tientallen jaren wereldwijd enorm gestegen en stijgen zelfs uit boven de minimale calorieën behoefte (figuur 5) (4). Helaas komen er rampen voor zoals misoogst en oorlog, waarbij sprake is van honger, maar we groeien de laatste decennia snel naar voldoende beschikbaarheid van calorieën voor de huidige wereldbevolking. De oppervlakte die daar voor nodig is, is ca 12% van het landoppervlak van de aarde (5,13). Er wordt geschat dat zo'n 20- 25% van het landoppervlak geschikt is voor de landbouw (6).



Bron: FAO2000d:23,2001a



**De productie van voedsel gaat altijd gepaard met een grote stroom van non food. Het toekennen aan deze stromen van te lage of zelfs negatieve economische waarde drijft de kostprijs van voedsel onnodig op!**

Figuur 5. Voedselvoorziening

Is deze ruimte voldoende, rekening houdende met de randvoorwaarden van voedselzekerheid, woonruimte, biodiversiteit en energie?

Naast het uitbreiden van het landbouwareaal wordt geschat dat we met verbeterde teelt-technieken al heel ver kunnen komen. Het huidige wereld landbouwareaal komt overeen met 1000 keer het Nederlandse landbouw areaal. Extrapolerend zou dat voldoende zijn voor 16 miljard mensen.

Bij de westerse voedselproductie zien we over de gehele keten van veld tot eindproduct grote verliezen optreden. Namelijk, voor elke calorie die we in het Westen consumeren wordt zo'n 15 keer meer energie verbruikt uit fossiele en biomassa oorsprong. Zouden we onze voedselvoorziening niet beter kunnen inrichten? Zaken die nu verloren gaan zoals stro, loof, mest, bietenpulp of beter nog de halffabrikaten daarvan zouden tenminste als grondstof voor de chemie zou kunnen dienen! Onze boeren zouden dan met deze non food toepassingen het beleg op hun boterham kunnen verdienen of voedsel tegen een lagere kostprijs kunnen produceren.

De productie van voedsel gaat altijd gepaard met een grote stroom van non food. Het toekennen aan deze stromen van te lage of zelfs negatieve economische waarde drijft de kostprijs van voedsel onnodig op!!

## Is er voldoende biomassa voor Non-Food toepassingen?

We moeten ons realiseren dat food en non food aardig gelijk oplopen: op elke kg non food, zoals hout en katoen, wordt er 2 kg food geproduceerd (7). Het lijkt een haalbare zaak om met weinig extra ruimtebeslag en het terugdringen van de inefficiënties in de voedselproductie, een dekkingsgraad van 10-20 % van de energievraag op basis van biomassa in 2050 te bereiken (figuur 6). Zeker in dichtbevolkte landen zoals Nederland waar de grootste hoeveelheden biomassa ter wereld in het economisch verkeer per oppervlak worden toegepast, lijken de voordelen het meest tastbaar.

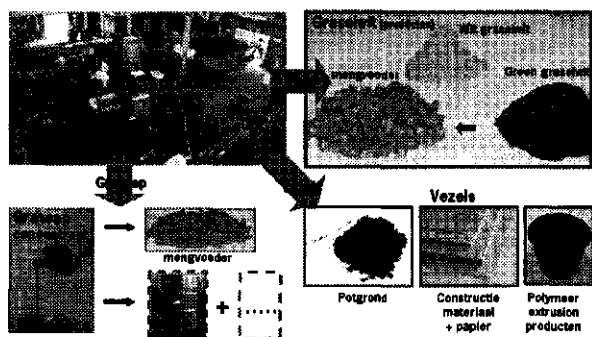
Hoe dat er uit kan zien toont de volgende ontwikkeling:

Veel voedingsproducten, zoals zetmeel, olie, eiwit en suiker, worden uit de ruwe plantengrondstof gezuiverd door een proces dat je met bioraffinage kunt aanduiden. Zo wordt door AVEBE de aardappel gebruikt om tot zetmeel en eiwit te komen en worden door andere bedrijven de suikerbiet, de soja en andere gewassen ingezet. Het betreft hier vaak maar zeker niet alleen de productie van voedingsmiddelen.

Benutting van landbouw/voedselproductie verliezen biedt voldoende biomassa voor een minimum doelstelling van 15% van de behoefte in 2050

	% van energiebehoefte 2050
Half van de landbouwafval	7
Half van afval voedingsmiddelenindustrie	4
Half van verliezen vleesproductie	5
Dedicated teelt op 0,3% van grondoppervlak	3
<b>Totaal</b>	<b>19 %</b>

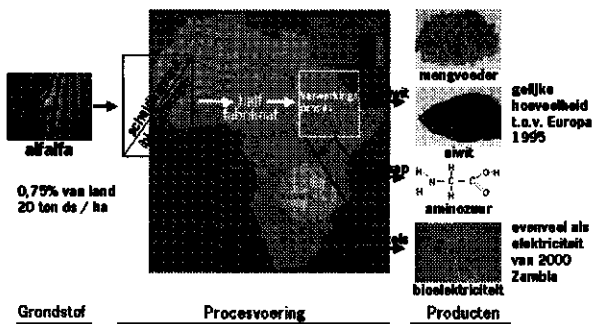
Figuur 6. Is er voldoende biomassa



Figuur 7. Grasbioraffinage proeffabriek Foxhol (Prograss Consortium)

Voor bladproducten bestond, tot 5 jaar geleden, nog geen bioraffinage van enig volume. Een consortium van bedrijven heeft samen met Wageningen UR de technologie ontwikkeld voor de verwerking van gras, alfalfa of bladeren van andere planten (figuur 7).

De producten zijn hier evenals de bijproducten van aardappelzetmeel: eiwit, concentraat van de opgeloste stoffen en vezels. Onder Nederlandse condities is er zoveel concurrentie voor deze producten, dat een kleine fabriek met een verwerkingsgebied van een paar duizend ha te weinig winst maakt. Een fabriek van nog steeds beperkte omvang, die 10.000 ha aan gras verwerkt, heeft op papier wel een goede financiële return, maar kost zo'n 30- 40 M€ en daartoe willen investeerders eerst meer zekerheid hebben.



Figuur 8. Productie van voedsel en energie gaan hand in hand

Op andere plaatsen in de wereld zijn economisch gezien wel goede mogelijkheden om op kleine schaal de eiwitproductie uit bladeren ter hand te nemen. Zambia betreft zijn mengvoedercomponenten over zee uit Z. Amerika en transporteert deze vervolgens nog 1000 km over land. Het telen en oogsten van blad van vlinderbloemigen bedraagt ter plekke een fractie van de Nederlandse kosten. Een bio-raffinage, zelfs op kleine schaal uitgevoerd, draagt bij aan de voedselvoorziening, aan het diervoeder en tevens aan de energie. Wanneer alle benodigde eiwit voor de bevolking en voor diervoeder in 2015 afkomstig zou zijn uit alfalfa dan is daartoe slechts een beperkt areaal nodig, met een oppervlak van nog geen 1% van het land. Bovendien komt er naast diervoeding een hoeveelheid vezels vrij waarmee de huidige elektriciteitsproductie van Zambia is te produceren (figuur 8).

Hoewel in dit geval een duidelijke conclusie kan zijn dat de productie van energie niet ten koste van de voedselvoorziening gaat -in tegendeel: voedsel en energie gaan hand in hand- wil ik ook aangeven dat de perceptie vaak

is dat het land alleen voor voeding gebruikt mag worden en dat het lastig is uit te leggen dat in heel wat gevallen food en non-food naast elkaar kunnen bestaan!

### **Transitiedenken: het moet en kan heel anders!**

#### **Transities en het Onderwijs**

In het bedrijfsleven is het denken van de Amerikaanse econoom Ansoff sterk ingeburgerd. Hij geeft aan dat je je bij innovaties nooit in twee richtingen op onbekend terrein moet begeven: dus in zijn terminologie geen nieuwe markten met nieuwe producten bedienen. We leren in het transitiedenken, waarmee de Nederlandse overheid hele sprongen vooruit wil komen, dat je wel degelijk in nieuw /nieuw combinaties moet willen denken maar dat je voor de onbekendheden dan moet samenwerken met partijen die de ontbrekende kennis wel hebben.

Wageningen UR heeft een reputatie opgebouwd in dit combinatie denken. De 'Wageningse aanpak' is ver ontwikkeld, maar deze komt soms ook niet verder dan het alleen bijeenbrengen van een aantal echt verschillende disciplines uit het bèta en gamma domein.

In het plaatje zie je dat je tot veel hoger dan je eigen 2 meter kunt reiken omdat alle teamleden elkaar in tenminste 3 dimensies vertrouwen en alleen samen dit resultaat kunnen bereiken.

#### **Toegepast beta-gamma denken**

Voor het definiëren van een probleem is het cruciaal dat je de wezensvraag van dit probleem kunt en durft te stellen en dat je daarbij al bij de vraagarticulatie in bèta-

en gammadimensies denkt. Het onderwijs en ook het hoger onderwijs moet hier nog een hele slag maken. Er zijn te weinig mensen die in verschillende disciplines tegelijkertijd hebben durven leren denken. We blijven vaak hangen in de paradigma's die we nog op school hebben geleerd; U herkent ze wel: Moet een fabriek groot zijn om goedkoper te kunnen produceren? Moeten grondstoffen van constante kwaliteit zijn om beter je proces uit te kunnen voeren? Moet een reactie snel verlopen om lage investeringen te garanderen? Moet biomassa processing zoals ik straks hoop te bespreken, producten opleveren die aansluiten bij de huidige petrochemische infrastructuur? Moet men in zuidoost Azië op een zelfde wijze met een varkenshouderij omgaan zoals wij dat hier doen? Is het olierijk of oliedom of is het Plantenrijk?

Ik wil in de rest van mijn betoog laten zien dat het Plantenrijk grondstoffen voor een significant deel van de chemie kan leveren en daarmee onze afhankelijkheid van aardolie kan helpen verkleinen.

Maar eerst nog kort een thermodynamische verdieping die nodig is om te begrijpen waar we de kansen moeten zoeken: De exergie

### **Definitie**

De 1<sup>e</sup> hoofdwet van de thermodynamica leert dat er geen energie verloren gaat. Maar niet elke vorm van energie is even hoogwaardig. Deze kwaliteit van energie wordt nu juist beschreven door de 2<sup>e</sup> hoofdwet onder het vrij onbekende begrip exergie als: "Het deel van de energie die nog als hoogwaardige vorm van energie met name Arbeid is in te zetten dwz als een verplaatsing tegen een krachtenveld in, bijv de zwaartekracht". Voor het kader van deze



oratie wil ik hieronder de exergie toelichten in dagelijkse termen om U in ieder geval een gevoel te geven dat je met een hoeveelheid energie in de vorm van olie, aardgas of biomassa veel meer kunt doen dan dat we intuïtief aanvoelen. We maken daardoor vaak niet de beste keuzes:

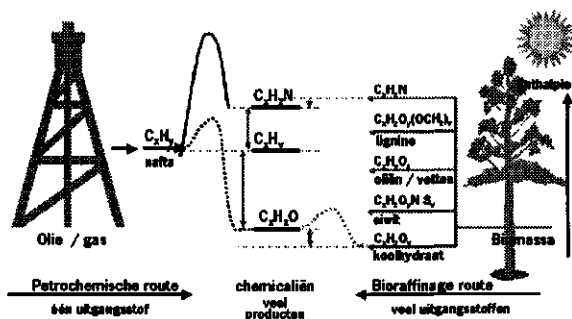
### **Karren en katrollen**

Wanneer ik een kar van 200 kg met bijv levensmiddelen tegen de zwaartekracht in, een heuvel opduw, krijgt deze een hoeveelheid potentiële energie. De kar kan daarna met een andere lading op eigen houtje naar beneden rijden. Als ik het slim aanpak kan tegelijkertijd met het naar beneden rijden van kar 1 een tweede kar die iets lichter is - weer met een nuttige lading voor het dorp boven - met behulp van een touw en een katrol om hoog worden getrokken. Voor kar 1 is de situatie dan gelijk aan die aan het einde van de eerste rit: hij staat beneden aan de heuvel. Met de tweede kar, die iets lichter is hebben we een groot deel van de kwaliteit van de energie behouden en kunnen we vervolgens weer een derde kar met wederom liefst nuttige lading naar boven trekken. Had U gedacht dat je met een keer 200 kg naar boven duwen je wel een veelvoud aan nuttige lading uit het dal naar boven kunt krijgen. De hoeveelheid energie die in warmte wordt omgezet, bijv door het remmen nodig om kar 1 in zijn eentje heelhuids beneden te krijgen, wordt dus zo laag mogelijk gehouden, zodat de kwaliteit van energie in dit geval de potentiële energie van de karren langer behouden blijft. Wanneer je de energie zo efficiënt kunt gebruiken zou je een stuk gemakkelijker de 4 beklimmingen van de Mont Ventoux op één dag kunnen doen!

## Voorbeeld van chemische omzettingen

In de chemie geldt dat moleculen van ongeveer dezelfde (elementen)samenstelling een vergelijkbare energieniveau hebben en dus als het ware op een gelijk niveau boven Nieuw Amsterdams Peil zitten. Die met grote verschillen in de samenstellende elementen hebben vaak een heel verschillende energieniveau. Als je in de Petrochemie uit de koolstof en waterstof, waaruit de olie is opgebouwd, afgeleide producten maakt die ook uit koolstof en waterstof bestaan, dan zijn de verschillen in energieniveau die moeten worden overbrugd klein. De kwaliteit van energie uit de aardolie blijft lang behouden en er zijn slechts kleine verliezen. Als je daarentegen andere bouwstenen zoals zuurstof of stikstof wilt inbrengen, het z.g. functionaliseren, dan komt er veel energie in de vorm van warmte vrij. De industrie heeft geleerd deze warmte te benutten t.b.v. reacties die juist deze warmte nodig hebben (vergelijk de ene kar die de andere omhoog trekt), maar er gaat natuurlijk altijd energie verloren bij dit soort 'effen naar bont' omzettingen zoals ik ze vandaag zal noemen, terwijl ik de productie van koolwaterstoffen die uit nafta worden gemaakt 'effen naar effen' zal noemen. Behalve het energieverlies zelf zijn er relatief grote investeringskosten gemoeid met het overdragen van warmte, die niet nodig zijn bij 'effen naar effen' omzettingen of 'bont naar bont' omzettingen.

Biomassa kan worden opgevat als een mengsel van meestal verschillende 'bonte' verbindingen. Door een stof uit de biomassa af te scheiden die in samenstelling (van de elementen) lijkt op de stof die we in de petrochemie willen vervangen, besparen we ons veel grondstofverlies en het doen van investeringen die wel in de petrochemie nodig zijn (figuur 9). In het karren voorbeeld verplaatsen we



Figuur 9. Uit Biomassa kun je gefunctionaliseerde stoffen maken zonder grote enthalpieverschillen. Uit aardolie niet

de kar tussen twee plaatsen met gelijk niveau boven Amsterdams Peil.

Zoals we straks zullen zien liggen daarom voor biomassa de eerste kansen bij het vervangen van die petrochemische producten die gefunctionaliseerd zijn met zuurstof en/of stikstof.

Ik vergelijk het maar met een naaiatelier waar men uit de grondstof: bonte klederdrachtenstof waarbij de kleuren van de banen de verschillende chemische bouwstenen representeren, een effen rode lap wil maken, eerst de rode banen er uit moet knippen en deze weer tot een nieuwe stof aan elkaar naait met bijkomende knip en plak verliezen. Willen we daarna weer een andere bonte lap maken dan krijgen we wederom te maken met grote verliezen. Van bont naar bont kunnen deze verliezen veel kleiner zijn. Om uit hout een olie te maken om deze te gebruiken als grondstof voor gefunctionaliseerde verbindingen is dus een dubbele verspilling van de energie vastgelegd in Biomassa.

## **Wat gebeurt er al in de wereld van de Biomassa?**

### **State of the art en omgeving**

Op dit ogenblik is er in Nederland maar ook daarbuiten, met name in de Verenigde Staten en Duitsland, veel aandacht voor de mogelijkheden voor Biomassa toepassing (8,9,10). In Nederland wordt door de industrie, NWO, overheden en de kennisinstellingen initiatief genomen voor omvangrijke programma's om energie in de chemie duurzamer op te pakken.

President Poetin, van Rusland heeft twee weken terug aangegeven het Kyoto protocol te gaan ondertekenen, waardoor op wereldniveau een akkoord is bereikt om de jaarlijkse CO<sub>2</sub> productie voor 2012 daadwerkelijk te reduceren.

### **Ontwikkelingen in de wereld van Biomassa**

De prijzen van suiker en zetmeel in de wereld dalen en zullen verder dalen terwijl op enige termijn de olieprijs alleen maar omhoog kunnen gaan. De olieprijs in Nederland liggen normaal op zo'n 125€ /ton olie. In de laatste maand is deze prijs opgelopen tot zo'n 200€ /ton, het equivalent van de 40\$ per barrel die er nu voor staat. De suikerprijzen in Brazilië, en dit geldt ook voor andere gebieden in de wereld met lage grondprijzen, lage lonen en goed klimaat, liggen op dit moment op een 80- 100\$/ ton suiker. Wanneer je op energiewaarde deze suikerprijzen omrekent tot olie-equivalenten, dan praten we over minder dan 200€ / ton olie-equivalent. Deze suikerkostprijzen kunnen door toepassing van betere teelt- en verwerkingstechnologie nog verder onder de oliemarktprijs gaan zakken. In Europa en Nederland kennen we een markt-or-

dening waardoor de suikerkostprijzen kunstmatig hoog zijn: 330€ /ton olie-equivalent en in Nederland zelfs boven de 440€ /ton olie equivalent. Er is daardoor relatief weinig aandacht voor het verbeteren van de grondstofposities. We maken het de fermentatie-industrie met zijn lange traditie in Europa daarmee niet gemakkelijk.

Bovendien richten we ons in Nederland daardoor op goedkope bulk toepassingen als elektriciteit met importhout van 60-130€ /ton olie-equivalent(vergelijkbaar met de kolnprijs) en daarmee slechts op uniforme bulk technologie. Ik hoop en verwacht, dat er naast deze betrekkelijk laagwaardige en kapitaalsintensieve technologie ruimte blijft om ons te richten op de verwerking van gehele planten omdat deze minder investeringen vraagt tov de toegevoegde waarde en omdat daar geen marktordening voor bestaat.

Naast elektriciteit is er veel aandacht voor de productie van transportbrandstoffen uit biomassa: alcohol uit riet-suiker en maïszetmeel in Brazilië en de V.S. en binnenkort zelfs uit maïsafval door het Canadese bedrijf Iogen.

Vanwege een Europese richtlijn moeten we in Nederland in 2006 ook 2 % van onze transportbrandstoffen vervangen hebben door hernieuwbare grondstoffen. In 2010 zelfs 5.75% (11). Ik hoop dat u vandaag deze ontwikkelingen met uw stem een zetje de goede richting in hebt gebracht.

In Europa bestaat op enige schaal de productie van raap-olie als biodiesel. Met de huidige technologie geldt voor alcohol en biodiesel dat alleen dankzij Europese braakligingspremies en accijnsvrijstelling, deze routes haalbaar zijn als alternatief voor fossiele brandstoffen. Met toepassing van een goed uitgevoerde bioraffinage kunnen zowel biodiesel als bioalkohol het zonder steunmaatregelen opnemen tegen reguliere benzine en diesel.

## **Bulkchemicaliën met economisch draagvlak voor biomassa**

Je kunt alsnog hoogwaardiger producten dan elektriciteit en transportbrandstoffen, de bulkchemicaliën kiezen (12,13). Deze zijn gemiddeld zo'n 1500€ /ton waard zijn. Je praat dan nog steeds over grote hoeveelheden fossiele grondstoffen die in de chemische sector gebruikt worden: in de wereld (en Nederland) zo'n kleine 20 % van de totale energiestroom. Hier komen we bij de kern van de leerstoel: toepassing van micro-organismen en planten om tegelijkertijd op fossiele grondstoffen en dure investeringen te besparen. Op dit ogenblik worden relatief kleine hoeveelheden chemicaliën op deze fermentatiebasis gemaakt zoals polylactaat, aminozuren en organische zuren. Deze fermentatieve routes gaan vaak nog gepaard met grote omzettingsverliezen omdat er grote enthalpie verschillen moeten worden overbrugd. Kun je de planten zover krijgen dat stoffen worden opgehoopt die slechts met kleine stappen en kleine energie verliezen tot de gewenste chemicaliën leiden? Momenteel worden planten behalve voor de heel grootschalige suiker-, zetmeel-, olie-, en eiwitproductie, die grotendeels in de voeding worden ingezet, alleen voor non-food toepassingen gebruikt voor de productie van hout en van fijnchemicaliën. Ondanks hun interessant toepassingsgebied is het effect op de besparing van fossiel grondstof verbruik van deze specialty chemicalien gering en valt daarmee buiten het gebied van mijn leerstoel.

## Waar liggen de economische voordelen voor biomassa ten opzichte van de Petrochemie?

Het is van primair belang vooral naar de economische waarde van de te maken producten te kijken. Als we hier de grotere chemische producten beschouwen, dan is deze waarde in de markt na vele jaren van technologische optimalisatie en concurrentie tussen producenten, tot in de buurt van de kostprijs gekomen.

	niet gefunctionaliseerd (effen)	gefunctionaliseerd (bont)
Grondstof	125	400
Kapitaal	300-500	400-650
Operationele	50	50
Opwerking	50-100	50-100
Meerstapsprocessen	extra	extra
<b>Totaal</b>	<b>650</b>	<b>1050</b>

naar J.P. Lange (Shell)

Figuur 10. Kostprijs opbouw van Bulkchemicalien (€ /ton product)

De kostprijs van de bulkchemicaliën wordt bepaald door de volgende factoren die door Dr. Lange van Shell heel systematisch in kaart zijn gebracht (14): (figuur 10)

- Grondstofkosten, zo'n 125 (€ /ton) voor koolwaterstofverbindingen tot 500€ /ton eindproduct (bij 25\$/barrel) voor geoxydeerde verbindingen
- Kapitaalkosten 300-500€ per ton, waarvan vanwege de investeringen tbv warmteoverdracht: 50-150€ /ton
- Operationele kosten: personeel, afval en katalysator: 50€ per ton

- Opwerkingskosten: 50-100€ per ton
- Het zal duidelijk zijn dat producten waarvoor meer reactiestappen nodig zijn, hoger in kosten zullen uitvallen

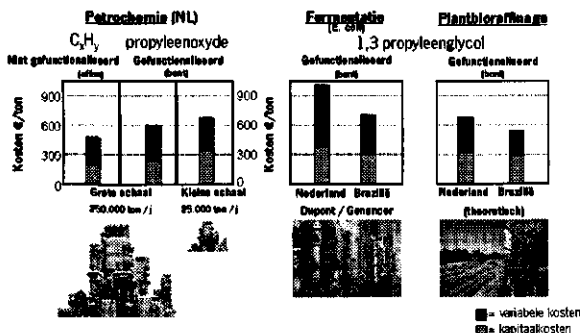
Ik hoor wel eens in de industrie dat de chemie zoveel toegevoegde waarde kent dat zij gemakkelijk de hogere prijs van de olie kan betalen. Ik denk dat relatief veel grondstof gerelateerde kosten gemaakt worden voor het functionalisieren van chemicaliën en dat hier een uitdaging ligt!

Het volgende plaatje geeft de variabele kosten en de kapitaalkosten van een concreet voorbeeld. Het toont duidelijk dat hogere kosten voor grondstof en kapitaal worden gemaakt bij die reactie's waarbij veel warmte moet worden getransporteerd, liefst in zo klein mogelijke reactoren en bij hoge temperatuur. Hierdoor kan worden bespaard op de investeringskosten. Dit gaat echter ten koste van de energie en de investeringshoogte tbv de warmtewisseling;

Lage kosten vinden we wanneer nauwelijks warmte behoefte te worden overgedragen; dit geldt voor de productie van niet-gefunctionaliseerde verbindingen, zoals in de linker grafiek is weergegeven.

Eind maart dit jaar werd een heel grote propyleenoxyde fabriek op de Maasvlakte in bedrijf genomen. De investering bedroeg 600 M Euro terwijl vol trots vermeld wordt dat er 210 km pijpleiding in de fabriek verwerkt zit (voor een groot deel vanwege de warmtewisseling) voor een productie van 285 000 ton propyleenoxyde per jaar. Hier heeft men deze investeringen nog kunnen reduceren door naar heel grote fabrieken te gaan, maar dat is niet altijd mogelijk, zeker niet wanneer de markt niet al te groot is. In deze laatste situaties zullen middelgrote-volume chemicaliën dus een hogere kostprijs hebben. (figuur 11)





Figuur 11. Kostprijs uit planten en middels fermentatie goedkoper dan via petrochemie

Voor het onderhavige voorbeeld propyleenoxide is ook het effect van de kleinere schaal op de kostenfactoren berekend en vergeleken met de grote schaal zoals die op de Maasvlakte is gebouwd. We zien dat de hogere investeringskosten leiden tot een 20% verhoging van de integrale kostprijs.

Voor plantenteelt en fermentatie werkt deze "economy of scale" veel minder door: 1 hectare, 10 of 100 hectare maakt niet veel uit voor de kostprijs per hectare en dit geldt in principe ook voor 1 grote fermentor tov 10 grote fermentors. Het is een sterk voordeel van de biologische routes binnen een cel dat meerstapsreacties doorgaans zonder veel verliezen verlopen en daardoor veel kosten vermijden bij productie in planten

Dupont en Genencor hebben een proces ontwikkeld waarbij uit suiker, met een opbrengst van meer dan 50%, 1,3 propyleenglycol wordt geproduceerd. (15,16) Deze stof, die heel erg lijkt op de propyleenoxide uit de grote



Figuur 12. Groene chemie door boeren met energie

fabriek op de Maasvlakte van zojuist, kan worden ingezet voor de bereiding van plastics die lijken op polyethyleentereftaalzuur, beter bekend als PET. In het uit de literatuur afgeleide en ingeschatte kostenoverzicht zien we dat de kosten voor propyleenoxyde uit fossiele grondstoffen met een uitontwikkeld grote schaal proces, benaderd wordt door de kosten van de propyleendiol via de relatief kleinschalige en nog jonge fermentatieve route mits de grondstofkosten die in landen als Brazilië en USA gelden, kunnen worden ingezet. De productiekosten in Nederland liggen beduidend ongunstiger vanwege de hogere grondstofprijzen en investeringskosten.

Theoretisch kan dit hoofdproduct in de plant worden geproduceerd. We kunnen dan rekenen met een verdere kostenreductie. De kosten voor de bioraffinage, de fractiëring van de verschillende producten uit het planten materiaal, zijn in het kostenplaatje meegenomen. Extrapolerend naar biomassa, zou je voor de Maasvlakte fabriek een 40 000 ha teelt nodig hebben. Hierbij spaar je ca 300 000 ton olie per jaar uit, en veel  $\text{CO}_2$ .

Als ik een toekomst plaatje (figuur 12) mag schilderen waarbij we een kwart van alle bulkchemicaliën ter wereld die nu worden geproduceerd (ca. een kwart miljard ton) op bovenstaande wijze zouden maken middels plantenteelt en vervolgens bioraffinage van de planten stoffen, en dat is een redelijke aanname omdat ongeveer de helft van alle chemicaliën die worden geproduceerd gefunctionaliseerd zijn, dan zouden we een ruimtebeslag van 50 miljoen ha nodig hebben. Dit is 'slechts' 0,3 % van het grondoppervlakte van de aarde. Anders gezegd, dit is even groot als 1000 AVEBE bedrijven of een tiental bedrijven zo groot als Cargill of ADM en in waarde is het ongeveer zoveel als de waarde als alle elektriciteit of transportbrandstoffen ter wereld.

Wij willen werken aan technologieën om het pioniersvoorbeeld van 1,3 propaandiol en andere producten te optimaliseren door naar hogere fermentatierendementen te streven en tot lagere investeringen voor de fermentatie en opwerking, onder meer door al een deel van de chemicaliën in de plant te produceren en/of in de plant tussenproducten te maken die in samenstelling zijn afgestemd op de eindproducten.

Voor verschillende (groepen van) chemicaliën krijgen we verschillende teelten en de daarbij horende verwerkende industrie. We zien hier dus een 'vierde' gewas en nog een 'vierde' gewas en zo kunnen we in de komende decennia nog ver doortellen. De chemicaliën zijn het hoofdproduct. Uit de reststromen wordt elektriciteit en transportbrandstoffen gemaakt

Daarmee zijn de kansen voor plantaardige productie en mijn leerstoel in kaart gebracht!

## **Samenvattend**

Tussen-concluderend en samenvattend wil ik als toekomstplaatje schetsen dat de huidige producten op aardoliebasis, middels fermentatie geproduceerd gaan worden indien het fermentatierendement hoog is en op plaatsen in de wereld waar de suikerprijs laag is. Hiertoe is voor veel producten nog een grote technologie-investering noodzakelijk.

Voor producten met een lager fermentatierendement is productie middels planten kansrijker omdat in de plant deze verliezen niet plaatsvinden. Met voortschrijdende technologie zullen ook groter-volume gefunctionaliseerde producten kunnen worden geproduceerd dmv plantenteelt en de achtergeschakelde (fermentatieve) verwerking.

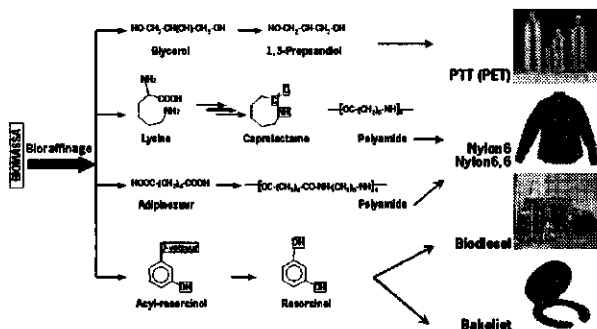
### **De leerstoel richt zich op een drietal vragen:**

- Welke basischemiëlen komen in aanmerking om in de plant en fermentatief economisch te worden geproduceerd?
- Waardoor wordt de productie van stoffen in planten en fermentatieve systemen beperkt?
- Op welke schaalgrootte, in welke onderdelen opgesplitst en op welke wijze geïntegreerd moeten de verschillende processtappen van de boer tot chemie worden uitgevoerd?

Veel van deze vragen kunnen door combinatie van de vele kennis die in Wageningen en op andere plaatsen voorhanden is worden beantwoord. Het is juist het interdisciplinaire karakter van de leerstoel om in samenwerking met andere Bèta- en Gamma- expertise deze vragen experimenteel te gaan onderzoeken en in te bedden in de context van bestaande werkvelden

## De chemicaliën, keuze, opwerking en opwaardering

Zoals eerder al uitvoerig is toegelicht zal de keuze van de chemicaliën worden bepaald door het voordeel dat bio-chemicaliën kunnen hebben tov de petrochemische productie route: functionaliseren, beperkte schaalgrootte en het aantal processtappen. Welke (gezamenlijke precursors van) stoffen kunnen beter in de plant worden gemaakt, welke beter in een fermentor en voor welke stoffen geldt dat de petrochemische route te verkiezen is?



Figuur 13. Welke basischemicaliën?

Daarnaast zullen we ons juist bezighouden met de vraag welke precursors het best in de plant kunnen worden geproduceerd. Hierbij wordt rekening gehouden met de technologische en economische randvoorwaarden zoals de winbaarheid, dit gezien de relatief vaak lage concentraties, en de chemische dan wel enzymatische omzettingen die met slechts kleine enthalpieverschillen moeten leiden tot het hoofdproduct (figuur 13).

## De plant

Waardoor wordt het expressieniveau van een stof in een plant bepaald? (figuur 14)

Het zal duidelijk zijn dat wanneer je de concentratie van een stof in een plant wilt verhogen je altijd een bovengrens tegen zult komen, onafhankelijk of het nu een stof betreft die van nature in de plant voorkomt, of niet. Er zijn verschillende stoffen die zich ophopen in de cel als voorraadstof voor energie en voor bouwstenen die op een later moment voor de plant nodig zijn: zetmeel, suiker, fytaat en vele andere.

- feedback
- osmolariteit
- toxiciteit
- lading
- oplosbaarheid
- afbraak
- energie / onderhoudsenergie
- bouwstenen



Figuur 14. Beperking van de productie in plant en fermentatie

AVEBE heeft in de afgelopen 10 jaar met Wageningen UR de productie van het aminozuur lysine in aardappel verhoogd. Dit is een hoogwaardig veevoeder additief maar ook een tussenproduct voor nylon zoals we hierboven zagen. De concentratie kon zo'n 15-20 keer verhoogd worden maar daarmee was het wel afgelopen. Maar waardoor blijft de lysine productie in aardappel steken bij zo'n 5% tov het droge stof gewicht. Is de concentratie te hoog? Bij suiker in biet praat je toch over concentraties van bijna 10 keer hoger. Is er te weinig grondstof of energie beschikbaar in de plant? Een andere oorzaak van de begrenzing

kan er in liggen dat het gewenste product bij het bereiken van een grenswaarde concentratie toxisch is of een te hoge osmotische waarde heeft of met dezelfde snelheid weer wordt afgebroken.

Een andere verklaring kan zijn dat er veel energie nodig is om de eenmaal opgebouwde concentratie te behouden (17). In fermentatieprocessen speelt dit probleem niet bij de vele producten die worden uitgescheiden. Bij planten kan dat niet. Een oplossingsrichting die door de natuur gekozen is zouden wij ook kunnen volgen door de te produceren stoffen op een of andere wijze onoplosbaar te maken zoals we dat voor producten als zetmeel, fytaat maar ook gluten in de natuur tegenkomen.

We zouden ook juist chemicaliën in de plant opslaan kunnen opslaan in de oliefase en daarmee uit de actieve waterfase halen. We zullen het effect van de oplosbaarheid van stoffen op hun uiteindelijk productieniveau onderzoeken.

### **Het proces**

Minstens zo belangrijk is de economische onderbouwing van deze nieuwe routes. Waar kun je het beste de teelt doen en waar de verwerking? Moet dit altijd vlak bij elkaar en vlak bij de markt gebeuren en op welke schaal moet dit steeds worden uitgevoerd? Het voorbeeld van Zambia met eiwit en energie liet zien dat je enorme voordelen kunt bereiken door in landen te werken waar de grondprijs laag is, de arbeid goedkoop en veel zon schijnt. We werken op dit ogenblik aan een proces waar bij de eerste verwerking in Afrika plaatsvindt en de hoogwaardige kapitaalsintensieve opwaardering in Europa plaatsvindt. Waar ligt het optimum, kunnen we hiertoe economische kaders opbouwen? Hoever zal de productie van biomassa

zich verplaatsen naar goedkopere gebieden als Afrika?

We denken bij 'Economy of scale' altijd aan de voordelen bij grote schaal. Maar dankzij vele nieuwe technologische ontwikkelingen kun je steeds vaker stellen: 'Small is beautiful!', zoals de mogelijkheden zich in landen waar nog weinig infrastructuur bestaat zal zich kunnen ontwikkelen. Laten we in Europa niet denken dat we achterover kunnen gaan zitten vanwege de voorsprong die de groot-schaligheid van de verwerkingsinstallaties hebben. Natuurlijk zijn er grote schaal voordelen, maar de klein schaal voordelen zullen onder condities, goed te valoriseren zijn!

### **Exergiebenutting over de keten**

De doelstelling van de leerstoel is om strategieën te ontwikkelen om zoveel mogelijk fossiele grondstoffen te besparen over de hele keten heen (18). Maar hoeveel van de bruikbare energie vastgelegd door de plant wordt effectief benut en hoeveel fossiele input is er nodig om de hele keten te kunnen doorlopen tot en met de productie van de chemicaliën? We zijn begonnen om in kaart te brengen waar bruikbare energie verloren gaat en hoe we kunnen tot verbeteringen in de keten kunnen komen.

Hergebruik van nutriënten is voor plantenteelt een belangrijke schakel waarbij het belangrijk is de transportkosten zo laag mogelijk te houden. Stikstofbinding, zoals dit nu in de chemie gebeurt, kost heel veel energie, terwijl er planten zijn die dit mbv zonlicht uitvoeren. Het maken van warmte moet tijdens het gehele proces worden vermeden. We willen routes ontwikkelen waarbij enzymatisch, chemisch en zelfs fermentatief exergie-rendementen te behalen zijn die de theoretisch optimale 'bont-bonte' omzettingen ten volle benutten.



## **Conclusie**

- Significante volumes van de huidige bulkchemieproductie kunnen middels plantenteelt en -verwerking worden verwezenlijkt met relatief beperkte behoefte aan land- en watergebruik, door aanvankelijke focus op een aantal klein en middelgroot volume gefunctionaliseerde chemicaliën.
- Er liggen extra kansen om meerstaps petrochemische reacties te vervangen
- Grootschalig gebruik van biomassa als additionele grondstof naast de fossiele grondstoffen, kan in deze wereld in goede harmonie plaatsvinden met de voedselproductie. Beide kunnen juist veel synergie bieden. Groene Chemie door boeren met energie!
- Nederland heeft een goede uitgangspositie en Wageningen UR draagt daar wezenlijk aan bij.

## **Dank aan**

Nu ik aan het einde van mijn rede ben gekomen wil ik traditiegetrouw maar niet minder vrijblijvend een aantal dankwoorden uitspreken:

Op de eerste plaats gaan deze uit naar de Raad van Bestuur die mij anderhalf jaar geleden ondersteunde in mijn wens meer de onderzoekskant in Wageningen op te gaan dan de bestuurlijke waarvoor ik eerder door hen was uitgenodigd. Vanuit mijn vorige werkkring waar R&D slechts 2 % van het budget bedroeg dacht ik in Wageningen meer balans te vinden tussen de inhoud en het besturen, maar de veranderingen waar wij middenin zitten zijn zo ingrijpend dat de inhoud te veel in het gedrang kwam. Ik dank de Raad van bestuur voor het door haar gestelde vertrouwen.

Aan mijn Promotor, Piet Borst dank ik het begrip van wat een degelijke opleiding betekent. Van hem leerde ik dat het bij de voorbereiding van een praatje pas goed genoeg is als je daarvan niet alleen zelf overtuigd bent maar ook een virtueel publiek: steeds oefen ik nog in gedachten in een zaal vol met kritische collega's en promotor. Van hem leerde ik hoe je een proevenserie echt moest opzetten en anticiperen op uitkomsten die onverwacht waren en toch te interpreteren moesten zijn. Tijdwinst, kostenbesparing maar vooral wetenschappelijke bevrediging kunnen tot op de dag van vandaag zo worden behaald.

Bij Gist brocades kreeg ik in de prille beginjaren van de Genetic Engineering de kans om wetenschap te bedrijven met ruime facilitering door het bedrijf. Mijn afdelingschef, Albert de Leeuw, was de personificatie daarvan en gaf mij vertrouwen, de steun en de ruimte om mijn eigen route te vinden.

Bij Gist brocades kwam ik op een gegeven moment in aanraking met het milieu, een onderwerp dat mij intellectueel enorm aansprak, vooral omdat mijn omgeving het als een probleem ervoer. Door in kansen te denken konden we het enzym fytase ontwikkelen omdat de toepassing ervan juist het probleem voorkwam.

De uitnodiging van wijlen Job Poutsma van AVEBE die als visionaire leider mij uitnodigde om naar het Noorden te komen om fundamentele slagen te maken in de manier van aardappelzetmeelproductie was een kans om in dit paradigma aan het voorkomen van milieu problemen verder te werken; Mijn overstap naar Wageningen twee en half jaar geleden is in feite het doortrekken van die lijn.

Mijn collega's van het Directieteam van Agrotechnologie en Voeding, jullie hebben geduld beoefend met iemand die van buiten kwam en de taal en mores in Wageningen nog moest leren. Het was een bewogen tijd maar we hebben wel wat in beweging gekregen.

Alle collega's van de Kenniseenheid A&V, die van A&F en met name die van Biobased Products, mijn thuisbasis als hoogleraar, wil ik danken voor de interesse in wat we als leerstoel willen bereiken en de gretigheid om met ons samen te werken aan een bijdrage aan een duurzame wereld. Mijn twee UD'ers Carmen Boeriu en Jan van Dam dank ik voor de ondersteuning en de synergie die we als team in korte tijd opbouwden.

De sinds vorige maand oud voorzitter van de stichting DCO, Jan Mulderink, heeft mij gedurende mijn Wageningse periode de weg gewezen en enthousiast gemaakt voor de concrete waarden die mijn visie en ervaring voor een duurzame maatschappij kan hebben.

Mijn ouders, wil ik danken voor de vrijheid die zij mij gunden mijn eigen interesses achterna te gaan. Mijn vader heeft helaas weinig van deze ontwikkelingen mee mogen maken.

Tenslotte het thuisfront,

Dit is mijn persoonlijk bloemrijk grasland.  
Drie lieve, gezonde en originele kinderen.  
Constantijn duikt waar dan ook ter wereld op het juiste moment op met zijn hoofd en twee handen  
Heleen is de zuivere wervelwind die geen mens onberoerd laat.

Anne Fleur verrast boeren, burgers en buitenlui met haar creativiteit en gevoel voor humor.

De dynamiek die dit drietal uitstraalt is de basis van de voortgang in mijn onderzoek

Madeleine, ik put al ruim 30 jaar uit je bron van to-meloze energie. Deze is steeds weer de basis van investeringen bij al onze energie overgangen. Het was verrassend dat wij ieder zo'n 2 maanden geleden bij de voorbereiding van deze dag ontdekten dat ik in mijn voorbeelden en jij in je kleding dezelfde effen naar bonte overgang tot symbool had gekozen. De aanschaf van een trouwjurk is niet de meest duurzame activiteit. Destijds was zij effen, vandaag is zij haar tweede leven begonnen. Ik dank je voor je duurzaam liefdevol beleid.

Tenslotte dank ik U allen voor uw komst en aandacht.

## Eind

- (1) Campbell, C.J., Laherre J.J. (1998); The end of cheap oil. *Scientific America* 278(3), 78-83
- (2) Shell International, (2001) Energy needs, choices and possibilities –scenarios to 2050, global business development
- (3) [www.clubofrome.org](http://www.clubofrome.org)
- (4) FAO: <http://apps.fao.org>. Database accessed in 2001
- (5) [www.fao.org/ag/agl/swlwpnt/reports](http://www.fao.org/ag/agl/swlwpnt/reports)
- (6) Rabbinge, R. (1990) *Simulation Monographs*, Pudoc, Wageningen, vol. 34
- (7) Eggersdorfer, M., Meijer, J., Eckes, P., (1992) Use of renewable resources for non-food materials, *FEMS Microbiol. Rev.*, 103, 355

- (8) U.S. DOE (US Department of Energy) (1998) Plant/crop based renewable resources 2020: a vision to enhance US economic security through renewable plant/crop-based resource use; [www.science.doe.gov](http://www.science.doe.gov)
- (9) BRDT (Biomass Research and Development Technical Advisory Committee), (2002) Roadmap for Biomass Technologies in the United States; [www.bioproduct-bioenergy.gov](http://www.bioproduct-bioenergy.gov)
- (10) Klass, D.L. (2003) A critical assessment of renewable energy usage in the USA. *Energy Policy*, **31**, 353-367
- (11) European Parliament and Council, directive 2003/30/EC on the promotion of the use of biofuels or other renewable fuels for transport; *Official Journal of the European Union* L123/42, 17.05.2003, Brussels
- (12) Okkerse, C., van Bekkum, H. (1999) From fossil to green, *Green Chemistry*, **1**(2), 107-114
- (13) Altman, A. (1999) Plant biotechnology in the 21<sup>st</sup> century: the challenges ahead. *Electronic J. Biotechnol.* **2**(2)
- (14) Lange, J.P., *Cattech* **5**(2001) 82-95
- (15) DuPont (2004) The miracles of science, Press release, May 26, 2004
- (16) Nakamura, C.H., Whited, G.M. (2003) Metabolic engineering for the microbial production of 1,3-propanediol. *Curr. Opin. Biotechnol.* **14**, 454-459
- (17) Amthor, J.S.; *Annals of Botany* **86**(2000) 1-20; The McCreedy-Wit-Penning de Vries-Thornley Respiration Paradigms: 30 years later
- (18) Bendricchio, G., Korgensen, S.E. (1997) Exergy as goal function of ecosystems dynamic. *Ecological Modelling*, **102**, 5-15