

De Ecopyramide - Biomassa Beter Benutten

Dit rapport is in opdracht van InnovatieNetwerk opgesteld door:

Prof.dr. J.T.P. Derksen, Platform Bio-based Business

Ir. E. van Seventer, Wageningen UR

Ir. K.J. Braber, EBM Consult

Dr.ir. J. van Liere, Van Liere Management

Redactie: Ir. J.H. van Kasteren

Projectleider InnovatieNetwerk:

Dr.ir. J.G. de Wilt

Dit rapport is opgesteld in het kader van het thema 'Duurzaam Ondernemen'.



Postbus 19197

3501 DD Utrecht

tel.: 070 378 56 53

internet: www.innovatienetwerk.org

Het ministerie van LNV nam het initiatief tot en financiert InnovatieNetwerk.

ISBN: 90 – 5059 – 368 – 7

Overname van tekstdelen is toegestaan, mits met bronvermelding.

Rapportnr. 08.2.193, Utrecht, september 2008.

Voorwoord

De samenleving staat aan de vooravond van een grootschalige toepassing van biomassa als bron van duurzame energie en als grondstof voor producten waarvoor nu olie, gas en/of steenkool worden gebruikt. Het Platform Groene Grondstoffen geeft aan dat in 2030, 30% van de energie en 20-45% van de grondstoffen voor chemie afkomstig zou moeten zijn uit biomassa. Belangrijke drijvende krachten achter deze transitie zijn de afhankelijkheid van olie-importen uit politiek instabiele landen, de uitstoot van broeikasgassen en de te verwachten structurele stijging van de olieprijs. De *biobased economy*, een economie gebaseerd op biomassa, wordt in dit licht als een zeer aantrekkelijk perspectief gezien. De Europese Commissie spreekt in dit verband zelfs van het 'Groene Goud'.

Voor een duurzame ontwikkeling van een samenleving gebaseerd op biomassa moet aan ten minste twee voorwaarden zijn voldaan. Ten eerste moet de biomassa op duurzame wijze worden gewonnen, dat wil zeggen: zonder schadelijke effecten voor mens, dier en aarde. Ten tweede moet het maximale rendement uit deze kostbare grondstof worden gehaald. De huidige, verspillende wijze waarop fossiele grondstoffen worden benut, mag daarbij gelden als voorbeeld van hoe het niet moet.

De eerste opgave, duurzame productie, krijgt inmiddels ruime aandacht van de Nederlandse overheid. Maar de tweede opgave, duurzame benutting, staat niet of nauwelijks in de belangstelling. Dit rapport beoogt daarin verandering te brengen. Duurzame benutting van biomassa vergt een systeeminnovatie die leidt tot een heel andere inrichting van de infrastructuur op het gebied van energie, chemie en voedselvoorziening. Een inrichting waarbij de verschillende ketens zijn verknoopt tot 'voedselwebben' van energie en materiaalstromen.

Biomassa is zonne-energie die is opgeslagen in geordende organische moleculen. Deze kan langs verschillende wegen worden benut: als

(bouw)materiaal, maar ook in de vorm van medicijnen, voeding, brandstof, elektriciteit en warmte. Uiteindelijk wordt alle biomassa weer omgezet in laagwaardige warmte, kooldioxide en water. De kunst is echter om de maximale arbeid uit die transformatie van geordende moleculen tot warmte te halen door cascadering, het stapsgewijs benutten van de energie-inhoud van biomassa.

In de praktijk leidt cascadering tot het koppelen van ketens uit zeer verschillende bedrijfstakken, zoals de farmacie, de biochemie, de voedingsindustrie, de kledingindustrie en de energiesector. Het bijeenbrengen van al die verschillende partijen gebeurt niet vanzelf, maar moet door de overheid worden gestimuleerd, onder meer via ruimtelijke ordening, marktordening, fiscale en juridische instrumenten en het bevorderen van kennisontwikkeling.

In dit rapport worden de basisregels voor het efficiënt benutten van biomassa gepresenteerd en geïllustreerd aan de hand van enkele voorbeeldcases. Hieruit blijkt dat de inrichting van de op biomassa gebaseerde samenleving er anders uitziet dan de huidige, op fossiele grondstoffen gebaseerde samenleving. De uitgangspunten vertonen overeenkomst met de wijze waarop de, eveneens door de zon gedreven, natuurlijke ecosystemen zijn gebaseerd. Als symbool voor de duurzame biosamenleving is daarom gekozen voor de ecopyramide, het complex van materiaal- en energiestromen in een ecosysteem.

Dr. G. Vos,
Directeur InnovatieNetwerk

Inhoudsopgave

Voorwoord

Samenvatting 1

1. Inleiding 5

2. Ecopyramide 9

3. Ketens optimaliseren 13

4. Seed-to-Service 17

5. De koe en de 'heilige koe' 21

6. Andere ecopyramides 27

7. Bouwen aan ecopyramides 31

Referenties 35

Bijlagen:

1:	Toelichting op de ecopyramide	39
2:	Het sojapark	43
3:	De Crop-to-Craft-analyse	47
4:	Een geïntegreerde kolencentrale met algenkwekerij	51
5:	Aanvullende opties voor de glastuinbouwkas	55
6:	Duurzaamheidsaspecten van biomassa-inzet	59

Summary 63

Samenvatting

Nederland zet in op duurzame ontwikkeling, en de energievoorziening is daar een belangrijk onderdeel van. Anno 2005 werd volgens het CBS slechts 2,4% van de totale energievoorziening geproduceerd uit duurzame bronnen. In haar advies aan het kabinet stelt het Platform Groene Grondstoffen dat in 2030 het aandeel biomassa in de energievoorziening zou moeten stijgen tot 30%. In diezelfde periode – dus in minder dan 25 jaar – zouden ook fossiele grondstoffen voor een derde moeten zijn vervangen door biomassa oftewel het ‘Groene Goud’, zoals de Europese Commissie het noemt. Dit ‘Goud’ moet echter wel verstandig worden gebruikt. Verstandiger in ieder geval dan het ‘Zwarte Goud’ – de fossiele grondstoffen, die te vaak worden omgezet in laagwaardige warmte zonder er nuttige producten of hoogwaardige arbeid uit te halen.

De ecopyramide is een concept waarin het gebruik van biomassa wordt geoptimaliseerd. De ecopyramide brengt in beeld welke aspecten moeten worden afgewogen bij de inzet van biomassa en in welke volgorde de producten moeten worden benut. Leidraad daarbij is het maximaal gebruik van de ordening van moleculen. Daarbij staat het gebruik van biomassa voor medicijnen en voedsel voorop, gevolgd door materialen, chemische grondstoffen, transportbrandstoffen en arbeid (elektriciteit) en tot slot warmte. Het achterliggende motief is de plicht om natuurproducten, gestolde zonne-energie, zo efficiënt mogelijk te gebruiken.

Centraal in de ecopyramide staat het begrip ‘exergie’. Energie (ook ‘duurzame’ energie) is meer dan louter calorieën of joules. Energie heeft een bepaalde kwaliteit – exergie – die aangeeft hoeveel arbeid er met die energie kan worden geleverd. Grondstoffen moeten daarom eerst worden omgezet in voor de mens nuttige producten of arbeid.

Omzetten in laagwaardige warmte moet zo lang mogelijk worden uitgesteld, want daarna is de energie weliswaar niet verdwenen maar wel vervlogen.

Om biomassa zo goed mogelijk te benutten, moet allereerst de hele keten van Seed-to-Service worden geoptimaliseerd op basis van een zogeheten triple-E-analyse (exergie-economie-ecologie). De keten bestaat uit groei, oogst, transport, bewerking, verwerking, gebruik en recycling. In de top van de pyramide staan de producten met het kleinste volume, de hoogste waarde, de meeste exergie en de minste milieu-impact. Naar beneden toe wordt exergie omgezet in entropie (ofwel van orde naar wanorde). De waarde van de producten daalt, evenals de marges. Bovenin zijn de volumes gering, maar de marges hoog (bijvoorbeeld medicijnen). Onderin zijn de volumes groot maar de marges gering (bijvoorbeeld ruimteverwarming).

Bij het gebruik van biomassa krijgen levende schepselen voorrang bij het onttrekken van medicinale stoffen en levensenergie (voedsel). De volgende stap is het waar mogelijk direct benutten van materialen (zoals hout, zetmeel en cellulose), alvorens deze vergisting of vergassing om te zetten in chemische grondstoffen voor kunststoffen en in transportbrandstoffen. Waar mogelijk wordt de energie die vrijkomt bij deze processen direct benut. Voorop staat de omzetting in arbeid (elektriciteit), die bij voorkeur decentraal moet plaatsvinden. De daarbij vrijkomende warmte en kooldioxide (CO₂) kunnen dan eveneens optimaal worden benut voor ruimteverwarming (huizen, kassen) of als plantenvoeding. Cruciaal tot slot is het sluiten van de kringloop door de vrijgekomen mineralen te hergebruiken, zodat de toekomstige levering van biomassa gewaarborgd is.

Voor een werkelijk duurzame ontwikkeling zou de grootschalige inzet van biomassa vanaf het begin moeten worden gebaseerd op de exergie-benadering en het concept van Seed-to-Service. Dat vraagt om fundamentele denkslagen en ingrepen die veel verder gaan dan louter benzine te vervangen door ethanol, en diesel door koolzaadolie. Het is een taak van de overheid om dit besef uit te dragen en de condities te scheppen voor de noodzakelijk evolutie van de 'fossiele' naar de *bio-based* samenleving.

1. Inleiding

De Europese Commissie heeft biomassa uitgeroepen tot het 'Groene Goud'. Het is een panacee voor alle energiekwalen waarmee de Europese Unie kampt, zoals een gebrekkige leveringszekerheid en de stijgende uitstoot van CO₂. Biomassa is duurzaam, groen, CO₂-neutraal en komt (grotendeels) van eigen Europese bodem. Bron is de (gratis) zonnestraling, die in Europa per jaar zo'n honderd maal groter is dan de totale energiebehoefte. De vraag is echter hoe het 'Groene Goud' duurzaam moet worden benut, zonder te vervallen in dezelfde fouten die zijn gemaakt bij het benutten van fossiele energie.

Het energetisch rendement van het gebruik van fossiele grondstoffen en brandstoffen is bedroevend. Een ketenanalyse (*Well-to-Wheel*, zie Bijlage 3) voor transport per auto laat zien dat het totale ketenrendement slechts 8% is. De dure, geïmporteerde aardolie wordt dus voor 92% omgezet in onbruikbare warmte, en voor slechts 8% in waarvoor de brandstof is bedoeld: het overwinnen van lucht- en rolweerstand. Wordt benzine vervangen door ethanol uit biomassa, dan halveert het ketenrendement tot 4%, vanwege de bewerking die biomassa moet ondergaan.

Iets vergelijkbaars geldt voor het verwarmen van woningen met individuele HR-ketels. Slechts 19% van de brandstof in de keten van 'aardgasveld tot radiator' wordt nuttig gebruikt om radiatorwater van 90 °C te maken. Dat kan veel efficiënter: door de HR-ketel te vervangen door een microwarmtekrachtcentrale, die warmte én elektriciteit produceert, wordt het ketenrendement tweemaal zo hoog.

Het voorbeeld van microwarmtekracht laat zien dat het zinvol is om voor het grootschalig inzetten van biomassa gebruik te maken van natuurkundige wetten – meer in het bijzonder de wetten van de

thermodynamica. Daaruit blijkt dat energie weliswaar niet verloren gaat, maar dat de kwaliteit van energie bij benutting altijd afneemt. Met andere woorden: bij gebruik moet het verlies aan kwaliteit (exergie) zo lang mogelijk worden uitgesteld. Niet in één keer alles verbranden, maar biomassa eerst gebruiken om er waardevolle producten en arbeid (elektriciteit) uit te halen. Een aanpak die kan worden geïllustreerd met de 'ecopyramide'.

2.

EcOPYRAMIDE

De ecopyramide is een begrip uit de ecologie en heeft betrekking op de energie- en materiaalstromen binnen een ecosysteem. Aan de basis ligt de energie van de zon. Via fotosynthese zetten planten en sommige bacteriën – de producenten – zonne-energie om in biomassa: complexe en minder complexe chemische verbindingen. Op hun beurt vormen deze voedsel voor andere organismen (herbivoren), die planten eten om er energie en bouwstoffen uit te halen. Herbivoren vormen zelf weer het voedsel voor vleeseters, primaire carnivoren, die op hun beurt weer het voedsel vormen van secundaire carnivoren.

Een ecosysteem kent tientallen van zulke voedselketens. Zo zijn ook onderling verknoopt. Zo zal een herbivoor als de muis ook wel eens een regenworm consumeren en zijn er ook omnivoren (mensen bijvoorbeeld) die zowel planten als andere dieren eten. Dat geheel aan met elkaar verknoopte voedselketens, noemt men voedselwebben. In feite komt het erop neer dat de inkomende zonne-energie via die voedselwebben wordt verdeeld onder de organismen die samen het ecosysteem vormen. De ecopyramide laat zien hoe de energie- en materiaalstromen verlopen via de voedselwebben in het betreffende ecosysteem.

Toegepast op biomassa, kan de ecopyramide illustreren hoe gestolde zonne-energie stapsgewijs kan worden benut om voedsel, grondstoffen en energie te produceren (zie figuur 1). De basis van de pyramide omvat vijf stappen:

1. Ketens optimaliseren

De eerste stap is om de totale keten (voor biomassa is dat grondbewerking, zaaien, oogsten, transporteren, bewerken, verwerken, gebruiken en recycleren) te optimaliseren op basis van een triple-E-analyse (exergie-economie-ecologie).

2. Materialen onttrekken

Levende wezens krijgen voorrang voor het onttrekken van medicinale stoffen en levensenergie (voedsel). Vervolgens wordt aan de natuurlijke materialen (zoals hout) zetmeel en cellulose onttrokken. Deze worden daarna gebruikt.

3. Grondstoffen raffineren

Door het vergisten of vergassen van vezels en stengels worden chemische grondstoffen gemaakt voor bijvoorbeeld kunststoffen en transportbrandstoffen.

4. Energie opwekken

Energie wordt opgewekt **tijdens** deze processen (ketenintegratie) dan wel **nadat** deze processen hebben plaatsgevonden. De omzetting in elektriciteit moet bij voorkeur decentraal plaatsvinden, zodat de vrijkomende warmte en andere producten, zoals water en CO₂, lokaal benut kunnen worden.

5. Mineralen hergebruiken

De kringloop wordt gesloten door de mineralen te recyclen, zodat nieuwe biomassa kan groeien en de toekomstige levering gewaarborgd is.

De vier flanken van de pyramide staan voor integraal gebruik, hoogste opbrengst, optimaal exergierendement en maximale duurzaamheid. Ze benadrukken dat de maximale opbrengst wordt gerealiseerd door het stapsgewijs benutten (cascaderen) van de energie- en materiaalinhoud van biomassa (figuur 1). In de top van de pyramide staan producten met het kleinste volume, de hoogste waarde, de meeste exergie en de minste milieu-impact. Naar beneden toe wordt de exergie gaandeweg omgezet in entropie – de orde slaat om in wanorde. Daarmee daalt de waarde van de producten, evenals de marges. Voedsel voor mens en dier hoort om ethische redenen bovenin de pyramide. Materialen en natuurlijke polymeren moeten worden gewonnen voordat biomassa wordt vergist of vergast voor chemie en brandstoffen. Pas dan moet de (rest)biomassa worden omgezet in ‘duurzame’ energie (zie bijlage 1).

Figuur 1: Eco-pyramide voor het optimaal benutten van biomassa.



Exergie

Energie is meer dan een hoeveelheid calorieën of joules. Energie kan ook niet opraken. Wat wel wordt verbruikt, is de kwaliteit van energie: exergie. Die kwaliteit bepaalt de toepassingsmogelijkheden. Zo heeft een hoeveelheid warmte van bijvoorbeeld 1000 °C een hoger kwaliteitsniveau dan dezelfde hoeveelheid warmte van 90 °C, hoewel er evenveel calorieën inzitten. Met een warmte van 1000 °C kan aluminium en brons worden gesmolten, maar met een warmte van 90 °C kan zelfs geen water aan de kook worden gebracht. Hoge temperatuurwarmte heeft voor ons dus meer waarde.

Elektriciteit en zonlicht hebben een nog hogere kwaliteit dan warmte van 1000 °C, want er kan niet alleen aluminium en brons mee worden gesmolten, maar ook wolfram, dat een smelttemperatuur heeft van 3400 °C. Met een brandglas kan warmte van duizenden graden worden gemaakt. Alleen met warmte van omgevingstemperatuur kan niets meer worden gedaan, dus dat heeft geen waarde, ofwel een kwaliteitsniveau 0. Tabel 1 toont de kwaliteit van energie:

Energiedrager	Kwaliteitsniveau
Zonlicht, elektriciteit, arbeid	1
Aardgas, kolen, olie, droge biomassa	0,9-1
Warmte van 1000 °C	0,75
Warmte van 500 °C	0,60
Warmte van 30 °C	0,05

Tabel 1: Kwaliteitsniveau's van verschillende energiedragers.

Om de energie-inhoud optimaal te benutten, moet eerst het hoogste kwaliteitsniveau worden geconverteerd in een iets lager kwaliteitsniveau door er arbeid of hoogwaardige producten uit te halen. De resterende energie kan vervolgens voor laagwaardigere toepassingen worden benut. Als het gaat om het duurzaam benutten van biomassa, is daarom niet alleen de hoeveelheid energie (de enthalpie) van belang, maar ook de kwaliteit van de energie (de exergie). Door louter calorieën of joules te tellen, verdwijnt de kwaliteit uit beeld, wat leidt tot verspilling van energie.

3.

Ketens optimaliseren

Landbouwgewassen worden vanouds gebruikt als grondstof voor de industrie. Industrieaardappelen bijvoorbeeld vormen de bron van zetmeel voor de aardappelmeelindustrie, dat op zijn beurt wordt gebruikt voor allerlei toepassingen, uiteenlopend van behangselplak tot boorvloeistof. Jarenlange veredeling heeft ervoor gezorgd dat de industrieaardappel een redelijk efficiënte leverancier van zetmeel is geworden. De overige delen van het gewas (blad, stengels, schillen) hebben weinig of geen toegevoegde waarde en worden afgezet als veevoer of brandstof. Het loof wordt zelfs helemaal niet benut.

Wat voor industrieaardappelen geldt, geldt ook voor koolzaad. Alleen de olie is interessant voor industriële verwerking en wordt onder meer gebruikt voor smeermiddelen en voor de bereiding van cosmetica. Het schroot dat vrijkomt bij verwerking wordt veelal afgezet als veevoer. Het stro zelf heeft geen economische waarde en wordt veelal omgeploegd, waarmee het in ieder geval nog bijdraagt aan het verbeteren van de bodemstructuur. Ook hiervoor geldt dus dat het grootste deel van de in biomassa vastgelegde zonne-energie niet wordt benut.

Een voorbeeld van een gewas dat economisch gezien wél op meer dan één pijler staat, is soja. Sojabonen leveren twee productstromen op, die elk ongeveer evenveel bijdragen aan het economisch resultaat. De olie is van oudsher interessant, zowel voor voedings- als niet-voedingstoepassingen. Het ontvette, eiwitrijke schroot is interessant als een bron van eiwitconcentraten en eiwit-isolaten met hoge toegevoegde waarde. Maar ook hier zijn nog verdere opties mogelijk voor de verwerking van loof, stengels en vezels (zie Bijlage 2).

In het algemeen geldt dat de toegevoegde waarde van een landbouwgewas wordt gedragen door één of enkele componenten. Slechts een zeer bescheiden deel van de gegenereerde biomassa is economisch interessant. Het zou de benutting van het gewas (en daarmee van de erin opgeslagen zonne-energie) ten goede komen als er ook voor andere componenten zinvolle en economisch interessante(re) toepassingen zouden zijn. Daarvoor is het noodzakelijk om de totale verwerkingsketen te analyseren aan de hand van de principes van de ecopyramide, dat wil zeggen: het stapsgewijs benutten van de in biomassa opgeslagen zonne-energie.

Volgens het exergieprincipe moet het maken van wanorde (entropie) door het omzetten van geordende lange moleculen in gasvormige deelcomponenten zo lang mogelijk worden uitgesteld. De moleculen (en hun ordening) moeten altijd eerst 'als moleculen' worden gebruikt alvorens ze om te zetten in warmte of elektriciteit. Biomassa biedt mogelijkheden om een palet aan grondstoffen, materialen, farmaceutische producten, brandstoffen en energie te winnen. Voorbeelden zijn het benutten van tarwestro in bouw materiaal, de winning van hoogwaardige eiwitten uit afvalstromen van de aardappelzetmeelindustrie en de productie van afbreekbare bioplastics uit aardappelschillen. De thermodynamisch goede volgorde is om eerst de lange geordende moleculen (kleine hoeveelheden, hoge prijs) te winnen, vervolgens de biomassa zo efficiënt mogelijk om te zetten in chemische grondstoffen en/of materialen, en daarna pas elektriciteit en warmte te creëren.

Fritesaardappel

Een voorbeeld van ketenoptimalisatie is de benutting van de fritesaardappel. Momenteel wordt deze maar voor 62% gebruikt. De rest (stoomschillen en aardappelresten) werd in het verleden voor 80% verwerkt tot diervoeder, voor 10% als grondverbeteraar en voor 10% verbrand of gestort. De aanscherpingen van de kwaliteits- en veiligheidseisen voor gebruik als veevoer hebben geleid tot nieuwe afzetkanalen en het opnieuw configureren van de aardappelketen. In eerste instantie spelen nevenproducten zoals rösti en aardappelkroketten daarin een belangrijke rol. Naar andere, waarschijnlijk veel interessantere opties voor het verwerken van aardappelschillen, bijvoorbeeld als grondstof voor bioplastic (Solanyl), wordt momenteel nog onderzoek gedaan. Deze opties leiden tot een economisch hoogwaardigere keten en een meer integrale benutting van de biomassa.

4.

Seed-to-Service

Bij het benutten van het 'Groene Goud' (biomassa) moeten de thermodynamische fouten die gemaakt zijn bij het benutten van het 'Zwarte Goud' (fossiele brandstoffen) worden vermeden. Bij de ontginning van de omvangrijke aardgasvoorraden stond de winst, niet de waarde, voorop. Voor de betrokken bedrijven (NAM) en de overheid bracht die aanpak zoveel geld in het laatje dat er niet verder werd nagedacht. Over de kwaliteit ervan en hoe die optimaal te benutten, werd niet of nauwelijks nagedacht. Het aardgas werd en wordt voornamelijk verstoekt in CV-ketels om huishoudens van warmte te voorzien met een exergierendement van slechts enkele procenten, terwijl een relatief klein deel wordt gebruikt om er nuttige producten en arbeid (elektriciteit) van te maken.

Een keten met een goede stapsgewijze benutting van de grondstof en met gebruik van de juiste (energie)technologieën is efficiënt, zelfs als de componenten in de keten elk op zich niet optimaal zijn. De Russische revolutie heeft in 1917 in Moskou een energie-infrastructuur geschapen die, ondanks slechte individuele componenten, efficiënter is dan de westerse. De bij de opwekking van elektriciteit vrijkomende warmte werd benut voor het verwarmen van gebouwen. Als de Nederlandse energie-infrastructuur op deze manier wordt omgebouwd van *Source to Service*, dan kan de efficiency tussen nu en 2020 met bijna 70% stijgen (zie tabel 2).

Tabel 2: Berekende invloed voor Nederland van de energie-infrastructuur volgens het Source-to-Service-model (Bron: KEMA en Electricity Technology Roadmap, 2002).

Parameter	Huidige situatie	2020 Business as usual	2020 Source-to-Service-infrastructuur
Energievraag	100	200	200
Brandstof	100	200	105
CO ₂ -emissie	100	200	100
Kosten	100	200	177
Efficiency	100	100	169

Het grootschalig benutten van biomassa – zoals bepleit door de nationale én de Europese overheden – zou in dit geval vanaf het begin gebaseerd moeten zijn op Seed-to-Service: het maximaal benutten van de in biomassa vastgelegde energie. Het huidige Nederlandse en Europese beleid is erop gericht om in 2010 bijna zes procent van de fossiele motorbrandstoffen te vervangen door biobrandstoffen. Exergetisch gezien is dat een vorm van verspilling, vergelijkbaar met de manier waarop de aardgasvoorraden worden verspild. In plaats daarvan zou de inzet van biobrandstoffen gebaseerd moeten zijn op een grondige analyse van de hele keten. Een analyse waarin ook rekening wordt gehouden met een belangrijke eigenschap waarin biomassa zich onderscheidt van fossiele brandstoffen: het is verteerbaar.

Die verteerbaarheid betekent dat biobrandstoffen niet alleen in *man-made refineries* (raffinaderijen) worden benut, maar dat er ook een groot aantal *natural refineries* bestaat, waaronder koeien, kippen en mensen. De decentrale capaciteit van deze *natural refineries* is indrukwekkend. Hun gecombineerde vermogen in Nederland is naar schatting een orde van grootte hoger dan het vermogen van de olieraffinaderijen. Dat betekent dat ook de levende wezens (van bacteriën tot mensen) in de biomassa-analyse moeten worden meegenomen. Door het integrale benutten van alle waardevolle producten van deze *natural refineries* kan niet alleen de economie van een keten verder verbeteren, maar ook de sociale en ecologische houdbaarheid. Een en ander kan worden geïllustreerd met het voorbeeld van de koe en de heilige koe.

5.

De koe en de 'heilige koe'

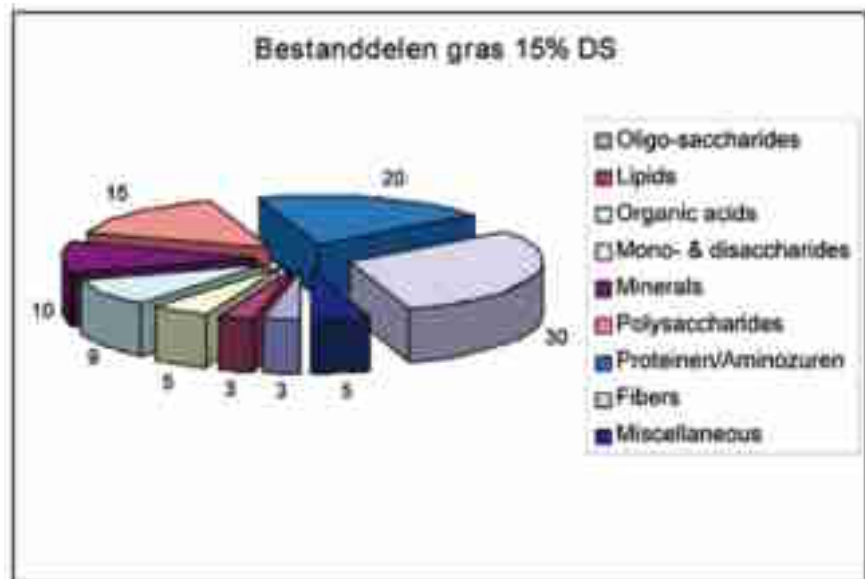
De koe en de 'heilige koe' zijn respectievelijk een voorbeeld van een bestaande biomassaketten en een keten die significante hoeveelheden biomassa vereist voor de productie van biobrandstof. Analyse van beide ketens biedt inzicht in de inzet van biomassa voor het beoogde doel. Een sleutelrol is weggelegd voor de raffinaderijen van zowel mechanische (drukvaten, pijpleidingen en afsluiters) als biologische aard (maag, darmen en kringspier).

De koe is een raffinaderij die biomassa op lage temperatuur omzet in waardevolle chemicaliën zoals melk, mest en methaan. In dat opzicht verschilt ze maar weinig van een olieraffinaderij, waar ruwe olie ingaat en waardevolle producten uitkomen. De koe produceert ook veel laagwaardige warmte van circa 39 °C, die exergetisch gezien maar weinig waard is. Alleen bij direct gebruik, zoals eertijds in het 'loshoes', waarin mensen en dieren samen leefden, levert dat nog wat op. Desondanks is het totale exergierendement van een koe, mits we mest en methaan meenemen, met 63% heel behoorlijk.

Als we een koe alleen houden vanwege de melk en het vlees, heeft de 'bioraffinaderij' slechts een exergierendement van 14% (melk 13%, vlees 1%). De belangrijkste bijdrage komt van de mest (43%). De resterende 6% wordt geleverd door methaan, dat via de voor- en achterkant uit de koe ontsnapt. Mest moet door vergisting of vergassing nog wel worden omgezet in een bruikbare brandstof zoals methaan, ethanol of dieselolie. Als gevolg van deze dubbelslag (mestproductie in de koe en omzetting in de vergister) is dit deel van het ketenrendement slechts 20-25%. Niettemin wordt de netto exergetische efficiency van de koe door nuttig gebruik van de mest ruimschoots verdubbeld van 14% naar 35-40%.

Door de keten te analyseren langs de lijnen van de ecopyramide (stapsgewijze benutting), ontstaan nieuwe perspectieven op het verbeteren van zowel het economisch als energetisch rendement van de melkveehouderij. En dat terwijl tegelijkertijd de milieubelasting (ecologie) vermindert. De biomassa (gras) vormt daarbij het startpunt.

Figuur 2: Waardevolle bestanddelen in de droge stof van gras.



Gras bevat een aantal waardevolle bestanddelen (zie figuur 2) die op de grondstoffenmarkt een waarde zouden vertegenwoordigen van 700 tot 800 euro per ton. De waarde in de koeienmaag is ongeveer een tiende daarvan: tussen de 50 en 70 euro per ton. Het zou dus economisch interessant zijn om een aantal waardevolle producten aan gras te onttrekken, alvorens het als voer aan de koeien te geven.

Aan de andere kant van de koe valt eveneens winst te behalen. Mest kan worden vergist tot methaan, waarmee elektriciteit en warmte kunnen worden opgewekt. Elektriciteit is goed te transporteren, maar voor warmte geldt dat veel minder. Door de koeienstal te combineren met een tuinbouwkas, kan de vrijkomende warmte, samen met de lichaamswarmte van de koeien, worden gebruikt voor ruimteverwarming.

De cascade aan gebruiksmogelijkheden gaat nog verder. CO₂ dat vrijkomt bij het vergisten van mest, is een interessante meststof voor de planten in de kas. Het digestaat, dat overblijft na vergisting, bevat veel mineralen die bruikbaar zijn als vervanger van kunstmest op grasland. Water tot slot kan worden gezuiverd en gebruikt als drinkwater voor koeien en als gietwater voor de planten in de kas. Kortom: het stapsgewijs benutten van de grondstof gras maakt de keten optimaal: zowel energetisch als ecologisch en economisch.

Fractioneren – **Consumeren** – **Bioraffineren** – **Methaniseren** – **Recycleren**
 (Proteïnen) (Metabole warmte) (Melk,Vlees) (Elektriciteit en warmte) (Mineralen)

Om de keten verder te optimaliseren, moet de stap worden gezet van de klassieke, gespecialiseerde boerderij naar een agro-agglomeraat, opgebouwd rondom mest en mestverwerking. Zo'n agglomeraat bestaat uit een winterstal voor 500+ koeien met daarnaast een varkensstal voor 1000 varkens. Daarbovenop bevindt zich een tuinbouwkas. 's Winters heeft de kas veel warmte nodig, die wordt geleverd door de 1500 dieren. Methaan van de dieren wordt via membranen opgevangen en, samen met methaan uit de vergister, gebruikt om elektriciteit en warmte te produceren.

's Zomers gaan de koeien in de wei en hebben de varkens plots een extra scharrelruimte (de koeienstal). De CO₂ en waterdamp uit de varkens is genoeg voor de CO₂-voeding van de kas in de zomer. De varkens zorgen in de zomermaanden bovendien voor de aanvoer van mest naar de vergister. Omdat de mest redelijk gelijkmatig wordt aangeleverd, kan de mestvergister in combinatie met de warmtekrachtinstallatie redelijk efficiënt functioneren. De economie verbetert verder door het toevoegen van organische afvalstromen, zoals slachtafval en plantenresten.

De tweede keten is de productie en het gebruik van biomassa als brandstof voor de 'heilige koe', de auto. Figuur 3 laat zien dat het rendement van de biomassaketten de helft is (4%) van dat van de fossiele keten. Een belangrijke oorzaak is dat de energie-inhoud van biomassa minder is dan die van eenzelfde hoeveelheid aardolie. Dat heeft te maken met het feit dat biomassa grosso modo bestaat uit koolhydraten, terwijl ruwe olie bestaat uit koolwaterstoffen. Gehydrateerde koolstof bevat per definitie minder energie per kilo dan koolwaterstoffen. Het hydraat moet van de 'echte' brandstof, de koolstofketens, worden gescheiden, en dat kost energie. Biomassa bestaat bovendien uit lange ketenmoleculen (zetmeel, cellulose, hemicellulose, lignine) die op de een of andere manier ontsloten moeten worden, alvorens ze enzymatisch kunnen worden opgeknipt in kleine moleculen (ethanol) dan wel kunnen worden vergast tot koolmonoxide en waterstof. Uiteindelijk wordt er dieselolie van gemaakt via de zogeheten Fischer-Tropsch-synthese.



Figuur 3: Crop-to-Craft-analyse voor automobieltransport. Voor 100 km voortstuwing is 34 MJ voortstuwingsenergie nodig, waarvoor in de fossiele keten 428 MJ olie uit een bron moet worden gehaald (8% rendement). In de biomassaketten moet 771 MJ biomassa aangemaakt worden voor eenzelfde prestatie (4% rendement).

Uit de ketenanalyse blijkt dat de transportketen ook bij gebruik van fossiele brandstoffen uiterst inefficiënt is (zie ook Bijlage 3). Dit komt voornamelijk door de ‘heilige koe’ zelf, en dan vooral door de zuigermotor, die brandstof voor het overgrote deel omzet in laagwaardige warmte en maar voor een klein deel in voortstuwing. De oorzaak ligt dus niet bij de raffinaderij. Met een gemiddeld eigen verbruik van 6% heeft deze een zeer behoorlijk exergierendement van 94%. Voor een bioraffinaderij, waarin biomassa wordt omgezet in bruikbare bio-brandstof (ethanol of dieselolie), ligt dat een stuk lager.

Vezels

Het overgrote deel van de plant bestaat uit cellulose, hemicellulose en lignine. De eerste twee kunnen worden afgebroken tot hun suikers en vervolgens biologisch geprocessed worden tot ethanol of andere basischemicaliën. Dit is de biochemische route via de enzymatische hydrolyse. De lignine kan worden vergast of verbrand voor respectievelijk chemische grondstof dan wel elektriciteit en warmte (de thermochemische route zoals pyrolyse en vergassing dan wel verbranding).

Entrained flow-vergassing is een kerntechnologie voor de thermische route; enzymatische hydrolyse is een kerntechnologie voor de suikerfermentatieroute.

Figuur 4: Bioraffinaderij met multigeneratie van proteïnen, ethanol, FT-diesel, elektriciteit en warmte voor optimaal rendement en een maximale biomassabenuutting. Het multigeneratieprincipe betekent dat bijvoorbeeld bio-ethanol wordt gemaakt door fermentatie, gevolgd door afscheiden van bio-ethanol en water. Restproducten zoals vezels worden vergast en met behulp van Fischer-Tropsch-synthese omgezet in schone diesel. Verbranding van de dan nog resterende producten in een warmtekrachtinstallatie levert elektriciteit en warmte. Op die manier wordt de exergie tot de laatste calorie gemolken en ontstaat het hoogste rendement.

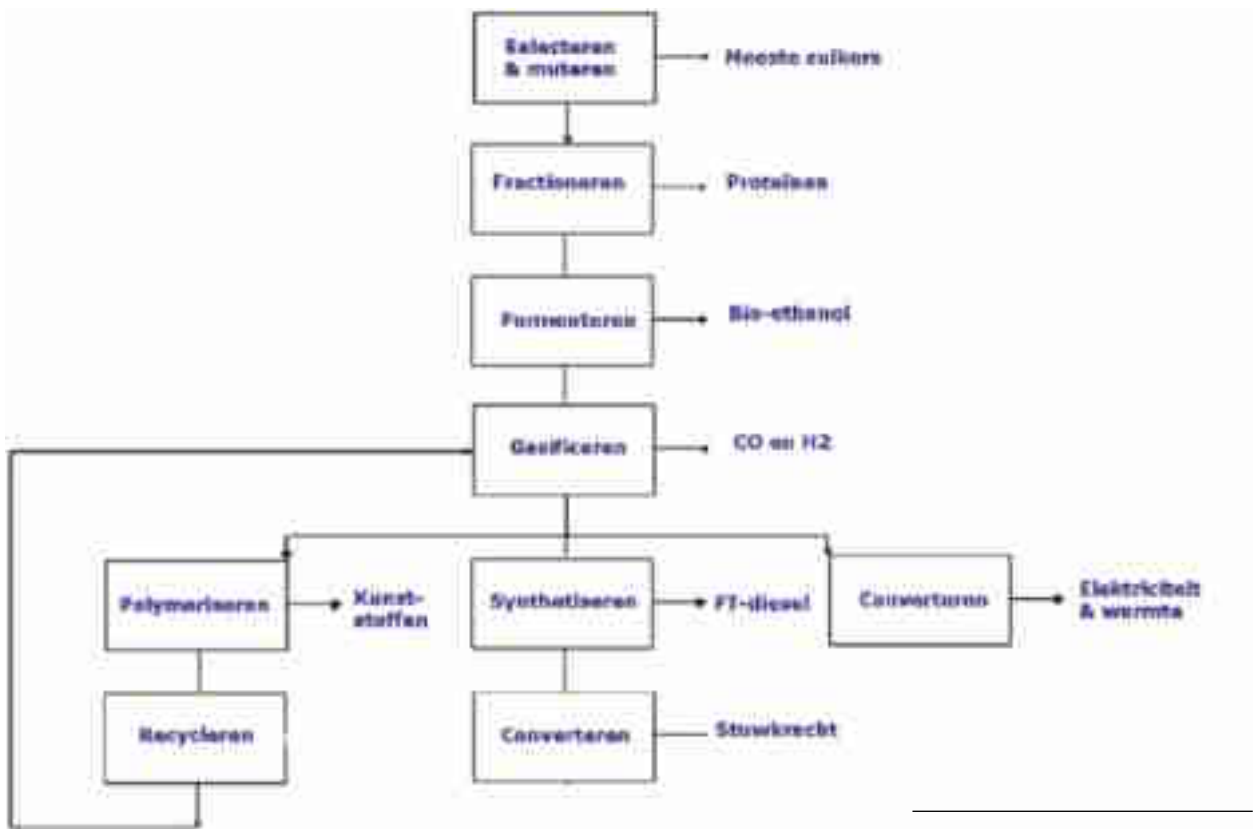
Om van een tamelijk ongedefinieerd product zoals biomassa een bruikbare brandstof te maken, zijn meerdere processtappen nodig. Dat wijst er al op dat het exergierendement van een bioraffinaderij niet zo hoog zal zijn als dat van een olieraffinaderij. Zelfs als het productieproces optimaal wordt geïntegreerd, zoals weergegeven in figuur 4, dan is het exergierendement (slechts) 66%; een stuk lager dus dan dat van een olieraffinaderij. Zonder vergaande integratie, waarbij meerdere producten worden gehaald uit biomassa, is het exergierendement met 40% nog een stuk lager.



Het zonder verder nadenken vervangen van fossiele brandstof door bio-brandstof (*drop in*) lijkt aantrekkelijk omdat er weinig veranderd hoeft te worden aan de automotor en de distributiesystemen, maar is uit het oogpunt van energetisch rendement geen goede zaak. Biomassa is een gecompliceerde grondstof, en om deze optimaal te benutten, moeten we verder kijken dan het uiteinde van de brandstofslang. Niet alleen door de verschillende stappen in de brandstofketen te optimaliseren, maar

ook door te zoeken naar mogelijkheden om andere componenten van biomassa tot waarde te brengen. Figuur 5 geeft daarvan een voorbeeld.

Vanuit het oogpunt van duurzame ontwikkeling worden er bovendien nog andere eisen gesteld aan de productie en het gebruik van biomassa. Zo mag er geen concurrentie optreden met de productie van voedsel, moet biodiversiteit behouden blijven, mag het milieu niet extra worden belast en moet de menselijke waardigheid in acht worden genomen. In Bijlage 6 worden de criteria voor duurzame ontwikkeling van biobrandstoffen op een rij gezet.



Figuur 5: Transportketen waarin biomassa geïntegreerd wordt omgezet in biobrandstof, kunststoffen voor de automobielpeductie en elektriciteit voor plug-in hybride voertuigen.

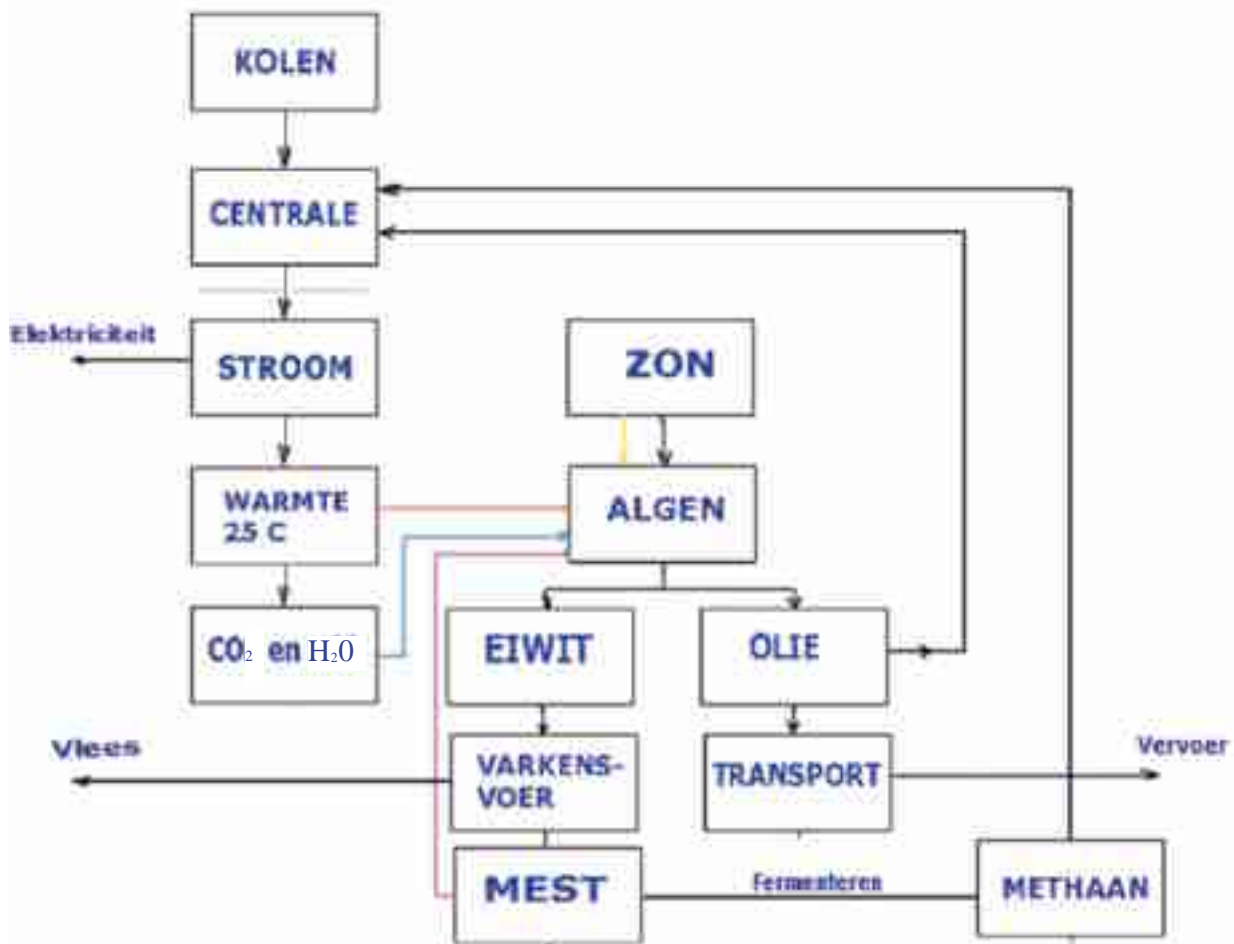
6.

Andere ecopyramides

Het denken in materiaal- en energiestromen langs de lijnen van de ecopyramide opent nieuwe perspectieven voor het geïntegreerd benutten van biomassa. Niet alleen als het gaat om autobrandstof, maar ook voor andere materiaal- en energiestromen. Een voorbeeld is het benutten van de overvloedige warmte van kolencentrales voor het kweken van algen. Zoals bekend liggen er plannen om vier kolencentrales te bouwen, onder meer op de Maasvlakte, in de Eemsmond en in het Sloegebied. De centrales zijn omstreden, omdat bij de productie van elektriciteit uit steenkool in verhouding veel CO₂ vrijkomt en warmte waarmee weinig kan worden gedaan.

Maar koppeling van dit probleem met het al langer bestaande probleem van het mestoverschot in de varkenshouderij kan een mooi nieuw bloempje opleveren. Of, beter gezegd: een mooie alg. Een algenkwekerij levert waardevolle producten, zoals ingrediënten voor dierlijke en humane voeding en biodiesel voor transport. De kunst is om het exergierendement van de verschillende omzettingen vergaand te optimaliseren. Figuur 6 illustreert hoe de opwekking van elektriciteit en warmte uit steenkool gecombineerd kan worden met de productie van grondstoffen en ingrediënten (zie ook Bijlage 4).

In lijn met de ecopyramide wordt de energie-inhoud van steenkool omgezet in hoogwaardige elektriciteit (arbeid). In plaats van af te voeren naar zee (koelen) kan de daarbij vrijkomende, laagwaardige warmte worden gebruikt voor de kweek van algen. In warm water voelen ze zich prettig en groeien ze snel. Met behulp van zonlicht zetten de algen CO₂ uit de schoorsteen om in biomassa. Dat doen ze twee- tot vijfmaal zo efficiënt als de meest productieve landbouwgewassen. Een bijkomend voordeel is dat er geen landbouwgrond nodig is voor de teelt van algen.



Figuur 6: Integratieschema van een kolencentrale aan de kust met een algenkwekerij, gevoed met nutriënten uit varkensmest.

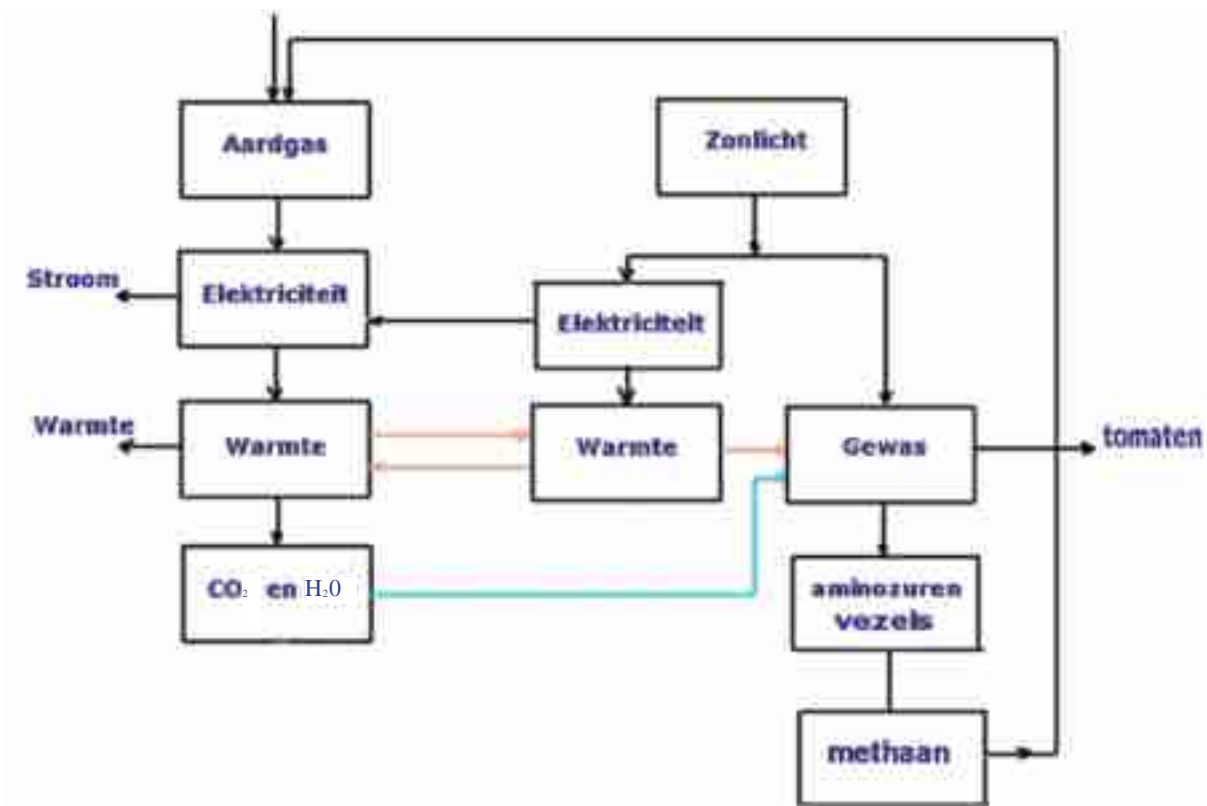
De geproduceerde biomassa (de algen dus) bestaat voor ongeveer 40% uit olie en voor 40% uit eiwit. Met het eiwit kunnen varkens worden gevoerd. Het vergisten van varkensmest levert methaan op dat in de kolencentrale mee verbrand kan worden, CO₂ dat naar de algenvijvers kan worden afgevoerd en digestaat. Uit laatstgenoemd restproduct kunnen de mineralen worden gehaald die de algen nodig hebben voor hun groei en vermenigvuldiging. De olie uit algen kan worden verkocht als vloeibare brandstof voor transport.

In de tuinbouw leidt het denken langs de lijnen van de ecopyramide eveneens tot nieuwe perspectieven. Nederland heeft circa 10.000 ha onder glas. Tot voor kort goedkoop aardgas wordt daar veredeld tot potplanten, rozen, paprika's, tomaten en andere gewassen. Economisch gezien een slimme zet, want mede dankzij het aardgas, is Nederland toonaangevend in de glastuinbouw. Maar vanuit het oogpunt van exergierendement is het verbranden van aardgas voor ruimteverwarming niet zo handig. Als gevolg daarvan zakt het kwaliteitsniveau in één stap van 0,92 naar 0,10 (zie tabel 1).

Veel tuinders zijn ertoe overgegaan om de brandstof via een warmtekrachtcentrale om te zetten in elektriciteit en de meststof CO₂. De daarbij vrijkomende warmte wordt alsnog gebruikt om de kas te verwarmen. Hoewel meer in overeenstemming met de gedachte achter de ecopyramide, is de gecombineerde opwekking van elektriciteit, CO₂ en warmte uit aardgas nog steeds niet optimaal. Een stap verder is het gebruik van de opgewekte elektriciteit, of althans een deel daarvan, voor het binnenpompen van zonnewarmte.

In de zomer wordt de zonnewarmte opgevangen in de kas. In plaats van het teveel aan warmte via geopende ramen af te voeren naar de buitenlucht, wordt deze via efficiënte warmtewisselaars overgedragen aan water en verpompt naar een opslagbassin. 's Winters wordt de opgeslagen warmte via de omgekeerde route weer aan de kas geleverd. Jaarlijks komt er per vierkante meter kasoppervlak zo'n 3500 MJ aan zonne-energie binnen. Dat terwijl voor het verwarmen van de kas slechts 1200 MJ nodig is. Het overschot kan worden gebruikt om andere gebouwen dan de kas van warmte te voorzien. Omdat het om laagwaardige warmte gaat van nog geen 30 graden, is de toepassing beperkt tot gebouwen in de directe omgeving. Anders worden de transportverliezen te groot. Als de warmte benut kan worden in een naastgelegen wijk of bij een andere tuinder, wordt exergiegebruik vermeden en het totale exergierendement verhoogd.

De ecopyramide leert dat het exergierendement verder verhoogd kan worden door onbruikbare plantendelen, zoals wortels, stengels en bladeren, te gebruiken voor de productie van biogas. Ook het invallende zonlicht kan efficiënter worden benut, bijvoorbeeld door de kas voor een deel te voorzien van zonnecellen. Het rendement van rechtstreekse omzetting van zonlicht in elektriciteit is met tien procent een stuk hoger dan het rendement van de omzetting in laagwaardige warmte of zelfs plantenmateriaal (1%). Figuur 7 laat zien hoe aardgas en zonlicht optimaal gebruikt kunnen worden. In bijlage 5 wordt de ontwikkeling van de gesloten kas verder uitgewerkt.



Figuur 7: Principeschema van verdere ontwikkeling van een gesloten tuinbouwkas.

7.

Bouwen aan ecopyramides

Het bouwen van de oude pyramides in Egypte, China en Mexico duurde jaren, kostte duizenden tonnen aan steen en zand, en vergde de inzet van duizenden arbeiders. De ontwikkeling van ecopyramides vergt eveneens de nodige inspanningen, maar daarnaast ook een visie op duurzame ontwikkeling van onze energievoorziening en de rol van biomassa daarin. Die gaat verder dan het vervangen van benzine door ethanol, en diesel door koolzaadolie. De overheid, (Europees, nationaal, regionaal en lokaal) speelt een cruciale rol bij het samen met anderen ontwikkelen van die visie en bij de uitvoering daarvan.

De eerste aanzetten zijn er. De Provincie Zeeland bijvoorbeeld heeft een beleidsplan opgesteld voor het duurzaam ontwikkelen van de Zeeuwse haven- en industriegebieden. Als uitvloeisel daarvan wordt in Terneuzen en omgeving een geïntegreerd agro-industrieel park aangelegd, waar materiaal- en energiestromen worden uitgewisseld en onderling verrekend. Ook elders zijn en worden plannen ontwikkeld voor de ontwikkeling van agro-industriële ecosystemen; niet alleen op nieuwe, maar ook op bestaande industrieterreinen.

Naast een 'Nationaal beleidsplan Bioparken' kan de toepassing van de ecopyramide voor het optimaal benutten van biomassa worden gestimuleerd door onder meer het invoeren van een integrale ketenvergunning en door het financieel en anderszins stimuleren van klein- en grootschalige initiatieven om de energie-inhoud van biomassa optimaal te benutten.

De beoogde integrale ketenvergunning is bedoeld om snel, maar wel zorgvuldig, een bouw- en milieuvergunning te verlenen. Deze vergunning zou moeten worden verleend op basis van een analyse door deskundigen van alle strategische aspecten die van belang zijn bij de

beoogde inzet van biomassa, zoals de optimale benutting ervan, de eventuele emissies, de efficiency en andere aspecten die van invloed zijn op de duurzaamheid van het project. Een dergelijke analyse gaat de capaciteiten van het lokale bestuur te boven. Vandaar dat het overweging verdient om de analyse te laten uitvoeren door een expertgroep op nationaal niveau. De uiteindelijke beslissing blijft vanzelfsprekend een zaak van het lokale bestuur.

Voor het optimaliseren van de inzet van biomassa moeten verschillende ketens – en daarmee ook verschillende partijen – met elkaar worden verbonden. Een (financiële) stimulans van de kant van de overheid kan partijen over de drempel helpen. Daarbij moet een onderscheid worden gemaakt tussen kleinschalige en grootschalige initiatieven.

Kleinschalige initiatieven hebben betrekking op biomassa die binnen de grenzen wordt geproduceerd. Veel daarvan wordt verspreid over het land geteeld door kleinschalige ondernemers en vaak ook decentraal verwerkt. Deze regeling zou via het verstrekken van zachte leningen en subsidies en via risicodragende participaties moeten bevorderen dat er nieuwe, geïntegreerde ketens met een hoge benuttingsgraad worden opgezet. Tegelijkertijd moet via wetgeving de bestaande lokale infrastructuur (zoals regionale gas- en elektriciteitsnetten) toegankelijk worden gemaakt voor kleine ondernemers.

De regeling voor grootschalige initiatieven zou moeten gelden voor industriële bedrijven en conglomeraten die geïmporteerde biomassa uit het buitenland in havengebieden verwerken. Fiscale regelingen zouden het tot stand komen van geïntegreerde agro-industriële parken moeten stimuleren, en daarmee de ontwikkeling van lokale energiewebben.

- Electricity Technology Roadmap; Technology for the sustainable Society. KEMA. Arnhem, April 4, 2002.
- Energiekascade: aanpak voor energiebesparing. InnovatieNetwerk. Utrecht, oktober 2003.
- Energydairy 2025: Melkveehouderij, bron van duurzame energie. Courage. Utrecht, 2006.
- Energie-WEB: Glastuinbouw in een duurzaam regionaal netwerk. InnovatieNetwerk. Utrecht, 2004.
- Akctieplan Biomassa, Inhoudelijk eindrapport. SENTER/NOVEM. 12 januari 2006.
- Multi Year Program Plan 2007-2012. US Department of Energy. Washington, August 31 2005.
- An Assessment of Biomass Feedstock and Conversion Research Opportunities. Stanford University. Palo Alto, Spring 2005.
- Biomassa in de Nederlandse energiehuishouding in 2030. Platform Groene Grondstoffen. januari 2006.
- Thermodynamics of Energy Production from Biomass. University of California. Berkeley, January 27, 2006.
- Duurzame energie in Nederland, Implementatie bio-energie in 2010. SENTER/NOVEM. Sittard.
- Energie via microbiologie, status en toekomstperspectief voor Nederland, R. Wijffels. WUR. Wageningen, maart 2006.
- Criteria voor duurzame biomassa-import. Projectgroep duurzame biomassa-import. 2006.
- Potential of Coproduction of Energy, Fuels en Chemicals from Biobased renewable Resources. Werkgroep Wisebiomas TU Delft. 2006.

- Mobility Chain Analysis of Passenger Cars and Light-duty Vehicles Fueled with Biofuels. Argonne National Laboratory. Argonne, Illinois, May 2005.
- Dertig jaar energiebeleid, van bonzen, polders en markten naar Brussel zonder koolstof. Clingendael International Energy Programme. Clingendael, maart 2005.
- Cradle to cradle. North Point Press. New York, 2002.
- Een kas voor elke woonwijk, duurzame energie voor elke woonwijk uit de glastuinbouw. InnovatieNetwerk. Utrecht, december 2006.

Bijlage I: Toelichting op de ecopyramide

Het topsegment: farma en fijnchemicaliën

In de top van de ecopyramide staan de meest waardevolle producten, die als eerst onttrokken moeten worden alvorens de biomassa om te zetten in brandstoffen, polymeren of energie. Planten beschikken over complexe moleculen (secundaire metabolieten) die bruikbaar kunnen zijn als grondstof voor de farmaceutische industrie en voor de bereiding van geur-, kleur- en smaakstoffen. Slimme extractie, zuivering en zonodig modificatie is waarschijnlijk energetisch een stuk voordeliger dan het met veel moeite synthetiseren van complexe moleculen.

Via genetische manipulatie kan het gehalte van de gewenste stoffen in planten verder worden verhoogd en hun functionaliteit verbeterd, waardoor extractie ook economisch veel aantrekkelijker wordt dan synthese. Met dezelfde technieken kunnen ook de andere bestanddelen van de plant worden gemodificeerd, bijvoorbeeld door de kwaliteit van de reststromen te verbeteren, zodat ze een hogere waarde krijgen.

Het hoge segment: voeding

Voeding is brand- en bouwstof voor levende schepselen. De netto voedselopname is echter maar een fractie van de bruto-inname. Het verschil is mest, een reststroom met een hoge exergetische waarden. Langs de lijnen van de ecopyramide kan de mest dienen als voedsel voor micro-organismen, die er vloeistoffen of gassen van kunnen maken. Die kunnen worden gebruikt voor de productie van elektriciteit, maar ook voor de productie van chemicaliën. De mineralen uit mest fungeren weer als voeding voor de plant.

Het middensegment: natuurlijke polymeren

De natuur levert een aantal materialen die al kant-en-klaar zijn, zoals hout, een cellulosevezel versterkt met fenolhars. Andere vezels zijn

linnen, wol en zijde voor kleding, rubber voor autobanden, papier voor kranten en karton voor verpakking, en dergelijke. Ze vragen nog een geringe bewerking met betrekkelijk weinig energie en het zijn tevens eenvoudige technologieën, een reden waarom ze reeds lang bestaan. In feite wordt dus aangesloten bij de natuurlijke producteigenschappen van de biomassapolymeren. Hun functionele eigenschappen zijn zelfs dusdanig goed dat er ondanks alle moderne technologie nog steeds geen adequate synthetische vervangers voor deze bioproducten gevonden zijn. De biomassa kan ook, bijvoorbeeld als vulmiddel, in combinatie met materialen van andere origine (bijvoorbeeld mineraal) in de bouw of andere toepassingen ingezet worden. Beter is het om de functionele eigenschappen van de biocomponenten te benutten, zoals agrovezelversterking van thermoplasten. Op dit moment worden daar houtvezels voor gebruikt, maar dit principe werkt met allerlei natuurvezels, met een heel palet aan eindproducteigenschappen als gevolg.

Het basissegment: brandstoffen en chemicaliën

Als een gewas zich niet verder laat opeten of uitpluizen, dan komt de productie van chemicaliën en brandstoffen in beeld. Biomassa bevat natuurlijke oliën die via persen of flash-pyrolyse (een zeer kortstondige verhitting zonder zuurstof op circa 500 °C) kunnen worden gewonnen. Vervolgens kunnen ze rechtstreeks of via een bioraffinageproces worden gebruikt als grondstof voor de productie van (bulk)chemicaliën, kunststoffen of vloeibare brandstoffen. Het proces is te vergelijken met het verwerken van ruwe olie tot nafta, dat kan worden gebruikt als brandstof voor vliegtuigen, maar ook als grondstof voor ethyleen en polyethyleen. Producten van polyethyleen vormen als het ware een redelijk efficiënte opslag van brandstof.

Voor het maken van brandstoffen moeten bij voorkeur niet-eetbare vezelgewassen worden gebruikt, mede omdat voor de teelt ervan weinig kunstmest (stikstof) en pesticiden nodig zijn. De hoeveelheid energie die nodig is voor de teelt is laag, en dat pakt gunstig uit voor het totaal van de keten. Via genetische modificatie kan het rendement worden verbeterd waarmee energiegewassen zonlicht omzetten in biomassa. Bovendien kan de veredeling worden gericht op het winnen van vezels die toegepast kunnen worden in de textiel, de bouw en de automobiellindustrie.

De technieken voor het maken van brandstoffen en polymeren uit biomassa zijn gebaseerd op het afbreken van lange ketens cellulose en verwante verbindingen via vergassen of vergisten. Wat resteert, zijn koolmonoxide (CO) en waterstof (H₂), waarmee uiteenlopende chemicaliën en brandstoffen kunnen worden gemaakt. Vaak zijn het exotherme reacties, waarbij gelijktijdig energie vrijkomt. Om deze efficiënt te benutten, moeten de ketens worden geïntegreerd. Om transport te minimaliseren, zou het raffinageproces bij voorkeur decentraal plaats moeten vinden, per groep van boerderijen bijvoorbeeld. Bij aanvoer van overzee fungeert de haven met omliggende industriegebieden als industrieel ecologisch web waarbinnen de biomassa exergetisch optimaal wordt benut.

Het bodemsegment: 'duurzame' energie

Zonlicht heeft een hoog kwaliteitsniveau omdat het opgewekt is met warmte van miljoenen graden. De kunst is om de energie die via fotonen wordt aangeleverd, optimaal te benutten. Dat vraagt om een goede keuze van gewassen, om de juiste teeltmaatregelen en, op termijn, om gewasverbetering gericht op het verhogen van het rendement waarmee zonlicht in biomassa wordt omgezet. Bij de verwerking worden de stappen gevolgd zoals hiervoor geschetst. Daarbij zal altijd een reststroom overblijven van CO₂ en laagwaardige warmte. CO₂ is meststof voor de plant, zodat de cyclus altijd door kan gaan. De warmte van minder dan 100 graden kan worden gebruikt voor ruimteverwarming en als warm tapwater. Ook daar valt de nodige efficiencywinst te boeken, maar dat valt buiten het bestek van dit rapport.

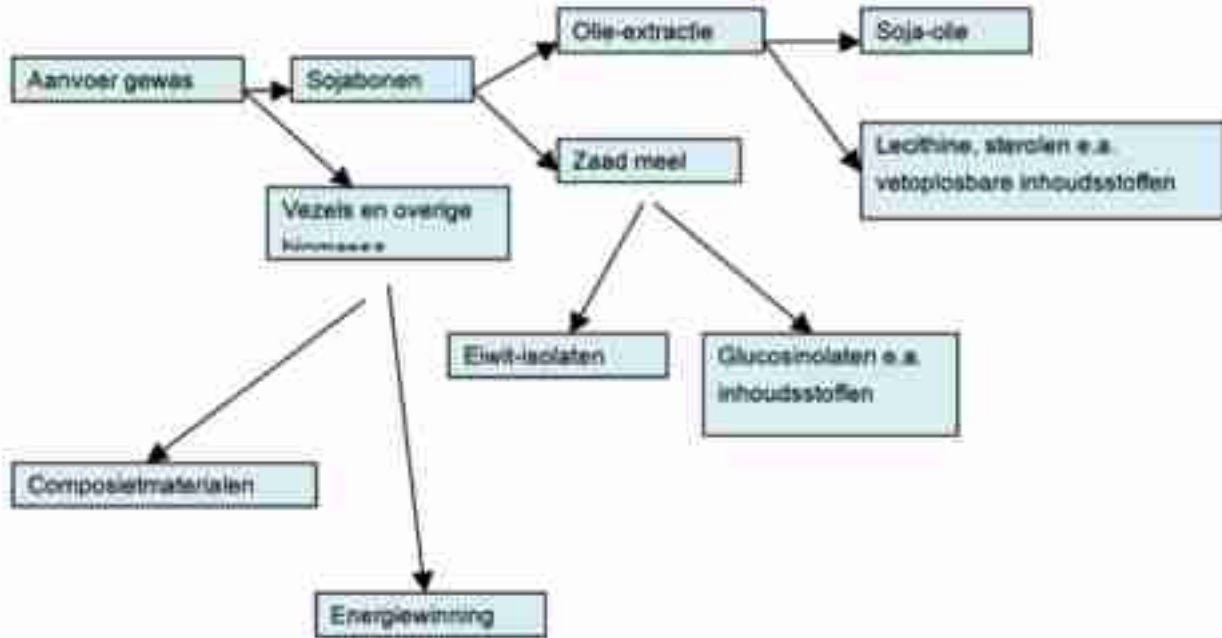
Bijlage 2:

Het sojapark

Soja is een leguminose, dat wil zeggen: een plant die samen met bodembacteriën stikstof uit de lucht kan binden. Oorspronkelijk werd het gewas voor slechts één doel geteeld, namelijk als bron van plantaardige olie voor voeding. In de loop van de 20e eeuw bleek dat de olie ook bruikbaar was in vele niet-voedseltoepassingen, zoals coatings, polymeeradditieven en oppervlakreactieve stoffen. Ook de bij de olie-*raffinage* aanwezige *minor components*, zoals soja lecithine, bleken industrieel zeer interessant. De perskoek (sojaschroot) werd in eerste instantie gebruikt als diervoeding, maar bleek door het ontwikkelen van innovatieve processtappen, gaandeweg vele hoogwaardige eiwitconcentraten te bevatten. Deze zijn niet alleen zeer gewild als ingrediënt in levensmiddelen, maar kennen ook hoogwaardige industriële toepassingen, zoals lijmen, polymeren, cosmetica en inkten. De benutting van de eiwitrijke nevenstroom heeft wat economische waarde betreft, de olie als hoofdproduct zelfs verdrongen.

Hoewel soja als een van de weinige gewassen op twee pijlers rust, wordt van de totale opbrengst (circa 10 ton/ha) nog steeds slechts een kwart (de sojabonen) economisch zinvol benut. Het grootste gedeelte van de biomassa, vooral het vezelrijke loof en de wortels (bijna 8 ton/ha), wordt ondergeploegd of verbrand. Onderploegen van een gedeelte van het loof blijft nodig voor behoud en verbetering van de bodemstructuur, maar er is ruimte om het ketenrendement te verbeteren. Bijvoorbeeld door het vezelmateriaal te benutten. Als van de acht ton loof, drie ton aan stengels benut zou worden als bouw materiaal (plaat- of composietmateriaal; wellicht met sojaolie en/of -eiwit als bindmiddel!), dan zou de keten significant efficiënter worden en een stapje hoger op de ecopyramide scoren.

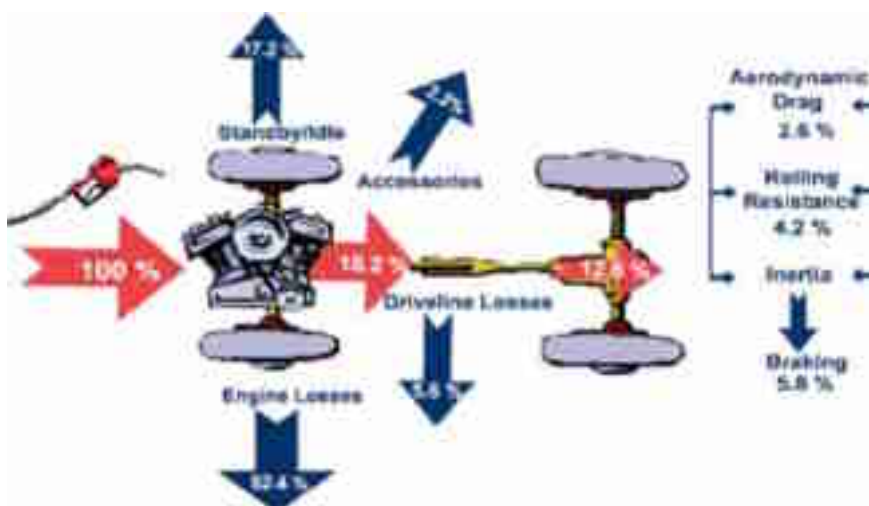
Om redenen van logistiek en efficiëntie zou de verwerking van soja zoveel mogelijk op één plek geconcentreerd moeten worden. Op die manier blijven de transportkosten laag en kunnen energie- en materiaalstromen optimaal op elkaar worden afgestemd. Een bioraffinaderij voor soja zou er conceptueel als volgt uit kunnen zien:



Figuur 8: Bioraffinage van soja.

Bijlage 3: De *Crop-to-Craft*-analyse

Het ontwerp van de automobiel stamt uit de tijd van paard en wagen, en alleen daarom al zou het beter zijn om te spreken van het 'heilige paard' in plaats van de 'heilige koe'. Het probleem met de automobiel met zuigermotor is dat er zeer veel warmte wordt geproduceerd en maar weinig voortstuwing (zie onderstaande figuur 9).



Figuur 9: Energiestromen in een automobiel met zuigermotor.

In een fossiele Well-to-Wheel-keten komt circa 80% van de energie uit de bron aan bij de benzinetank van de auto. Daarvan wordt het merendeel (ruim 70%) direct omgezet in warmte (zuigermotor + aandrijving + remmen). Circa 20% gaat naar stilstandverliezen en de accessoires (airco, elektronica), waardoor er ongeveer 10% overblijft voor het overwinnen van rol- en luchtweerstand en de acceleratie. Het ketenrendement is dus $10\% \text{ van } 80\% = 8\%$. Dat is exclusief de energie die nodig is voor het maken en later weer verschromen van de auto.

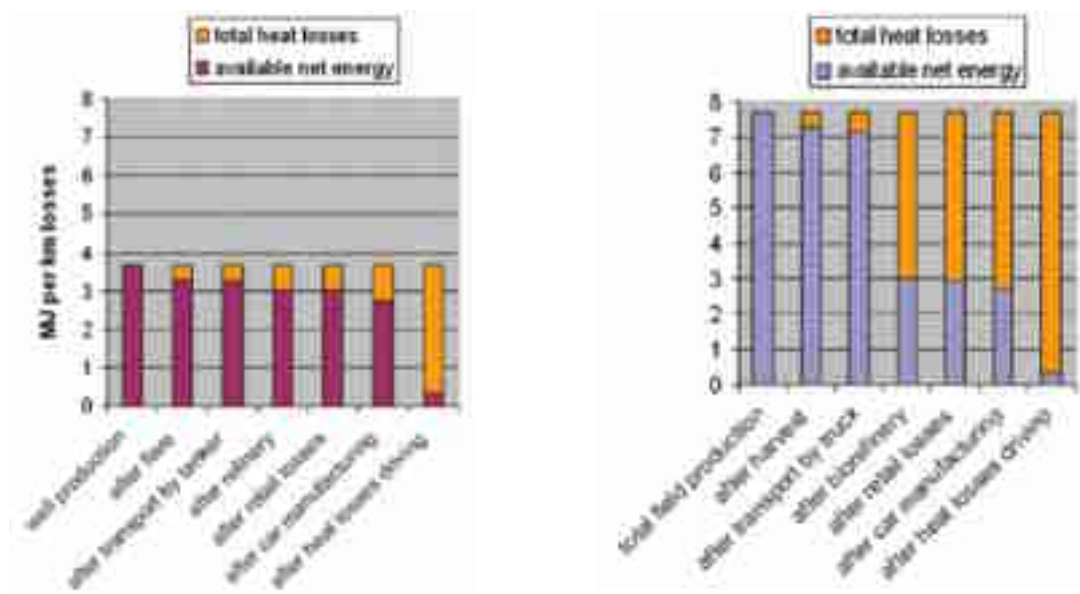
En dan wordt 1500 kg staal en glas verplaatst, terwijl de intentie was om 1-4 mensen van elk circa 75 kg te verplaatsen. Op de keper beschouwd is het ketenrendement dus nog veel lager. Met een overvloed aan (spot)goedkope fossiele energie en de afwezigheid van emissieproblematiek was dit wellicht te billijken. Maar om nu benzine of diesel in een dergelijk apparaat simpel te vervangen door methanol of FT-diesel uit biomassa, is welhaast misdadig. Er zal dus een fundamentele ingreep in de automobiel noodzakelijk zijn.

Het is goed om nu even stil te staan bij de tweede belangrijke component in de keten: de raffinaderij. Een veelgehoorde misvatting in de transportketen is dat de olieraffinaderij heel inefficiënt zou zijn. Dat is onjuist. Voor de destillatie van olieproducten (aan de kook brengen, raffineren en destilleren) wordt in een goede raffinaderij circa 4% van de energiestroom gebruikt; in een slechte 8%. Het product dat eruit komt, is van dezelfde kwaliteit als het product dat erin gaat, dus het exergierendement van een raffinaderij is hoog. Met gemiddeld 6% eigen verbruik is het exergierendement 94%.

Als we overstappen naar biomassa voor brandstof en grondstof, dan moeten we de bioraffinaderij door dezelfde bril bekijken. In een man-made biorefinery verdwijnt hoogwaardige grondstof en er komt hoogwaardige brandstof uit. In die zin is het proces vergelijkbaar met de olieraffinaderij of een kolenvergasser. Maar er moet een hoop energie in om de biomassa te vergisten, waarna het restant moet worden omgezet door vergassing. Een dubbele processtap dus, waardoor zelfs een volledig geïntegreerde fabriek voor de productie van ethanol, FT-diesel, elektriciteit en warmte slechts een exergie-efficiency van circa 66%. En dat is beduidend lager dan van een olieraffinaderij.

In de biomassaketten zit dus een tweede stap waarin veel energie wordt omgezet in laagwaardige warmte. In figuur 10 worden de klassieke Well-to-Wheel- en de Crop-to-Craft-keten vergeleken. Duidelijk is te zien dat de twee grote vervalstappen (de bioraffinaderij en de automobiel) de laatste keten minder efficiënt maken dan de eerste.

Figuur 10: Cascades (vervalstappen) in de 'Well-to-Wheel'-keten (links) en de 'Crop-to-Craft'-keten (rechts).



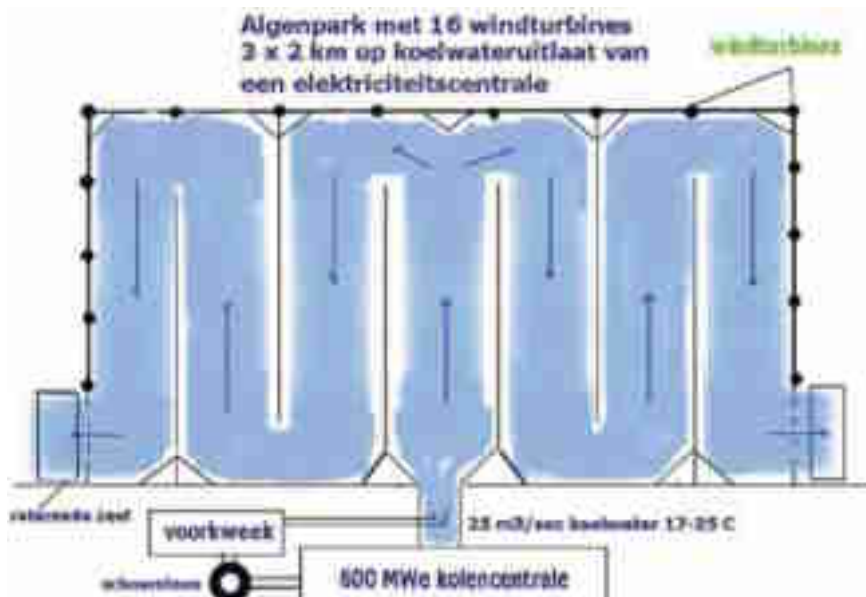
Het ketenrendement voor een gangbare automobiel met zuigermotor zakt van circa 8% in de Well-to-Wheel-keten naar 4% in de Crop-to-Craft-keten. Bovenstaande analyse maakt duidelijk dat het zonder verder nadenken vervangen van fossiele brandstof door biobrandstof geen goede zaak is. Er zullen gelijktijdig een aantal andere beleids- en optimalisatieslagen gemaakt moeten worden. Deze zijn:

- Er moeten plug-in hybride voertuigen op basis van brandstofcellen op de markt gebracht worden, zodat de biobrandstof uitsluitend voor de lange afstand wordt aangesproken;
- Aangezien elektriciteit uit zonlicht circa 50 x efficiënter via fotoconversie dan via biomassa gemaakt kan worden, moet een automobiel van deze technologie worden voorzien om de eerste 50-100 km op deze wijze te kunnen aandrijven;
- Speciale gewassen die weinig kunstmest en energie verlangen (bepaalde grassen) en vergisting van (hemi)cellulose moeten preferent worden gebruikt voor biobrandstofconversie in plaats van gewasproducten zoals maïskolven of suikerriet. Het is niet alleen efficiënter in de keten, maar zo wordt ook de competitie met voedsel vermeden;
- Decentrale multigeneratie van brandstoffen, elektriciteit, warmte, water en CO₂ moet worden nagestreefd opdat de diverse producten optimaal kunnen worden gebruikt en de transportenergie van het gewas naar de bioraffinaderij wordt geminimaliseerd;
- De constructiematerialen van de automobiel moeten overgaan van staal en glas naar biobased koolwaterstoffen om zowel de recyclebaarheid als het gewicht te verbeteren.

Wanneer alle bovenbeschreven technieken worden geïntroduceerd, kan het ketenrendement van de automobiel op biobrandstof en zonlicht oplopen naar circa 12%.

Bijlage 4: Een geïntegreerde kolencentrale met algenkwekerij

Voor de koelwateruitlaat van een 600 MWe centrale wordt een kunstmatig 'eiland' gelegd volgens figuur 11.

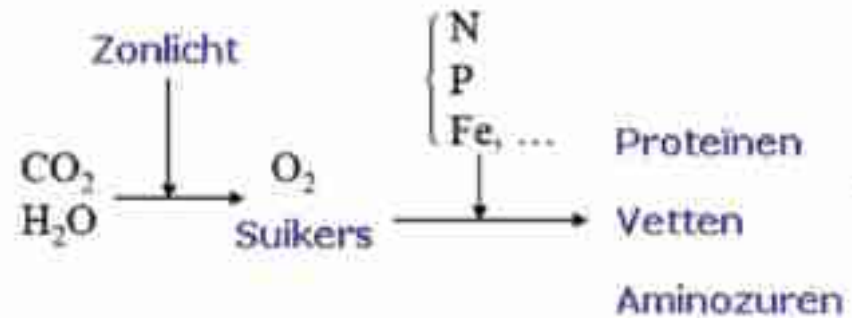


Figuur 11: Kolencentrale met koelwateruitlaat en kunstmatig 'eiland' voor de vorming van een algenkwekerij.

De kolencentrale levert 25 m³/sec koelwater dat circa 6 °C warmer is dan het omgevingswater ('s winters 15 °C, 's zomers 25 °C). Het bassin is 0,5 meter diep en meet 3 x 2 km. Op de versterkte buitendijk van het bassin zijn 16 windturbines van elk 1 MWe geplaatst om de kosten van het eiland over meerder producten te kunnen verdelen. Het koelwater wordt via een banenpatroon naar 2 overloopplaatsen met roterende zeven geleid. Dit proces duurt circa twee dagen en in die tijd moeten voorgekweekte algen zich vermeerderen met behulp van nutriënten (stikstof en fosfor) uit varkensmest. De bodem van het

bassin is golvend, waardoor de algen tijdens de doorstroom periodiek aan het zonlicht worden blootgesteld en de fotosynthese wordt gestimuleerd. De genetisch gemanipuleerde algen worden voorgekweekt in een CO₂ scrubber via rookgassen uit de schoorsteen. Daarvoor zijn water, CO₂ en zonlicht nodig voor de eerste reactie (zie figuur 12).

Figuur 12: Metabolisme van algen.



Met behulp van rookgassen worden in hoog tempo genetisch gemanipuleerde algen voorgekweekt met water van relatief hoge temperatuur door CO₂ en zonlicht. Deze algen worden via een persleiding in de koelwater-uitlaatstroom geïnjecteerd tezamen met varkensgier. Met hulp van N, P en andere elementen wordt de vorming van eiwitten en oliën gestimuleerd, waarbij de cel in het bassin verder groeit. De hoeveelheid beschikbare warmte in het koelwater van een 600 MWe centrale is groot (circa 600 MWth) en de combinatie van opgewarmd water, nutriënten en zonlicht zou in het bassin tot een redelijk snelle algengroei in de zomer (en wellicht ook in het voor- en najaar) moeten leiden. Via continue roterende zeven worden de algen afgevangen.

De hoeveelheid zonlicht per jaar die op een bassin van 3 x 2 km valt, bedraagt 2.10¹⁰ MJ. Er wordt aangenomen dat circa 6-7 kg alg per m² per jaar kan groeien. Dit zou betekenen dat max. 42.000 ton algen per jaar worden gemaakt. Die zouden voor hun stikstofvoeding 5000 ton varkensmest met 0,65% N nodig hebben, afkomstig van circa 4000 varkens. De algen zouden in principe circa 15.000 ton olie voor biodiesel kunnen produceren, overeenkomend met 525.10⁶ MJ. De rest van het geconverteerde zonlicht gaat naar de eiwitten en andere producten, waarbij gerekend is dat een alg bestaat uit 40% olie, 40% eiwit en 20% overige.

Wanneer de energie-inhoud van de oliën/vetten in de algen wordt gewaardeerd op 35 MJ/kg, en de energie-inhoud van eiwit en overige producten op 17 MJ/kg, dan heeft een kilo algen een energie-inhoud van circa 0,4*35 + 0,6*17 = 24,2 MJ/kg. Met een productie van 42.000.000 kg algen wordt er energetisch dus ruim 1000.10⁶ MJ ge oogst. Er gaat per jaar aan energie in 20000.10⁶ MJ zonlicht en 600.000 kWth lauwarm koelwater (600.000 * 8700 * 3,6 = 19000.10⁶ MJ), tezamen 39000.10⁶ MJ. Het energierendement voor de algenteelt in het bassin wordt afgeschat op (1000/39000)*100% = 2,6%, het exergerendement op (700/20000)*100 = 3,5%. Het rendement lijkt dus beperkt, maar exergetisch is het lauwarme koelwater (in tegenstelling tot het zonlicht) niets waard. Dus wanneer het gebruikt kan worden voor versnelde groei van levende organismen, heeft het alsnog een nuttige functie.

Om een kunstmatig eiland direct voor de kust enigszins rendabel te maken, zijn er 16 windturbines van 1 MWe op geprojecteerd. Deze produceren $16 \times 1000 \times 2800 = 45$ miljoen kWh per jaar. Dit komt overeen met $160 \cdot 10^6$ MJ, zodat in totaal aan duurzame energie uit deze opstelling $1160 \cdot 10^6$ MJ zou worden gewonnen. Wanneer de olie uit de algen met 90% rendement in gasturbinebrandstof kan worden omgezet en deze vervolgens in een STEG met 55% rendement zou worden verstoekt, dan produceert $525 \cdot 10^6$ MJ olie circa 72 miljoen kWh elektriciteit met een exergetisch hoge waarde. In totaal zou zo'n eiland dan 117 miljoen kWh stroom produceren, overeenkomend met de productie van een 14 MWe centrale die 95% van het jaar draait. Dat is stroom voor 35.000 huishoudens.

Bijlage 5: Aanvullende opties voor de glastuinbouwkas

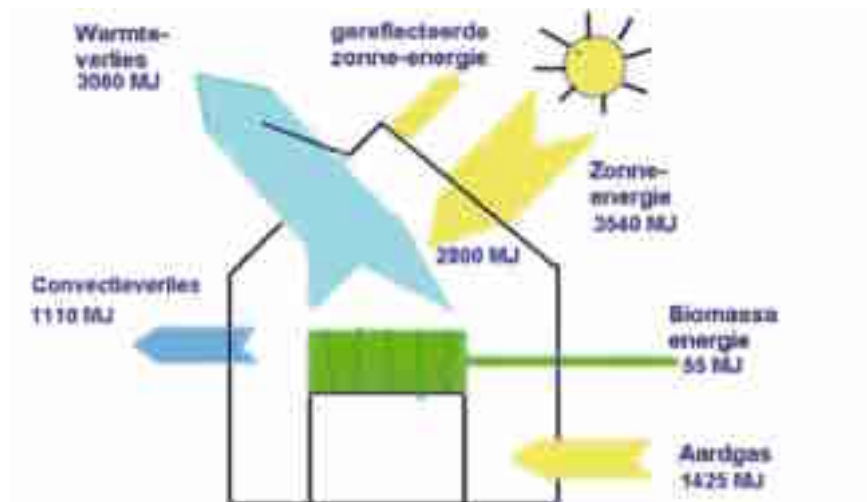
De energiebalans van gewas in de glastuinbouw anno 2000 is niet bijster goed. De instraling door zonlicht bedraagt $9,7 \text{ MJ/m}^2$ per dag. Omdat het glasdek circa 10% van de invallende straling absorbeert en een ander deel reflecteert, zal naar schatting maar circa 80% van het licht de planten bereiken. Dit betekent globaal een instraling van $7,7 \text{ MJ/m}^2$ per dag, overeenkomend met 2800 MJ/m^2 per jaar. Dit wordt uiteraard minder als het kasdek vervuult of de tuinder kalkt ter verhoging van de lichtabsorptie. Wanneer een kas daarnaast 45 m^3 aardgas verbrandt met een calorische waarde van $31,7 \text{ MJ/m}^3$ (waarbij 90% daarvan terecht komt in de kas door 10% schoorsteenverliezen), dan is dat jaarlijks een toevoeging van 1425 MJ/m^2 . De totale energie-input bedraagt dan 4225 MJ/m^2 per jaar.

De energieoogst via planten of vruchten is gering. Zonne-energie wordt in de natuur slechts voor 0,26% omgezet in biomassa-energie. Als wordt aangenomen dat door de intensieve glastuinbouw er meerdere oogsten per jaar zijn en dat door de extra CO_2 meer omzetting naar biomassa plaatsvindt, dan zou dit getal kunnen stijgen naar 1-1,5%. Met 1,25% omzetting komt per jaar dan 53 MJ/m^2 biomassa beschikbaar. Kijk maar naar de teelt van tomaten. De tomatenoogst bedraagt circa 40 kg/m^2 per jaar. Met een calorische waarde van $0,7 \text{ MJ/kg}$ wordt dan 28 MJ/m^2 aan vruchten geoogst. De 'oogst' van loof is naar schatting $2,5 \text{ kg/m}^2$ per jaar met een verbrandingswaarde van circa $10,8 \text{ MJ/kg}$, tezamen 27 MJ/m^2 per jaar. Er is dus evenveel energie in de vruchten als in het loof. De ecopyramide leert dat dan ook het loof moet worden bekeken voor de extractie van hoogwaardige molecuulketens of andere producten

Het exergierendement van de glastuinbouwkas is niet hoog (zie figuur 13). In 2800 MJ zonlicht (exergiewaarde 1) en 1425 MJ aardgas

(exergiewaarde 0,9) en uit 55 MJ biomassa-energie met exergiewaarde 0,6 geeft een exergierendement van $33 / \{2800 + 1425 * 0,9\} * 100 = 0,8\%$.

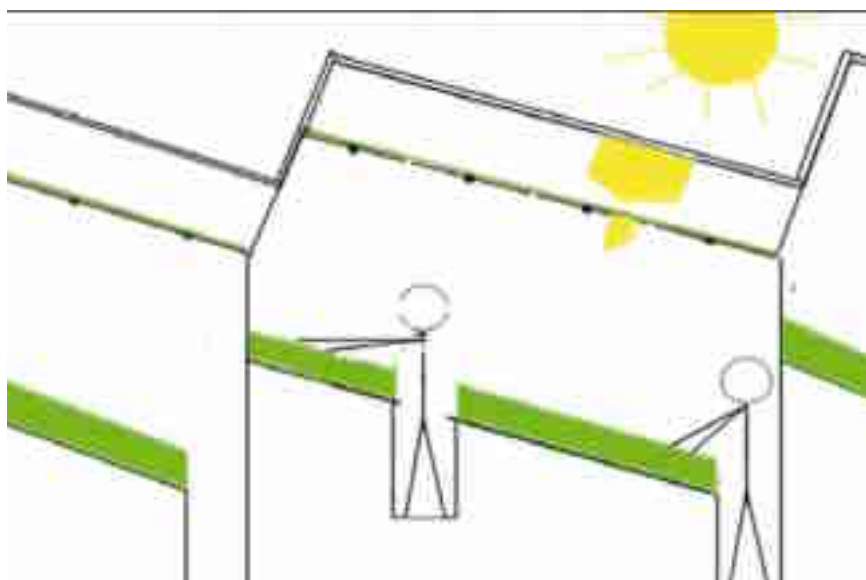
Figuur 13: Exergierendement tuinbouwkas.



Interessanter dan de energieoogst uit de biomassa is de opbrengst per m². Naar schatting brengt een vierkante meter glastuinbouwproduct circa 30-45 euro per jaar op. Wanneer dit wordt betrokken op de input van gas (45 m³), kan de glastuinbouw voor de B.V. Nederland als een methaanveredelingsbedrijf worden gezien. Immers, de glastuinbouw in Nederland exporteert met elke kg tomaten ongeveer één m³ aardgas en krijgt hier circa 0,75 euro voor. De Gasunie verkoopt aan het buitenland 1 m³ gas voor aanmerkelijk minder dan de helft. En dan is dit getal alleen nog maar betrokken op de glastuinbouw zelf! In de totale keten (veiling, transport, vermarkten) zal dit nog eens aanmerkelijk meer worden. Hoewel de glastuinbouw dus energetisch uitermate inefficiënt is, is het economisch buitengewoon slim. Eigenlijk gas-tuinbouw dus, in plaats van glastuinbouw.

Het is de vraag of een gemengd bedrijf voor de productie van gewassen en hoogwaardige energie perspectief biedt. Tot op heden worden kassen altijd uitgerust met vlakke teelttafels en een symmetrisch dak. De hoeveelheid fotonen per oppervlakte-eenheid is echter het grootst als het naar het zonlicht gekeerde oppervlak het kleinst is. De dakbedekking wordt dan asymmetrisch en afgestemd op de optimale belichting door de zon van de teelttafels.

Figuur 14: Gesloten kas voor gewasteelt en energieleverantie.



De lichtinval en lichtinstraling door de zon zouden voor bepaalde teelten door dunne lamellen met photovoltaïsche folie kunnen worden geregeld. Bij volle zon staan de lamellen gesloten en laten deze vooral het diffuse strooilicht door. De ruimte tussen lamellen en dubbeldeks toplaag wordt nu zeer heet, en daar zal de warmtewinning moeten plaatsvinden. Bij halfbewolkt en bewolkt weer staan de lamellen in een positie die het licht maximaal doorlaten. Bij groeibelichting 's nachts staan de lamellen gesloten, zodanig dat geen strooilicht de kas via het kasdek kan verlaten. Wanneer de lamellen met de photovoltaïsche folie niet precies op de zon gericht staan, hebben ze toch nog een redelijke opbrengst van circa 50 kWh/m² per jaar.



Voor warmtewinning met ondergrondse opslag is uitgerekend dat het benodigde elektriciteitsverbruik voor de ventilatoren circa 7 kWh per jaar zou zijn en voor de bronpompen 40-50 kWh per jaar. De elektriciteitsbehoefte zou dus ongeveer gedekt kunnen worden met deze situatie. Additionele zonnepanelen zouden boven het waterbassin kunnen worden aangebracht om het evt. ontbrekende deel nog te dekken. Kortom: de volledig duurzame stand-alone kas is een haalbare kaart wanneer afgezien wordt van groeilicht. Verdere mogelijkheden die de ecopyramide aangeeft zijn het totaalgebruik van de geteelde producten (dus naast de tomaten of paprika's ook de wortels, stengels, e.d) met de winning van hoogwaardige producten dan wel omzetting naar methaan. Dan is extra hoogwaardige energieproductie mogelijk. Door integratie in een lokaal energie-WEB kunnen de gewenste aan- en afvoerstroom van elektriciteit, water, CO₂ en warmte verder worden geoptimaliseerd.

Figuur 15: Regulering van instraling in tuinbouwkas via lamellen bij volle zon, bewolking en 's nachts (belichte teelt).

Bijlage 6:

Duurzaamheids- aspecten van biomassa-inzet

Voor het geven van richting aan beleid ten aanzien van de inzet van biomassa is het nodig de diverse duurzaamheidsaspecten hiervan *integraal* in beschouwing te nemen en bij voorkeur (voor zover van toepassing) *over de gehele keten* van biomassa-inzet. Dit moet leiden tot een beter inzicht en meer optimale en afgewogen keuzes ten aanzien van de biomassa-inzet. Hierbij is o.a. voortgebouwd op de rapportages van de projectgroep ‘Duurzame productie van biomassa’ en de projectgroep ‘Duurzame import biomassa’. Vanuit de bredere *biorefinery* (cascade)benadering van biomassa dan de inzet voor energie alleen, is voor dit project een specifieke afweging en clustering gemaakt. De volgende clusters van beoordelingscriteria en -aspecten zijn hiervoor gedefinieerd:

Tabel 3: Clusters van beoordelingscriteria en onderliggende beoordelingsaspecten.

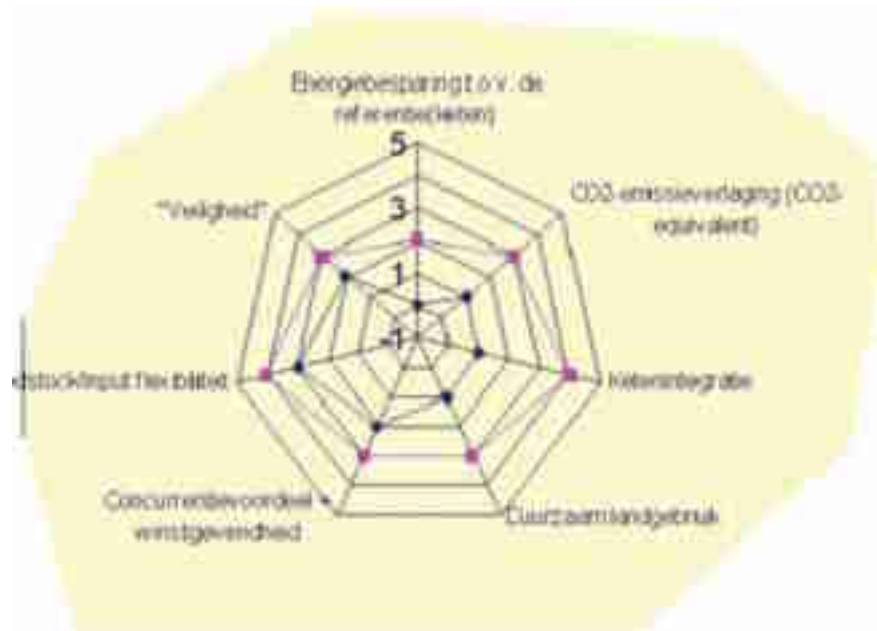
Clusters van beoordelingscriteria	Onderliggende beoordelingsaspecten
Energiebesparing t.o.v. de referentie(keten)	Energieinput, inclusief die voor landbewerking, meststoffen, bestrijdingsmiddelen, bioraffinage, transport, etc.
Broeikasgasemissiereductie (CO ₂ -eq.)	CO ₂ uit fossiele input, transport, ook overige broeikasgassen!
Ketenintegratie/biomassabenuutingsgraad	No waste, exergie, procestemperatuur, aantal ketenstappen, ketensluiting, biomassaketenefficiëntie
Duurzaam landgebruik	Oppervlaktebeslag, natuur, biodiversiteit
Concurrentievoordeel + winstgevendheid	Economische opbrengst, toegevoegde waarde in de keten van Farma, Food, Feedstock tot Fuel, €/ton product
Voorzieningszekerheid + feedstock/input flexibiliteit	Geopolitieke afhankelijkheid, geopolitieke en grondstofspreiding, toepassing van ‘zonne-energie’
“Veiligheid”	Gezondheid, toxiciteit

De verschillende routes en opties voor de inzet van biomassa (zie onder andere de voorbeelden van biomassaketens in hoofdstuk 5) kunnen hiermee kwalitatief (relatief) worden beoordeeld. Dit kan met behulp van bovenstaande beoordelingscriteria op basis van beschikbare gegevens of op basis van een expertpaneldiscussie.

Deze methode zorgt dan voor een afwegingskader voor diverse biomassaketens of fossiele ketens. De afweging kan visueel gemakkelijk inzichtelijk worden gemaakt voor de diverse deelaspecten, en daarmee ook op overall duurzaamheid (zie figuur 16: voorbeeld spiderdiagramm voor eerste- en tweede-generatie-biobrandstoffen).

Indien heldere eenduidige kwantitatieve gegevens voorhanden zijn, kunnen de verschillende deelscores (eventueel met weegfactoren) desgewenst worden opgeteld tot één karakteriserende eindscore (rapportcijfer), vergelijkbaar met methoden zoals de ecologische footprint of EPL (energieprestatie op locatie).

Figuur 16: Voorbeeld van een spiderdiagramm voor biomassaketens.



The Ecopyramid: Better biomass efficiency

Kasteren, J. van (editor)

InnovationNetwork Report No. 08.2.193, Utrecht, The Netherlands,
September 2008

The Netherlands is committed to sustainable development and the promotion of renewable energy is clearly central to that endeavour. According to Statistics Netherlands, only 2.4% of the total energy supply was produced from renewable sources in the year 2005. In its advice to the Government the PGR (Green Commodities Platform) stated that the share of biomass in the energy supply should be raised to 30% by the year 2030. In that same period – less than 25 years – one third of our fossil fuels must be replaced by biomass or ‘green gold’, as the European Commission calls it. But to have a real impact, this gold must be used sensibly; a lot more sensibly than the ‘black gold’ (fossil fuels) that is mainly converted into low-grade heat without extracting useful products or high-grade work.

The Ecopyramid is a concept for optimizing the use of biomass. The ecopyramid visualizes the various aspects that must be weighed up when using biomass and the sequence in which the products must be utilized. The guiding idea is to employ molecular organization to maximum effect. The first priority is to use biomass for medicines and food; next come materials, chemical raw materials, transport fuels and work (electricity) and, finally, heating. The underlying motive is the obligation to use natural products, solidified solar energy, as efficiently as possible.

The Biomass Ecopyramid is comparable to ‘Lansink’s Ladder’ that was developed in the 1970s to promote improved waste processing. The

various methods are ranked on the ladder in descending order of environmental compatibility, namely (from top to bottom) prevention, re-use, recycling, incineration and landfill. The Ecopyramid is a little more complex than the Ladder. The base of the pyramid shows the principal steps that need to be made in the correct order to obtain an optimal result.

Central to the Ecopyramid is the concept of 'exergy'. Energy (also 'sustainable' energy) consists of more than calories or joules. Energy has a certain quality, exergy, which indicates how much work can be supplied with that energy. Raw materials must therefore first of all be converted into the most useful products or work possible. Conversion into low-grade heat must be postponed as long as possible to avoid energy dissipation.

To use biomass to optimum effect, we must first optimize the entire chain from 'Seed-to-Service' with the aid of a 'triple-E analysis' (exergy-economy-ecology). The chain consists of growth, harvest, transport, processing, usage and recycling. At the peak of the pyramid we find the products with the smallest volume, the highest value, the most exergy and the lowest environmental impact. Moving lower, exergy is transformed into entropy (i.e. from order to disorder). The value of the products decreases, as do the margins. The volumes at the top are small, but the margins are high (e.g. medicines). At the bottom we find large volumes, but small margins (e.g. spatial heating).

When using biomass, the extraction of medicinal substances and life energy (food) for living creatures is the first priority. The next step is the direct use, wherever possible, of materials such as wood, starch and cellulose, before converting these via fermentation or gasification into chemical raw materials for synthetics and transport fuels. Where possible the energy released from these processes is used immediately. The first priority is to convert this energy into work (electricity), preferably on a decentralized basis. The heat and carbon dioxide (CO₂) released during this process can then be optimally utilized for spatial heating (homes, greenhouses) and as plant feed. The final crucial step is to close the cycle by re-using the released minerals to guarantee an ongoing supply of biomass in the future.

To achieve genuinely sustainable development, large-scale biomass use must be based, from start to finish, on the exergy approach and the 'Seed-to-Service' concept. This calls for fundamental changes in our thinking and interventions that go well beyond the mere replacement of petrol with ethanol and diesel with rape seed oil. It is the government's task to create a sense of awareness and urgency and to put in place conditions conducive to the vital evolution from a 'fossil' to a 'bio-based' society.