

Platform Groene Grondstoffen

Duurzame productie en ontwikkeling van biomassa, zowel in Nederland als in het buitenland



Uitwerking van transitiepad 1:
Duurzame Productie en Ontwikkeling van Biomassa

augustus 2006

Deze rapportage is tot stand gekomen met medewerking van:

Werkgroep

Prof.dr. J.P.M. (Johan) Sanders (vz.)
Mevr. Ir. E.R.W. (Edith) Engelen-Smeets (secr.)
Dr.P.M. (Peter) Bruijnenberg
Dhr. R. (Ron) Wit
Dr. A.J. (Andries) Koops

Ing. A.A.J. (Ton) van Korven
J.H. (Hans) Reith
Ing. J.W. (Wijnand) Schonewille
Dr. A. (Albert) van Dijk
Ir. M. (Marien) Valstar

Subgroep rendementsverbetering

Prof.dr. J.P.M. (Johan) Sanders (vz.)
Ing. A.A.J. (Ton) van Korven
Dr. A. (Albert) van Dijk
Ir. S.I.J. (Stefan) Schuurmans Stekhoven
Mevr. dr.ir. A. (Agnes) van den Pol

Subgroep reststromen

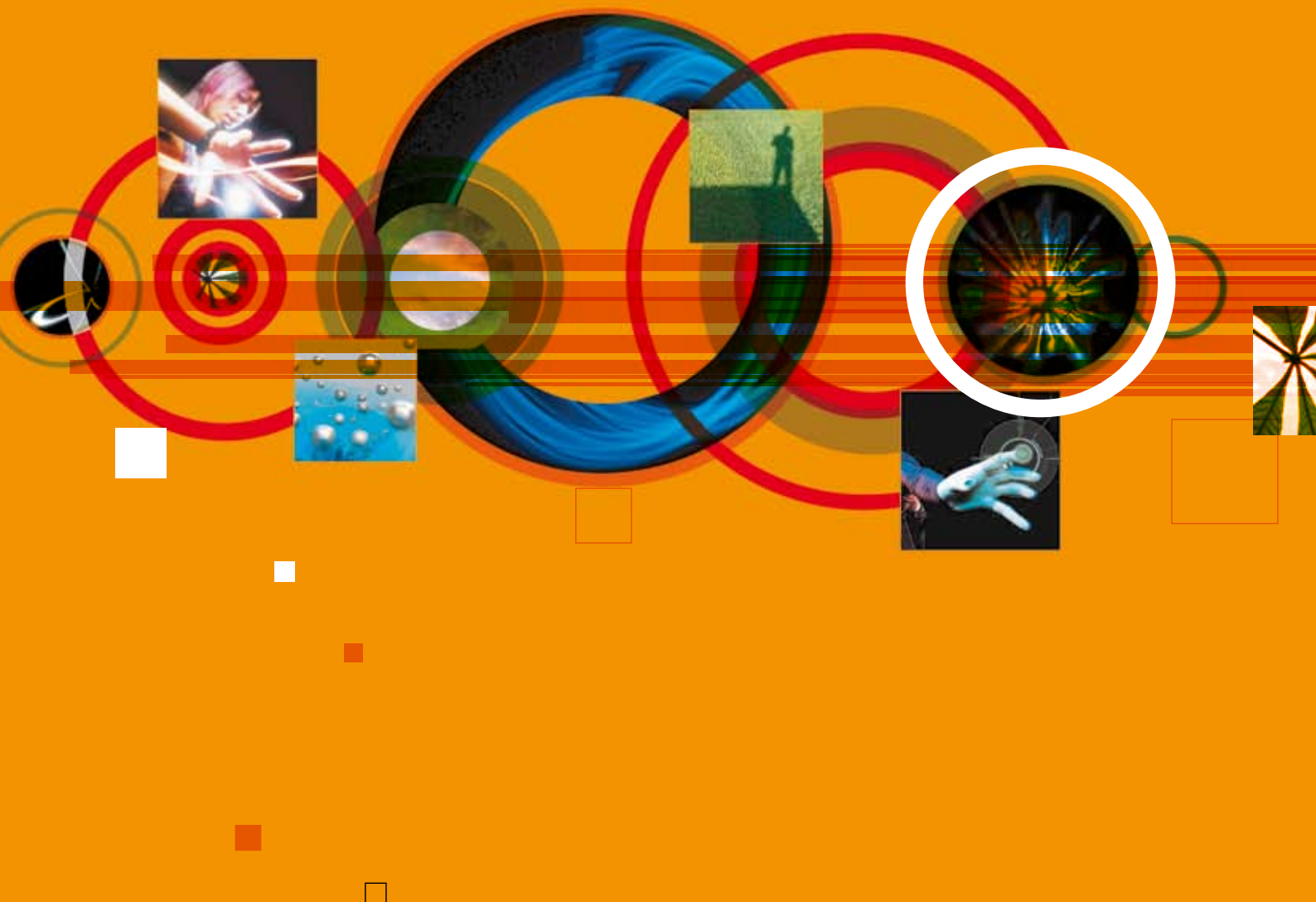
Ing. J.W. (Wijnand) Schonewille
Prof.dr. J.P.M. (Johan) Sanders
Dr. J.E.G. (Jan) van Dam
Dr.ir. W. (Wolter) Elbersen

Subgroep ontwikkeling gewassen

Dr. A.J. (Andries) Koops (vz.)
Dr.P.M. (Peter) Bruijnenberg
Ir. M. (Marien) Valstar
Dr. A.M.M. (Ad) de Laat
Dr.ir. A.J. (Anton) Haverkort

Subgroep aquatische biomassa

J.H. (Hans) Reith (vz.)
Dr.ir. W.A. (Willem) Brandenburg
Dr. L. (Lolke) Sijtsma
Ir. J.J. (Jaap) Steketee



Duurzame productie en ontwikkeling van biomassa, zowel in Nederland als in het buitenland

Uitwerking van transitiepad 1: Duurzame Productie en Ontwikkeling van Biomassa

Platform Groene Grondstoffen

augustus 2006

Inhoudsopgave

Voorwoord	3
Ambitie duurzame productie en ontwikkeling biomassa	4
Roadmap	8
Slot	10
Referenties	10
Bijlage 1: Deelpad rendementsverbetering van bestaande biomassa inclusief Nederlandse biomassa die nu niet gebruikt wordt	11
Bijlage 2: Deelpad duurzame productie en ontwikkeling van biomassa voor raffinage	31
Bijlage 3: Deelpad aquatische biomassa	57
Bijlage 4: Deelpad beschikbaarheid reststromen	88

Voorwoord

Voor u ligt de samenvattende rapportage van de uitwerking van het transitiepad “Duurzame productie en ontwikkeling van biomassa, zowel in Nederland als in het buitenland”. In opdracht van het Platform Groene Grondstoffen heeft een werkgroep onder voorzitterschap van Prof. Sanders van de WUR dit transitiepad verder uitgediept: wat is het potentieel van biomassaproductie, welke mogelijke subpaden zijn te herkennen, onder welke condities kunnen deze gerealiseerd worden, wat is er aan beleid nodig?

Deze rapportage is een samenvatting van de gedetailleerde uitwerking van een viertal subpaden, de rapportages van deze subpaden zijn als bijlagen toegevoegd.

De overkoepelende rapportage van het Platform Groene Grondstoffen “30% vervanging fossiele grondstoffen in 2030” is gebaseerd op de uitwerkingen van de 5 transitiepaden. Ook voor de andere transitiepaden zijn rapportages verkrijgbaar.

Ambitie Duurzame Productie en Ontwikkeling Biomassa

Het platform groene grondstoffen streeft naar een vervanging van 30% van de fossiele grondstoffen door groene grondstoffen in 2030. Uitgaande van een energieverbruik van 3000 PJ in 2030 betekent dit dat 852 PJ vermeden fossiele energie moet worden vervangen¹.

Die biomassa moet natuurlijk ergens vandaag komen: teelt of reststromen, half- en eindproducten uit teelt en reststromen, uit Nederland, Europa of wereldwijd. Deze rapportage beschrijft de beschikbaarheid van de verschillende biomassastromen, gekoppeld aan de benodigde conversietechnologie en eindtoepassing. Omdat er altijd onzekerheden zijn bij de beschikbaarheid van biomassastromen en de ontwikkeling van conversietechnologieën, wordt in deze rapportage een extra marge van $\frac{4}{3}$ ingebouwd. Dat betekent dat het biomassapotentieel onderzocht is dat $\frac{4}{3} \cdot 852$ PJ vermeden fossiel kan vervangen, ofwel ruim 1100 PJ vermeden fossiel.

We zullen als Nederland onze verantwoordelijk moeten oppakken om ons een stevige 'Licence to Use' te verwerven en niet afwachten totdat men ons de stromen biomassa komt aanbieden.

De werkgroep heeft 4 deelpaden gedefinieerd:

1. Rendementsverbetering van het huidige biomassaverbruik
2. Import van reststromen, halfproducten en eindproducten
3. Ontwikkeling gewassen voor bioraffinage (teelt op land)
4. Aquatische biomassa (niet-grondgebonden teelt)

Van deze deelpaden zijn 4 separate rapporten opgesteld die als bijlage bij dit overzichtsrapport gaan.

Uitgangspunten

- Voor een 'license to use' is het van groot belang dat de biomassa stromen als maatschappelijk verantwoord worden gezien. Een belangrijk element daarin is de toepassing van een toets op duurzaamheid. Dit laatste begrip wordt in vele betekenissen gebruikt. Hier wordt ermee bedoeld dat de biomassastromen vanuit een oogpunt van natuur en milieu en vanuit het oogpunt van de verbetering van de positie van armen, respectievelijk gezien vanuit lokale bevolking als verantwoord kunnen worden beschouwd. Daarnaast kunnen er ook andere elementen van belang zijn. Bij verbetering van de efficiency van de dierlijke productie moet bijvoorbeeld ervoor worden gezorgd dat het dierenwelzijn daar niet onder lijdt. De biomassastromen en soorten rendementsverbetering die in het navolgende worden opgesomd zijn zeker niet alle getoetst op de kwestie of, respectievelijk de mate waarin, zij maatschappelijk verantwoord zijn.
- Een belangrijke aanzet tot het formuleren van criteria voor een duurzame biomassa voorziening is gegeven door de Projectgroep Duurzame Import Biomassa (Commissie Cramer). In het rapport van deze Commissie worden aanbevelingen gedaan voor duurzaamheidscriteria die in 2007 en 2011 ingang zouden moeten vinden. Omdat het in de onderhavige rapportage gaat om biomassa voorziening op de lange termijn zijn de door de Commissie Cramer voor 2011 geformuleerde criteria het meest van belang. Er moet mee gerekend worden gehouden dat de komende decennia op een aantal punten een verdere aanscherping van de door de Commissie Cramer geformuleerde criteria in de rede ligt. Zo ligt het voor de hand ernaar te streven dat op de langere termijn de biomassastromen 'van de wieg tot het graf' meer klimaatneutraal zijn. Zoals bijvoorbeeld op het punt van 'cascadering', waarbij hoogwaardiger toepassingen van biomassa de voorkeur hebben boven relatief 'laagwaardige' ligt een mettertijd scherpere toets voor de hand.
- De onderscheidende eigenschappen van de inhoudsstoffen van biomassa bepalen de meest geschikte eindtoepassing op basis van de best verwachte economische waarde. Vaak is de technologie nog niet beschikbaar of moet deze nog flink worden verbeterd in de komende 25 jaar, maar we hebben ingeschat wanneer deze geïmplementeerd zou kunnen zijn. Dus potentiële waarde gaat boven beschikbaarheid van technologie!
eiwitten/aminozuren inzetten tbv (N-/O-)-chemie en veevoer
koolhydraten -> fermentatiegrondstof / ethanol
olie -> biodiesel
restfractie -> elektriciteit / warmte (incl. SNG / biogas)

¹ PGG gaat uit van een scenario met forse inzet op energiebesparing, waardoor het verbruik 2030=2000.

- Prioriteit wordt gegeven aan de vervanging van de meest schaarse fossiele grondstof: in afnemende volgorde van prioriteit: olie > aardgas > steenkool. Dit betekent dus dat niet altijd de allerhoogste CO2 besparing wordt bereikt, maar wel dat er gestreeft wordt onze CO2 besparing zonder kosten die we in de toekomst met ons meedragen, mogelijk te maken. Een extra CO2 equivalenten-besparing van 3.2 Mton wordt bereikt door verlaging van methaan uitstoot bij runderen. (gelijk aan 1.5 % van onze nationale uitstoot)
- 1 PJ (N-/O-)-chemicaliën uit biomassa bespaart 2,5 PJ fossiele energie, vooral door besparing op procesenergie (Met een factor 2.5 blijven we aan de conservatieve kant tov Rabou et al en van Patel et al)
- Energieverbruik tbv teelt is verrekend in netto opbrengst ondanks dat nu reeds per hectare een vergelijkbare hoeveelheid energie wordt verbruikt (doorgaans tbv voedingsproducten); energieverbruik tbv verschillende conversies tot eindproducten is verrekend over het totaal van elke toepassing. Hierdoor kunnen we scenario's doorwerken waarbij met mindere technologie een kleinere netto besparing ontstaat en met een betere technologie een gunstiger besparing.
- Het huidige voedingsaanbod blijft gehandhaafd. Grotere besparingen zijn te behalen als iedereen vegetariër wordt, maar hier is niet van uitgegaan.
- Biomassa moet en kan economisch rendabel zijn (op termijn), uitgangspunt is de identificatie van biomassavoorraden die zonder subsidie rendabel kunnen zijn.

Per deelpad is geïnventariseerd wat het biomassa-aanbod in 2030 is, waarbij een onderverdeling is gemaakt naar eindtoepassing en rekening is gehouden met een aanbod dat een factor $\frac{4}{3}$ groter is dan de platformambitie. Het gaat zowel om Nederlandse biomassastromen, als om import. In de laatste kolom is een schatting gemaakt per deelpad van de oorspronkelijke bron van de hoeveelheid biomassa. Overigens gaat het bij rendementsverbetering ook om biomassastromen die we al op grote schaal importeerden t.b.v. food/feed.

Tabel 1. Biomassaaanbod per deelpad, onderverdeeld op basis van toepassingen.

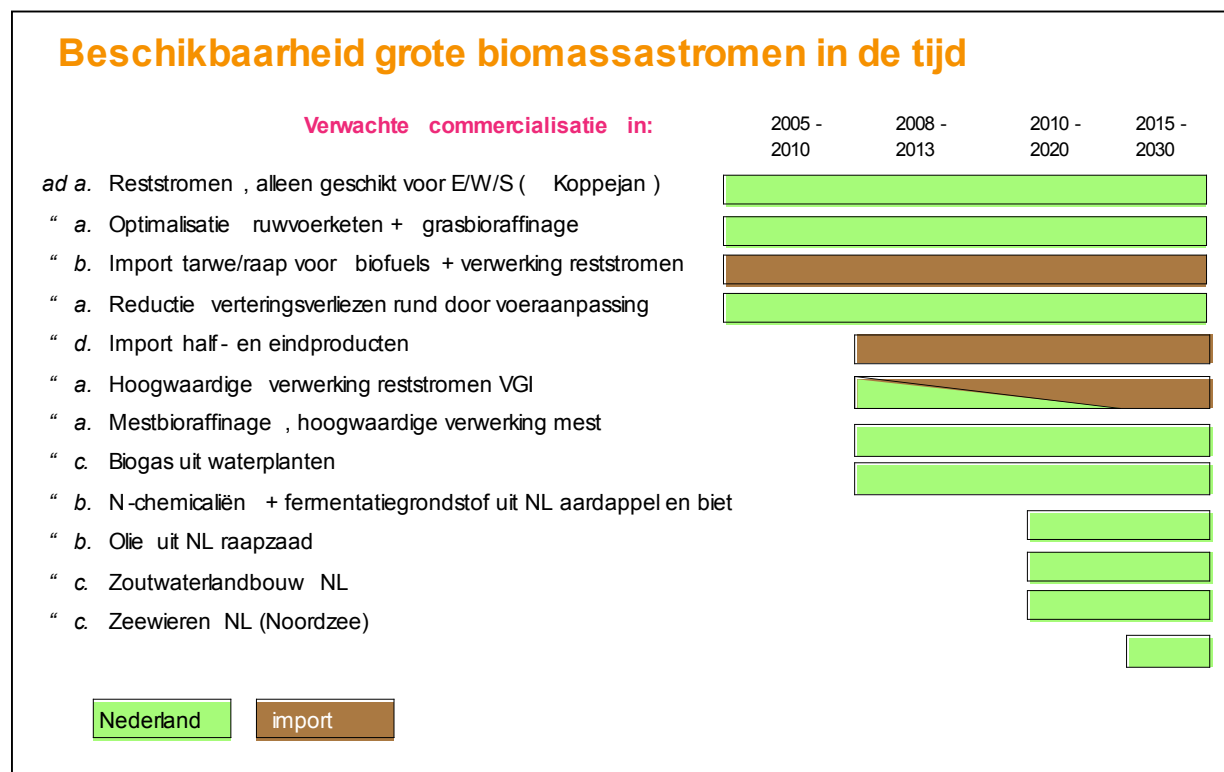
Vermeden fossiele PJ	E/W/S*	Fermentatie / ethanol	Olie	Chemie	Totaal	Import [%]	Extra land efficiency (kha/PJ)	Extra land-gebruik (kha)
a. Rendementsverbetering	261	70	10	70	411	50	0	0
b. Ontwikkeling gewassen	69	78	57	36	240	75	9	2300
c. Aquatische biomassa	114	24	37	81	256	0	(2)	(300)
d. Import van rest-, half- en eindproducten	73	44	112	0	229	100	5	1250
Totaal	517	216	216	187	1136	55	3	3550
Platformambitie	388	324		140	852			

* E=elektriciteit, W=warmte, S=SNG

De in Nederland beschikbare reststromen worden beschreven onder rendementsverbetering huidig biomassagebruik. De aparte categorie reststromen heeft met name betrekking op import van reststromen, half- en eindproducten.

Figuur 1 toont een overzicht van de verwachte commercialisatietermijn van de grootste geïdentificeerde biomassastromen. Ook is inzichtelijk gemaakt of het om een Nederlandse biomassastroom gaat of om import.

Figuur 1: Duurzame productie en ontwikkeling van biomassa: verwachte commercialisatietermijn van de grootste stromen. De balken geven niet het potentieel (in PJ) aan. Zie voor kwantificering hieronder.



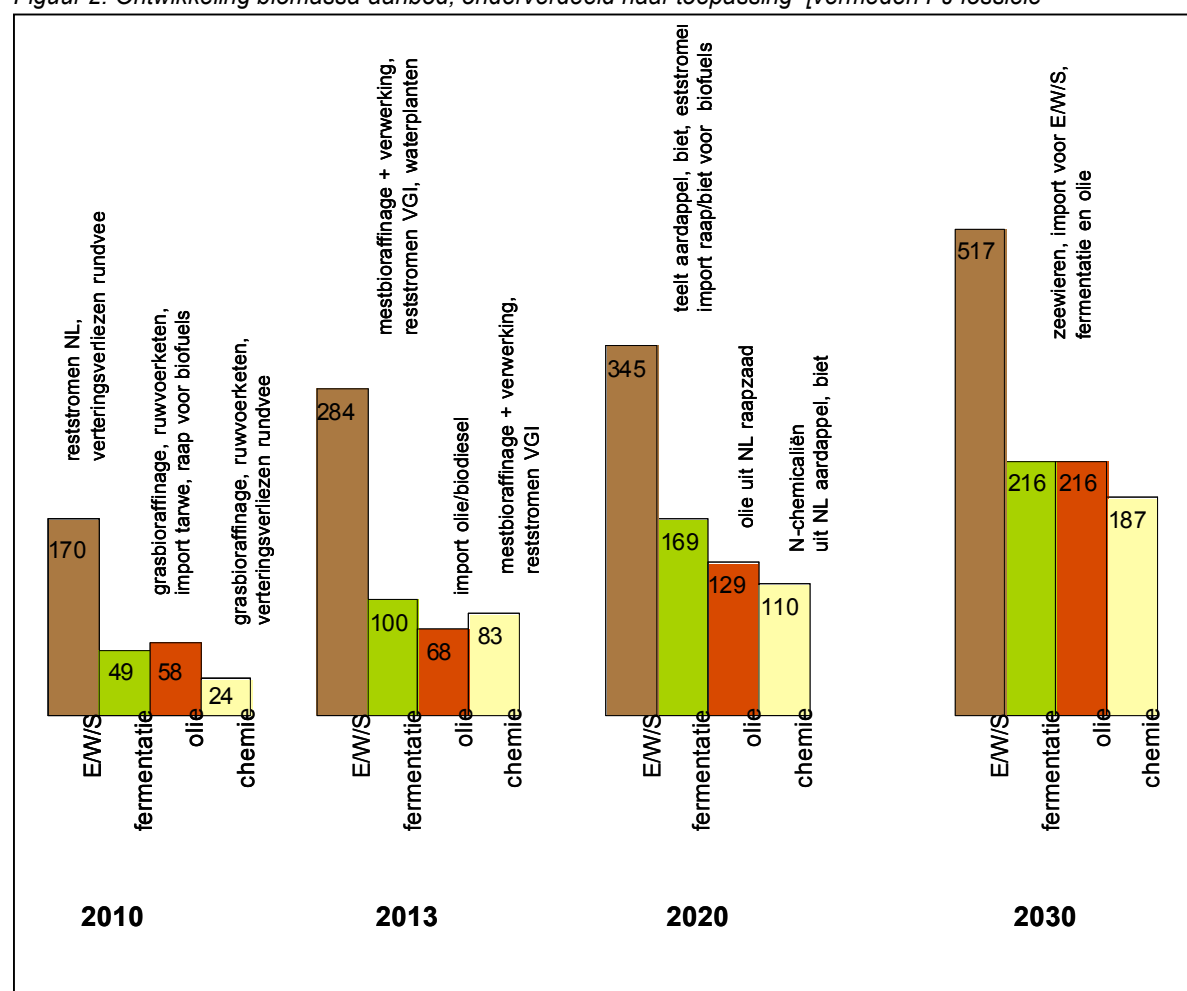
Een beknopte beschrijving per biomassastroom wordt hieronder gegeven. De stromen zijn gerangschikt volgens de verwachte termijn voor grootschalige commercialisatie (van korte naar lange termijn). De grootte van de stromen wordt uitgedrukt in PJ calorische waarde dus niet vermeden PJ). Onderstaande stromen zijn een selectie van het totaal aantal bekeken biomassastromen. Vanwege de leesbaarheid is hier geen uitputtend overzicht opgenomen, dit staat beschreven in achtergrondrapportages. Tabel 1 en figuur 2 beschrijven in PJ wel de totale optelsom van alle stromen.

Reststromen, alleen geschikt voor E/W/S	Het totaal aan in Nederland beschikbare biomassa voor non-food toepassingen volgens Koppejan et al. is verminderd met een aantal (hooi, stro, restvetten, huishoudelijk afval, GFT, mest) biomassastromen, die ook voor hoogwaardigere toepassingen geschikt zijn. Resteert een hoeveelheid van 85 PJ voor E/W/S.
Optimalisatie ruwvoerketen en grasbioraffinage	Ruwvoerketen: 50% van NL graslandareaal benutten voor intensieve grasteelt, via bioraffinage gras komen grondstoffen vrij voor veevoer, chemicaliën, fermentatiegrondstof en E/W/S. Aanvullende grasteelt specifiek voor non food/feed op 120.000 ha in Nederland en/of Nederlands-Duits grensgebied (92 PJ).
Import tarwe/raap voor biofuels + hoogwaardige verwerking vrijkomende reststromen	Met de behoefte aan transportbrandstoffen die vanwege de EU directive al in 2010 beschikbaar moeten zijn, zullen raapzaad en tarwe geïmporteerd worden in de grote havens en omgezet worden in biodiesel en bioethanol. Reststromen kunnen op termijn ook worden geraffineerd en hoogwaardig worden verwerkt (150 PJ).
Reductie verteringsverliezen runderen door voeraanpassing	Door voeraanpassing met stoffen als PST en Paylean kan energiebenutting voor vleesaanzet sterk verbeteren. Dit maakt een besparing op veevoer mogelijk van 35-65 PJ die alternatief ingezet kan worden.
Import half- en eindproducten	Halfproducten zijn pyrolyseolie, HTU olie , houtpellets, torrefactie-producten. Eindproducten: bioethanol, biodiesel, e.d.(280 PJ)

Hoogwaardige verwerking reststromen VGI	Buiten beschouwing blijven reststromen die goed in veevoerindustrie worden afgezet. Reststromen uit meelindustrie, MVO en suikerindustrie (persschroten) worden na bioraffinage grondstof voor veevoer, fermentatieprocessen, en E/W/S (24 PJ).
Mestbioraffinage + hoogwaardige verwerking	Op korte termijn co-vergisting. Op lange termijn mestraffinage waarmee eitwitten voor chemie, ureum voor meststof en lignocellulose voor fermentatie en E/W/S vrijkomen (60 PJ).
Waterplanten NL	Biomassa komt vrij bij onderhoud sloten, watergangen, toekomstige waterbergingsgebieden e.d. ca. 150.000 ha in 2030(planten groeien in, op of langs water). Geschikt voor productie E/W/S via productie biogas (22 PJ).
N-chemicaliën en fermentatiegrondstof uit NL aardappel en biet	Teelt is economisch rendabel op termijn, mits er sprake is van co-productie van fermentatiegrondstoffen en hoogwaardige N en O chemicaliën en verwaarding van gewasresten (43 PJ bij elk 120000 ha)
Olie uit NL raapzaad	Economisch rendabel op termijn, mits verdubbeling olie-opbrengst per ha en verwaarding van alle reststromen (18 PJ bij 120000 ha).
Zoutwaterlandbouw NL	Teelt op gemengd-zilte bedrijven op kustlocaties (ca. 125.000 ha) op basis van grassen en andere gewassen met gebleken zouttolerantie. Geschikt voor productie E/W/S, fermentatie/ethanol en eiwitten voor chemie(18 PJ).
Zeewieren NL Noordzee	Combinatie met offshore windparken op Noordzee. Zeewieren hebben hoge productiviteit, derhalve hoog potentieel op lange termijn dmv voorverwerking op zee. Geschikt als grondstof voor chemie, bio-olie, fermentatie/ethanol, en E/W/S (126 PJ in 2030).

Figuur 2 toont de ontwikkeling van het biomassa-aanbod in de tijd, waarbij onderscheid is gemaakt naar type toepassing. In de figuur is tevens aangegeven welke grote biomassastromen in de loop der tijd beschikbaar komen (cumulatief).

Figuur 2: Ontwikkeling biomassa-aanbod, onderverdeeld naar toepassing [vermeden PJ fossiele



Roadmap duurzame productie en ontwikkeling van biomassa

Algemeen

- Op dit moment zorgt de door de overheid ingestelde (en weer beëindigde) MEP subsidie ervoor dat niet de hoogwaardige inzet van biomassa wordt ondersteund, maar een laagwaardige (verstoken tbv elektriciteitsopwekking), waarbij geen enkele impuls wordt gegeven optimaal gebruik te maken van restwarmte. Overheidsinstrumentarium dient gekoppeld te zijn aan het CO₂-rendement over de hele keten, om te waarborgen dat biomassa zo optimaal mogelijk wordt ingezet. Overigens geldt dit voor meer instrumenten, zoals accijnzen. De lagere accijns voor diesel is *de facto* nadelig voor de introductie van bioethanol.
- Bioraffinage is de sleuteltechnologie voor hoogwaardige inzet van biomassa. Geconstateerd wordt dat de ontwikkeling van bioraffinage nogal versnipperd is over een aantal stimulerings-regelingen (ES, EOS, UKR) en onvoldoende van de grond komt. Advies is om een separaat R&D-programma in te stellen voor zowel grootschalige bioraffinage nabij zeehavens als kleinschalige bioraffinage voor lokale reststromen.
- Initieer duurzame samenwerking met een vijftal landen op het gebied van teelt, verbouwen en eindconversie. Interessante landen zijn bijvoorbeeld Brazilië, Mexico, Colombia, Indonesië, Cuba, India, China, Pakistan, Suriname. Nederland heeft kennis en ervaring te bieden op gebied van rendementsverbetering in de landbouw en verbouwingstechnologie en heeft belang bij biomassa-import.
- Ontwikkelingshulp is een instrument om zowel biobased economy als ook plaatselijke ontwikkeling tegelijk op te pakken. Een netwerkorganisatie als PUM zou hier een actieve rol bij kunnen spelen.
- Organische stof voor de bodem: wanneer we organische stof efficiënter gaan benutten ter vervanging van fossiele grondstoffen, zullen we middels mest en landbouw reststromen minder organische stof aan de bodem leveren. We gaan bij onze benadering uit dat nog steeds een deel van de organische stof op de akker komt, en wel het deel dat de meeste waarde heeft voor de opbouw van organische stof, namelijk de meest resistente fractie. Onderzoek naar kwaliteit en kwantiteit van de door de bodem benodigde organische stof is gewenst.
- Zet een monitoring systeem op waarin de beschikbaarheid, de geschiktheid en de toepassingen van biomassa stromen in Nederland worden geregistreerd.
- Kennisopbouw moet efficiënt en effectief ingezet en gestuurd worden. Dat eist wel van de overheid dat er voldoende middelen beschikbaar zijn bij kennisinstellingen en universiteiten voor co-financiering/matching, want dit is een vereiste bij PPS-constructies.

Korte termijn beschikbare biomassastromen (0-5 jaar)

- Reststromen, uitsluitend geschikt voor E/W/S: bewezen technologie (AVI's, mee- en bijstook). Initieer haalbaarheidsonderzoek naar de inzet van de diverse deelstromen (economische en organisatorische haalbaarheid).
- Import half- en eindproducten: snel toewerken naar certificering van biomassa op basis van in ontwikkeling zijnde duurzaamheidsrandvoorwaarden. Samenwerkingsrelaties met enkele voor Nederland relevante landen aangaan om toegang te krijgen tot de gewenste hoeveelheden biomassa.
- Optimalisatie ruwvoerketen en grasbioraffinage:
 - aanpassen vergunningverlening gericht op verhogen mesttoediening/ha, indien stikstof aantoonbaar wordt afgevoerd in eindproducten
 - stimuleer demofabriek op helft van schaalgrootte uiteindelijke fabriek (demo ca. M€ 15)
 - stimuleer bouw prototype voor mobiele fabriek
- Import tarwe/raap voor biofuels en hoogwaardige verwerking vrijkomende reststromen: Bijmengverplichting zal resulteren in import van tarwe (tbv bioethanol) en raap (tbv biodiesel) voor verwerking in Nederland. Bij onvoldoende verwerkingscapaciteit zullen bioethanol en biodiesel als eindproduct worden geïmporteerd. Stimuleer ontwikkeling 2^e generatie technologie, waarmee lignellulosehoudende reststromen hoogwaardig kunnen worden ingezet voor additionele ethanolproductie, waardoor maar een kleine restfractie ingezet wordt voor E/W.

- Reductie verteringsverliezen door voeraanpassing: effect is bewezen en wordt in VS in praktijk toegepast. Overheid zou moeten inzetten op aanpassen van EU-wetgeving m.b.t. toedieningsmiddelen aan mondiale standaard. Maatschappelijk draagvlak wordt gunstig beïnvloed doordat soja-importen verminderd kunnen worden, alhoewel draagvlak politiek en maatschappelijk nog gevoelig is. Opstellen van een plan voor draagvlakvergroting.
- Vermindering uitstoot methaan door rundvee. De methaanemissie is veel schadelijker dan CO₂-emissie. Door reguliere aanpassingen in de rantsoensamenstelling en door additieven voor dit rantsoen te ontwikkelen kan een besparing bereikt worden ter grootte van 3.250 Mton CO₂-eq. Haalbaarheidsonderzoek hiernaar is nodig om deze optie uit te werken.

Middellange termijn beschikbare opties (3-8 jaar)

- Import van biomassa-reststromen zal alleen gebeuren indien deze concurrerend kunnen worden ingezet. In dat geval lijkt het logisch dat reststromen in de regio waar ze zijn ontstaan een voorbehandeling hebben ondergaan gericht op homogenisering tot het verkrijgen van vereiste grootschaligheid, kwaliteitsverhoging en het verhogen van de energiedichtheid om transportkosten te verlagen. Inzet van geïmporteerde reststromen zal mede worden bepaald door kwaliteitseisen die aan de toepassing in Nederland gesteld worden.
- Wanneer reststromen een status krijgen van 'commodity', en als zodanig op de vrije markt worden verhandeld, worden ze interessant om te beschouwen als vervanging voor minerale energiedragers. De benadering van veelbelovende reststromen zal mede hierop gebaseerd moeten zijn.
- Vooral nog zal import van grondstoffen tbv verwerking in NL voorkeur hebben vanwege productie- en leveringszekerheid, maar ook vanwege de mogelijkheden om reststromen te kunnen verwerken en vermarkten. Bij toenemend aanbod van producten in de wereld zullen steeds meer eindproducten naar NL worden verhandeld.
- Hoogwaardige verwerking reststromen VGI: technologie-ontwikkeling essentieel, met name op gebied van kosten-effectieve aminozuurscheiding. Initieer haalbaarheidsonderzoek naar hydrolysering eiwit en aminozuurscheiding. Stimuleer ketensamenwerking tussen onderzoekers, mengvoerbedrijven en boeren (mengvoerbedrijven krijgen kleinere effectievere stromen mengvoeder en boeren besparen hiermee op mestproductie).
- Mestbioraffinage en hoogwaardige verwerking: voor mestvergisting is het nodig dat kunstmestachtige producten de status van meststof of kunstmestachtig product krijgen, waardoor chemische kunstmest vervangen kan worden. Voor de lange termijn is hernieuwd onderzoek naar hoogwaardige mestverwerking nodig, waarbij uit mest de fracties eiwit, lignocellulose en lignine gewonnen worden die verwerkt kunnen worden tot chemisch product, transportbrandstof en E/W.
- E/W/S productie uit waterplanten via vergisting. Voor vergisting is conversietechnologie beschikbaar, wellicht nog wel aan procesoptimalisaties werken. Belangrijk is dat waterplanten niet als afvalstof worden geclassificeerd en ze geplaatst worden op de witte lijst voor co-vergisting. Daarnaast zijn eenvoudige vergunningverleningprocedures voor vergisting op boerderijschaal wenselijk en lichte eisen aan tussenopslag.

Lange Lange termijn (5-15 jaar)

- Co-productie van 1: N of O functionalisering chemicaliën en 2: grondstoffen voor ethanolfermentatie in gangbare NL gewassen aardappel en biet. Teelt van deze gewassen voor energiedoeleinden is zonder landbouwsubsidies op termijn rendabel, mits:
 - veredeling is gericht op verhoging biomassa-opbrengst en verlenging groeiseizoen
 - veredeling van bestaande gewassen is gericht op een hoger gehalte aan hoogwaardige inhoudsstoffen (amino- en organische zuren)
 - verwaarden gewasresten zoals bietenkoppen; het loof via co-vergisting, evt voorafgegaan door eiwitextractie
 - schaalvergroting en rendementsverbetering
- Olie uit NL raap:
 - fors verhogen olieopbrengst per ha (zie hierboven) en verwaarden gewasresten.

- Voor bovenstaande opties zou een check op risico's van GMO's moeten plaatsvinden. Indien acceptabel dient het toelatingsbeleid van GMO-crops te worden gedereguleerd. Voor beide opties is het ook nodig om een separaat R&D-programma in te stellen naar genetische (klassiek en GMO) optimalisatie van aardappel, biet en raapzaad incl. procesoptimalisaties.
- Zoutwaterlandbouw: afwachtende rol overheid ombuigen in actieve rol. Stimuleren publiek-privaat consortium voor uitvoeren van een pilot gemengd zilt bedrijf voor productie en verwerking van biomassa

Zeer lange termijn (15-25 jaar)

- Zeewierenteelt in de Noordzee in combinatie met offshore windparken is een optie voor multifunctioneel ruimtegebruik met een hoog potentieel voor NL biomassa en een scala van CO₂ neutrale producten en energiedragers. Deze optie vereist techniekontwikkeling m.b.t. teelt en verwerking en onderzoek naar de ecologische inpasbaarheid en de economische haalbaarheid. Geadviseerd wordt daarom om onderzoek te doen naar economisch haalbare aquatische procesopties, incl. technologische en niet-technologische randvoorwaarden. Een pilot experiment in de Noordzee draagt bij aan het inzichtelijker maken van de kansen en knelpunten.

Slot

Deze rapportage is een samenvatting van de vier uitgebreide rapportages per deelpad. Uitgebreide achtergrondinformatie over de uitgangspositie van Nederland, de stand der techniek, marktvooruitzichten, internationale context en rol van de overheid treft u in deze rapportages aan.

Deze rapportage toont geen overzicht van alle geïnventariseerde biomassastromen, omwille van de leesbaarheid. Dat wil niet zeggen dat de niet genoemde stromen niet belangrijk of kansrijk zijn. Meer informatie over deze stromen kunt u lezen in de deelrapportages.

Referenties

- Rabou, L.P.L.M, E.P. Deurwaarder, H.W. Elbersen en E.L. Scott. 2006. Biomassa in de Nederlandse energiehuishouding in 2030. Een studie voor het Platform Groene Grondstoffen gefinancierd door SenterNovem. Januari 2006. p54.
- E.R. Boons - Prins, H.G. van der Meer, J. Sanders: Drastische verbetering van de nutriëntenbenutting in de dierlijke productie. NRLO - rapport (nr. 94/3).
- Vis, M., 2002. Beschikbaarheid van reststromen uit de voedings- en genotmiddelenindustrie voor energieproductie. Eindverslag 2 DEN-02.18. Novem, Utrecht
- J. Koppejan en P.D.M. de Boer – Meulman: Beschikbaarheid van biomassa. Rapport voor SenterNovem, 2005.
- Patel, M. et al. Medium and long term opportunities and risks of the biotechnological production of bulk chemicals from renewable resources, (2006) BREW rapport

Bijlage 1:

Duurzame productie en ontwikkeling van biomassa; deelpad Rendementsverbetering van bestaande biomassa inclusief Nederlandse biomassa die nu niet gebruikt wordt

Auteurs:

Johan Sanders, Wageningen Universiteit en Researchcentrum (WUR)

Albert van Dijk (CCL Research)

Ton van Korven (ZLTO)

Agnes van den Pol – van Dasselaar (WUR)

Stefan Schuurmans Stekhoven (SenterNovem)

Edith Engelen-Smeets (SenterNovem)

Inhoudsopgave

1. Samenvatting	11
2. Visie	13
3. Inventarisatie huidig biomassagebruik	15
4. Biomassapotentieel na rendementsverbetering	18
5. Referenties	30

1. Samenvatting

Nederland is klein, maar door zijn goede ligging en hoge kennisniveau beschikt Nederland over het hoogste economische biomassa gebruik ter wereld in tonnen per hectare.

Nederland is mondiaal de op twee na grootste exporteur van landbouwproducten (na de VS en Frankrijk).

Het platform groene grondstoffen wil in 2030 30% van de fossiele grondstoffen die we voor onze energiehuishouding gebruiken vervangen door groene, hernieuwbare grondstoffen (biomassa). De platformdoelstelling van 30% in 2030 komt neer op een vervanging van fossiele grondstoffen ter grootte van 852 PJ. Dit betekent dat er ca. 1200 PJ aan groene grondstoffen nodig is (rekening houdend met conversieverliezen).

De werkgroep productie biomassa brengt evenals de werkgroep WISEBIOMAS een prioritering aan. Deze heeft betrekking op de fossiele brandstof die wordt vervangen. Aardolie is schaarser dan gas, steenkool kent in verhouding de grootste voorraden. Biomassa welke olie kan vervangen heeft dus de voorkeur boven biomassa die aardgas en tenslotte kolen kan vervangen. Wanneer we subsidies buiten beschouwing laten zien we deze prioriteit ook terug in de economische waarde van de huidige toepassingsgebieden van fossiele grondstoffen: de grondstofkosten voor 1 GJ warmte heeft de laagste waarde: € 3; elektriciteit: € 6; voor transportbrandstoffen zijn de grondstofkosten € 8 en voor de gemiddelde bulkchemicaliën € 30 per GJ eindproduct. Vanuit een economisch gezichtspunt is het dus ook zaak de verschillende biomassa stromen zo hoogwaardig mogelijk in te zetten. (Het vervangen van kolen en het lokaal produceren van warmte heeft een hoger CO₂ rendement, wat voor het behalen van de Kyoto doelstelling meer aandacht krijgt dan toegevoegde waarde en vervanging van een schaarser goed als olie. De visie is echter dat op termijn biomassa met name in de hogere toegevoegde waarde een unieke positie heeft en aldus leidt tot betaalbare CO₂ reductie)

Tabel 1 toont de inventarisatie van de extra biomassa die beschikbaar komt, na rendementsverbeteringen in het huidige biomassagebruik. Er is voor gekozen om alleen rendementsverbeteringen met een potentieel > 10 PJ uit te werken. Geconcludeerd kan worden dat het maximale extra biomassa potentieel ca. 462 PJ bedraagt, waarmee een besparing op fossiele energie ter grootte van 493 PJ behaald kan worden.

Tabel 1. Inzet additionele biomassa na rendementsverbetering

	Rendementsverbetering	E/W/S	Fermentatie / ethanol	Olie	Chemie	Totaal	CO ₂ -reductie
		[PJ]	[PJ]	[PJ]	[PJ]	[PJ]	[kton CO ₂ -eq]
1	Primaire reststromen	30 ^{***}				30	
2	Reststromen VGI	10	10		4	24	
3	Reststromen import voor fuels	8	15		25	48	
4	Mest	30	45		25	100	
5	Opwaardering reststromen Koppejan	17	32	11		57	
6	Stromen uitsluitend geschikt E/W	85				85	
7	Optimalisatie ruwvoerketen	20	30		15	65	
8	Reductie verteringsverliezen	19	19		12	50	
9	Reductie uitstoot CH ₄ runderen						3.250
	Totaal calorische waarde	219	151	11	81	462	3.250
	Omzettingsrendement	0,7-0,93 [*]	0,6	0,95	2,5 ^{**}		
	Totaal vermeden PJ fossiel	291	91	10	101	493	3.250

- Rendement varieert van SNG (0,7) tot directe verbranding (0,93), opgeteld bij E/W/S wordt de proceswarmte die bespaard wordt in de chemie (zie **)
- NB: EWS betekent grondstof die tbv Electriciteit, warmte dan wel SNG kan worden ingezet.

** Rendement chemie is 2,5, waarvan 1,25 wordt toegerekend aan chemie en 1,25 proceswarmte betreft die bij E/W/S wordt opgeteld

*** Inzet 30PJ reststromen via wkk levert E en W op, waarmee ca. 60 PJ fossiel vermeden wordt.

Op dit moment zorgt de door de overheid ingestelde MEP subsidie ervoor dat niet de hoogwaardige inzet van biomassa wordt ondersteund, maar een laagwaardige (verstoken voor elektriciteitsopwekking) waarbij geen enkele impuls wordt gegeven optimaal gebruik te maken van restwarmte. Een aanpassing van de MEP waarbij het CO₂-rendement over de hele keten wordt gezien is noodzakelijk om biomassa zo optimaal mogelijk in te zetten.

Mest is een zeer grote stroom biomassa die in Nederland beschikbaar is. Per 1 januari 2006 geldt in Nederland een nieuwe mestwetgeving die mestverwerking stimuleert. In Nederland zijn recent een groot (100-tal) initiatieven gestart op het gebied van co-vergisting. Gunstige condities voor co-vergisting zijn MEP-subsidie en de positieve lijst voor co-vergisting. Een knelpunt is dat de mestwetgeving in Nederland het digestaat als mest beschouwt, waardoor deze optie nauwelijks van de grond komt.

Op korte termijn zou de (EU) mestwetgeving aangepast moeten worden. Met name kunstmestachtige producten verkregen uit digestaat dienen de status meststof of kunstmestachtig product te krijgen. Het mogen toepassen van kunstmestvervangers kan het gebruik van (chemische) kunstmest vervangen. Hierdoor kan door vergisting de sector tot een belangrijke verduurzaming komen. De productie van (chemische) kunstmest kost veel energie en produceert veel broeikasgas.

Voor de lange termijn zou de overheid hernieuwd onderzoek naar hoogwaardige mestverwerking moeten stimuleren, waarbij uit mest de fracties eiwit, lignocellulose en lignine gewonnen worden, die hoogwaardig verwerkt worden tot chemisch product, transportbrandstof en elektriciteit/warmte.

Substantieel zijn ook de reststromen uit de VGI en de reststromen die vrijkomen bij de productie van biobrandstoffen. De meeste reststromen uit de VGI kunnen het beste ingezet worden voor veevoer. Er resteren echter interessante reststromen uit de MVO (margarine-, vetten en olienindustrie), meelsectoren en de suikerindustrie. Door stapsgewijze hydrolysatie van de verschillende persschroten kunnen waardevolle aminozuren worden vrijgemaakt,

waardoor zowel een eitwitstroom voor hoogwaardige verwerking in de chemie vrijkomt, als een optimaler diervoer wordt geproduceerd dat minder mest en dus een beperking van het mineralenprobleem oplevert (en tevens transport van mest uitspaart).

Met de behoefte aan transportbrandstoffen die vanwege de EU directive al in 2010 beschikbaar moeten zijn, zullen raapzaad en tarwe geïmporteerd worden in de grote havens. Bij de productie van biobrandstoffen ontstaan reststromen, die analoog aan de reststromen uit de VGI hoogwaardig verwerkt kunnen worden. De overheid kan een belangrijke bijdrage leveren door onderzoek naar hoogwaardige verwerking van dit type reststromen te stimuleren en partijen in de keten bijeen te brengen.

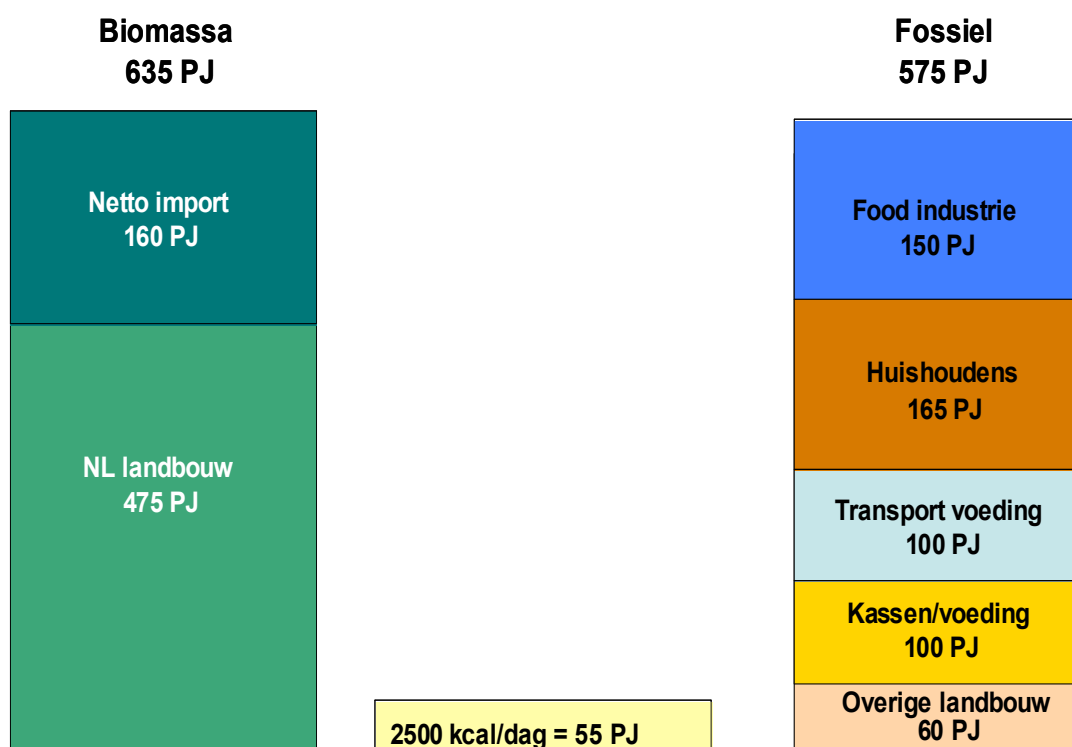
Optimalisatie van de ruwvoerketen door intensieve grasteelt op de helft van het huidige graslandareaal, waarbij gras na bioraffinage wordt ingezet als veevoedergrondstof, en als grondstof voor chemie, biobrandstoffen en elektriciteit en warmte levert ook een behoorlijk biomassa potentieel op. De overheid kan dit stimuleren door vergunning te verlenen voor het verhogen van mesttoediening per hectare, indien stikstof aantoonbaar afgevoerd wordt in de eindproducten en door het stimuleren van experimenten.

2. Visie

Hoewel de Nederlandse landbouw het niet gemakkelijk heeft, voert ze ruimschoots de wereldranglijst aan voor wat betreft economisch biomassagebruik in tonnen/ha (zie hieronder). Ook staat Nederland ondanks zijn beperkte areaal op de derde plaats op de ranglijst van biomassa exporteurs, achter de VS en Frankrijk.

ECN/WUR (Rabou et al., 2006) schatten dat wij in NL 527 PJ aan primaire biomassa produceren, wij voeren 620 PJ aan biomassa in en voeren 405 PJ uit. Dit leidt tot een bruto "beschikbaarheid" van 742 PJ (42,3 ton DS). Voor onze voeding gebruiken we ruim 600 PJ biomassa en een ongeveer even grote hoeveelheid aan fossiele energie (figuur 1), waarmee zo'n 55 PJ aan calorische waarde van ons dagelijkse kost geproduceerd wordt. Een efficiency van zo'n 5%, oftewel een verlies van ca. 95%!

Figuur 1: Energie-input voor dagelijkse voeding



Dit deelpad van het transitiepad duurzame biomassaproductie streeft naar het verbeteren van het rendement van het huidige biomassagebruik. Dit resulteert in een besparing op groene en fossiele grondstoffen en bijgevolg neemt de hoeveelheid biomassa die voor non-food toepassingen gebruikt kan worden toe. In principe is er geen reden om ons streven tot een efficiënter gebruik van biomassa te beperken tot ‘slechts’ het Nederlandse verbruik, ook biomassa stromen die doorgevoerd worden zouden in aanmerking kunnen komen. Daardoor is het speelveld de “bruto beschikbaarheid” van biomassa in Nederland: $527 + 620 \text{ PJ} = 1147 \text{ PJ}$ (ca. 75 M ton).

We moeten hierbij onvermijdelijke en vermijdelijke verliezen onderscheiden. Een onvermijdelijk verlies is de energie die voor stofwisseling van dieren nodig is bij de vleesproductie. Het zal duidelijk zijn dat indien we allemaal vegetarisch worden, we meer biomassa zouden overhouden voor non-food toepassingen. Een belangrijke uitgangspunt is dat we uitgaan van onveranderd eetgedrag.

Het deelpad ‘rendementsverbetering bestaand biomassagebruik’ kan op termijn leiden tot een besparing van 493 PJ vermeden fossiele energie. Additioneel kan nog 3.250 Mton CO₂ bespaard worden door beperking van de methaanuitstoot door runderen. De belangrijkste rendementsverbeteringen zijn:

Primaire reststromen

1. Landbouwreststromen zoals stro, gewasresten en bermgras hoogwaardiger benutten (
2. Betere benutting van hout in kachels thuis samen met een hogere benutting van hout uit Nederlandse bossen
3. Inzet van vrijwel ongebruikte biomassa uit natuurbeheer (bermgras, beheersgras, riet, aquatische biomassa, etc)

Secundaire reststromen

4. Hoogwaardige verwerking reststromen VGI
5. Toepassing reststromen uit import tarwe en koolzaad voor biodiesel- en bioethanolproductie (Koolzaad schroot efficiënter inzetten, DDGS = dried distillers grain & solubles)

Tertiaire reststromen

6. Hoogwaardige benutting mest (scheiding in componenten, nutriënten recycling)
7. Hoogwaardige verwerking (Koppejan)-afvalstromen: vetten/olieën, GFT, huishoudelijk afval
8. De stromen uit het overzicht van Koppejan die uitsluitend geschikt zijn voor elektriciteits- en warmteproductie

Optimalisatie voederketen

9. Optimalisatie ruwvoerketen
10. Reductie verteringsverliezen (verbeterde voederconversie bij varkens en koeien)
11. Reductie uitstoot methaan bij runderen

3. Inventarisatie huidig biomassagebruik

Beschikbaarheid biomassa in Nederland

Hoewel er veel studies zijn gedaan naar de beschikbaarheid over reststromen voor energiegebruik in Nederland zijn er geen goede statistieken beschikbaar van de inzet van korte cyclus C (biomassa) in Nederland. Dit beperkt de mogelijkheden om een systematische analyse te maken van de Nederlandse potentie om onze biomassa efficiënter in te zetten. De studie die daar het dichtste bij in de buurt komt is de NRLO studie uit 1996 (Boons et al (ref. 2) gedetailleerde schattingen geeft over de koolstofstromen in de Nederlandse landbouw en voedsel- voorziening. Hieruit kunnen ook de efficiënties en mogelijkheden om verliezen te beperken of biomassa af te scheiden worden afgeleid. Een DEN rapport uit 2002, Vis (ref. 3) geeft een goed overzicht van de reststromen uit de voedings en genotmiddelen industrie. Het SenterNovem rapport van Koppejan en de Boer (ref. 4) inventariseert de verwachte beschikbaarheid van biomassa in 2010. Deze studie is als basis voor onze inventarisatie gekozen (zie tabel 2). De energie-inhoud die is weergegeven in tabel 2 heeft betrekking op de verbrandingswaarde van de reststroom in “verse” toestand, niet op het droge stof-gehalte. Natte stromen hebben hierdoor een relatief lage energie-inhoud.

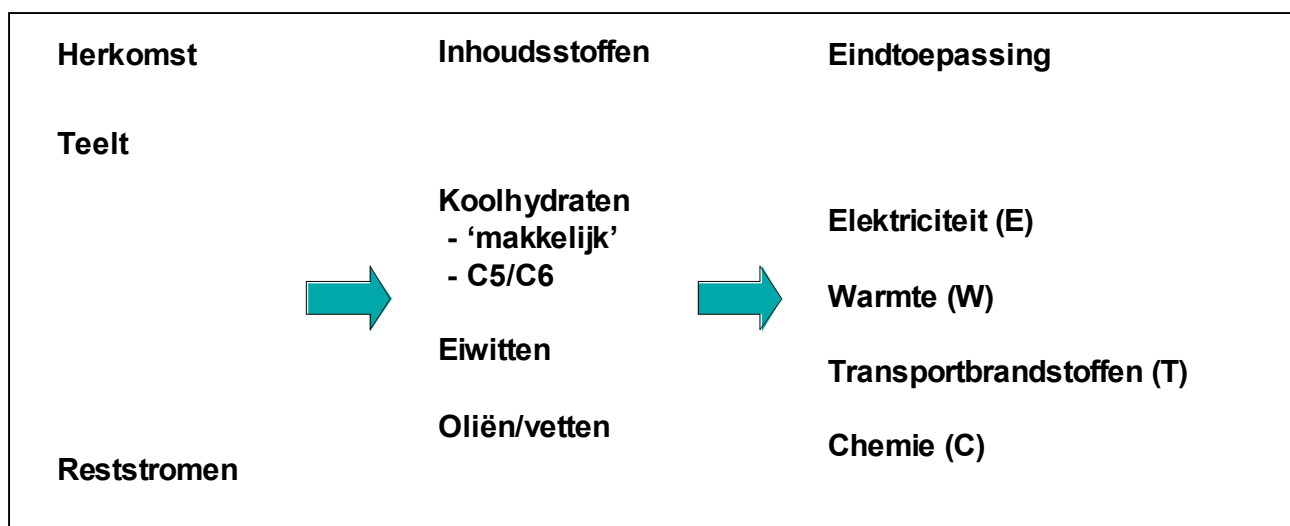
Tabel 2. Verwacht aanbod van biomassa in 2010 [naar Koppejan, 2005]. Aangepast door Rabou et al.(2006).

Nr.	Biomassasoort	Aanbod in Nederland [kton/jaar]	Energie-inhoud [GJ/ton]	Energie-inhoud [PJ/jaar]
1a	Vers resthout, houtblokken	500	10,2	5,1
1b	Vers resthout, houtsnippers	540	10,2	5,5
2	Energieteelt	2	2	0
3a	Schoon resthout (zaagsel/krullen)	270	15,6	4,2
3b	Houtpellets	100	17,5	1,8
3c	Schoon resthout, afkorthout	250	15,6	3,9
4	Gescheiden ingezameld hout A-hout kwaliteit	500	15,4	7,7
5	Gescheiden ingezameld hout B-hout kwaliteit	700	15,4	10,8
6	Gescheiden ingezameld hout van C-hout kwaliteit	50	15,4	0,8
7	Granen	0	17	-
8	Stro van granen	0	13,3	-
9	Bermgras	450	5,3	2,4
10	Hooi van gras	140	12,7	1,8
11	Hennep, vlas	5	11,3	-
12	Energieteelt (miscanthus)	0,	13,2	-
13	Plantaardige olie	4	38	-
14	Stro	15	13,6	-
15 a	Schillen	100	16,5	1,7
15 b	Schroot / schilfers	100	15	1,5
16a	Frituurvet	60	38	2,3
16b	Bleekaaarde	12	10	-
16c	Vetzuren	60	38	2,3
16d	Restvetten	0	30	-
16e	Droge VGI restproducten	100	18	1,8
16f	Diermeel	50	22	1,1
16g	Dierlijke vetten	200	25	5
17	Swill	215	-	-
18	GFT	2.280	3,4	7,8
19	Afval	6.800	9	27,5
20	Oud papier en karton	-	-	-
21	Textiel	-	-	-
22	Shredderafval	0	-	-
23	Reinigingsdienstenafval	0	-	-
24	Kippenmest	1.000	6,6	6,6
25	Runder- en varkensmest	15.000	-	-
26	Slib RWZI	1.400	1,5	2,1
27	Composteeroverloop	50	10,2	0,5
28	Afgescheiden houtafval uit brandbaar afval	500	15,4	7,7
29	Papierslib	1.000	1,6	1,6
30	Papier/plastic pellets (SRF)	1.400	18	18,9
Totaal		34 Mton		132,3
Primair bijproduct (direct van het land)				4,2
Secundair en tertiair (bijproduct of afval)				126,3
Teelt				-
Import				1,8

3.1 Prioritaire toepassingen

Koppejan en de Boer (2005) schatten op basis van een inventarisatie dat in 2010 er een aanbod is van 132 PJ aan biomassa voor productie van elektriciteit en warmte, dit zijn met name reststromen.(ref 4, tabel 4.1). De studie houdt geen rekening met de inzet van biomassa voor andere toepassingen, zoals transportbrandstoffen en chemie. Voor het verbeteren van het rendement van ons huidige biomassagebruik, is het van belang alle toepassingen te bekijken. Een analysemodel wordt getoond in figuur 2, waarbij onderscheid wordt gemaakt naar de herkomst van de biomassa (teelt en reststromen), eigenschappen van biomassastromen (nuttige inhoudsstoffen) en de mogelijke toepassingen: elektriciteit (E), warmte (W), transportbrandstoffen (T) en chemie (C).

Figuur 2: Samenhang tussen biomassa en eindtoepassingen verloopt via inhoudsstoffen



Een aantal van de reststromen zouden ook voor hoogwaardigere toepassingen ingezet kunnen worden, waardoor meer fossiele PJ bespaard wordt met een beter economisch potentieel, mits toereikende technologie beschikbaar is. Daarnaast geldt voor een aantal stromen dat met beschikbare technologie meer grondstof per item beschikbaar kan komen.

Twee voorbeelden hiervan ter illustratie. Restvetten zoals frituurvet en slachtafval kan ingezet worden om elektriciteit op te wekken maar kan beter ingezet worden als grondstof voor biodiesel omdat we daarmee besparen op olie als fossiele grondstof en niet 'slechts' op aardgas of kolen

Een andere toepassing is de inzet van biomassa als grondstof in de chemie, met name tbv de productie van gefunctionaliseerde chemicaliën. Hoewel in volume deze chemicaliën ongeveer een kwart van de totale bulkchemie voor hun rekening nemen, zijn deze chemicaliën verantwoordelijk voor circa de helft van het fossiel grondstoffen gebruik (inclusief energie) van de chemische sector. Hier kan worden uitgegaan van gemiddeld een twee tot drievoudige besparing van fossiele energie input t.o.v. petrochemische routes. Het BREW project, The potential of white biotechnology, 2006, Patel et al (ref. 5) gaat voor gefunctionaliseerde verbindingen zoals PDO (1,3 Propaandiol) zelfs uit van 90 GJ/ton en meer langs petrochemisch geproduceerde route. Dit betekent dat t.o.v. de calorische waarde van de uitgangsbioomassa wel een factor 4. De extra winst wordt behaald door de hogere efficiëntie van het (biotechnologische) productieproces, waardoor procesenergie wordt bespaard naast vervanging van een fossiele grondstof door een groene grondstof. In deze studie gaan we ervan uit dat inzet in de chemie leidt tot een twee- tot drievoudige besparing op fossiele PJ. In de ECN/WUR studie (Rabou et al., 2006) wordt uitgegaan van omzetting van biomassa middels vergassing en andere thermische processen gericht op de bulkchemicaliën aan het begin van de petrochemische keten. Het voordeel hierbij is dat het om chemicaliën gaat met een groter jaarlijks productie volume. Nadeel is dat er niet optimaal gebruik gemaakt wordt van de moleculaire structuren die in de biomassa componenten aanwezig is. (Rabou et al., geven aan dat de "inertie" van de bestaande energie (en chemie) infrastructuur een belangrijke beperking vormt voor het inzetten van biomassa als grondstof. De bestaande infrastructuur kan tot 2030 niet geheel worden afgeschreven en is nu geheel afgestemd op

fossiele grondstoffen. Een zelfde is het geval voor de industrieën die nu organische stromen (biomassa) verwerken (o.a. landbouw en VGI, papier industrie). Productie van biomassa grondstoffen voor energie en chemie is een langzaam proces.

Omdat olie schaarser is dan aardgas en aardgas weer schaarser is dan kolen, willen we evenals werkgroep 3 (WISEBIOMAS) tot een schaarsheid correctie komen. Eerste prioriteit hebben de toepassingen chemie en transportbrandstoffen die nu met aardolie gevoed worden. Daarna komen de toepassingen elektriciteit en warmte waarmee aardgas en steenkool wordt uitgespaard. Op een enkele uitzondering na (wordt ter plekke specifiek aangegeven) kunnen we alle grondstoffen die geschikt zijn voor elektriciteit ook inzetten als grondstof voor SNG (warmte)

Organische stof in de bodem

Organische stof voor de bodem: wanneer we organische stof efficiënter gaan benutten ter vervanging van fossiele grondstoffen, zullen we middels mest en landbouw reststromen minder organische stof aan de bodem leveren. We gaan bij onze benadering uit dat nog steeds een deel van de organische stof op de akker komt, en wel het deel dat de meeste waarde heeft voor de opbouw van organische stof, namelijk de meest resistente fractie. De gemakkelijkst te ontsluiten fracties kunnen dan worden ingezet voor fermentatie of anderszins. Deze fracties hebben door hun aard ook maar heel beperkte waarde voor de bodem omdat deze binnen een paar maanden geheel verteerd zijn in de bodem en dan weinig waarde hebben voor de structuur en watervasthoudend vermogen etc. We gaan er bovendien niet van uit dat alle opties geheel zullen worden geïmplementeerd. Als Nederland importeren we grote hoeveelheden biomassa waarmee we ook onze organische fractie in de bodem blijven onderhouden.

4 Biomassapotentieel na rendementsverbetering

Een samenvatting van het biomassapotentieel na rendementsverbetering staat in onderstaande tabel 3.

Tabel 3. Beschikbaar NL biomassapotentieel na rendementsverbetering huidig gebruik

Nr.	Type Biomassa	PJ biomassa	Rendementsverbetering
1	Primaire reststromen	30	Inzet voor ethanol, elektriciteit en warmte
2	Reststromen VGI	24	Aminozuren voor chemie + fermentatiegrondstof + E/W
3	Reststromen uit import voor fuels	48	Naast fuels ook inzet voor chemie en E/W/S
4	Mest	100	Scheiden in eiwitten, fermentatiegrondstoffen en E/W
5a	Frituurvet, olie, dierlijk vet	11	Inzet voor transportbrandstoffen
b	GFT	17	Pyrolyse-olie voor elektriciteit/warmte
c	Huishoudelijk afval	32	Scheiden biogeen/plastic, biogeen vergassen
6	Reststromen Koppejan	85	Uitgangssituatie; reststromen alleen geschikt voor E/W/S
7	Optimalisatie ruwvoerketen	65	Inzet voor chemie, fuels en E/W
8	Reductie verteringsverliezen	50	Additieven aan veevoer toevoegen
9	Methaanemissie rundvee	-	3.250 Mton CO ₂ -besparing
	Totaal calorisch	462	

Uitgangspunt bij deze tabel is dat we ons concentreren op mogelijkheden groter dan 10 PJ vermeden fossiel.

4.1 Hoogwaardige inzet primaire reststromen voor decentrale WKK met vergaande warmte integraties (3-8 jaar)

Kwantitatieve doelen

Het gaat hier om een verscheidenheid aan primaire reststromen, zoals stro van granen en koolzaad, gewasresten van de vollegrondsgroenteteelt, bermgras. Voor elke stroom moet min of meer op maat een verzamelstelsel en verwerkingssysteem ontwikkeld worden. Een combinatie van grote schaal en kleine schaal verwerking zal waarschijnlijk ontstaan. Vaak zal gelden dat met kleinschalige verwerking een groot deel van de componenten die je niet naar een centrale plaats wilt brengen, verwijderd wordt en dat bovendien de componenten in energie dichtheid en/of in waarde worden verhoogd zodat het transport dat plaatsvindt het meeste effectief is.

Volgens ECN/WUR (Rabou et al., 2006.) vormen gewasresten een significant deel van de totale landbouwproductie in Nederland. Voor vollegrondsgroenten is de geschatte hoeveelheid ca. 3 ton droge stof/ha/jr, terwijl dit voor akkerbouw meer dan 2,5 ton ds/ha/jr is. Voor suikerbieten geldt een hoeveelheid van ruim 4 ton ds/ha/jr. Dit betekent dat in Nederland uit de tuinbouw $100.000 \text{ ha} \times 3 \text{ ton ds/jr} = 0,3 \text{ Mton/jr}$ beschikbaar is en dat er uit de akkerbouw $2,5 \times 800.000 \text{ ha} = 2 \text{ Mton ds/jr}$ beschikbaar is. Bijproducten uit kassen zijn niet meegeteld. Uitgaande in 2030 van 3 Mton gewasresten komt dit neer op ca. 45 PJ, waarvan ca. 10 PJ aan stro.

WUR/ECN neemt een voorschot op verhoogde productie in 2030, waardoor deze hoeveelheden hoger kan uitkomen (OPM Koppejan neemt primaire bijproducten vrijwel niet op omdat deze nog niet "aangeboden" worden). 1 M ha met 3 ton restproduct levert al dit resultaat. Wellicht is het veiliger om uit te gaan van 2 Mton, waardoor 1 Mton beschikbaar blijft om de aanvulling van organische stof in de bodem te behouden. Dit was al meegenomen. Om deze bijproducten werkelijk beschikbaar te maken zullen er ketens opgezet moeten worden die o.a. rekening houden met het behoud van organische stof in de bodem, logistiek, nutriënten uitspoeling, etc. Deze reststromen zouden 500 MW aan elektrische capaciteit kunnen leveren, daarnaast de warmte voor winning van 1 Mton ethanol en de warmte voor 240 ha aan kassen gecombineerd met 10.000- 14.000 woonhuizen. Hiervoor is totaal zo'n 30 PJ aan reststromen noodzakelijk. De efficiëntie t.o.v. een gemiddelde grote centrale komt door toepassing van de restwarmte hierdoor ruim twee maal gunstiger uit.

Uitgangspositie in Nederland

Stro zou voorafgaand aan transport eerst omgezet kunnen worden in pyrolyseolie. In Groningen loopt zo'n initiatief maar ook valt te denken aan een fermentatieve omzetting van stro naar olie zoals in Wageningen wordt onderzocht. Een andere optie is om de ECN torrefactie technologie toe te passen (verdichten van de biomassa energie), zodat transport naar grotere centrales mogelijk wordt. Voor de grote hoeveelheid groene reststromen zoals loof van bieten, aardappelen van wortelen en andere open groente teelten is een kleinschalige bioraffinage tot een eiwit fractie, een vezel fractie en een opgeloste stoffen fractie denkbaar waarbij uit alle drie de hoogste waarde bereikt kan worden. Verschillende processen worden in Europa onderzocht.

Bermgras wordt in Nederland vrijwel niet nuttig toegepast, voor afvoer/verwerking moet worden betaald. Dit heeft te maken met de vrees voor verontreinigingen in het bermgras (blikjes e.d.), waardoor bermgras niet geschikt is voor veevoer. Het beleid op dit moment is om bermen te verschralen.

Een breed netwerk van kleinschalige WKK's biedt de kans om heel efficiënt de exergie uit biomassa te benutten, met name door een efficiënt gebruik van de restwarmte welke decentraal nodig is (restwarmte kan niet over grote afstanden getransporteerd worden, bij grootschalige WKK kan het lastig alle vrijkomende restwarmte te benutten).

Nederland heeft de reststromen, de technologie is deels beschikbaar en deels ook bij Nederlandse partijen in ontwikkeling, en afzet van elektriciteit en warmte kan lokaal plaatsvinden.

Wie zijn de stakeholders/spelers in Nederland en in het buitenland?

Landbouwbedrijfsleven, boeren, overheden, staatsbosbeheer, BTG, WUR Alterra, WUR AFSG, WUR ASG, TNO, ECN.

Marktvraag

Er is in Nederland voldoende vraag naar groene electriciteit, de restwarmte kan lokaal toegepast worden.

Technisch potentieel

Nederland heeft al geruime tijd ervaring met kleinschalige WKK. Ook pyrolyse is een technologie waar in Nederland veel kennis en ervaring mee is opgedaan (BTG). Productie van biogas wordt op dit moment op praktijkschaal in Nederland geïntroduceerd. Torrefactie en bioraffinage bevinden zich nog in het onderzoeksstadium.

Draagvlak

De MEP-subsidie is bevordert de toepassing van restwarmte niet, hetgeen de vraag nadelig beïnvloedt. Voor lokale verwerking van primaire reststromen lijkt maatschappelijk draagvlak aanwezig te zijn.

Wat moet/kan de rol van de overheid zijn?

MEP veralgemeniseren naar bijv. netto CO₂-reductie over de hele keten. Onderzocht moet worden of het haalbaar is om bermen te bemesten en maaien, met name met het oog op de verkeersveiligheid.

Welke kosten en baten zijn er?

WKK op kleine schaal in kassen kan economisch uit. Het is te verwachten dat biomassa gestookte WKK's met warmte integratie ook economisch haalbaar zijn, de reststromen komen immers uit de directe omgeving. Nog onbekend zijn de kosten en baten van het bemesten, maaien en verwerken van bermgras.

Aanjagen experimenten

Een voorbeeldexperiment is de combinatie van lokale ethanolproductie nabij een glastuinbouwgebied, gekoppeld met een biomassa-wkk. Huishoudelijk kachels worden vooral gestookt op Nederlands hout (met name primaire bijproducten van bos onderhoud). Het verbeteren van de efficiëntie van deze kachels kan bij een zelfde hoeveelheid biomassa een veel hoger warmte rendement hebben. Verder kan verder kan de link tussen Nederlandse kachels en Nederlands hout meer hout uit eigen bossen beschikbaar maken. Nu wordt nog maar een fractie van de potentie benut.

4.2 Hoogwaardigere benutting reststromen VGI

Kwantitatieve doelen

Vis (2002) analyseerde de mogelijkheden om reststromen uit de voedings- en genotmiddelen industrie voor energie (met name elektriciteit en warmte) in te zetten. Veel reststromen kunnen het beste in de veevoerindustrie afgezet worden. Deze werden buiten beschouwing gelaten. Ook te kleine hoeveelheden (< 0,2 PJ) zijn niet in de conclusies van Vis betrokken. Dan resteert volgens Vis 5,5 Mton met 44 PJ als kanshebbers voor energie (= E/W maar ook ethanol).

De kleinere stromen worden buiten beschouwing gelaten: de stromen die beschikbaar komen in de visverwerking, slachtafval, drankenindustrie en groenten- en fruitverwerking. De verwachting is dat deze op kleinere schaal ook zullen bijdragen.

Resteren de stromen uit de MVO (margarine-, vetten en olienindustrie), meelsectoren en de suiker industrie. Deze 3 sectoren bedragen volgens Vis een 50- 55 PJ. We hebben gerekend met onttrekking van biomassa die geen of weinig waarde als diervoeding heeft op dit moment en de waardevolle componenten gaan nog steeds naar diervoeding. De verschillende persschroten worden stapsgewijs gehydrolyseerd: eerst eiwit dan aminozuren. Aangenomen wordt dat een kwart van de aminozuren in te zetten is als bron voor gefunctionaliseerde chemicaliën en dat hierdoor 4 PJ aan calorische waarde wordt bespaard van de schaarse fossiele bronnen voor chemie. De ¾ restaminozuren bevatten nog steeds de essentiële

aminozuur waarde voor de veevoeder toepassing, de onttrokken aminozuren die als energiewaarde voor het dier dienst deden zijn met geringe koolhydraat inzet te compenseren. De 30 PJ aan resterende lignocellulose wordt voor een derde nog steeds aan de diervoeding toegerekend en 20 PJ komt beschikbaar voor fermentatiegrondstof (10 PJ) en E/W/S (10PJ).

Als bijkomend voordeel zal er minder mest ontstaan bij varkens en daardoor minder mineralen probleem en minder transport van mest. Transport besparing levert in de orde van 10 miljoen km minder vrachtwagenkilometers ruim 1 PJ aan transportbrandstof, deze besparing is niet meegerekend. Het totale besparingspotentieel van deze sectoren komt daarmee op 24PJ.

Uitgangspositie Nederland

Verschillende NL kennisinstituten werken aan de ontsluiting van lignocellulose. De ontsluiting van de eiwitten levert weinig extra problemen op.

Stakeholders

Toeleveranciers zoals Cargill en ADM en Meneba zouden geïnteresseerd moeten zijn vanwege de toegevoegde waarde aan hun reststromen. De mengvoederbedrijven krijgen meer toegevoegde waarde door kleinere effectieve stromen mengvoeder en een beter product naar de boeren die fors kunnen besparen op hun mest afzet kosten (18€/m3). De chemische industrie heeft interesse in aantal aminozuren als grondstof voor hun producten. Overheid: minder mestproblematiek.

Marktvraag

Fermentatiegrondstoffen voor ethanol en andere bestaat nu reeds. grondstoffen voor chemicaliën zal met een hoge olie prijs naar verwachting ontstaan zodra de technologie en de grondstoffen kosteneffectief beschikbaar komen.

Technisch potentieel

Kennis van lignocellulose ontsluiting is aardig op weg in NL en daarbuiten. Geen kennis is beschikbaar in NL en daarbuiten op een kosten-effectieve aminozuur scheiding??????

Internationale context

Nederland is ook een doorvoerland van schroot. Deze schroot zou met dezelfde technologie opgewerkt kunnen worden en dan tegen hogere waarde worden doorgevoerd.

Draagvlak

Weinig tegenstand zal worden verwacht. Met goede boodschap zal dit initiatief vanwege vermindering van mest en transport bij het publiek de handen op elkaar kunnen krijgen.

Rol overheid

Stimuleren van onderzoek en partijen bijeen brengen. Met name de boeren die nu veel kosten voor hun mestafzet maken maar moeilijk bij de ketenoptimalisatie op een middellange termijn te interesseren zullen zijn.

Kosten en baten

Alleen bij voldoende effectieve technologie zal een economische route beschikbaar komen. Hoe de gehele keten (t/m boeren) zich in de kosten/baten verdeling zullen mengen is te bezien.

Aanjagen experimenten

Opzetten van een haalbaarheidsproject waarin eiwit wordt gehydrolyseerd en de aminozuren worden gescheiden.

4.3 Nieuwe reststromen uit biofuel productie tarwe en koolzaad import

Kwantitatieve doelen

Met de behoefte aan transportbrandstoffen die vanwege de EU directive al in 2010 beschikbaar moeten zijn, zullen raapzaad en tarwe geïmporteerd worden in de grote havens. Tarwezetmeel wordt via bestaande kennis omgezet in ethanol. De reststroom eiwit kan

ontwikkeld worden tot grondstof voor de chemie, indien we de scheiding van aminozuren kosteneffectief onder de knie krijgen. Tot die tijd kan het eiwit ingezet worden in de diervoeding. Bij raapzaad is de situatie niet anders. De olie kan middels omestering tot een biodiesel worden ingezet, terwijl het eiwit ook naar de diervoeding kan totdat we de scheiding van aminozuren hebben ontwikkeld. De glycerol dient als grondstof voor verschillende (petro?)chemicaliën. Bij het tarwe en bij het raapzaad proces komen lignocellulose fracties vrij die m.b.v. 2^e generatie technologie naar ethanol kunnen worden omgezet, waarbij de reststromen ingezet kunnen worden voor productie van electriciteit of SNG. Totdat de 2^e generatietechnologie beschikbaar is kunnen we de gehele lignocellulose inzetten bij de generatie van elektriciteit en/of SNG.

Stel er wordt 3 Mton raapzaad en 5 Mton tarwe geïmporteerd voor de productie van 50PJ ethanol en 50 PJ biodiesel, dan kan uit reststromen nog 25 PJ voor chemie en 23 PJ voor fermentatie/ethanol beschikbaar komen (in overzichtstabel is alleen de energie-inhoud van de reststromen meegenomen).

Raapzaad 3 Mton + 1,1 Mton rest x 15 = 16 PJ = 10 ethanol + 6 EWS

- 0,75 Mton eiwit x 20 = 15PJ

- 1,25 Mton diesel, biodiesel = 50PJ

Tarwe 5 Mton geeft ethanol = 50 PJ plus 0,5 Mton gluten en 0,5 Mton rest

Geeft 0,5 x 20 = 10 PJ + 0,5 x 15 = 7,5 PJ = 17.5PJ (10 Chemie + 50PJ ethanol + 5 Ethanol + 2.5 EWS)

Totaal aanpassing 10 dmv import: EWS: 8.5; F/F = 15PJ; chemie = 25PJ

De verdere uitwerking is conform 4.4 hoogwaardige benutting reststromen VGI..

4.4 Hoogwaardigere benutting mest (3-8 jaar)

Kwantitatieve doelen

In Nederland hebben we 66 Mton mest met een droge stof gehalte van 11%. Dit komt overeen met 7 Mton à 14 PJ/Mton = 100 PJ. Conform Boons (ref..) is de energieinhoud ca. 30% hoger dan hier is aangehouden (de veestapel is in de afgelopen 10 jaar verminderd). Mest bevat 2,6 Mton koolstof en 0,45 Mton stikstof. De helft van de stikstof is in de vorm van eiwit (1,3 Mton) en de andere helft in 0,4 Mton ureum. Ca. 5Mton is lignocellulose.

Doel is om deze mest op te werken tot:

- eiwitfractie (1,3 Mton) inzetten als grondstof voor chemie (25 PJ)
- ureum benutten als meststof
- deel lignocellulosefractie (3 Mton) inzetten als fermentatiegrondstoffen (45 PJ) en 2 Mton voor E/W/S (30 PJ) (deze optie is uitgewerkt in de overzichtstabel), of:
- 2,5 Mton lignocellulose via HTU (37 PJ) naar biocrude en de rest voor fermentatie (23 PJ) en E/W/S (15 PJ)

In de HTU-route kunnen natte stromen goed verwerkt worden, maar het omzettingsrendement van mest via HTU naar transportbrandstof is een stuk lager dan van olie/vet naar transportbrandstof.

Aangenomen wordt geen extra stikstof aan het landbouw systeem toegediend moet worden, omdat door snel opvangen van eiwit en ureum voorkomen wordt dat de helft van de stikstof verloren gaat voor de landbouw in de vorm van ammoniak, nitraat naar grondwater en als moleculaire stikstof.

Gerekend is in de overzichtstabel met helft via HTU andere helft naar Fermentatie en EWS.

De mest kan ook worden (co)vergist waardoor op korte termijn een 50 PJ biogas geproduceerd zou kunnen worden (ref) en de rest van de mest op het land de organische stof en stikstof aanvult. De mestwetgeving rekent het digestaat als mest waardoor deze optie op dit moment nauwelijks van de grond komt.

Uitgangspositie Nederland

In november 2004 heeft de Animal Sciences Group van de WUR een quick scan gemaakt van be- en verwerkingstechnieken van dierlijke mest. Hieruit blijkt dat een groot aantal

verwerkingsmethodes technisch bewezen is, enkele zijn nog in ontwikkeling. Per 1 januari 2006 geldt in Nederland een nieuwe mestwetgeving die mestverwerking stimuleert. In Nederland zijn recent een groot (100-tal) initiatieven gestart op het gebied van co-vergisting. Gunstige condities voor co-vergisting zijn MEP-subsidie en de positieve lijst voor co-vergisting. Een knelpunt is dat de mestwetgeving in Nederland het digestaat als mest beschouwt, waardoor deze optie nauwelijks van de grond komt.

Stakeholders

De stakeholders zijn de Nederlandse veehouderij, akkerbouwers, landbouwbedrijfsleven, overheden, de energiebedrijven en de chemische industrie.

Marktvraag

De vraag naar dierlijke mest wegens zijn bemestingswaarde is momenteel lager dan het aanbod, waardoor veehouders flink moeten betalen voor hun mestafzet. De overheid stimuleert mestverwerking. Animal Sciences Group (ref.) heeft onderzoek gedaan naar afzetmarkten van be- en verwerkte mest. Mogelijk dat in de toekomst, met het opkomen van de teelt van energy crops, de behoefte aan organische mest toeneemt.

Technisch potentieel

Elektriciteitswinning middels mestvergisting is technisch nu al goed mogelijk. In de praktijk neemt het aantal mestvergistingsinstallaties toe. Het aanwenden van co-producten dient nog geoptimaliseerd te worden.

Draagvlak

Voor een duurzame aanwending van mest zal een groot maatschappelijk draagvlak bestaan.

Rol overheid

Op korte termijn zou de (EU) mestwetgeving aangepast moeten worden. Met name kunstmestachtige producten verkregen uit digestaat dienen de status meststof of kunstmestachtig product te krijgen. Het mogen toepassen van kunstmestvervangers kan het gebruik van (chemische) kunstmest vervangen. Hierdoor kan door vergisting de sector tot een belangrijke verduurzaming komen. De productie van (chemische) kunstmest kost veel energie en produceert veel broeikasgas.

Voor de lange termijn zou de overheid hernieuwd onderzoek naar hoogwaardige mestverwerking moeten stimuleren, waarbij uit mest de fracties eiwit, lignocellulose en lignine gewonnen worden, die hoogwaardig verwerkt worden tot chemisch product, transportbrandstof en elektriciteit/warmte.

Kosten en baten

Baten zijn gelegen in de opbrengst van elektriciteit, warmte en/of chemicaliën. Kosten zijn investeringen en operationele kosten. Overheid stimuleert mestverwerking via MEP-subsidie. Door het mestoverschot is de afzetprijs voor mest hoog (nu - €18/m³), hetgeen investeringen in mestverwerking in de toekomst rendabel maakt (prijs eiwit + €10/m³).

4.5 Hoogwaardigere toepassing van tertiaire reststromen (Koppejan)

We onderscheiden 3 significante reststromen:

- a. Vetten, oliën, hooi (0-5 jaar)
- b. GFT (3-8 jaar)
- c. Huishoudelijk afval (5-15 jaar)

Kwantitatieve doelen

- a. Uit de stromen frituurvet, olie en dierlijk vet kan ca. 10 PJ met olie als voornaamste inhoudsstof worden ingezet voor de productie van transportbrandstoffen. Ook uit hooi kunnen transportbrandstoffen worden geproduceerd. Het betreft de Kopepjan-stromen 10, 16a, 16c, 16g (tabel 1) ter grootte van 11,6 PJ.
- b. Bijna de helft van ons huishoudelijk afval bestaat uit groente-, fruit- en tuinafval. In totaal werd in 2002 1.416 kiloton huishoudelijk gft-afval (1.416 miljoen kilo) gescheiden ingezameld en gecomposteerd. Dat is 88 kilo per persoon per jaar. Toch

is dit maar 52 procent van de totale hoeveelheid huishoudelijk gft-afval. Nog 1.334 kiloton, of 48 procent, is niet gescheiden ingeleverd en bij het restafval terecht gekomen. Totaal produceerden de Nederlandse huishoudens 2.750 miljoen ton gft-afval in 2002 (Bron: VROM-website).

Het Landelijk Afvalbeheerplan 2002-2012 (LAP) geeft aan dat het opwekken van energie uit GFT een lagere milieubelasting met zich meebrengt dan direct composteren. Bij 40% droge stof en een volume van 2.750 kton (VROM, 2002) zou GFT indien droog aangeboden een calorische waarde hebben van ca 17 PJ in tegenstelling tot de 7.8PJ bij Koppejan die uitgaat van nat stoken in een energiecentrale. Gaan we uit van een inzamelrendement van 52% dan is er 9 PJ beschikbaar.

Uit GFT kunnen op basis van de samenstelling middels bioraffinage chemicaliën (1,8 PJ) en transportbrandstoffen (3,6 PJ) via fermentatie worden gewonnen, de rest kan dan alsnog worden omgezet in E/W(3,6 PJ). Vanwege het inhomogene karakter zal dit geen eenvoudige zaak zijn. Door met behulp van restwarmte uit woonhuizen de GFT te drogen krijgen we voor electriciteit opwekking een hogere calorische waarde (17 PJ) maar tevens kunnen we transportkosten en arbeid besparen omdat de GFT minder frequent behoeft te worden opgehaald en deze lichter geworden is. We zullen vooralsnog met 17 PJ voor pyrolyse olie naar E/W rekenen.

Huishoudelijk afval wordt de laatste jaren steeds meer ingezet bij de productie van elektriciteit. In Nederland heeft men voor deze route gekozen omdat alles verbranden hygiënischer is dan om eerst de verschillende restfracties te sorteren in plastic, glas, papier, hout, metalen etc. Op dit ogenblik zien we dat huishoudelijk afval ook eerst bij 160 °C kan worden voorbehandeld op zo'n manier dat de scheiding in plastic, metaal en biomassa vrij gemakkelijk en hygiënisch is uit te voeren. Daarna kan de biomassa hoogwaardiger worden ingezet voor biogas of zelfs voor fermentatie. De plastic fractie kan worden benut als grondstof voor een diesel olie (Roosendaal). De plastic naar olie omzetting wordt door verschillende partijen voor mogelijk gehouden. In Nieuw Zeeland wordt deze omzetting op kleine schaal al bedreven.

De hoeveelheid afval bedraagt volgens Koppejan 6.800 kton. Een deel hiervan zijn plastics (38 PJ), de rest is biogeen (32 PJ).

Wanneer huishoudelijk afval wordt ingezet voor electriciteitopwekking wordt slechts een rendement bereikt van 25%. Dit komt omdat de in de afgassen aanwezige HCl corrosief is en deze afgassen daarom bij lage temperatuur moeten worden gereinigd hetgeen rendement kost.

Er zijn een aantal opties om het rendement van afvalverwerking te verhogen:

- biogene fractie thermisch en dus hygiënisch voorbehandelen waarna het plastic kan worden afgescheiden en als grondstof voor (fossiele) diesel kan dienen en de biogene fractie via omzetting tot biogas (rendement 70%) en vervolgens met rendement van 40% meestoken (deze opties is gehanteerd in de tabel)
- biogene deel kan mogelijk ook worden omgezet tot fermentatiegrondstof (32 PJ).

Uitgangspositie in Nederland

- a. Er zijn al initiatieven in Nederland om uit restvetten en –olien (OPM meeste restvetten nu ingezet voor warmte en elektriciteit in kassen en centrales) transportbrandstoffen te maken.
- b. GFT: op dit ogenblik wordt aardgas in woonhuizen gebruikt voor verwarming van water en de woonomgeving. De exergie in het aardgas is veel efficiënter te gebruiken dan de ca 5 % waarde die we nu bereiken. Zonder extra aardgas inzet kunnen droogprocessen worden uitgevoerd waaronder het drogen van GFT.bij huis waardoor minder energie voor transport nodig is maar ook geen energie voor het composteren verloren gaat. (ook hier zal een inertie biomassainfrastructuur moeten worden overwonnen).
- c. Huishoudelijk afval: In Nederland wordt huishoudelijk afval in toenemende mate omgezet in elektriciteit. In Nederland is hiervoor gekozen omdat alles verbranden hygiënischer is dan om eerst restfracties te sorteren in plastic, glas, papier, hout, metalen, etc. Er is in Nederland nog geen technologie beschikbaar om het afval eerst bij relatief lage temperatuur thermisch voor te behandelen waardoor wel de structuur van de biomassa toegankelijk wordt voor verdere verbewerking zoals tweede generatie ontsluitingstechnologie tbv fermentatie processen en ethanol. Uiteraard zijn

we in NL al ver met de ontwikkeling naar elektriciteit, dus zal van uit die sector nog al wat tegenkrachten ontstaan.

Stakeholders

- a. Oliezadenverwerkende industrie, vetsmelterijen, horeca, huishoudens, landbouw (hooi), overheid, aardolie-industrie
- b. GFT: huishoudens, overheden (gemeentes, provinciaal, nationaal), chemie, producenten van verwarmingsapparatuur, de energie leveranciers zoals Essent en Nuon, verwerkers van GFT: composteerbedrijven.
- c. De gemeentes zamelen huishoudelijk afval in zijn verantwoordelijk voor verwerking. Ze maken hiervoor gebruik van gemeentelijke of particuliere inzamelingsbedrijven. Gemeenten zijn soms als eigenaar betrokken bij financiering en exploitatie van stortplaatsen en verbrandingsinstallaties en/of hebben langjarige verwerkingscontracten gesloten die verplichten tot levering van afval. Afvalverwerkers zijn natuurlijk ook stakeholders (AVI's, elektriciteitscentrales die afval bijstoken, stortplaatsen, e.d.). Daarnaast is er de nationale overheid die haar beleid in het LAP heeft vastgelegd en het EU beleid. Optie is interessant voor gemeentes die kleinschalig en tegen minder kosten hun huishoudelijk afval kunnen verwerken.

Marktvraag

- a. De EU-brandstofdirective is een stimulans voor biobrandstoffen.
- b. Grondstoffen voor electriciteit productie genieten goede markt vraag o.m. vanwege MEP-subsidie.
- c. Uitgegaan mag worden van een goede marktvraag voor biogas en/of fermentatie grondstof voor ethanol of andere producten.

Technisch potentieel

- a. Technologie is voor olie toepassingen zijn beschikbaar. Voor de alternatieve verwerking van huis vuil nog niet..
- b. Kan breed geïmplementeerd worden in NL en daarbuiten. Per woonhuis of per groep van huizen. Technologie kan verder uitgebouwd worden tot efficiënte benutting van aardgas exergie. Er is relatief veel kennis in NL op gebied van drogen met zeolieten. Er is geen praktijk kennis om deze technologie in de huis omgeving toe te passen.
- c. De thermische voorbehandelingstechnieken zijn nog in het experimentele stadium. Technologische en economische haalbaarheid is nog onvoldoende onderzocht. De omzetting van de plastic fractie naar olie wordt op kleine schaal bedreven in Nieuw-Zeeland. Verwacht wordt dat een periode van 5-15 jaar nodig is om tot commercialisatie te komen.

Internationale context

- a. Ook in het buitenland worden restvetten en -oliën ingezet voor de productie van biobrandstoffen.
- b. Onderzoek naar voorbehandeling vindt plaats in UK, in Nieuw-Zeeland werkt op kleine schaal aan de omzetting van plastics naar olie.

Draagvlak

- a. Aandacht in Nederland gaat uit naar 2^e generatie biobrandstoffen. Onduidelijk is of de productie uit tertiaire reststromen als voldoende duurzaam wordt beschouwd.
- b. Kosten te maken per woonhuis zal mogelijk een hurdle zijn. Bij bulk toepassing zullen productie kosten voldoende laag worden.
- c. Deze verandering kan op tegenstand rekenen van de huidige afvalverwerkers, die hun hoeveelheid afval zien afnemen. Aan de andere kant zijn per 1-1-2006 de grenzen voor afval opengegaan, waardoor verwacht wordt dat buitenlands brandbaar afval aan Nederlandse verwerkers zal worden aangeboden. Bovendien is de capaciteit van Nederlandse verbrandingsovens beperkt en nog niet toereikend voor het Nederlandse afval. Gemeentes kunnen de verandering aantrekkelijk vinden, wanneer ze kleinschalig en tegen lagere kosten hun huishoudelijk afval kunnen verwerken.

Rol overheid

- a. Optie kan geïmplementeerd worden, MEP regeling zuigt vooralsnog deze grondstoffen weg naar elektriciteitsproductie. Daarnaast zal onderzocht moeten worden of er bepaalde eisen worden gesteld aan de producerende bedrijven ivm accijnzen en later de bijmengingsverplichting.
- b. Stimuleren van pilots om de kosten en baten duidelijk te krijgen
- c. De overheid dient de kaders aan te geven voor hygiënische thermische voorbehandeling. Daarnaast kan de overheid een proefproject initiëren naar de technologische en economische haalbaarheid.

Kosten en baten

- a. Haalbaarheid wordt negatief beïnvloed door MEP-regeling.
- b. Er is nog geen kosten-batenanalyse beschikbaar.
- c. Er is nog geen kosten-batenanalyse beschikbaar

Aanjagen experimenten

- a. Proefproject
- b. Haalbaarheidsonderzoek uitvoeren naar optie om GFT op woonhuis/-wijk niveau te drogen met restwarmte en vervolgens met hogere energiehoud om te zetten in elektriciteit.
- c. Stimuleren onderzoek naar haalbaarheid (economisch/technisch).

4.6 Reststromen, uitsluitend geschikt voor productie van elektriciteit en warmte

Kwantitatieve doelen

Het totaal aan in Nederland beschikbare biomassa voor non-food toepassingen uit Koppejan is verminderd met een aantal (hooi, stro, restvetten, huishoudelijk afval, GFT, mest) biomassastromen, die ook voor hoogwaardigere toepassingen geschikt zijn. Resteert een hoeveelheid van 85 PJ voor de productie van elektriciteit, warmte (en SNG).

Uitgangssituatie Nederland

Productie van elektriciteit en warmte uit afvalstromen is een volwassen bedrijfstak in Nederland.

Stakeholders

Gemeenten zijn soms als eigenaar betrokken bij financiering en exploitatie van verbrandingsinstallaties en/of hebben langjarige verwerkingscontracten (soms ook stortplaatsen) gesloten die verplichten tot levering van afval. Afvalverwerkers zijn natuurlijk ook stakeholders (AVI's, elektriciteitscentrales die afval bijstoken). Daarnaast is er de nationale overheid die haar beleid in het LAP heeft vastgelegd en het EU beleid.

Marktvraag

Conform het LAP dient de energie-inhoud van niet-herbruikbaar afval te worden benut (winning elektriciteit uit afvalverbranding i.p.v. storten). Er is in Nederland momenteel een tekort aan AVI-capaciteit.

Technisch potentieel

Bewezen technologie.

Internationale context

Per 1-1-2006 de grenzen voor afval opengegaan, waardoor verwacht wordt dat buitenlands brandbaar afval aan Nederlandse verwerkers zal worden aangeboden. De huidige capaciteit van Nederlandse verbrandingsovens is beperkt en nog niet toereikend voor het Nederlandse afval.

Draagvlak

Geen problemen voorzien.

Rol overheid

Het stimuleren van onderzoek naar de haalbaarheid van de inzet van de diverse reststromen voor E/W-productie.

Kosten en baten

Een groot aantal verschillende stromen moet worden ingezameld. Er is nog geen goede kosten-batenanalyse beschikbaar.

Aanjagen experimenten

Haalbaarheidsonderzoek naar technische, economische en organisatorische haalbaarheid van inzet van deze diverse groep reststromen voor elektriciteits- en warmteproductie.

4.7 Optimalisatie ruwvoerketen (3-8 jaar)

Kwantitatieve doelen

Als we uitgaan van een graslandareaal van 1 miljoen ha en een productie van 10 ton ds/ha is er 10 Mton beschikbaar. Deze rendementsverbetering beoogt de helft van het grasland in NL te benutten voor intensieve grasteelt, welke middels bioraffinage benut kan worden als veevoeder en grondstoffen voor chemie, electriciteit, fuels. De 'andere' helft van het graslandareaal aangevuld met de als veevoeder aangemerkte stromen, worden verondersteld voldoende veevoedergrondstof op te leveren.

Bij intensieve teelt op de helft van het huidige graslandareaal, 500.000 ha, is de opbrengst hiervan uitgaande van 15 ton droge stof per ha 7,5 Mton ds. Door bioraffinage komt 2,5 Mton beschikbaar als veevoedergrondstof. Daarbij kan worden opgemerkt dat de veestapel wellicht nog verder afneemt, maar daar is vooralsnog geen rekening mee gehouden. Dan resteert voor non-food bruto 5 Mton = 65PJ. De onderverdeling naar inhoudsstoffen is als volgt:

1.5 M ton eiwit, helft richting hoogwaardig veevoeder, helft naar chemie

0.4 M ton vetten, veevoeder

2.5 M ton vezels, naar electriciteit of fermentatie

2,25 M ton suikers en organische zuren

0.75M ton mineralen, hergebruik in landbouw

(15 PJ Chemie, 30 fuels/fermentatie en 20 E/W/S.) Een andere mogelijkheid is om via HTU transportbrandstof te maken. Voordeel is dat het HTU-proces natte stromen goed kan verwerken, nadeel is dat het rendement van gras naar biodiesel via HTU veel lager ligt dan het rendement van olie/vet naar biodiesel.

Uitgangspositie in Nederland

AVEBE heeft met verschillende partners eind vorige eeuw een grootschalige grasbioraffinage technologie opgezet. Deze technologie is goed uitgewerkt en beschreven. Koppelingen met grootschalige grasraffinage en HTU zijn op papier uitgewerkt en hebben voordelen voor beide deelprocessen. HTU bevindt zich in de demonstratiefase, is nog geen bewezen technologie. Door WUR is een kleinschalig grasverwerkingssysteem uitgewerkt waarbij transporten gereduceerd zijn en mineralen via korte cyclus terug vloeien naar het veld.

Wie zijn de stakeholders/spelers in Nederland en in het buitenland?

Landbouwbedrijfsleven, boeren, overheden, chemie.

Marktvraag

Vraag naar fermentatiegrondstoffen trekt aan vanwege hoge suiker prijzen. Vraag naar aminozuren zal op beschikbaarheid van technologie wachten.

Technisch potentieel

Basic engineering van grootschalige fabriek ligt klaar. Voor kleine schaal zijn de unit operations uitgetest.

Draagvlak

Geen grote weerstand te verwachten. Vaak veronderstelde koeien uit de wei is niet nodig maar vindt nu geruisloos plaats vanwege andere oorzaken. Momenteel wordt 15% van de koeien opgesteld (statline CBS) en dit percentage neemt langzaam toe. Meer opstallen van

koeien wordt vanuit maatschappelijk oogpunt niet wenselijk geacht. Extra opstallen kan echter voorkomen worden door individuele bedrijven ieder hun bijdrage te laten leveren aan grasbioraffinage. Deze ontwikkeling is ook logisch, aangezien elk individueel bedrijf voldoende ruwvoer nodig heeft. Een grote fabriek vereist veel logistieke bewegingen en afhankelijk van de locatie tot weerstand leiden.

Wat moet/kan de rol van de overheid zijn?

Vergunning verlenen voor het verhogen van mesttoediening per hectare, indien stikstof aantoonbaar afgevoerd wordt in de eindproducten. Stimuleren experimenten.

Welke kosten en baten zijn er?

Met grote schaal proces kan al bij 3 bioraffinage producten (eiwit, sapconcentraat, vezels) een goede financiële return bereikt worden.

Aanjagen experimenten

- Demofabriek (helpt van schaalgrootte van de beoogde fabriek). Kan alleen met subsidies omdat pilot als zodanig niet kosteneffectief is, en grote schaal een hoge investering van ca 30M€ vraagt.
- Stimuleren van de bouw van een prototype voor de mobiele fabriek

4.8 Reductie verteringsverliezen (0-5 jaar)

Kwantitatieve doelen

Er zijn stoffen zoals PST en Paylean die aan varkens worden toegediend en die de energiebenutting voor de aanzet van vlees verbeteren. In vele landen worldwide zijn ze toegelaten (VS, landen in Azië), maar niet in de EU.

- Varkens in Nederland vreten in totaal 5,5 miljoen ton ds aan voer met een totale energie inhoud (calorische waarde) van 106 PJ. Toediening van PST en Paylean leveren een efficiencyverbetering op van 10-15%, overeenkomend met 11-16 PJ efficiëntere biomassabenuutting.
- De stof 3 Bovine Somatotropine (BST) BST verhoogt de efficiency van melkproductie bij koeien met 10-20%. In de USA en een aantal andere landen is het toegelaten, maar in de EU niet. In Nederland vreten koeien in totaal 13,5 miljoen ton ds aan voer met een energieinhoud van 243 PJ (calorische waarde). Een efficiencyverbetering met BST van 10-20% bespaart derhalve 24-50 PJ biomassa.

Dus er kan 35- 66 PJ bespaard worden in de vorm van diervoedergrondstoffen welke alternatief ingezet kunnen worden voor chemie, fuels en electriciteit/SNG volgens verhouding 2:3:3: dus 9-16 PJ voor chemie, 13-25 PJ voor fuels/fermentatie en 13-25 PJ voor E/W/S.

Uitgangspositie Nederland

In de EU is het niet toegestaan de beoogde stoffen aan veevoer toe te voegen.

Stakeholders

Veehouders, mengvoerindustrie, overheid (nationaal, EU), farmaceutische industrie, fijnchemie

Marktvraag

Met name vanuit de veehouders en veevoerindustrie zal een verbeterde vertering toegejuicht worden omdat dit de voerkosten en mestproductie verlaagt.

Technisch potentieel

Met behulp van toedieningsmiddelen zoals PST, BST en repartitioners zoals Paylean is het in de praktijk al mogelijk de benutting flink te verbeteren. Dit is in het grootste deel van de wereld ook al praktijk, maar in de EU is het niet toegestaan. Verbetering van de vertering van grondstoffen door technologische behandeling is relatief nog niet ver uitontwikkeld en vraagt nog een grote R&D inspanning.

Internationale context

Het Europese beleid staat deze optie eigenlijk niet toe. In andere delen van de wereld waaronder de VS worden deze stoffen wel toegestaan.

Draagvlak

Het draagvlak voor het technologisch verhogen van de vertering van grondstoffen kan goed zijn, zeker als hiermee andere minder wenselijke zaken zoals bijvoorbeeld soja importen verminderd kunnen worden.

Het gebruik van PST, BST en repartitioners zoals Paylean ligt politiek en maatschappelijk gevoelig in de EU.

Rol overheid

Overheid zou zich moeten inzetten om de EU wetgeving m.b.t. toedieningsmiddelen aan te passen aan de mondiale standaard.

Kosten en baten

Optie wordt al commercieel toegepast in de Verenigde Staten, baten zijn positief.

Aanjagen experimenten

Plan opstellen voor draagvlakontwikkeling.

4.10 Vermindering uitstoot methaan door rundvee

Uitgangshouding in Nederland

Door verteringsverliezen stoot rundvee methaan uit. Omdat methaan een veel schadelijker broeikasgas is dan CO₂, kan een kleine reductie van deze uitstoot leiden tot een grote besparing op de emissie van broeikasgassen. De global warming potential van CH₄ is 20-25 maal groter is dan van CO₂ (1 kg CH₄ = 20-25 kg CO₂-equivalenten). Uitstoot van methaan door rundvee is 234 mln kg C (12 PJ) (1989, bron: NRLO-rapport, 1996). De afgelopen jaren is de methaanproductie per kg vetgecorrigeerde melk (FCM) gedaald van 16,75 in 1990 tot 15 in 2004 (Bannink, 2006). Dit is ondermeer veroorzaakt door stijging van de melkproductie per koe en rantsoenaanpassingen (met name als gevolg van MINAS). Aangezien het nationale melkquotum gelijk gebleven is, zal de uitstoot van methaan door rundvee inmiddels gedaald zijn tot 11 PJ.

De methaanemissie kan door autonome ontwikkelingen (onder meer stijging melkproductie per koe) en reguliere aanpassingen in de rantsoensamenstelling verder kunnen dalen met 1-2 PJ (0-5 jaar). Het rantsoen dient dusdanig aangepast te worden dat de bestanddelen niet langer in de pens verteren, maar verderop in de darmen.

Hier bovenop kunnen additieven ontwikkeld worden om methaanemissie verder te beperken (beperken methaanproductie in de pens). Hier zitten echter grenzen aan; de koe moet kunnen blijven produceren en functioneren. Een verdere besparing van 5 PJ is mogelijk haalbaar, maar hiervoor is nader onderzoek nodig (3-8 jaar). Een totale besparing van 6-7 PJ methaan komt overeen met 150.000 ton methaan en dus ca 3-3.5 M ton CO₂.

Stakeholders/spelers

Veevoerindustrie, overheid, landbouwbedrijfsleven.

Marktvraag

Er is nog geen marktvraag. Belemmeringen voor dit pad zijn de wettelijke eisen aan voedermiddelen (in het kader van voedselveiligheid)

Technisch potentieel

Werkbare additieven nog niet beschikbaar. Mogelijk stappenplan:

- middels (bestaande) modellen verkennen hoe ver we kunnen gaan met methaanreductie zonder productie en gezondheid van dieren nadelig te beïnvloeden.
- Ontwikkeling en toetsing van additieven

Draagvlak

Mogelijk weerstand vanuit de maatschappij voor “vreemde” componenten in het rantsoen. Voedselveiligheid zal een belangrijk aandachtspunt zijn bij dit transitiepad

Rol overheid

Controle op duurzaamheid diervoeders. Eventueel in later stadium voorlichting.

Kosten en baten

Nog geen kostenbaten analyse beschikbaar.

Aanjagen experimenten

Op korte termijn modelstudies uitvoeren tbv verkenning mogelijkheden.

5. Referenties

- Rabou, L.P.L.M, E.P. Deurwaarder, H.W. Elbersen en E.L. Scott. 2006. Biomassa in de Nederlandse energiehuishouding in 2030. Een studie voor het Platform Groene Grondstoffen gefinancierd door SenterNovem. Januari 2006. p54.
- E.R. Boons - Prins, H.G. van der Meer, J. Sanders: Drastische verbetering van de nutriëntenbenutting in de dierlijke produktie. NRLO - rapport (nr. 94/3).
- Vis, M., 2002. Beschikbaarheid van reststromen uit de voedings- en genotmiddelenindustrie voor energieproductie. Eindverslag 2 DEN-02.18. Novem, Utrecht
- J. Koppejan en P.D.M. de Boer – Meulman: Beschikbaarheid van biomassa. Rapport voor SenterNovem, 2005.
- Patel, M. et al. Medium and long term opportunities and risks of the biotechnological production of bulk chemicals from renewable resources, (2006) BREW rapport

Bijlage 2:

Duurzame productie en ontwikkeling van biomassa; deelpad duurzame productie en ontwikkeling van biomassa voor raffinage

Auteurs:

Andries Koops (WUR Plant Research International)
Peter Bruinenberg (AVEBE)
Anton Haverkort (WUR, Plant Research International)
Ad de Laat (Royal Cosun)
Marien Valstar (Ministerie van LNV)

Inhoudsopgave

1. Inleiding	31
2. Beschikbaarheid van land in Europa	32
3. Energetisch rendement van biomassaproductie	33
4. Economisch rendement van biomassaproductie	36
5. Marktvraag	38
6. Technisch potentieel en vernieuwing	40
7. Internationale context	42
8. Draagvlak	44
9. Rol van de overheid	45
10. Discussie, conclusies en aanbevelingen	45
Tabel 1	50
Tabel 2	52
Tabel 3	54
Tabel 4	55

1. Inleiding

Bij de overweging, welke methode voor brandstofproductie uit biomassa in de toekomst het meest kansrijk en zinvol is, spelen diverse factoren een rol. Hieronder vallen:

- het economisch en energetisch rendement van de energieproductie;
- de mate waarin primaire doelstellingen worden gehaald, zoals de reductie van broeikasgassen;
- de mate waarin secundaire doelstellingen worden gehaald, zoals het niveau van biobrandstofbijmenging; het maatschappelijke draagvlak voor grootschalige biomassaproductie;
- de beschikbaarheid aan land, water en arbeid;
- sociaal economische overwegingen, zoals de mate waarin we onze afhankelijkheid van fossiele olie-import willen vervangen door afhankelijkheid van biomassa-import;
- de kansrijkheid van technologische ontwikkelingen die nodig zijn om biobrandstoffen prijscompetitief te kunnen maken met minerale brandstoffen.

In dit hoofdstuk worden slechts een aantal van de hierboven genoemde aspecten uitgewerkt. Een eerste aspect is de beschikbaarheid van land. Het NL energiegebruik is ongeveer 3000 PJ/jaar. Bij een optimistisch geschatte nettoproductie van 200 GJ/ha zou een areaal van 15 miljoen ha met een gemiddelde bruto biomassa-opbrengst van 20 ton/ha en een totaal van gemiddeld 300 miljoen ton biomassa nodig zijn om de NL economie van energie te voorzien. De omvang van het huidige grasland- en akkerbouwareaal is ca. 1,5 miljoen ha. Het heeft weinig toelichting nodig dat het NL grasland- en akkerbouwareaal dus in nog geen 10% van de huidige energiebehoefte kan voldoen.

Een tweede aspect is het energetisch rendement van biomassateelt op het beschikbare land. De overweging hierachter is dat zonder een substantiële *netto* opbrengst aan energie de productie van energiegewassen een futiele bezigheid is: landbouw is dan alleen maar een manier om fossiele energie een biolabel te geven, en biobrandstof wordt dan alleen geproduceerd om de targets van EU directieve 2003/30/EC (in 2010 5.75% bijmenging van

brandstof met biobrandstof) te halen, zonder dat daarbij een wezenlijke bijdrage wordt geleverd aan de onderliggende CO₂ reductiedoelstelling.

Een derde aspect is het economisch rendement. Beheerders van land (m.n. akker- en bosbouwers) en verwerkers van akkerbouwproducten zullen een grote rol spelen bij de keus welke biomassa-naar-energie-opties haalbaar zal blijken te zijn. Zonder een goed inkomen voor boeren of landeigenaren zal teelt van biomassa geen rol van betekenis kunnen spelen in de energievoorziening. Een tweede overweging binnen dit aspect is dat bioenergieproductie ook op de langere termijn economisch haalbaar moet zijn, omdat de investeringen, in bijvoorbeeld biogasinstallaties, over een langere periode moeten worden terugverdiend. Op dit moment, kan bioenergieproductie met sommige gewassen een economisch zinvolle bezigheid zijn, zoals dat het geval lijkt te zijn voor koolzaad (hoewel weer niet in NL²) en energiemaïs³. De economische levensvatbaarheid is echter voor dit moment voornamelijk te danken aan een slim gebruik van financiële stimuleringsmaatregelen, zoals accijnsreductie, MEP subsidie en subsidie op investeringen, die in het leven zijn geroepen om op korte termijn politieke doelstellingen te realiseren, zoals 2 - 5.75% bijmenging van biobrandstof.

De akkerbouw staat aan het begin van grote veranderingen, die vooral ingegeven worden door aanpassingen in het Europese subsidiebeleid. Deze maatregelen hebben zeer vermoedelijk een negatief effect op het toch al beperkte saldo van bestaande akkerbouwgewassen, waaronder aardappel, tarwe, koolzaad en suikerbiet. Ook het saldo van de suikerbietteelt, dat nu nog goed rendeert, zal in de komende jaren trapsgewijs afnemen tot een niveau dat in de beurt ligt van tarwe, één van de laagst renderende gewassen. Teelt van al de genoemde gewassen voor energietoepassingen zal de negatieve inkomenseffecten niet ongedaan maken. In het onderstaande zal echter worden getoond, dat energieproductie door de akkerbouw, onder sommige voorwaarden rendabel kan zijn, zelfs in een situatie waar een groot deel van de landbouwsubsidies of andere stimulerende ontheffingen zijn afgeschaft.

2. Beschikbaarheid van land in Europa

De vraag naar de potentiële beschikbaarheid van biomassa is (voor Europa) in eerste instantie een vraag naar de potentiële beschikbaarheid aan land. Zoals eerder is opgemerkt is het onmogelijk om de NL energiebehoefte te dekken met biomassa productie op het in NL beschikbare areaal. Areaal is vooral beschikbaar buiten NL. In de EU25, inclusief de Balkan, is ongeveer 230 miljoen ha landbouwgrond beschikbaar. In de Oekraïne 40 miljoen ha en in de Russische Federatie nog eens 210 miljoen ha landbouwgrond. In de komende 25 jaar kan een flink deel van dit landbouwareaal beschikbaar komen voor productie van non-food biomassa. Hiervoor zijn een aantal redenen:

1. De productiviteit in grote delen van het landbouwareaal in de nieuwe EU-landen, en in de niet-EU landen, is veel lager dan de haalbare productie op basis van '*best technological means*'. Door afschaffing van subsidies en handelsbescherming zal een grotere marktwerking in de landbouw optreden, en zal de efficiency van plantaardige (voedsel)productie waarschijnlijk sterk verhoogd worden. Hierdoor zal de huidige voedselproductie in Europa op een veel kleiner areaal kunnen plaatsvinden. Volgens Rabbinge en Latesteyn (2002) zou bij gebruik van '*best technological means*' de voedselproductie kunnen plaatsvinden op slechts 30% van het landbouwareaal. In dit scenario zal ook de grondprijs van landbouwgrond sterk dalen, zeker als niet al het vrijkomende areaal een bestemming kan krijgen in de non-food grondstofproductie. Dit betekent dat landbouwproductie relatief goedkoper kan worden, omdat de grondkosten verder omlaag zullen gaan. De grote vraag is hoe snel deze productiviteitsstijging in de voedselproductie zal plaatsvinden. Om een *biobased economy* op enige schaal mogelijk te maken, zal dus zowel aandacht moeten bestaan voor de productiviteitsontwikkeling in de conventionele voedselproductie om daarmee ruimte te creëren voor de non-foodproductie in de landbouw, als aan de ontwikkeling van toepassingen en productiesystemen voor de biobased grondstoffen zelf.
2. De hectare-opbrengst van NW-Europese gewassen blijft groeien door continue verbetering van rassen en teelttechnieken. De totale Europese behoefte aan

² Beschikbaarheid koolzaad voor biodiesel. WUR-LEI rapport 6.05.07, 2005.

http://www.lei.dlo.nl/publicaties/PDF/2005/6_xxx/6_05_07.pdf

³ Boerderij/akkerbouw 91:13

basisvoedsel, groenten en fruit zal de komende 25 jaar enigszins dalen, de behoefte aan op biomassa gebaseerde energie zal juist sterk toenemen.

3. Over het algemeen zijn de grootste beperkende factoren in agrarische productie land, water en mineralen (N en P). Zelfs in het overgrote deel van het neerslagrijke NW-Europa is water een beperkende factor voor agrarische productie. Echter in de rest van Europa, en in de meeste delen van de wereld, is dat in nog veel sterkere mate het geval. Wat betreft het realiseren van een maximale biomassaproductie heeft NW-Europa dus groot comparatief voordeel ten opzicht van veel andere gebieden in de wereld. Het is niet onwaarschijnlijk dat in de toekomst het watergebruik dat nodig is voor de teelt in steeds sterkere mate gaat meewegen in de prijs van de landbouwproducten. Dat zou kunnen betekenen dat gewassen die per MJ een hoge waterinput vragen, zoals de (sub)tropische gewassen katoen en suikerriet, langzamerhand terrein gaan verliezen aan gewassen die met minder water toekunnen, zoals hennep (alternatief voor katoen) en biet (alternatief voor suikerriet). Andersom zal aardappel wellicht verdrongen kunnen worden door het tropische cassave.

De conclusie is dat er een aanzienlijke hoeveelheid landpotentieel in Europa beschikbaar is, en dat Europa dankzij een gunstig klimaat en redelijke beschikbaarheid van water de potentie heeft om op zijn minst enkele procenten van haar behoefte aan energieproducten kan voorzien vanuit de landbouw.

In diverse Europese landen is bijvoorbeeld al sprake van braak. Een redelijk conservatieve schatting is dat tot 2030 tot 30% van het Europese akkerbouwareaal beschikbaar kan komen voor andere doeleinden dan alleen productie van voedsel. Naast andere landvragende activiteiten, zoals wonen, industriële activiteit, recreëren, biodiversiteit, of andere functies blijft nog steeds een omvangrijk areaal over voor grootschalige productiedoeleinden. De productie van biobased grondstoffen op zulke arealen is vermoedelijk de economisch meest interessante activiteit. Het areaal dat in de komende 10 tot 15 jaar beschikbaar komt voor biobased grondstofproductie zou in EU25 dus 70 Mha, en in Europa buiten EU nog eens 75 Mha kunnen worden. Voor Noord-Frankrijk, Noord-West Duitsland, Denemarken, België, Nederland en het Verenigd Koninkrijk gaat het om een areaal van ongeveer 10 Mha. De hierboven geschatte 70 Mha in EU25 is overigens wel aanmerkelijk hoger dan de schatting die de European Environmental Agency hanteert voor een *duurzame* energieproductie uit energiegewassen. De verwachting is dat in 2030 in Europa 25 tussen de 240 en 320⁴ miljoen ton biomassa voor energiedoeleinden beschikbaar is, waarvan een deel uit 40-70 Mton uit bosbouw, 102 mton uit organische reststromen en 100-140 Mton uit energiegewassen⁵. Dit getal is wat lastig te vertalen naar een precies areaal voor energiegewassen, maar bij een geschatte biomassaopbrengst van 10 ton/ha gaat het dan om een areaal van 10-14 Mha voor EU25.

3. Energetisch (E) rendement van biomassaproductie

3.1. Rendement per hectare

Eén hectare land kan bij goede begeleiding op dit moment 22 ton droge stof produceren (bijv. suikerbiet op klei). De bruto E-opbrengst is dan $22 \times 16 = 352$ GJ/ha⁶. Voor de netto E-opbrengst moeten kosten voor teelt, transport en processing nog verrekend worden. Bovendien blijft een deel van de geproduceerde biomassa geoogst op het land achter. Sommige auteurs claimen dat bij sommige biomassa naar energie-conversies de netto E-opbrengst zelfs negatief is⁷. Door verbetering van de energie-efficiency van teeltsystemen en processing van biomassa naar energie, door slim gebruik van de reststromen, hetzij voor extractie van waardevolle componenten, hetzij voor energiewinning, kan een netto E-opbrengst van 100-200 GJ/ha worden gehaald. De bijgevoegde energietabel (Tabel 1) laat zien hoe dat voor verschillende gewassen gerealiseerd kan worden. Tabel 1 geeft de netto

⁴ 300 Mton biomassa heeft een energie-inhoud die grofweg overeen komt met 130 mton ruwe olie, ongeveer 7.5% van de totale hoeveelheid geconsumeerde energie in EU25 (equivalent aan 1700 Mton ruwe olie of 68000 PJ).

⁵ Biofuels in the European Union. A vision for 2030 and beyond. Final draft 14/03/2006.

http://ec.europa.eu/research/energy/pdf/draft_vision_report_en.pdf

⁶ Energie-inhoud van droge biomassa is gemiddeld tussen de 15 en 16 GJ/ton.

⁷ David Pimentel. Ethanol Fuels: Energy Balance, Economics, and Environmental Impacts Are Negative. Natural Resources Research 12: 127 – 134.

energieopbrengst van een aantal gewassen, bij een aantal verwerkingsopties voor deze gewassen. De energie-input zoals die is weergegeven in Tabel 1, is de sommatie van energiekosten voor teelt, transport en processing. Hoe deze energiekosten zijn opgebouwd, is weergegeven in Tabel 2. De laatste kolom van Tabel 2 is de sommatie van alle energie-input-kosten voor teelt en verwerking van de diverse gewas-naar-energie-opties die ook in Tabel 1 worden genoemd.

Op basis van de Tabel 1 kunnen een aantal conclusies worden getrokken:

1. De teelt van zetmeelaardappelen voor de productie van ethanol levert, bij de huidige opbrengstcijfers van 45 ton aardappelen per ha, netto 61 GJ/ha. Door vergisting van het loof en de pulp die overblijft na de extractie van zetmeel en eiwit, kan de netto E-productie worden verhoogd naar 73 GJ/ha. Productie van hoogwaardige en chemicaliën, in dit voorbeeld van het N-houdende lysine, een potentiële precursor van caprolactam, bouwsteen van nylon 6,6, heeft in Tabel 1 geen positief effect op de totale energie-opbrengst. Dit heeft te maken met de rekenmethode die is gehanteerd. In tabel 1 wordt voor de E-opbrengst per energieproduct gerekend met de verbrandingswarmte voor dat product. Voor lysine is dat 27 GJ/ton), en er verder vanuit is gegaan dat de lysineproductie ten koste gaat van de suikeropbrengst. Extra lysine levert wel een aanzienlijke verhoging van het saldo (zie verder). Hetzelfde geldt voor de extra productie van eiwitten. Bij de gebruikte rekenmethodiek heeft extra eiwitproductie geen positieve invloed op de netto E-opbrengst, maar wel op het saldo. Het eiwitgehalte in de huidige zetmeelaardappel is ongeveer 1%.
Bij de in tabel 1 gehanteerde rekenmethode, moet wel een nuancering worden aangebracht. De potentieel bespaarde E is bij productie van lysine veel groter dan op basis van de verbrandingswarmte (gehanteerd in Tabel 1) kan worden aangenomen. Productie van N-houdende chemicaliën is energetisch gezien een duur proces: sommige auteurs hanteren E-kosten voor productie van 65 GJ/ton⁸. Aangezien de energiekosten voor (enzymatische) productie van N- chemicaliën in planten aanmerkelijk lager is dan in chemische processing, kan door productie van N-chemicaliën, zoals lysine, een aanmerkelijke E-besparing worden gerealiseerd, als hiermee bestaande petrochemische processen kunnen worden gesubstitueerd. In het samenvattende rapport van de PGG werkgroep Duurzame productie van Biomassa wordt deze potentieel bespaarde energie wel meegerekend in de energie-opbrengst van gewassen, maar dus niet in Tabel 1. In de E-tabel van dit samenvattende rapport zijn de laatste twee kolommen van Tabel 1 geïmporteerd en in deze samenvattende Tabel is ook de potentieel bespaarde energie verrekend.
2. De teelt van suikerbiet voor de productie van ethanol levert een netto E-opbrengst van 66 GJ/ha. Methaanvergisting van bijproducten, een totaal van 8.8 ton aan pulp, bietenkoppen en loof, levert bij nuttig gebruik van de warmte een potentiële meeropbrengst van 157-66=91 GJ/ha. Daarbij is suikerbiet uitermate geschikt voor de productie van N- en O-houdende chemicaliën, zoals organische zuren en aminozuren. Bij de huidige wijze van suikerbietprocessing is de aanwezigheid van amino- en organische zuren ongewenst, omdat ze de opbrengst aan kristalsuiker verlagen. Echter wanneer de suiker wordt gebruikt voor vergisting tot ethanol, is kristallisatie van suiker een onnodige processtap geworden en verhoogd de aanwezigheid van aminozuren juist het saldo van de suikerbietenteelt (zie verder Tabel 4). Biet kan naar verwachting aminozuren ophopen tot 4% van haar versgewicht. Zoals bij aardappel al is uitgelegd, is de opbrengst van N-chemicaliën, als gevolg van de gehanteerde rekenmethode in Tabel 1, niet doorvertaald naar een hogere netto E-opbrengst. Productie van N-chemicaliën leidt wel tot een aanzienlijk hoger saldo (zie Tabel 4). In de berekening van Tabel 1 is meegenomen dat de ophoping van aminozuren ten koste gaat van een ongeveer equivalente massa aan sucrose, waardoor de ethanolopbrengst daalt. In geval dat we wel gaan rekenen met de potentiële E-vervangingswaarde van 65 GJ/ton lysine, dan is de netto E opbrengst van een hectare bieten met 2 of 4% lysine, achtereenvolgens 190 en 260 GJ/ha (niet getoond in tabel 1).
3. Hoewel de energie-input in de teelt van koolzaad relatief laag is, is ook de netto E-opbrengst uit biodiesel tamelijk laag: 15GJ/ha. Vergisting van stro en pulp kan de E-opbrengst verhogen tot een maximum van 57 GJ/ha, mits de warmte nuttig gebruikt kan

⁸ Biomassa in de Nederlandse energiehuishouding in 2030.

[http://www.senternovem.nl/mmfiles/Biomassa%20in%20de%20Nederlandse%20energiehuishouding%20in%202030%20\(jan.%202006\).tcm24-184778.pdf](http://www.senternovem.nl/mmfiles/Biomassa%20in%20de%20Nederlandse%20energiehuishouding%20in%202030%20(jan.%202006).tcm24-184778.pdf)

worden. Opvallend is dat de biodieselproductie behoorlijk veel energie kost (14 GJ/ton). Verder is opvallend dat in vergelijking met andere zaadgewassen, zoals tarwe of mais, de zaadopbrengst van koolzaad vrij laag is: op dit moment gemiddeld 3.3 ton/ha/jaar. Tarwe haalt wel een opbrengst van 8.8 ton zaad. Rekening houdend met het verschil aan energie-inhoud tussen tarwezetmeel en koolzaadolie (biosynthese van 1 ton olie kost 2.3 ton zetmeel) kan een éénjarig zaadgewas in principe 3 ton olie opbrengen. In Tabel 1 wordt daarom ook het scenario doorerekend waarin koolzaad een twee maal zo hoge opbrengst heeft als de huidige koolzaad (6.6 ton zaad). Wanneer in dat laatste geval ook de restproducten in energie wordt omgezet, is de netto potentiële E-opbrengst 105 GJ/ha. Extra raffinage van eiwit geeft, bij de gebruikte rekenmethode, geen meeropbrengst aan E, maar draagt vooral bij aan een positief saldo voor de boer (Tabel 4).

Bij gebruik van Pure Plantaardige Olie (PPO) als brandstof is geen verestering van de vetzuren met methanol nodig. Er wordt dan bespaard op energiekosten voor processing (14 GJ/ton biodiesel) en op gebruik van methanol (ongeveer 50 kg/ton olie, verbrandingswarmte van methanol = 20 GJ/ton). Bij gebruik van PPO stijgt de netto E-opbrengst van koolzaadteelt naar 132 GJ/ha. Gebruik van Pure Plantaardige Olie als brandstof is daarom aanmerkelijk gunstiger. Bij een olieopbrengst van 3 ton/ha is de netto E-opbrengst van PPO ongeveer 150 GJ/ha (niet getoond in tabel 1).

4. Een relatief hoge netto E-opbrengst/ha kan worden gerealiseerd met een aantal grassen: tarwe, maïs, gras, gerst, etc. Bij een gewasopbrengst van 14 ton droge stof/ha is de gemiddelde netto E-opbrengst ongeveer 125 GJ/ha. Welke gewassen in de landbouwpraktijk zullen worden toegepast, zal vooral afhangen van de droge stof opbrengst en de teeltkosten. Maïs heeft in die zin goede vooruitzichten, omdat bij optimale teeltomstandigheden (voldoende water) een opbrengst van 20 ton/ha haalbaar is. Een andere optie is combinatie van een wintergewas (rammenas, koolzaad, wintertarwe) met een zomergewas (maïs, biet, hennep), waardoor de totale biomassa-opbrengst per jaar nog verder omhoog kan, maar waardoor ook de E-input en de teeltkosten toenemen. Of dit extra E en €-opbrengsten geeft, moet verder worden uitgezocht.

Een mogelijk interessant zaadgewas is haver (5.5 ton zaad/ha). Haver is uniek vanwege haar hoge oliegehalte. Sommige (wilde) haverselecties hebben een oliegehalte van 28%⁹. Door gerichte veredeling moet het mogelijk zijn dit gehalte te verhogen naar 40%, waarmee haver eenzelfde olie-opbrengst heeft als de huidige koolzaad, maar een hogere netto E-opbrengst. Deze netto hogere opbrengst is te danken aan een lagere E-input en de extra aanwezigheid van zetmeel, dat kan worden vergist naar ethanol.

3.2. Benutting van laagwaardige biomassa en laagwaardige warmte

In vrijwel alle biomassa-naar-energie-opties wordt een deel van de biomassa vergist naar CH₄, dat in een WKK installatie wordt omgezet in stroom en warmte. Er ligt een geweldige uitdaging om deze warmte op een efficiënte wijze te benutten, omdat anders deze warmte verloren gaat. Voorbeelden zijn gebruik van warmte in kassen, woningen of industriële processing, bijvoorbeeld in ethanoldestillatie.

Een tweede uitdaging is ervoor te zorgen dat vraag en aanbod in evenwicht zijn, zodat dure energie-installaties niet slechts een deel van het jaar kosteneffectief kunnen opereren. Een manier om dit wellicht te realiseren is door alle beschikbare energiecentrales logistiek te verbinden en vraag en aanbod van biomassa via een webveiling te organiseren. In dit concept beslist de boer, op basis van een aantal overwegingen, zoals de soort en hoeveelheid biomassa die hij beschikbaar heeft, de biomassavraagprijs en zijn eigen kostencalculatie (transport- versus opslagkosten), op welk moment hij welke biomassa aan welke energiecentrale wil aanbieden. In tijden van natuurlijke biomassaschaarste (bv. in de winter) zal de vraagprijs voor biomassa hoger zijn, en moet de boer de overweging maken of de te verwachten meerwaarde de meerkosten voor opslag (bijv. silage) voldoende zal rechtvaardigen. Een dergelijk energienetwerk bestaat uit:

1. Een grofmazig netwerk van grootschalige installaties, voor de verwerking van droge of geconcentreerde biomassa. Installaties zullen zich vooral bevinden temidden van grote landbouwgebieden en knooppunten van waterwegen (R'dam, etc). Hieronder vallen:
 - a. installaties voor klassieke, gist-gebaseerde productie van ethanol uit tarwe, tropische zetmelen (cassave) of melasses uit suikerbiet of riet

⁹ Persoonlijke mededeling Meneba

- b. Installaties voor productie van elektriciteit of FT diesel uit droge, verdichte of energiedichte biomassa van lignocellulose grondstoffen, zoals hout, hennep, *Miscanthus*, of andere grassen
- c. Installaties voor biodiesel productie uit plantaardige olie
- 2. Een fijnmazig netwerk van kleinschalige installaties voor de verwerking van lokale, meestal natte stromen, zoals bietenkoppen, bermgras, silagegewassen. Dergelijke installaties worden bediend vanuit een gebied met een diameter van 0-50 km. Hieronder vallen weer:
 - a. biogasinstallaties voor de opwekking van stroom en warmte. Belangrijk voor een rendabele economische bedrijfsvoering en maximale energie-efficiency is dat koppeling van biogasinstallaties mogelijk is met warmtevragende afnemers, zoals tuinders, ethanol producerende fabrieken (ethanol distillatie).
 - b. Installaties voor extractie van hoogwaardige componenten verwerking van natte biomassa tot platformchemicaliën
 - c. Installaties voor verwerking van *dedicated* gewassen tot hoogwaardige producten bij hennep (bastvezels naar textiel, kernvezels naar energie), *Miscanthus* via torrefactie en verdichting tot energiebriketten.

4. Economisch rendement van biomassaproductie

Er zijn twee tegengestelde trends die de prijs van landbouwbulkproducten zullen bepalen. Enerzijds zien we een prijsopdrijvend effect door een toenemende vraag naar transportbrandstoffen uit biomassa, die in Europa wordt gedreven door de *Biofuels Directive* en die in veel Europese landen vertaald gaat worden in een verplichte bijmenging van biobrandstoffen bij diesel en benzine, en in de US door de behoefte aan een verminderde afhankelijkheid van fossiele energie-import. Anderzijds worden landbouwsubsidies en importheffingen in toenemende mate afgebouwd, waardoor de producten van Europese gewassen in toenemende mate moeten concurreren met veel lagere wereldmarktprijzen. In de economische analyse hieronder wordt er vanuit gegaan dat subsidies zijn afgeschaft en dat de boer moet produceren voor wereldmarktprijzen. Een tweede aanname is dat de prijs van biomassaproducten vooral wordt bepaald door haar energiegehalte, en dat de prijs van biomassa-energie zal convergeren naar de prijs van fossiele energie.

Dat er vanuit de markt een toenemende belangstelling is voor energiedragers en chemiegrondstoffen uit biomassa, betekent niet automatisch dat boeren interesse zullen hebben voor *biobased* grondstofproductie. Daarvoor is nodig dat boeren een interessant rendement op geïnvesteerd vermogen en een voldoende hoog hectare saldo krijgen, zonder dat de kostprijs van de *biobased* grondstoffen te hoog wordt. Hiervoor zijn een aantal opties waaronder:

1. Andere teeltsystemen, waarbij jaarrond een betere onderschepping van licht, en daardoor een hogere biomassaproductie per ha wordt gerealiseerd. Dit kan worden gerealiseerd door veredeling op en gebruik van gewassen met een langere groeiperiode, waardoor een groter deel van het invallende licht kan worden benut. Een voorbeeld van dit concept is het verhogen van de maïsopbrengst van 14 naar 20 ton/ha door het groeiseizoen te verlengen tot eind oktober.
2. Andere gewassen of gemodificeerde bestaande gewassen, die naast de bestaande hoofdcomponenten, suiker, eiwit, olie of zetmeel, een hoger gehalte aan hoogwaardige inhoudsstoffen bevatten, die bovendien in bulkvolumes afgezet kunnen worden. Omdat de grootte van de afzetmarkt voor deze inhoudsstoffen enigszins moet sporen met de grootte van de afzetmarkt voor bio-energie, moet het afzetvolume van hoogwaardige inhoudsstoffen zeker in de orde van 100.000-den tonnen zijn. Moleculen die hiervoor in aanmerking komen zijn een aantal alcoholen, aminozuren en organische zuren die kunnen dienen als precursor voor relatief hoogwaardig bulkchemicaliën (Tabel 3). Het zijn vooral amino- en organische zuren die makkelijk door planten kunnen worden geproduceerd.
3. Verwaarden van gewasonderdelen die nu nog niet gebruikt worden, zoals bietenkoppen en loof. Co-vergisting tot methaan, eventueel voorafgegaan door extractie van de waardevolle eiwitfractie zijn hierbij voor de hand liggende opties. Extractie van eiwit moet afgewogen worden tegen de bemestende waarde van het vergistingsdigestaat. De gerecyclede N levert namelijk ook een forse besparing aan energie en reductie aan N₂O emissie bij de productie van kunstmest-N.

4. Schaalvergroting en rendementsverbetering. Wanneer het saldo per hectare daalt, is per bedrijf een groter oppervlakte nodig om voldoende inkomen te halen. Voor de Nederlandse situatie kan dit betekenen dat akkerbouwbedrijven elke 15 jaar in grootte verdubbelen in plaats van elke 25 jaar, eventueel geholpen door dalende grondprijzen. In centraal Europa zal de schaalvergroting – in gebieden met kleine arealen per bedrijf - in een nog veel groter tempo gaan. Enige rendementsverbetering (in €/ha) is verder mogelijk door de bemesting niet langer te optimaliseren naar maximale biomassa-opbrengst, maar te optimaliseren naar een maximale netto energie-opbrengst. Meer mogelijkheden kunnen liggen in verbetering van de efficiency van processen, zoals ethanol distillatie.

Alleen opties 2 en 3 zijn hieronder verder uitgewerkt.

Op dit moment zijn de hoogst salderende gewassen in Nederland, ook de gewassen met de hoogste teelkosten en E-input. Suikerbiet bijvoorbeeld, leverde de teler in 2005 € 1350 per hectare¹⁰. In de nieuwe suikerregeling, waarbij de suikerbietenprijs met 42% daalt, en in de situatie waarbij de boer geen compensatie van inkomstenverlies meer krijgt, daalt het saldo naar €550¹¹, vergelijkbaar met het netto saldo van maïs, tarwe en gerst op dit moment. In een scenario, waarbij de prijs van landbouwproducten in toenemende mate is gebaseerd op haar energie-inhoud, hetzij haar chemisch gebonden energie, of de hoeveelheid energie die kan worden bespaard door het vervangen van een bestaande petrochemische route, zal de inkomsten per gewas sterk kunnen afwijken van de huidige situatie. In tabel 4 is geprobeerd om voor een aantal gangbare gewassen deze nieuwe situatie door te rekenen. Per gewas zijn ook weer een aantal verwerkings- en afzetopties doorgerekend. Verder wordt ervan uitgegaan dat een gemiddeld saldo van €800/ha nodig is om een landbouwbedrijf voldoende bestaansrecht te geven en dat €600 het absolute minimum saldo is. Verder is het van belang te realiseren dat een gezond bouwplan bestaat uit een rotatie van bij voorkeur 3-5 gewassen, als tenminste ook biet, aardappel en koolzaad in het bouwplan zijn opgenomen. Het saldo is berekend aan de hand van opbrengsten die te verwachten zijn in een subsidieloze economie. Het gaat hier wel om opbrengsten voor de boer. Gebruikte getallen zijn voor vloeibare brandstof, ethanol en biodiesel (€8/GJ), stroom (€6/GJ), warmte (€3/GJ), eiwit (€250/ton), N-chemicaliën (€400/ton) en C-chemicaliën zoals glycerol (€75/ton). Dankzij de MEP subsidie krijgen eigenaars van vergistingsinstallaties op dit moment nog ongeveer €0.125/kWh. In de berekening van Tabel 4 wordt er vanuit gegaan dat deze subsidie zal worden afgebouwd en wordt uitgegaan van een kWh-opbrengst van €0.022 (€6/GJ). De opbrengst voor eiwitten en N-chemicaliën is moeilijk te voorspellen. De gehanteerde opbrengsten gelden voor de opbrengsten op het niveau van de boer, en zijn daardoor aanmerkelijk lager gekozen dan de huidige kostprijzen: voor hoogwaardig plantaardig eiwit €400/ton, voor lysine 1200/ton. Warmte heeft per GJ dezelfde waarde als 1 GJ gas (voor tuinders is de gasprijs € 0.22/m³, bij 26 m³/GJ is dat € 5.7/GJ). Omdat warmte niet altijd afgezet zal kunnen worden, wordt een prijs van € 3/GJ gehanteerd, hoewel de inkomsten voor warmte kunnen oplopen tot €5.7/GJ

Op basis van de gegevens in tabel 4 kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

1. aardappel kan niet zinvol worden ingezet als energiegewas, dat is wanneer alle zetmeel wordt gebruikt voor ethanol productie. Zowel de netto energieopbrengst als het saldo per hectare is te laag om aantrekkelijk te zijn. Het saldo kan wel worden verhoogd door het eiwitgehalte in aardappel te verhogen, omdat eiwit meer opbrengt dan zetmeel als grondstof voor ethanol productie. Het eiwitgehalte is nu ongeveer 1% van het DW, maar gezien de genetische variatie in aardappel *germplasms* is een eiwitgehalte van 4% haalbaar.
2. Suikerbiet heeft goede potentie als energiegewas. Dat komt voor een groot deel omdat de totale biomassa in pulp, loof en wortelresten veel hoger is dan voor aardappel. Voor voederbiet, een gewas dat niet in de tabel is meegerekend, is de biomassa-opbrengst nog 10-20% hoger dan voor suikerbiet. Door alle reststromen voor energiewinning te gebruiken, wordt een saldo van €602, ongeveer net zo hoog als voor tarwe op dit

¹⁰ Quick scan kansen op het gebied van Biobrandstoffen.

http://www.senternovem.nl/mmfiles/Quick%20scan%20kansen%20op%20gebied%20van%20Biobrandstoffen_tcm24-183377.pdf

¹¹ Perceptieven van energiegewassen voor agrarische bedrijven, WUR-PPO, 2004, <http://documents.plant.wur.nl/ppo/agv/energiegewassen.pdf>

moment. Biet wordt pas echt aantrekkelijk als biet wordt gebruikt voor de productie van hoogwaardige N-chemicaliën, zoals lysine, of O-chemicalien, zoals organische zuren (Tabel 3). Ophoping van lysine tot een niveau van 2% van het FW van de taproot (suiker is 17% van het FW), levert netto €360 extra op (en nog eens extra €360 bij 4% lysine). Refining van het loof tot een geconcentreerde eiwitfractie, levert nog eens €185 extra op. Dankzij een gereguleerde suikerprijs kreeg de boer de afgelopen jaren nog een goed saldo met de teelt van bieten (minimaal €42 voor A quotum). In de toekomst zal deze opbrengst met 42% dalen (als ook de voorlopige inkomenscompensatie wegvalt), waardoor het saldo zakt van gemiddeld €1400 naar €550/ha. In deze nieuwe situatie kan nog steeds een goed saldo gerealiseerd kunnen worden, maar dat zal vooral afhangen van de afzet van hoogwaardige chemicaliën, zoals aminozuren of organische zuren.

3. Koolzaad levert in 2005 een saldo dat wordt geschat op minimaal €320 en maximaal €777¹². Een saldo van €320 wordt gerealiseerd bij een zaadprijs van €230/ton (= bij 40% olie en €575/ton olie komt dat neer op €15.2/GJ olie). Dat is hoger dan de prijs voor ruwe palm of soja-olie: respectievelijk \$428/ton (€11.3/GJ) en \$529/ton (€13.9/GJ) (peildatum 1 juli 2006¹³). Bij een prijs van €8/GJ (€305/ton koolzaadolie) zoals is aangehouden in Tabel 4, is het netto saldo, ex bijproducten, negatief (-€154). Pas bij een verdubbeling van de olie-opbrengst per ha en bij verwaarding van alle reststromen, begint het saldo in de buurt te komen van wat economisch aantrekkelijk is voor een boer (€650/ha). Veel zal verder afhangen van wat, in een subsidie-loze landbouw, een reële marktprijs blijkt te zijn voor koolzaadolie. De prijs van de ruwe olie zal hier wellicht sterk in meewegen. Een reëel vertrekpunt is om aan te nemen dat de ruwe zaadolieprijs per GJ overeenkomt met de prijs van ruwe olie. Bij een ruwe olieprijs van €50/barrel ruwe olie (\$63/barrel, bij een E-inhoud van 42 GJ/ton ruwe olie is dat €350/ton) is de GJ-prijs voor ruwe olie ongeveer €8.5/GJ. Bij \$75/barrel (€59/barrel, 14 juli 2006) is dat €10.1/GJ, ongeveer €1.2 onder de GJ-prijs voor ruwe palmolie. Een iets hogere prijs voor ruwe zaadolie is gerechtvaardigd door de lagere risico's voor vervuiling, en lager kosten voor processing tot een brandstof. Bij een olie-opbrengst van 3 ton/ha en een prijs van €10/GJ wordt de teelt van koolzaad behoorlijk aantrekkelijk met een saldo van €830 (optie 4c, tabel 4)
4. Gras levert bij CH₄-vergisting, een netto energie-opbrengst van ongeveer 100 GJ/ha. Een groot voordeel van gras is dat het op relatief natte gronden groeit, die doorgaans ongeschikt zijn voor mais of granen. In NL gaat dat om krap 1 miljoen ha. Bij gelijke biomassa-opbrengst voor mais en gras en bij CH₄ fermentatie van deze gewassen is het saldo en de energie-opbrengst van gras lager dan voor mais. De reden is dat het aantal bewerkingen, (mesten, maaien) voor gras hoger is dan voor mais. Dankzij het hoge eiwitgehalte van gras, levert raffinage van gras tot eiwit en energieproducten een behoorlijke meerwaarde op. Bij 14 ton gras/ha/jaar is het hectaresaldo boven de €700. Gras is daarmee een interessant energiegewas.

5. Marktvraag

5.1. Vraag naar akkerbouwproducten voor voedsel en energie

Langzamerhand, maar zeker in 2030, zullen alle voedsel gewassen *dual purpose* worden: ze leveren voedsel en/of grondstof voor de energieproductie. In een dual purpose schema zal de behoefte aan voedsel leidend moeten blijven: eerst zal moeten worden voorzien in voldoende voedsel en de rest van het land (en vooral van het water) kan ter beschikking komt voor de energieproductie. Het biomassa-aanbod door telers wordt dan bepaald door het saldo per gewas, de noodzaak om gewasrotatie toe te passen en de agro-ecologische omstandigheden (grondsoort, waterstand, helling, mogelijkheid om te beregenen).

De marktvraag naar biomassa voor energieproductie wordt aangewakkerd door de hoge olieprijs en door wetgeving gericht op bijvoorbeeld bijmenging in brandstof en groene elektriciteit¹⁴. Als andere opties voor energieproductie, zoals solar, wind of kernenergie versneld worden doorgevoerd, door een veranderend politiek klimaat of grote technologische

¹² Quick scan kans op het gebied van biobrandstoffen, Annevelink et al. WUR rapport 619 2006.

¹³ <http://www.blonnet.com/2006/07/01/stories/2006070102010800.htm>

¹⁴ 2003/30/EC: Biofuel directive: 2% (2005) → 5.75% (2010)

2001/77/EC: Green electricity (1997) 14 → 21% (2010)

2004/8/EC: promotion co-generation heat/electricity

doorbraken, kan dat de toename in de vraag naar energie uit biomassa temperen. Maar ook dan zal de behoefte aan vloeibare brandstoffen aanzienlijk blijven.

Een nieuwe industrie zal zich richten op bioraffinage om hoogwaardige inhoudstoffen (eiwit, aminozuren, organische zuren, suikers) te winnen. In een setting waarbij landbouwproducten voor energiedoeleinden wordt geproduceerd, is het creëren van meerwaarde door winning van hoogwaardige co-producten een vrijwel dwingende noodzaak geworden om voldoende waarde in de keten van boer tot afnemer van energieproducten te creëren (tabel 4). Inzet van GM-technologie om het gehalte aan hoogwaardige inhoudsstoffen sterk te verhogen, is hierbij vrijwel onvermijdelijk.

De verwachting is dat GMO-gewassen, nu mondiaal al vele tientallen miljoenen hectaren, in 2030 in Europa geen belemmering meer zullen vormen. Wanneer toch de wens blijft bestaan dat voedselproductie voornamelijk door niet-GMO-gewassen moet plaatsvinden, zullen perspectieven voor GMO-non-food gewassen blijven. In een dergelijk scenario zal processing voor food en non-food strikt gescheiden blijven. Voor biet bijvoorbeeld kan een situatie ontstaan dat processing van bieten voor kristalsuiker in tijd of plaats gescheiden is van processing van bieten voor alcohol en N-chemicaliën. Overigens is gescheiden processing dan ook vanuit procestechnologisch perspectief gewenst. Processing van biet tot kristalsuiker is behoorlijk anders dan processing van biet tot ethanol en N-chemicaliën en zal daarom moeilijk tegelijkertijd in dezelfde installatie kunnen plaatsvinden.

Beperkingen ten aanzien van de omgeving zijn er wel om rekening mee te houden. In een scenario met landbouw alleen voor de voedselproductie kan 30-50% van het huidige areaal andere bestemmingen krijgen, zoals natuurontwikkeling en toerisme, zoals al in veel bergachtige gebieden in Europa is gebeurd. Als er veel vraag is naar grond, en nog belangrijker water, is er met de teelt van energiegewassen wel degelijk sprake van een duurzaamheidprobleem. Daarnaast kan de grote vraag naar koolstof, waardoor stro niet meer ondergeploegd maar voor energiedoeleinden wordt gebruikt, de organische stofbalans - en daarmee de productiviteit - van de bodem verstoren. Eventueel moet besloten worden om de wintergewassen (die als vanggewas van N dienen) in het voorjaar niet te vergisten, maar onder te ploegen als compensatie van de co-vergisting/raffinage/verbranding van gewasresten. Het bodemkoolstof-verschralingsprobleem kan ook goed ondervangen worden door het vergistingsdigestaat, dat voornamelijk bestaat uit slecht verteerbare C en mineralen terug te brengen naar het land. Over het algemeen is het juist de slecht verteerbare of vergistbare fractie van plantaardig materiaal die bijdraagt aan de humusopbouw van de bodem. De snel vergistbare fractie van gewasresten die op het land achterblijven, verdwijnt meestal binnen enkele maanden als CO₂ door bodemgebonden microbiële activiteit. Het is mogelijk dat als gevolg van een andere C-benutting, de microbiële flora van de bodem veranderd, maar het is niet op voorhand te zeggen of dit positief of negatief is. Het grootste probleem bij het zo volledig mogelijk benutten van het landbouwareaal is het beslag dat gelegd wordt op zoet water. Verdroging van het natuurlijk aquatisch systeem kan een bedreiging zijn.

5.2. Marktvraag naar bijproducten uit biomassa naar energie processing: platformchemicaliën

In tabel 3 worden een aantal moleculen van biologische (plantaardige of microbiële) oorsprong genoemd, die kunnen dienen als basischemicalie voor de productie van polymeren, oplosmiddelen, coatings, etc. Een mooi voorbeeld is 1,3-propaandiol dat sinds een aantal decennia op redelijke schaal via petrochemische routes geproduceerd wordt (Shell, Dupont). Binnen 2 jaar gaat 1,3 propanediol ook met microbiële fermentatie geproduceerd worden (Dupont), waarbij de verwachting is dat de microbiële route goedkoper is dan de petrochemische route. Dit voorbeeld geeft aan dat biologische productie van chemicaliën hetzij door micro-organismen of door planten grote potentie heeft.

Een aantal van de moleculen uit Tabel 3, worden al op relatief grote schaal met microbiële fermentatie geproduceerd. Wat er met deze moleculen mis is, is dat ze meestal te duur zijn om als grondstof door de chemische industrie geadopteerd te worden. Voorbeelden uit tabel 3 die op relatief grootschalige wijze geproduceerd worden, zijn ethanol, citroenzuur, glutaminezuur en lysine. Alleen citroenzuur wordt in beperkte mate gebruikt voor non-food toepassingen. Citroenzuur, glutaminezuur, threonine en lysine worden vooral gebruikt in food en feed. Lysine bijvoorbeeld is een additief in diervoeders. Het marktvolume in 2004 was

400.000 en de kostprijs ongeveer €1.20-1.50/kg. Deze afzetmarkt zal, door een sterke stijging van de vleesproductie in Azië, de komende 5 jaar met 40% zal stijgen.

Naast het bestaande gebruik in feed, kan lysine dienen als precursor voor caprolactam, één van de bouwstenen van Nylon-6, dat een productievolume heeft van enkele miljoenen tonnen/jaar. Om toegang tot deze markt te krijgen, moeten onderdelen van de route van lysine naar caprolactam nog worden uitgewerkt (wordt aan gewerkt door DSM & TUD) en zal de prijs van lysine moeten zakken naar circa 700 €/ton. Dit prijsperspectief geldt over het algemeen voor biologische moleculen. Gebruik in de chemie wordt verhinderd door een te hoge kostprijs. Een uitzondering hierop is itaconzuur, dat als co-monomer in exclusieve polymeren wordt gebruikt. De productieprijs is US\$2.5-4/kg en het mondiale productievolume is 15.000 ton. Echter, bij een veel lagere kostprijs kan de vraag waarschijnlijk snel kan toenemen en kan zelfs leiden tot een nieuwe generatie polymeren op basis van alleen itaconzuur.

De meeste platformchemicaliën uit tabel 3, kunnen worden geproduceerd door microbiële fermentatie. Grondstof voor industriële fermentatie is vrijwel altijd suiker dat wordt gewonnen uit planten. Diezelfde plant, die dient als bron van suiker, is aantoonbaar in staat om een aantal van de PC uit tabel 3 te maken. Als planten een aantal van de stoffen genoemd in tabel 3 tot een winbare concentratie kunnen ophopen, die vervolgens op relatief eenvoudige wijze geëxtraheerd en gezuiverd kunnen worden, kunnen de productiekosten behoorlijk omlaag, omdat de energie- en kostenintensieve industriële fermentatie hiermee voor een deel overbodig kan worden.

5.2. Marktvraag naar bijproducten uit biomassa naar energie processing: eiwitten

Bij gelijkblijvend patroon van voedsel(=vlees)consumptie zal er een grote behoefte blijven bestaan aan veevoerders. Er zijn geen indicaties dat in de periode tot 2030 deze behoefte zal veranderen. Een groot deel van de ruwe veevoerders wordt nu geïmporteerd.

De teelt van energiegewassen in NL en de EU met name voor bioethanol en PPO zou kunnen leiden tot een enorme toename van nevenproducten die potentieel in veevoeder kunnen worden ingezet. Gezien het grote aanbod zou dit kunnen leiden tot verlaging van veevoerdersprijzen, en zal er ook minder import nodig zijn. De kwaliteit van deze laagwaardige veevoerders wordt nu verhoogd door het toevoegen van o.a. essentiële aminozuren om optimale voederefficiëntie te bereiken. Op dit moment worden deze aminozuren vrijwel allemaal via fermentatie geproduceerd worden.

Import van ruw veevoer heeft in NL geleid tot het z.g. mestoverschot en de mineralenproblematiek. Grootschalige import van ruwe en onbewerkte energiegewassen leidt potentieel tot een probleem van minstens dezelfde omvang.

Echter, wanneer de voederkwaliteit van restproducten verhoogd kan worden, kan de teelt van energiegewassen tevens de behoefte aan biomassa import t.b.v. de veevoedersector verlagen. Hiervoor zijn twee opties:

1. Door verbetering van de kwaliteit van plantaardig uitgangsmateriaal, waardoor reststromen een hoger gehalte aan essentiële aminozuren en een lager gehalte aan sommige mineralen gaat krijgen
2. Door goede scheidingstechnologie wordt het mogelijk om de voor dieren slecht verteerbare vezelfractie (lignocellulose) en de goed verteerbare eiwitfractie te scheiden. Hierdoor is het mogelijk om, met dezelfde biomassa, meerdere markten tegelijkertijd te voorzien, en meer toegevoegde waarde met deze bijproducten te creëren. De eiwitfractie kan worden gebruikt als hoogwaardig diervoer of visvoer, de vezelfractie voor energiedragers of chemiegrondstoffen.

6. Technisch potentieel en vernieuwing

Het doel van dit rapport was vast te stellen of energieproductie met akkerbouwgewassen haalbaar is, dat is: hoeveel netto energie per gewas kan worden geproduceerd, onder welke voorwaarden productie van energieproducten een economisch zinvolle activiteit is en wat de eventuele implicaties voor samenleving en omgeving zijn. De voorlopige conclusie is dat een

ha akkerbouwland een maximum van netto 160 GJ/ha kan opleveren, maar dat er wel een aantal ontwikkelstappen genomen moeten worden om dit E-opbrengst niveau te halen, en tegelijk ook voldoende economisch rendement te genereren. De volgende technologische vernieuwingen zijn nodig en binnen een periode van 8-15 jaar.

1. **Co-productie met suiker of zetmeel van hoogwaardige platformchemicaliën in suikerbiet of zetmeelaardappel.** Recent werk aan aardappel heeft aangetoond dat het opheffen van een aantal beperkingen in de syntheseroute naar lysine, het lysinegehalte in de zetmeelaardappel met een factor 15 verhoogd kon worden tot 0.5% van het versgewicht. Door toepassing van een aantal aanvullende strategieën, kan dit gehalte nog verder worden verhoogd tot 2-4% van het versgewicht. Nog meer dan aardappel is suikerbiet een gewas dat uitermate geschikt is voor co-productie van zowel energieproducten (suiker voor ethanol) als hoogwaardige bouwstenen voor chemicaliën (waarvan een aantal is genoemd als platformchemicalie in tabel 3). Dit heeft te maken met het gegeven dat het opslagmetabolisme van biet is aangepast aan de accumulatie van een hoge concentratie aan oplosbare stoffen.
2. **Verdubbelde olie-opbrengst in koolzaad.** Op basis van de volgende redenering is het redelijk te veronderstellen dat de olie-opbrengst per hectare aanzienlijk omhoog kan. Er is een bijvoorbeeld opvallend verschil tussen de energie-opbrengst biet en koolzaad. Biet levert gemiddeld 10 ton suiker/ha met een energie-inhoud van $10 \times 17 = 170$ GJ. Koolzaad levert 1200 kg olie met een energie-inhoud van $1.2 \times 38 = 46$ GJ. Een deel van dit verschil heeft wellicht te maken met het feit dat de vulling van zaden (zoals in koolzaad) zich over een veel kortere periode uitstrekt dan de vulling van de bietwortel. Toch kan dit het verschil in opbrengst maar gedeeltelijk verklaren. Tarwe haalt bijvoorbeeld een opbrengst van 8.8 ton zaad. Weliswaar is tarwe een zetmeelgewas, maar rekening houdend met verschil aan energie-inhoud tussen tarwezetmeel en koolzaadolie (biosynthese van 1 ton olie kost 2.3 ton zetmeel) moet een zaadgewas in principe 3 ton olie kunnen opbrengen. Er zijn een aantal concepten, waarvan een gecombineerde introductie in koolzaad de opbrengst aanzienlijk moeten kunnen verhogen:
 - a. betere zaadvastheid. Gemiddeld verliest koolzaad 500 kg zaad per jaar (1/7 van de totale opbrengst), door het voortijdig openspringen van de peulen. Een aantal genen voor zaadvastheid zijn bekend.
 - b. Hogere zaad/stro verhouding. Er zijn mutanten bekend met een kleiner aandeel aan blad en een groter aantal zaden.
 - c. Groene bloemen voor een betere assimilatenvoorziening van het zaad. Donkere bloemen verlagen ook de reflectie van zonlicht, waardoor invallende zonne-energie beter benut wordt.
 - d. Introductie van een mechanisme voor tijdelijke vorm van opslag voor assimilaten (= zonne-energie) in het loof/stengels, bijvoorbeeld zoals dat in tarwe gebeurt. In tarwe worden tijdens voorafgaande aan de zaadzetting, fructanen (een soort zetmeel, maar dan bestaande uit fructose-eenheden) in de stengel en bladbasis opgeslagen, die tijdens de zaadvorming worden gemobiliseerd en gebruikt voor de vulling van het zaad.
3. **Grassen als energiegewas.** Grassen (voorbeelden zijn riet, *Miscanthus*, switchgrass maar ook mais en de granen behoren tot grassen) combineren vaak lage teeltkosten met hoge hectare-opbrengsten. De vraag naar goedkope biomassa, hetzij voor directe verbranding in elektriciteitscentrales, voor conversie in alcohol of voor vergassing, zal in de toekomst vermoedelijk sterk toenemen. Beschikbaarheid van land en goed water zullen beperkende factoren zijn in het aanbod van biomassa. Het voordeel van een aantal grassen is dat zij in staat een goede biomassa-opbrengst te geven op gronden die nauwelijks geschikt zijn of gebruikt worden voor bestaande voedingsgewassen. Het gaat om gronden die te nat, te droog of te zout zijn. Het is een uitdaging om grassen te ontwikkelen die een goede opbrengst op marginale gronden geven, maar ook een hoge kwaliteit biomassa geven voor een van de biomassa-naar-energie-opties. Eigenschappen die van belang zijn voor één of meerdere gebruiksopties zijn:
 - a. Belangrijk voor verbranding of vergassing zijn een laag gehalte aan N, K, Na, Si, Mg en Ca
 - b. Belangrijk voor ethanolproductie zijn een goede ontsluitbaarheid en een hoog gehalte aan cellulose en hemicellulose, en een laag gehalte aan lignine

4. **Scheidingstechnologie.** Mogelijkheden voor creëren van voldoende meerwaarde in de energieketen zijn voornamelijk gelegen in de verwaarding van bijproducten, zoals eiwitten en platformchemicalien. Hoe hoger de zuiverheid, hoe hoger de waarde. Eiwitten kunnen secundair worden gehydrolyseerd naar aminozuren, die na scheiding in individuele aminozuren weer kunnen dienen als platformchemicalie. Essentieel in al deze processtappen is vernieuwing in extractie en scheidingstechnologie.
5. **Duurzaamheidsanalyse** van bestaande en toekomstige **biobased ketens**. Productie van biomassa voor bijvoorbeeld energie, in volume de grootste afzetmarkt binnen de biobased economy, kost een behoorlijke hoeveelheid land en water en zal concurreren met andere en bestaande gebruiksopties voor land en water, zoals voedselproductie, wonen of natuur. Vaststellen welke gebruiksopties in een gegeven omgeving mogelijk, rendabel of gewenst zijn, is een complex proces, mede doordat verschillende stakeholders verschillende belangen hebben. Biomassaketens kunnen politiek gewenst of zelfs economisch haalbaar zijn, maar desondanks schade aan de omgeving of de samenleving aanbrengen. Niet alleen bij het kiezen van veelbelovende biomassaketens, maar ook bij de inrichting of landgebruik van een bepaald gebied, en zelfs bij het scouten naar welke onderzoeksgebieden rond biomassaketens perspectief hebben, is een integrale analyse van de potentiële biobased ketens en de diverse duurzaamheidsaspecten noodzakelijk. Typisch akkerbouwgebonden aspecten die hierin meespelen, zijn water- en mineralengebruik, emissie van broeikasgassen, inclusief methaan en NO_x, en energiegebruik in teelt en processing. Geïntegreerde analyses van het land- en watergebruik voor biomassagewassen met behulp van generieke kwantitatieve systeembenaderingen kunnen helderheid verschaffen welke opties op regionaal of lokaal niveau zinvol en haalbaar zijn. Vragen die hierbij aan de orde komen zijn: welk biomassavolume is binnen welke radius haalbaar, onder welke randvoorwaarden heeft biomassaproductie economisch perspectief, hoe concurreert biomassaproductie met voedselproductie, welke gevolgen heeft het voor het milieu, hoe past de energieproductie in de sociale en economische context van een gebied, en welke andere gebruiksopties zijn mogelijk. Ook bieden deze kwantitatieve modellen de mogelijkheid om verschillende biomassa productiesystemen onderling te vergelijken op economische, milieu-, energie en andere relevante doelstellingen. In zijn diverse varianten kunnen dergelijke modellen worden gebruikt door beleidsmakers, investeerders, producenten en afnemers om hun keuzes voor gebiedsinrichting, investeringen of productie-opties te onderbouwen. Boeren kunnen de inpasbaarheid van energieproductie met akkerbouwgewassen in hun bedrijfsvoering analyseren, en de voor hem meest zinvolle optie kiezen. Partijen die vanwege hun aanvullende kennis een rol hierin kunnen spelen zijn WUR, ECN en Copernicus Instituut).

7. Internationale context

7.1. Rol van NL op energiegebied

Nederland heeft mondiaal regie in een aantal agrarische sectoren, zoals bloemen en uitgangsmateriaal (zaden en pootgoed). Het is een behoorlijke uitdaging voor de agrosector om ook op energiegebied een regiefunctie te verwerven. Regie is een sommatie van een aantal sterktes. Hieronder worden een aantal elementen genoemd die kunnen helpen om regie te krijgen op het gebied van productie, import en verwerking van biomassa:

1. **Infrastructuur en afzetmarkt.** Dit is ontegenzeggelijk een bestaande sterkte van NL. Het bezit van Haven Rotterdam, een goed netwerk van spoor- en waterwegen en een achterland van 50 miljoen consumenten geven NL een competitief voordeel bij import, overslag en doorvoer van bulk- en fijngoederen. Ook op het gebied van agrobusiness en logistiek (bloemen, groenten, bollen, poot aardappelen) en processing (koffie, cacao) heeft NL een vooraanstaande positie in de wereld. Een aspect van logistiek is ook het organiseren van optimale distributie van lokaal geproduceerde en geïmporteerde biomassa. Zoals eerder is vermeld, kan energieproductie uit beschikbare biomassa worden gemaximaliseerd door optimale regie van biomassaproductie en opslag gedurende de tijd van het jaar, en optimale verdeling van de beschikbare grondstofstromen, inclusief reststromen, over de verschillende lokale of internationale energiecentrales. Het is uiteraard mogelijk om dit volledig aan de markt over te laten,

maar gezamenlijk en gecoördineerd beheer leidt zeer waarschijnlijk tot lagere energetische en economische verliezen. Vragen die beantwoording behoeven, zijn: hoe en door wie distributie van lokale en geïmporteerde biomassa beheerd moet worden en welke instrumenten daarvoor het beste gebruikt kunnen worden.

2. Slimme teeltsystemen voor tropische en gematigde gewassen.
 - a. De hoeveelheid ingestraalde zonne-energie is, naast water en nutriënten de belangrijkste determinant voor biomassa- opbrengst aan biomassa. Tropische gebieden scoren hoog als het gaat om lichthoeveelheid. Mondiaal tropisch zijn twee agro-ecologische systemen van belang: regenrijke tropische gebieden, waar (palm)olie en (riet)suiker geteeld wordt, en regenarme tropische gebieden. Tientallen miljoenen hectaren land in de regenarme gebieden zouden benut kunnen worden door gewassen die droge perioden goed kunnen doorstaan. Randvoorwaarde is dat ze in staat zijn productie van oliezaden, timmerhout of waardevolle inhoudsstoffen, die in bulk gebruikt kunnen worden (suiker, zetmeel, harsen, terpenen, aminozuren en organische zuren) of dat ze homogene en makkelijk ontsluitbare en mineraalarme biomassa leveren voor vergassing, ethanol productie, verbranding of vergisting. Voorbeelden van gewassen die een dergelijke rol kunnen hebben zijn *Jatropha* (zaadolie voor biodiesel), *Euphorbia* (zaadolie voor biodiesel, epoxyvetzuren en terpenen voor basischemicaliën, rubber), tropische grassen (lignocellulose biomassa), etc. Kennis over teelteigenschappen en inpasbaarheid in gangbare teeltsystemen is echter zeer marginaal.
 - b. De productie van biomassa in het gematigde Nederland kan alleen maar in internationale context worden gezien. Agro-ecologisch en sociaal-economisch vormen delen van Engeland, heel België, een deel van Noord-Frankrijk en een groot deel van het westen van Duitsland één regio. Gemeenschappelijke kenmerken zijn de hoge regenval die berekening op laag salderende gewassen onnodig maakt, veel vlak land en een hoge bevolkingsconcentratie waardoor verschillende functies van het land gevergd worden (hoogwaardig voedsel, natuur, toerisme, stedenbouw) waardoor de grondprijzen hoog zijn. Dat zou op het eerste gezicht pleiten tegen gebruik van landbouwgronden voor biobased economy. Echter, de gronden liggen er en de markt voor hoogsalderende gewassen (aardappel, groenten, uitgangsmateriaal, tuinbouw) is al voorzien. Gezien in het perspectief van een afnemende bevolking en nog stijgende opbrengsten voor voedselproductie, komt er zelfs land vrij voor productie van energie of chemiegrondstoffen. De op dit moment bestaande teeltsystemen voor suiker, olie en zetmeel kunnen energetisch aanmerkelijk verbeterd worden door ook zonnestraling te vangen in het voorjaar en herfst, bijvoorbeeld door incorporatie van een wintergewas. Een wintergewas, zoals wintertarwe, energieboerenkool zou rond 12 mei geoogst kunnen worden (natte stroom) waarna het land beschikbaar komt voor de zomergewassen. Verder kunnen nieuwe meerjarige teelten worden geïntroduceerd zoals wilg of *Miscanthus*. Fabrieken energie uit op teeltconcepten. Nederland kan ook regie krijgen en inkomsten genereren met het scenariogewijs doorrekenen van situaties op teelt-, bedrijf- en regioniveau van de efficiënties van de ingezette hulpbronnen, met name land, water, energie en nutriënten.

Regie op dit vlak heeft dus te maken met kennis van optimale teeltsystemen voor tropische of gematigde gewassen, op het niveau van perceel, bedrijf en regio. Niet alleen uitgangsmateriaal (zie 3) maar ook teeltwijze hebben grote invloed op de samenstelling van biomassa en daarmee de kwaliteit.
3. Een krachtig middel om regie over de keten te houden is het hebben van eigendom, via kwekersrecht, op plantaardig uitgangsmateriaal met een hoge productie per hectare (bijvoorbeeld koolzaad met verdubbelde olieproductie, *Jathropha* met juiste teelteigenschappen), een goede biomassa-ontsluiting (*Miscanthus* of mais met een laag lignine, N, K en silicaatgehalte), hoog gehalte aan hoogwaardige inhoudsstoffen (biet met een bijvoorbeeld een hoog lactaat of lysinegehalte, aardappel met hoog eiwitgehalte), goede teelteigenschappen (zaadvermeerderde en mineraalarme *Miscanthus*), of patenten op genen die relevant zijn voor belangrijke planteigenschappen (zaadvastheid, droogteresistentie, overproductie van hoogwaardige inhoudsstoffen, ontsluitbaarheid, extractability)

4. Over het algemeen wordt de meeste toegevoegde waarde gerealiseerd aan het eind van de keten. Processingtechnologie die het mogelijk maakt om meerwaarde creëren met relatief laagwaardige, maar meestal energierijke reststromen, hangt voor een groot deel samen met het vermogen om hoofdcomponenten of efficiënte wijze te ontsluiten en scheiden, en waardevolle inhoudsstoffen (uit uniek uitgangsmateriaal, zie 3) kosteneffectief te isoleren, concentreren, zuiveren en vermarkten. Kosteneffectieve processen heeft naast het hebben van de juiste technologie ook te maken met de beschikking over biomassagrondstoffen met de juiste kwaliteit (bijvoorbeeld een laag gehalte aan storende stoffen, zoals K, Si, Na, Mg, Ca), makkelijk ontsluitbare lignocellulose, etc.
5. Regie heeft ook te maken met de juiste keuzes. Keuzes voor of de éne of de andere biomassa-naar energie-scenario lijken voor een deel gebaseerd op economische haalbaarheid op korte termijn. Investerings in bioethanol-, biodiesel- en biogasinstallaties worden (juist, soms, wellicht) gedaan op basis van het huidige subsidiebeleid (MEP, accijnsvrijstelling) of huidige regelegeving (biofuels directive), terwijl dit nadrukkelijk stimuleringsmaatregelen zijn die met redelijke zekerheid in de toekomst zullen verdwijnen. Verder is niet kristalhelder of de ingeslagen wegen leiden tot de vermindering van het probleem, waarop dit beleid was ingezet (vermindering van CO₂-uitstoot). Het is nodig om bij (onderzoeks)investerings in (nieuwe) biomassa-naar energie-scenarios te anticiperen op wijzigingen in nationaal of Europees beleid en internationale afspraken (WTO). Niet alleen economische, maar ook ecologische (water, nutriënten, CO₂, NO_x) en sociale parameters (competing claims) moet hierin meegenomen worden, mede omdat op termijn deze parameters gaan meewegen in nieuwe wetgeving, en dus ook in economische haalbaarheid. Het hebben van de instrumenten die helpen in het maken van deze complexe afweging, helpt ook om de juiste ontwikkelrichtingen, beleidsafwegingen en investeringen te doen en daarmee regie te krijgen.

8. Draagvlak

De huidige publieke perceptie van het transitiepad is nog goed. De urgentie is duidelijk en de elegantie van het concept om het gebruik van fossiele energie (fossiel licht) te verminderen, en efficiënter gebruik te maken van hedendaagse hernieuwbare zonne-energie spreekt velen aan.

Echter, als straks zou blijken dat er miljoenen hectaren land gebruikt worden voor monocultuurteelten, die bovendien water aan natuurgebieden onttrekken; als het spanningsveld tussen akkerbouw voor food of energieproductie niet goed aan de samenleving wordt uitgelegd, kan het draagvlak verdampen. De *competing claims* op het land voor wonen, eten, natuur en toerisme kunnen er misschien in de publieke perceptie niet nog een claim bij krijgen. Deze ontwikkelingen voorzien, eerlijk doorrekenen, helder maken naar de samenleving, met stakeholders continu naar oplossingen en draagvlak zoeken, zal daarom onderdeel van het transitieproces moeten zijn.

Om de akkerbouw een bijdrage toe kunnen laten leveren aan de productie van energie, moet de netto-energie-opbrengst in ieder geval positief zijn, en moet de teelt minimaal een saldo van € 600/ha opleveren. Dat is een haalbare opgave, maar introductie van genetische gemodificeerde gewassen is daarbij vrijwel onvermijdelijk. Op dit moment is de acceptatie van GMO in Europa gering, hoewel dit zich niet op alle niveaus afspeelt. Er is een geringe acceptatie voor genetisch gemodificeerd voedsel, omdat de consument weinig meerwaarde voor zichzelf ziet. De consument vermoedt verder dat het belang blijkbaar exclusief bij de producent ligt, wiens motieven toch al marginaal vertrouwd worden.

Medische biotechnologie is wel breed geaccepteerd, omdat de voordelen begrepen en ervaren worden, en de medische wereld nog steeds een zekere mate van vertrouwen geniet. GMO-gewassen die bijdragen aan de leveringszekerheid en betaalbaarheid van energie krijgen wellicht de acceptatie die ligt op het niveau tussen dat van GMO voedsel en GMO medicijnen. Verder is zichtbaar dat de acceptatie van GMO-voedsel voorzichtig toeneemt. Het is niet onwaarschijnlijk dat de acceptatie van GM-energiegewassen dezelfde cadans volgt als acceptatie van kernenergie. Naarmate een hoge energieprijzen en de dreiging van een nog hogere prijs steeds indringender gevoeld wordt, neemt ook de acceptatie toe van technologie die deze problemen kan verzachten, ondanks dat de perceptie van risico aanwezig blijft.

9. Rol van de overheid

De belangrijkste rol van de overheid is het stimuleren van innovaties die nodig zijn om de transitie te realiseren en om de sociale kosten van de transitie mede te financieren. Onderzoek op het terrein van de primaire productie van biomassa zal nodig zijn op het terrein van de genetika (regulier en GMO) om grotere waarde aan energiegewassen te geven en om ze aan te passen aan veeleisende groeiomstandigheden. Verder zijn scenariostudies op teelt-, bedrijf- en regioniveau's nodig om de benutting van hulpbronnen (water, mineralen, energie) te optimaliseren en de effecten op maatschappij en omgeving te verkennen.

Overige overheidsbemoeienis zal betrekking kunnen hebben op GMO-toelatingen voor de non-food. Ook de subsidiëring (of accijnsbeleid) van biomassa-energie kan bespoedigend of verstorend werken. Het slagen van het transitiepad is uiteindelijk niet alleen afhankelijk van het ingrijpen van de overheid, maar zal ook door marktwerking tot stand komen. In de berekening van de verschillende biomassa-naar-energie-opties (tabellen 1,2,4) is met de marktwerking ook rekening gehouden. De conclusie is dat volledig marktgedreven bio-energie productie haalbaar is, maar dat daar een aantal ontwikkeltrajecten voor nodig zijn (H6 en H10). Door gericht in te grijpen kunnen processen gericht gestuurd worden in ruimte en tijd en zal de socio-economische winst en regie in sterkere mate in Nederlandse handen kunnen komen. Nederland is een agrarische grootmacht en kan dat blijven als de overheid eenzelfde belangstelling en inspanning blijft tonen.

10. Discussie, conclusies en aanbevelingen

Het vormgeven van een economie die haar energie en chemiegrondstoffen voor een deel uit biomassa haalt, is een ingewikkeld en onzeker traject. Eén van de heersende en nog steeds aantrekkelijke gedachten is dat reststromen uit akkerbouw, bosbouw en voedselprocessingindustrie een deel van onze bio-energie kunnen leveren. Uit diverse studies wordt echter ook helder dat ook de akkerbouw een aanzienlijk deel van de energie- en chemiegrondstoffenvoorziening voor haar rekening kan nemen en dat dit een gunstig effect heeft op de rurale economie¹⁵.

De uitdaging is om biomassa-naar-energie ketens zodanig in te richten dat maximale winst wordt behaald voor de samenleving en omgeving, maar dat ze ook voldoende economisch perspectief geven voor ondernemers en bedrijven die een rol hebben bij de teelt, verwerking en vermarkting van biomassa.

De bestaande agrosector heeft een goede uitgangspositie om de regie voor de verwaarding van biomassa naar energie- en chemiegrondstoffen voor haar rekening te nemen. Daarvoor zijn een aantal argumenten.

1. De landbouwsector, van boeren/tuinders tot agroprocessing, beheert al een groot deel van lokale biomassastromen in NL, en een niet onaanzienlijk deel van internationale biomassa-reststromen. De boer zit over het algemeen dicht bij de bron van biomassa en beschikt over biomassa die nu nog niet nuttig gebruikt (bijv. gewasresten). De Agro-processing-industrie, die in NL sterk vertegenwoordigd is, beschikt over een ander deel van de verhandelde biomassa (bijv. zaadschroten, aardappel en bietenpulp) en kan ook beschikken over meer hoogwaardige technologie om meer toegevoegde waarde met biomassa te creëren. Beide partijen kunnen een verschillende maar aanvullende rol hebben in de verwerking van biomassareststromen tot energie of chemieproducten.
 - a) Boeren kunnen een prominente rol hebben in energie-opwekking uit hun eigen (natte) reststromen, maar ook uit lokaal geproduceerde reststromen, zoals GFT, bermgras, tuinafval, etc. Boeren kunnen dus een rol spelen in het beheer van lokaal geproduceerde biomassa. Door oogst en afname van biomassa levert de boer een dienst aan zijn omgeving, de geoogste biomassa maakt het hem mogelijk om zijn eigen bedrijfsvoering beter te laten renderen, en tenslotte levert hij allerlei producten terug aan de nabije omgeving (stroom, biogas, warmte, CO₂, mest, potgrond).
 - b) Agribusiness-bedrijven beschikken over een ander deel van de lokaal geproduceerde biomassa (suikerbieten, aardappelen, tarwezaad, koolzaad) en vaak ook over

¹⁵ Biofuels in the European Union. A vision for 2030 and beyond. Final draft 14/03/2006.
http://ec.europa.eu/research/energy/pdf/draft_vision_report_en.pdf

- geïmporteerde biomassa (tarwegries, cacaobonen, oliezaden, sojaschroot, etc.). Hoofd- en reststromen van de Agribusiness-sector zijn relatief omvangrijk en zijn tamelijk constant van samenstelling. Deze biomassastromen zijn daarom ook zeer geschikt voor verwerking tot producten met een zo hoog mogelijk toegevoegde waarde. Op dit moment ligt deze toegevoegde waarde vooral in de food en feed, in de nabije toekomst zullen hier twee sectoren bijkomen: energie en chemie.
2. De klanten voor agroprocessing zijn vanouds de voedings- en voederindustrie. In een Biobased Economy is dat niet anders, er komen alleen twee klantengroepen bij: energiebedrijven en chemie. Het zijn juist de bedrijven met een sterke basis in het agro-complex, die nu een groot deel van de ethanol en biodieselproductie voor hun rekening nemen. Verder is opvallend dat het juist de bedrijven die zowel actief zijn in zowel de petro/agrochemie als de landbouw, op dit moment vorm weten te geven aan het verbinden van landbouw en chemie. Voorbeelden hiervan zijn de bedrijven Dupont, Dow-Cargill en BASF die biobased grondstoffen (suiker of zetmeel) kunnen omzetten in chemiegrondstoffen met een zo hoog mogelijk toegevoegde waarde. Voorbeelden van chemiegrondstoffen zijn melkzuur (*Lactobacillus*) en 1,3-propanediol (*E. coli*). De technologie die landbouw en chemie verbindt, is de witte biotechnologie. De uitdaging voor de toekomst is om een aantal van deze chemiegrondstoffen rechtstreeks in planten te produceren, wat kostenbesparing en energiewinst in de hele keten van 'plant tot plastic' oplevert, maar vooral voldoende meerwaarde voor de agrosector oplevert, waardoor zij tevens een substantiële rol kan hebben in het produceren van goedkope grondstoffen voor energie.
 3. Zoals in dit stuk is vastgesteld, moet voor het behalen van het maximale E-rendement uit biomassa, oplossingen gevonden worden voor het nuttig gebruik van restwarmte (bijv. restwarmte uit methaanvergisting, gebruiken voor distillatie van ethanol). Daarbij is een jaarronde leveringszekerheid van biomassa vereist om bio-energie producerende centrales economisch te kunnen laten renderen. Lokale en internationale regie is hierbij een sleutel. Een mogelijkheid is inrichting van een netwerk van bioenergiecentrales, die zowel fysiek als virtueel aan elkaar gekoppeld kunnen worden. Dat zal weer het beste gaan in een vitale agrosetting, die is opgebouwd uit een fijnmazig netwerk van gezonde, lokaal operende boerenbedrijven en een grofmazig netwerk van regionaal en internationaal opererende agro-processing bedrijven. Fijnmazigheid is een absolute voorwaarde, omdat het volslagen zinloos is om natte biomassa, warmte en mineralen over grote afstanden te verslepen of transporteren. Agroprocessingbedrijven zullen vooral goed opereren met een achterland van boerenbedrijven die biomassa toeleveren, maar ook weer een deel van de reststromen terugnemen (nu voor feed en in de toekomst voor energieopwekking). In NL is afzet van hoofd- en bijproducten op dit moment goed georganiseerd, dankzij de intensieve veehouderij, in de toekomst zal dat niet anders moeten; het verschil is alleen dat het aanbod aan grondstoffen veranderd (bijv. meer eiwitrijke koolzaadschroot ipv sojaschroot) en dat het palet klanten is uitgebreid met afnemers voor energie en chemiegrondstoffen.

Een eerste conclusie is dat de agrosector de potentie heeft om een deel van de hoofd- en reststromen uit de landbouw te verwaarden tot energie en chemieproducten, naast de gangbare verwerking tot *food* en *feed*. Een vitale en gezonde agroketen en goed salderende akkerbouwbedrijven zijn hierbij noodzakelijk.

Echter, in Europa zijn boerenbedrijven nog in sterke mate afhankelijk van Europese steun. Deze ondersteuning zal in de toekomst geleidelijk minder worden (zie o.a de EU sugar reform)¹⁶, waardoor meerwaarde van akkerbouwgewassen en producten op een andere manier gerealiseerd moet worden. Ook is vastgesteld dat, hoewel de akkerbouw een rol kan hebben in de productie van energieproducten, deze afzetmarkt vooralsnog een zeer beperkt of zelfs onvoldoende saldo voor de boer oplevert.

In dit stuk is daarom uitgewerkt hoe de akkerbouw zou kunnen bijdragen aan de productie van energie en chemiegrondstoffen en daarbij tegelijk voldoende inkomen genereert. Daarbij is vooral gelet op de energetische en economische haalbaarheid. Er is gelet op energetische

¹⁶<http://europa.eu/rapid/pressReleasesAction.do?reference=IP/06/194&format=HTML&aged=0&language=EN&guiLanguage=en>

haalbaarheid, omdat niet alle biomassa-naar-energie-opties voldoende energetisch rendement hebben. Voldoende rendement is hier gedefinieerd als een netto energie-opbrengst van op zijn minst 100 GJ/jaar, maar bij voorkeur naderend naar 200 GJ/jaar. Er is gelet op het economisch rendement, omdat zonder een goed saldo per ha, de akkerbouw ten eerste geen bijdrage kan leveren aan de productie van biomassa voor energieproducten, en ten tweede dat ook de verwerking van bestaande biomassa-reststromen niet op een goede manier georganiseerd kan worden.

De conclusie is dat de NL agrosector (de lokale primaire sector + de lokale & internationaal opererende agroprocessing) een rol kan en moet hebben in energieproductie. Voorwaarde is wel dat het productiepeil van oliegewassen omhoog moet en dat in suiker- en zetmeelgewassen extra waarde geleverd moet worden door de extra productie en isolatie van hoogwaardige inhoudsstoffen. Alleen dan is er voldoende economische duurzaamheid voor de primaire sector. Wanneer niet voldoende saldo wordt gegenereerd in de primaire sector, heeft deze sector geen rol in bio-energieproductie en wordt de te verwachten vraag aan bio-energie onvoldoende gedekt. Een tweede nadeel is dat er dan ook geen basis is inrichting van fijnmazige agro-infrastructuur voor de kleinschalige omzetting van natte biomassa in energieproducten.

Het concept om de NL bioenergie-behoefte te dekken door import van relatief goedkope biomassa-grondstoffen import (houtresten, palmolie, rietsuiker) is een gedeeltelijke oplossing, omdat lage kostprijs soms een reflectie is van onduurzame productiemethoden (ontbossing, fossiel watergebruik, slechte arbeidsvoorwaarden) en dat de huidige exporterende landen onderhevig zijn aan dezelfde *drivers* als NL (verlaging CO₂-emissie, behoefte aan onafhankelijkheid van energie-importen) en daardoor eveneens zullen zoeken naar mogelijkheden om hun lokaal geproduceerde biomassa om te zetten in energiedragers.

Ook de hoop dat de 2de generatie brandstoffen (ethanol of FT diesel uit lignocellulose) aanmerkelijk kosteneffectiever zal zijn dan de 1ste generatie (ethanol uit suiker en biodiesel uit zaadolie) is beperkt reëel. In de kostenberekening van Tabellen 1, 2 en 4 is er uitgegaan van een biomassaprijs van bijv €16 ton bieten (zie noot 9 bij Tabel 2), hetgeen overeenkomt met ongeveer €100 voor 1000 kg makkelijk fermenteerbare suiker en nog eens 400 kg minder goed fermenteerbare pulp (lignocellulose). Het is onzeker of lignocellulose uit allerlei bronnen een goedkopere bron van suiker zal worden. Voor hout uit lokaal landschapbeheer wordt bijvoorbeeld een prijs van €24-28/ton aangehouden (60% droge stof), exclusief kosten voor transport (€10-15/ton)¹⁷. Bij een gemiddelde prijs van €25/ton biomassa met een watergehalte van 40% en €15 voor transportkosten, komt de lignocellulosebiomassaprijs aan de poort van de fabriek op €57/ton droge stof. Verder moet nog gecorrigeerd worden voor het verschil in fermentatie-efficiency tussen suiker en lignocellulose (noot 12 bij tabel 1)¹⁸. Na correctie komt de prijs voor suiker uit lignocellulose op €133, 30% duurder dan de suikerprijs in het scenario van Tabel 4. Pas wanneer in de toekomst een efficiency van 90% wordt gehaald voor zowel de ontsluiting van de (hemi)cellulose als voor de fermentatie van de vrijgemaakte C6 en C5 suikers naar ethanol, komt de prijs van lignocellulosesuikers onder de 100 €/ton, in dit voorbeeld: €86/ton¹⁹. De gangbare landbouw staat daarmee nog steeds niet buitenspel. Afgelopen jaar heeft het Duitse Nordzucker met boeren langjarige contracten gesloten voor het aanleveren van bieten voor de nieuwe ethanolfabriek. De contractprijs is €24.2/ton verse biet²⁰, bij een droge stof gehalte van 26%²¹ komt dat op €93/ton, waarvan het grootste deel uit makkelijk fermenteerbare suikers bestaat en waarvan de pulp vermoedelijk makkelijker fermenteerbaar is dan houtsnippers. Bovendien heeft dit materiaal een constante kwaliteit, waardoor een hogere procesefficiency gehaald kan worden dan met heterogene biomassa uit afvalstromen, natuurgebieden, bosbouw, etc. De berekening geeft dus aan dat niet op

¹⁷ Het gebruik van reststromen uit Noord-Nederland als fermentatiegrondstof, TNO, 2006

<http://www.energyvalley.nl/uploads/Groenestijn2maartC.ppt.pdf>

¹⁸ De conversiefactor wordt dan factor 459/197 (noot 12, tabel 1)

¹⁹ De conversiefactor wordt dan factor 459/306 (noot 12, tabel 1).

²⁰ [http://66.249.93.104/search?q=cache:pxbtJTeP9sYJ:www.agra-net.com/content/agra/fol/CurrentIssues/Ethanol/ns.htm+nordzucker+sugar+beet+ethanol+contracts&hl=nl&gl=nl&ct=clnk&cd=](http://66.249.93.104/search?q=cache:pxbtJTeP9sYJ:www.agra-net.com/content/agra/fol/CurrentIssues/Ethanol/ns.htm+nordzucker+sugar+beet+ethanol+contracts&hl=nl&gl=nl&ct=clnk&cd=4)

²¹ <http://www.rirdc.gov.au/reports/NPP/05-012.pdf>

voorhand aangenomen kan worden dat de prijs voor ethanol uit lignocellulose alle scenario's gunstiger uitpakt dan ethanol uit gangbare gewassen.

Om het scenario mogelijk te maken dat de akkerbouw een nog grotere bijdrage levert aan de bio-energieproductie dan op dit moment, en tegelijkertijd een goed inkomen voor boeren wordt gegeneerd, wordt aanbevolen een aantal ontwikkeltrajecten of experimenten in te zetten. Criteria voor veelbelovende trajecten is dat ze uitmonden in een energieketen met een netto E-opbrengst minstens 100 GJ/ha en een €-opbrengst voor de boer van minstens €600/ha. De verschillende technologiestappen die bijdragen aan een hoogwaardige E-keten, zijn in hoofdstuk 6 al uitgewerkt. Hieronder worden alle voor dit rapport verzamelde gegevens en opvattingen samengevat in een viertal ontwikkeltrajecten.

1. Coproductie van grondstoffen voor ethanol productie en platformchemicalien (PC) in gangbare "suikergewassen" biet of aardappel, waarbij biet een groter E- en €-potentieel heeft dan aardappel (Tabellen 1-4). Het investeringstraject is 4-8 miljoen voor het maken van een prototype suikerbiet, ongeveer 20 miljoen voor het opschalen naar commerciële productie op industriële schaal. Het ontwikkeltraject heeft een looptijd van 8-15 jaar. De focus is op productie van PC die nu al door industriële fermentatie kunnen worden gemaakt. In deze industriële sector zijn op dit moment twee trends zichtbaar: a. het afzetvolume groeit met 4-7% per jaar²²; b. de productie verplaatst zich van Europa naar Azië, omdat Europa niet kostencompetitief kan produceren (lysine als voorbeeld)²³. Het is de inschatting van de auteurs dat productie van een aantal PC goedkoper door planten kan plaatsvinden. Het is nodig om grondig door te rekenen bij welke opbrengst en processingscenario productie van PC goedkoper door planten dan met microbiële fermentatie kan plaatsvinden.
2. Ontwikkeling van een oliegewas met een olie-opbrengst van 3 ton/ha. De opbrengst van het huidige koolzaad is met 3500 kg zaad/ha niet hoog, en ieder geval veel lager het theoretisch maximum. Op basis van het gegeven dat met tarwe, hoewel dat geen oliegewas is, een zaadopbrengst van 8.5 ton normaal is, mag voor een oliegewas een zaadopbrengst van 6.5 ton/ha en een olie-opbrengst van 2.5-3 ton/ha verwacht worden, dubbel zo hoog als de huidige opbrengst. Ook haver is een interessant potentieel oliegewas, omdat haver, als enige graan, een relatief hoog zaadoliegehalte heeft. Binnen dit traject kan gekozen worden voor twee opties:
 - a. Verdubbeling van olie-opbrengst in koolzaad. Dit ontwikkeltraject is in potentie met klassieke veredeling haalbaar, maar toepassing van GM technieken zal dit ontwikkelproces waarschijnlijk aanzienlijk versnellen en de haalbaarheid aanmerkelijk verhogen. Kosten voor ontwikkeling van een prototype koolzaad, waarin 6-7 eigenschappen gestapeld zijn (zie hoofdstuk 6), die elk via verschillende mechanismen positief zullen bijdragen aan olie-opbrengst, zijn €4.5-5 miljoen. Geschatte looptijd is 6-8 jaar voor de ontwikkeling van een prototype. Kosten en tijd voor de ontwikkeling van dit prototype naar een commercieel gewas komen hier nog bij.
 - b. Transformatie van haver in een oliegraan. Haver is vanouds een voedergras dat niet specifiek is veredeld op oliegehalte, er blijkt voldoende natuurlijke variatie: er zijn genotypes met een oliegehalte van 28%. Omdat haver moeilijk te transformeren is met moderne genetische technieken, heeft klassieke veredeling de voorkeur. Voordelen van haver ten opzichte van koolzaad zijn lagere kosten voor teelt en lagere gevoeligheid voor ziekten en plagen die in koolzaadteelt behoorlijk problematisch kunnen zijn (aaltjes, slakken, schimmels). Het ontwikkeltraject wordt geschat op 15 jaar. Kosten zijn moeilijk te schatten maar zal enkele miljoenen bedragen.

Aansluitend op de ontwikkeling van een oliegewas, moet technologie worden ontwikkeld voor directe conversie van pure plantaardige olie (PPO) naar H₂, vergelijkbaar met de conversie van methanol of andere C-bronnen naar H₂^{24,25}. In dit concept wordt er, met een voertuig, PPO getankt, en wordt de PPO, "on board & on the fly" katalytisch omgezet in H₂ dat weer wordt gevoed aan de brandstofcel. Voordeel is dat aan het begin van de

²² <http://www.bharatbook.com/bookdetail.asp?bookid=8041&publisher=>

²³ <http://www.foodnavigator.com/news/ng.asp?n=63670-basf-vitamin-c-lysine>

²⁴ http://www.cms.llnl.gov/s-t/carbon_con.html

²⁵ <http://www.virent.com/technology.htm>

keten energie bespaard wordt door het vermijden van de energie-intensieve conversie van PPO naar biodiesel. Aan het eind van de keten wordt energie bespaard, doordat dankzij grotere efficiency van de brandstofcel, meer kilometers per GJ kunnen worden gemaakt dan met de verbrandingsmotor.

3. Ontwikkelen van 1-2 grassen die geschikt zijn voor teelt op marginale gronden. De vraag naar biomassa voor energiedoeleinden zal in de toekomst sterk toenemen. Biomassagrondstoffen die tot dusver vooral voor voedsel werden gebruikt, zullen in toenemende mate worden ingezet als grondstof voor energieproducten. Beschikbaarheid en prijs van voedsel zullen mogelijk in sterke mate bepaald gaan worden door vraag naar (bio)energie. Een aantrekkelijk concept in deze context is een gewas dat niet geschikt voor voedsel en bovendien genoeg neemt met bodem of condities die minder geschikt zijn voedingsgewassen. Binnen de grassen zijn een aantal vertegenwoordigers, dathoge opbrengst combineert met tolerantie tegen marginale teeltcondities, Om de geschiktheid van grassen voor energietoepassingen te verhogen moet de biomassa-ontsluiting verbeterd en mineralengehalte verbeterd worden. *Miscanthus* is een voorbeeld van een gras met een hoge opbrengst (12-15 ton/ha) en een laag ligninegehalte (met daardoor in potentie een hoog gehalte aan onsluitbare en fermenteerbare suikers voor ethanolproductie). Prioriteiten voor dit gewas zijn een laag gehalte aan Si en ontwikkelen van een ras dat gezaaid kan worden: *Miscanthus* moet nu via stekken vermeerderd worden, waardoor teeltkosten relatief hoog zijn.
4. Opzetten van technologie voor raffinage van volumineuze waterrijke stromen, zoals loof van gras, mais of biet, en isolatie van hoogwaardige inhoudsstoffen uit processtromen, zoals melasse (suikerbiet, suikerriet) en protamylasse (aardappel, cassave).

Notes bij Tabel 1.

1. Energiekosten voor teelt en transport
2. Energiekosten voor teelt, transport en processing
3. Suiker (suikerbiet), zetmeel (aardappel, mais, tarwe) of fructanen (gras)
4. zaadgewicht (drooggewicht af boer)
5. pulp die overblijft na processen zetmeelextractie uit aardappel, suikerwinning uit biet, of oliewinning uit zaden. Pulp van zaden is vaak eiwitrijk
6. Drooggewicht van stengels en blad.
7. Winbare olie uit zaad
8. Winbaar eiwit uit knollen, wortels, loof, of zaden
9. Als voorbeeld van een platformchemicalie is lysine genomen. Lysine kan ophopen tot 2% in geval van aardappel en maximaal 4% van het versgewicht in biet. Dit getal is gebaseerd op biochemische en fysiologische aannames die hier verder niet worden uitgewerkt. Een overweging is dat de volume van de opslagvacuole in biet aanmerkelijk groter is dan in aardappel.
10. Glycerol ontstaat na veresteren van zaalolie (triacylglycerol) tot vrije vetzuren en glycerol, en methylering van de vetzuren tot biodiesel met behulp van MeOH.
11. Voor CH₄ fermentatie wordt aangehouden dat 22% van de in de biomassa opgesloten energie (gemiddeld 16 GJ/ton droge biomassa) kan omgezet in stroom en 50% in warmte. Dit correspondeert ook met het gegeven dat 14 ton droge mais biomassa 13400 kWh stroom oplevert (13400kWh*3.6MJ/kWh=49 GJ; Perceptief energiegewassen voor agrarische bedrijven, WUR-PPO 2005).
12. De conversie van hexose (glucose of fructose) naar alcohol verloopt met een fermentatie-efficiency van 90% en heeft een stoichiometrische opbrengst 0.51 kg alcohol per kg glucose. Een ton hexose, met een energie-inhoud van 17 GJ/ton, levert daarmee $0.9 \times 0.51 = 459$ kg ethanol, met een energie-inhoud van 26.7 GJ/ton ethanol. Een ton zetmeel levert, na hydrolyse, 1.1 ton hexose. Hydrolyse van zetmeel kost echter energie, zodat ook de energie-kosten wat hoger zijn. Bovendien is alle zetmeel niet even toegankelijk voor hydrolyse. Voor de ethanol opbrengst uit zetmeel is er daarom van uitgegaan dat een ton zetmeel evenveel ethanol oplevert als een ton suiker. Voor de conversie van lignocellulose biomassa naar alcohol (gewasopties 5c en 7b) wordt de volgende getallen aangehouden: Cellulose en hemicellulosegehalte in biomassa, respectievelijk 45% en 29%. De conversie-efficiency van (hemi)cellulose naar glucose of xylose is respectievelijk 75% en 90%. De fermentatie-efficiency is 75% voor glucose en 50% voor xylose. De stoichiometrische opbrengst is 0.51 kg alcohol per kg vergistbare suiker. Een ton lignocellulose biomassa levert daarmee 197 kg ethanol (<http://www.hort.purdue.edu/newcrop/ncnu02/v5-017.html>). Wanneer zowel de conversie- als fermentatie-efficiency voor beide suikers 90% is dan is de ethanol opbrengst $0.9 \times 0.9 \times 0.51 \times 0.45 + 0.9 \times 0.9 \times 0.51 \times 0.29 = 306$ kg EtOH
13. Biodiesel. Energie-inhoud van biodiesel wordt gesteld op 37.8 GJ/ton. Er wordt voor het gemak even vanuit gegaan dat 1 ton zaadolie 1 ton biodiesel oplevert en dat de energie-inhoud van beide brandstoffen hetzelfde is

Table 2. Total energy costs for biomass production and processing into energy products

New Zealand Energy Crops: Domestic Production and Processing into Energy Products																																									
	Cultivation										Transport (0.8 MJ/ton/km)										Processing				Total																
	machinery					seeds					Fertilizers					Chemicals and energy					total					radius		weight		total transp		Refining		EOH ferm.		CH4 ferm.		biodiesel		exd. processing	
	MJ/ha	MJ/ha	N kg/ha	P kg/ha	K kg/ha	(P2O5) kg/ha	(K2O) kg/ha	50 MJ/kg	12 MJ/kg	7 MJ/kg	Ca MJ/ha	N MJ/ha	P MJ/ha	K MJ/ha	apochemicals (40 MJ/kg) MJ/ha	desol MJ/ha	lubricants MJ/ha	total MJ/ha	km	ton	GJ/ha	GJ/ha	GJ/ha	GJ/ha	GJ/ha	GJ/ha	GJ/ha	GJ/ha	GJ/ha	GJ/ha	GJ/ha	GJ/ha	GJ/ha	ind. processing							
notes	1											1							1		2	3	4	5																	
1 Potato (45 ton FW tubers/ha)	2270	1300	100	80	250	500	990	1750				480	7540	680	320	75	46	28																35							
	a	EIO-H fermentation sacch	2270	1300	100	80	250	500	990	1750						480	7540	680	320	75	46	28												35	64						
	b	1a+ CH4 fermentation tuber pulp	2270	1300	100	80	250	500	990	1750						480	7540	680	320	75	46	28												5	35	69					
	c	1a+ CH4 fermentation straw	2270	1300	100	80	250	500	990	1750						480	7540	680	320	75	52	31												5	35	74					
	d	1a+ 1b+ 1c	2270	1300	100	80	250	500	990	1750						480	7540	680	320	75	52	31												10	35	80					
	e	1d+ 1% lysine production in straw	2270	1300	100	80	250	500	990	1750						480	7540	680	320	75	52	31												10	35	80					
	f	1d+ 2% lysine production in tubers	2270	1300	120	80	250	600	990	1750						480	7540	680	330	75	46	28												10	36	95					
	g	1a+ 1b+ 1c+ 4% protein in tubers	2270	1300	120	80	250	600	990	1750						480	7540	680	330	75	46	28												10	36	101					
	2	Sugar beet (60 ton FW roots/ha)	2270	440	120	100	300	600	1200	2100	50					120	7750	680	211	75	61	37												25	25	57					
3 Rapeseed (33 ton seed/ha)	a	dil to biodiesel	780	40	175	80	50	8750	990	350						110	2670	240	142	65	33	0.2												14	14	31					
	b	3a+ CH4 fermentation cake	780	40	175	80	50	8750	990	350						110	2670	240	142	65	33	0.2												5	14	36					
	c	3a+ CH4 fermentation straw	780	40	175	80	50	8750	990	350						110	2670	240	142	65	58	0.3												5	15	36					
	d	3a+ 3b+ 3c	780	40	175	80	50	8750	990	350						110	2670	240	142	65	58	0.3												10	15	41					
	4	Rapeseed (6.6 ton seed/ha)	780	40	175	80	50	8750	990	350						110	2670	240	142	65	66	0.3												15	15	15					
	a	dil to biodiesel	780	40	175	80	50	8750	990	350						110	2670	240	142	65	66	0.3												33.6	15	48					
	b	4a+ CH4 fermentation (leaves + cake)	780	40	175	80	50	8750	990	350						110	2670	240	142	65	76	0.4												10	15	58					
	d	4b+ refining cake into protein	780	40	175	80	50	8750	990	350						110	2670	240	142	65	76	0.4												10	15	62					
	e	4c+ dil to PPO	780	40	175	80	50	8750	990	350						110	2670	240	142	65	76	0.4												10	15	28					
5 Wheat (6.6 ton seeds)	970	940	180	20	150	9000	240	1050				110	3310	230	163	110	86	0.8																17	17	37					
	a	EIO-H fermentation flour (ex bran)	970	940	180	20	150	9000	240	1050						110	3310	230	163	110	86	0.8													17	17	36				
	b	5a+ CH4 fermentation rest of crop	970	940	180	20	150	9000	240	1050						110	3310	230	163	110	136	1.2												6	17	42					
	d	EIO-H fermentation total crop	970	940	180	20	150	9000	240	1050						110	3310	230	163	110	136	1.2													17	17	46				
	e	4b+ refining rapeseed	970	940	180	20	150	9000	240	1050						110	3310	230	163	110	136	1.2												6	17	57					
	6	Energy corn (14 ton/ha)	1830	100	200	125	250	10000	1500	1750						30	6220	550	226	15	48	0.6													23	23	37				
	a	CH4 fermentation total crop	1830	100	200	125	250	10000	1500	1750						30	6220	550	226	15	48	0.6												14	23	43					
	7	Energy corn (20 ton/ha)	1830	100	200	125	250	10000	1500	1750						30	6220	550	226	15	68	0.8													20	23	48				
	a	CH4 fermentation total crop	1830	100	200	125	250	10000	1500	1750						30	6220	550	226	15	68	0.8													20	23	51				
EO-H fermentation total crop	1830	100	200	125	250	10000	1500	1750							30	6220	550	226	15	68	0.8													27	27	56					
8 Seed corn (14 ton/ha)	1830	100	200	125	250	10000	1500	1750				30	6220	550	226	15	48	0.6																23	23	23					
	a	gain refined, rest fermented into CH4	1830	100	200	125	250	10000	1500	1750						30	6220	550	226	50	48	1.9												10.5	24	105					
	9	Grass (14 ton/ha)	1830	100	200	125	250	10000	1500	1750						30	6220	550	226	50	48	1.9													14	24	24				
a	CH4 fermentation total gas	1830	100	200	125	250	10000	1500	1750						30	6220	550	226	50	48	1.9													9.9	24	38					
b	gas refined	1830	100	200	125	250	10000	1500	1750						30	6220	550	226	50	48	1.9														9.9	24	87				
10 Barley (14 ton/ha)	970	940	180	20	150	9000	240	1050				110	3310	230	163	110	83	0.7																17	17	27					
	CH4 fermentation total gas	970	940	180	20	150	9000	240	1050				110	3310	230	163	110	83	0.7															9.9	17	27					

Notes bij Tabel 2

1. Kosten voor input in machines, meststoffen en chemicals zijn gebaseerd op de cijfers uit het rapport: Energiegewassen in de Vlaamse landbouweector (2003; <http://www.kuleuven.ac.be/stedula/nl/publicaties/publicatie1.pdf>)
2. Voor raffinage van blad wordt een energie-input van 1 GJ/ton FW aangehouden, de extra kosten voor raffinage van knollen en tap root wordt geschat op 0.5 GJ/ton, bovenop de bestaande extractie van suiker en zetmeel (gegevens AVEBE)
3. Voor de berekening van de hoeveelheid energie die nodig is voor methaanvergisting van biomassa, wordt een standaardwaarde van 1 GJ/ton droge biomassa aangehouden
4. Voor de berekening van de hoeveelheid energie die nodig is voor alcoholische vergisting van hexose, wordt een standaardwaarde van 7 GJ/ton ethanol aangehouden (cijfers Nedalco)
5. Voor de berekening van de hoeveelheid energie die nodig is voor biodieselproductie wordt een standaardwaarde van 14 GJ/ton olie gehanteerd. Dit getal is opgebouwd uit 12 MJ/ton biodiesel aan stroom en gas (<http://www.eia.doe.gov/oiaf/analysispaper/biodiesel/index.html>), en 2 GJ voor de MeOH die nodig is voor de verestering van de zaadolie. Het MeOH verbruik per ton biodiesel is ongeveer 0.1 ton met een energie-inhoud van 20 GJ/ton.

Table 3^{26,27,28}. Overview of biological molecules which can serve as base chemicals or building block for polymers.

		Possible uses
Dicarboxylic acids		
	Fumaric acid	Solvents, lucra, water soluble polymers
	1,4 succinic acid	Precursor of γ -Butyrolactone 1,4 butanediol, n-CH3-pyrrolidone
	Itaconic acid	Copolymers with styrene-butadiene polymers, Nitrile latex, solvents, new polymers, new variant of existing polymers
	Levulinic acid	Fuel oxygenates, solvents, copolymerization with other monomers
	Adipic acid	Building block for nylon 6,6
Monocarboxylic acids		
	3-OH-propionic acid	Sorona type fibres, acrylates
	Gluconic acid	
	Lactic acid	PLA polymers
	Citric acid	Solvents
	Acetic acid	Solvent, base chemical
Amino acids		
	Aspartic acid	Polyaspartic acid, aspartic anhydride, precursor succinic acid
	Glutamic acid	Monomers for polyesters and polyamides
	Serine	Precursor 1,2 ethanediamine, used in lubricants, synthetic rubbers, detergent
	Arginine	Precursor 1,4 butanediamine, building block nylon 4,6
	Lysine	Precursor for caprolactam (buidling block for nylon 6,6)
(sugar)alcohols		
	Glycerol	Polyurethanes, PLA and polyesters with new properties, antofreeze, precursor for 1,3 propanediol
	Sorbitol	PET like polymers, antifreeze, water soluble polymers
C5 sugars		
	Xylitol	Unsaturated polyester resins, new polymers, antifreeze
	Arabinitol	Idem for Xylitol
Alcohols		
	Ethanol	Fuel additive
	1,3-Propanediol	New polyesters (Soraona)

²⁶ Top value added chemicals from biomass, Volume 1, PNNL, NREL, EERE, 2004

<http://www.nrel.gov/docs/fy04osti/35523.pdf>

²⁷ Opportunities in the Industrial Biobased Products Industry. Tracey et. al. 2004.

<http://www1.eere.energy.gov/biomass/pdfs/115-1-3-0871-0886.pdf>

²⁸ An assessment of the opportunities and challenges of a biobased economy for FARC, 2003, <http://www.carc-crac.ca/common/Opportunities%20and%20Challenges%20of%20a%20Bio%20based%20Economy.pdf>

Table 4: Costs and revenues for several crops and biomass bioenergy options

notes	Costs Energy input (total chain) £/ha (GJ/ha)	Yield of current products (2009)					Yield of energy products			protein		Income of energy products at farmers' level					extra costs		total income		net profit £/ha
		1	2	3	4	5	6	electr.	heat	GJ/ha	EOH	BioD	electr.	heat	EOH	BioD	protein	lysine	GJ/ha	glycol	
1	Potato (6 ton FW tubers/ha)	775	35	45	45	2025	45	125													
	a EOH-fertilisation starch		64																		
	b 1a+ O-H4-fertilisation tuber pulp		69																		
	c 1a+ O-H4-fertilisation straw		69																		
	d 1a+ 1b+ 1c		74																		
	e 1d+ 2% lysine production in straw		80																		
	f 1d+ 2% lysine production in tubers		95																		
	g 1a+ 1b+ 1c+ 4% protein in tubers		101																		
2	Sugar beet (60 ton FW roots/ha)	775	25	61	27	1647	155	1027													
	a EOH-fertilisation sucrose		57																		
	b 2a+ O-H4-fertilisation root pulp		62																		
	c 2a+ O-H4-fertilisation leaves + kappan		65																		
	d 2a+ 2b+ 2c		67																		
	e 2d+ 1% lysine in leaves + kappan		125																		
	f 2% lysine in root pulp		95																		
	g 4% lysine in root pulp		92																		
	h 2g+ refining leaves into protein		143																		
3	Repressed (6.3 ton seeds/ha)	526	14	3.3	220	759	88	321													
	a oil to biodiesel		31																		
	b 3a+ O-H4-fertilisation cake		36																		
	c 3a+ O-H4-fertilisation straw		41																		
	d 3a+ 3b+ 3c																				
4	Repressed (6.6 ton seeds/ha)	526	15	6.6	220	1518	176	1183													
	a oil to biodiesel		48																		
	b 4a+ O-H4-fertilisation (leaves + cake)		58																		
	c 4b+ refining cake into protein		62																		
	d 4c+ oil to PPO		28																		
5	Wheat (6.6 ton seeds)	575	17	8.4	114	938	220	603													
	a EOH-fertilisation flour (ex ben)		36																		
	b 5a+ O-H4-fertilisation rest of crop		42																		
	c EOH-fertilisation total crop		47																		
	d 4c+ refining straw		58																		
6	Energy corn (14 ton/ha)	554	23	41	36	1439		915													
	O-H4-fertilisation total crop		37																		
	Energy corn (20 ton/ha)	554	23	59	36	2124		1570													
	O-H4-fertilisation total crop		43																		
	EOH-fertilisation total crop		58																		
8	Seed corn (14 ton/ha)	554	23																		
	gain refined rest fermented into O-H4		105																		
9	Grass (14 ton/ha)	545	24																		
	a O-H4-fertilisation total grasses		38																		
	b gas refined		87																		
10	Barley (14 ton/ha)	267	17																		
	O-H4-fertilisation total grasses		27																		

Notes bij Tabel 4

1. Kosten en saldo's voor teelt van suikerbiet, snijmais, brouwergerst, wintertarwe en winterkoolzaad zijn gebaseerd op cijfers van WUR-PPO: Perspectieven energiegewassen voor agrarische bedrijven, landelijke demodagen 'Mest en energie 2005' (<http://documents.plant.wur.nl/ppo/agv/energiegewassen.pdf>); Boerderij/akkerbouw 91 no 10 (voor gerst en mais) en Boerderij/akkerbouw 91:13 (voor suikerbiet, koolzaad, mais en wintertarwe) en de WUR Quicksan bioenergie (http://www9.minlnv.nl/pls/portal30/docs/FOLDER/MINLNV/LNV/STAF/STAF_DV/KAMERCORRESPONDENTIE/2006/02/20060223_INH_2006_197BIJLAGE.PDF).
2. Energie-input is geïmporteerd uit tabel 1
3. Ton product/ha, soms droog (zaden), soms versgewicht (biet) aardappel afhankelijk van de betalingswijze. Voor korrelmais wordt een korrelopbrengst van 13 ton zaad met een DW van 7 ton, een eiwitgehalte van 12% en een oliegehalte van 4% olie. Stengels en loof worden geschat op 7 ton DW/ha
4. Als prijs voor gewasproducten (zaad, aardappelen, bieten, gehaksekde mais) worden de prijzen gehanteerd die ontstaan na hervorming (<http://documents.plant.wur.nl/ppo/agv/energiegewassen.pdf>).
5. Opbrengsten voor bijproduct is voor stro (bijv koolzaadstro voor paardestallen), pulp (veevoer)
6. Getallen geïmporteerd uit tabel 1.
7. Er wordt verder vanuit gegaan dat de inkomsten uit stroom € 6/GJ (€ 0.022/kWh) bedraagt. De auteurs realiseren zich dat dit inmiddels aanmerkelijk lager dan de huidige stroomprijs (€0.032, juli 2006). Dankzij de MEP subsidie levert een stroom op dit moment zelfs € 0.12/ kWh, maar er wordt vanuit gegaan dat deze MEP subsidie niet zal gehandhaafd blijven
8. Proceswarmte heeft per GJ dezelfde waarde als 1 GJ gas, mits de warmte kan worden afgezet. Omdat warmte niet altijd afgezet zal kunnen worden, wordt een prijs van € 3/GJ gehanteerd.
9. In de situatie dat gewassen voor een deel of geheel worden gebruikt voor energieproductie, zijn de inkomsten voor de boer gerelateerd aan de hoeveelheid geleverde GJ in het eindproduct. In deze tabel wordt ervan uitgegaan van een situatie, waarbij de prijzen voor vloeibare bio-energieproduct (in €/GJ) min of meer vergelijkbaar zijn met de prijs van ruwe olie. Deze is gesteld op €8/GJ, hetgeen overeenkomt met een prijs van iets minder dan €50/barrel. De boer krijgt dus € 8/GJ bio-ethanol of biodiesel. 1 GJ ethanol komt overeen met 37.5 kg ethanol, dus de bruto inkomsten voor de boer is dan € 210/ton ethanol. Dit komt weer overeen met ongeveer € 95/ton suiker of € 16/ton verse bieten
10. Ook voor plantaardige olie wordt uitgegaan van €8/GJ olie. Dat is aanmerkelijk lager dan de prijs die boeren nu voor de plantaardige olie krijgen. De prijs van koolzaad is nu ongeveer € 230/ton koolzaad ~ € 575 ton olie. Bij een oliegehalte van 40% komt dat overeen met een GJ prijs van $230/0.4 \times 37.8 = € 15/GJ$.
11. In de rekenmethode wordt er vanuit gegaan dat de toekomstige boer mede wordt uitbetaald op basis van de hoeveelheid eiwit (€250 ton). Lysine levert €400/ton. Dit zijn beide grof geschatte bedragen, maar ver beneden de kostprijs. De kostprijs voor lysine is op dit moment €1200/ton. Glycerol opbrengst wordt geschat op € 75/ton.
12. Hier staat een negatieve opbrengst post, die gerelateerd is aan bespaarde kosten voor *technical grade* methanol (€200/ton). Deze post is hier bij het inkomen van de boer gerekend. Of dit terecht is, is discutabel, maar laat wel de boer meeprofitieren van de lagere kosten per GJ brandstof.
13. Bruto inkomen, gebaseerd op opbrengsten van de diverse energieproducten
14. Bruto inkomen minus kosten voor teelt (kolom 1). Kosten voor processing zijn hier niet meegenomen, omdat die voor rekening van de processor komen

Bijlage 3:

Duurzame productie en ontwikkeling van biomassa; deelpad aquatische biomassa

Auteurs:

Hans Reith, ECN Biomassa, Kolen en Milieuonderzoek (co-ordinatie)

Jaap Steketee, TAUW BV

Willem Brandenburg, Wageningen UR, Plant Research International, BU Agrosysteemkunde

Lolke Sijtsma, Wageningen UR, Agrotechnology and Food Sciences Group

Inhoudsopgave

Samenvatting	58
Deelpad Waterplanten	60
Deelpad Zoutwaterlandbouw	65
Deelpad Micro-algen	70
Deelpad Zeewieren	78



Tauw



WAGENINGEN UR

For quality of life

SAMENVATTING

Het deelpad Aquatische Biomassa heeft een sterke internationale dimensie. Wereldwijd bestaat een groeiende belangstelling voor het aquatisch milieu als leverancier van voedsel, grondstoffen en energie. Daarnaast is er grote aandacht voor watermanagement, met name gezien de problemen die zich aandienen t.a.v. de berging van regenwater en de beschikbaarheid van zoet water voor drinkwatervoorziening en de landbouw. In dit deelpad worden beide thema's aan elkaar gekoppeld, zodat meerwaarde ontstaat voor duurzame ontwikkeling met een grote internationale uitstraling.

Het deelpad Aquatische Biomassa kan een substantiële bijdrage leveren aan de *binnenlandse* beschikbaarheid van biomassa voor grondstof- en energievoorziening. De gezamenlijke potentiële bijdrage aan de biomassaproductie in 2015 en 2030 bedraagt 49 PJ resp. 180 PJ/jaar. (Tabel 1).

Tabel 1. *Energiepotentieel deelpad Aquatische Biomassa in 2015 en 2030 na aftrek van het geraamde energiegebruik voor teelt, oogst en transport.*

Deelpad:	2015		2030	
	Droge stof [x 1000 ton d.s./ jaar]	Energie [PJ] ^{1,2)}	Droge stof [x 1000 ton d.s./ jaar]	Energie [PJ] ^{1,2)}
Waterplanten	500	7,2	1.500	21,6
Zoutwater landbouw	600	8,6	1.250	18
Micro-algen	125	2,0	1.000	16
Zeewieren	2.500	31,5	10.000	126
Totaal	3.725	49,3	13.750	181,6

1) Energie-inhoud (LHV basis): Waterplanten en zoutwaterlandbouw : 16 GJ / ton droge stof; Micro-algen: 20 GJ/ ton droge stof; Zeewieren: 14 GJ/ton droge stof (voor ca. 20 gew.% as).

2) Energiegebruik voor teelt, oogst en transport is geraamd op 10%, behalve voor het deelpad micro-algen (20%)

De deelpaden waterplanten en zoutwater landbouw leveren in hoofdzaak lignocellulose biomassa voor vergisting en voor mee- en bijstook voor elektriciteits- en warmteproductie. Op langere termijn kan de biomassa tevens dienen voor de productie van bio-ethanol (en andere fermentatieproducten) en bio-olie via HTU of pyrolyse. Op langere termijn kunnen de beide deelpaden tevens eiwitten leveren (10 a 15 %) voor de productie van N-chemicals. Restfracties en mineralen kunnen worden benut als meststof of worden teruggevoerd (mineralen recycling).

Het deelpad micro-algen biedt met name potentieel als leverancier van bio-olie en eiwitten. De oliefractie kan rechtstreeks worden toegepast als vervanging van visolie of voor de productie van PPO of methylesterbrandstof ('biodiesel'). Bij inzet van algenolie (die rijk is aan hoogwaardige vetzuren) als alternatief voor visolie kan de vermeden fossiele inzet in 2030 ca. 70 PJ bedragen door besparing van fossiele stookolie in de visserijsector. De biomassa of delen daarvan kan tevens worden benut voor energieproductie via fermentatie (CH₄, ethanol) of HTU. Andere potentiële bulkproducten zijn agrochemicaliën en functionele ingrediënten in biopolymeren. Daarnaast zijn er mogelijkheden voor winning van specialties waaronder omega-vetzuren, kleurstoffen, antioxidanten en andere bio-actieve stoffen. De productie van deze specialties heeft een beperkt volume maar kan bijdragen aan de initiële marktontwikkeling. Micro-algen productie kan goed worden gecombineerd met de (na)zuivering van afvalwater (N en P verwijdering) en directe vastlegging van CO₂ uit rookgassen. Hiermee kunnen extra energiebesparing en aanvullende baten worden gegenereerd.

Grootschalige teelt van zeewieren in de Noordzee in combinatie met offshore windparken biedt een enorm potentieel als bron van bio-energie en hernieuwbare grondstoffen, chemicaliën en producten. Zeewieren biomassa is geschikt voor winning van een scala aan CO₂-neutrale producten en energiedragers. Op de eerste plaats producten die tegenwoordig al worden gewonnen zoals phycocolloïden (alginaten, agar, carrageen), voedingssupplementen, diervoeders, meststoffen en personal care producten. Deze producten en gebruik in voeding kunnen bijdragen aan de initiële marktontwikkeling. Door het hoge polysacchariden gehalte (ca. 60 gew%) is zeewier tevens geschikt voor productie van gasvormige en vloeibare brandstoffen via fermentatie (methaan, bioethanol) of bio-olie (HTU) en van platformchemicaliën zoals melkzuur, propaandiol en biopolymeren die petrochemische producten kunnen vervangen. Zeewieren zijn daarnaast een potentiële bron van eiwitten, mannitol, vetzuren, kleurstoffen en bio-actieve stoffen. Zeewieren hebben een hoog gehalte

aan mineralen (20 a 25 gew%) die kunnen dienen voor winning van minerale producten zoals jodium, broom, meststoffen ('potash') of worden teruggevoerd naar de kweeksystemen op zee.

De verdeling van het primaire energiepotentieel van het deelpad Aquatische Biomassa over verschillende toepassingen in 2030 voor productie in Nederland en de Noordzee is weergegeven in Tabel 2.

Tabel 2. Primair energiepotentieel van het deelpad Aquatische Biomassa in 2030 in Nederland (en de Noordzee) voor verschillende toepassingen van de biomassa.

	Biomassa potentieel ¹⁾ [PJ]	Elektriciteit & warmte en SNG [PJ]	Fermentatie/ ethanol [PJ]	Bio-olie [PJ]	Chemie [PJ]
Waterplanten	21,6	18,4	-	-	3,2
Zoutwater landbouw	18	7,2	7,2	-	3,6
Micro-algen	16	2,3 ³⁾	1,6	7,2 (72) ²⁾	7,2
Zeewieren	126	12,6	31,5	31,5	50,4
TOTAAL	181,6	40,5	40,3	38,7 (103,5) ²⁾	64,4

1) Na aftrek energiegebruik voor teelt, oogst en transport.

2) Voor het deelpad micro-algen kan de productie van olie als vervanging van visolie een ca. 10 maal hogere vermeden fossiele inzet opleveren door besparing van fossiele stookolie voor de visvangst.

3) Vermeden fossiele inzet door besparing van elektriciteit voor waterzuivering voor e-rendement =40%

Naast de bijdrage aan de CO₂ emissie reductie, hebben de deelpaden een aantal kenmerken gemeen die toegevoegde waarde bieden voor duurzame ontwikkeling. Alle deelpaden maken gebruik van aanvullend areaal dat niet of minder geschikt is voor landbouwproductie. Door de teelt in aquatisch milieu is er geen concurrentie met landgebruik voor voedselteelt en wordt geen beslag gelegd op zoetwatervoorraden. Ook bij de teelt van micro-algen in reactoren worden locaties gebruikt die voor landbouw ongeschikt zijn.

Drie van de vier deelpaden lenen zich voor multifunctioneel ruimtegebruik door combinatie met resp. waterberging en natte natuur (waterplanten), offshore wind en combinatie met teelt van vis- en schelpdieren (zeewieren) en natuurontwikkeling en recreatie (zoutwaterlandbouw). De deelpaden waterplanten en micro-algen leveren een bijdrage aan energiebesparing voor waterzuivering door nutriëntenverwijdering, verbetering van de oppervlaktewaterkwaliteit en een bijdrage aan de bestrijding van verzilting. De verwachting is verder dat de oogst van biomassa uit zoetwatersystemen (deelpad waterplanten) zal bijdragen aan een afname van de methaanemissies. Het deelpad Zoutwaterlandbouw maakt nuttig gebruik van verzilte gronden op aan de kust gelegen locaties. De ecologisch verantwoorde inpassing van kweeksystemen is de belangrijkste kritische succesfactor voor grootschalige zeewierenteelt in de Noordzee. Eventuele negatieve (eutrofiëring, verstoring zeezoogdieren) en positieve (herstel visbestanden) ecologische effecten bij de teelt van zeewieren moeten nader worden onderzocht.

De 4 deelpaden tonen duidelijke verschillen in de stand van de technologische ontwikkeling en daarmee het tijdspad voor realisatie. Het deelpad waterplanten is het dichtst bij realisatie, gevolgd door het deelpad zoutwaterlandbouw. De deelpaden micro-algen en zeewieren vereisen meer ontwikkeling. De eerstvolgende stap in de ontwikkeling is evenwel duidelijk voor alle deelpaden. Voor alle deelpaden zijn concepten en experimenten geformuleerd, waarmee de ontwikkeling kan worden gestart.

Bijdrage waterplanten aan beschikbaarheid biomassa

Ir. Jaap Steketee, TAUW BV

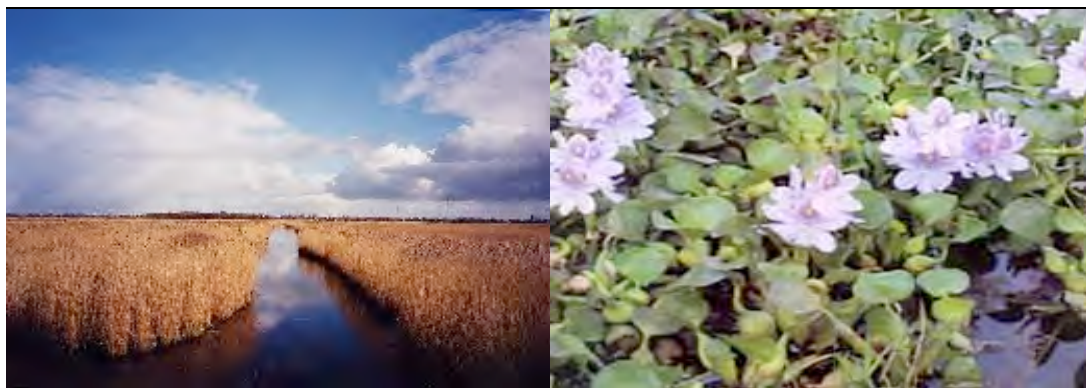
1. Beschrijving en afbakening

Visie

Nederland heeft een relatief groot oppervlak aan zoete wateren: sloten, watergangen, moerassen, meren en dergelijke. Door de klimaatsverandering moet de capaciteit voor waterberging worden vergroot, daarnaast wordt het areaal aan natte natuur uitgebreid. Het wateroppervlak in Nederland zal daarom toenemen. Voor de instandhouding van functies (waterafvoer, waterberging, maar ook natuur) is onderhoud noodzakelijk. Dit betekent dat bijvoorbeeld watergangen regelmatig gemaaid moeten worden. Bij het onderhoud komen grote hoeveelheden 'waterplanten' vrij. In dit kader worden hieronder alle planten verstaan die in, op of langs het water groeien. Momenteel wordt een deel van dit materiaal gecomposteerd, een ander deel wordt ondergeploegd op naastgelegen percelen landbouwgrond en een deel blijft ter plekke liggen.

Kernboodschap

Waterplanten vormen een stabiele en duurzame bron van biomassa. Het materiaal is momenteel al beschikbaar en is geschikt om te worden ingezet voor opwekking van energie.



Figuur 1 Voorbeelden waterplanten: riet (links) en waterhyacinth (rechts)

2. Kwantitatieve doelen

Aangezien het gaat om een variabel mengsel van planten, is toepassing in de energieproductie het meest geëigend. Waterplanten bestaan in hoofdzaak uit lignocellulose. Uit de OTC studie "Waterplanten als grootschalige energiebron" blijkt dat het materiaal in beginsel geschikt is voor vergisting en meestoken in kolencentrales (maximaal circa 8%). Afhankelijk van de technologische ontwikkelingen, kan waterplanten biomassa in de toekomst ook gebruikt worden als feed voor bioethanol productie, HTU en dergelijke. Sommige waterplanten, zoals kroos en ondergedoken waterplanten zoals fonteinkruid en waterpest bevatten veel eiwit (20-30 gew.%). Meegemaaide oeverplanten bevatten maximaal ca. 15 gew.% eiwit. De categorie "waterplanten" als geheel kan naar schatting 15 gew.% eiwit als grondstof leveren. Deze mogelijkheden worden eerst op langere termijn verwacht, afhankelijk van de ontwikkeling van specifieke oogst- en fractioneringstechniek om deze eiwitten grootschalig beschikbaar te maken. De resterende lignocellulose fractie (gemiddeld 85 gew.%) kan voor energiedoeleinden worden ingezet.

Er wordt vanuit gegaan dat tot 2015 de inzetbaarheid beperkt is tot vergisting en meestoken, ofwel productie van elektriciteit en warmte. De volgende hoeveelheden zijn beschikbaar:

Tabel 1 *Energiepotentieel waterplanten (16 GJ/ton droge stof) na aftrek geraamd energiegebruik (10%) voor teelt, oogst en transport in 2015 en 2030.*

Jaar	Areaal [hectare]	Biomassaproductie [Ton d.s. x 1000]	Energiepotentieel [PJ]
2015	50.000	500	7,2
2030	150.000	1.500	21,6

Uitgangspunt hierbij is dat de beschikbare biomassa wordt geoogst. Er is geen rekening gehouden met grootschalige stimulatie van de teelt. Hierdoor kan het potentieel nog belangrijk toenemen.

Oogsten van waterplanten in Nederland vindt voornamelijk plaats in de periode begin juli t/m oktober. De start van de oogst wordt bepaald door het einde van het broedseizoen. De geoogste waterplanten biomassa kan via inkuilen of drogen geschikt worden gemaakt voor jaarrond gebruik voor energieproductie.

De vermeden fossiele inzet voor verschillende toepassingen is aangegeven in Tabel 2. Voor 2015 wordt uitgegaan van volledige inzet voor elektriciteits- en warmteproductie. In 2030 is inzet voorzien voor winning van eiwitten (15%) als grondstof voor N-chemicaliën en productie van elektriciteit en warmte (85%).

Tabel 2 *Energiepotentieel deelpad Waterplanten voor verschillende toepassingen in 2015 en 2030.*

	Biomassa potentieel ¹⁾ [PJ]	Elektriciteit & warmte, SNG ²⁾ [PJ]	Fermentatie/ ethanol [PJ]	Bio-olie [PJ]	Chemie ²⁾ [PJ]
2015	7,2	7,2	-	-	-
2030	21,6	18,4	-	-	3,2

1) Na aftrek 10% energiegebruik voor teelt, oogst en transport

2) Verdeelsleutel voor 2030: 85% inzet voor E+W en SNG; 15% voor chemie in de vorm van eiwitten.

3. Uitgangspositie Nederland

Onderhoud van watergangen en natuurgebieden vindt al op grote schaal plaats door loonbedrijven en waterschappen. De inzameling van het materiaal is nog beperkt en is praktisch gezien soms lastig uitvoerbaar. Inzet voor energieproductie vindt nog niet plaats.

4. Stakeholders

De 'producenten' van waterplanten zijn de waterschappen, rijkswaterstaat en beheerders van natte natuurgebieden. Oogst vindt plaats door de producenten zelf en loonbedrijven. Verwerking vindt plaats door bedrijven die groenafval composteren. Voor het welslagen van dit transitiepad is van de producenten ten minste een positieve grondhouding noodzakelijk. Tussenopslag en voorbereiding kan worden uitgevoerd door loonbedrijven en bedrijven die zich specifiek richten op de inzameling en bewerking van biomassa. De energieproductie zal in hoofdzaak door andere partijen plaatsvinden, zoals boeren met een mestvergistingsinstallatie en energieproducenten. In grote lijnen zijn de benodigde stakeholders aanwezig en staan ze positief tegenover de ontwikkeling van dit deelpad. Groencomposteers hebben in eerste instantie geen belang bij een verandering in de verwerking, maar kunnen in beginsel wel overschakelen op bijvoorbeeld vergisting. Een en ander is samengevat in Tabel 3.

Tabel 3. Overzicht en opstelling stakeholders. Betekenis symbolen: +...+++ weinig tot veel steun of weinig tot erg actief; -...--- zwakke tot sterke oppositie, weinig tot erg passief. Beoordeling specifiek voor waterplanten, algemene maatregelen zoals MEP en dergelijke zijn niet meegenomen.

Stakeholder	Steun/oppositie	Actief/passief
EU	+	-
Rijksoverheid/Rijkswaterstaat	++	+
Waterschappen	++	+
Natuurbeheerders	++	+
Energiebedrijven	+	+
Kennisinstellingen/adviesbureau's	+++	++
Boeren	++	+
Loonbedrijven e.d.	+++	+
Groencomposteerders	--	++

5. Marktvraag

Er is marktvraag naar biobrandstoffen die geschikt zijn om mee te stoken in kolencentrales. Er is nog geen specifieke vraag naar waterplanten biomassa. Zie punt 4 voor afnemers. Aan de aanbodkant bestaat bij partijen die reeds beschikken over vrijkomende waterplantenbiomassa (met name waterschappen, groeninzamelaars) belangstelling voor verwerking van dit materiaal via productie van bio-energie als alternatief voor compostering. Met name de afzet als biobrandstof dient nog ontwikkeld te worden, voorbereiding is noodzakelijk. Voor kleinschalige co-vergisting is de huidige regelgeving niet stimulerend.

6. Technisch potentieel

De processen voor energieconversie zijn beschikbaar. Mogelijk zijn wel procesoptimalisaties noodzakelijk. Op het gebied van optimalisatie van de inzameling, bijvoorbeeld inrichting van watersystemen, zijn nog wel ontwikkelingen nodig. Daarnaast dient voorbereidingstechniek te worden ontwikkeld om de biomassa geschikt te maken voor mee- en bijstook. Voor de winning van eiwitten uit waterplanten is ontwikkeling nodig van separate teelt- en oogsttechnologie voor eiwitrijke planten zoals kroos en fractioneringstechniek om de eiwitten grootschalig beschikbaar te maken.

7. Internationale context

Dit transitiepad is niet afhankelijk van buitenlandse ontwikkelingen. Kennis is aanwezig en/of is sterk afhankelijk van de lokale omstandigheden (bijvoorbeeld optimalisatie oogst, tussenopslag). Er zijn mogelijkheden om concepten te vermarkten door adviesbureau's en mogelijk ontstaat er een exportmarkt voor speciale oogstmachines.

8. Draagvlak

Mits rekening wordt gehouden met ecologische randvoorwaarden en met de belangen van andere gebruikers en een duidelijke communicatie plaatsvindt, kan dit pad breed worden gedragen.

9. Rol overheid

Aangezien veel wateren in beheer zijn bij (semi)overheidsinstellingen, kan de overheid de inzet van deze biomassastroom voor energieopwekking stimuleren. Wat betreft regelgeving zullen de volgende maatregelen de inzet van waterplanten stimuleren:

- het materiaal moet niet als afvalstof worden beschouwd
- plaatsing op de witte lijst voor co-vergisting
- eenvoudige procedures voor vergunningverlening kleinschalige vergisting op boerderijschaal en dergelijke
- lichte eisen bij tussenopslag

10. Kosten en baten

Momenteel wordt al maaisel 'geoogst' en is materiaal beschikbaar. Om het potentieel ten volle te kunnen benutten zijn echter investeringen nodig in machines voor oogst/inzameling, terreininrichting, vergistings-installaties, installaties voor de productie van biobrandstoffen. Opbrengsten zijn dat het materiaal niet op een andere wijze hoeft te worden verwerkt (composteren, storten, onderwerken) en dat extra inzameling wellicht bijdraagt aan verbetering van de waterkwaliteit. De kosten van waterplanten biomassa worden geraamd op € 0-50 per ton droge stof exclusief voorbewerking en transport. Resp. € 0-100 per ton droge stof inclusief voorbewerking en transport (een waarde van 0 € geldt als het materiaal uit oogpunt van regulier onderhoud moet worden verwijderd). Uitvoering van dit deelpad draagt bij aan de werkgelegenheid in plattelandsgebieden en versterkt de economische positie van boeren. Effecten zullen geleidelijk zichtbaar worden, te beginnen vanaf 2010.

11. Aanjagen experimenten

11.1 Vergisting van waterplantenbiomassa

Tauw heeft initiatief genomen om de vergisting van waterplanten nader te onderzoeken in een consortium met waterschappen, kennisinstellingen, agrarische proefbedrijven en verwerkers van biomassa. Momenteel wordt gewerkt aan de voorbereiding van een project waarbij drie waterschappen, twee verwerkers van biomassa, LeAF (Lettinga Associates Foundation) en Animal Sciences Group WUR zijn betrokken. In dit project worden drie tot vier vergistingssystemen uitgetest. Het onderzoek moet informatie opleveren over de methaanopbrengst, eventuele praktische problemen, noodzaak om te selecteren op type biomassa etcetera.

11.2. Inzet als brandstof voor meestook in kolencentrales of biomassacentrales

Door een consortium bestaande uit waterschappen, kennisinstellingen, verwerkers van biomassa en energieproducenten wordt de voorbewerking en inzet van waterplanten als biobrandstof in kolen- of biomassacentrales gedemonstreerd. Een aantal energiebedrijven heeft aangegeven hieraan te willen meewerken. Doelstellingen van deze demonstratie zijn ondermeer het optimaliseren van de voorbehandeling en om invloeden van het meestoken op het stookgedrag, emissies en residuen te kwantificeren.

In deze consortia is de volledige keten van biomassaproductent tot energieproducent vertegenwoordigd. Dit is weergegeven in de navolgende Tabel 4.

Tabel 4. Productieketen van energie uit waterplanten

	Vergisting	Meestoken in E-centrales
Producenten biomassa	Waterschappen, beheerders natuurgebieden	
Oogst/inzameling	Als boven plus loonbedrijven	
Vorbewerking	(loonbedrijven)	Verwerkers biomassa
Energieproductie	Boeren (co-vergisting); biomassa	Energiebedrijven, kleinschalige biomassacentrales

11.3 Ontwikkelingen op langere termijn

- Optimalisatie van de oogst, onder meer door eisen te formuleren voor de inrichting van de gebieden, tussenopslag te creëren en dergelijke. Door middel van een proefproject in een beheergebied kan een en ander worden uitgetest.
- Stimulatie van de teelt in speciale gebieden.. Recent is het door PRI geleide Lankheet project gestart. Dit betreft de zuivering en infiltratie van oppervlakte water in speciaal aangelegde rietvelden. Het riet dat vrijkomt kan worden ingezet als brandstof. Een andere mogelijkheid is de combinatie van teelt met (na)zuivering van afvalwater in zuiveringsmoerassen. Er zijn al een aantal zuiveringsmoerassen in gebruik, maar deze zijn alleen bedoeld om het effluent een betere kwaliteit te geven, ze zijn niet ingericht op biomassateelt.

12. Duurzaamheid

Teelt en oogst van waterplanten scoort goed uit oogpunt van duurzaamheid aangezien geen areaal wordt onttrokken aan voedselproductie en de teelt geen schade zal aanrichten in ecosystemen. Combinatie met de functies waterafvoer, waterberging, natuur, recreatie en waterzuivering is goed mogelijk. Inzet van externe nutriënten is niet nodig, er kan gebruik worden gemaakt van het surplus

aan nutriënten in het watersysteem en/of in afvalwater. Oogst van waterplanten kan worden gebruikt om gebieden te verschromen en daarmee de ecologische kwaliteit te verbeteren. Dit zal echter wel leiden tot een vermindering van de productie. Bij vergisting is het mogelijk om de nutriënten (gedeeltelijk) opnieuw in te zetten voor teelt van waterplanten in een zuiveringsmoeras. Echter het digestaat van vergisting kan ook worden ingezet als organische meststof.

Referenties

- [1] Reith, J.H., M. Blom-Zandstra, W. Brandenburg, R.H. Wijffels, J. Steketee, N. Staats, 2003. Transitiepad "Energie en grondstoffen uit Aquatische Biomassa".
- [2] Tauw/LeAF/ECN/Royal Haskoning (2005): OTC studie "Waterplanten als grootschalige energiebron" Rapport R001-4332225JJS-bht-VO2-NL, Tauw, Deventer
- [3] Hutterd, H.R. (2005): Onderzoek naar de toepasbaarheid van biomassa van waterplanten als energiebron. Tauw, Deventer.

Zoutwaterlandbouw

Biosaliene biomassa in Nederland? Een voorbeeld van multifunctioneel landgebruik in een landschap in transitie.

Willem A. Brandenburg

Plant Research International, BU Agrosysteemkunde, Postbus 16, 6700AA Wageningen

1. Beschrijving en afbakening

In het deelpad *Zoutwaterlandbouw / Zilte teelten*, is de benutting van zilte omstandigheden inmiddels algemeen maatschappelijk geaccepteerd. Het oppervlak dat daartoe in 2030 wordt aangewend is 125.000 ha en dat gedeeltelijk vanuit het gemengd zilt bedrijf, waarin gecombineerde productie van vis, schelp- en schaaldieren, algen en wieren en zilte planten leidt tot gesloten stofstromen en derhalve duurzame productie met hoge toegevoerde waarde. Vanuit de zilte teelten moet dan worden gedacht in termen van grootschalige teelt met daartegenover kleinschalige teelt. In het grootschalige scenario kan worden gekomen tot bioenergieteelt op basis van biomassa met daarbij de inschakeling van bestaande gewassen met een gebleken mate van zouttolerantie (bijv. gerst, spelt of biet) of nieuw te introduceren gewassen (bijv. slijkgras in Figuur 1 of kweldergras in Figuur 2).



Figuur 1. Slijkgras – linksboven: *Spartina alternifolia*, rechtsboven en onder: *Spartina townsendii*.

In de zilte omgeving hebben we veel te maken met overgangen: nat naar droog, zoet naar zout, productieomgeving naar landschaps- en natuurontwikkeling.

Op basis van de geproduceerde bulk aan biomassa is het mogelijk met diverse vergistings- en fermentatietechnieken een significante bijdrage te leveren aan de voorziening van biobrandstoffen in combinatie met andere vormen van ruimtegebruik.



Figuur 2 – Kweldergras (*Puccinellia maritima*) te Saaftinghe

2. Kwantitatieve doelen in 2015 en 2030

In het hieraan voorafgaande is aangegeven dat we hier denken aan grootschalige teelt en de combinatie van functies. Dit kan betekenen dat een plant tweemaal wordt benut zoals bij *Spelt* het stro voor elektriciteits- en warmte productie en de korrel als graan voor voedings-of voedertoepassingen, fermentatie tot bio-ethanol en winning van eiwitten. Het kan ook op bedrijfsniveau worden bekeken, waarbij in het gemengd zilt bedrijf bevoeiingsakkers worden benut om specifiek bioenergie gewassen te telen. Biet is daarbij een mogelijkheid waarbij wordt aangesloten bij de mogelijkheid die suiker- en voederbiet bieden als groene energieproducerende gewassen (ethanol, biogas, elektriciteit en warmte) in de conventionele landbouw. Tabel 1 geeft het energiepotentieel voor dit deelpad in 2015 en 2030.

De gemiddelde biomassaproductie is gesteld op 10 ton droge stof /ha en nagegaan wordt nog of dat met verschillende gewaskeuzes onder zilte omstandigheden nog verhoogd kan worden.

Tabel 1. *Energiepotentieel per geschat teeltareaal in 2015 en 2030. Doorgroei naar een groter areaal is waarschijnlijk, maar in zo'n mate afhankelijk van adaptatiestrategieën ten aanzien van het veranderend watermanagement en kustbeheer dat het niet zinvol lijkt om hier iets aan te geven. Uitgegaan is van een opbrengst van 10 ton d.s./ha/jaar, 16 GJ/ton droge stof en aftrek van geraamd energiegebruik (10%) voor teelt, oogst en transport.*

Jaar	Teeltareaal [hectaren]	Biomassaproductie [Ton d.s. x 1000]	Energiepotentieel [PJ]
2015	60.000	600	8,6
2030	125.000	1.250	18

De genoemde grassoorten bestaan voor het grootste deel uit lignocellulose en kunnen worden ingezet voor het produceren van elektriciteit en warmte. Deze grassen en de granen van spelt zijn daarnaast een potentiële bron van eiwit (gemiddeld ca. 20%). Koolhydraten uit spelt en biet kunnen worden benut voor fermentatie tot bio-ethanol of platformchemicaliën zoals melkzuur of voor biogas productie. Stro en loof (lignocellulose) van deze gewassen kunnen dienen voor productie van elektriciteit en warmte. Op langere termijn zal lignocellulose ook kunnen worden benut voor de productie van bio-ethanol en andere fermentatieproducten. In Tabel 2 wordt de vermeden fossiele inzet in 2015 en 2030 aangegeven voor verschillende toepassingen.

Tabel 2. *Energiepotentieel in 2015 en 2030 voor verschillende toepassingen van biosaliene biomassa in Nederland*

Jaar	Biomassa potentieel ¹⁾	Electriciteit & warmte en SNG ²⁾	Fermentatie/ Ethanol ²⁾	Chemie ^{2,3)}
	[PJ]	[PJ]	[PJ]	[PJ]
2015	8,6	3,5	3,5	1,7
2030	18,0	7,2	7,2	3,6

1) 10% is in mindering gebracht voor energieverbruik van agrarisch handelen en logistiek

2) Verdeelsleutel van 2:2:1 voor E&W en SNG, F/E, en chemie

3) In de categorie "chemie" is met name de productie van eiwitten bedoeld

Voor de verwerking van verschillende biomassastromen uit de zilte omgeving is uitgegaan van aansluiting bij andere biomassastromen.

3. Uitgangspositie in Nederland

Op het gebied van de verwerking van biosaliene biomassa in Nederland is nog niet veel ervaring. Het initiatief dat eerder is beschreven met veel perspectief is beschreven door Brandenburg et al., 2004 [1]. Dit betreft wel een oriëntatie op productie onder (sub)tropische omstandigheden en met name gebaseerd op snelgroeiende houtige gewassen onder zilte omstandigheden. Voor dit project is reeds belangstelling getoond door verschillende energieproducenten en –leveranciers. In het geval van biosaliene biomassa in de Nederlandse omstandigheden is het energiepotentieel beperkt. Vandaar de aansluiting die kan worden gezocht bij de andere biomassastromen. Een voordeel ten opzichte van de benutting van zeewier is wel dat bij benutting van genoemde grassen – in combinatie met een neerslagoverschot – de complicatie van zout in het verwerkingsproces een geringe rol zal spelen.

Er zijn initiatieven in EU verband om biosaliene biomassa te exploiteren met betrekking tot energie of energievermijding. Voor de ontwikkeling in Nederland kan aansluiting bij deze initiatieven worden gezocht.

4. Stakeholders in Nederland

In Tabel 3 is een overzicht gepresenteerd van stakeholders uit de verschillende sectoren. Bij Wageningen UR en de VU Amsterdam is de kennis aanwezig om op basis van het concept van het Gemengd Zilt Bedrijf een ecologisch duurzaam en economisch vitaal (zonder subsidie) agrarisch bedrijf op te zetten. Een van de componenten van dit bedrijf is een zilt bevoeiingsveld waar eventueel biosaliene biomassa voor energiedoeleinden kan worden geteeld.

Tabel 3. Overzicht van stakeholders en hun opstelling. +...+++ weinig tot veel steun of weinig tot erg actief; -...- - - zwakke tot sterke oppositie of weinig tot erg passief.

Stakeholder	Steun/opposite	Actief/passief
Beleid en beheer	+/-	+
Provinciale overheden	++	++
Financiële instellingen	++	+
Innovatie platform aquacultuur	++	+
Kennisinstellingen	+++	++
ZLTO	+/-	+
Verwerkende industrie	+/-	+
Industrie	+/-	-

5. Markt

Over de markt is niet veel te zeggen, behalve dat de stroom van Nederlandse biosaliene biomassa een aanvulling vormt op andere stromen en daarmee niet strijdig zal zijn. Wat belangrijk is in dit verband is dat er minder “competing claims” zullen zijn in een zilte omgeving en dat door het concept van het gemengd zilt bedrijf met haar gesloten nutriëntenstromen er een goede combinatie met getijdenatuur-ontwikkeling mogelijk is.

6. Technisch potentieel

Over zilte teelten is reeds veel bekend en ook hoe dit op duurzame wijze onder NL omstandigheden te realiseren [1-3]. Een nieuwe opzet die onlangs is geïntroduceerd is die van het gemengd zilt bedrijf, waarbij de toegevoegde waarde uit open, extensieve aquacultuur (vis, garnaal of schelpdier) wordt gecombineerd met zilte teelten, de teelt van zeewier en de aanleg van bevoeiingsvelden. Zo ontstaat een gesloten circuit van nutriëntstromen op het bedrijf, met andere woorden de input in de vorm van pootvis of ander uitgangsmateriaal wordt gecompenseerd met opbrengst en waarbij zilt water IN = zilt water UIT. Voor een opzet van dit bedrijf is onder Zeeuwse omstandigheden een netto bedrijfsresultaat van $>> \text{€ } 5000, =/\text{ha/jr}$ voorzien. Kennisvragen die daarbij een rol spelen hebben betrekking op de precieze onderlinge dimensionering van productiecomponenten, en het creëren van maatschappelijk draagvlak voor deze combinatie van aquacultuur en andere productiesystemen. Dit bedrijfssysteem voldoet in opzet aan alle relevante EU richtlijnen op het gebied van water, milieu en landbouw. Onlangs is in het kader van de FES gelden een projectvoorstel (getiteld de Zeeuwse Tong) ingediend om deze vorm van productie met een aantrekkelijke landschappelijke aankleding ook daadwerkelijk te doen ontstaan. De biomassa van de bevoeiingsvelden is nu de biomassa die bewerkt kan worden tot energie, zoals in het voorgaande is beschreven. Het betreft hier dan een vorm van decentrale energieproductie, m.a.w. de ondernemer produceert de energie die bijvoorbeeld nodig is om de waterstromen op gang te houden. De opbrengst wordt dan in de vorm van een kostenbesparing geleverd.

7. Internationale context

Verzilting is inmiddels wereldwijd erkend als belangrijke vorm van abiotische stress. Meer dan een miljard hectare landbouwgrond is inmiddels licht tot ernstig verzilt door uiteenlopende oorzaken, maar in alle gevallen leidend tot een verminderde (of geen) opbrengst, als tenminste geen aanpassingen aan het landbouwsysteem zijn aangebracht. Tien jaar geleden was de situatie dat men zilte teelten als iets ludieks afdeed, dan wel het alleen geschikt acht voor kleine lokale niche markten. Het wordt steeds duidelijker dat zilte teelten een effectieve vorm van een adaptatiestrategie vormen met oog op de klimaatsverandering en alle milieuwijzigingen die dat met zich meebrengt. Tot nu toe heeft Nederland daar weinig tot geen oog voor gehad maar met de aandacht bij Wageningen UR en de VU Amsterdam voor het onderwerp, met het particulier initiatief dat vanuit Nederland via het bedrijf Ocean Desert Enterprises te Amsterdam is genomen, met de diverse agrarische ondernemingen in Zeeland die zich de laatste jaren op dit vlak hebben begeven, is dat wel veranderd. Internationaal staat verzilting inmiddels nadrukkelijk op de agenda van de FAO, is er een Internationaal Onderzoekcentrum te Dubai over zilte teelten, en bestaat er in de EU een informeel netwerk van onderzoekers. Met behulp van dit netwerk is het mogelijk om biosaliene biomassa met name in gebieden waar niets anders meer wil groeien als energiegewassen te telen en tegelijkertijd weer aan bodemverbetering te doen.

8. Draagvlak

Biosaliene biomassa, geteeld op 'wastelands', als energieleverancier of als grondstof is uitvoerig beschreven in [1]. Hiervoor is reeds bij het bedrijfsleven belangstelling getoond. Voor een opzet als onderdeel van het gemengd zilt bedrijf bestaat in Nederland eveneens maatschappelijk draagvlak en kan het onderdeel zijn van te vormen consortia van publiek-private samenwerking.

9. Rol overheid

Tot nu toe is in deze de rol van de overheid een afwachtende. Gezien de mogelijkheid tot duurzame plattelandsontwikkeling in deze, lijkt dat onlogisch. In het kader van de transitie naar meer groene grondstoffen, zou dan ook een pilot moeten worden uitgevoerd hoe in het kader van het gemengd zilt bedrijf de 'groene-grondstof' biomassa optimaal kan worden ingepast.

10. Kosten en baten

De kosten van biosaliene biomassa worden geraamd op 50 – 150 € / ton droge stof afhankelijk van het type gewas. De kosten van grassen liggen rond de 50 € per ton d.s., de kosten van gewassen als biet en spelt zullen € 120 – 150 per ton droge stof bedragen.

11. Aanjagen experimenten

Pilot Gemengd zilt bedrijf

Het gemengd zilt bedrijf is in de Nederlandse context uitgangspunt. De pilot onder 9 genoemd zou moeten worden uitgevoerd met als doel vast te stellen hoe in het kader van het gemengd zilt bedrijf de productie van biomassa als bron van 'groene grondstoffen' optimaal kan worden ingepast. In deze pilot zou dan naast de optimale inpassing van zilte bevoeiingsvelden voor groene grondstoffen met name aandacht moeten worden besteed aan het ontwerp van kleine, kosteneffectieve installaties om op het bedrijf energie op te wekken uit (een deel van) de geproduceerde biomassa. Het betreft hier dan een vorm van decentrale energieproductie, m.a.w. de ondernemer produceert in eigen beheer de energie die nodig is om (bijvoorbeeld) de waterstromen op gang te houden. De opbrengst wordt dan in de vorm van een kostenbesparing geleverd.

12. Duurzaamheid

De duurzaamheid van het gemengd zilt bedrijf heeft drie aspecten:

- Het is een economisch gezonde vorm van agrarisch produceren, gezien het gunstige netto bedrijfsresultaat;
- Het is ecologisch verantwoord, want voldoet aan alle moderne normen en richtlijnen van produceren; het bedrijf is zo ontworpen dat het aangrenzend aan een nieuw getijdenatuurontwikkelingsproject kan worden uitgevoerd;
- Het is maatschappelijk verantwoord, want het beoogt naar de toekomst toe bij te dragen aan een evenwichtige plattelandsgemeenschap.

Referenties

- [1] Brandenburg, Willem; Croon, Frank; Faaij, Andre; Hoek, Jeanette (final editing); Kauffmann, Philip; Wagener, Martijn; 2004. Biosaline Biomassa - Energy for the Netherlands in 2040. Ocean Desert Enterprises, Amsterdam, 49pp.
- [2] Hans Langeveld, Andries Koops, Jan Ketelaars, Leo Marcelis, Jan Hassink, Greet Blom & Pieter van de Sanden, 2005. Nieuwe Landbouw-Inventarisatie van kansen. WUR-PRI, Nota 330.
- [3] Zee in Zicht. Zilte waarden duurzaam benut. E. Luiten (Ed), 2004. STT 67. STT/Beweton, Den Haag. I.s.m. Innovatie Netwerk Groene Ruimte en Agrocluster.

Micro-algen

Lolke Sijsma, Wageningen UR, Agrotechnology and Food Sciences Group
Hans Reith, ECN Biomassa, Kolen en Milieuonderzoek

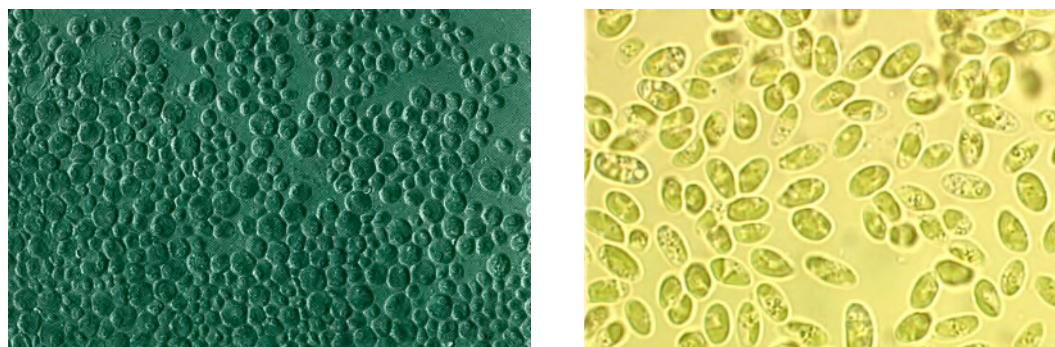
1. Beschrijving en afbakening

Visie

In 2030 vindt de teelt van micro-algen plaats in geoptimaliseerde fotobioreactoren waarin een productiviteit wordt behaald van 30-70 ton droge stof/hectare per jaar. Hiervoor kunnen op land laagwaardige locaties worden gebruikt die ongeschikt zijn voor landbouw en bijv. systemen die gebruik maken van zout of brak water (verzilde grond, zee). De productie wordt gecombineerd met (na)zuivering van afvalwater en vastlegging van CO₂ uit rookgassen. Algenbiomassa wordt gebruikt als bron van bio-olie en eiwitten, CO₂ neutrale bulkproducten en voor energiewinning via productie van PPO, methylester-brandstof ('biodiesel'), fermentatie (CH₄, ethanol) of HTU. Systemen ter grootte van enkele 10-tallen hectares zijn gerealiseerd op of in de nabijheid van industriële locaties, agrarische en tuinbouw gebieden en bij anaërobe vergistingsinstallaties voor verwerking van huishoudelijk of industrieel afvalwater of op zout water locaties. De aquacultuursector voor de teelt van vis, schelp- en schaaldieren is in Nederland in 2030 sterk ontwikkeld. Ook daar worden algensystemen ingezet voor recycling van nutriënten en waterzuivering gekoppeld aan voederproductie. De areaalgrootte in 2030 in Nederland bedraagt 20.000 hectare met een jaarlijkse biomassaproductie van 1 miljoen ton droge stof (20 PJ). Hiermee wordt ca. 500 miljoen m³/jaar water gezuiverd; dit levert een energiebesparing op van 0,9 PJ_e (=2,3 PJ). De netto reductie van broeikasgasemissies voor het deelpad micro-algen in Nederland in 2030 bedraagt ca. 1 Mton CO₂ in de vorm van groene producten en energiedragers. Het totale areaal buiten Nederland bedraagt ca. 1 miljoen hectare met een biomassaproductie van 50 miljoen ton/jaar (1000 PJ).

Productie

Micro-algen zijn fotosynthetische micro-organismen die voor de groei gebruik maken van zonlicht en anorganische voedingsstoffen, met name CO₂, stikstofverbindingen en fosfaat (Figuur 1).



1A: *Chlorella pyrenoidosa* celgrootte 3-5 µm 1B: *Monodus subterraneus* celgrootte ca. 5 µm
Figuur 1 Micro-algen geschikt voor grootschalige teelt (Foto's UvA)

De teelt van micro-algen vindt plaats in zg. fotobioreactoren, uiteenlopend van open vijversystemen (High Rate Algal Ponds), tot semi-gesloten bioreactoren en gecombineerde systemen (Figuur 2). Hiervoor kunnen op land laagwaardige locaties worden gebruikt die ongeschikt zijn voor landbouw (vervuilde bodem, woestijngebieden). Daarnaast kan de ruimte in verzilde gebieden of op zee veel beter worden benut. De productiviteit van algenproductiesystemen is 5 tot mogelijk 10 maal hoger dan van landgebonden teelten. In het Nederlandse klimaat is algenteelt technisch mogelijk en is een productie van 30 ton droge stof/hectare.jaar in open systemen nu reeds haalbaar. In buizenreactoren is –op kleine schaal– in Nederland een productie behaald equivalent aan > 60 ton droge stof/ha.jaar [4]. Optimalisatie tot een productie op grote schaal van 30-70 ton droge stof/hectare (gemiddeld 50 ton/ha) in Nederland biedt een goed perspectief.



Figuur 2 Typen fotobioreactoren voor micro-algenteelt. Links: High Rate Algal Ponds, Earth Rise Farms, Californië, USA. Rechtsboven: Semi-gesloten fotobioreactor IGV, Potsdam, Duitsland. Rechtsonder: Pilot schaal cascade systeem ontwikkeld door ECN, UvA en IVAM [4].

Toepassingen en markt

Micro-algen biomassa kan een belangrijke bijdrage leveren aan de “Biobased Economy”. De micro-algen worden geoogst op locatie en verwerkt tot steekvast massa voor transport naar regionale processing plants. De biomassa is een veelzijdige grondstof voor winning van producten en energiedragers. Dit is een functie van de gekweekte soort (er zijn > 30.000 soorten) en de teeltcondities. Voor bulk productie van groene grondstoffen bieden micro-algen met name potentieel als leverancier van bio-olie en eiwitten. Het oliegehalte kan in de teeltfase worden opgevoerd tot 30 à 40 gew%. Het eiwitgehalte bedraagt doorgaans 30 à 50 gew%. Koolhydraten vormen de derde hoofdcomponent in de biomassa. Hieronder zijn specifieke polysacchariden en op zetmeel gelijkende opslagkoolhydraten.

De oliefractie is rijk aan hoogwaardige vetzuren en kan rechtstreeks worden toegepast als vervanging van visolie of voor de productie van PPO of methylesterbrandstof ('biodiesel'). De biomassa of delen daarvan kan tevens worden benut voor energieproductie via fermentatie (CH_4 , ethanol) of HTU. Andere potentiële bulkproducten zijn agrochemicaliën (zoals bodemverbeteringsmiddelen met gecombineerde bemestende, plantengroei stimulerende en fungicide werking) en functionele ingrediënten in zetmeel- gebaseerde of andere biopolymeren. Daarnaast zijn er afhankelijk van de soort vele mogelijkheden voor winning van specialties waaronder omega-vetzuren, kleurstoffen, polysacchariden met bijzondere eigenschappen en farmaceutisch interessante stoffen zoals antioxidanten en andere bio-actieve stoffen. De productie van dergelijke specialties heeft een beperkt volume maar kan bijdragen aan de initiële marktintroductie. Een alternatief is inzet van de gehele biomassa als voedingsbron voor aquacultuur of als toeslag in veevoeders. Alle toepassingen dragen bij aan vermindering van de fossiele inzet en CO_2 emissies, afhankelijk van de fossiele producten en productieketens die worden vervangen door algenproducten.

Algen biomassaproductie kan uitstekend worden gecombineerd met de (na)zuivering van afvalwater (N en P verwijdering) en directe vastlegging van CO₂ uit rookgassen. Via de effectieve verwijdering van nutriënten kan, afhankelijk van de ingaande stroom, een voldoende (zoet) waterkwaliteit worden bereikt voor hergebruik. Deze inzet leidt tot energie- en kostenbesparing voor zuivering en lozing, verminderd beslag op natuurlijke waterbronnen en "credits" voor de vastgelegde CO₂.

Groene Verwerkingstechnologie in 2030

In 2030 geschiedt de verwerking van aquatische biomassa (afhankelijk van de grondstof en de productielocatie) zowel decentraal in kleinschalige installaties als centraal. Wereldwijd worden grote hoeveelheden biomassa verwerkt via bioraffinage, waarbij gestreefd wordt naar een zo hoogwaardig mogelijke inzet van de verschillende biomassa bestanddelen. Nederland heeft een belangrijke plaats verworven in de internationale biomassahandel en importeert en verwerkt ook grote hoeveelheden aquatische biomassa. De bioraffinage-sector is in Nederland een belangrijke industrietak geworden. Daarbij gaat het in veel gevallen om multifunctionele, geïntegreerde processing fabrieken waar de winning van producten wordt gecombineerd met duurzame energiewinning uit restbiomassa. Voor de fractionering en opwerking zijn geheel nieuwe, 'groene' processen ontwikkeld met een minimaal gebruik van energie en hulpstoffen, gestimuleerd door beleid en regelgeving op dit gebied.

2. Kwantitatieve doelen voor 2015 en 2030

Gaandeweg de ontwikkeling kan in Nederland een substantieel potentieel worden gerealiseerd. In de ontwikkelingsfase zal een bescheiden areaal worden gerealiseerd in de orde van enkele 10-tallen hectares in de vorm van pilot- en demonstratie systemen. In de periode tot 2015 wordt opschaling voorzien tot een areaal van ca. 2.500 hectare (2,5 PJ biomassa). Via verdere doorgroei kan in 2030 in Nederland 20.000 hectare micro-algen teelt worden gerealiseerd met een totale biomassaproductie van 1 miljoen ton droge stof (20 PJ biomassa) per jaar. Het potentieel is aangegeven in Tabel 1.

Tabel 1 *Energiepotentieel micro-algen (20 GJ/ton droge stof) na aftrek geraamd energiegebruik (20%) voor teelt, oogst en transport in 2015 en 2030.*

Jaar	Areaal [hectaren]	Biomassaproductie [ton d.s. X 1000]	Energiepotentieel [PJ]
2015	2.500	125	2
2030	20.000	1.000	16

Tabel 2 geeft een overzicht van het primaire energiepotentieel voor winning van grondstoffen, producten en energiedragers uit in Nederland geproduceerde micro-algenbiomassa in 2015 en 2030.

Tabel 2. *Energiepotentieel voor verschillende toepassingen in 2015 en 2030 van micro-algenteelt in Nederland.*

	Biomassa potentieel ¹⁾ [PJ]	Elektriciteit & warmte [PJ] ⁴⁾	SNG [PJ]	Fermentatie/ ethanol ²⁾ [PJ]	Bio-olie ^{2,5)} [PJ]	Chemie ^{2,3)} [PJ]
2015	2	0,4 ⁴⁾	-	0,2	0,9 (9) ⁵⁾	0,9
2030	16	2,3 ⁴⁾	-	1,6	7,2 (72) ⁵⁾	7,2

1) Na aftrek geraamd energieverbruik voor teelt, oogst en transport van ca. 20%.

2) Uitgangspunt is een verdeling over: fermentatie/ethanol, bio-olie en chemie in de verhouding 10%-45%-45%.

3) In de categorie chemie vallen met name eiwitten en tevens biopolymeren, agro-chemicaliën en andere producten incl. beperkte volumes fijnchemicaliën zoals (kleurstoffen, vetzuren, bioactives).

4) Primaire energiebesparing (vermeden fossiele inzet) voor waterzuivering voor e-rendement 40%.

5) Bij inzet van algenolie als alternatief voor visolie kan de vermeden fossiele inzet een factor 10 hoger bedragen door besparing van fossiele stookolie in de visserijsector. Dit is tussen haakjes aangegeven. Zie toelichting hieronder.

De vermeden fossiele inzet bij vervanging van visolie door olie uit micro-algen kan zeer hoog zijn door de grote hoeveelheden stookolie die benodigd zijn voor de visvangst. De energiebehoefte voor de visvangst (in de vorm van stookolie) bedraagt 60 – 250 GJ ofwel gemiddeld ca. 150 GJ/ton visolie. Bij inzet van algenolie als alternatief voor visolie kan daardoor een ca. 10 maal hogere vermeden

hoeveelheid fossiele inzet worden geboekt per PJ bio-olie door besparing van fossiele stookolie in de visserijsector.

De hoeveelheid gezuiverd water bedraagt in 2030 ca. 500 miljoen m³/jaar, hetgeen een energiebesparing oplevert van 0,9 PJ_e (=2,3 PJ_{th}). Gezuiverd water wordt ingezet als proceswater in de industrie, in land- en tuinbouw en voor infiltratie in de bodem ter bestrijding van de verzilting, die in 2030 een ernstig probleem vormt door de stijging van de zeespiegel. Zeer grootschalige productiesystemen (1.000 hectare en groter) zijn in 2030 buiten Nederland gerealiseerd in woestijngebieden, op verzilte grond e.d. Het totale areaal buiten Nederland in 2030 bedraagt ca. 1 miljoen hectare met een biomassaproductiviteit van 50 miljoen ton droge stof per jaar (ca. 1000 PJ).

3. Uitgangspositie in Nederland.

In de Gouden Eeuw ontleende Nederland zijn rijkdom o.a. aan een goede vloot die de zeeën bevoer op zoek naar handel en nieuwe producten. Momenteel gebruiken wij de zee vooral als jagers en verzamelaars van vis, en als afvalput. Het Nederlandse deel van de Noordzee –met een oppervlak van 1,5 maal de hoeveelheid land– en verzilte kustgebieden en ander laagwaardig oppervlak bieden echter kansen voor productie van aquatische biomassa.

De kennis m.b.t. micro-algen is de afgelopen 10 jaar in Nederland sterk toegenomen. Voor de vereiste techniekontwikkeling is in de Nederlandse R&D sector ruim voldoende expertise aanwezig op het gebied van bioreactortechnologie, productiefysiologie, waterzuivering en productwinning bij Wageningen UR (AFSG, PSG), ECN, IVAM en UvA. ECN heeft een cascade kweekstelsel ontwikkeld voor groot-schalige teelt in combinatie met waterzuivering. WUR-AFSG werkt aan een nieuwe type hoog-productieve fotobioreactor. Recent is in Nederland een 4-tal bedrijven gestart met productie van en onderzoek aan micro-algen. Deze bedrijven –Technogrow, Lgem, Ingrepo en AquaPhyto– werken samen met onderzoeksinstituten en richten zich met name op producten met hogere toegevoegde waarde zoals voeders voor aquacultuur. Daarnaast is er de afgelopen jaren door Nederlandse bedrijven en R&D instellingen veel kennis op het gebied van kweek en verwerking van micro-algen biomassa opgebouwd in diverse projecten [1-7] zoals aangegeven in Tabel 3.

Tabel 3 Overzicht recent uitgevoerde en lopende projecten door Nederlandse partijen.

EU CRAFT	Production and Processing of Algae for Industrial applications. FAIR CT 98-9664.
EU FAIR	Production of polyunsaturated fatty acids by algae. FAIR CT 97-3146
EU KP5	Feed for aquatic animals that contain cultivated marine microorganisms as alternative for fish oil. Q5RS-2000-30271
EET	Duurzame co-productie van natuurlijke fijnchemicaliën en energie uit micro-algen EET
UKR	K9905/398510-1010
DEN	Van visolie naar algen. Duurzame productie van omega-3-vetzuren
OTC	MACHT - Microbiële Afval-Conversie naar Hoogwaardige Transportbrandstoffen Subsidieregeling BSE duurzame energie 2003, DEN 400005338
	Toepassen van microalgenkweeksystemen. Coalitievorming en voorbereiding transitie experiment. Eindrapport OTC project 5005-03-20-01-021. N. Staats et al, 2005.

In Nederland bestaat derhalve zowel bij de R&D sector als bij bedrijven een uitstekende uitgangspositie voor verdere ontwikkeling, opschaling en (uitbreiding van) commerciële implementatie.

4. Stakeholders

De commerciële implementatie van micro-algenproductie in Nederland is momenteel in het beginstadium. De bedrijven die op dit vlak actief zijn kunnen de kern vormen voor de beoogde ontwikkeling, met aanvulling en ondersteuning door o.m. waterschappen, overheden, financiers, industriële verwerkers en energieproducenten. Alle benodigde stakeholders voor de ontwikkeling zijn in Nederland aanwezig (Tabel 4). Voor grootschalige implementatie is ketenontwikkeling noodzakelijk met bijzondere aandacht voor logistiek en verwerking van de biomassa tot producten en energiedragers.

Bij de ontwikkeling in Nederland kan worden aangesloten bij ontwikkelingen elders in Europa (Italië, Duitsland) de VS en Azië. Er bestaan goede contacten met buitenlandse R&D groepen en bedrijven o.a. via de International Society of Applied Phycology, waarin zowel onderzoeksinstituten als bedrijven

actief zijn. Ook zijn er contacten met het IEA Network on Biofixation of CO₂ and Greenhouse Gas Abatement with Microalgae. Dit internationale netwerk richt zich op grootschalige CO₂ fixatie met microalgen en omzetting van de biomassa in hernieuwbare energiedragers o.a. methaan.

Tabel 4. Overzicht en opstelling stakeholders. Betekenis symbolen: +...+++ weinig tot veel steun of weinig tot erg actief; -...--- zwakke tot sterke oppositie, weinig tot erg passief.

Stakeholder	Steun / Oppositie	Actief / Passief
EU		
Rijksoverheid/Rijkswaterstaat	?	+++
Provinciale overheid (Zeeland, NH, Fr)	++	++
Energiebedrijven	?	++
Bioraffinage bedrijven	?	-
Fijnchemicaliën bedrijven	?	+
Visvoerbedrijven	+	+
Gemeentes	?	-
Waterschappen	+	+
Waterzuiveringsbedrijven	-	
AKK Transforum		
Kennisinstellingen (WUR, ECN)	+++	
MKB algen productiebedrijven Technogrow, LGem, Ingrepo, Aqua Phyto	++	

Qua kosten en beschikbaarheid van grotere aaneengesloten oppervlakken voor inrichting van grootschalige teeltsystemen kan ook worden gedacht aan productie locaties in het buitenland.

5. Marktvraag

De huidige markt van micro-algen bestaat voornamelijk uit hoogwaardige toepassingen en bedraagt minder dan 10.000 ton droge stof/jaar met een geschatte marktwaarde van 100 à 200 Miljoen € per jaar. De productie vindt voornamelijk plaats in Azië, de VS en Australië in open vijversystemen (High Rate Algal Ponds) met beperkte selectiviteit en productiviteit. Semi-gesloten fotobioreactoren worden nog beperkt en op kleine schaal commercieel toegepast (Israël, VS, Duitsland) voor aquacultuur en winning van hoogwaardige inhoudstoffen. De belangrijkste huidige toepassingen zijn:

- Voedingssupplementen: productie van hele algen (*Spirulina*; *Chlorella*).
- Aquacultuur: toepassing van hele micro-algen (enkele 10-tallen soorten)
- Cosmetische industrie (o.a. hele algen en extracten)
- β-caroteen: geëxtraheerd uit *Dunaliella* (o.a. door Cognis)
- astaxanthine: geëxtraheerd uit *Haematococcus*

Bij grootschalige productie van micro-algen, met als doel een substantiële reductie van de inzet van fossiele brandstoffen zullen naast deze bekende toepassingen ook nieuwe markttoepassingen moeten worden ontwikkeld. Concrete mogelijkheden daarvoor zijn de productie van bio-olie, eiwitten, biopolymeren, agrochemicaliën, en energiedragers zoals biodiesel of methaan. De winning van specialties (omega-vetzuren, kleurstoffen, polysacchariden met bijzondere eigenschappen, antioxidanten en andere bio-actieve stoffen) kan bijdragen aan de initiële marktintroductie. Gezien de sterke toename van de vraag naar visolie en vismeel in de intensieve aquacultuur en een verwacht tekort liggen hier goede mogelijkheden voor productie met micro-algen. De huidige wereldproductie van visolie bedraagt ca. 1 Mton/jaar. Deze hoeveelheid kan op alternatieve, duurzame wijze worden geproduceerd uit 2,5 à 3,5 Mton micro-algen, ofwel een factor 500 hoger dan de huidige wereld productie.

De belangrijkste marktbarrière is het nog goeddeels ontbreken van de logistieke keten voor grootschalige productie, verwerking en afzet. Daarnaast vormen de relatieve onbekendheid met de mogelijkheden van micro-algen en de relatief hoge productiekosten bij de huidige ontwikkelingsstatus een barrière voor verdere ontwikkeling. Voor grootschalige productie van bulkgrondstoffen, bulkproducten en energiedragers dienen nieuwe bedrijven te worden gevormd. Voor de productie kunnen de huidige MKB bedrijven op het gebied van algenproductie een rol spelen, in samenwerking met bijv. commerciële waterbedrijven, engineers, overheden, financiers en verwerkende industrie. Ook voor grootschalige verwerking van micro-algen biomassa tot producten en energiedragers en B-to-B

marketing moet nieuwe bedrijvigheid worden ontwikkeld. Hierbij kan worden aangesloten bij de activiteiten en expertise van de Nederlandse agro-industrie en biotech sector.

6. Technisch potentieel

Bij de huidige stand van de ontwikkeling worden de productiekosten grotendeels bepaald door de investeringen voor het teeltsysteem en installaties voor het concentreren en ontwateren van de biomassa. De sleutel voor succesvolle ontwikkeling ligt daarmee in belangrijke mate bij verlaging van de investeringskosten, verhoging van de biomassa productiviteit per tijds- en oppervlakte-eenheid (en dus per geïnvesteerde €) en verhoging van de netto opbrengst van gewenste producten zoals olie.

De belangrijkste technische en maatschappelijke ontwikkelingsbehoeften zijn:

- selectie van hoogproductieve, robuuste micro-algensoorten en strains;
- ontwikkeling van geavanceerde productietechnologie en reductie van investeringen door systeemvereenvoudiging en ontwikkeling van nieuwe concentratie- en ontwateringstechnieken;
- ontwikkeling van geavanceerde bioraffinage technologie, en industriële know-how m.b.t. stabilisatie, verwerking en formulering van (variabele) biologische producten in consumentenproducten;
- ontwikkeling van nieuwe producten en toepassingen;
- opschaling en integratie in de (toekomstige) waterzuivering;
- creëren van draagvlak en acceptatie bij verwerkende bedrijven en de consument voor gebruik van mariene producten en ingrediënten.

7. Internationale context

Aan de ontwikkeling van systemen voor productie en verwerking van microalgen wordt onder meer in Japan, Italië, de VS, en Australië gewerkt door R&D instellingen en bedrijven. Door gerichte inspanning in Nederland en de sterke positie van de Nederlandse kennissector en verwerkende industrie kunnen ontwikkelde concepten met succes worden geëxporteerd naar het buitenland. Ook kunnen daar desgewenst productiesystemen worden ingericht met Nederlandse technologie en financiering.

8. Draagvlak

Verwerven van maatschappelijke acceptatie voor algen teeltsystemen en eindproducten is van groot belang. Andere belangrijke voorwaarden voor opbouw van draagvlak hebben betrekking op infrastructurele inpassing en landbeslag.

9. Rol van de overheid

Een belangrijke rol van de overheid is stimulering van de techniekontwikkeling van geavanceerde kweek- en bioraffinage technologie, industriële know-how m.b.t. stabilisatie, verwerking en formulering van (variabele) biologische producten in B-to-B en consumentenproducten, en het opzetten van de logistieke keten. Dit kan worden gerealiseerd door het faciliteren van pilot- en demonstratieprojecten. Van cruciaal belang is de fase te overbruggen tussen R&D en commerciële toepassing. Ook is beleidsmatige ondersteuning gewenst via certificering, heffingen en (uitbreiding van) emissiehandel.

10. Kosten en baten

De huidige productiekosten voor relatief hoogwaardige toepassingen liggen in de range van US\$ 2.000 – 5.000 per ton droge stof. Voor grootschalige productie van bulkproducten en energiedragers dienen de productiekosten substantieel te dalen. Bij punt 6 zijn hiervoor verschillende wegen aangegeven. Qua beschikbaarheid van oppervlak voor grootschalige teeltsystemen en mogelijk lagere kosten kan ook worden gedacht aan locaties in het buitenland met een hogere zonlichtinstraling. Voor verdere ontwikkeling wordt hier uitgegaan van een productiekosten target < 500 €/ton droge stof. Dit ligt in dezelfde orde als in het IEA Network on Biofixation of CO₂ and Greenhouse Gas Abatement with Microalgae waar de kosten target ligt op < US\$ 250 per ton biomassa, te realiseren via teelt in grootschalige en extensieve open systemen. Naast een verlaging van de productiekosten kan tevens een kostprijsreductie worden bereikt door nevenfuncties zoals waterzuivering (gezuiverd water als relatief hoogwaardig bulk-nevenproduct) en opbrengsten uit de vastlegging van CO₂ en NO_x. De

huidige prijs van CO₂ emissie rechten ligt rond de 30 € per ton CO₂. In de VS worden in Californië relatief hoge penalties geheven op de uitstoot van NO_x (orde 5 US\$ /kg NO_x). De Amerikaanse firma GreenFuels ontwikkelt fotobioreactorsystemen voor CO₂ en NO_x verwijdering met micro-algen uit rookgassen van elektriciteitscentrales [8,9]. De algenbiomassa wordt vervolgens ingezet voor brandstofwinning. Hoewel geen gedetailleerde economische gegevens over dit systeem beschikbaar zijn, is het waarschijnlijk dat de baten voor een belangrijk deel bepaald worden door de verwijdering van NO_x en besparing op de-NO_x technologie [9]. In de EU wordt overwogen eisen voor NO_x emissies te regelen via de milieuvergunning. De huidige NO_x emissiehandel in Nederland (die geen succes is wegens het ontbreken van vraag naar emissierechten) zal dan verdwijnen.

De genoemde kostentarget (< 500€/ton) geeft aan dat micro-algenbiomassa primair zal dienen te worden ingezet voor producttoepassingen waarmee een grote besparing van fossiele inzet kan worden bereikt. Dit zijn met name: inzet van algenolie als vervanging van visolie en daarnaast de toepassing van eiwitten als alternatief voor vismeel en/of grondstof voor de productie van N-chemicals en andere groene producten.

In het afgelopen 1/2 jaar is de marktprijs van vismeel voor aquacultuur met 50% gestegen tot ca. 1200 €/ton (bulprijs) resp. ca. 8000 €/ton (voor eindgebruikers). De prijs van visolie is ca. 1000 €/ton. Bij vervanging van deze producten via micro-algenteelt zou de bulk productwaarde per ton algen (uitgaande van een samenstelling van 30% olie en 40% eiwit) op ca. 1000 €/ton droge stof uitkomen.

11. Aanjagen experimenten

MKB's in samenwerking met kennisinstellingen, lokale overheden (provincie, waterschap), en afnemers van de producten zullen een "proof of principle" moeten ontwikkelen waarbij het concept wordt gedemonstreerd en mogelijkheden voor opschaling bekend zijn. Samenwerking met lopende UKR projecten (b.v. op het gebied van productie van algen t.b.v. visolie) is hierbij van belang. De volgende concepten zijn beschikbaar voor deze ontwikkeling.

11.1. Productie van olie en eiwitten met zoutwater algen;

Energiebesparing door vermindering in het verbruik van het stookolie t.b.v. visvangst nodig voor productie van visolie en vismeel.

Momenteel wordt op wereldschaal ongeveer 30 Mton (zoutwater) vis gevangen voor de productie van visolie (1Mton) met hoogwaardige omega-3 vetzuren en eiwit (vismeel, 7 Mton). Visvangst gaat gepaard met een zeer groot verbruik aan stookolie (500 - 2000PJ) en een emissie tot 150 Mton CO₂ (5 kg CO₂ per kg aangevoerde vis). Hoogwaardige oliën en eiwitten worden ook geproduceerd door sommige mariene algen die, in tegenstelling tot de visvangst, CO₂ vastleggen.

Bij de transitie van de huidige industriële procesketen, op basis van olie en eiwit uit gevangen vis, naar één waar deze stoffen grootschalig en duurzaam met algen worden geproduceerd is sprake van een systeemsporg waarbij honderden PJ aan fossiele brandstof bespaard kan worden. Tevens kan een reductie in CO₂ emissie worden gerealiseerd.

11.2 Co-productie van bio-olie en chemicaliën uit micro-algen gecombineerd met waterzuivering

Microalgen bieden een goed perspectief voor de productie van olie ter vervanging van visolie of voor gebruik als brandstof in de vorm van Pure Plantaardige Olie (PPO) of methylesterbrandstof ('biodiesel'). Algenbiomassa kan voor 30 a 40% van het drooggewicht bestaan uit olie. Op lab schaal kunnen zelfs oliegehaltes > 80% worden bereikt. De accumulatie van olie kan worden geïnduceerd door teelt onder stikstof gelimiteerde condities (groenalgen) of silicium (diatomeeën) in zoet, zout of brak water. [9]. De groenalgensoort *Botryococcus sp.* kan grote hoeveelheden koolwaterstoffen accumuleren: typisch 20-60 % van het drooggewicht tot max. 80%, die kunnen worden geëxtraheerd en opgewerkt tot brandstof.

Bij de huidige productiviteit zou in Nederland via algenteelt 8.000 à 10.000 kg olie per ha. kunnen worden geproduceerd (bij een oliegehalte van 30 à 40 gew.%) tegen ca. 1300 kg olie per ha. voor koolzaad. Hieruit kan een hoeveelheid biodiesel worden gemaakt van resp. 9.000-11.000 liter/hectare (algen) en 1.400 liter/hectare (koolzaad). De potentiële olieproductie door algen ligt hiermee per hectare een factor 7 à 8 hoger. De potentiële koolwaterstoffenproductie ligt in dezelfde orde. Door optimalisatie van de biomassaproductie kan de opbrengst per hectare naar verwachting worden verhoogd. Om zo laag mogelijke kosten te bereiken wordt uitgegaan van teelt in open systemen (High

Rate Algal Pond). Als alternatief kunnen geheel nieuwe, extensieve teeltwijzen worden ontwikkeld voor (bijvoorbeeld) grootschalige teelt op kustlocaties of op zee.

In [10] is de kostprijs van biodiesel uit algen voor een 1000 ha algenkweekstelsel geraamd op 15 à 20 € / GJ , vergelijkbaar met biodiesel uit koolzaad. De productie van olie uit algen kan economisch aantrekkelijker worden door raffinage concepten te ontwikkelen voor integrale valorisatie van de biomassa. Hiervoor zijn een aantal mogelijkheden, afhankelijk van de algensoort en de samenstelling van de biomassa. Onder meer co-productie van eiwitten als grondstof voor N-chemicals, hoogwaardige chemicaliën (zoals vetzuren, carotenoiden) en/of nevenproductie van biopolymeren, agrochemicaliën, ingrediënten voor diervoeders, en productie van biogas of ethanol uit reststromen kan een gunstig effect hebben op de kostprijs. Van belang is de nevenproducten zo te kiezen dat het marktvolume matcht met de gewenste schaal voor olie- resp. brandstoffenproductie. Het overall doel is volledige valorisatie van de algen biomassa. Daarnaast kan de productie worden gecombineerd met (na)zuivering (polijsting) van afvalwater tot een herbruikbare proceswaterkwaliteit. Dit levert een reductie van kosten en energiegebruik op voor zuivering en lozing en aanvullende baten door inzet van het gezuiverde water. In [4] is de technische mogelijkheid voor nazuivering van industriële effluenten tot een voldoende kwaliteit voor hergebruik voor koeldoeleinden reeds aangetoond.

Referenties

- [1] EU CRAFT. Production and Processing of Algae for Industrial applications. FAIR CT 98-9664.
- [2] EU FAIR. Production of polyunsaturated fatty acids by algae. FAIR CT 97-3146
- [3] EU KP5. Feed for aquatic animals that contain cultivated marine microorganisms as alternative for fish oil. Q5RS-2000-30271
- [4] J.H.Reith (red), 2004. Duurzame co-productie van natuurlijke fijnchemicaliën en energie uit micro-algen. EET K9905/ 398510-1010. <http://www.ecn.nl/docs/library/report/2004/c04037.pdf>
- [5] UKR. Van visolie naar algen. Duurzame productie van omega-3-vetzuren
- [6] MACHT - Microbiële Afval-Conversie naar Hoogwaardige Transportbrandstoffen Subsidie-regeling BSE duurzame energie 2003, DEN 400005338
- [7] N. Staats et al, 2005. Toepassen van microalgenkweeksystemen. Coalitievorming en voorbereiding transitie-experiment. Eindrapport OTC project 5005-03-20-01-021.
- [8] <http://www.greenfuelonline.com/>
- [9] T. Zoethout, 2006. Algen vreten CO₂. P+ Magazine. Mei/juni 2006.
- [10] Weissman, J.C. & D.M. Tillett, 1992. Design and operation of an outdoor microalgae test facility. Large-scale system results. In Brown, L.M. & S. Sprague. Aquatic Species Project Report FY 1989-90. NREL, Golden Colorado. NREL/MP-232-4174.pp. 32-56
- [11] Braun A.R., J.H. Reith e.a. Algen in de Nederlandse energiehuishouding. EWAB rapport 9304, 1993.

Grootschalige teelt van zeewieren in combinatie met offshore windparken in de Noordzee

Hans Reith, ECN Biomassa, Kolen en Milieuonderzoek

1. Beschrijving en afbakening

Grootschalige teelt van zeewieren in de Noordzee biedt een enorm potentieel als bron van bio-energie en hernieuwbare, groene grondstoffen, chemicaliën en producten voor de bio-based economy. Het door Nederland beheerde deel van de Noordzee omvat 57.000 km², ongeveer 1,5 maal zo groot als het landoppervlak. De Noordzee biedt daarmee een omvangrijk aanvullend areaal voor biomassa productie, waarbij problemen die gelden voor landgebonden teelt –zoals zoetwater verbruik– kunnen worden vermeden. De ruimte op zee kan efficiënt worden benut door de hoge productiviteit van zeewier en combinatie met andere gebruiksfuncties.

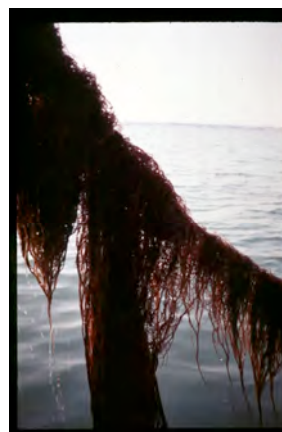
Zeewieren of “macro-algen” vormen een zeer diverse groep plantaardige, bladachtige organismen met soorten die een lengte van enkele centimeters tot tientallen meters kunnen bereiken. Wereldwijd wordt ca. 10 miljoen ton zeewier per jaar ingezet voor verschillende doeleinden. Jaarlijks groeit de productie met 2 à 3 procent. De bulk komt voor rekening van een 40-tal bruine, rode en groene zeewiersoorten, via teelt op kustgebonden locaties (90%) en oogst van natuurlijke populaties uit zee (10%). (Figuur 1)



A
A: *Macrocystis pyrifera* (Giant Kelp, California, USA) © C.J. Dawes



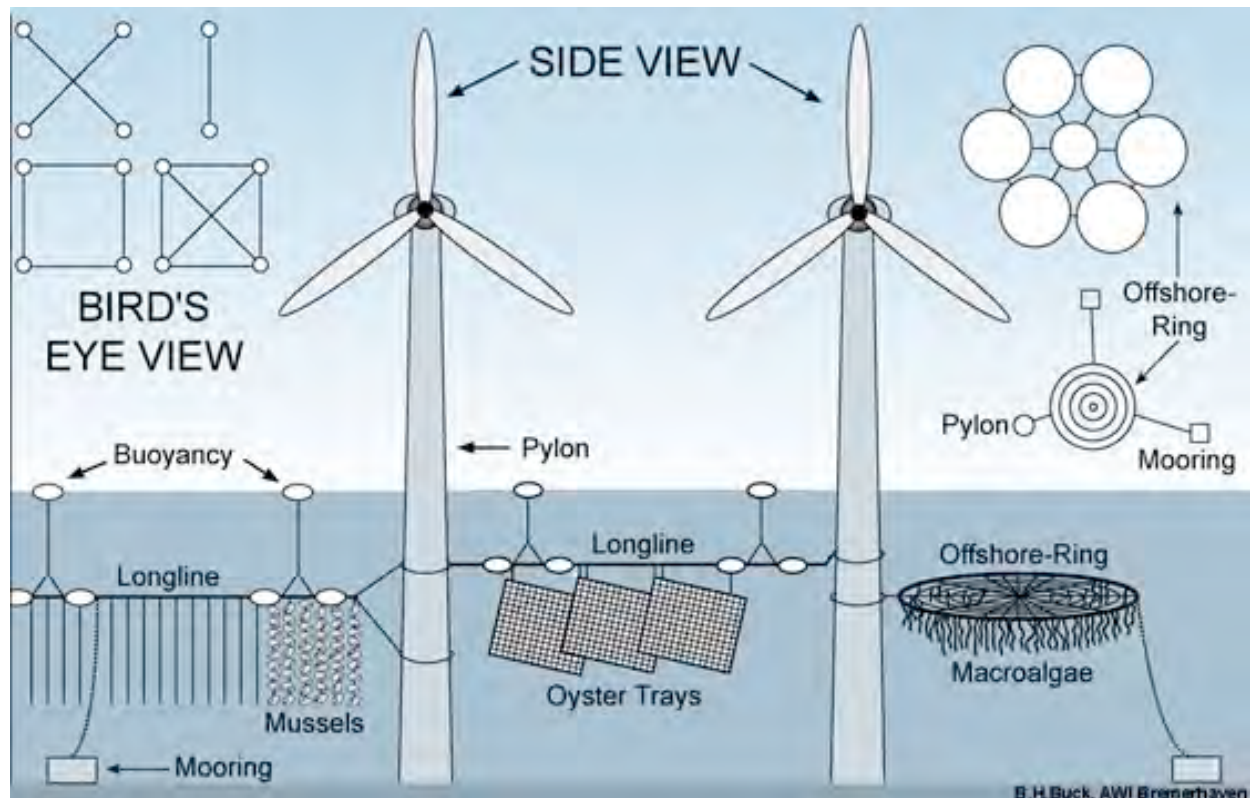
B
B: *Laminaria digitata* (Yorkshire, England) © M.D. Guiry



C
C: lijnteelt *Gracilaria*

Figuur 1. Enkele zeewiersoorten die commercieel worden geëxploiteerd.

Grootschalige teelt van zeewieren kan plaatsvinden aan lijnsystemen of andere structuren die drijven en/of onder het wateroppervlak zijn verankerd. Lijnsystemen worden het meest toegepast [10]. In de Nederlandse Exclusieve Economische Zone (NEEZ) van de Noordzee worden de komende decennia offshore windparken gerealiseerd. De ondersteuningsconstructies van de windturbines kunnen worden gebruikt als verankering van systemen voor grootschalige zeewierenkweek. Deze combinatie met offshore wind kent een aantal synergetische aspecten die de economische rentabiliteit van beide activiteiten ondersteunt, zoals gezamenlijk beheer en onderhoud. Daarnaast is combinatie mogelijk met andere vormen van aquacultuur zoals teelt van vis, mosselen, oesters e.d. (Figuur 2). Ook stand-alone kweeksystemen zijn denkbaar zoals drijvende productiefaciliteiten of innovatieve productie-eilanden waarop elektriciteitsproductie met windturbines wordt gecombineerd met aquacultuur.



Figuur 2. Meervoudig ruimtegebruik door combinatie van offshore windparken met verschillende vormen van aquacultuur. De figuur toont de combinatie van windturbines met een "longline" systeem voor teelt van mosselen of oesters en een ringsysteem voor zeewierenteelt [10]

Zeewierenteelt biedt uitstekende perspectieven voor duurzaam en meervoudig ruimtegebruik van de Noordzee, het creëren van nieuwe werkgelegenheid voor de visserij- en offshore sector en van nieuwe industriële activiteit voor teelt, logistiek en verwerking [2-6]. Ook elders in Europa wordt actief gewerkt aan realisatie van zeewierenteelt. Naast teelt in de Noordzee bestaat uiteraard ook de mogelijkheid elders gekweekte zeewierenbiomassa of halffabrikaten in Nederland te verwerken.

2. Kwantitatieve doelen voor 2015 en 2030.

Potentiële biomassa bijdrage van zeewierenteelt in de Noordzee

Zeewieren kunnen een hoge productiviteit bereiken door de hoge groeisnelheid en de snelle opname van nutriënten en CO₂ uit het watrig milieu. Voor de Noordzee biedt teelt van groene en bruine of rode zeewiersoorten in een gelaagd teeltsysteem een aantrekkelijk perspectief, omdat het invallend zonlicht optimaal wordt benut door verschillen in absorptiekenarakteristiek. Dit beperkt het benodigde oppervlak en bevordert de inpassing in andere vormen van zeegebruik. Integratie van zeewierenteelt met andere aquacultuur vormen is een reële mogelijkheid. Concrete mogelijkheden voor de Noordzee zijn combinaties met mosselenkweek of viskweek [4]. Zonder nutriëntentoevoer zal de productiviteit in de Noordzee naar verwachting ca. 20 ton droge stof/ha.jaar (2000 ton /km²)bedragen. Door gedoseerde nutriënttoevoer en/of teelt in gelaagde systemen kan dit naar verwachting worden verhoogd tot ca. 50 ton droge stof/ha.jaar (5000 ton/km²).

De biomassabijdrage hangt af van het gerealiseerde teeltareaal waarbij primair wordt uitgegaan van combinatie met offshore windparken. De overheidsdoelstelling van 6.000 MW offshore windvermogen (ca. 1000 km²) in 2020 lijkt losgelaten, maar verwacht mag worden dat in de komende decennia een aantal windparken zal worden gerealiseerd. Een potentieelraming voor het Nederlandse deel van de Noordzee is in Tabel 1 gegeven als functie van het gerealiseerde windpark areaal. Daarbij is uitgegaan van windparken met 100 turbines van 5 à 6 MW, met een oppervlak van 100 km², een biomassaproductie van 5000 ton/km² en een energie-inhoud van 14 GJ/ton zeewier (droge stof basis). Voor teelt, oogst en transport is 10% in mindering gebracht op het bruto potentieel.

Tabel 1. *Energiepotentieel zeewierenteelt in de Noordzee in 2015 en 2030 en op langere termijn, met aftrek van 10% voor teelt, oogst en transport. Aangegeven als functie van gerealiseerd windareaal, echter deze combinatie is niet noodzakelijk.*

Jaar	Aantal wind-parken [à 100 km ²]	Areaal [km ²]	Biomassa productie [ton d.s. x 1000]	Energiepotentieel [PJ]
2015	5	500	2.500	31,5
2030	20	2.000	10.000	126
Na 2030	50	5.000	25.000	315

Op langere termijn behoort doorgroei naar 5000 km² tot de mogelijkheden (9 % van het Nederlandse deel van de Noordzee) met een potentiële opbrengst van 25 miljoen ton droge stof per jaar (315 PJ na aftrek 10% energiegebruik voor oogst en transport).

Groene grondstoffen, producten en energiedragers uit zeewierenbiomassa

Zeewierenbiomassa is geschikt voor winning van een scala aan CO₂-neutrale producten en energiedragers. Op de eerste plaats producten die tegenwoordig al worden gewonnen zoals phycocolloïden (alginaten, agar, carrageen), voedingssupplementen, diervoeders, meststoffen en ingrediënten voor personal care producten. Deze producten en gebruik als voedingsmiddelen kunnen bijdragen aan de initiële marktontwikkeling. Door het hoge polysacchariden gehalte (ca. 60 gew%) is zeewier tevens geschikt voor productie van gasvormige en vloeibare brandstoffen via fermentatie (methaan, bioethanol) of bio-olie (HTU) en van platformchemicaliën zoals melkzuur, propaandiol en biopolymeren die petrochemische bulkproducten kunnen vervangen. Zeewieren zijn daarnaast een potentiële bron van eiwitten, mannitol, vetzuren, kleurstoffen en bio-actieve stoffen. Zeewieren hebben een hoog gehalte aan mineralen (20 a 30 gew%) die kunnen worden benut voor winning van minerale producten zoals jodium, broom, meststoffen ('potash') of worden teruggevoerd naar de kweeksystemen op zee.

Zeewierenbiomassa is hiermee bij uitstek een grondstof voor bioraffinage voor economisch en ecologisch optimale winning van combinaties van CO₂ neutrale producten en energiedragers via fractionering en secundaire conversie die optimaal gebruik maakt van de eigenschappen van de verschillende biomassafracties.

De verwerking kan deels of geheel op zee plaatsvinden en/of in multifunctionele bioraffinage fabrieken waar winning van producten en energiedragers is geïntegreerd. Gezien het hoge watergehalte bij oogst (85-90%) is in ieder geval een ontwateringsstap op zee noodzakelijk om kosten en energiegebruik van transport te beperken [4]. Uit logistiek oogpunt kunnen verwerkingsinstallaties worden gerealiseerd op de Maasvlakte in het Eemshavengebied of in (voormalige) visserijhavens. Import van onbewerkt zeewier ligt niet voor de hand gezien het hoge watergehalte. Wel is het mogelijk om geconcentreerde biomassa of andere tussenproducten te importeren en in Nederland te verwerken.

Onderstaande Tabel 2 geeft een raming van de potentiële vermeden fossiele inzet voor verschillende toepassingen in de jaren 2015 en 2030 en op langere termijn voor teelt in de Noordzee.

Tabel 2. *Energiepotentieel voor verschillende biomassatoepassingen van zeewierenteelt in het Nederlandse deel van de Noordzee in 2015 en 2030 (en op langere termijn).*

	Biomassa potentieel ¹⁾ [PJ]	Elektriciteit & warmte ²⁾ [PJ]	SNG [PJ]	Fermentatie/ ethanol ²⁾ [PJ]	Bio-olie ^{2,4)} [PJ]	Chemie ^{2,3)} [PJ]
2015	31,5	3,2	-	7,9	7,9	12,6
2030	126	12,6	-	31,5	31,5	50,4
Langere termijn	315	31,5		79	79	126

1) Na aftrek 10% energieverbruik voor teelt, oogst en transport

2) Uitgangspunt is een verdeling over de categorieën elektriciteit/warmte (met name via de productie van biogas), fermentatie/ethanol, bio-olie en chemie/groene producten in de ratio 1:2,5:2,5:4.

3) In de categorie chemie vallen eiwitten, polysacchariden, platformchemicaliën via fermentatie, biopolymeren, agro-chemicaliën, mannitol en beperkte volumes fijnchemicaliën (kleurstoffen, vetzuren, bioactives).

4) Productie van bio-olie via HTU.

3. Uitgangspositie in Nederland

Aansluitend aan de erkenning van het Transitiepad “Aquatische Biomassa” [2,3] is de haalbaarheidsstudie “Bio-Offshore” uitgevoerd [4]. Deze verkenning heeft inzicht opgeleverd in:

- de technologie van zeewierenteelt inclusief mogelijkheden voor combinatie met offshore windparken,
- voor teelt in de Noordzee geschikte snelgroeiende, inheemse zeewiersoorten.
- logistiek en verwerking van zeewieren tot energiedragers en producten
- voorwaarden voor inpassing in beheersfuncties van de Noordzee en (inter)nationaal beleidskader en het verwerven van maatschappelijk draagvlak.
- De ontwikkelingen wereldwijd en in Europa zijn in kaart gebracht.

De verkenning toont dat zeewierenteelt in de Noordzee technisch haalbaar met voldoende economisch potentieel. De benodigde techniekontwikkeling en de kritische succesfactoren zijn geïdentificeerd. De belangrijkste aanbeveling is een pilot experiment uit te voeren op een locatie in zee teneinde de technologische en ecologische aspecten te onderzoeken en een beter beeld te krijgen van de economische haalbaarheid. Hiermee is een eerste aanzet aanwezig voor de ontwikkeling in Nederland.

De benodigde kennis kan worden geleverd door verschillende WUR instituten en ECN in samenwerking met de offshore sector, exploitanten van windparken, visserijsector, land- en tuinbouw, agro-industriële bedrijven (suiker, zetmeel, ethanol), de chemie en met nieuw op te zetten bedrijven. De geplande offshore windparken NSW en Q7 bieden een uitstekende gelegenheid om de ontwikkeling te starten. Een voorstel voor uitvoering van een pilot experiment is ingediend in de FES ronde “Groene Grondstoffen” (2005).

De Associatie Technologie Overdracht (ATO) verkent momenteel de mogelijkheden van zeewierenteelt voor de provincie Noord-Holland. Het deelpad ‘Zeewieren’ past ook goed in het lopende debat over het toekomstig gebruik van de Noordzee en de plannen die worden ontwikkeld voor geïntegreerde aquaproductieparken [6]. Ook is aansluiting mogelijk bij Transitie-initiatieven op het gebied van bioraffinage in Noord-Nederland en het Sea Wing project [5].

4. Stakeholders in Nederland en in het buitenland

In [4] zijn stakeholders geïdentificeerd uit de sectoren: beleid en beheer, financiële instellingen, (internationale) kennisinstellingen, exploitanten van offshore windparken, offshore bedrijven, producenten van biobrandstoffen en fermentatieproducten en maatschappelijke organisaties/NGO's. Bij Nederlandse kennisinstellingen is ruime expertise aanwezig voor het ontwikkelen van een optimaal teeltsysteem en het ontwerpen van de processingtechnologie, aangevuld met partners uit de energie- en offshore sector, de verwerkende industrie, eindafnemers en financiers. Er zullen nieuwe logistieke ketens moeten worden opgezet (zie 5) waarbij AKK en Transforum een rol kunnen spelen. Daarnaast is samenwerking met overheden (m.n. RWS Directie Noordzee) en natuur- en milieuorganisaties vereist om gedurende de ontwikkeling een continue duurzaamheidstoets in te bouwen. Naar andere

stakeholders in de samenleving dient een communicatietraject te worden opgezet om draagvlak te creëren en eventueel noodzakelijk geachte aanpassingen gaande het transitiepad te realiseren.

Internationaal dient samenwerking te worden gezocht met partijen (R&D, bedrijven) in landen die reeds actief zijn op het gebied van zeewierteelt en –verwerking in de EU en Azië. Ook dient aansluiting te worden gezocht bij elders in de EU lopende projecten via samenwerking met Alfred Wegener Instituut (D), Ifremer (F) en het Irish Seaweed Centre. Voor realisatie lijkt publiek-private samenwerking aangewezen gezien de omvang en de infrastructurele eisen.

In principe zijn alle partijen voor het slagen van dit transitiepad aanwezig. Een eerste evaluatie van de mate van steun/oppositie en invloed (actief/passief) is hieronder aangegeven. Verwacht mag worden dat veel stakeholders (nog) een afwachtende houding aannemen (+/-).

Tabel 3 Overzicht en opstelling stakeholders. Betekenis symbolen: +...+++ weinig tot veel steun of weinig tot erg actief; -...--- zwakke tot sterke oppositie, weinig tot erg passief.

Stakeholder	Steun/Oppositie	Actief / Passief
Beleid en beheer (RWS-DNZ)	+/-	++
Provinciale overheden (Zeeland, NH, Fr)	++	++
Financiële instellingen	+/-	+
Innovatieplatform Aquacultuur	+++	++
R&D instellingen (nationaal en internationaal)	+++	++
Exploitanten offshore windparken	+/-	++
Offshore bedrijven (engineering, logistiek)	+	++
Verwerkende industrie	+/-	+
Industriële eindafnemers	+/-	-
Olie- en gasexploitanten Noordzee	--	++
Scheepvaart	--	++
Energiesector	+/-	++
NGO's	+/-	+++
Potentiële zeewierproducenten (visserij, landbouw)	+++	+/-
Consumentenorganisaties	+/-	++

5. Marktvraag

Wereldwijd wordt ca. 10 miljoen ton zeewier (ca. 2 miljoen ton droge stof) per jaar geproduceerd en toegepast in voeding, diervoeders, meststoffen, chemicaliën, cosmetica en farmaceutische producten. De totale omzet bedraagt ca. 6 miljard US \$ met een groei van 2 à 3 procent per jaar.

De belangrijkste toekomstige klanten/afnemers zijn de verwerkende industrie waaronder de chemie, de agro- en fermentatie-industrie, de voedingsmiddelen- en veevoederindustrie en de energiesector. Voor initiële marktontwikkeling in Nederland lijken bekende toepassingen met hogere toegevoegde waarde voldoende perspectief en omvang te bieden, met name: winning van phycocolloïden (zeewieren uit koudere wateren leveren de beste kwaliteit), vers zeewier voor consumptie en toepassing in “personal care” producten. Vrijkomende (rest)biomassa kan op korte termijn reeds nuttig worden gebruikt voor methaan- of elektriciteitsproductie via vergisting. Op middellange termijn kunnen geheel nieuwe toepassingsmogelijkheden zoals de productie van platformchemicaliën (via fermentatie) worden ontwikkeld met grote marktomvang. Het marktvooruitzicht voor hoogwaardige inhoudstoffen (vetzuren, kleurstoffen, bio-actieve stoffen) is op dit moment minder duidelijk. Zeewieren bieden op dit punt interessante mogelijkheden die nader moeten worden onderzocht.

Marktbarrières

De belangrijkste marktbarrière is de ecologisch verantwoorde inpassing van grootschalige zeewierkweek in de Noordzee en de daaraan gekoppelde vergunningverlening [4]. Ter beoordeling van de ecologische effecten en inpassing in beleid en regelgeving is uitvoering van een pilot experiment de aangewezen weg.

Voor de realisatie dient een nieuwe keten te worden ontwikkeld. Wel is aansluiting mogelijk bij bestaande economische activiteiten. Teelt en oogst kan een nieuwe activiteit worden van exploitanten van windparken, de visserij- en offshore sector en mogelijk de land- en tuinbouwsector voor voorkweek van zeewierenmateriaal. Voor de verwerking is cascadering/bioraffinage de aangewezen

weg. Afhankelijk van de toepassing(en) dient samenwerking te worden gezocht met de voedings- en veevoedersector, de agro-industrie, de chemie en de fermentatie-industrie en de energiesector. Uit een peiling van bedrijven blijkt dat het potentieel wordt erkend maar dat nog grote technologische onzekerheden bestaan [4]. Bij de ketenontwikkeling is aandacht gewenst voor de eisen van (industriële) eindgebruikers en de consument.

6. Technisch potentieel/ benodigde ontwikkeling

Teelt en oogst

Voor grootschalige zeewierteelt in volle zee is de nodige ontwikkeling noodzakelijk. De belangrijkste kritische succesfactor is de ontwikkeling van een ecologisch inpasbaar, efficiënt teeltsysteem dat voldoet aan de eisen voor inpassing in offshore windparken en met een goed beheersbare, optimale biomassaproductiviteit. Hierin zijn als deelaspecten te onderscheiden:

- Voorkweek en enten van zeewieren
- De constructie van het kweekstelsel, dat robuust en stabiel dient te zijn in het dynamische zeemilieu en tevens moet voldoen aan de eisen voor inpassing in offshore windparken. Het optimale systeemontwerp voor grootschalige toepassing is onbekend.
- Het systeem moet een optimale productiviteit kunnen bereiken bijv. door een gelaagde opstelling. De kweek van de geselecteerde zeewiersoorten (inclusief voorkweek, enten) moet worden getest.
- Er dient technologie te worden ontwikkeld voor het oogsten, voor de eerste ontwatering (en mogelijk andere bewerkingen) op zee en voor transport en logistiek.
- Het systeem moet zo zijn ingericht dat migratie van zeezoogdieren niet wordt belemmerd of verstoord
- Voor eventuele nutriëntentoevoer dient een precisietechniek te worden ontwikkeld zodanig dat eutrofiëring van het zeewater is uitgesloten. De mogelijkheid van hergebruik van nutriënten die vrijkomen bij verwerking van de zeewieren moet worden onderzocht.
- Eventuele positieve neveneffecten op het milieu en natuurwaarden moeten worden onderbouwd/aangetoond.

Verwerking tot producten en energiedragers

Een tweede belangrijke ontwikkelingsbehoefte betreft de verwerking van de zeewieren tot producten en energiedragers. In eerste aanleg kan bij winning van bekende producten zoals phycocolloïden, mannitol en de valorisatie van eiwitten gebruik worden gemaakt van bestaande verwerkingstechnologie [9]. en productie van energiedragers (methaan, elektriciteit) via anaërobe vergisting en/of productie van bio-olie via HTU. Zeewieren kunnen in zijn geheel worden ingezet voor energieproductie ofwel de (natte) residuen na extractie van producten of fermentaties. Voor andere producten dient nieuwe technologie te worden ontwikkeld zoals voor de hydrolyse en fermentatie van polysacchariden tot bioethanol en platformchemicaliën zoals melkzuur, biobutanol of propaandiol. Tevens wordt aanbevolen een nadere identificatie uit te voeren van hoogwaardige inhoudstoffen zoals vetzuren, kleurstoffen en bio-actieve stoffen die uit de geselecteerde zeewieren kunnen worden gewonnen.

7. Internationale context

Teelt en verwerking van zeewieren is een sterk groeiende bedrijfstak in China, Japan, de Filipijnen en Indonesië. In de VS en diverse Europese landen (o.a. Spanje, Frankrijk, Ierland en Noorwegen) worden natuurlijke populaties geëxploiteerd. In de EU wordt o.a. in Frankrijk, Duitsland en Ierland gewerkt aan de realisatie van zeewierteelt in zee [7-10]. De kansen voor succesvolle ontwikkeling in Nederland worden met name bepaald door de ecologische inpasbaarheid en de daaraan gekoppelde vergunningverlening en de opbouw van draagvlak. De benodigde kennis is deels in huis bij Nederlandse R&D instellingen en kan worden aangevuld met expertise elders uit Europa. Samenwerking in EU verband is evident gezien de internationale dimensie van ruimtegebruik op zee en de internationale regelgeving en verdragen, waarop (ook) het Nederlandse beleid is gebaseerd.

In de technologische ontwikkeling van (voor)kweek, oogst, logistiek en verwerking van zeewierenbiomassa kan Nederland een belangrijke rol spelen gezien de sterke positie van de Nederlandse R&D sector en de traditioneel sterke positie van de offshore, de visserijsector en de verwerkende (agro)industrie en biotechnologie. Nederland heeft een vooraanstaande positie in offshore techniek maar ook op landbouwkundig gebied (teeltkunde, veredeling) en kan dit via dit

deelpad uitbreiden door beide te combineren. Hierdoor ontstaat werkgelegenheid op een nieuw gebied en een versterking van werkgelegenheid op het bestaand gebied van onze mariene activiteiten.

Nederland beschikt over een sterke logistieke sector en zeehavens die een belangrijke rol spelen bij de aan- en doorvoer van grote volumes aan agro- en biomassa grondstoffen en producten. Momenteel worden bio-ethanol fabrieken gepland in de havens van Amsterdam en Rotterdam. Op termijn kunnen deze activiteiten worden uitgebreid met verwerkingsinstallaties voor zeewieren. De ontwikkeling kan een impuls geven aan de positie van Nederland als spil in de internationale biomassahandel en –verwerking en de ontwikkeling van de aquacultuursector in ons land.

8. Draagvlak

Het verwerven van maatschappelijk draagvlak is een kritische succesfactor. Voorwaarde daarvoor is het realiseren van een productiesysteem met een minimale belasting van het mariene ecosysteem en economisch rendabel produceren. Daarnaast moet aandacht worden besteed aan de ruimtelijke inpassing, natuurwaarden en mogelijk conflicterend ruimtegebruik. De Noordzee behoort tot de zeeën waarop de meeste menselijke activiteiten plaatsvinden. Deze vallen uiteen in drie categorieën in volgorde van afnemend economisch belang: gas- en oliewinning, scheepvaart en visserij. De belangen, die daarmee gemoeid zijn, zijn niet zelden conflicterend.

Bij de bepaling van maatschappelijke randvoorwaarden speelt een aantal zaken een rol. Sommige dragen in positieve zin bij, andere in negatieve zin en soms is het niet duidelijk:

- Positief: groene energie, kraamkamerfunctie.
- Negatief: mogelijk prijsopdrijvend, milieubelasting ten gevolge van eutrofiëring (bemesting), impact op zeezoogdieren en vogels.
- Onduidelijk: ruimtebeleving (geen activiteiten op de zee; het laatste ongerepte gebied op aarde tot een duurzaam gebruik van tot nu toe niet benutte natuurlijke hulpbronnen), veiligheid (onzekerheid over risico's voor mens en milieu tot multifunctionaliteit is goed).

Het doel moet in de eerste plaats zijn om middels een pilot project met een begeleidend monitoring-programma aan te tonen dat zeewierenteelt economisch vitaal en ecologisch duurzaam is, en in dit experiment een component in te bouwen om het maatschappelijk draagvlak te bepalen en in dialoog indien nodig en mogelijk te vergroten. Dit is temeer nodig omdat de ontwikkelingen op de Noordzee door burgers (individueel en in georganiseerd verband) kritisch worden gevolgd.

9. Rol van de overheid

Bij de ontwikkeling is bij uitstek een rol weggelegd voor de Rijksoverheid, gezien haar functie als beheerder en vergunningverlener. De RWS Directie Noordzee (DNZ) is bereid de ontwikkeling te begeleiden. DNZ is als integraal waterbeheerder van het Nederlandse deel van de Noordzee verantwoordelijk voor uitvoering van het (inter)nationale waterbeleid en het operationeel beheer en heeft een stimulerende rol bij het inpasbaar maken van -bestaande en nieuwe- activiteiten in de Noordzee en de afstemming in (inter)nationale regelgeving en beleidskader. Streven daarbij is verontreiniging te voorkómen en verstoring te minimaliseren. DNZ besteedt reeds aandacht aan (mogelijke) combinaties van offshore windparken met aquacultuur, zoals de teelt van mosselen.

Gelet op de complexe regelgeving is multifunctioneel ruimtegebruik op de Noordzee nog lang niet vanzelfsprekend, vooral niet als het om grootschalige projecten gaat. Parallel aan de technologische ontwikkeling wordt dan ook aanbevolen initiatieven te ontplooien om bij de huidige opzet van vergunningverlening voor offshore windparken harmonisatie met de vergunningverlening voor aquacultures en de gezamenlijk MER aanvraag te bewerkstelligen.

De overheid kan voorts een simulerende rol spelen via:

- het faciliteren van demonstratieprojecten,
- invoering van duurzaamheidscriteria als grondslag voor planvorming, regelgeving en vergunningverlening. Er dient ruimte te zijn voor de integratie van biologische productiesystemen in het milieu en koppeling met natuurontwikkeling en waterkwaliteitsbeheer.
- certificeringssystemen op basis waarvan financiële prikkels kunnen worden gegeven (waar nodig).

10. Kosten en baten

Beschikbare investeringsramingen inclusief oogst voor grootschalige, offshore zeewier kweeksystemen (250 – 400 km²) uit de literatuur variëren van 1 tot 4 miljoen US \$ per km² [9]. Hierin is nog geen rekening gehouden met combinatie met offshore windparken, waardoor de kosten mogelijk kunnen dalen.

In [4] is getracht een beeld te krijgen van de productiekosten en potentiële marktwaarde van zeewierenbiomassa op basis van gegevens uit de literatuur. De uitkomsten hebben slechts indicatieve waarde, omdat de beschikbare gegevens een grote spreiding tonen en grotendeels zijn ontleend aan systeemontwerpen uit het Amerikaanse *Marine Biomass Program* (1968-1990). De gegevens tonen productiekosten van 20-50 US\$ per ton droge stof voor grootschalige “nearshore” teelt tot 100-400 US\$ per ton droge stof voor “offshore” lijnteelt. Benadrukt wordt dat de genoemde kosten hoogst onzeker zijn en niet representatief zijn voor teelt in de Noordzee en de combinatie met offshore windparken. Een nadere kostenraming op basis van een voorontwerp is nodig. De belangrijkste kostenfactoren zijn de investeringen en onderhoudskosten voor het teeltsysteem en de investeringen en operationele kosten voor het oogsten. De biomassaproductiviteit heeft een groot effect op de kostprijs.

De kosten van “offshore” geteelde zeewieren lijken (te) hoog voor uitsluitend energieproductie. Voor “near-shore” geteeld zeewier is uitsluitend energieproductie mogelijk wel haalbaar. Offshore teelt voor de winning van phycocolloïden, mannitol, platformchemicaliën, fijnchemicaliën en afzet van zeewier voor consumptie kan naar verwachting rendabel worden uitgevoerd. Ook de waarde van gecombineerde winning van chemicaliën en energiewinning uit restbiomassa toont voldoende marge voor economisch rendabele offshore productie [4].

Realisatie van dit deelpad zal een substantiële bijdrage leveren aan het creëren van nieuwe werkgelegenheid voor de offshore en de visserij- en de landbouwsector, de logistiek en de verwerkende industrie. Het totaal economisch effect wordt geschat op 2,5 tot 10 miljard €/jaar in resp. 2015 en 2030.

11. Duurzaamheidsaspecten

De ecologisch verantwoorde inpassing van kweeksystemen in het natuurlijk milieu is de belangrijkste kritische succesfactor voor grootschalige zeewierenteelt in de Noordzee. Met de selectie van inheemse zeewiersoorten is in principe voldaan aan de eisen ten aanzien van het voorkómen van verstoring door introductie van gebiedsvreemde soorten. Nutriëntentoevoer is niet toegestaan tenzij wordt aangetoond dat er geen eutrofiëring kan optreden. Ook mag geen verstoring optreden van leefpatroon en migratie van zeezoogdieren. Daarnaast is onderzoek nodig naar mogelijke eutrofiëring en zuurstofloosheid in gebieden waar afgebroken zeewierfragmenten kunnen sedimenteren. Potentiële positieve effecten door meervoudig ruimtegebruik, combinatie met kweek van vis en schelpdieren en het vormen van herstelgebieden voor visbestanden (“kraamkamerfunctie”) kunnen de ecologische inpasbaarheid en het draagvlak vergroten maar moeten eerst worden onderbouwd/aangetoond. De ecologische effecten bij de teelt van zeewieren moeten nader worden onderzocht. Mogelijk resulteert dit in bepaalde randvoorwaarden. Anderzijds wordt slechts een beperkt deel (< 10%) van het Nederlandse Noordzee areaal benut.

Voor zeewierenteelt en -verwerking is de verwachting dat volledige valorisatie van biomassa mogelijk is, er geen gebruik van schaarse (zoet)watervoorraden optreedt en geen concurrentie met voedselvoorziening/visserij door parallelle ontwikkeling van vis- en schelpdierenteelt. Het oogsten van zeewieren gebeurt geleidelijk, zodat niet plotseling in omvangrijke gebieden de levenskansen voor andere organismen afnemen. Gunstig is ook dat de teelt van zeewieren door de opname van CO₂ zal bijdragen aan een terugdringing van de verzuring van de oceanen. Potentiële positieve effecten door meervoudig ruimtegebruik, combinatie met kweek van vis en schelpdieren en het vormen van herstelgebieden voor visbestanden (“kraamkamerfunctie”) kunnen de ecologische inpasbaarheid en het draagvlak vergroten maar moeten eerst worden onderbouwd/aangetoond.

De nutriënten die resteren na de bewerking(en) kunnen worden gerecycled ten behoeve van het in stand houden van een hoge productiviteit. Een eventueel surplus aan nutriënten kan worden afgezet als grondstof voor de kunstmestindustrie.

Via de betrokkenheid van maatschappelijke organisaties dient te worden voorzien in een permanente duurzaamheidstoets gedurende de ontwikkeling. Daarnaast dient nadere kwantificering van de duurzaamheid van de integrale keten plaats te vinden.

12. Aanjagen van experimenten

12.1. Pilot experiment in de Noordzee

De hoofddoelstelling van het experiment is de haalbaarheid van zeewierenteelt te demonstreren door het testen van een experimenteel kweekstelsel in de Noordzee. Een locatie in het NSW of Q7 windpark (of andere offshore wind locatie) is optimaal. Door het experiment daar te lokaliseren kan inzicht worden verkregen in engineering- en operationele aspecten van de beoogde integratie met offshore windturbineparken. Daarnaast is aansluiting mogelijk bij de reeds geplande Monitoring en Evaluatie Programma's die in deze parken zullen plaatsvinden. De doelstellingen zijn:

- Ervaring op te doen met de constructie (ontwerp, engineering, stabiliteit), de teelt van de geselecteerde zeewieren en een indicatie te verkrijgen van de productiviteit.
- Het onderzoeken van de haalbaarheid van nauwkeurig gedoseerde nutriëntentoevoer. Daarbij moet worden aangetoond dat de technologie toereikend is om eutrofiëring uit te sluiten.
- Monitoren van ecologische effecten met name op eutrofiëring en de migratie van zeezoogdieren en daarnaast van potentiële positieve neveneffecten op de biodiversiteit.
- Ervaring op te doen met logistiek (oogst en transport), processing en energieconversie van zeewierenbiomassa door bioraffinage
- Nader in kaart brengen van de maatschappelijke randvoorwaarden via een participatief proces in samenwerking met beleidsinstanties en maatschappelijke organisaties.

De resultaten van het pilot experiment kunnen worden gebruikt voor het maken van een voorontwerp voor een integraal kweekstelsel geïntegreerd met offshore windparken, een economische evaluatie en een nadere evaluatie van de duurzaamheidsaspecten en (opbouw van) maatschappelijk draagvlak. Deze elementen zijn alle van cruciaal belang voor verdere ontwikkeling en grootschalige realisatie.

11.2. Bioraffinage van zeewierenbiomassa

Zeewieren biomassa is geschikt voor winning van een scala aan CO₂-neutrale producten en energiedragers en is daarmee bij uitstek een grondstof voor bioraffinage. Het is van belang de optimale bioraffinage ketens nader te ontwikkelen op basis van case studies en experimentele R&D in samenwerking met afnemers incl. verwerking op pilot- of demo schaal. De belangrijkste R&D thema's zijn:

- Oogsten: ontwikkelen natuurvriendelijke, energiezuinige oogstmethode;
- Eerste voorbewerking (ontwatering/fractionering) op zee en logistiek
- Voorbehandeling met enzymen en/of fysisch/chemische methoden voor viscositeitsverlaging en ontsluiting van de biomassa;
- Extractie en opwerking van producten
- Hydrolyse en fermentatie van suikers uit zeewieren. Hierover is nog zeer weinig bekend. Wel is bekend dat zeewierenbiomassa uitstekend anaëroob kan worden vergist met hoge biogasproductie [8]
- Fysisch-chemische conversie biomassafractionen (o.a. HTU)
- Winning minerale producten en recycling van assen
- Ontwerp integrale bioraffinageketen(s) incl. economische evaluatie

11.3. Integrale verwerking op zee door fractionering en HTU

Onderzoek naar de kansen voor gecombineerde bioraffinage/HTU en/of biogasproductie op zee met directe recycling van nutriënten en warmte naar het hiervoor aangepaste kweekstelsel. Nagaan van de mogelijkheden tot voorbewerking (ontwatering, evt. verwijdering Chloride) en fractionering van deelfractionen (bijv. eiwitten) op zee voor transport en verdere valorisatie aan land. Systeemevaluatie, voorontwerp en economische evaluatie.

Referenties

- [1] A Guide to the Seaweed Industry, 2003. FAO Fisheries Technical Paper 441.
- [2] Reith, J.H., M. Blom-Zandstra, W. Brandenburg, R.H. Wijffels, J. Steketee, N. Staats, 2003. Transitiepad "Energie en grondstoffen uit Aquatische Biomassa".

- [3] Ministerie van Economische Zaken. 2003. Biomassa: de groene motor in de transitie. Stand van zaken na de tweede etappe. December 2003.
- [4] Reith, J.H., E.P. Deurwaarder, K. Hemmes, A.P.W.M. Curvers, P. Kamermans, W. Brandenburg, G. Zeeman, 2005. Bio-offshore; grootschalige teelt van zeewieren in combinatie met offshore windparken in de Noordzee. ECN rapport C--05-008.
- [5] Hans Langeveld, Andries Koops, Jan Ketelaars, Leo Marcelis, Jan Hassink, Greet Blom & Pieter van de Sanden, 2005. Nieuwe Landbouw-Inventarisatie van kansen. WUR-PRI, Nota 330.
- [6] Zee in Zicht. Zilte waarden duurzaam benut. E. Luiten (Ed), 2004. STT 67. STT/Beweton, Den Haag. I.s.m. Innovatie Netwerk Groene Ruimte en Agrocluster.
- [7] <http://www.algenfarm.de/> en <http://www.awi-bremerhaven.de/Biomeer/aquaculture-top01-e.html>
- [8] Chynoweth, D.P. 2002. Review of biomethane from Marine Biomass. History, results and conclusions of the "*US Marine Biomass Energy Program*" (1968-1990). 194 pp.
- [9] Pérez, R. et al, 1997. Ces algues qui nous entourent. Conception actuelle, rôle dans la biosphère, utilisations, culture. Editions Ifremer. ISBN 2-905434-75-9.
- [10] Buck, B.H. & C.M. Buchholz, 2004. The offshore ring: A new system design for the open ocean aquaculture of macroalgae. *Journal of Applied Phycology* 16: 355 - 368. 2004.

Bijlage 4:

Duurzame productie en ontwikkeling van biomassa; deelpad beschikbaarheid reststromen

Auteurs:

Wijnand Schonenwille (Havenbedrijf Rotterdam)

Jan van Dam (WUR)

In deze rapportage van de subwerkgroep 'Beschikbaarheid reststromen' worden een aantal aspecten behandeld rond de beschikbaarheid van biomassa reststromen ten behoeve van een Nederlandse Bio-based Economy. Er is voor het samenstellen van dit overzicht uitsluitend reeds beschikbare informatie geraadpleegd. Hierbij is zowel gebruik gemaakt van eerdere onderzoeken, als van marktinformatie.

Als bronnen voor deze behandeling gelden de overzichtsjijst van binnenlandse reststromen van Koppejan, en de quick scan naar buitenlandse reststromen zoals door Jan van Dam is uitgevoerd; Selection of promising biomass feedstock for imports: crop residues. (rapportnr. 661, documentversie d.d. 12062006) Verder is gebruik gemaakt van inzichten van geconsulteerde marktexpts.

Biomassa en reststromen

Onder biomassa wordt in dit overzicht verstaan alle korte cyclus organisch materiaal dat voor non-food toepassingen zoals elektriciteit, warmte, transportbrandstoffen, chemicaliën en producten als grondstof ingezet kan worden. Hier wordt onderscheid in twee categorieën gemaakt:

- Primaire bijproducten, dat zijn bijproducten die bij de bron vrijkomen. Hieronder vallen bijvoorbeeld gewasresten, zoals bietenstaartjes, stro, bermgras, snoeihout, kasafval, dunningshout, etc.
- Secundaire bijproducten en reststromen, dat zijn bijproducten die later in de productieketen, anders dan bij de bron, vrijkomen zoals aardappelschillen, bietenpulp, zaagsel, C-zetmeel, bierbostel, etc., of dat zijn producten die al een functie gehad hebben en daarna weer beschikbaar komen zoals afgewerkt frituurvet, slachtafval, mest, dierlijk vet, de meeste componenten in GFT, oud papier, sloophout.

Het is vaak moeilijk om in statistieken onderscheid te maken tussen secundaire bijproducten en reststromen. Een duidelijk onderscheid kan wel worden gemaakt met primaire bijproducten. Van deze groep kan worden gesteld dat deze veelal een hogere kwaliteit heeft, die beter, éénduidiger, is gespecificeerd.

Specifieke teelt zoals goudsbloem, hennep, vlas, Miscanthus, switchgras, SRC (short rotation coppice), suikerbiet voor ethanol, etc. is in dit document wel genoemd, maar niet apart uitgewerkt, omdat voor de studieperiode een slechts zeer geringe bijdrage wordt voorzien.

Verschillende reststromen zijn onderscheiden behandeld. Hierbij is gekeken naar beschikbaarheid en voorkomen, markt, toepassing en randvoorwaarden. Een belangrijk onderscheid geldt de binnenlandse beschikbaarheid van reststromen vs. de buitenlandse beschikbaarheid van reststromen voor import en toepassing in Nederland. Duidelijk is dat in Nederland een beperkt aanbod van reststromen is te verwachten, en dat dit beperkte aanbod moet worden aangevuld door import vanuit buitenlandse bronnen. Om concurrerend te kunnen zijn geldt voor de buitenlandse import dat deze een toepassing zal vinden in hoogwaardiger toepassingen, en hiertoe een hoge, en mogelijk ook gespecificeerde, kwaliteit zullen hebben en een relatief hoge energiedichtheid. Verwacht mag worden dat binnenlandse stromen eerder zullen worden toegepast in laagwaardiger toepassingen, of in toepassingen waar bijvoorbeeld een laagwaardiger kwaliteit opweegt tegen hogere transportkosten van import.

Een punt van groot belang is dat voor de Nederlandse en voor de Europese wetgever 'reststromen' onder het kopje 'afval' vallen, en diensgevolge aan vrij stringente regelgeving onderworpen zijn. Een vrije markt voor reststromen binnen bijvoorbeeld Europa is hiermee nog ver weg.

Binnenlandse reststromen; overzicht huidige toepassingen en netto potentie

Veel onderzoek heeft plaatsgevonden naar de beschikbaarheid van reststromen, de samenstelling, de huidige verwerkingsmogelijkheden, trends en ontwikkelingen. De beste analyse van de netto biomassa potentie voor Nederland in 2010 komt van Koppejan en Meulman, 2005. Hierbij gaat het vooral om secundaire bijproducten. Deze informatie is in onderstaande tabel verwerkt, samen met aanvullende informatie van marktexperts.

Biomassa reststromen	Aanbod in Nederland [kton/jaar] / energie-inhoud [PJ/a]	Huidige inzet en beschikbaarheid	trends en mogelijk toekomstige inzet
Oliën en vetten	350 / 10,7	Brandstof	Biodieselproductie: run op sec. materiaal + prijsstijging
Hout (vers en schoon)	1660 / 20,5	Vaste brandstof, plaatindustrie (?)	Ethanolproductie
Hout (verontreinigd; A-, B- en C-hout)	1750 / 27	Vrije markt: vaste brandstof, ook veel afzet in spaanplaatindustrie (België, D'ld, Italië)	Bij inzet oppassen voor vervuilende stoffen die in afval zijn ingesloten
(berm)gras en stro	600 / 4,6	Vrije markt, aannemers, makkelijk verkrijgbaar, concurrentie groenrecyclingen. Inzet: als brandstof of vergisten	Beschikbaarheid kan ook halveren door ander beheer. Prijs daalt bij co-vergisting. Toekomst: HTU, ethanolproductie.
GFT etc.	2.695 / 11,7	Vergisting, diervoeder. Beschikbaarheid via afvalinzamelaars.	
Afval; droge en natte fractie	11.750 / 45	Verbranden voor droge fractie als RDF, vergisten voor natte fractie. Beschikbaarheid via afvalinzamelaars.	Pyrolyse, vergassing voor droge fractie; Toekomst bv. HTU, hydrolyse
Kippenmest	1.500 / 9,9	Verbranden	50% d.s. Inzet in vergisting
Papierslib en papieraandeel brandstofpellets	3.500 / 43,6	Brandstof. Beschikbaarheid via afvalinzamelaars.	Slib: 50% org. d.s., hoog asgehalte (kalk)

Commentaar

In Nederland vinden er in de afzet van bijproducten en reststromen uit de voedings- en genotmiddelenindustrie, globaal 10 Mton, waarvan 8,5 miljoen ton organisch, de laatste jaren verschuivingen plaats. Traditionele afzet als veevoer (bijna 7 Mton) staat hierbij onder druk door enerzijds wettelijk opgelegde beperkingen en anderszijds door een vermindering van de veestapel. Hierdoor daalt de waarde van deze stromen aanzienlijk, en willen ondernemingen, ook traditionele veevoederbedrijven, zowel als de overheid graag alternatieve verwerkingsopties hebben. Industrieën zoeken actief naar alternatieve afzet van bijproducten.

Voor de ontwikkeling tussen 2010 en 2030 zijn een aantal aannames gedaan. Zo is te verwachten dat het hierboven genoemde aanbod niet zal afnemen en dat er nog een aantal stromen bij kunnen komen of groter kunnen worden. Verder zullen stromen die nu gecomposteerd worden ook voor energietoepassing worden ingezet. Deze stromen worden nu al gedeeltelijk ingezet en zullen iets makkelijker te mobiliseren zijn dan primaire bijproducten maar vergen ook verdere investeringen in een geschikte infrastructuur.

Samen met Duitsland heeft Nederland de meeste kennis op het gebied van huishoudelijk afval en bedrijfsafval, recycling en behandeling van biomassa reststromen. Scandinavische landen, Duitsland en Oostenrijk hebben veel ervaring met de inzet van hout als energiedrager.

Buitenlandse reststromen; overzicht huidige toepassingen en netto potentie

Imports of biomass feedstock in the Netherlands for conversion to energy (fuel and electricity) and bio-based products is one of the scenarios for the transition towards the biobased economy (Van Dam et al. 2005). Options to fully exploit the potential of renewable resources as industrial chemical feedstock imply different interdependent routes. The feasibility of biomass imports is depending on many factors, that can be ranging from political to technical or socio-economical arguments.

Agricultural crop residues are representing the largest and mostly untapped biomass resources. Crop residues are produced and accumulate at different points in the agro-food production chain. Also the biomass energy options for the production of renewable fuel and electricity from agricultural biomass residues imply various scenarios and sequential steps. The key issues of expanded use in the Netherlands of imported biomass for non-food applications imply:

- its quality (composition, ease of conversion);
- its costs (production, collection, transport, storage and available quantities);
- its sustainability in respect to land use (deforestation, erosion) and water use (desertification, pollution);
- the security of supply.

For the selection of suitable biomass residues for conversion to energy and new use, a number of criteria can be listed:

- criteria of availability of biomass on sufficient large scales. The perishable or seasonal nature of biomass feedstock may be restrictive for its wider use, without the development of biorefinery systems that add value to the contents;
- a consistent composition and density;
- a form that can be collected, transported and stored economically and on a long term, without deterioration and quality loss, at a stable and competing price. Transportation of voluminous biomass from remote areas will not be economically feasible, unless effective methods for (energy) concentration become available.

As the biomass residues should be available, the most important food crops have been reviewed here for their productivity of by-products.

Another category of agricultural crops are not linked to the food production chain but are considered to be the industrial crops or the non-food crops, that are including the fibre crops (cotton, flax, hemp, jute and sisal), pharmaceutical or cosmetic specialty crops and herbs (calendula, papaver, etc.). All these crops yield substantial amounts of biomass residues, because only the most economical attractive constituent is traded as a commodity (fibre, oil, or extract).

Apart from biomass production volumes as a selection criterion, the current methods of disposal of the agricultural by-products or local use and customs need reconsideration (Smeets et al 2004).

The suitability of biomass for imports depends on the bulk density and water contents of the biomass and the conditions required for storage and transport. Besides, the potential for conversion of biomass into energy and products of commercial interest, the value addition and market perspective should be in line with what is technically feasible within the scope of the current state of the art biorefinery options.

Selected crop residues to feed import as biomass feedstock are:

Crop residue	Potential supplying world region	Current use	Composition, trends and alternative uses
Sugar cane: leaves and tops	Brasil+Cuba+Mexico+Colombia: 134 Mton dw / a India+Pakistan+Thailand: 113 Mton dw / a (approx. 28% of total biomass weight)	animal feed, fuel for domestic use, compost, soil-carbon	Currently, solutions have to be found for lacking collection systems, dispersed availability and current use. Moreover, the (wet) green parts are sensitive for decay and require methods for preservation.
Sugar cane: bagasse	Brasil+Cuba+Mexico+Colombia: 120 Mton dw / a India+Pakistan+Thailand: 101 Mton dw / a (approx. 25% of total biomass weight)	(inefficient) fuelling	Composition as lignocellulosic plant residues. Alternative uses are researched, including novel biorefining to obtain better properties for transportation. Calorific value at 50% humidity is 7.640 kJ/kg
Sugar cane: molasse	Brasil+Cuba+Mexico+Colombia: 14 Mton India+Pakistan+Thailand: 12 Mton (approx. 3% of total biomass weight)	Production of ethanol, animal feed	High sugar content (35% sucrose, 10% other sugars) allows easy fermentation
Sugar cane: filter cake	Brasil+Cuba+Mexico+Colombia: 19 Mton India+Pakistan+Thailand: 16 Mton (approx. 4% of total biomass weight)	Animal feed or fertilizer	Protein (15%dw), waxes, oils and resins make other use possible
Sugar cane: vinasse	Production approx. 12-15 times volume of ethanol produced	Disposal forms a major environmental problem	Mixture of water and organics (pentosans, phenolics) and potash. Heating value at 60% dry solids 7.600 kJ/kg
Wheat: straw	India+Pakistan: available between 55 and 73 Mton Russian Fed+Kazakhstan+Ukraine+Turkey: available between 62 and 83 Mton (estimated that .6 to .8 tons straw per ton grain does not affect soil quality)	Limited commercial application. Left on the field or burned for seed bed preparation. Negative environmental impact and economic value.	Low bulk density restricts transportation to large biorefinery or thermo-chemical (FT) plants. Lignine 17%, cellulose 39%, hemicellulose 30%, ash (silica) 3%
Wheat: bran	India+Pakistan: available 13 Mton (?) Russian Fed+Kazakhstan+Ukraine+Turkey: available 15 Mton (?) (about 14,5% of kernel's mass)	Cattle feed	Cellulose 10%, ash (silica) 5%. Further: protein and lipids, possible up to 75% of starch. Possible alternative uses investigated; could be a suitable source for ethanol
Rice: straw	India+Bangladesh: between 100 and 135 Mton (?) Indonesia+Vietnam+Thailand+Myanmar: between 83 and 111 Mton (?) (estimated that removal of .6 to .8 tons straw per ton grain does not affect soil quality)	Limited commercial application. Left on the field or burned for seed bed preparation. Negative environmental impact and economic value.	Lignin 7%, cellulose 32-34%, hemicellulose 26%, ash (silica) 13-17%. Novel developments for cereal straw conversion are investigated: ethanol production
Rice: Bran	India+Bangladesh: 24 Mton (?) Indonesia+Vietnam+Thailand+Myanmar: 20 Mton	Cattle feed	Contains 13% cellulose fibre, 12% ash (silica). 15% protein and 6-13% lipids. Novel developments for cereal straw conversion are investigated: ethanol production

Crop residue	Potential supplying world region	Current use	Composition, trends and alternative uses
Corn stover	Brasil+Mexico+Argentina: 28 Mton (estimated that removal of 40% is a sustainable option)	Left at the fields for soil improvement, or fed to cattle	Collection systems for simultaneously harvesting with grain are not existing. Different scenarios for (hydro)thermal conversion to liquids are under development. Substitution for cattle feed is necessary
By-products palm oil production	Indonesia+Malaysia: 40 to 50 Mton dry weight biomass could become available for energy export (up to 50% of the by-products)	See remarks	The use of palm oil as source for renewable energy is not per definition sustainable. Utilisation of the ligno-cellulosic by-products of palm oil production could increase the sustainability. Conversion technologies for production of wood substitutes (fibre boards and panels) could reduce the rate of deforestation.
Forestry residues	Estimated that much higher recovery rates can be obtained by utilising the >50% restmaterials.		

Remarks

- Sugar cane produces a global average of 72 tons dry weight per ha per annum. Sugar cane cultivation area are still expanding, and a further increase is expected with demand for bioethanol. Imports of sugar cane biomass especially seems attractive from countries that have a large surplus capacity of sugar cane production (Smeets et al. 2004).

The secondary residues, released at the sugar mill, have the advantage that these are collected in bulk quantities and only find limited added value. The low bulk density of bagasse restricts its use as biomass feedstock for exports in the form as it produced. On site conversion of the biomass in more concentrated – more energy dense forms is required. Conversion of the secondary by-products into transportable and tradable commodities, such as ligno-cellulose pulp, particle board, pyrolysis oil, ethanol or furfural will be required for economic operation. So far, for bagasse only limited attention has been given to these conversion technologies and the secondary products are now largely inefficiently burned for plant operation.

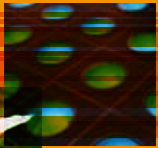
- Wheat is the largest food crop in the world – produced largely in the temperate climate zones, followed by rice, which cultivation is restricted to tropical and subtropical areas. Because of high ash content, burning of cereal by-products in boilers causes accumulation of ash. Especially rice straw and husks are known for their high ash content of up to 17%. Much R&D is invested in pre-treatments to enable the use of the carbohydrate (cellulose / hemicellulose) fractions of straws to make it suitable as feedstock for ethanol production.
- The current palm oil production system in Malaysia and Indonesia is often considered to be not sustainable (by the NGO's) because of detrimental effects on biodiversity such as loss of virgin forests and greenhouse gas emissions associated with current waste disposal methods. The use of by-products for energy and green chemicals offers perspectives for designing a "certified" sustainable food oil production chain that fits well in the development of a true bio-based economy. The developments in Malaysia with respect to palm oil by-products utilisation are much more advanced as compared to Indonesia.
- The forestry sector in many areas is still unsustainably managed, although much progress is being made in many countries in recent years (FSC, etc). For sustainable use of forestry resources investment in alternative use of primary and secondary by-products is urgently needed. Methods for better harvesting and sustainable forest management should be promoted, and biomass derived from logging industries for alternative use (energy and

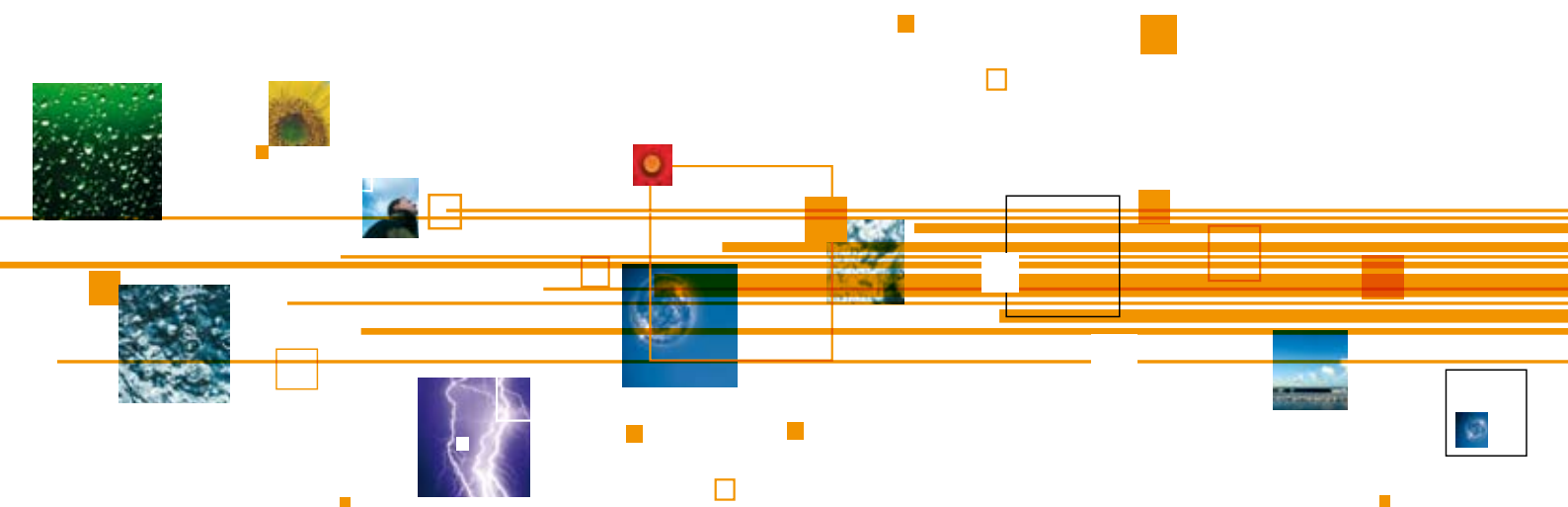
products) demands certification. From the forest plantations that are considered to be sustainable, substantial improvement of biomass residue use can be achieved.

Conclusies

- Door het veelvoud aan verschillende biomassa reststromen zal een toekomstige markt aan een aantal eisen voldoen. Alleen in een vrije markt kunnen specifiek op een bepaalde reststroom toegespitste verwerkingstechnologieën ontstaan. En in een gesloten 'afval'-markt zullen alleen robuuste verwerkingstechnieken die niet afhankelijk zijn van de samenstelling van reststromen, mogelijk zijn.
- Met name rond de inzet van binnenlandse reststromen zal wet- en regelgeving van belang zijn. Dat geldt voor zowel het ontstaan van nieuwe afzet door het wegvallen van bestaande afzetmogelijkheden, de beperking van inzet van reststromen door dwingende milieueisen, en eisen aan de samenstelling van reststromen. Europese wetgeving speelt hier een grote rol, en nationale invloeden op het gebied van regels, beperkingen en normen. De ervaring tot nu toe met Europese samenwerking op dit gebied is niet goed.
- De aanwezigheid van voldoende buitenlandse biomassa reststromen om te voorzien in de verwachte Nederlandse behoefte lijkt niet het probleem te zijn. Het probleem zal zijn om deze hoeveelheden te ontsluiten, en ze beschikbaar te maken.
- Import van biomassa reststromen zal alleen gebeuren indien deze concurrerend kunnen worden ingezet. In dat geval lijkt het logisch dat reststromen in de regio waar ze zijn ontstaan een voorbehandeling hebben ondergaan gericht op homogenisering tot het verkrijgen van vereiste grootschaligheid, kwaliteitsverhoging en het verhogen van de energiedichtheid om transportkosten te verlagen. Concurrentie in Nederland met laagwaardiger energiedragers zal niet plaatsvinden. Inzet van geïmporteerde reststromen zal mede worden bepaald door kwaliteitseisen die aan de toepassing in Nederland gesteld worden.
- De regio's die, na het voorzien in eigen behoefte, een surplus aan biomassa produceren zijn interessant voor Nederlandse import. China lijkt daar vooreerst niet toe te behoren, gezien de grote eigen behoefte aan energiedragers. Hetzelfde geldt voor de USA, mogelijk met Midden-Amerika als aangrenzende regio. Aantrekkelijker lijkt de Zuid-Amerikaanse regio, en de regio's rond India en Indonesië. Nader marktonderzoek is noodzakelijk, waarbij ook gekeken moet worden naar vraagstukken als de mogelijkheden tot het ontsluiten van reststromen, de politieke situatie, de sociaal-economische impact van het onttrekken van reststromen en technologische aspecten rond de inzet van reststromen (reststromen met hoge asgehalten zullen in Nederland niet snel ingezet worden in verbrandingsinstallaties) Samenwerking met landen uit deze regio's lijkt een vereiste om toegang te krijgen tot de gewenste hoeveelheden biomassa.
- Wanneer reststromen een status krijgen van 'commodity', en als zodanig op de vrije markt worden verhandeld, worden ze interessant om te beschouwen als vervanging voor minerale energiedragers. De benadering van veelbelovende reststromen zal mede hierop gebaseerd moeten zijn.

-/-





EnergieTransitie - Creatieve Energie

Bedrijfsleven, overheid en maatschappelijke organisaties zetten zich gezamenlijk in om ervoor te zorgen dat de energievoorziening in 2050 duurzaam is. Energie is dan schoon, voor iedereen betaalbaar en wordt continu geleverd. EnergieTransitie vraagt en geeft creatieve energie.

Contactgegevens

EnergieTransitie
Platform Groene Grondstoffen
Postbus 17
6130 AA Sittard

Secretaris: Edith Engelen-Smeets
E-mail: groenegrondstoffen@senternovem.nl
Telefoon: (046) 420 23 51

www.creatieve-energie.nl

