



AGROTECHNOLOGY &  
FOOD SCIENCES GROUP

WAGENINGEN **UR**

# Onderzoek biomassa en energie Biopark Terneuzen

TAG project Biopark Terneuzen

dr.ir. J. Broeze  
dr.ir. E. Annevelink  
ir. M. Vollebregt

Rapport 848



## Colofon

Titel	Onderzoek biomassa en energie Biopark Terneuzen
Auteur(s)	dr.ir. J. Broeze dr.ir. E. Annevelink ir. M. Vollebregt
AFSG nummer	848
ISBN-nummer	978-90-8504-848-0
Publicatiedatum	Oktober 2007
Vertrouwelijk	Nee
OPD-code	OPD 05/234

Agrotechnology and Food Sciences Group  
P.O. Box 17  
NL-6700 AA Wageningen  
Tel: +31 (0)317 475 024  
E-mail: [info.afsg@wur.nl](mailto:info.afsg@wur.nl)  
Internet: [www.afsg.wur.nl](http://www.afsg.wur.nl)

© Agrotechnology and Food Sciences Group

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand of openbaar gemaakt in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, hetzij mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever. De uitgever aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele fouten of onvolkomenheden.

*All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system of any nature, or transmitted, in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise, without the prior permission of the publisher. The publisher does not accept any liability for inaccuracies in this report.*



Het kwaliteitsmanagementsysteem van Agrotechnology and Food Sciences Group is gecertificeerd door SGS International Certification Services EESV op basis van ISO 9001:2000.

# Inhoudsopgave

<b>1. Inleiding</b>	<b>5</b>
<b>2. Biobased economy en bioraffinage</b>	<b>6</b>
2.1 Bioraffinage	6
2.2 Producten uit bioraffinage	8
2.3 Bioraffinagesystemen	9
2.3.1 Lignocellulosic Feedstock Biorefinery	9
2.3.2 Whole Crop Biorefinery	10
2.3.3 Green Biorefineries	10
2.3.4 Two Platforms Concept Biorefinery	10
2.4 Kansen van bioraffinage in Terneuzen	11
<b>3. Onderzoek naar de biomassacentrale</b>	<b>12</b>
3.1 Globale procesbeschrijving	12
3.2 Co-vergisting	13
3.3 WKK: productie van elektriciteit en warmte	14
3.4 Nabehandeling van digestaat: scheiding van digestaat in dikke en dunne fractie	15
3.5 Verwerking van de dikke fractie	15
3.6 Verwerking van de dunne fractie	16
3.7 Conclusies	17
<b>4. Modelling van biomassaprocessen</b>	<b>18</b>
<b>5. Evaluatie procesontwerp biomassacentrale</b>	<b>20</b>
5.1 Energetische analyse	20
5.2 Procesresiduen: NPK concentraat en groene cokes	20
5.3 Remmende stoffen voor co-vergisting	21
<b>6. Mogelijkheden voor koppeling met andere activiteiten op het Biopark</b>	<b>24</b>
<b>7. Duurzaamheidseffecten van de biomassacentrale</b>	<b>25</b>
<b>8. Beschikbaarheid van regionale biomassa</b>	<b>26</b>
8.1 Biomassacategorieën	26
8.1.1 Algemene indeling	26
8.2 Potentieel beschikbare hoeveelheden reststromen in de verschillende biomassacategorieën volgens bestaande literatuur	27
8.2.1 Duurzame Energie scan Zeeuwse gemeenten	27
8.2.2 Beleidsdocument beoordeling biomassacentrales	30
8.2.3 Mest	33
8.3 Evaluatie en conclusies	33
<b>9. Kennisbenutting</b>	<b>35</b>

<b>10. Conclusies</b>		<b>36</b>
<b>Literatuur</b>		<b>38</b>
<b>Bijlage 1.</b>	<b>Waardevolle kennis co-vergisting</b>	<b>40</b>
<b>Bijlage 2.</b>	<b>Kennis en huidige status van zuiveringsprocessen voor de dunne fractie</b>	<b>44</b>

# 1. Inleiding

Biopark Terneuzen is een initiatief van verschillende partijen. Het beoogde biopark is een cluster van agro-industriële en agrarische activiteiten. De geclusterde setting biedt een aantal grote voordelen:

- verlaging van milieubelasting door onderlinge benutting van reststromen inclusief restwarmte,
- lokale koppelingen tussen productie, gebruik en zuivering van water,
- het bieden van vestigingsmogelijkheden voor verschillende soorten bedrijven.

Op dit moment zijn tal van bestaande en nieuwe bedrijven in het gebied (de *Kanaalzone*) bezig met het zelfstandig ontwikkelen van nieuwe bedrijvigheid, zowel industrieel als agrarisch. Enkele voorbeelden zijn een bio-ethanolfabriek in Sas van Gent, een biodieselfabriek en een biomassacentrale aan de oostelijke kant van het kanaal bij Sluiskil. Daarnaast wordt gewerkt aan de ontwikkeling van een glastuinbouwgebied. Belangrijkste reeds aanwezige bedrijven zijn een kunstmestfabriek (Yara) en een recyclingbedrijf voor AVI-bodemassen (Heros Sluiskil)

De meest aansprekende koppelingen:

- afzet van (rest)warmte van de kunstmestfabriek aan het glastuinbouwcomplex,
- afzet van CO<sub>2</sub> van de kunstmestfabriek en de bio-ethanolfabriek aan de glastuinbouw,
- levering van gietwater voor de glastuinbouw door de bestaande waterzuiveringsinstallatie van Heros,
- verwerking van afvalwater van de glastuinbouw door de waterzuiveringsinstallatie van Heros,
- koppelingen op het gebied van warmte en (afval)water tussen de biomassacentrale en Heros,
- koppelingen op het gebied van warmte en (afval)water tussen de biodieselfabriek en Heros,
- mogelijke verwerking van regionale biomassa.

Nadat in hoofdstuk 2 een toelichting wordt gegeven op duurzame ontwikkelingen m.b.t. biomassa zullen bovengenoemde onderwerpen vanaf hoofdstuk 3 worden uitgewerkt.

## 2. Biobased economy en bioraffinage

Het ontwikkelen van een biobased economy is een belangrijke opdracht voor onze maatschappij in de komende jaren. Uiteindelijk gaat het bij de biobased economy om het sluiten van de kringloop bij productie: geen afval en CO<sub>2</sub>-neutraal. De vraag naar biomassa voor verschillende producten zal in de komende tientallen jaren sterk stijgen. In principe is er genoeg biomassa op de aarde om aan de toegenomen vraag te voldoen. Het vraagt echter wel een transitie om deze biomassa ook daadwerkelijk te mobiliseren. De huidige voedsel-brandstof discussie is daar een voorbeeld van. De biomassa dient in ieder geval aan bepaalde duurzaamheidscriteria te voldoen. Bij dit alles kunnen bioraffinageconcepten een belangrijke rol spelen.

Traditioneel zijn er twee afzetmarkten voor biomassa, n.l. de voedselmarkt en de bestaande niet-voedselmarkt (o.a. veevoer, hout, vezels, compost etc.). Hiertussenin komt nu de waardeketen voor biobased products. Door de interacties tussen de verschillende waardeketens zullen de soort en de omvang van de biomassastromen veranderen. Zo kan de traditionele veevoermarkt bv worden beïnvloed door het beschikbaar komen van grote hoeveelheden koolzaadperskoek bij de productie van olie voor biodiesel of door het vrijkomen van het restproduct DDGS (dried distillers grains with solubles) bij de productie van bio-ethanol. Het ontstaan van de biobased products waardeketen zal vooral nieuwe kansen opleveren voor diverse marktpartijen.

### 2.1 Bioraffinage

Bioraffinage kan op verschillende manieren worden gedefinieerd.

De tot nu toe in Nederland gehanteerde definitie luidt: bioraffinage is het scheiden van biomassa in afzonderlijke componenten die individueel vermarkt kunnen worden ofwel direct na het scheiden ofwel na verdere behandeling (biologisch, thermo-chemisch of chemisch).

De beschrijving in het Transitiepad Bioraffinage (2003) is als volgt: "... het scheiden van biomassa in verschillende componenten die al dan niet na een verdere bewerking (biologisch, thermisch/chemisch) en scheiding afzonderlijk af te zetten zijn (Figuur 1). Bioraffinage biedt de kans om op efficiënte wijze met een minimaal verlies aan energie en massa te komen tot producten die fossiele grondstoffen vervangen of aanvullen. Het Bioraffinage-concept is daarom dé wijze waarop (het schaarse goed) biomassa op de lange-termijn moet worden benut. Het streefbeeld is dat zoveel mogelijk gebruik gemaakt wordt van bestaande componenten in de biomassa en hun functionaliteit, waarbij het aantal omzettingstappen tussen grondstof en product wordt geminimaliseerd en energetisch zo efficiënt mogelijk gekozen. Het product is energie en een pallet aan waardevolle componenten. De implementatie van bioraffinage moet leiden tot een duurzame wijze voor het produceren van (voedsel), energie, (transport) brandstof en chemicaliën op een economisch gezonde basis met een minimale productie van afval. ...".

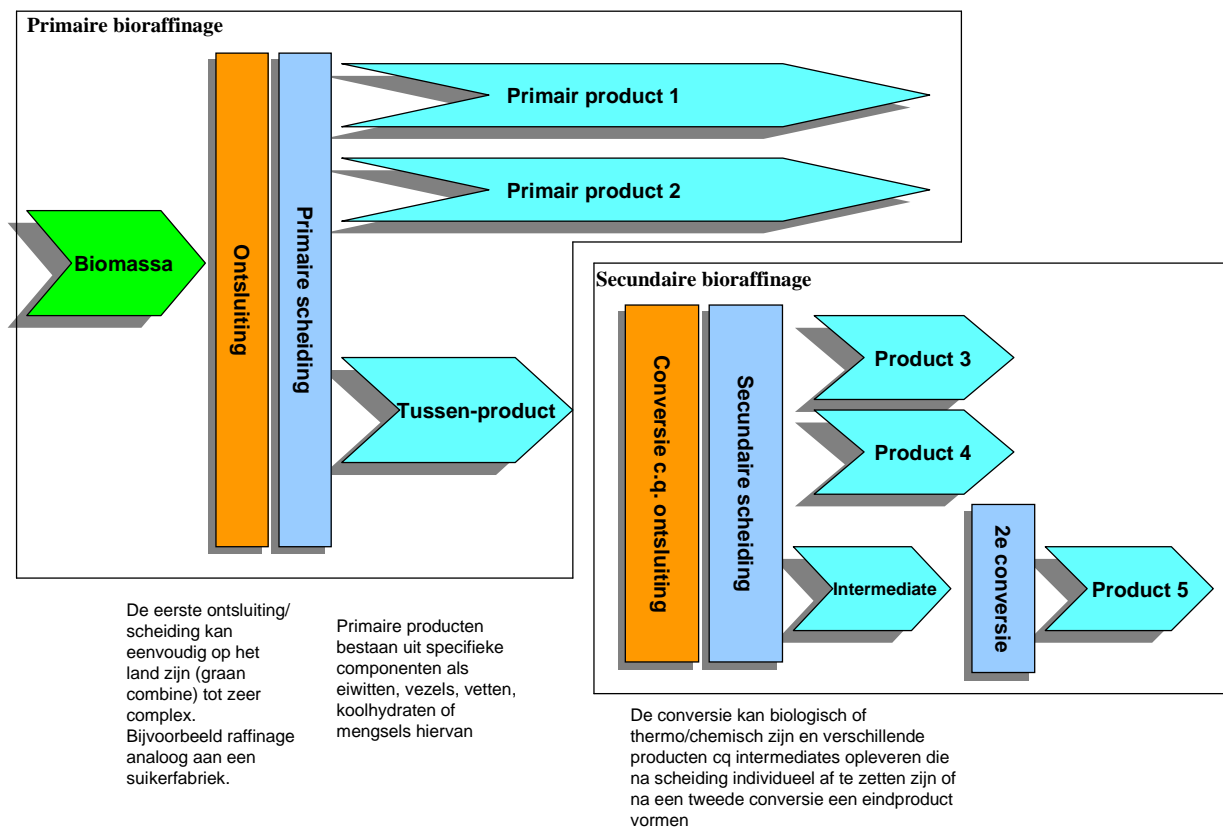
De IEA Task 42 biorefineries heeft bioraffinage nog algemener gedefinieerd:

*"Bioraffinage is de duurzame verwerking van biomassa tot een spectrum aan vermarktbare producten."*

Hierin zijn de volgende sleutelwoorden opgenomen:

- Biomassa: landgewassen, organische residuen uit de food, feed, agro en bosbouw sectoren en aquatische biomassa
- Duurzaam: maximale financiële verwaarding, minimale milieubelasting, maatschappelijk acceptabel
- Verwerking: voorbehandeling, primaire en secundaire raffinage, productscheiding, productopwaardering; concepten, faciliteiten, processen, clusters van industrieën
- Spectrum: meer dan één
- Vermarktbaar: kosteneffectief, markt bestaat of is naar verwachting te ontwikkelen
- Producten: humane voeding, veevoer, biomaterialen, biochemicalïen, biobrandstoffen, bioenergie

Reststromen zijn in Nederland overigens een belangrijke bron van biomassa voor bioraffinageconcepten. Een voorbeeld hiervan is de samenwerking tussen Nedalco en Cerestar in Sas van Gent.



Figuur 1 Schematische weergave van het ideaalbeeld van Bioraffinage.

## 2.2 Producten uit bioraffinage

De belangrijkste producten uit een bioraffinaderij zijn:

- chemicaliën
- biobrandstoffen
- elektriciteit & warmte
- materialen (vezels, zetmeel, hout)
- voedsel en veevoer
- as, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, ....

De volgorde in de bovenstaande lijst is willekeurig. Er zou ook gesorteerd kunnen worden, b.v. op basis van de hoeveelheid biomassa die benodigd is voor de productie, op basis van de waarde van de producten of op basis van de bespaarde energie of broeikasgasreductie.

De eerste productgroep, *chemicaliën*, is erg interessant omdat ze veelal een hogere opbrengst genereren (t.o.v. de andere productgroepen) en omdat de productie via de petrochemische route meestal veel meer energie kost dan via de bioraffinageroute. Er wordt zoveel mogelijk gebruik gemaakt van waardevolle componenten en verbindingen die al in de biomassa aanwezig zijn. Bij de productgroepen *biobrandstoffen en elektriciteit/warmte* is biomassa een energiedrager. Het streven is overigens dat alle bioraffinaderijen op termijn warmte- en indien mogelijk elektriciteit onafhankelijk moeten worden.

De productgroep *materialen* wordt nu vaak ook al uit biomassa geproduceerd, denk b.v. aan de papier en kartonindustrie. Hieronder vallen echter ook relatief nieuwe producten zoals bioplastics, die in Europa een enorme vlucht kunnen gaan nemen. De UK vervult b.v. een voortrekkersrol bij het vervangen van verpakkingsmaterialen door bioplastics.

In de huidige bioraffinage definities vallen *voedsel en veevoer* niet binnen de producten. De definitie zou echter verbreed moet worden, gezien de interacties tussen de verschillende waardeketens. Tenslotte mogen de producten *as en mineralen* niet worden vergeten. Er moet zorgvuldig worden omgesprongen met de mineralen balans in regio's van de wereld. Het kan niet zo zijn dat in bepaalde regio's via het afvoeren van biomassa alleen mineralen worden onttrokken, terwijl in andere regio's overschotten dreigen te ontstaan. Er zullen dan ook retourstromen moeten ontstaan. De CO<sub>2</sub> die in bioraffinageprocessen gevormd wordt, kan ook een economische waarde vertegenwoordigen. Denk hierbij b.v. aan een koppeling met de glastuinbouw waarbij CO<sub>2</sub> een productieverhogende werking heeft. Dit geldt evenzo voor het water dat vrij komt in de processen.

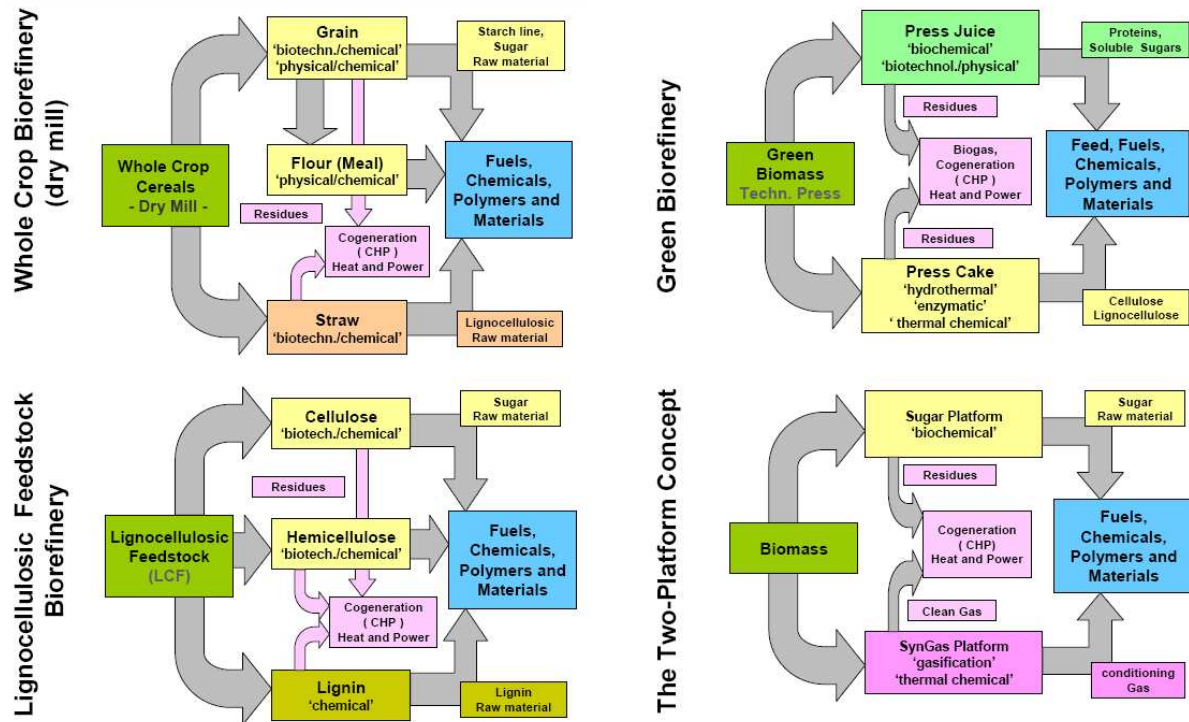


## 2.3 Bioraffinagesystemen

Er worden vier bioraffinagesystemen onderscheiden door Kamm et al. (2006):

- “Lignocellulosic Feedstock Biorefinery” – dit systeem gebruikt van nature droge grondstoffen
- “Whole Crop Biorefinery” - dit systeem gebruikt grondstoffen zoals granen of maïs
- “Green Biorefineries” - dit systeem gebruikt van nature natte biomassa zoals vers gras, alfalfa, klaver of onrijp graan
- “Two Platforms Concept Biorefinery ” - dit systeem omvat het suiker platform en het syngas platform

De schematische weergave van deze vier systemen staat in Figuur 2. De grenzen tussen deze systemen zijn overigens niet altijd even scherp en ze dienen ook meer om een globaal idee te krijgen van de verschillende bioraffinagesystemen.



Figuur 2 Vier bioraffinagesystemen onderscheiden volgens Kamm et al. (2006).

### 2.3.1 Lignocellulosic Feedstock Biorefinery

Dit systeem gebruikt van nature droge lignocellulose houdende grondstoffen. De output is aan de ene kant cellulose en hemicellulose en aan de andere kant lignine. Uit de cellulose wordt suiker geproduceerd, waarmee brandstoffen, chemicaliën, polymeren en materialen kunnen worden geproduceerd. Reststromen en lignine worden gebruikt voor de productie van elektriciteit en warmte. In de toekomst kan lignine ook gaan dienen als grondstof voor aromatische chemicaliën.

Van de potentieel grootschalige industriële bioraffinaderijen zal de Lignocellulosic Feedstock Biorefinery waarschijnlijk het meeste succes hebben. De situatie van de biomassagrondstoffen (stro, riet, gedroogd gras, hout., papierafval etc.) is optimaal en de conversieproducten hebben een goede positie zowel in de traditionele petrochemische markt als in de toekomstige markt voor biobased producten.

### 2.3.2 *Whole Crop Biorefinery*

Dit systeem gebruikt grondstoffen zoals granen of maïs. De eerste stap is een mechanische scheiding in graan en stro. Het aandeel graan is ongeveer 20% en het stro 80%. Beide stromen worden vervolgens apart behandeld. Uit de granen komt zetmeel als grondstof. De lignocellulose uit het stro kan dienen voor de opwekking van elektriciteit en warmte, maar op termijn ook voor de productie van 2e generatie bio-ethanol.

Een voorbeeld van dit whole crop systeem wordt uitgewerkt bij de fabriek van Abengoa in Spanje. Hier wordt in het EU-biosynergy project onderzocht hoe via biochemische en thermochemische routes o.a. bio-ethanol geproduceerd kan worden uit de reststromen van het droge maalproces van het graan.

### 2.3.3 *Green Biorefineries*

Dit systeem gebruikt van nature natte biomassa zoals vers gras, alfalfa, klaver of onrijp graan. Daardoor verschilt dit bioraffinagesysteem wezenlijk van de andere drie, omdat het gaat om verse biomassa. Dit brengt allerlei specifieke aandachtspunten met zich mee. Zo is de biomassa vaak maar in een beperkte periode beschikbaar tijdens de oogst, kan de biomassa moeilijk bewaard worden, en veranderen de eigenschappen/ componenten van de biomassa tijdens het bewaren. De voordelen van het Green Biorefinery concept zijn de hoge biomassa winst per hectare en een goede koppeling aan de traditionele agrarische productie. Verder kan relatief simpele technologie worden gebruikt.

In Nederland is een overschot aan gras aan het ontstaan en daarom is grasraffinage onderzocht door Avebe. Hiervoor is door het Progras consortium enkele jaren geleden een pilotfabriek opgezet in Foxhol. De hoofdproducten die daar werden geproduceerd waren grassap, eiwitten en vezels. Het is van belang voor alle deze producten een goede markt te vinden. Dit was destijds nog een probleem, maar inmiddels zijn de economische omstandigheden gunstiger geworden en is de papierindustrie b.v. ook geïnteresseerd geraakt in het produceren van papier op basis van grasvezels.

### 2.3.4 *Two Platforms Concept Biorefinery*

Dit systeem omvat het suiker platform (bio-chemische conversie) en het syngas platform (thermo-chemische conversie). Het is ontwikkeld in de USA. ECN heeft het thermo-chemische bioraffinageconcept in Nederland verder uitgewerkt. Het idee is om de biomassa via een aantal verschillende technologieën in verschillende stappen te bewerken. Hoewel de grenzen niet zo scherp zijn als bovenstaande indeling doet vermoeden, biedt deze getrapte aanpak wel de mogelijkheden om verschillende producten en chemicaliën te winnen in verschillende de

verschillende stadia. Dit biedt een voordeel t.o.v. het meteen syngas produceren via vergassing. De uitwerking van deze getrapte aanpak is op dit moment onderwerp van verder onderzoek. Een van de uitdagingen is het ontwikkelen van geschikte katalysatoren voor de verschillende processen.

## **2.4 Kansen van bioraffinage in Terneuzen**

Op basis van voorgaande paragrafen wordt geconcludeerd dat het concept van bioraffinage grote kansen biedt m.b.t. duurzame benutting van biomassa. Een belangrijke voorwaarde is de combinatie van verschillende processen om de delen van de biomassa afzonderlijk te verwerken. Het Biopark Terneuzen zal in eerste instantie slechts een beperkt aantal verwerkingsprocessen omvatten (vergisting en biodieselproductie). Dat betekent dat niet vanaf het begin verwacht mag worden dat een groot deel van de regionaal beschikbare biomassa in het biopark verwerkt zal worden. Wel vormt het een ankerpunt waarop andere biomassainstallaties kunnen aanhaken, zodat op termijn Terneuzen zich tot een cluster rondom biomassa en biomassaprocessen kan ontwikkelen.

De volgende hoofdstukken gaan verder in op de geplande biomassacentrale en de kennis die daarbij is verzameld en ontwikkeld. Hoofdstuk 8 zal vervolgens weer worden gericht op de beschikbaarheid van regionale biomassa.

### 3. Onderzoek naar de biomassacentrale

De geplande biomassacentrale van Biomassa Unie (BMU) combineert verschillende duurzaamheidsambities:

- productie van duurzame energie (elektriciteit);
- productie van droge biomassa ("groene cokes") voor (indirecte) bio-energieproductie in kolencentrales;
- verwerking van biomassa reststromen (waaronder regionale reststromen).

In dit onderzoek is het ontwerp van de biomassacentrale kritisch tegen het licht gehouden, met in het bijzonder:

- een uitwerking van beschikbare kennis over de beoogde processen inclusief conclusies daaruit voor het ontwerp van de biomassacentrale;
- nadere analyse van aannames over procesrendementen en andere procesparameters, met vergelijking met waarden die gerapporteerd worden in de literatuur en gemeten waarden in bestaande installaties;
- een integrale analyse van de energie- en stofstromen m.b.v. een procesmodel inclusief een aantal scenariostudies en gevoeligheidsanalyses;
- voor- en nadelen van mogelijke alternatieve processen;
- effecten t.a.v. duurzaamheid van de installatie.

De eerste vier punten worden in de volgende paragrafen verder uitgewerkt. Duurzaamheids-effecten worden in het volgende hoofdstuk toegelicht.

#### 3.1 Globale procesbeschrijving

De belangrijkste processen in de installatie zijn:

- Co-vergisting: productie van biogas en digestaat uit mest en andere natte biomassa.
- Warmte kracht koppeling (WKK): productie van elektriciteit en warmte uit biogas met behulp van een gasmotor.
- Verdere verwerkingsprocessen voor het digestaat:
  - Scheiding van digestaat in dikke en dunne fractie.
  - Verwerking van de dikke fractie. In het ontwerp van de Biomassacentrale is gekozen voor een droogproces. Het gedroogde product wordt als "groene cokes" afgezet als brandstof voor kolencentrales. Voor dit droogproces wordt gebruik gemaakt van de hoogwaardige warmte van de gasmotor.
  - Verwerking van de dunne fractie. In het ontwerp van de Biomassacentrale is gekozen voor indampen, met als eindproduct een geconcentreerde NPK meststof. Voor het indampen van de dunne fractie is gekozen voor damp recompressie technieken (MVR). Hiervoor kan de middelwaardige warmte van de gasmotor worden gebruikt.

Hieronder volgt een beschouwing op de geplande processen van de bio-energiecentrale. Daarbij worden toelichtingen gegeven op de actuele wetenschappelijke inzichten bij deze processen, verwachte procesrendementen en evt. alternatieve procesmogelijkheden.

### 3.2 Co-vergisting

De input voor de biomassacentrale is natte biomassa. Dit is ongeveer 50% drijfmest (varkensmest en evt. rundermest) en 50% andere biomassa (“co-producten”). Door energierijke co-producten te kiezen kan de biogasopbrengst worden gemaximaliseerd.

Bij co-vergisting zetten bacteriën gemakkelijk afbreekbare organische stof (koolhydraten, vetten, eiwitten) om biogas. Biogas bestaat voor meer dan 50% uit methaangas; de rest is grotendeels CO<sub>2</sub>. Daarnaast bevat het een kleine hoeveelheid stikstofgassen en organische verbindingen. Momenteel is een groot aantal installaties operationeel (vanwege het gunstige fiscale klimaat vooral in Denemarken en Duitsland). De afgelopen jaren is vooral in Denemarken en Duitsland veel kennis ontwikkeld rondom het principe van co-vergisting. Met de groeiende populariteit in Nederland is die kennis ook doorvertaald naar de Nederlandse situatie (Broeze et al. 2005, Kool et al. 2005).

De “Kenniscbundeling” van Kool et al. (2005) geeft (voor het overgrote deel op basis van Duits en Deens onderzoek) een groot aantal vuistregels voor co-vergisting.

In Bijlage 1 wordt relevante verzamelde en uitgewerkte kennis samengevat, zoals:

- biogasopbrengsten voor verschillende producten;
- samenstelling van het biogas;
- afbraak van organische stof in de vergister.

Ten aanzien van de keuze van co-producten spelen verschillende overwegingen een rol:

- Voor kleine vergisters zonder mogelijkheden om het digestaat (residu) te verwerken is verhandelbaarheid van het digestaat van cruciaal belang. Daarom zijn voor die installaties alleen producten die genoemd zijn op de “positieve lijst voor co-vergisting<sup>1</sup>” toegestaan. Deze lijst bevat naast agrarische gewassen enkele reststromen van voedselverwerkende industrieën (plantaardige producten).
- Voor grootschalige (“industriële”) vergisters kunnen ook andere productstromen interessant zijn mits dit het verwerkings/afzettraject voor het digestaat niet blokkeert. Dit betekent dat bijvoorbeeld slachtafval of producten die niet aan de BOOM normen voldoen interessant kunnen zijn.
- Lignocellulose kan niet worden afgebroken door vergisting. Dat betekent dat houtachtige materialen niet geschikt zijn voor co-vergisting.

---

<sup>1</sup> zie bijvoorbeeld <http://www.biogas.nl/positieve-lijst/>

### 3.3 WKK: productie van elektriciteit en warmte

Gebruikelijk is de toepassing van een gasmotor. Vanwege hoge gehalten van o.a. zwavel in het biogas is gasreiniging noodzakelijk.

Een gasmotor produceert naast de elektriciteit hoog- en middelwaardige warmte. De hoogwaardige warmte bestaat uit uitlaatgassen van hoge temperatuur. De middelwaardige warmte is het koelwater of –olie van de motor (rond 90°C).

De rendementen verschillen enigszins tussen de verschillende motoren. In de literatuur wordt vaak de volgende rendementen aangehouden:

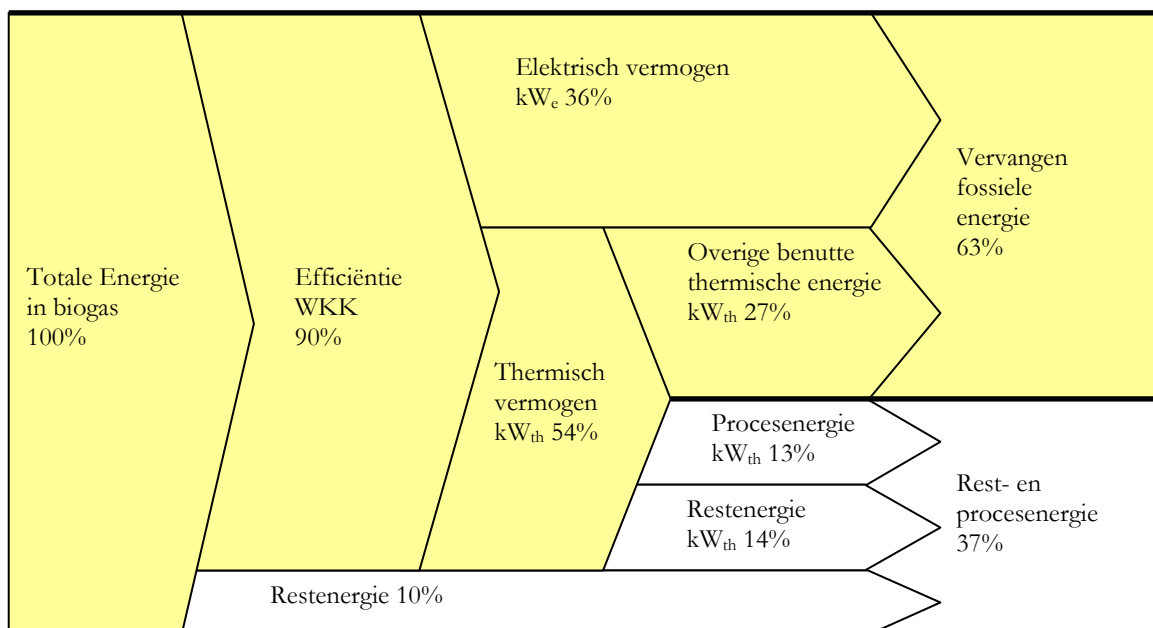
- elektrisch 38%
- hoogwaardige warmte 18%
- middelwaardige warmte 28%

(rendement = deel van de energie-inhoud van het biogas dat zodanig beschikbaar komt)

Met de voortschrijdende techniek wordt gewerkt aan verbetering van de rendementen (vooral het elektrisch rendement). Een actueel voorbeeld heeft de volgende rendementen:

- elektrisch 40.8%
- hoogwaardige warmte 18.3%
- middelwaardige warmte 23.4%

Voor de totale energetische benutting van de energie-inhoud van het biogas geeft Van der Veen (2006) geeft het volgende voorbeeld in Figuur 3.



Figuur 3 Energiebenutting van biogas (van der Veen, 2006)

### 3.4 Nabehandeling van digestaat: scheiding van digestaat in dikke en dunne fractie

Bij de biogasproductie blijft een residu over: digestaat. Dit kan op dezelfde wijze als mest worden afgezet, of het kan verder verwerkt worden.

Daarom ligt

Voor grote installaties zoals de Biomassacentrale is afzet op de mestmarkt niet logisch omdat:

- Die afzetroute strenge beperkingen stelt aan de toe te voegen co-producten (alleen producten volgens de “positieve lijst” zijn toegelaten).
- De hoeveelheid een grote impact op de (toch al enigszins overspannen) mestmarkt heeft.

Omdat in veel omliggende landen, zoals Duitsland, geen mestoverschot bestaat wordt zowel bij kleine als grote co-vergistinginstallaties het digestaat afgezet als mest. Echter in landen zoals Nederland en België is afzet van mest kostbaar vanwege het (bijna-) overschot aan dierlijke mest.

Als eerste stap in de verwerking wordt in nagenoeg alle bekende situaties het digestaat gescheiden in een dikke en dunne fractie die op verschillende manieren verder verwerkt worden.

Voor het scheidingsproces worden verschillende soorten processen gebruikt. Het meest bekend zijn een decanteercentrifuge, vijzelpers en zeefbandpers. Lemmens et al. (2007) en Verlinden (2005) geven een uitgebreide analyse van de verschillende systemen. De belangrijkste conclusies:

- Zeefbandperssystemen geven goede scheidingsrendementen<sup>2</sup>, maar daarvoor is gebruik van hulpstoffen (vlokmiddelen) en spoelwater noodzakelijk. Daarmee wordt de totale hoeveelheid mineralen en vloeistof vergroot.
- Vijzelpers hebben een lager scheidingsrendement.
- Decanteercentrifuges hebben een redelijk scheidingsrendement zonder gebruik van toevoegingen.

Doordat in elke situatie de samenstelling van de inputstromen weer verschilt is geen exacte voorspelling van het scheidingsrendement te geven. Voor digestaat zijn ook weinig praktische cijfers bekend.

Volgens cijfers van Verlinden (2005) komt voor decanteercentrifuges het drogestofgehalte voor de dikke fractie in nagenoeg alle bekeken situaties uit op  $\pm 30\%$ .

### 3.5 Verwerking van de dikke fractie

Bekende technieken zijn composteren en thermisch drogen:

- Door het materiaal te composteren wordt het vochtgehalte verder verlaagd (“biologisch drogen”). Daardoor wordt het materiaal beter transporteerbaar. Indien het product voldoende gepasteuriseerd is, kan het worden geëxporteerd.

---

<sup>2</sup> *Scheidingsrendement: het deel van de massa en de vaste stoffen die in de dikke fractie terecht komen.*

- Als (rest)warmte beschikbaar is, kan dat worden gebruikt voor het drogen van de dikke fractie. Het eindproduct is een gedroogd product met een redelijk hoog gehalte aan organische stof (ongeveer  $\frac{3}{4}$  van de vaste stof), zodat het vrij goed verbrandbaar is. Dit product wordt wel *groene cokes* genoemd.

Bij het composteren wordt een aanzienlijk deel van de organische stof afgebroken. Daardoor is de compost niet bruikbaar als brandstof.

Het thermisch gedroogde materiaal is theoretisch bruikbaar als meststof en als brandstof.

Voor de toepassing als brandstof worden vanuit de overheid wel strenge emissie-eisen gesteld. Omdat het product niet voldoet aan de eisen voor “zuivere biomassa”, moet het worden behandeld als “gele lijst brandstof”. Daarom gelden bij thermische toepassing strenge emissie-normen (Besluit Verbranden Afval), waarbij intensieve rookgasreiniging moet worden toegepast. Daarom ligt verbranding in kolencentrales (die al zijn uitgerust met uitgebreide rookgasreiniging) het meest voor de hand.

Voor het drogen moet het vocht uit het materiaal worden verdampt. Daarbij kan bestaande technieken (droogtrommels) worden toegepast die gebruik maken van de hoogwaardige restwarmte van de gasmotor (dat zijn de uitlaatgassen).

### 3.6 Verwerking van de dunne fractie

Omdat in de vergistingsinstallatie vochtrijke producten worden verwerkt, blijft een omvangrijke hoeveelheid dunne fractie over. Deze dunne fractie bevat nog een aanzienlijk deel van de nutriënten (met name N, P en K). Aanvullende bewerkingen zijn noodzakelijk voordat het geloosd kan worden. Verschillende beschikbare technieken:

- indampen van de dunne fractie,
- zuivering (biologisch en/of met behulp van membraantechnieken).

Een toelichting op verschillende zuiveringstechnieken wordt gegeven in Bijlage 2.

Bij de biomassacentrale is gekozen voor de eerst genoemde techniek: indampen. Anders dan zuiveringsprocessen wordt hierbij gewerkt aan productie van een waardevolle meststof. De belangrijkste stappen in dat proces:

- Als eerste de stikstofverbindingen omgezet in ammoniumnitraat.
- Vervolgens wordt het product ingedampt met gebruik van warmte en een deel van de geproduceerde elektriciteit van de gasmotor.
- Door toepassing van een *Mechanical Vapour Recompression* (MVR) proces wordt een groot deel van de verdampingsenergie weer teruggewonnen in dit proces. Daardoor kan gebruik van externe energie zoveel mogelijk worden beperkt.

Gebruik van MVR technieken is vanwege de benodigde investeringen alleen interessant voor grootschalige installaties.



### **3.7 Conclusies**

De beoogde procesopzet van de biomassacentrale past goed bij het grootschalige karakter. Bij het beoogde ontwerp worden alle residuen buiten de landbouw afgezet. Daardoor kunnen biomassastromen worden verwerkt die voor kleine vergisters niet interessant zijn; dit levert bij inkoop van biomassa markttechnische voordelen op.

## 4. Modelling van biomassaprocessen

De kennis over werking zoals genoemd in het vorige hoofdstuk en procesrendementen is verwerkt in een rekenmodel: “AF+”. Daarbij zijn ook interne koppelingen (op het vlak van energie en stofstromen) verwerkt.

De ontwikkeling van het AF+ model is gericht op het ondersteunen van initiatiefnemers voor bio-energieprocessen. Het model beschrijft inputs en outputs per deelproces:

- stofstromen: debiet, temperatuur, samenstelling (vastestofgehalte, organische stofgehalte, minerale samenstelling, etc.);
- energie/warmtebalans: verbruik en/of productie van warmte (zowel hoogwaardig als middelwaardig) per deelproces;
- elektriciteitsproductie en -verbruik.

Het AF+ model heeft tot doel:

- voorspellen van geproduceerde en benodigde energie per deelproces en van het geheel;
- voorspellen van de samenstelling van de residuen (voor de biomassacentrale: groene cokes en NPK concentraat);
- voorspelling van totale bruto en netto duurzame energieproductie en CO<sub>2</sub> emissiebesparing die daarmee samenhangt<sup>3</sup>;
- ondersteuning van procesontwerp (en op termijn mogelijk processturing) doordat resultaten voor verschillende procesinstellingen vergeleken kunnen worden (denk aan verschillende scheidingsrendementen, aanpassing van drogestofgehalte van NPK concentraat en groene cokes, etc.);
- ondersteuning van grondstoffenkeuze (grondstoffen kunnen door gebruiker worden gekozen; effecten per deelproces en op het geheel worden direct zichtbaar);

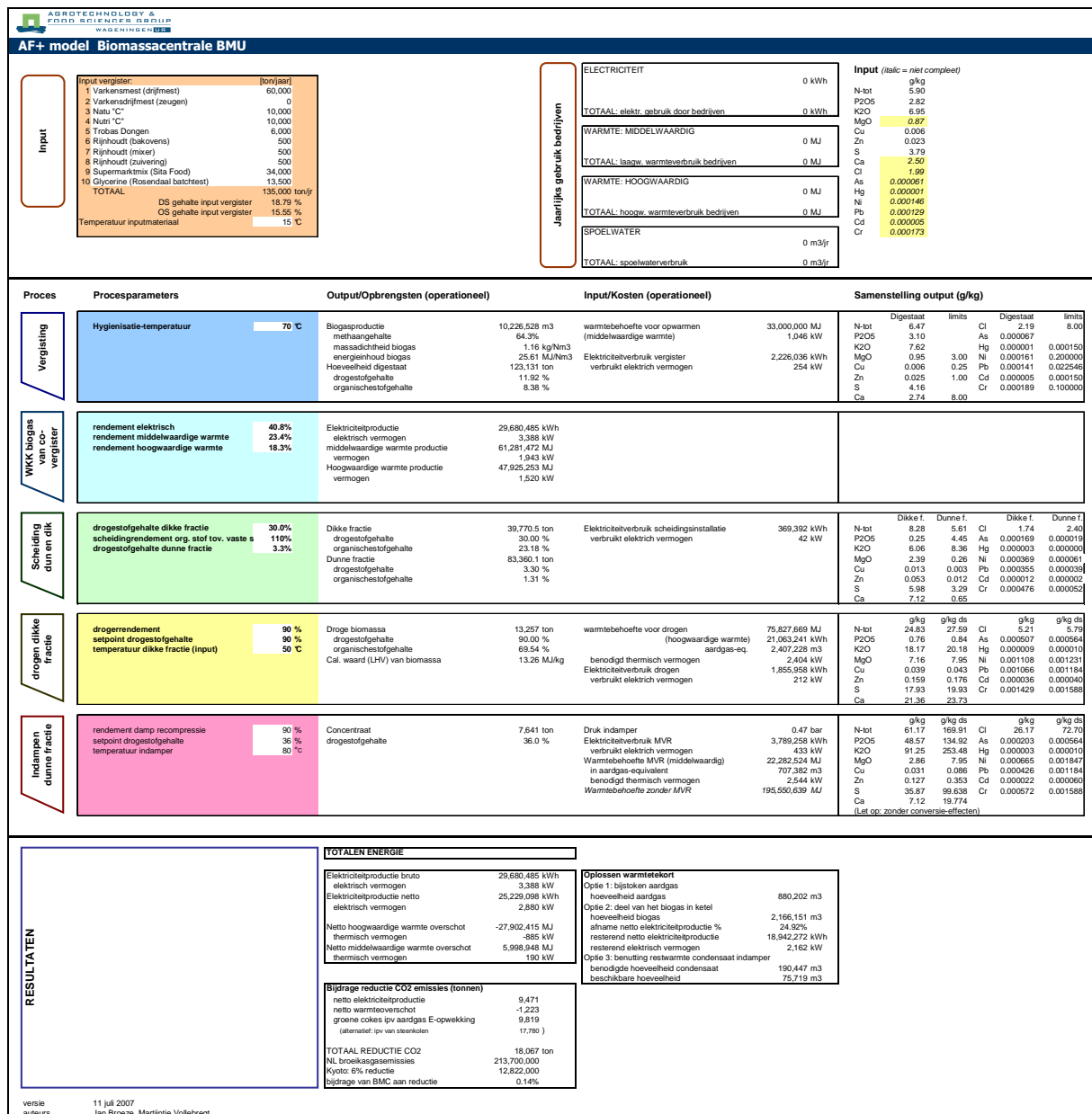
Voor het voorspellen van de verschillende biologische en fysische processen is gebruik gemaakt van de meest actuele inzichten, zoals beschreven in de bijlagen bij dit rapport. Vooral m.b.t. afbraak van organische stof en scheidingsrendementen voor verschillende stoffen zijn de toegepaste rekenregels verder genuanceerd ten opzichte van de gangbare schattingen.

Het model is naar tevredenheid gevalideerd met gegevens van BMU (voor zover beschikbaar).

Figuur 4 geeft een beeld van de user-inferace van het model.

---

<sup>3</sup> De verwachte CO<sub>2</sub>-emissiebesparing is extra belangrijk omdat naar verwachting de vervanging voor de MEP regeling gericht zal worden op deze CO<sub>2</sub>-emissiebesparing.



Figuur 4 User-interface van het AF+ model voor de BMU situatie. De gebruiker kan de witte cellen in de linker kolommen kiezen (zoals keuze van grondstoffen en hoeveelheden, temperaturen en andere procesparameters). De andere kolommen geven vervolgens de effecten (inputs en outputs per deelproces) weer.

## 5. Evaluatie procesontwerp biomassacentrale

### 5.1 Energetische analyse

Met het *AF+* model zijn een standaard scenario en verschillende variaties daarop geanalyseerd. Tabel 1 geeft een samenvatting van de duurzame energieproductie in de BMC voor de ‘base case’ situatie (met een grondstoffen-mix zoals de BMU beoogt). Daarbij heeft het verschil tussen bruto en netto productie betrekking op eigen verbruik in het proces.

Tabel 1 Samenvatting van de duurzame energieproductie in de BMC voor de ‘base case’ situatie

<b>Energiebalans BMC</b>		
Elektriciteitproductie bruto	30	GWh
gemiddeld bruto elektrisch vermogen	3,4	MW
Elektriciteitproductie netto	25	GWh
gemiddeld netto elektrisch vermogen	2,9	MW
Netto hoogwaardige warmte overschot	-27	TJ
thermisch vermogen	-0,8	MW
Netto middelwaardige warmte overschot	5,9	TJ
thermisch vermogen	0.2	MW

Merk op dat er een tekort is aan hoogwaardige warmte; hiervoor is externe energie (bijvoorbeeld aardgas) nodig. Dit tekort is wel aanzienlijk kleiner dan de duurzame energieproductie.

Belangrijkste andere conclusies t.a.v. het procesontwerp:

- In de WKK wordt ongeveer 60 TJ middelwaardige warmte geproduceerd. De helft daarvan is nodig voor het opwarmen van het ingangsmateriaal. Van het restant is 22 TJ nodig in de indamper.
- In het koude seizoen (met een temperatuur van het ingangsmateriaal van ongeveer 5°C) komt het netto warmteoverschot op ongeveer 0 uit. Dit is blijkbaar is goed gebalanceerd ontwerp. (er blijft dan nog wel wat zeer laagwaardige warmte over in de vorm van lauwwater; dat is echter niet bruikbaar in de centrale).
- Scheidingsrendementen van het scheidingsproces hebben een grote invloed op het totale procesrendement. Als er te veel vocht in de dikke fractie terecht komt, loopt het tekort aan hoogwaardige warmte verder op. Als er te veel vaste stof in de dunne fractie terecht komt, wordt het NPK concentraat minder zuiver. Als bijvoorbeeld het drogestofgehalte van de dikke fractie zou dalen van 30% naar 25%, dan loopt het jaarlijks tekort aan hoogwaardige warmte op tot 50 TJ.

### 5.2 Procesresiduen: NPK concentraat en groene cokes

Uit modelberekeningen volgen indicatieve samenstellingen van het concentraat. De verhouding N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O liggen (voor een basis-inputscenario voor de biomassacentrale) rond 3:1:5.

Om onder de definitie van ‘Samengestelde vloeibare meststoffen’ volgens EG verordening nr. 2003/2003 te vallen gelden o.a. de volgende eisen:

- totaal gehalte N + P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> + K<sub>2</sub>O minimaal 15% (massaprocenten)
- gehalte N minimaal 2%
- gehalte P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> minimaal 3%
- gehalte K<sub>2</sub>O minimaal 3%

Het concentraat (voor een basis-inputscenario voor de biomassacentrale) heeft volgens de modelberekeningen indicatief de volgende samenstelling:

- De verhouding N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O ligt rond 3:1:5. Meest kritisch is blijkbaar het relatief lage fosfaatgehalte.
- Het totale massa-aandeel van N + P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> + K<sub>2</sub>O is ongeveer 45% van de drogestof.

Door het product te concentreren tot een drogestofgehalte van 60% komen de gehalten binnen de gestelde norm<sup>4</sup>.

Van de overige mineralen is het zinkgehalte hoog t.o.v. de eis; bij inkoop van co-producten zal kritisch gelet moeten worden op het zoutgehalte (m.n. zink).

De groene cokes zullen een calorische waarde van ongeveer 12 à 14 MJ/kg hebben (ter referentie: de calorische waarde voor hout ligt tussen 17,5 en 19,5 MJ/kg). Het asgehalte ligt rond 20% (t.o.v. de droge stof).

Het product wordt volgens de huidige wetgeving niet gezien als “schone biomassa” (zoals schoon hout), maar valt onder de “gele lijst”. Dat betekent dat bij thermische toepassing (zoals verbranding of vergassing) strenge emissie-normen gelden (BVA). Daarom zal de opbrengstprijzen aanzienlijk onder de prijs van houtpellets liggen.

### 5.3 Remmende stoffen voor co-vergisting

Het co-vergistingsproces is een biologisch proces dat evenals andere biologische processen een “evenwichtige” voeding nodig heeft. Hoewel de bacteriepopulatie afgestemd kan worden op de specifieke input (bijv. door een “evolutionair” gewenningsproces”) worden toch grenzen aan doses van bepaalde stoffen gesteld. Tijdens het onderzoek bleek evenwel dat de wetenschappelijke kennis op dat vlak beperkt is.

Kool et al. (2005, p 7) maken melding van verschillende soorten remmende stoffen:

- stoffen die gevormd worden tijdens het vergistingsproces (zoals ammoniak en zwavelwaterstof);
- extern met het substraat aangevoerde stoffen (zoals antibiotica en schoonmaakmiddelen).

Tijdens het vergistingsproces wordt ammoniak (NH<sub>3</sub>) uit eiwitten geproduceerd (Kool et al., 2005). Sterke schommelingen van het ammoniakgehalte moeten worden voorkomen. Vanaf een

---

<sup>4</sup> Hier is alleen gekeken naar de genoemde gehalte eisen; andere eisen aan het product zijn in dit onderzoek niet meegenomen.

concentratie van 0,15 g/l vormt ammoniak een beperking voor de activiteit van de bacteriën. Ook zwavelwaterstof wordt gevormd tijdens het vergistingsproces. Dit kan in opgeloste vorm al in concentraties van 50 mg/l remmend werken op het proces. Hoge concentraties van aangevoerde stoffen als antibiotica en schoonmaakmiddelen moeten worden vermeden omdat ze een negatieve werking hebben op het vergistingsproces. Formaldehyde wordt bijvoorbeeld als ontsmettingsmiddel gebruikt in de melkveehouderij en komt zo in de mest terecht.

FNR (2005) geeft een uitgebreidere lijst van remmende stoffen (zie Tabel 2), die toxisch werken op de bacteriën.

Tabel 2 Remmende stoffen en hun schadelijke concentraties (FNR, 2005).

Remmende stof	Concentratie (FNR, 2005)	Gehalte in varkensmest (indicatief, g/l)
Natrium	tussen 6-30 g/l (in aangepaste culturen blijft het vergistingsproces lopen tot 60 g/l)	7
Kalium	vanaf 3 g/l	6
Calcium	vanaf 2,8 g/l CaCl <sub>2</sub>	
Magnesium	vanaf 2,4 g/l MgCl <sub>2</sub>	1
Ammonium	2,7-10 g/l	4
Ammoniak	vanaf 0,15 g/l	–
Zwavel	vanaf 50 mg/l H <sub>2</sub> S, 100 mg/l S <sup>2-</sup> , 160 mg/l Na <sub>2</sub> S (in aangepaste culturen tot 600 mg/l Na <sub>2</sub> S en 1000 mg/l H <sub>2</sub> S)	0.6
Zware metalen	<u>als vrije ionen:</u> vanaf 10 mg/l Ni, vanaf 40 mg/l Cu, vanaf 130 mg/l Cr, vanaf 340 mg/l Pb, vanaf 400 mg/l Zn <u>in carbonaat vorm:</u> vanaf 160 mg/l Zn, vanaf 170 mg/l Cu, vanaf 180 mg/l Cd, vanaf 530 mg/l Cr <sup>3+</sup> , vanaf 1750 mg/l Fe Zware metalen kunnen door sulfide worden geneutraliseerd	-
Vertakte vetzuren	Iso-boterzuren: al vanaf 50 mg/l remmend	

De genoemde concentratie waarbij het vergistingsproces daadwerkelijk wordt geremd is om verschillende redenen geen harde grens:

- Allereerst kunnen bacteriën zich aanpassen.
- Verder zijn er ook wisselwerkingen tussen remstoffen en andere stoffen.
- De vorm waarin de stoffen in het product aanwezig zijn speelt een belangrijke rol. Zo werken zware metalen slechts schadelijk voor het vergistingsproces in opgeloste vorm. Door zwavelwaterstof (gevormd in het proces) kunnen ze worden gebonden.

En voor ammonium/ammoniak is de pH bepalend. Bij een toenemende basische pH-waarde verschuift het evenwicht tussen ammoniak ( $\text{NH}_3$ ) en ammonium ( $\text{NH}_4$ ) richting meer ammoniak. Vanaf een concentratie van 0,15 g/l vormt ammoniak een beperking voor de activiteit van de bacteriën. Bovendien kan ook een hoge totaal concentratie van  $\text{NH}_3$  en  $\text{NH}_4$  vanaf ongeveer 3000 mg/l tot een remming van het vergistingsproces leiden. Zwavel is naast een remmende stof in eerste instantie overigens een essentieel sporenelement.

Overigens kan ook een overmatige toevoer van substraat remmend werken, aangezien in principe elke inhoudstof van een substraat in hoge concentratie schadelijk kan zijn voor de bacteriën. In het bijzonder geldt dit echter voor stoffen als antibiotica, ontsmettings- en oplosmiddelen, herbiciden, zouten en zware metalen. Ook essentiële sporenelementen kunnen in te hoge concentratie toxisch zijn.

## 6. Mogelijkheden voor koppeling met andere activiteiten op het Biopark

Uit de resultaten genoemd in voorgaand hoofdstuk blijkt dat de biomassacentrale energetisch redelijk gesloten is (afgezien van de netto elektriciteitsopbrengst). Alleen laagwaardige restwarmte zou nog kunnen worden ingezet voor anderen.

De biologische waterzuivering van Heros kan wel laagwaardige restwarmte gebruiken. Tijdens koude wintermaanden daalt de temperatuur van het water naar een ongewenst lage waarde (dat verslechtert de werking van het biologische zuiveringsproces). Om het water op te warmen wordt momenteel gebruik gemaakt van stoom. Met betrekking tot de inzetbaarheid van laagwaardige restwarmte van de biomassacentrale kan het volgende gezegd worden:

- Beschikbaarheid van restwarmte bij de BMC:
  - Hoogwaardige restwarmte: hieraan is een licht tekort.
  - Middelwaardige warmte van de gasmotor: Deze wordt gebruikt voor het opwarmen van het ingangsmateriaal (tot 70 graden) en voor de indamper. Gemiddeld is ruim 100 kW thermisch vermogen over. Echter, in de winter (met kouder ingangsmateriaal dan in de zomer) ontstaat juist een tekort.
  - Middel/laagwaardige restwarmte van het condensaat van de indamper. Het condensaat van de indamper komt naar verwachting vrij bij een temperatuur rond 70°C. Het kan in eerste instantie nog worden ingezet voor een eerste opwarmstap van de ingangsmateriaal voor de co-vergister. Uiteindelijk zal restwarmte (lauw water) met een temperatuur van ongeveer 40°C beschikbaar komen (opgave BMU/Heros). Hierbij gaat het om jaarlijks ongeveer 80 000 m<sup>3</sup>. Bij terugkoelen tot 14°C komt daaruit theoretisch 9 TJ warmte vrij; gemiddeld vermogen: bijna 300 kW.
  
- Energiebehoefte:
  - Totale debiet door de zuivering is 40m<sup>3</sup>/uur.
  - Dit moet opgewarmd worden van 2 naar 14°C.
  - De daarvoor benodigde warmte is 2000 MJ per uur (dat is 560 kW).

Conclusie: De laagwaardige restwarmte van de biomassacentrale kan de helft van de benodigde warmte leveren voor het opwarmen van het zuiveringswater in het koude seizoen.



## 7. Duurzaamheidseffecten van de biomassacentrale

In hoofdstuk 5 is de duurzame energieproductie van de biomassacentrale toegelicht.

Met betrekking tot CO<sub>2</sub> emissiebesparing levert de 'base case' situatie de volgende effecten, zoals vermeld in Tabel 3.

Tabel 3 Effecten CO<sub>2</sub> besparing base case.

Bijdrage reductie CO <sub>2</sub> emissies door		
netto elektriciteitproductie	11,3	kton
bijdrage t.g.v. netto warmtetekort	-1,1	kton
groene cokes als vervanging van kolen voor elektriciteit opwekking	17,5	kton
TOTAAL REDUCTIE CO <sub>2</sub>	27,7	kton
NL broeikasgasemissies	213.700	kton
Kyoto: 6% reductie	12.822	kton
bijdrage van BMC aan reductie	0,15%	

In bovenstaand overzicht is gerekend met een gemiddelde CO<sub>2</sub> productie bij opwekking van elektriciteit van ongeveer 590gr/kWh (CBS, 2006). Bij de vermeden CO<sub>2</sub> emissies bij het verbranden van groene cokes is gerefereerd aan steenkool (2.73 kg CO<sub>2</sub> per kg kolen; verbrandingswaarde is 27 MJ per kg).

### Logistiek: biomassa-transport

Volgens het huidige ontwerp wordt jaarlijks de volgende hoeveelheid biomassa verwerkt:

- 60 000 ton varkensmest, dat is ruim de helft van de totale hoeveelheid varkensmest die in Zeeland wordt geproduceerd<sup>5</sup>.
- 75 000 ton andere biomassa, waarvan mogelijk ongeveer 15 000 lokaal beschikbaar is (andere partijen in het cluster).
- Met een gemiddelde lading van 24 ton per vrachtwagen zullen jaarlijks 5000 vrachten worden aangevoerd. Echter, het aantal vrachten zal veel lager worden als biomassa per schip wordt aangevoerd.

Transportbesparing: netto ongeveer 0, aangezien de producten anders naar andere bestemming werden gebracht.

### Andere effecten

Besparing emissies in de vorm van mest: niet gekwantificeerd.

<sup>5</sup> Op basis van cijfers van CBS: in Zeeland zit ongeveer 1% van de totale Nederlandse varkensstapel (totaal ruim 10 miljoen varkens); ongeveer 1 ton mest per varken per jaar.

## 8. Beschikbaarheid van regionale biomassa

Dit hoofdstuk gaat nader in op de vraag: wat is de beschikbaarheid van biomassastromen in Zeeland (t.b.v. de vergistingsinstallatie) in kwantitatieve en kwalitatieve zin? Daarbij wordt beperkt ook gekeken naar nabij gelegen provincies en over de grens in België.

Deze studie is uitgevoerd in de vorm van een deskstudie, richtend op het inventariseren van potentiële biomassaleveranciers / -eigenaren (verwerkende industrie, agrarische sector, handel, overheden).

### 8.1 Biomassacategorieën

#### 8.1.1 Algemene indeling

In het algemeen kan biomassa in verschillende categorieën worden opgedeeld (Hanegraaf et al., 2007):

- geteelde biomassa
  - geteelde gewassen divers
  - geteelde houtige gewassen
  - geteelde gewassen zetmeelhoudend
  - geteelde gewassen suikerhoudend
  - geteelde gewassen oliehoudend
- primaire bijproducten
  - reststromen bosbouw
  - reststromen landbouw
  - reststromen landschapsonderhoud
- secundaire en tertiaire bijproducten
  - reststromen voedingsmiddelenindustrie divers
  - reststromen voedingsmiddelenindustrie zetmeelhoudend
  - reststromen voedingsmiddelenindustrie suikerhoudend
  - dierlijke oliën en vetten
- import
  - hout
  - plantaardige oliën

Biomassa kan in de vorm van gewassen worden geteeld op traditioneel agrarische grond, in natuurgebieden, of op set-a-side land. Geteelde biomassa kan worden geproduceerd met eenjarige akkerbouwgewassen zoals hennep, suikerbiet, koolzaad, tarwe, gerst en maïs. Verder kunnen ook meerjarige grasachtige gewassen worden gebruikt, zoals Miscanthus, switchgrass, reed canary grass. Tenslotte kan men denken aan meerjarige houtige gewassen zoals wilg, populier en short rotation forestry (SRF).

Primaire bijproducten hebben als eigenschap dat ze ontstaan bij de bron, dat is dus in het bos, bij de oogst (stro, bietenloof), of tijdens het onderhoud van het landschap (bermgras, heideplaggen, tuinafval). Over het algemeen kunnen deze bijproducten blijven liggen en dat gebeurt ook in veel gevallen. Een aparte categorie biomassa vormt mest uit de veehouderij. De mest moet afgezet worden. Er kan een onderscheid gemaakt worden tussen kippenmest, varkensmest en rundermest.

Secundaire en tertiaire bijproducten hebben als kenmerk dat zij later in de keten vrij komen en altijd afgezet moeten worden. Voorbeelden zijn aardappelstoomschillen en zaagsel van houtzagerijen. Reststromen uit de voedings- en genotmiddelenindustrie bestaan uit o.a. cacaodoppen en cacaoresten (cacaoverwerking), aardappelschillen, bierbostel (bierbrouwerijen), restgist (mouterijen), koffiedik en andere organische materialen. Het ligt voor de hand dat reststromen die momenteel tot veevoeder verwerkt worden beschikbaar komen voor toepassingen in non-food ketens.

De categorie biomassa import kan in theorie alle typen biomassa bevatten (primaire, secundaire bijproducten en geteelde biomassa (commodities)).

De bestaande plannen voor de biomassacentrale resp. biodieselfabriek richten zich op reststromen (categorieën primaire, secundaire en tertiaire bijproducten) resp. import.

## **8.2 Potentieel beschikbare hoeveelheden reststromen in de verschillende biomassacategorieën volgens bestaande literatuur**

### *8.2.1 Duurzame Energie scan Zeeuwse gemeenten*

In 2003/2004 is een gestandaardiseerde Duurzame Energie scan uitgevoerd bij alle dertien Zeeuwse gemeenten door Ecofys & K+V (2004a, 2004b). De resultaten daarvan op het gebied van bio-energie zijn samengevat in Tabel 4, waarin het praktisch technisch potentieel in GigaJoules is vermeld. Dit wordt gedefinieerd als het potentieel dat (in theorie) gerealiseerd kan worden als een aanzienlijk deel van de mogelijkheden wordt benut. Er wordt hiervoor bewezen technologie gebruikt die (eventueel met subsidie) rendabel is. De in de studie gehanteerde bewezen technologie voor bio-energie is vergisting voor natte biomassa en verbranding voor droge biomassa. Het theoretisch potentieel ligt nog een stuk hoger. Het totaal berekende technisch potentieel van duurzame energie uit biomassa komt op ongeveer 1,6 PJ<sup>6</sup>. Ter vergelijking: een gemiddeld Nederlands huishouden verbruikt op jaarbasis zo'n 89 GJ, verdeeld over elektriciteit, warmte en gas. Het totaal potentieel komt dus overeen met het energieverbruik van zo'n kleine 17.900 huishoudens.

---

<sup>6</sup> 1 PJ = 1.000 TJ ofwel 1.000.000 GJ

In totaal heeft men op basis van (bewerkte) CBS gegevens en opgaves van gemeenten de volgende hoeveelheden biomassa berekend in Zeeland:

- 20.000 ton bermafval;
- 45.000 ton GFT-afval;
- 12.000 ton houtafval (waaronder ook geleverd en geïmpregneerd hout dat een speciale verwerking vergt);
- 13.000 ton grof tuinafval;
- de hoeveelheden snoeihout uit de openbare ruimte, rooi- en snoeihout uit de fruitsector (7,5 ton/ha/j) en mest zijn niet gekwantificeerd.

Tabel 4 Het praktisch technisch potentieel bioenergie uit reststromen voor de Zeeuwse gemeenten (Ecofys & K+V, 2004a).

Gemeente	Vergisting natte biomassa agrarisch (GJ)	Vergisting natte biomassa gemeente (GJ)	Verbranding droge biomassa agrarisch (GJ)	Verbranding droge biomassa gemeente (GJ)	Verbranding droge biomassa buitengebied (GJ)	Totaal (GJ)
Borsele	16.835	14.162	85.284	13.242	7.787	137.310
Goes <sup>7</sup>	16.835	14.162	85.284	13.242	7.787	137.310
Hulst	14.234	7.954	22.163	16.524	50.418	111.293
Kapelle	2.400	5.193	46.377	6.854	3.422	64.246
Middelburg	3.401	8.998	9.103	27.380	10.089	58.971
Noord-Beveland	7.308	8.099	19.637	13.195	19.370	67.609
Reimerswaal	7.881	13.273	83.875	18.028	15.029	138.086
Schouwen Duiveland	19.367	19.003	91.922	20.431	71.428	222.151
Sluis	31.270	2.394	20.006	20.415	6.100	80.185
Terneuzen	11.812	10.145	33.782	75.956	16.510	148.205
Tholen	66.283	2.332	45.929	36.515	25.284	176.343
Veere	23.654	9.677	120.276	13.086	34.530	201.223
Vlissingen	993	8.257	1.433	29.788	7.750	48.221
Totaal	222.273	123.649	665.071	304.656	275.504	1.591.153

<sup>7</sup>Let op: De getallen van Borsele en Goes zijn exact gelijk; waarschijnlijk zijn ze niet goed verwerkt in het rapport. In de Zeeuwse atlas voor Duurzaamheid (2005) staat bij Goes 110.880 als totaal potentieel. In dat rapport wijkt Reimerswaal ook sterk af van de gegevens in bovenstaande tabel:

Tabel 5 Praktisch technisch potentieel bioenergie op basis van van reststromen voor de Zeeuwse gemeenten volgens de Zeeuwse Atlas (2005)

Gemeente	Totaal (GJ)
Borsele	137.200
Goes	111.880
Hulst	110.000
Kappele	63.600
Middelburg	60.000
Noord-Beveland	68.440
Reimerswaal	120.000
Schouwen Duiveland	220.500
Sluis	81.400
Terneuzen	149.600
Tholen	176.800
Veere	199.500
Vlissingen	49.300
Totaal	1.547.220

De gehanteerde berekeningsfactoren zijn:

- 1 ha teelt van houtachtige biomassa levert 150 GJ/jaar (Ecofys & K+V, 2004a)
- De teelt van houtige biomassa gewassen levert ongeveer 10 ton droge stof per ha per jaar.
- 1 ton ds levert ongeveer 18 GJ.

Hierbij zijn nieuwe mogelijke productiemogelijkheden (zoals teelt van wilgen op een baggerspiedepot) buiten beschouwing gelaten.

Een belemmering bij het benutten van de door Ecofys & K+V (2004a) geïnventariseerde biomassa, blijkt te zijn dat veel van de regionale biomassa reeds gecontracteerd is voor een langere periode (tot 2012 en soms tot 2017) via het Openbaar Lichaam Afvalstoffenverwijdering Zeeland (O.L.A.Z.). Deze biomassa is dus niet daadwerkelijk beschikbaar voor nieuwe duurzame initiatieven voor het verwerken van biomassa, zoals in Terneuzen<sup>8</sup>. De gemeenten willen de contracten ook niet openbreken. Restanten van biomassa die buiten deze contracten vallen zijn vaak erg verspreid en vragen hoge logistieke kosten om te worden ingezameld (zoals b.v. snoeihout uit landschappelijke singels, e.d.).

<sup>8</sup> persoonlijke mededeling dbr H. Assink, Provincie Zeeland

Tabel 6 Nadere typering van de bronnen van de agrarische biomassa in de Zeeuwse gemeenten (Ecofys & K+V, 2004a).

Gemeente	Areaal akkerbouwgrond dat mogelijk voor energieteelt benut kan worden (ha)	Areaal fruitteelt (ha)
Borsele	6.000	0
Goes	4.800	0
Hulst	4.800	0
Kappele	1.400	0
Middelburg	0	0
Noord-Beveland	4.300	0
Reimerswaal	3.450	0
Schouwen Duiveland	11.500	0
Sluis	4.300	0
Terneuzen	7.000	120
Tholen	7.600	0
Veere	6.300	0
Vlissingen	0	0
Totaal	61.450	120

Het totale landbouwareaal in Zeeland is 121.000 ha (Verschelling et al., 2006). Dit is hoger dan het areaal dat in Tabel 6 wordt genoemd.

#### 8.2.2 *Beleidsdocument beoordeling biomassacentrales*

In opdracht van de Gemeenten Terneuzen, Hulst en Sluis is een beleidsdocument voor de beoordeling van biomassacentrales opgesteld (de Bakker et al., 2006). Hierin wordt o.a. ingegaan op de beschikbare biomassa (Tabel 7). Daarnaast geeft het informatie over bestaande verwerkingsinstallaties voor biomassa reststromen (Tabel 8). Zeeland had oorspronkelijk vier afvaloverslagstations:

- Zierikzee (regio Schouwen-Duiveland);
- Sloe (regio Midden-Zeeland);
- Bergen op Zoom (regio Tholen);
- Koegorspolder (regio Zeeuws-Vlaanderen, gesloten per 1 oktober 2005).

Tabel 7 Huidige afvalinzameling en verwerking binnen Zeeland (de Bakker et al., 2006 op basis van [www.zrd.nl](http://www.zrd.nl)).

Locatie	Hoeveelheid (ton/jaar)	Toelichting
GFT-compostering Nieuwdorp	50.000	Ongeveer 3.500 ton wordt uitgezeefd (restafval) en 46.500 ton GFT wordt omgezet in 18.000 ton compost.
Groencompostering Nieuwdorp	20.000	Grof groenafval uit tuin- en akkerbouw en groenafval van gemeenten en bedrijven
Afvalscheidingsinstallatie Nieuwdorp	9.000	Dit bestaat uit 7.750 ton herbruikbaar bouw- en sloopafval, 500 ton niet herbruikbaar bouw- en sloopafval, 200 ton herbruikbaar bedrijfsafval en 550 ton overig afval.
AVI Moerdijk	68.000	Ongeveer 1/3 uit Zeeuws-Vlaanderen en 2/3 uit Midden- en Noord-Zeeland
Stortplaats Nieuwdorp (Midden- en Noord Zeeland)	134.000	Dit is het deel van het brandbare afval dat (nog) niet verbrand kan worden door onvoldoende capaciteit van de verbrandingsoven.

Tabel 8 Kwantitatief overzicht biomassastromen in Zeeland (de Bakker et al., 2006).

Biomassastroom	Omvang (ton)
Reststromen landbouw	onbekend
Reststromen tuinbouw <sup>1</sup>	7,5
Dunne mest (2003) <sup>2</sup>	796.307
Vaste mest (2003) <sup>2</sup>	71.730
Plantaardig bedrijfsafval (2003) <sup>2</sup>	13.647
Houtafval bedrijven (2003) <sup>2</sup>	2.515
Houtafval milieustraten (cat. B, C) (2003) <sup>3</sup>	5.000-10.000
Gemeentelijk plantsoenafval <sup>4</sup>	26.000
Particulier tuin- en snoeiafval <sup>4</sup>	13.000
Bermgras <sup>1</sup>	20.000
GFT <sup>1</sup>	45.000

1 Ecofys & K+V, 2004a

2 CBS

3 Afvaloverlegorgaan

4 SenterNovem "Inzameling biomassa"

De Bakker et al. (2006) noemen een aantal barrières voor de daadwerkelijke inzet van de biomassa:

- concurrentie met andere toepassingen (bv agrarische reststromen als veevoer);
- langlopende leveringscontracten aan composteringsinstallaties (GFT-afval);
- relatief lage energie-inhoud (groenafval, vloeibare mest);
- logistieke belemmeringen door versplintering van het aanbod en lange transportafstanden (kosten);
- kosten/opbrengsten van deelstromen;
- aanwezigheid van verontreinigingen;
- continuïteit /periodiciteit van het aanbod;
- kosten opslag.

Het onderzoek van de Bakker et al. (2006) geeft ook een overzicht van bedrijven in Zeeuws-Vlaanderen die mogelijk als bron van biomassa kunnen optreden (Tabel 9).

Tabel 9 Overzicht partijen met biomassastromen in Zeeuws-Vlaanderen (de Bakker et al., 2006).

Bedrijf/organisatie	Hout afval	Vlas afval	Berm maaisel	Organisch materiaal	Papier afval
Den Doelder Hout (Axel)	X				
Houthandel Jongeneel (Terneuzen)	X				
Timmerbedrijven	X				
Meubelbedrijven	X				
Bouwgroothandel	X				
Bouwbedrijven	X				
Spaanplatenfabriek Linex Pro-Grass (Koewacht)		X			
Vlasserijen (grensstreek met België)		X			
Gemeenten Hulst, Sluis en Terneuzen			X		
Provincie Zeeland			X		
Rijkswaterstaat Dienstkring Zeeuwsch-Vlaanderen			X		
Waterschap Zeeuws-Vlaanderen			X		
Biocups (Westkapelle)				X	
Levensmiddelenverwerkende bedrijven				X	
Fruithandelbedrijven				X	
Glastuinbouwbedrijven				X	
Tuincentra				X	
Supermarkten				X	
Sorteercentrum TPG (Terneuzen)					X
Verbrugge terminals (Terneuzen)					X
Elopak (Terneuzen)					X
Elocaot (Terneuzen)					X



Het zelfde type bedrijven komt ook in de andere delen van Zeeland en aangrenzende regio's in België in aanmerking. Een gedetailleerde marktverkenning en contacten met bedrijven ontbreken echter nog.

### 8.2.3 Mest

In het rapport van de Groene et al. (2005) wordt een overzicht gegeven van de beschikbare mest in de provincie Zeeland in 2002 (zie Tabel 9). Deze gegevens waren gebaseerd op gegevens van het CBS. De lokaal in Zeeland geproduceerde mest (833.675 ton) blijkt bijna verdubbeld te worden door geïmporteerde mest (718.210 ton). Slecht een relatief klein gedeelte (145.370, ofwel 17,5%) van de geproduceerde mest wordt afgevoerd buiten Zeeland. Het grootste deel van de potentieel beschikbare mest bestaat uit dunne rundveemest (656.620 ton) waarvan het merendeel lokaal werd geproduceerd, gevolgd door vleesvarkensmest (471.182 ton) waarvan het grootste deel werd geïmporteed.

Tabel 10 Mestproductie aan- en afvoer van mest voor de provincie Zeeland in 2002 (de Groene et al., 2005)

Soort	Productie (ton)	Aanvoer (ton)	Afvoer (ton)	Beschikbaar (ton)	Aandeel (%)
Dunne rundveemest	641.350	41.776	26.506	656.620	46,7
Vaste pluimveemest	25.822	97.880	14.112	109.590	7,8
Dunne pluimveemest	6.341	11.346	7.839	9.848	0,7
Dunne vleesvarkensmest	84.536	469.754	83.108	471.182	33,5
Dunne zeugenmest	34.316	80.798	7.476	107.638	7,6
Overige mest	41.310	16.656	6.329	51.637	3,7
Totaal	833.675	718.210	145.370	1.406.515	100

### 8.3 Evaluatie en conclusies

Cijfers uit beschikbare publieke literatuur hebben nagenoeg alleen betrekking op het potentieel aan biomassa uit reststromen en beschikbare reststromen uit de landbouw, beheer van openbaar groen en GFT.

Cijfers over omvang en beschikbaarheid van reststromen van voedselverwerkende bedrijven zijn in de regel vertrouwelijk en daarom niet publiek beschikbaar. Juist die stromen zijn in eerste instantie interessant voor een bedrijf zoals de biomassacentrale om de volgende redenen:

- continuïteit en beschikbaarheid;
- zuiverheid;
- veiligheid;
- etc.

Bij ontwikkeling van een nieuwe installatie zoals de biomassacentrale is zekerheid over grondstoflevering van groot belang. Om die reden zullen in eerste instantie vooral de reststromen van voedselverwerking gekozen worden. In een volgende fase kan aan optimalisatie van de bedrijfsvoering worden gewerkt door het kiezen van andere (regionale) biomassastromen. Het niet beschikbaar zijn van cijfers over beschikbaarheid van deze reststromen hoeft geen belemmering te vormen omdat een partij zoals Biomassa Unie voldoende marktkennis heeft.

## 9. Kennisbenutting

Belangrijkste resultaten voor de kennisinstelling:

- De bijdrage vanuit dit project aan het in  $AF+$  model hebben geleid tot een sterke verbreding van de toepasbaarheid van het model. Bovendien levert de case van de BMC een goede validatie van het model.
- Het model wordt (met uitzondering van vertrouwelijke gegevens over specifieke grondstoffen) gebruikt voor onderzoek naar bioenergiecentrales elders, zowel in Nederland als in onderzoek voor buitenlandse geïnteresseerden.
- Volgens planning zal het model op termijn verder worden uitgebreid.
- Versterking van de relatie met aanwezige bedrijven op het vlak van biomassa en bioenergie; een basis voor nieuw onderzoek.

## 10. Conclusies

De belangrijkste conclusies zijn:

- Het concept van bioraffinage grote kansen biedt m.b.t. duurzame benutting van biomassa. Een belangrijke voorwaarde is de combinatie van verschillende processen om de delen van de biomassa afzonderlijk te verwerken.
- Er wordt niet verwacht dat vanaf het begin meteen al een groot deel van de regionaal beschikbare biomassa in het biopark verwerkt zal worden.
- Terneuzen vormt een ankerpunt waarop andere biomassainstallaties kunnen aanhaken, zodat zich op termijn een cluster rondom biomassa en biomassaprocessen kan ontwikkelen.
- De beoogde procesopzet van de biomassacentrale past goed bij het grootschalige karakter. Bij het beoogde ontwerp worden alle residuen buiten de landbouw afgezet. Daardoor kunnen biomassastromen worden verwerkt die voor kleine vergisters niet interessant zijn; dit levert bij inkoop van biomassa markttechnische voordelen op.
- Het beoogde proces van de biomassacentrale is uitgewerkt in een rekenmodel: “AF+”. Uit modelsimulaties komen de volgende resultaten naar voren:
  - De biomassacentrale kan energetisch als een redelijk gesloten systeem worden beschouwd.
  - Een (relatief geringe) hoeveelheid restwarmte kan nog dienen om de nabijgelegen waterzuivering gedurende het winterseizoen te verwarmen (ter vervanging van 50% van het aardgas dat in de bestaande situatie nodig is).
  - De gehalten aan mineralen in het geproduceerde NPK concentraat vallen redelijk binnen de gestelde normen.
  - De groene cokes hebben een aanzienlijk lagere stookwaarde dan houtpellets. Bovendien vallen ze niet onder definitie van schone biomassa, dus gelden er een strengere emissie-eisen bij verbranding/vergassing dan bij houtpellets. Daarom zal de verkoopprijs lager uitvallen dan voor houtpellets.
- De biomassacentrale kan op nationale schaal 0.15% van de Nederlandse Kyoto doelstelling leveren.

- Op het gebied van transportbesparing wordt het effect op 0 geschat aangezien de producten anders naar andere bestemming werden gebracht.
- Ten aanzien van de regionale biomassa:
  - Een belangrijke belemmering bij het benutten van de geïnventariseerde regionale biomassa, blijkt te zijn dat veel van de regionale biomassa reeds gecontracteerd is voor een langere periode (minstens tot 2012).
  - De logistiek van het verzamelen van verspreid voorkomende biomassa(rest)stromen dient te worden geoptimaliseerd, zodat de kosten in de hand gehouden kunnen worden.
  - Cijfers uit beschikbare publieke literatuur hebben nagenoeg alleen betrekking op het potentieel aan biomassa uit reststromen en beschikbare reststromen uit de landbouw, beheer van openbaar groen en GFT.
  - Veel informatie over de beschikbaarheid van biomassa is niet openbaar, mede vanwege concurrentie-overwegingen.
  - Bij ontwikkeling van een nieuwe installatie zoals de biomassacentrale is zekerheid over grondstoflevering van groot belang. Om die reden zullen in eerste instantie vooral de reststromen van voedselverwerking gekozen worden. In een volgende fase kan aan optimalisatie van de bedrijfsvoering worden gewerkt door het kiezen van andere (regionale) biomassastromen.

## Literatuur

- Bakker, M. de, P. van de Brande, A. Ingels & P. Heidbuurt, 2006. Beleidsdocument beoedeling biomassacentrales. Rapport, BECO Groep, Rotterdam, 89 pp.
- Baserga U., Egger K. und Wellinger A.: Biogas aus Festmist. In: *FATBerichte TÄnikon nr. 451* Zwitserland, 1994.
- Bioscan/AS: *BIOREK from waste to resource*. Product leaflet, 2003.
- Broeze, J; P. Hoeksma en H. Willers: *De waarde van digestaat van co-vergisting ten opzichte van dierlijke mest*. Agrotechnology & Food Innovations, rapport 411, 2005.
- Burton, C.H. & C. Turner: *Manure management; treatment strategies for sustainable agriculture*. Silsoe Research Institute, Silsoe, UK, 2<sup>nd</sup> edition, 2003.
- CBS (2006): *Duurzame energie in Nederland 2005*, Heerlen.
- Coenen, J. & A. Boersma: *Biomassa vergassing Bergerden, Technisch en economische haalbaarheid*. Cogen Projects, rapport CP 226.05, 2006.
- Derden, A.; L. Goovaerts; P. Vercaemst & K. Vrancken: *Beste Beschikbare Technieken (BBT) voor de glastuinbouw*, Vito, België, 2005.
- Ecofys & K+V, 2004a.: Afzonderlijke DE-scans dertien gemeenten Zeeland.
- Ecofys & K+V, 2004b.: *Eindresultaten DE-scans Zeeland*. Eindrapport.
- Elslander H., Lemmens B., Vanderstraeten K. (2001) uitvoering van een opvolgingsprogramma van de pilootproef van het GSTP-proces voor verwerking van varkensmest, VITO, 2001/MIT/R/038.
- Forbes, E.G.A.; D.L. Easson; V.B. Woods & Z. McKervey: *An evaluation of manure treatment systems designed to improve nutrient management*, Global Research Unit AFBI Hillsborough (Noord-Ierland), 2005.
- FNR: *Handreichung Biogasgewinnung und –nutzung*. Fachagentur Nachgewachsene Rohstoffe e. V., Gülzow, Duitsland, 2005.
- Groene, J. De, P.J. Vollaard, P.H.M. Dekker & H.J.C. van Dooren, 2005: *Mest vergisting in Zeeland; Een onderzoek naar de haalbaarheid van Mestvergisting op rundveehouderijen*. Rapport, Hogeschool Zeeland, PPO & ASG, Vlissingen/Lelystad, 45 pp.
- Hanegraaf, M.C., S.W. Moolenaar, H.W. Elbersen & E. Annevelink (2007): *Effecten van biomassaketens op landgebruik en bodemkwaliteit in Nederland*. NMI, rapport 1183, Oosterbeek.
- Infomil: *Energieopwekking uit frituur vetten – oliën en vetzuren*, publicatie E17, 2003.
- Infomil: <http://www.infomil.nl/asp/get.aspx?xdl=/views/infomil/xdl/page&ItmIdt=31189&SitIdt=111&VarIdt=82> (2007).
- Lemmens, B.; J. Ceulemans; H. Elslander; S. Vanassche & K. Vrancken: *Beste Beschikbare Technieken (BBT) voor mestverwerking*. Derde editie, Vito, België, 2007.
- Keymer, U. & Schilcher, A.: *Überlegungen zur Errechnung theoretischer Gasausbeuten vergärbarer Substrate in Biogasanlagen*. Landtechnik-Bericht Nr. 32. Freising, 1999.

- Kool, A; M. Timmerman; H. de Boer; H.-J. van Dooren; B. van Dun & M. Tijmensen: *Kennisbundeling co-vergisting*. CLM rapport 621, 2005.
- Koppejan, J. & E. Annevelink: Energie uit het landelijk gebied, het gebruik van agrarische reststromen voor duurzame energieopwekking. DEN-brochure, 2DEN-02.16, Novem, Utrecht, 32 pp.
- Linke, B; M. Heiermann; P. Grundmann & Frank Hertwig: *Grundlagen, Verfahren und Potenzial der Biogasgewinnung im Land Brandenburg*. In: Leitfaden Biogas, pp. 10-23, 2003.
- Melse, R.W.; F.E. de Buissonjé; N. Verdoes & H.C. Willers: *Quick scan van be- en verwerkingstechnieken voor dierlijke mest*. Rapportage opdrachtgever 1390938000. Animal Sciences Group (Wageningen UR), 2004.
- Ruijgrok, W.J.A. & E.J.W. Sambeek: *Kosten voor duurzame elektriciteit. Kleinschalige zelfstandige biomassa-installaties*. ECN rapport ECN-C-03-074/D, 2003.
- Veen, A. van der: *Optimalisatie van de biogasketen*, Afstudeerverslag Agrarische Bedrijfstechnologie, Wageningen UR, november 2006
- Verschelling, J.A., E. Worrell & C. Hendriks, 2006. Visie op de Zeeuwse energievoorziening: Zeeland CO2 neutraal in 2050. Ecofys, rapport EIB3076, 53 pp + bijlage.
- Zeeuwse Atlas, 2005. Zeeuwse Atlas voor Duurzaamheid. 38-39.

## Bijlage 1. Waardevolle kennis co-vergisting

### Algemene kennis

De meest relevante vuistregels m.b.t. co-vergisting volgens Kool et al. (2005):

- C/N verhouding moet tussen 10 en 30 liggen
- de gemiddelde dagelijkse organische-stofbelasting van vergisters ligt tegen 3 kg per m<sup>3</sup> reactorvolume. Bij thermofiele vergisters loopt dit op tot 10 kg.
- Verblijftijden voor mesofiele vergisters bedragen 25 tot 40 dagen; voor thermofiele vergisters wordt 15 tot 25 dagen aangehouden.
- Dierlijke materialen vergen een kortere verblijftijd dan plantaardige materialen.
- Ammoniak heeft een remmende werking op het vergistingsproces. Echter, stikstofrijke producten kunnen wel in een vergister verwerkt worden, maar schommelingen van stikstofconcentraties dienen voorkomen te worden (de bacteriepopulatie past zich aan de stikstofconcentratie aan).
- Als remmende stoffen worden verder nog genoemd: schoonmaakmiddelen en antibiotica.
- Vast stoffen zoals zand, plastic, metaal en stenen verstoren de werking van de installaties (in voortraject verwijderen).
- Drogestofgehalten: voor staande vergisters 15 tot 20%; voor propstroomvergisters tot 25%. Bij gebruik van vet kan een wat hoger drogestofgehalte worden aangehouden.
- De volgende effecten op broeikasgasemissies worden genoemd:
  - door duurzame energieproductie worden emissies door gebruik van fossiele brandstoffen elders vermeden;
  - methaanemissies bij mestopslag worden vermeden
  - beperking van emissies bij toediening van mest in de landbouw.
- Methaangas draagt per mol gas veel sterker bij aan het broeikasgaseffect dan CO<sub>2</sub>. Daarom dient lekkage uit de vergister vermeden te worden.

### Biogasopbrengen

Bij co-vergisting worden de “gemakkelijk afbreekbare” componenten van de voedingsstoffen omgezet in biogas. Het betreft vooral koolhydraten (zoals suikers en zetmeel), vetten en eiwitten. Het ‘ideale menu’ voor een vergister beval zowel bouwstoffen (eiwitten/stikstof) als energie (koolhydraten, vetten en eiwitten). Deze stoffen leveren naar schatting de volgende bijdrage aan de biogasproductie Keymer & Schilcher (1999):

<b>Categorie</b>	<b>biogasopbr. (l/g)</b>
Koolhydraten	0.79
Vetten	1.25
Eiwitten	0.70

In de praktijk bestaan de grondstoffen uit niet vergistbare componenten en koolhydraten, vetten en eiwitten. Bovendien zullen om verschillende redenen niet altijd deze theoretische waarden



worden gehaald. Kool et al. (2005) geven bijvoorbeeld de volgende overzichten van praktisch gemeten biogasopbrengsten:

- landbouwgewassen:

Gewas	drogestof (g/kg)	organische stof (g/kg)	Biogasopbrengst (m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /kg os)
Aardappelen	350	318	0,37-0,61
CCM	582	571	0,32-0,37
Erwten	867	839	0,38
Gerst	871	850	0,36
Gerst-silage	373	344	0,32-0,66
Gerstestro	860	786	0,20-0,25
Gras-silage	463	409	0,25-0,63
Gras-natuurgebieden <sup>1</sup>			0,08-0,25
Haver	889	863	0,25-0,37
Koolzaad	923	884	0,50
Lupinen	914	887	-
Olievlas <sup>2</sup>			-
Rogge	872	856	0,31-0,36
Roggesilage	373	344	0,14-0,49
Roggestro	840	781	0,36
Snijmaïs	300	286	0,25-0,42
Suikerbieten	260	211	0,35-0,63
Suikerbietenblad	175	120	0,23-0,39
Tarwe	868	853	0,18-0,38
Tarwesilage	373	344	0,23-0,34
Tarwestro	902	812	0,15-0,31
Veldbonen	323	294	0,28-0,29
Vezelvlas <sup>2</sup>			-
Voederbieten	143	131	0,32-0,40
Voederbietenblad	175	120	0,29-0,32
Zonnebloemzaden	940	906	0,24-0,44

<sup>1</sup> De aard van het product is te divers om een gemiddelde samenstelling te kunnen geven.

<sup>2</sup> Olievlas en vezelvlas komen niet voor in de veevoedertabel.

- enkele agro-industriële bij- en reststromen:

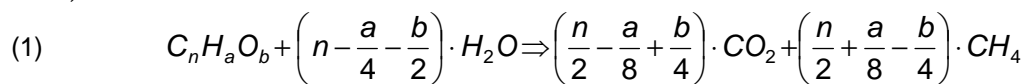
Coproducten	drogestof (g/kg)	organische stof (g/kg)	Biogasopbrengst (m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /kg os)
Aardappelstoomschillen	124	114	0,31
Aardappelvruchtwater	575	425	-
Aardappelzetmeel	202	192	0,28
Bietenpuntjes	136	110	0,34-0,37
Groente en fruit <sup>1</sup>			0,38-0,48
Maisweekwater	487	399	-
Tarwegistconcentraat	187	182	0,57
Witlofpennen	149	137	-
Wortelstoomschillen	54	47	-

<sup>1</sup> De aard van het product is te divers om een gemiddelde samenstelling te kunnen geven.

## Biogas samenstelling

In de literatuur blijkt zeer weinig onderbouwing te zijn voor voorspelling van samenstelling van het biogas. Daarom is in dit project de volgende analyse uitgewerkt.

Bij vergisting wordt organische stof omgezet in biogas volgens de volgende formule (Linke et al., 2003):



Met deze formule kan het aandeel CH<sub>4</sub> in het biogas voor verschillende componenten in de voedingsstoffen bepaald worden (genoemde voorbeelden van Linke et al., 2003):

Categorie	Voorbeeld	Biogas mol-aandeel	biogasopbr. (l/g)	Methaangehalte
Koolhydraten	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>6</sub>	3 CO <sub>2</sub> + 3 CH <sub>4</sub>	0.746	50%
Vetten	C <sub>16</sub> H <sub>32</sub> O <sub>2</sub>	4.5 CO <sub>2</sub> + 11.5 CH <sub>4</sub>	1.39	72%
Eiwitten	C <sub>13</sub> H <sub>25</sub> O <sub>7</sub> N <sub>3</sub> S	5.125 CO <sub>2</sub> + 7.875 CH <sub>4</sub>	0.79	61%

Keymer & Schilcher (1999) geven wat algemenere cijfers voor “gemiddelde” verteerbare koolhydraten, vetten en eiwitten:

Categorie	biogasopbr. (l/g)	methaangehalte
Koolhydraten	0.79	50%
Vetten	1.25	68%
Eiwitten	0.70	71%

Hoewel van de grondstoffen vaak geen exacte samenstellingsgegevens beschikbaar zijn is voor de meeste stoffen toch een redelijke schatting te geven. Een product zoals frituurvet bestaat voor het grootste deel uit vetten. Het daaruit geproduceerde biogas zal daardoor voor ongeveer 68% uit methaan bestaan.

## Organische stof afbraak

In veel voorspellingen voor de werking van vergistingsinstallaties wordt gesteld dat de afbraak van organische stof gelijk is aan de massa van geproduceerde hoeveelheid biogas. Echter, zoals te zien in vergelijking (1) wordt – afhankelijk van de verhouding C:H:O van de organische stof – ook water betrokken in het omzettingsproces. Dus, een nuancering is hier op z'n plaats.

Uitgaande van de rekenwijze van Linke et al. (2003) volgen voor de ‘voorbeeldproducten’ de volgende resultaten

Categorie	Voorbeeld	mol verbruikt water per mol OS	molmassa verhouding OS: water	kg afbraak OS per kg biogas
Koolhydraten	$C_6H_{12}O_6$	0	10.0	1
Vetten	$C_{16}H_{32}O_2$	7	14.2	0.67
Eiwitten	$C_{13}H_{25}O_7N_3S$	3.25	20.4	0.86

Een waarde van 0.9 kg OS afbraak per geproduceerd kg biogas is een redelijk gemiddelde.

### Belemmerende stoffen voor het vergistingsproces

Bekende is (FNR, 2005) dat verschillende stoffen afhankelijk van de verschijningsvorm (zoals stikstof in de vorm van ammoniak, zware metalen in ion-vorm) in hogere concentratie remmend werken op het vergistingsproces. Echter, de vorm waarin die stoffen voorkomen in het proces wordt bepaald door de grondstoffenmix en de processturing. Om die reden zijn geen eenduidige algemene grenzen te formuleren.

### Wettelijke eisen bij gebruik van dierlijke bijproducten

De EU stelt hygiënebehandelingen verplicht:

- Voor mest en categorie 3 materiaal is pasteurisatie (gedurende 1 uur op minimaal 70°C, max. deeltjesgrootte 12mm) verplicht. Hierbij is niet aangegeven of dat voor of na het vergisten moet plaatsvinden.
- Voor categorie 2 materiaal wordt geëist dat het volgens verwerkingsmethode 1 van de verordening EU1774/2002 in een categorie 2-verwerkingsbedrijf is behandeld:

*Verwerkingsmethoden: Methode 1*

Verkleining: Als de deeltjesgrootte van de te verwerken dierlijke bijproducten meer dan 50 millimeter bedraagt, worden de dierlijke bijproducten met behulp van adequate apparatuur zo verkleind dat de deeltjes na de verkleining niet groter zijn dan 50 millimeter. De doeltreffendheid van de apparatuur wordt dagelijks gecontroleerd en de staat ervan geregistreerd. Indien uit de controles blijkt dat er deeltjes voorkomen die groter zijn dan 50 millimeter, wordt de verwerking stopgezet en worden er herstelwerkzaamheden verricht voordat de verwerking wordt hervat.

Tijd, temperatuur en druk: Na de verkleining worden de dierlijke bijproducten met verzadigde stoom (i) ononderbroken gedurende ten minste 20 minuten bij een (absolute) druk van ten minste 3 bar verhit tot een kerntemperatuur van 133 °C; de warmtebehandeling kan als enig procédé worden toegepast of vóór of na de sterilisatie plaatsvinden.

De verwerking kan worden uitgevoerd in een batch- of continuprocédé

## **Bijlage 2. Kennis en huidige status van zuiveringsprocessen voor de dunne fractie**

Let op: de gepresenteerde ‘kennis en praktijkervaring’ is voor het overgrote merendeel gebaseerd op verwerking van mest (dat niet helemaal hetzelfde is als digestaat). Echter, de conclusies zijn wel relevant vanwege de grote gelijkens tussen mest en digestaat (Broeze et al. 2005).

De dunne fractie moet worden gezuiverd. Afhankelijk van de mate van zuivering kan het residu op verschillende manieren worden afgezet/geloosd:

1. Na enkele zuiveringsprocessen kan het geloosd worden op het riool.
2. Na intensieve zuivering is lozing op het oppervlaktewater mogelijk,
3. Ook afzet van het gezuiverde water voor irrigatiedoeleinden in de landbouw is een serieuze mogelijkheid.

De tweede optie is kostbaar omdat juist de laatste zuiveringsstappen relatief hoge investeringen vergen. De derde optie wordt al wel in enkele situaties toegepast. Voor een industriële setting zoals in Terneuzen ligt de eerste optie het meest voor de hand.

De volgende combinaties van zuiveringsprocessen is mogelijk:

1. Een combinatie van een struvietprecipitatie en biologische zuivering. Bij de precipitatie wordt stikstof en fosfaat in gelijke (mol)verhouding verwijderd (door toevoeging van hulpstoffen). In het biologische zuiveringsproces (bijvoorbeeld SBR) kan resterende organische stikstof (deels) verder worden afgebroken. Eén onzekerheid: door het vergistingsproces is de energetische benuttingswaarde van de organische stof laag; het risico bestaat dat het biologische zuiveringsproces niet goed loopt. Dit kan worden opgelost door toevoeging van een energierijke hulpstof (bijvoorbeeld methanol). Er is amper relevante praktische ervaring met biologische zuivering van digestaat.
2. Mechanische zuivering m.b.v. membranen, bijvoorbeeld ultrafiltratie in combinatie met omgekeerde osmose. Let op: daarbij komen nevenstromen vrij: concentraten. Cijfers over fractionering in verschillende outputstromen worden in de volgende tabel weergegeven.

Tabel 1. Verdeling van volume, droge stof, fosfaat en stikstof over verschillende outputstromen

	Volume (%)	DS (%)	Fosfaat (g/l)	Stikstof (g/l)
<b>Bij vleesvarkensmest</b>				
Ingaande mest	100	8.75	2.48	6.9
Dikke fractie na mestscheiding	9	33.3	12.2	29.4
Concentraat ultrafiltratie	16	23	7.66	3.13
Concentraat omgekeerde osmose	25	8.4	0.52	14.7
Permeaat omgekeerde osmose	50	0.3	0.04	0.15
<b>Bij zeugenmest</b>				
Ingaande mest	100	7.44	1.63	2.89
Dikke fractie na mestscheiding	9	33.3	8.05	12.3
Concentraat ultrafiltratie	15.4	15	5.17	2.01
Concentraat omgekeerde osmose	17.8	12	0.75	7.75
Permeaat omgekeerde osmose	57.8	0.3	0.04	0.12

(bron: Melse et al. 2004). (gecorrigeerd voor foutief weergegeven DS van concentraten)

Lemmens et al. (2007) geven wat andere cijfers over de volume-fracties. Volgens hen is het maximale ds gehalte van het concentraat van ultrafiltratie 20% en van omgekeerde osmose maximaal 6%. Bij de uitwerking van het systeem in de volgende hoofdstukken wordt van deze voorzichtige cijfers uitgegaan.

Ten aanzien van investeringskosten is weinig bekend. €15 per ton mest dat jaarlijks verwerkt moet worden lijkt een redelijke prijs (Feyaerts et al. 2002).

Melse et al (2004) noemen exploitatiekosten van circa € 9,- per ton mest, exclusief de afzet van de geproduceerde fracties, inclusief het volgende energieverbruik:

Centrifuge: circa 4 kWh/ton

Ultrafiltratie + omgekeerde osmose: circa 30 kWh per ton mest of digestaat

Let op: het proces is nog absoluut niet uitontwikkeld. Volgens Lemmens et al. (2007) zijn er zelfs met goede bedrijfsvoering problemen met verstopping van de membranen. Er zijn nieuwe ontwikkelingen die mogelijk hiervoor een oplossing kunnen bieden maar nog niet bewezen zijn.

Voor beide soorten zuiveringsprocessen geldt dat het te lozen afvalwater niet geloosd kan worden op het oppervlaktewater vanwege de nog aanwezige stikstof en mineralen/zouten (incl. fosfaat). Het dient geloosd te worden op het riool.

Zoals vermeld kan als evtueel alternatief het gezuiverde digestaat worden inzet als beregeningswater in de landbouw (zeker voor het residu van omgekeerde osmose). De bemestingswaarde is relatief laag t.o.v. mest (zie bijv. gehalten van het permeaat in bovengenoemde tabel). Deze optie vergt een aanvullende investering in opslagruimte.

Ammoniakemissie naar de lucht verdient dan wel aandacht; naar verwachting is gebruik van (relatief dure) emissiearme opbrengmethode nodig.