



# Eindrapportage ECP-case Moerdijk

Ir. P.J. Reumerman  
dr. ir. J. Venselaar  
dr. N.M. Márquez Luzardo  
L. Goovaerts MSc

---

## INHOUD

<b>1</b>	<b>INLEIDING</b>	<b>1</b>
1.1	HET PRINCIPE VAN EEN ENERGIECONVERSIEPARK (ECP)	1
1.2	HET PROJECT ENERGIECONVERSIEPARKEN	1
1.3	INHOUD RAPPORTAGE	3
<b>2</b>	<b>IN KAART BRENGEN LOKALE SITUATIE</b>	<b>4</b>
2.1	OVERZICHT BESCHIKBARE EN BENUTBARE BIOMASSASTROMEN	4
2.1.1	<i>Vastgesteld plan van aanpak</i>	4
2.1.2	<i>Uitgevoerde activiteiten</i>	5
2.1.3	<i>Beschouwde biomassastromen</i>	6
2.1.4	<i>Resultaten</i>	7
2.2	BESTAANDE INSTALLATIES EN INITIATIEVEN	10
2.2.1	<i>Gesprekken met partijen</i>	10
2.2.2	<i>Bestaande installaties en initiatieven</i>	12
2.3	BEHOEFTE AAN ENERGIEPRODUCTEN	14
2.4	EVALUATIE PROCES MET LEERPUNTEN	14
<b>3</b>	<b>OPSTELLEN ECP CONCEPTEN</b>	<b>15</b>
3.1	AANPAK VAN DE ONTWIKKELING VAN DE CONCEPTEN	15
3.2	TECHNISCHE UITWERKING ECP CONCEPT	20
3.2.1	<i>Biomassa beschikbaarheid</i>	20
3.2.2	<i>Technische haalbaarheid beoogde processen ECP Moerdijk</i>	21
3.2.3	<i>Technische uitwerking ECP concepten</i>	30
3.2.4	<i>Resultaten</i>	34
3.3	EVALUATIE PROJECTVERLOOP MET LEERPUNTEN	35
<b>4</b>	<b>ECONOMISCHE ASPECTEN</b>	<b>37</b>
4.1	ECONOMISCHE UITWERKING	37
4.1.1	<i>Opzet en aannamen economische uitwerkingen</i>	37
4.1.2	<i>Resultaten: variatie in input- en outputstromen</i>	45
4.1.3	<i>Resultaten: variatie van kosten en prijzen</i>	48
4.2	EVALUATIE PROCES MET LEERPUNTEN	51
<b>5</b>	<b>EVALUATIE DUURZAAMHEID</b>	<b>52</b>
5.1	AFBAKENING VAN HET ECP SYSTEEM EN REFERENTIESITUATIE	52
5.2	BIJPRODUCTEN EN ALLOCATIE	53
5.3	METHODOLOGIE EN DATA VOOR MODELLERING	53
5.4	AANNAMES	54
5.5	RESULTATEN	56
5.5.1	<i>Energiebalans en energie-efficiëntie</i>	56
5.5.2	<i>Broeikasgasbalans</i>	60
5.6	CONCLUSIES DUURZAAMHEID ECP CONCEPT	62
<b>6</b>	<b>CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN</b>	<b>63</b>
6.1	CONCLUSIES	63
6.2	AANBEVELINGEN	64

---

6.3	DANKWOORD EN VERDERE INFORMATIE	64
<b>7</b>	<b>REFERENTIES</b>	<b>65</b>

---

## LIJST VAN AFKORTINGEN, EENHEDEN EN BEGRIPPEN

### Afkortingen

ECP	EnergieConversiePark
EIA	Energie Investeringsaftrek
EV	Eigen vermogen
GFT	Groente- Fruit- en Tuinafval
IRV	Interne rentevoet
IVB	Inrichtingen- en vergunningenbesluit milieubeheer
LBM	Liquid Biomethane (vloeibaar biomethaan of bio-LNG)
LHV	Lower Heating Value
mer	milieu effect rapportage
MJA	Meerjarenafpraak
NER	Nederlandse emissierichtlijn
NPR	Nederlandse Praktijkrichtlijn
RWZI	Rioolwaterzuiveringsinstallatie
SDE	Regeling Stimulering Duurzame Energieproductie
SDE+	Regeling Stimulering Duurzame Energieproductie plus
TVT	Terugverdientijd
Wm	Wet Milieubeheer
Wro	Wet ruimtelijke ordening
WKK	Warmte Kracht Koppeling

### Eenheden

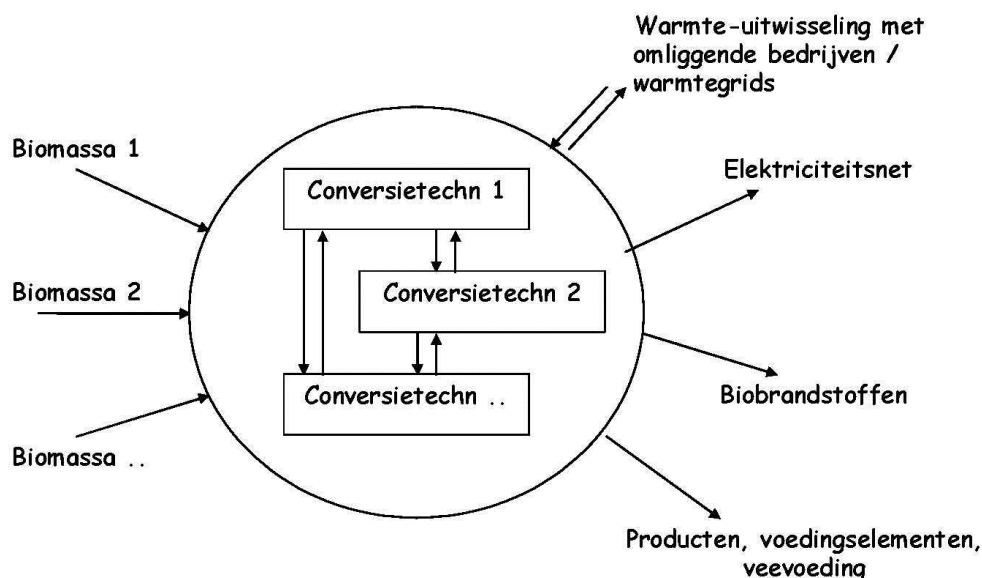
ds	droge stof
os	organische stof
GJ	GigaJoule (1.000.000.000 Joule)
J	Joule (eenheid van energie)
KJ	KiloJoule (1.000 Joule)
kW	kiloWatt
MJ	MegaJoule (1.000.000 Joule)
MW <sub>e</sub>	Megawatt elektrisch
MW <sub>th</sub>	Megawatt thermisch
nb	Natte basis
ppm	Parts per million (0,01%)
kW <sub>e</sub>	kiloWatt elektrisch = elektrisch vermogen (1 kiloWatt = 1.000 Watt)
MWh	MegaWattuur (1 MegaWatt = 1.000.000 Watt);
Nm <sup>3</sup>	Normaal kubieke meter (volume in m <sup>3</sup> ) bij 1 bar en 0 graden Celsius
TJ	TeraJoule (1.000.000.000.000 Joule)

# 1 INLEIDING

## 1.1 Het principe van een EnergieConversiePark (ECP)

Biomassa kan via een groot aantal uiteenlopende conversietechnieken omgezet worden in warmte, elektriciteit, biobrandstoffen of andere producten. Momenteel gebeurt dit nog vaak in een installatie die ontworpen is voor één specifieke vorm van biomassa en ook één specifieke output (of outputs) heeft. Hierdoor wordt de biomassa vaak niet optimaal benut; er blijft warmte (of andere energiestromen) over en/of residuen moeten afgevoerd worden. Daarnaast is transport over kortere of langere afstanden niet te vermijden. Dit alles maakt dat dergelijke mono-processen economisch moeilijk rendabel te maken zijn.

Een oplossing voor deze problemen is een zogenoemd EnergieConversiePark (ECP). Binnen een dergelijk park worden op een slimme en energetisch optimale manier verschillende verwerkingstechnieken gecombineerd. Met name voor het economisch benutten van regionaal beschikbare biomassastromen is zo'n aanpak essentieel. Deze stromen worden, binnen het ECP, door een combinatie van conversietechnieken omgezet in elektriciteit, warmte, biobrandstoffen en/of producten die ook weer regionaal te gebruiken zijn. Naast kosten- en milieuvoordelen kan door het gebruik van een ECP ook een bijdrage worden geleverd aan de verbetering van het regionale economische klimaat. Een grafische weergave van het ECP-concept is weergegeven in Figuur 1.



Figuur 1: Het ECP concept

## 1.2 Het project Energieconversieparken

In het kader van het Interreg project "EnergieConversiePark (ECP) voor de verwerking van lokale biomassastromen" is het bovengenoemde concept verder uitgewerkt. Dit Interreg project wordt uitgevoerd door een consortium van Vlaamse en (zuid-)Nederlandse projectpartners. Het betreft de volgende (kennis)instellingen:

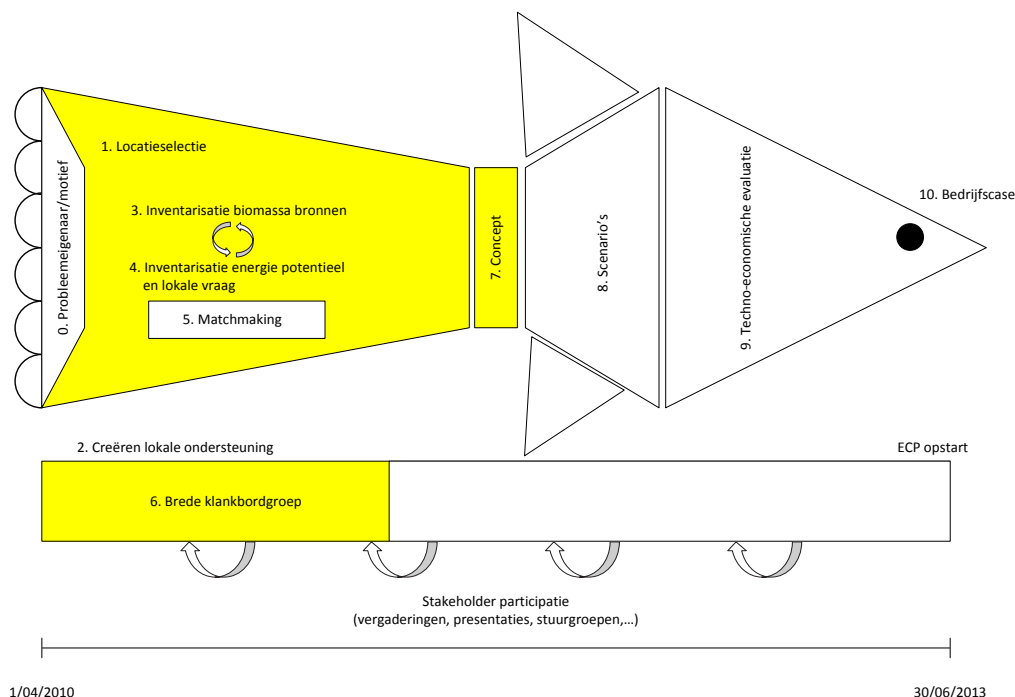
- VITO (België);
- Avans Hogeschool (Nederland);
- Wageningen Universiteit (Nederland);
- Hogeschool Zeeland (Nederland);
- Universiteit Hasselt (België).

De kern van het project betreft de daadwerkelijke ontwikkeling van vijf ECP concepten voor diverse, vooraf geselecteerde locaties. Het project omvat geen implementatie; het is de bedoeling dat de plannen voor een ECP tot op het niveau van businessplannen worden ontwikkeld, waarna marktpartijen deze verder kunnen gaan realiseren. Deze marktpartijen worden wel in een zo vroeg mogelijk stadium bij het project betrokken om zo de kans op daadwerkelijke realisatie zo groot mogelijk te maken.

Avans Hogeschool is verantwoordelijk voor de ontwikkeling van de ECP's in Moerdijk en Breda (beide Noord-Brabant). Ter ondersteuning hiervan is BTG Biomass Technology Group B.V. gevraagd om Avans te assisteren bij de volgende drie onderdelen:

1. input geven aan de ECP handleiding en kennisstelsel;
2. uitvoering en coördinatie van de ECP-locatie Moerdijk;
3. uitvoering en coördinatie van de ECP-locatie regio Breda.

De uitvoering en coördinatie van de ECP's op de locaties Moerdijk en Breda zijn elk onderverdeeld in diverse onderdelen. Deze onderdelen, en hoe deze in het geval van de case Breda in elkaar grijpen zijn in de navolgende figuur aangegeven:



**Figuur 2:** Relatie en wisselwerking in de tijd tussen de verschillende hoofdtaken. In de figuur wordt ook specifiek aangeduid welke onderdelen zijn doorlopen in het geval van de ECP case Moerdijk.



---

In het eerste onderdeel (nummer 0, 1, 3, en 4 en 5) wordt de lokale situatie verkend en in kaart gebracht. Biomassastromen, energievraag en mogelijk geïnteresseerde partijen worden in kaart gebracht. In het tweede onderdeel (2, 6a en 6b) wordt draagvlak en lokale ondersteuning gecreëerd en onderhouden. In het derde onderdeel (7, 8, 9 en 10) wordt het ECP uitgewerkt, worden er scenario's voorgesteld op basis waarvan keuzen gemaakt worden, en worden de gekozen scenario's verder uitgewerkt. Onderdelen 5, en 8 t/m 10 zijn niet uitgevoerd in het kader van de case Moerdijk, omdat er ondanks een aantal pogingen geen partij geïdentificeerd kon worden die als aanjager en ankerpunt wilde fungeren.

### **1.3 Inhoud rapportage**

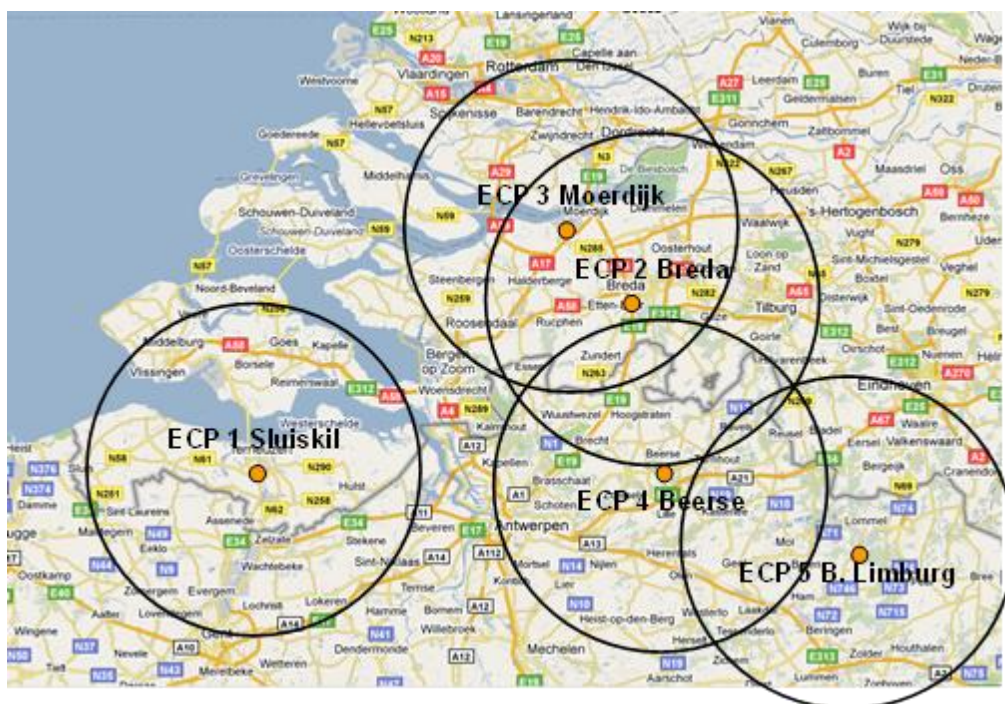
In dit rapport wordt ingegaan op de ontwikkeling van het ECP Moerdijk. In hoofdstuk 2 wordt ingegaan op de lokale situatie, inclusief de biomassabeschikbaarheid, bestaande installaties en wensen en behoeften van partijen. In hoofdstuk 3 is het proces van het technisch opzetten van het ECP concept Moerdijk beschreven. Daarnaast is in dit hoofdstuk beschreven hoe het ECP concept technisch uitgewerkt is, inclusief een beschrijving van de mogelijke in- en outputs. Aan de hand van een DCF (Discounted CashFlow) model wordt in Hoofdstuk 4 een globale economische evaluatie van diverse ECP scenario's gemaakt. Op basis van economische criteria wordt vervolgens het meest optimale ECP gekozen. In hoofdstuk 5 worden conclusies geformuleerd.

## 2 IN KAART BRENGEN LOKALE SITUATIE

### 2.1 Overzicht beschikbare en benutbare biomassastromen

#### 2.1.1 Vastgesteld plan van aanpak

Essentieel voor een energieconversiepark is vanzelfsprekend de beschikbaarheid van biomassa. Biomassa is over het algemeen verspreid in een gebied beschikbaar en heeft een lagere energiedichtheid dan fossiele brandstoffen. Dat wil zeggen dat transport duurder is, zowel in termen van energie als ook in termen van kosten. Initieel was het de bedoeling om een biomassa inventarisatie uit te voeren in een straal van 30 km rond de ECP-locaties (zie Figuur 3).



**Figuur 3:** Locatie van de vijf ECP-locaties. De cirkels geven een straal van 30 km aan.

Echter, omdat er kans was op ongewenste overlap met bestaande duurzame energie projecten in Moerdijk (het project Duurzame Verbindingen) is ervoor gekozen om de biomassa beschikbaarheidsstudie breder in te steken, voor beide cases in Noord-Brabant samen. Deze keuze is ook gemaakt om te voorkomen dat studie opnieuw uitgevoerd zou moeten worden indien er een andere ECP-locatie gezocht moest worden. Uiteindelijk is er voor gekozen om de beschikbaarheid van biomassa in de gehele regio West-Brabant, en enkele gemeenten in Zeeland en Zuid-Holland, te onderzoeken.

#### *Typen biomassapotentiëlen*

Er zijn verschillende typen biomassa potentiëlen (Biomass Energy Europe, 2011). Een opsomming van deze typen is hieronder gegeven, inclusief een verkorte definitie.





---

Voor de uitvoering van de biomassa beschikbaarheidsstudie is een taakverdeling afgesproken tussen Avans Hogeschool en BTG. BTG heeft zich binnen dit onderzoek gericht op de literatuur en algemeen beschikbare bronnen. Avans Hogeschool heeft twee studenten beschikbaar gesteld die, in het kader van hun stage opdracht voor de opleiding Chemische Technologie, een enquête hebben gehouden onder een groot aantal producenten en afnemers van biomassa en/of bio-energie<sup>1</sup>.

In deze biomassa-beschikbaarheidsstudie is ervoor gekozen om een inventarisatie uit te voeren via twee routes, te weten:

- Berekeningen op basis van literatuurgegevens zoals CBS cijfers en kentallen.
- Enquête bij producenten en verwerkers van biomassa in het doelgebied. Een lijst van 82 relevante bedrijven is opgesteld aan de hand van databases met producenten, gebruikers en handelaren in biomassa en energie.

De onderzoeksmethoden die gebruikt zijn voor de beschikbaarheidsstudie zijn het verzamelen van algemene gegevens via bestaande bronnen en het houden van een enquête (door Avans Hogeschool). De bronnen die hiervoor zijn gebruikt zijn onder andere het CBS en publiek beschikbare gegevens van gemeenten, regio's en provincies. De volledige referentielijst is weergegeven in de deeltaakrapportage van BTG (2011) ("Energieconversieparken in Noord-Brabant (NL); Rapportage taak 1"). Op de enquête is door 13 van de 82 benaderde bedrijven positief gereageerd. Het responspercentage is daarmee 16%. Door dit lage responspercentage, is het niet mogelijk om de resultaten van deze directe benadering goed te vergelijken met de resultaten die verkregen zijn op basis van literatuurgegevens en kentallen.

### 2.1.3 Beschouwde biomassastromen

In de volgende paragrafen wordt van de in het gebied onderzochte biomassastromen het theoretisch potentieel en een indicatie van het technisch potentieel aangegeven. Het betreft de beschikbaarheid en de eigenschappen van de volgende biomassastromen:

- Verse houtstromen;
- GFT afval;
- Bouw- en sloophout;
- Natuurgras;
- Berm- en slootmaaisel;
- Dierlijke mest;
- RWZI slib.

Het bouw- en sloophout wat in het onderzoeksgebied vrijkomt zal bepaald worden. Het betreft hier echter een landelijke markt, omdat vervoerskosten in vergelijking tot de waarde van het materiaal relatief beperkt zijn. De landelijke hoeveelheid afvalhout in

---

<sup>1</sup> Deze twee studenten waren Gisleine Gomez en Koen van Beurden. Zij zijn begeleid binnen Avans Hogeschool door Mw. N.M. (Nathalie) Márquez Luzardo.

---

2007 is bepaald op 1,485 miljoen ton/jaar<sup>2</sup>. De hoeveelheid B-hout is 24%<sup>3</sup> hiervan (356.400 ton/jaar)

Diverse vrijkomende biommassastromen zijn niet als potentiëlen genoemd. Het betreft de volgende stromen:

*Stro en andere droge gewasbijproducten uit de akkerbouw*

De totale landelijke stroproductie in Nederland wordt geschat op 1,1 miljoen ton/jaar (Koppejan et al., 2009). Deze schatting is gedaan door het landbouwareaal aan stroproducerende gewassen (tarwe, gerst, haver, rogge, erwt, koolzaad, veldbonen, kapucijners) te nemen (210.000 ha in Nederland) en aan de hand daarvan te bepalen wat de gewasrest is. Als aangenomen wordt dat deze productie proportioneel zou plaatsvinden in het studiegebied (6,3% van het oppervlak van Nederland), is de productie van stro in het studiegebied ca. 70.000 ton/jaar.

Een deel van deze stroproductie blijft achter op het veld (25%). Voor de resterende 75% zijn goede niet-energie toepassingen zoals bv. bodemverbetering beschikbaar. De totale behoefte aan stro in Nederland is zodanig dat er regelmatig stro-importen in Nederland plaatsvinden. Daarnaast is conversie van stro in principe goed mogelijk – zoals diverse installaties in Denemarken met name laten zien – maar qua installatie wel kapitaalintensiever dan houtverbranding. Om deze redenen is stro weliswaar technisch gezien beschikbaar voor energieopwekking, maar zal energieopwekking uit stro in Nederland in de praktijk niet snel gebeuren.

*Natte gewasresten*

Natte gewasresten betreffen die residuen die achterblijven op het veld na de oogst. Voor Nederland als geheel worden deze gewasresten geschat op 985 kton<sub>ds</sub><sup>4</sup>/jaar (Koppejan et al., 2009). Als aangenomen wordt dat een proportioneel gedeelte in het studiegebied beschikbaar is, dan bedraagt de productie van natte gewasresten in het studiegebied ca. 62 kton<sub>ds</sub>/jaar.

Op dit moment worden de natte gewasresten weinig gebruikt. Natte gewasresten worden bijna altijd ondergewerkt (dat wil zeggen ondergeploegd in het veld), onder andere om het organische stof gehalte van de landbouwgrond op peil te houden. Infrastructuur om natte gewasresten te oogsten ontbreekt. Gegeven deze praktijk is het niet realistisch te verwachten dat natte gewasresten binnen een redelijke termijn op significante schaal benut zullen worden.

#### **2.1.4 Resultaten**

De resultaten van de genoemde enquête zijn in detail beschreven in het rapport getiteld ‘Stage project: Inventarisatie Reststromen Biomassa West-Brabant 2011’, Avans

---

<sup>2</sup> “Bosberichten: aanbod gebruikt hout toegenomen”, Stichting Probos, Postbus 253, 6700 AG Wageningen, 2009

<sup>3</sup> “Houtafval in Nederland”, Ministerie van VROM, directie Stoffen, Afvalstoffen, Straling, februari 2006

<sup>4</sup> Ton<sub>ds</sub>=gewicht in tonnen, op droge basis

Hogeschool (2011). De resultaten van de biomassa beschikbaarheidsstudie van BTG zijn in detail beschreven in de deeltaakrapportage van BTG (2011) (“Energieconversieparken in Noord-Brabant (NL); Rapportage taak 1”). In het navolgende worden de geaggregeerde resultaten van de laatstgenoemde studie weergegeven.

In Tabel 1 is een overzicht gegeven van het theoretisch en technisch potentieel van alle biomassastromen. In veel gevallen is het technisch potentieel gelijk aan het theoretisch potentieel. In voorkomende gevallen (uitgelegd in het rapport van BTG (2011)) is het technische potentieel lager.

**Tabel 1:** Biomassa beschikbaarheid van alle beschouwde biomassastromen

Type biomassaastroom	Theoretisch potentieel (ton/jaar)	Technisch potentieel (ton/jaar)
Dunne mest varkens en rundvee	3.450.938	2.872.266
Vaste mest pluimvee	62.773	62.773
GFT-afval	97.915	97.915
Berm-, dijk- en slootmaaisel	25.174	25.174
Knip- en snoeihout van gemeenten	55.586	27.793
Grof tuinafval van particulieren (houtfractie)	43.873	10.968
Hout van landschapsbeheerders	23.877	5.969
Rooi- en snoeihout van fruit- en boomtelers	59.877	10.171
A-B hout	33.599	33.599
natuurgras	43.274	43.274
RWZI-slib	131.823	0

#### *Energieopbrengst van de beschouwde biomassastromen*

De energieopbrengst van de verschillende biomassastromen varieert sterk (zie Tabel 2). Thermische conversie van hout met een laag vochtgehalte (A-B hout) levert per ton natuurlijk meer energie op dan RWZI slib, dat praktisch gesproken geen netto energie oplevert bij verwerking.

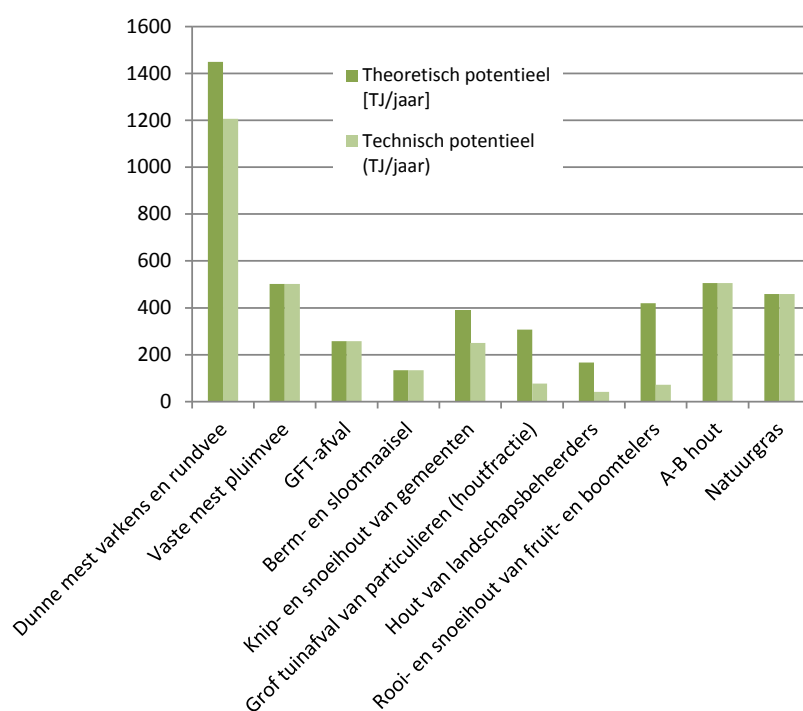
**Tabel 2:** Energieopbrengst van de verschillende biomassastromen

Type biomassaastroom	Energieopbrengst (GJ/ton)	Bron
Dunne mest varkens en rundvee	0,42	BTG, 2008 (vergisting)
Vaste mest pluimvee	8,00	BTG, 2008 (vergisting)
GFT-afval	2,63	profnieuws, 2009 (vergisting)
Berm-, dijk- en slootmaaisel	5,30	Senternovem, 2001 (vergisting)
Knip- en snoeihout van gemeenten	7	ECN, 2010 (verbranding)
Grof tuinafval van particulieren (houtfractie)	7	ECN, 2010 (verbranding)
Hout van landschapsbeheerders	7	ECN, 2010 (verbranding)
Rooi- en snoeihout van fruit- en boomtelers	7	ECN, 2010 (verbranding)
A-B hout	15,1	Twence, 2004 (verbranding)

Natuurgras (ds)	10,6	Senternovem, 2001 (vergisting)
RWZI-slib	0	SNB, 2011 (verbranding)

In deze tabel valt op dat de energieopbrengst van natuurgras grofweg twee keer zo hoog is als de energieopbrengst van bermgras. De reden hiervoor is dat de energieopbrengst van bermgras weergegeven is op natte basis, en die van natuurgras op droge basis. Hiervoor is gekozen omdat de gegevens over natuurgras alleen op droge basis beschikbaar zijn.

Indien hetzelfde overzicht zoals gegeven in Tabel 1 wordt gepresenteerd in termen van energieopbrengst laat dit een heel ander beeld zien (zie Figuur 5).



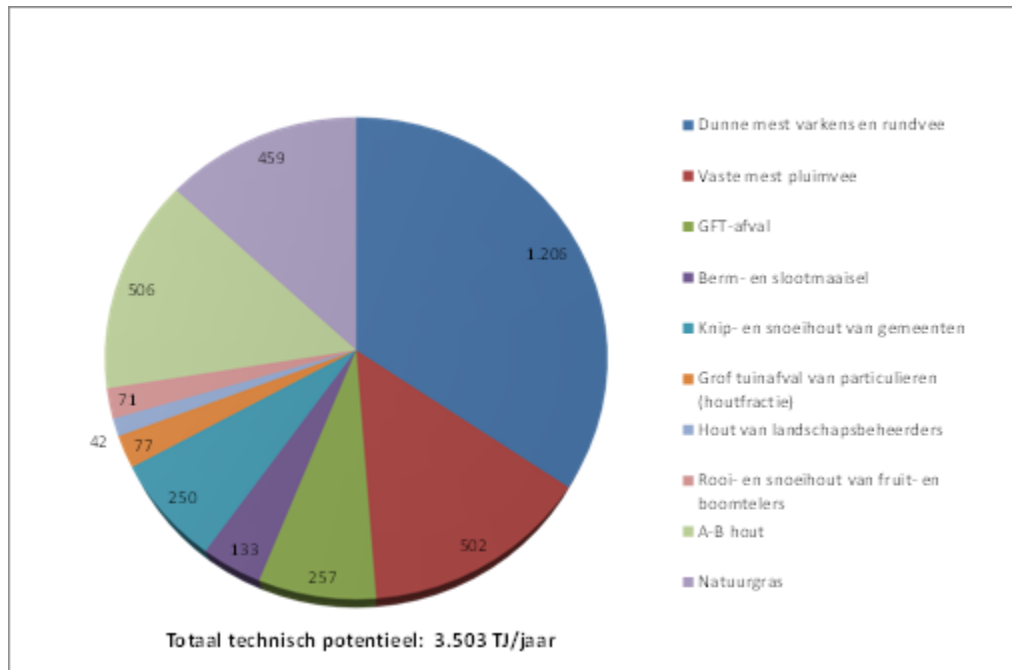
**Figuur 5:** Energieopbrengst van de beschouwde biomassastromen in het studiegebied

De energieopbrengst van mest is het grootst van alle biomassastromen, maar het is duidelijk dat de andere stromen op basis van energie-inhoud niet verwaarloosd kunnen worden.

De genoemde tabel geeft de energieopbrengst in TJ (TeraJoule) weer. 1 TJ is gelijk aan 1000 GJ, hetgeen ongeveer overeenkomt met het gasverbruik van 20 huishoudens in één jaar (1570 m<sup>3</sup> aardgas/huishouden/jaar).

Een overzicht van het technische potentieel, op energiebasis is weergegeven in Figuur 6. De beschikbare energie uit mest is zoals gezegd dominant, maar het is duidelijk dat A-B hout en natuurgras qua hoeveelheden interessante mogelijkheden bieden.





**Figuur 6:** Technisch potentieel (in TJ) van de diverse biomassastromen

## 2.2 Bestaande installaties en initiatieven

Bij de ontwikkeling van een ECP is het van belang om een goed inzicht te hebben in bestaande installaties en initiatieven daartoe. Enerzijds geeft dit mogelijkheden tot aansluiten bij bestaande ontwikkelingen, anderzijds kan zo rekening gehouden worden met bestaande partijen en hun belangen.

Om de vraag en aanbod van biobased producten in kaart te brengen zijn gedurende het project een aantal gesprekken gevoerd met relevante partijen. Partijen worden als relevant bestempeld als zij in de regio Breda/Moerdijk actief zijn of willen worden in het verwerken van (regionaal beschikbare) biomassa. Aan de hand van de gesprekken is een beeld ontstaan van de bestaande bio-energie installaties in de regio Breda/Moerdijk en de initiatieven waarvan realisatie overwogen wordt. Uiteraard biedt het beeld een momentopname. Voortdurend zullen er nieuwe bio-energie initiatieven afvallen en nieuwe ontstaan.

### 2.2.1 Gesprekken met partijen

Gedurende het project zijn een groot aantal gesprekken met relevante partijen gevoerd. Het betreft onder andere:

- ATM - afvalstoffenverwerker
- Attero – GFT en huisvuilverwerker
- BEWA – verwerker van VGI (voedings- en genotmiddelen industrie) stromen
- Brabantse OntwikkelingsMaatschappij (BOM)
- Brabantse Delta - waterschap
- Gemeente Breda

- Energy pellets Moerdijk – producent van houtpellets en chips
- Rasenberg Milieu – bedrijf met interesse in LBM (Liquified Biomethane, bio-LNG)) productie
- Rewin - De regionale ontwikkelingsmaatschappij West-Brabant (REWIN)
- Suiker Unie - producent van producten uit suikerbieten
- SNB – RWZI slibverbranding Moerdijk
- ZLTO – belangenorganisatie agrarische sector
- Essent Local Energy Solutions (ELES) – beheerder van o.a. het warmtenet in Breda

Uit deze gesprekken is het volgende beeld naar voren gekomen:

In en rond Moerdijk zijn veel grote, industriële bedrijven actief. Een lopend project – vooral gericht op de uitwisseling van warmte en andere utilities - tussen bedrijven op het industrieterrein Moerdijk is het project Duurzame Verbindingen<sup>5</sup>. Een groot aantal bedrijven zijn actief op het gebied van bio-energie, waaronder een grote producent van pellets en chips (Energy Pellets Moerdijk), een VGI (voedings- en genotmiddelen) verwerker (BEWA), een afvalverwerkingsinstallatie (Attero), RWZI slibverbranding (SNB) en een pluimveemestverbrander (BMC). De AVI van Attero produceert zelf 14 MW aan elektriciteit en levert daarnaast stoom aan de WKC van Essent voor nog eens 76 MW. Daarnaast beschikt Attero over een GFT-composteringsinstallatie in Moerdijk. De compostering wordt echter binnenkort beëindigd; het GFT-afval van de regio West-Brabant zal in Tilburg verwerkt worden. Verdere ontwikkelingen/kenmerken die van belang zijn voor het industriegebied Moerdijk:

- De stortgasonttrekking in Zevenbergen leverde altijd biogas aan het bedrijf Caldic. Dit is in de nabije toekomst niet meer mogelijk. Een andere toepassing van het biogas wordt gezocht
- Invoeding van groen gas op het industrieterrein Moerdijk is niet of slechts zeer beperkt mogelijk. Hoofdreden hiervoor is dat de grote vergistingsinstallatie van Suiker Unie in Dinteloord alle beschikbare invoedcapaciteit nodig heeft. Het is wellicht mogelijk om op het landelijke 40-bar gasnet in te voeden; dit brengt echter hoge kosten met zich mee qua aansluiting en compressie tot 40 bar.
- In en rond het industriegebied Moerdijk is veel warmte beschikbaar. Benutting van deze warmte door andere bedrijven wordt o.a. onderzocht in het kader van het project Duurzame Verbindingen. Het blijkt niet eenvoudig te zijn om succesvolle business cases op te zetten voor warmteuitwisseling. Een succes was de realisatie van een warmtenet (aan de Appelweg) waarin de bedrijven Bewa, Bolsius en Drecht Coating Services (DCS) participeren<sup>6</sup>. Eind 2012 zal het bedrijf Erca Moerdijk restcapaciteit stoom van een buurtbedrijf gaan benutten<sup>7</sup>.

<sup>5</sup> <http://www.duurzameverbindingenmoerdijk.nl/>

<sup>6</sup> [http://www.duurzameverbindingenmoerdijk.nl/nieuws/opening\\_warmtenet\\_appelweg/](http://www.duurzameverbindingenmoerdijk.nl/nieuws/opening_warmtenet_appelweg/)

<sup>7</sup> [http://www.duurzameverbindingenmoerdijk.nl/nieuws/erca\\_moerdijk\\_gebruikt\\_restcapaciteit\\_stoom/](http://www.duurzameverbindingenmoerdijk.nl/nieuws/erca_moerdijk_gebruikt_restcapaciteit_stoom/)

---

De gemeente Breda heeft ambitieuze plannen om in 2044 CO<sub>2</sub> neutraal te worden. Dit wil zij bereiken met een mix van maatregelen, waaronder een toename van het gebruik van duurzame energie en bio-energie. Een belangrijk deel van de stad wordt al voorzien van warmte via het stadsverwarmingsnet van ELES (Essent Local Energy Solutions). Dit stadsverwarmingsnet gebruikt restwarmte van de nabijgelegen elektriciteitscentrale (de Amercentrale). Het benutten van deze restwarmte leidt tot een lager CO<sub>2</sub> uitstoot dan bij het opwekken van warmte met behulp van fossiele brandstoffen (zoals aardgas). Verduurzaming van het stadsverwarmingsnet is dan ook een doelstelling van de gemeente Breda en van ELES.

In en rond de gemeente Breda zijn twee waterzuiveringen (van *Brabantse Delta*) gelegen ten noorden en noordoosten van Breda. Beide produceren biogas uit RWZI slib. Onderzoek is gaande om te bepalen of biogas van de waterzuivering Nieuwveer naar de gemeente Breda gebracht moet worden om daar omgezet te worden in elektriciteit en warmte. De warmte zou ingevoed kunnen worden in het stadsverwarmingsnet.

De gemeente Breda, waterschap Brabantse Delta en ELES hebben in november 2012 drie overeenkomsten ondertekend voor de levering van restwarmte die opgewekt wordt uit biogas en de uitbreiding van de stadsverwarmingsnet. Een ECP sluit precies aan bij deze ambitie en plannen. Restwarmte kan direct in een warmtenetwerk ingezet worden en biogas uit zo'n ECP kan worden ingezet in lokale kleine WKK units.

Een derde belangrijke cluster (naast het cluster rond Breda en het industriegebied Moerdijk) is het gebied rond de *Suiker Unie* (dochterbedrijf van Cosun) in Dinteloord. Suiker Unie verwerkt jaarlijks een zeer grote hoeveelheid suikerbieten in (5 miljoen ton) tot een scala aan producten. Het bedrijf Suiker Unie heeft een vergister in het Agro & Food Cluster Nieuw Prinsenland gerealiseerd. De installatie verwerkt jaarlijks 100.000 ton plantaardig restmateriaal. Uit de agrarische reststromen wordt groen gas geproduceerd. De suikerfabrikant voert jaarlijks 10 miljoen kuub groen gas in het net. Er wordt in de omgeving door Suiker Unie een nieuw bedrijventerrein ontwikkeld rond agro- en food-industrieën. Onderdeel hiervan is o.a. een groot kassencomplex. Warmtelevering aan het kassencomplex wordt door de Suiker Unie als kans gezien.

Naast de bovengenoemde activiteiten zijn er in de regio West Brabant diverse initiatieven in het kader van de BioBased Economy gaande. Voor het ECP-project is het project "Bio-Energie ketensamenwerking" van belang. Het bedrijf *Rasenberg Milieu* heeft twee dochterbedrijven opgericht (C2Circle en United gas) welke in het kader van dit project een pilot plant voor de productie van vloeibaar biomethaan (LBM, liquid BioMethane, bio-LNG) opzetten. LBM kan ingezet worden als transportbrandstof (met name voor vrachtwagens en autobussen), back-up aardgasvervanging, en andere toepassingen waarbij een zeer zuiver, vloeibare brandstof nodig is.

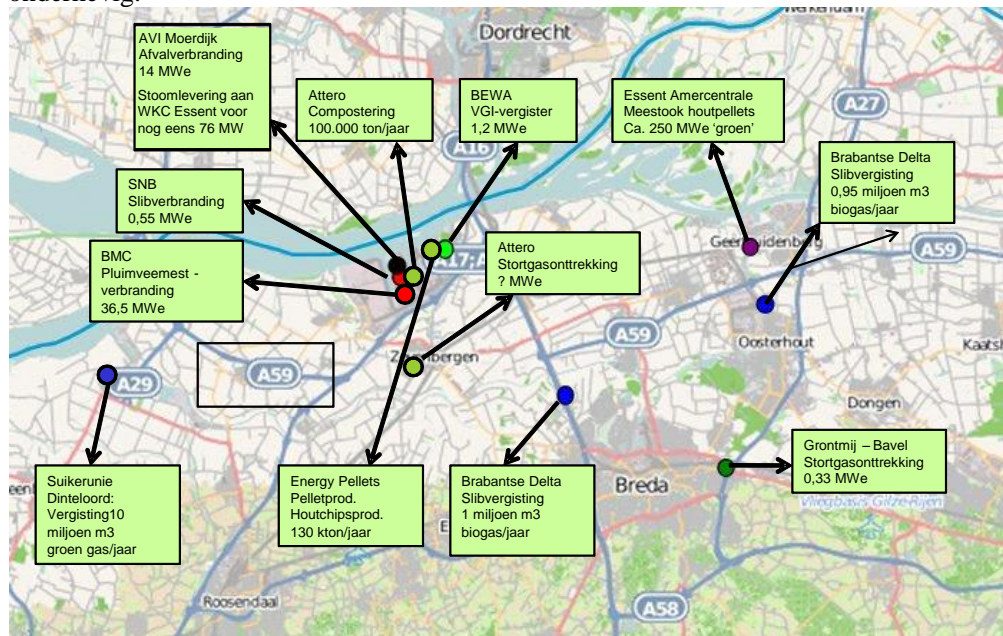
### 2.2.2 Bestaande installaties en initiatieven

In Figuur 7 zijn de tot december 2012 bekende bio-energie installaties in de regio Breda-Moerdijk weergegeven. Deze kennis is verkregen uit verschillende gesprekken met

betrokkenen, eigen informatie en informatie uit openbare bronnen, zoals bijvoorbeeld AgentschapNL.

Opvallend is dat er weinig mest co-vergistingsinstallaties operationeel zijn in West Brabant. Met uitzondering van de installatie van BEWA zijn er geen andere mest co-vergisters in de regio Breda-Moerdijk operationeel. Verder valt op dat er een behoorlijk aantal biomassa-installaties zijn in Moerdijk.

In Tabel 3 zijn de ons bekende initiatieven in de regio Breda-Moerdijk genoemd. Het is bij de ontwikkeling van een ECP belangrijk om te weten wat de initiatieven in de regio zijn, omdat dit mogelijkheden tot aansluiten geeft, en omdat de ontwikkeling van een ECP kan botsen met een bestaand initiatief. Een deel van deze initiatieven is reeds genoemd in de voorgaande paragraaf. Omdat het hier om initiatieven gaat, is informatie over capaciteiten, planningen e.d. niet altijd bekend en is de informatie aan verandering onderhevig.



Figuur 7: Bestaande bio-energie installaties in de regio Breda-Moerdijk

Tabel 3: Bekende bio-energie initiatieven in de regio Breda-Moerdijk

Initiatiefnemer	Locatie	Type	Capaciteit
ATM	Moerdijk	Warmtelevering	60 MW
Attero	Moerdijk	GFT vergisting, LBM opwerking	70.000 ton/jaar
Attero	Moerdijk	digestaat vergassing	30.000 ton/jaar
BEWA	Moerdijk	VGI vergisting	0,6 MWe
Brabantse Delta	Breda	Biogasproductie	1.200.000 m <sup>3</sup> biogas/jaar
Brabantse Delta	Oosterhout	benutting CO <sub>2</sub> /warmte bij Meertens beton	? (gegevens zijn niet bekend om dat het project nog in de ideefase zit)
Brabantse Delta	Breda	Benutting biogas van RWZI's in Breda	warmwatervoorziening en verwarming van ongeveer 450 woningen

Gemeente Breda	Breda, Bavel	nieuw industrieterrein	57 ha netto
Gemeente Breda	Breda, Claudius Prinsenlaan	duurzame warmte	? (capaciteiten, deelnemende instellingen en technologie zijn nog punt van onderzoek)
Suiker Unie	Dinteloord	Vergisting	10 miljoen m3 groen gas/jaar
United gas/C2Circle	NW-Brabant/Zeeland/Z-Holland	LBM (bio-LNG) productie	? (Biogasbron, locatie en toepassing zijn nog punt van onderzoek)

### 2.3 Behoeftte aan energieproducten

De markt voor energieproducten is groot. Ook in Nederland gebruiken wij per persoon een aanzienlijke hoeveelheid elektriciteit, warmte en transportbrandstoffen. Bij de productie van duurzame energie is de afzet bij grootschaliger installaties (zoals een ECP) in het algemeen geen probleem. Voor specifieke vormen van energie, zoals warmte, zal dit echter normaal gesproken niet gelden. De kosten van warmtetransport zijn hoog<sup>8</sup>. In het algemeen wordt de vraag naar energieproducten als volgt ingeschat:

- Elektriciteit: voldoende vraag om alle productie op te nemen
- Warmte: in het geval van Moerdijk is er veel warmte beschikbaar. Het is niet zo maar te verwachten dat additionele warmteproductie opgenomen kan worden.
- Groen gas: In Moerdijk is er bijna geen mogelijkheid om groen gas op het net in te voeden.
- LBM (bio-LNG): voldoende vraag om alle productie op te nemen

Vloeibaar biomethaan (bio-LNG) voor transportbrandstoffen wordt momenteel niet in Nederland geproduceerd. De vraag naar LNG (vloeibaar aardgas) is echter dusdanig dat er vanuit gegaan wordt dat dit geen probleem is.

### 2.4 Evaluatie proces met leerpunten

Het proces van verzamelen van informatie in combinatie met het benaderen van de partijen is in het algemeen conform de verwachting gelopen. Het is goed mogelijk om snel een helder beeld van de lopende ontwikkelingen in een gebied te verkrijgen en de meeste partijen staan ook open voor het delen van informatie.

Qua biomassa-inventarisatie is gebleken dat het goed is om na te gaan of er al biomassa-inventarisaties geweest zijn in een gebied, om zo doublures te vermijden. Bij het inventariseren van de biomassa beschikbaarheid zijn directe enquêtes niet zonder meer het beste instrument; door een mogelijk lage respons is het minder goed mogelijk om daaruit een goed beeld te krijgen van de beschikbare biomassa, waarbij wel opgemerkt dient te worden dat de partijen die biomassa ter beschikking hebben wel eens eerder zouden kunnen reageren. Daarnaast is er een risico op dubbelstellingen: twee of meer partijen uit de keten rapporteren dezelfde biomassa.

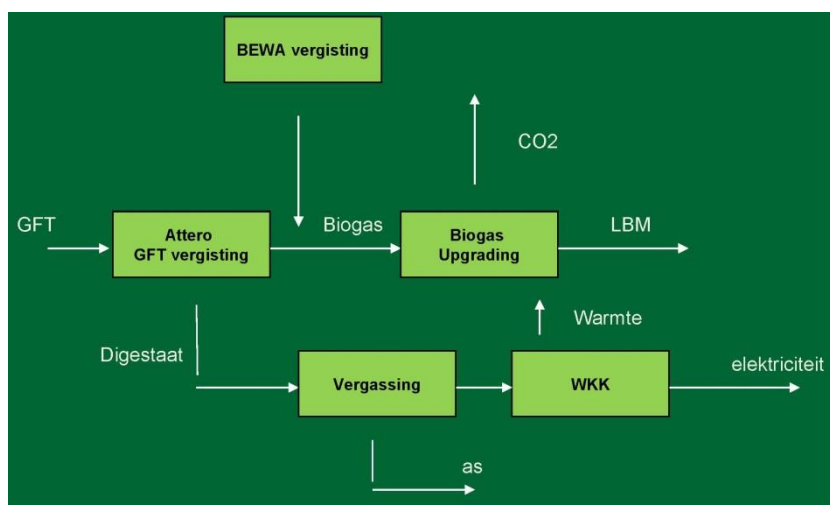
<sup>8</sup> <http://documents.plant.wur.nl/wurglas/OG-MEI-5-08-lr-74-75.pdf>



### 3 OPSTELLEN ECP CONCEPTEN

#### 3.1 Aanpak van de ontwikkeling van de concepten

In de eerste fase van het ECP-project is getracht om een ECP-concept te ontwikkelen in nauwe samenwerking met een groep van belanghebbende partijen (klankbordgroep). Hierbij is eerst – op basis van een aantal brainstormsessies – een aantal globale ECP-concepten opgesteld, welke vervolgens voorgelegd werden aan deze klankbordgroep. Een voorbeeld van een dergelijk concept is te zien in Figuur 8:



**Figuur 8:** Voorbeeld initieel ECP concept: GFT vergisting in combinatie met vergassing

Deze concepten werden opgesteld op basis van informatie die verkregen werd van bedrijven uit de regio en informatie over biomassa beschikbaarheid en behoefte aan producten.

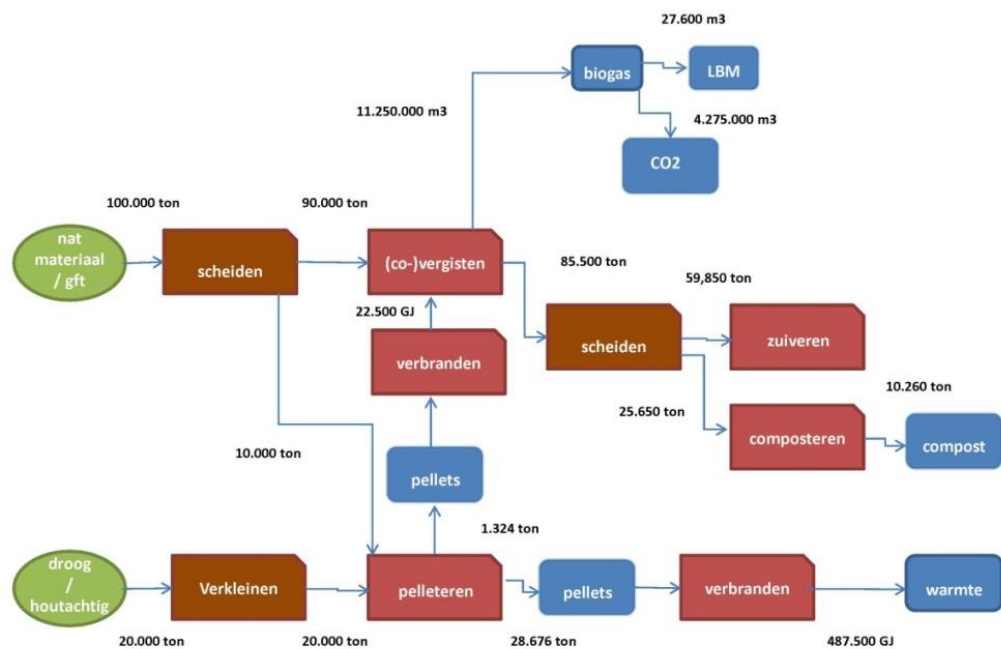
De genoemde klankbordgroep was reeds samengesteld bij de aanvang van het project, en bestond uit bedrijven en instellingen met belangen of interesse in biomassaverwerking in de regio. Bij de selectie van deze bedrijven is uitgegaan van het bestaande netwerk van Avans Hogeschool. Daarnaast is vooraf interesse voor deelname gepeild. De klankbordgroep is – in wisselende samenstellingen – bijeengekomen op 4 mei 2010, 24 november 2010, 10 februari 2011, 22 juni 2011 en 16 november 2012. De volgende bedrijven en instellingen hebben aan één of meer sessies deelgenomen:

- Gemeente Breda
- Staatsbosbeheer
- Waterschap Brabantse Delta
- Rasenberg milieu
- Regio West Brabant
- REWIN
- Brabant Water
- Heja
- Attero

- Stichting Agro & Co
- United Gas
- BEWA

Eind 2010 en begin 2011 zijn er keuzes gemaakt aangaande de meest geschikte concepten en zijn deze, mede op basis van feedback van de klankbordgroep, nader gedetailleerd. Een voorbeeld van een meer gedetailleerd ECP-concept is weergegeven in Figuur 9.

Binnen dit concept zou nat materiaal vergist worden tot biogas en LBM (bio-LNG). Het digestaat uit de installatie werd gescheiden en gezuiverd tot compost. De droge stromen werden in dit concept verwerkt tot pellets die gebruikt kunnen worden om warmte toe te voegen aan de vergistingsinstallatie. Ook werden deze pellets separaat verbrand om te dienen als warmte voor industriële processen of verwarming.

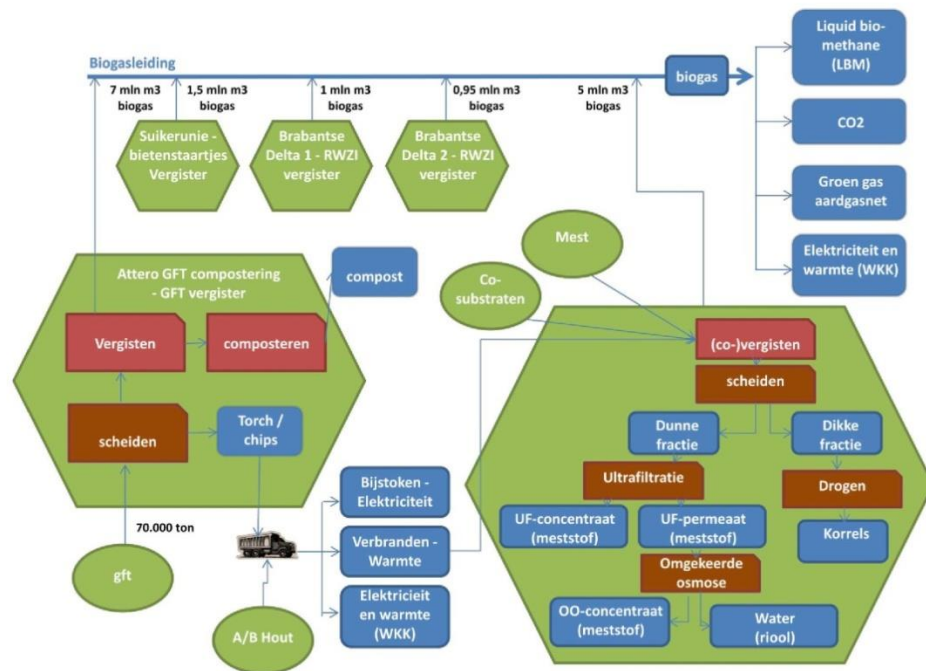


**Figuur 9:** Schematische weergave van een – nader gedetailleerd - ECP concept

Een verdere detaillering van deze ECP concepten is vervolgens uitgevoerd. De ECP concepten Breda en Moerdijk zijn in elkaars nabijheid gelokaliseerd. Dit zou ongewenste concurrentie met betrekking tot biomassastromen kunnen leiden. Een alternatief hiervoor was om deze twee ECP concepten in samenhang te beschouwen.

Hierbij ontstaan twee aan elkaar gekoppelde ECP's. Dat wil zeggen dat er twee ECP's ontwikkeld werden (één in Breda en één in Moerdijk) welke een nauwe relatie zouden hebben, bijvoorbeeld aangaande de uitwisseling van grondstoffen en producten.

In dit concept voor de ECP Breda/Moerdijk werd uitgegaan van het produceren van LBM (bio-LNG), CO<sub>2</sub>, groen gas, elektriciteit en warmte via de productie van biogas. Dit concept is weergegeven in Figuur 10.



**Figuur 10:** Gedistribueerde ECP concepten voor Breda en Moerdijk

In dit concept kunnen de volgende componenten worden onderscheiden:

1. Er dient een **biogasleiding** te worden aangelegd om de diverse biomassa conversie eenheden die samen de ECP vormen met elkaar te verbinden.
2. **Benutting biogas** voor opwekking elektriciteit en warmte bij een woonwijk ('s winters) en upgrading tot liquid biomethane (LBM, bio-LNG) ('s zomers) en/of eventueel opwerking tot groen gas voor het aardgasnetwerk
3. Gezien de beschikbaarheid van mest in de regio en de mogelijkheden tot afzet van biogas lijkt er ruimte te zijn voor één (of meerdere) **geavanceerde mest(co)vergistingsinstallatie**. De vergiste mest (het cosubstraat) kan worden opgewerkt tot meststoffen.
4. **GFT vergisting en benutting houtachtige fractie**. GFT kan worden vergist en gecomposteerd. Door scheiding van de houtachtige fractie kan een aanvullende stroom chips-achtig materiaal (door Attero 'torch' genoemd) worden verkregen, welke kan dienen voor bijstook bij een kolencentrale, of decentraal worden toegepast voor opwekking van warmte en/of elektriciteit.

Dit concept werd gepresenteerd op de laatste klankbordgroepbijeenkomst van 22 juni 2012. Op deze bijeenkomst bleek dat er geen partijen waren die zich wilde committeren aan een verdere uitwerking van dit ECP concept. Als redenen hiervoor werden gegeven dat er bepaalde sleutelpartijen niet aanwezig waren en dat het nog niet duidelijk was waar het ECP concept naartoe zou gaan. Daarnaast werden tegengestelde commerciële belangen genoemd als reden om niet mee te willen werken aan de verdere uitwerking van het ECP concept.

De opmerkingen van de klankbordgroep zijn – achteraf – goed te duiden en begrijpelijk vanuit hun optiek. De les die hieruit getrokken kan worden is dat het bij de ontwikkeling van een ECP van belang is om deze belangen reeds in een vroeg stadium helder te krijgen

---

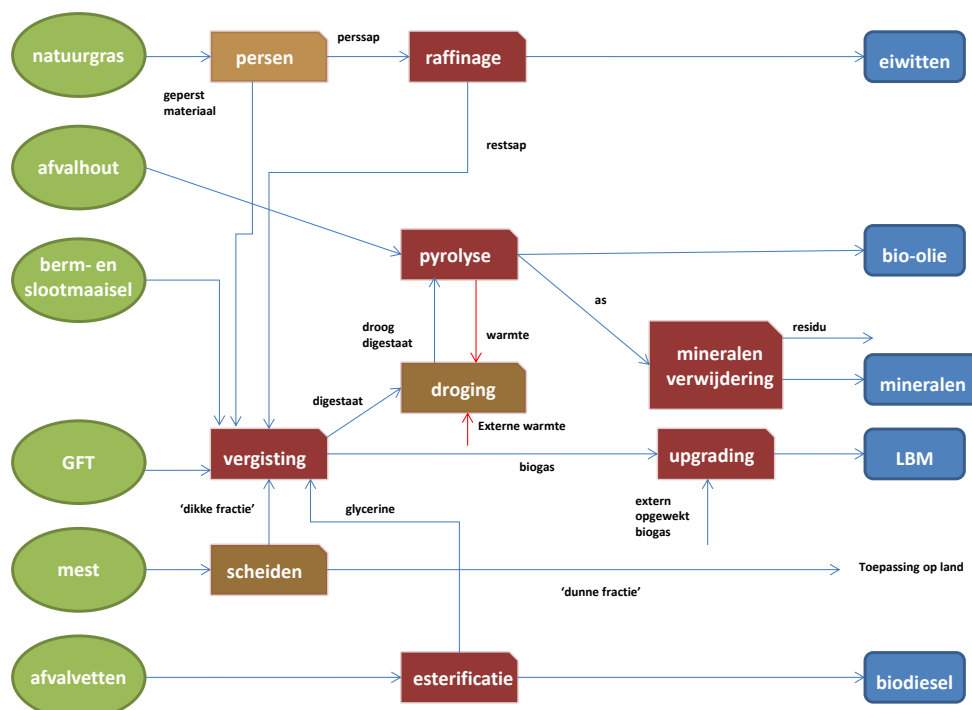
en daarmee vervolgens rekening te houden. Een tweede les die hieruit getrokken kan worden is dat het zeer moeilijk is om een ECP te ontwikkelen zonder één ‘dragende’ partij, welke meer invloed moet hebben dan de overige deelnemers. Gedurende het project zijn er diverse pogingen geweest om partijen deze rol op zich te laten nemen. Er zijn hiertoe gesprekken geweest met Attero, Suiker Unie en BEWA. Om uiteenlopende redenen hebben deze partijen afgezien van deze rol.

Op basis van de resultaten van deze klankbordgroepbijeenkomst is vervolgens besloten tot een geheel andere aanpak, op basis van de volgende uitgangspunten:

- Het ECP Moerdijk zal ontwikkeld worden zonder een concrete ‘dragende partij’. Als in een later stadium een dragende partij alsnog geïdentificeerd kan worden, dan zal deze bij de verdere ontwikkeling betrokken worden. Tot die tijd zal een ECP concept ontwikkeld worden, wat als “wenkend perspectief” kan dienen voor bedrijven en instellingen in Moerdijk.
- Het nieuwe ECP concept zal ontwikkeld worden op basis van de volgende uitgangspunten:
  - Benutting van meerdere, lokaal beschikbare laagwaardige biomassastromen; natuurgras, berm- en slootmaaisel, GFT en mest. Het ECP kan gecompleteerd worden met meer hoogwaardige biomassastromen zoals afvalhout en afvalvetten.
  - Diverse verschillende conversietechnologieën, om zo een minimale vorm van clustering en uitwisseling te bewerkstelligen, waarbij tevens het ECP niet nodeloos ingewikkeld hoeft te worden.
  - Voldoende vernieuwend t.o.v. de ‘State of the Art’. In deze case is gekozen voor een innovatieve insteek omdat deze case – bij afwezigheid van een ankerpunt meer een “wenkend perspectief” dient te bieden.
  - Productie van hoogwaardige biobrandstoffen welke goed te transporteren zijn, met name omdat lokale toepassing van warmte en groen gas in het industriegebied Moerdijk niet voor de hand ligt. De logistieke mogelijkheden van Moerdijk zijn verder zeer goed (o.a. havens, goede bereikbaarheid via de weg), dus transport van producten is in beginsel geen probleem.
  - zoveel mogelijk aansluiten bij de reële lokale situatie in Moerdijk, waarbij activiteiten zo weinig mogelijk concurreren maar wel een meerwaarde bieden voor bestaande activiteiten van gevestigde bedrijven.

*Definitief ECP concept*

Gegeven deze uitgangspunten is het volgende ECP concept opgesteld (zie



Figuur 11). Dit concept is opgebouwd rond vier 'sleutel' conversietechnologieën:

- Grasraffinage
- Pyrolyse
- Vergisting
- Biodieselproductie uit afvalvet

In dit concept is een belangrijke rol voor pyrolyse en voor vergisting weggelegd. Het digestaat afkomstig van de vergisting wordt – gebruik makend van het warmteoverschot in Moerdijk – ingedroogd, waarna het samen met houtafval gepyrolyseerd wordt. Met deze pyrolysetechnologie wordt organische stof omgezet in een vloeistof, welke benut kan worden voor energieopwekking. Bijproducten hiervan zijn elektriciteit en warmte. Pyrolyse wordt in dit verband ook benut als scheidingstechnologie om alle organische stof af te scheiden van de assen (mineralen). Uit deze assen worden vervolgens mineralen teruggewonnen.

Vergisting dient in dit concept om de residuen van o.a. de grasraffinage verder te verwerken. Verder sluit de productie van biogas aan bij de al bestaande beschikbaarheid van stortgas in Zevenbergen. Het biogas wordt opgewerkt tot LBM (bio-LNG), omdat de andere twee opties (productie van elektriciteit en warmte en groen gas productie) minder aantrekkelijk zijn. Specifiek is productie van elektriciteit en met name warmte in een WKK niet nodig op het industrieterrein Moerdijk, en groen gas productie zal problemen geven met invoeding op het openbare gasnet van het industrieterrein Moerdijk.

Bio-ethanolproductie uit cellulosehoudende materialen zou eventueel ook overwogen kunnen worden, maar deze technologie zit nog in de demofase. Om deze reden is besloten om dit niet mee te nemen in het ECP concept voor Moerdijk. Verder is ook pelletisering niet meegenomen. De hoofdreden hiervoor is dat pelletisering en pyrolyse in





er overeenstemming is over de prijs, een grote hoeveelheid biomassa zonder veel problemen geleverd kan worden. Voor andere biomassastromen is dat minder het geval. Specifiek gaat het dan over natuurgras, berm- en slootmaaisel en mest.

GFT wordt grootschalig ingezameld, en is dus in theorie in grote hoeveelheden beschikbaar. Echter, omdat de nadruk in dit ECP niet op GFT ligt (in tegenstelling tot de ECP case Breda), is er voor gekozen om voorlopig alleen GFT van Moerdijk en omliggende gemeenten mee te nemen. Er is zelfs veel voor te zeggen om geen GFT mee te nemen. Echter, omdat het nuttig kan zijn om de technische mogelijkheden van o.a. vergisting met GFT te onderzoeken wordt er in dit stadium nog voor gekozen om GFT mee te nemen.

De netto beschikbaarheid in Moerdijk van de geselecteerde biomassastromen is weergegeven in Tabel 4:

**Tabel 4:** Beschouwde biomassa voor de ECP-case Moerdijk

Biomassa	Beschikbaarheid (ton/jaar)	gebied	percentage	netto beschikbaar (ton/jaar)
natuurgras	108.186	West-Brabant	50%	54.093
berm- en slootmaaisel	25.174	West-Brabant	100%	25.174
residu hout	356.400	Nederland	14%	50.000
GFT	15.799	Moerdijk e.o.	100%	15.799
rundermest	524.023	Moerdijk e.o.	5%	26.201
varkensmest	182.464	Moerdijk e.o.	5%	9.123
residu vetten	1.215.000	Nederland	5%	60.750

De term “Moerdijk e.o.” staat hier voor de gemeente Moerdijk en de omliggende gemeenten (Steenbergen, Halderberge, Etten-Leur, Breda, Drimmelen). Uit deze gegevens blijkt dat slechts een beperkt deel van het beschikbare afvalhout en residu vetten worden meegenomen. Deze residuen zijn gewild en er is een markt voor deze grondstoffen. Hier is ervan uitgegaan dat het mogelijk is om tegen kosten de genoemde hoeveelheden uit de markt te halen, zonder dat de gehele markt verstoord raakt. Een groot deel van het in de regio beschikbare natuurgras en al het berm- en slootmaaisel zijn meegenomen in het ECP concept zoals nu voorligt. Dit is mogelijk omdat er nu nog geen (bermgras) of bijna geen (natuurgras) goede kosteneffectieve toepassingen zijn voor deze biomassastromen. Het is daarom de verwachting dat de bovengenoemde hoeveelheid daadwerkelijk beschikbaar zal zijn.

Deze informatie over de biomassa die beschikbaar is en meegenomen wordt voor het ECP Moerdijk wordt later gebruikt bij het bepalen van de outputs van het ECP concept.

### 3.2.2 Technische haalbaarheid beoogde processen ECP Moerdijk

In deze paragraaf wordt kort de stand der techniek van de conversiestappen die in het ECP Moerdijk concept gebruikt worden en de geschiktheid van de technologie besproken. Met “geschiktheid” wordt hierbij bedoeld of het technisch mogelijk is dat een bepaalde conversietechnologie een bepaalde output of efficiëntie kan behalen in het kader van het ECP concept. De volgende technologieën zullen achtereenvolgens besproken worden:

- 
- Grasraffinage
  - Pyrolyse
  - Esterificatie (biodiesel productie)
  - Droge vergisting
  - Mechanische scheiding van mest
  - Upgrading en LBM (bio-LNG) productie

#### *Grasraffinage*

Grasraffinage (Wageningen UR, 2012) betreft het scheiden van gras in meerdere fracties, met als doel om hoogwaardige fracties te isoleren en te vermarkten. Gras bestaat uit vezels, eiwitten, suikers, mineralen, zuren en vetten. Bij grasraffinage wordt het gras geperst, waardoor er een vezelrijke fractie en een eiwitrijke fractie (het grassap) ontstaat. Het eiwit kan worden gewonnen door verwarming van het sap waardoor het eiwit uitvlokt of coaguleert en kan worden afgescheiden. Dit eiwit kan worden toegepast als veevoer.

Grasraffinage vereist dat het gras vers is. Er dienen maatregelen genomen te worden om gras direct te verwerken, dan wel goed te conserveren door bv. inkuilen om degradatie van het gras te voorkomen<sup>9</sup>.

Grasraffinage bevindt zich nog in de experimentele fase. Op dit gebied zijn er in Nederland diverse projecten uitgevoerd of nog in uitvoering (bv. Grassa!<sup>10</sup> en Indugras<sup>11</sup>). In het kader van het Grassa! project is een proeffabriek ontwikkeld; maar deze is nog niet commercieel inzetbaar. Ook in het buitenland is grasvergisting nog niet commercieel doorgebroken (Wageningen UR, 2012).

Gegeven het belang van een goede en goed gedefinieerde input wordt ervan uitgegaan dat berm- en slootmaaisel an sich minder geschikt zijn voor grasraffinage. Grasraffinage zal in het ECP Moerdijk alleen toegepast worden op natuurgras. Hierbij wordt er verder vanuit gegaan dat het natuurgras zorgvuldig geoogst wordt om verontreinigingen e.d. tot een minimum te beperken. Berm- en slootmaaisel zullen vergist worden. Een tweede punt betreft de toepassing van het geperst materiaal. Er wordt onderzoek gedaan naar toepassing van deze vezelrijke fractie; maar omdat dit onderzoek nog niet tot commerciële eenheden geleid heeft, zal de vezelrijke fractie vergist worden in het ECP Moerdijk.

#### *Pyrolyse*

Pyrolyse is een thermisch proces waarbij olie (pyrolyse-olie) uit biomassa gewonnen wordt. De andere twee producten die bij pyrolyse ontstaan (permanente gassen en kool) worden in het proces zelf benut. Pyrolyse-olie is dus géén pure plantaardige olie en is ook wezenlijk anders dan bio-ethanol en biodiesel.

Pyrolyse-olie is een vloeibare olie die gemaakt wordt uit biomassa, zoals bv. hout. Een groot voordeel van pyrolyse-olie is dat deze gebruikt kan worden in bestaande ketels, met minimale aanpassingen aan de branders. Daarnaast is de energiedichtheid van pyrolyse-

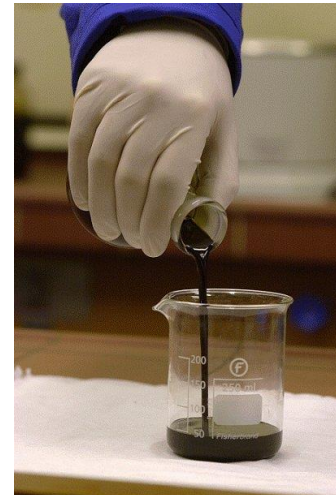
---

<sup>9</sup> <http://www.groenegrondstoffen.nl/downloads/Infosheets/Pilot%20grasraffinage.pdf>

<sup>10</sup> <http://www.grassanederland.nl/>

<sup>11</sup> [http://www.h2obuffalo.nl/cleanenergyfor.me/projecten\\_indugas.html](http://www.h2obuffalo.nl/cleanenergyfor.me/projecten_indugas.html)

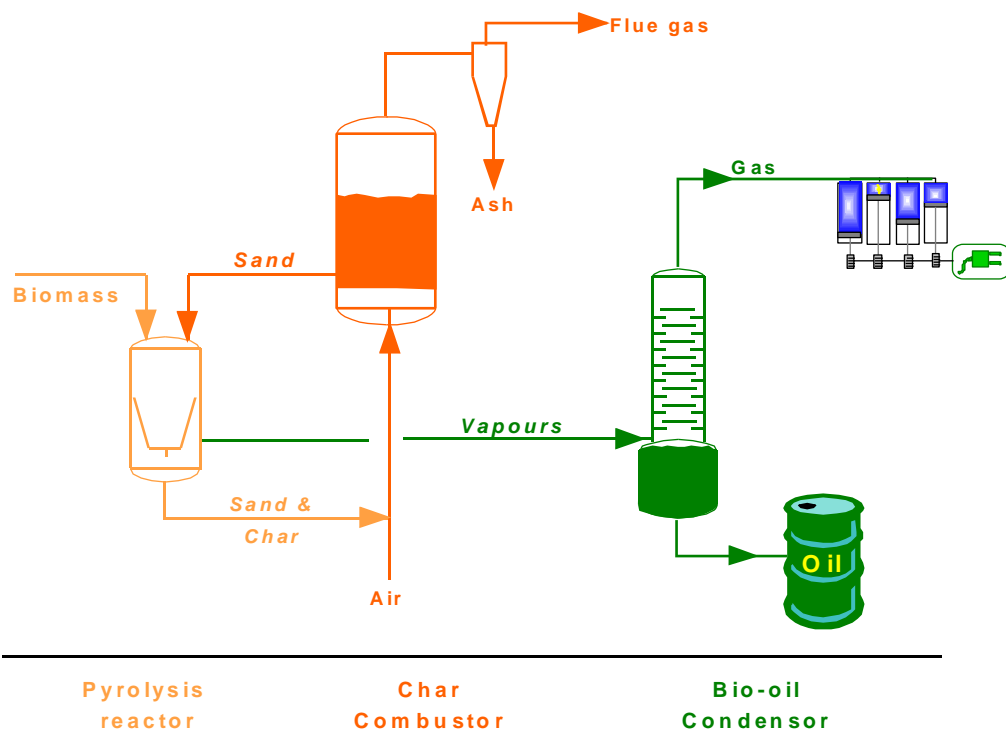
olie veel hoger dan die van gewone biomassa, waardoor transport en opslag goedkoper is. Praktisch alle typen biomassa kunnen omgezet worden in pyrolyse-olie. Er zijn reeds succesvolle experimenten uitgevoerd met (o.a.) hout, gras, bagasse en raapzaadresiduen.



Figuur 12: Pyrolyse-olie

Pyrolyse-olie lijkt op ‘gewone’ fossiele olie, maar verschilt hiervan op een aantal punten. Pyrolyse-olie is zuur en bevat water. Ook is de energie-inhoud lager dan bv. diesel olie. Hierdoor is pyrolyse-olie niet zonder meer geschikt als (diesel-)transportbrandstof. Vervanging van aardgas in bestaande ketels is echter vandaag de dag mogelijk. Daarnaast wordt er gewerkt aan toepassing als grondstof voor meer hoogwaardige toepassingen. Dit maakt pyrolyse-olie flexibel inzetbaar, ook voor kleinschalige toepassingen, hetgeen bij veel andere duurzame energie productiesystemen (bijvoorbeeld verbranding van vaste biomassa) een probleem is.

Het pyrolyse olie proces is weergegeven in de onderstaande figuur.



Figuur 13: Schematische weergave pyrolyse proces

Uit deze weergave is duidelijk dat biomassa wordt gemengd met heet zand. Het zand wordt weer opgewarmd in een verbrander, waar de kool die ook ontstaat bij het proces wordt verbrand. De dampen die bij de pyrolyse ontstaan worden afgekoeld in een condensor van waaruit de pyrolyse olie wordt afgetapt. Gassen die niet condenseren (de “permanente gassen”) kunnen in een gasmotor worden toegepast of worden toegevoegd aan de verbrander.



---

grondstoffen te hoog worden of de afzetprijzen te laag zijn worden biodieselfabrieken gesloten om zo kosten te besparen. Dit is in de afgelopen jaren met grote regelmaat gebeurd<sup>12</sup>.

Een nadeel van deze grondstoffen is dat ze water en vrije vetzuren bevatten. Deze vrije vetzuren reageren met de katalysator tot zeep en water. Om toch een rendabel proces te realiseren is het nodig om hier maatregelen voor te nemen. Een proces waarbij dit probleem wordt bestreden maakt gebruik van katalyse met zuren. In (Zhang, Y., et al., 2003a) en (Zhang, Y., et al., 2003b) is dit proces uitgebreid beschreven, inclusief productierendementen, benodigde apparatuur en bedrijfsmiddelen.

#### *Droge vergisting*

Anaerobe vergisting is een biologisch proces waarbij uit (veelal natte) biomassa langs biologische weg gas wordt gewonnen, het zogenaamde biogas. Grondstoffen zijn bijvoorbeeld rundermest en varkensmest, aangevuld met maïs en reststoffen uit de voedings- en genotmiddelen industrie. Ook RWZI slib, en afvalwater stromen kan via anaerobe vergisting gezuiverd worden. Biogas is brandbaar en kan met een gasmotor omgezet worden in elektriciteit en warmte. Relatief nieuw is de toepassing waarbij biogas wordt gezuiverd en opgewerkt wordt tot aardgaskwaliteit. Dit “groen gas” kan gebruikt worden voor energieopwekking via injectie in het bestaande aardgasnet, maar ook als transportbrandstof.

Anaerobe vergisting is een bewezen technologie. De technologie kan toegepast worden op zeer kleine schaal, zoals bijvoorbeeld in ontwikkelingslanden waar kleine vergisters gebruikt worden om biogas als huishoudbrandstof te genereren. De maximale schaal waar anaerobe vergisting nog op toegepast wordt is ca. 10 MW<sub>e</sub>, waarbij de schaalgrootte gelimiteerd wordt door de beschikbaarheid van voldoende grondstoffen.

In Nederland zijn er momenteel naar schatting 100 - 200 (co-)vergistingsinstallaties actief<sup>13</sup>. Covergisting is het bijmengen van organische substraten aan mest in de vergisting. Deze vergisters hebben een vermogen van 200 kW<sub>e</sub> tot 2 MW<sub>e</sub> en gebruiken als grondstof mest en co-substraten als maïs, graan of specifieke andere biomassa reststromen. Deze vergisters zijn van het “geroerde tank” type. Dat wil zeggen dat de mest en cosubstraten als een vloeistof (maximaal drogestofgehalte ca. 15%) behandeld wordt. Substraten worden continu in de reactor gevoed, waar deze gedurende een aantal dagen (20 – 40) dagen biogas produceren. Het restproduct (digestaat) wordt regelmatig uit de vergister gepompt.

Een iets andere uitwerking van het principe van anaerobe vergisting is het afvangen van biogas op stortplaatsen met een stortgas onttrekkingsinstallatie. Alle stortplaatsen in Nederland (ca 50) zijn uitgerust met een stortgas onttrekkingsstelsel. Verder zijn er ca. 70 RWZI slib vergisters in bedrijf.

Voor vergisting van GFT wordt meestal gebruik gemaakt van droge vergisting. Dit wordt meer en meer toegepast in Nederland. Concrete voorbeelden zijn:

---

<sup>12</sup> <http://www.boerderij.nl/Home/Nieuws/2012/11/Duitse-biodieselfabriek-Cargill-en-Agravis-dicht-1105304W/>

<sup>13</sup> Zie voor een overzicht [www.b-i-o.nl](http://www.b-i-o.nl)



- Orgaworld in Lelystad (35.000 ton GFT per jaar)
- De VAR in Twello (70.000 ton GFT per jaar)
- Twence in Hengelo (50.000 ton GFT per jaar)
- Attero in Venlo (90.000 ton GFT per jaar)
- Rova in Zwolle (45.000 ton GFT per jaar)
- HVC in Middenmeer (72.000 ton GFT per jaar) (in aanbouw)

Voor droge vergisting worden momenteel drie systemen toegepast. Deze toepassingen bevinden zich nu nog uitsluitend op het vlak van GFT:

- Mesofiele batch-vergisting (Biocel proces), toegepast door Orgaworld in Lelystad. Hierbij wordt vers GFT-afval gemengd met reeds vergist GFT-afval (digestaat) en in de tunnels geplaatst door een shovel. De vergisting vindt batchgewijs plaats onder mesofiele omstandigheden (38 tot 40°C). Tijdens het vergisten wordt het lekwater over het vergistende materiaal rondgepompt (percolatie). Het materiaal in de vergisters blijft steekvast<sup>14</sup>.
- Thermofiele continue vergisting, toegepast bij de VAR, Twence, Rova en HVC. Dit proces verloopt continu onder thermofiele omstandigheden (50 tot 55°C). Het GFT-afval wordt voorbereid (verkleind en gezeefd) en vervolgens geënt met rondgepompte vloeistof. Dit om ervoor te zorgen dat het proces sneller van start gaat. De rondgepompte vloeistof bevat al een optimale hoeveelheid bacteriën. De vloeibare massa wordt vervolgens langzaam geoerd en door de reactoren geleid. Dit type GFT vergisters wordt horizontaal uitgevoerd (het Kompogas proces<sup>15</sup>), of in een verticale reactor (het Dranco proces van OWS). Deze verticale vergister bevat geen roerwerk. Het mengen van GFT en digestaat vindt plaats door deze twee stromen samen meerdere malen rond te pompen door de vergister<sup>16</sup>.
- Tunnelpercolaatvergisting, toegepast bij Attero. Hierbij wordt gebruik gemaakt van de reeds aanwezige tunnelcompostering. Over de helft van de tunnels (met daarin GFT) wordt percolaatwater gerecirculeerd en door een separaat opgestelde anaerobe percolaatwatervergister (UASB reactor) geleid waaruit het biogas wordt gewonnen. Daarmee wordt stroom en warmte geproduceerd. Na ruim een week wordt het aldus uitgewassen GFT-afval nagecomposteerd in de overige tunnels<sup>17</sup>.

#### *Keuze vergistingsconcept voor ECP Moerdijk*

Van de drie genoemde methoden voor GFT vergisting valt het Biocel proces als eerste af. Batch-gewijze vergisting van GFT wordt als technologie in Nederland in de meer recentere installaties niet meer gebruikt.

Tunnelpercolaatvergisting werkt goed voor GFT als het goed mogelijk is om een scheiding tussen het vloeibare gedeelte en het vastestof gedeelte te maken. Indien niet op voorhand duidelijk is dat dat kan, is droge vergisting via het Dranco of Kompogas proces

<sup>14</sup> Zie [http://www.agentschapnl.nl/sites/default/files/bijlagen/Voorbeeldproject%20Bio-Energie%20-%20Lelystad%20-%20GFT%20Vergisting\\_0.pdf](http://www.agentschapnl.nl/sites/default/files/bijlagen/Voorbeeldproject%20Bio-Energie%20-%20Lelystad%20-%20GFT%20Vergisting_0.pdf)

<sup>15</sup> Zie <http://www.bioenergy.nl/Flex/Site/Download.aspx?ID=5663>

<sup>16</sup> Zie [http://www.ows.be/pub/Algemeen%20artikel%20OWS\\_DRANCO\\_%20DRANCO-FARM\\_m&s.14876.pdf](http://www.ows.be/pub/Algemeen%20artikel%20OWS_DRANCO_%20DRANCO-FARM_m&s.14876.pdf)

<sup>17</sup> Zie <https://www.attero.nl/upload/docs/0116-fo-gft-venlo-nw-v1-los.pdf>

te prefereren. Hierbij wordt ervan uitgegaan dat de mest gescheiden wordt in een dunne en een dikke fractie, en dat alleen de dikke fractie verder vergist wordt.

#### *Mechanische scheiding van mest*

Drijfmest, zoals dat op de meeste Nederlandse veehouderijbedrijven wordt geproduceerd, bestaat voor een groot deel (circa 90%) uit water en een klein deel uit organisch en anorganisch materiaal. Het doel van mestscheiding is om het vaste materiaal en de vloeistof te scheiden in een dikke en een dunne fractie. Veel boerenbedrijven passen mestscheiding toe omdat hiermee fosfaat geconcentreerd kan worden in de dikke fractie. Hierdoor kan het fosfaat worden afgevoerd in een kleiner volume (Veehouderij techniek, 2010). De volgende drie technieken voor mestscheiding zijn het meest gangbaar:

- Trommelfilter - Een trommelfilter bestaat uit een draaiende geperforeerde trommel waar de mest overheen wordt gepompt. Het is een eenvoudige, robuuste techniek met een relatief laag scheidingsrendement.
- Vijzelpers - Een vijzelpers (zie figuur 15) bestaat uit een draaiende vijzel in een geperforeerde mantel met gaatjes van 0,5 – 1 mm. De vijzel bouwt druk op, perst de vloeistof door de perforaties en neemt de dikke fractie mee naar de afvoeropening. Kapitaalkosten zijn relatief laag; terwijl het scheidingsrendement enigszins gestuurd kan worden.
- Centrifuge - Een centrifuge (of decanter) bestaat uit een snel ronddraaiende dichte trommel met daarin een schroef. Scheiding berust op het principe van middelpuntvliedende kracht die ervoor zorgt dat relatief zware bestanddelen van de mest naar de buitenkant van de trommel worden geslingerd. Kapitaalkosten zijn relatief hoog hetgeen decanters met name geschikt maakt voor grotere volumes.



**Figuur 15:** Vijzelpers (of schroefpers)

Een typisch scheidingsrendement van een vijzelpers is weergegeven in de navolgende tabel. Scheidingsrendementen van een decanter zijn vergelijkbaar (Wageningen UR Livestock Research, 2010):

**Tabel 5:** Typisch scheidingsrendement vijzelpers (rundermest)

Fractie	Parameter	Waarde	Eenheid
ingaand materiaal	hoeveelheid	1	ton
	drogestof gehalte	5.8%	
dikke fractie	hoeveelheid	0,13	ton
	drogestof gehalte	17.6%	
	deel van de vaste stof	40%	
dunne fractie	hoeveelheid	0,87	ton
	drogestof gehalte	4.0%	
	deel van de vaste stof	60%	

---

Uit deze tabel is te zien dat door mestscheiding een aanzienlijke reductie van het totale gewicht bereikt kan worden, ten koste van verlies van een aanzienlijk deel van het vastestof gehalte.

*Biogas upgrading en LBM (bio-LNG) productie*

Biogas bevat, naast methaan, aanzienlijke hoeveelheden (tot 40% - 50%) CO<sub>2</sub>. In vergelijking met aardgas bevat biogas daarnaast diverse verontreinigingen, zoals waterstofsulfide (H<sub>2</sub>S) en ammonia (NH<sub>3</sub>). Waterstof (H<sub>2</sub>), stikstof (N<sub>2</sub>), koolwaterstoffen en zuurstof (O<sub>2</sub>) zijn soms in kleine hoeveelheden aanwezig. Verder is biogas verzadigd met water en bevat soms stofdeeltjes.

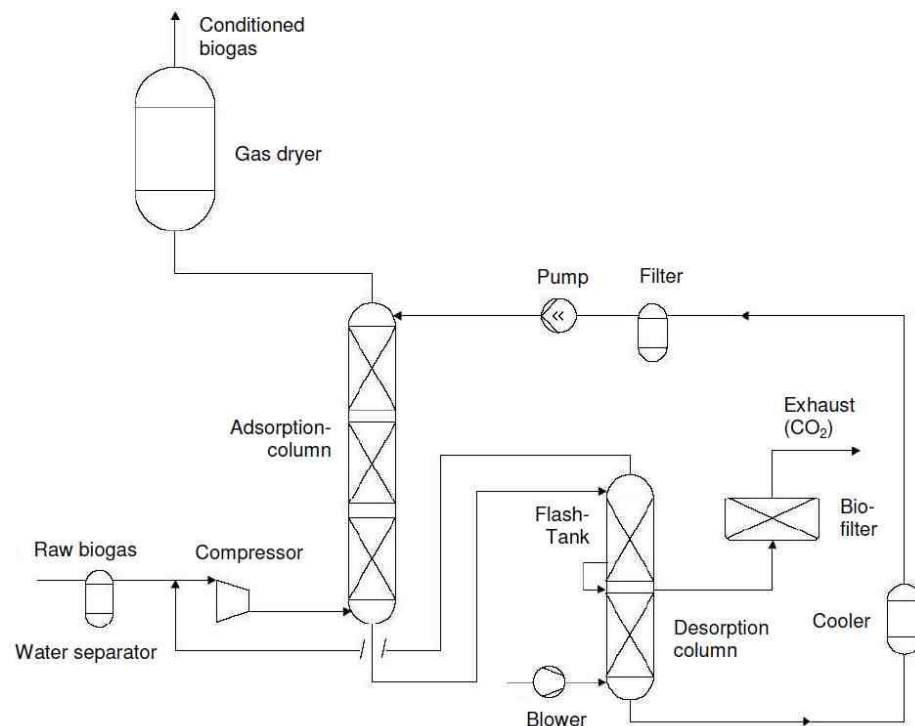
Om biogas verder te verwerken is het nodig om deze verontreinigingen in meer of mindere mate te verwijderen. Voor toepassing in een WKK is alleen droging en H<sub>2</sub>S verwijdering meestal voldoende. Voor hoogwaardiger toepassingen, zoals invoeding in het aardgasnet of toepassing als brandstof, is verdere upgrading noodzakelijk. De essentiële en meest kostbare stap hierin is de verwijdering van het CO<sub>2</sub>. Hiervoor zijn er diverse – bewezen – technieken beschikbaar:

- Membraanscheiding;
- PSA (Pressure Swing Adsorption);
- Absorptie met water (pressurised water wash) of een ander oplosmiddel.

Een schematische layout van een pressurised water wash upgrading eenheid is weergegeven in Figuur 16 (Praßl et al., 2008). De technologie om biogas te upgraden naar groen gas is – ook in Nederland – bewezen. In 2011 zijn er bij voorbeeld vijf groen gas productieinstallaties opgeleverd (AgentschapNL, 2012).

Productie van LBM (Liquified biomethane, bio-LNG) kan gezien worden als vervolgstap op het upgraden van biogas. LBM is qua samenstelling vergelijkbaar met LNG (vloeibaar aardgas). Het belangrijkste verschil hierin is de oorsprong: LBM wordt geproduceerd van biogas en is dus hernieuwbaar.

LNG wordt al decennia gemaakt in landen die grote aardgasvoorraden hebben, maar ver van de gebruikers liggen zoals Qatar en Algerije. LNG wordt gemaakt om het volume te reduceren en meer energie per volume-eenheid te krijgen. Ten opzichte van gasvormig aardgas heeft LNG een volumereductie met een factor 640. Daardoor wordt het rendabel om LNG over lange afstanden te transporteren. LNG heeft per volume-eenheid ongeveer de helft van de energie-inhoud van benzine.



**Figuur 16:** Schematische lay-out van CO<sub>2</sub> verwijderingseenheid (via absorptie met water)

LNG wordt afgekoeld tot onder de  $-161\text{ }^{\circ}\text{C}$ , bij die temperatuur wordt aardgas vloeibaar. Het wordt via speciale schepen getransporteerd naar afnemers. In Zeebrugge is al een aantal jaren een LNG terminal gevestigd waar LNG wordt geïmporteerd en in het gasnet gevoed. In 2011 is de eerste LNG-terminal in de Rotterdamse haven in gebruik genomen. Daar wordt het LNG verdampt met restwarmte van een nabij gelegen elektriciteitscentrale. Het verdampte gas wordt ingevoed op het aardgasnetwerk.

Productie van LBM (bio-LNG) staat momenteel nog in de kinderschoenen. Momenteel is er één installatie in Europa die LBM produceert. Deze staat in Groot-Brittannië (zie Figuur 17). Deze LBM wordt ook verkocht in één van de enkele LBM vulpunten in Nederland, deze staan in Eindhoven en Oss. Er zijn wel diverse bedrijven die productie-eenheden voor LBM aanbieden. Voorbeelden hiervan zijn Gas Treatment Services en Osomo.



**Figuur 17:** Gasrec's 5,000 ton/jaar LBM (bio-LNG) productie installatie in Surrey (UK)

Met het gebruik van LBM/LNG als transportbrandstof in Nederland wordt momenteel geëxperimenteerd. Vrachtwagenfabrikant Volvo heeft een vrachtwagen ontwikkeld die rijdt op een mix van LBM/LNG 75% en diesel 25% op basis van energiewaarde. In Nederland rijden vijf van deze testvrachtwagens rond. Volvo is nu gestart met de commerciële verkoop en heeft momenteel rond de 50 vrachtwagens verkocht. Voordelen van diesel-methaan vrachtwagens zijn de lagere emissies en lagere kosten bij intensief gebruik. Ook is de actieradius aanzienlijk hoger dan een CNG-vrachtwagen; deze is vergelijkbaar met het bereik van dieselvrachtwagens.



**Figuur 18:** Een diesel-methaan (LNG/LBM (bio-LNG)) vrachtwagen.

### 3.2.3 Technische uitwerking ECP concepten

Uit de voorgaande paragraaf is duidelijk geworden dat het gekozen ECP-concept Moerdijk technisch kan functioneren. De conversiestappen zijn voor een groot gedeelte bewezen technologie op de voor het ECP Moerdijk beoogde schaal. Grasraffinage bevindt

---

zich nog in een experimenteel stadium en pyrolyse nog in de demofase. Er wordt echter in deze fase echter vanuit gegaan dat ook deze technieken technisch goed zullen kunnen functioneren op de hier beoogde schaal.

Voor het verder uitwerken en evalueren van het ECP zijn de eisen waaraan de tussenproducten dienen te voldoen geïdentificeerd, en is de biomassa-input voor diverse scenario's bepaald.

Op basis van deze gegevens zijn de massa- en energiebalansen voor het ECP Moerdijk opgesteld. Hierbij zijn de volgende technische uitgangspunten gehanteerd:

- De massa- en energiebalansen worden opgesteld op het niveau van de individuele conversie-eenheden en beperken zich tot de meest belangrijke energie- en materiaalstromen. Dit omdat het model anders te ingewikkeld en inflexibel zal worden. Dit betekent bijvoorbeeld dat de conversiestap 'persen' wordt gekenmerkt door één input (natuurgras) en twee outputs (perssap en restsap). Andere, kleinere inputs- en outputs worden in dit stadium verwaarloosd.
- De consequentie hiervan is dat voor de bepaling van conversie-efficiënties, technische limiteringen, input-eisen, elektriciteits- en warmtegebruik, gebruik van overige hulpbronnen, uitvoeringsvormen, bijproducten, residuen en output karakteristieken in voorkomende gevallen moet worden uitgegaan van literatuurgegevens.
- Van elke conversietechnologie is de behoefte aan warmte en elektriciteit bepaald, welke meegenomen wordt in de globale berekeningen.

De massa- en energiebalansen zijn opgesteld in de vorm van een spreadsheet model. Literatuurverwijzingen en berekeningen zijn in de spreadsheets zelf verwerkt. Een grafische representatie van de massa- en energiebalansen is weergegeven in Figuur 19.

In deze figuur staan de lichtblauwe lijnen voor stofstromen. De rode lijnen staan voor overdracht van warmte en de blauwe lijnen staan voor elektriciteit. Uit deze figuur is af te lezen dat het ECP Moerdijk met deze inputs geen additionele elektriciteit of warmte nodig heeft. Een bijproduct van de pyrolyse van afvalhout en gedroogd digestaat is elektriciteit en warmte. De warmte wordt grotendeels benut voor het drogen van digestaat en van afvalhout. Additionele warmte is beschikbaar voor andere (buiten het ECP) processen.

Hieronder volgt een beschrijving van de processen welke in zijn weergegeven in de figuur:

- De *grasraffinage* heeft als input natuurgras en als output perssap en geperst materiaal. Het perssap wordt verder geraffineerd om er eiwit uit te winnen. Een bijproduct hiervan is restsap wat – samen met het geperst materiaal – als input voor de vergister dient. De voor de raffinage benodigde warmte wordt opgewekt in de pyrolyse installatie.
- Het afvalhout (grondstof voor *pyrolyse*) dient eerst gedroogd en verkleind te worden. Dit om te zorgen dat de deeltjesgrootte van het hout voldoet aan deingangsspecificaties van het pyrolyse proces. De benodigde energie voor het verkleiningsproces wordt opgewekt in de pyrolyse fabriek. Het leeuwendeel van



---

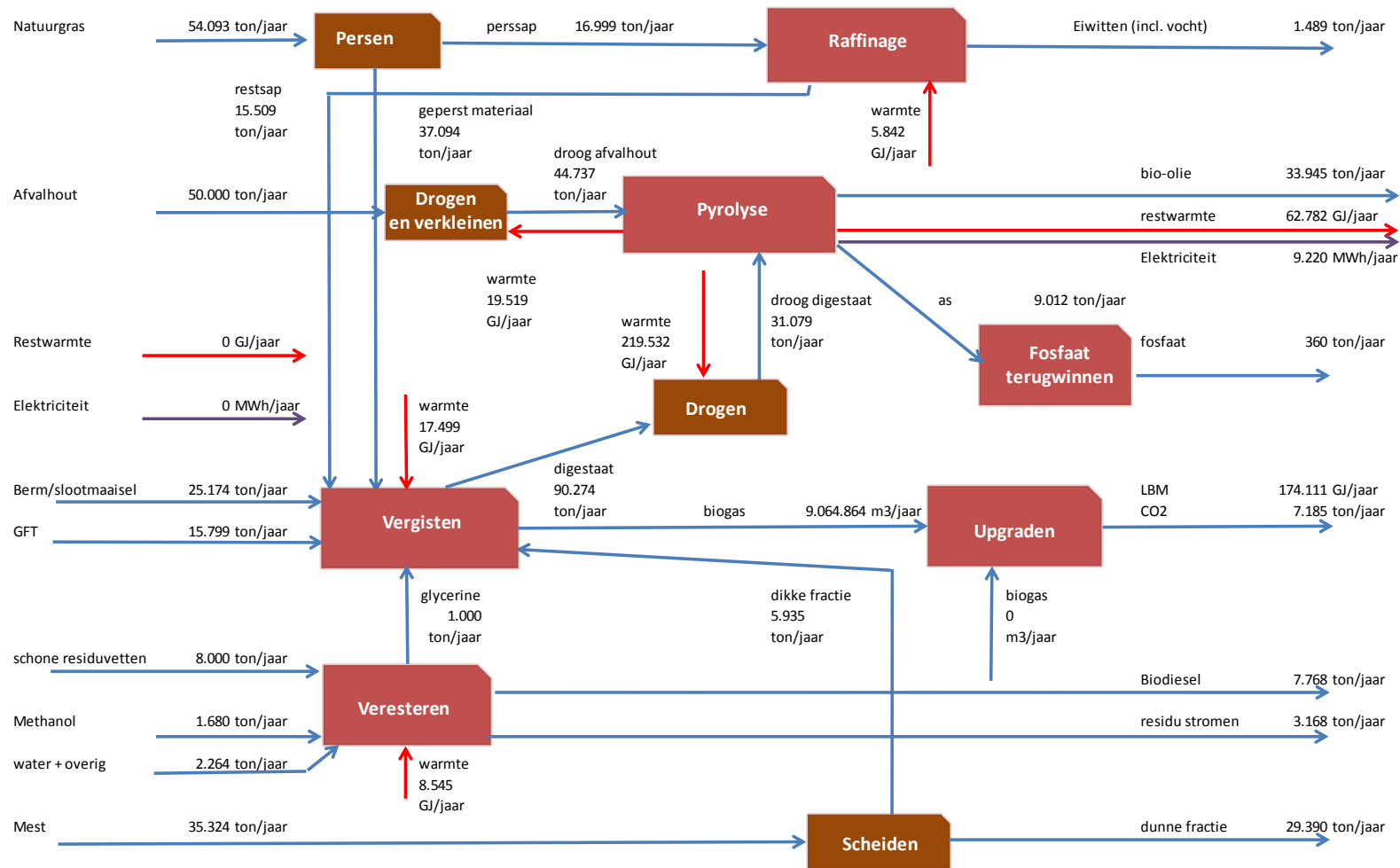
de warmte is nodig om het natte digestaat van de vergistingsstap te drogen. Afvalhout en droog digestaat worden gepyrolyseerd voor de productie van pyrolyse olie, warmte en elektriciteit. Voor de productie van elektriciteit wordt gebruik gemaakt van een (kleine) turbine. Deze maakt van stoom (opgewekt in de verbrander (in het pyrolyse proces) elektriciteit en warmte. Hoofdproduct van deze stap is pyrolyse olie.

- De assen van de pyrolyse eenheid bevatten fosfaat. Dit fosfaat kan teruggewonnen worden uit de assen via een proces dat in Nederland tot voor kort uitgevoerd werd door het bedrijf Thermphos. Thermphos is onlangs echter failliet verklaard<sup>18</sup>. In het kader van het ECP Moerdijk wordt het proces van fosfaatwinning uit assen niet gemodelleerd. Er wordt uitgegaan van levering van de verbrandingsassen aan een extern bedrijf als (de opvolger van) Thermphos.
- Diverse natte materialen (specifiek berm/slootmaaisel, GFT, geperst materiaal, perssap, glycerine en de dikke fractie van de mestscheiding) worden in een droge vergister vergist. De hiervoor benodigde warmte wordt opgewekt in het pyrolyse proces. Het digestaat wordt gedroogd om als input voor het pyrolyse proces te dienen. Het biogas wordt opgewaardeerd tot groen gas en vervolgens vervloeit tot LBM (bio-LNG). Een bijproduct hiervan is CO<sub>2</sub>. Bij deze opwaardeerstap is het mogelijk om extern geproduceerd biogas bij te voegen (bv. van de stortgasonttrekking in Zevenbergen).
- De verestering van schone residu vetten gebruikt warmte (van het pyrolyse proces), methanol en diverse andere hulpstoffen. De belangrijkste hiervan zijn water en zwavelzuur (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>). Outputs zijn biodiesel en diverse residu stromen, zoals een methanol/water mengsel en Calciumsulfaat (CaSO<sub>4</sub>).

Het model biedt de mogelijkheid om de inputs (binnen zekere grenzen) te variëren. De resulterende stofstromen worden aan de hand van de inputs bepaald, waarbij het goed mogelijk is om een ECP te definiëren dat weliswaar technisch mogelijk is, maar economisch niet zeer zinvol is. Als bijvoorbeeld de hoeveelheid afvalhout tot nul teruggebracht wordt, zal het pyrolyse proces alleen gevoed worden met digestaat, waardoor de warmtebalans sterk negatief wordt.

---

<sup>18</sup> <http://www.nu.nl/economie/2963807/thermphos-failliet-verklaard.html>



Figuur 19: Grafische representatie M&E balans ECP-case Moerdijk

### 3.2.4 Resultaten

Eerst worden enkele typische resultaten van de ECP-case Moerdijk gepresenteerd. De inputgegevens hiervan staan vermeld in Tabel 6.

**Tabel 6:** Inputgegevens typische ECP Moerdijk berekening

Parameter	Waarde	Eenheid
input - natuurgras	54.093	ton/jaar
input - berm- en slootmaaisel	25.174	ton/jaar
input - residu hout	50.000	ton/jaar
input - GFT	15.799	ton/jaar
input - rundermest	26.201	ton/jaar
input - varkensmest	9.123	ton/jaar
input - residu vetten	8.000	ton/jaar

De biomassa inputs komen overeen met de eerder geïdentificeerde stromen (zie paragraaf 3.2.1). De resultaten van de berekeningen betreffende de energieproducten zijn vermeld in Tabel 7.

**Tabel 7:** Resultaten berekeningen typische ECP-case Moerdijk – energieproducten

Parameter	Waarde	Eenheid
bio-olie	33.945	ton/jaar
- energiewaarde	611.003	GJ/jaar
LBM (bio-LNG)	3.482	ton/jaar
- energiewaarde	174.111	GJ/jaar
Biodiesel	7.768	ton/jaar
- energiewaarde	298.642	GJ/jaar
restwarmte	62.782	GJ/jaar
Elektriciteit	9.220	MWh/jaar
- energiewaarde	33.193	GJ/jaar
Totaal energie output	1.179.731	GJ/jaar
Energetisch rendement	77%	-
aantal huishoudens verwarmd (pyrolyse olie) (restwarmte niet verdisconteerd)	10.725	-
aantal huishoudens (elektriciteit)	2.649	-
aantal vrachtwagens (100.000 km/jaar)	377	-

In de eerste negen rijen van deze tabel is de productie van energiedragers, specifiek bio-olie, LBM (bio-LNG), biodiesel, restwarmte en elektriciteit gegeven. Om een inzicht te verkrijgen in het relatieve aandeel van deze producten in de energie-output is ook de equivalente energie waarde van de productie in GJ/jaar weergegeven. Hieruit blijkt dat de energiewaarde van de producten bio-olie (met name), LBM en biodiesel duidelijk groter is dan de energiewaarde van de restwarmte en de elektriciteit.

Daarnaast wordt de totale energie output en het energetisch rendement gegeven. Dit energetisch rendement is een maat voor de output van energie als percentage van de totale

energie input. Deze energie input is bepaald op basis van typische energie-opbrengsten van de grondstoffen, afhankelijk van de meest voor de hand liggende technologie. Voor relatief droge grondstoffen is dat de LHV<sup>19</sup>; voor grondstoffen die vergist zullen gaan worden is dat de LHV van het resulterende biogas. Rendementsverliezen treden o.a. op vanwege de productie van materialen zoals eiwitten, eigen verbruik van energie, etc.

Verder wordt aangegeven wat de praktische betekenis is van de genoemde getallen. Met behulp van de geproduceerde bio-olie zouden ruim 10.000 huizen verwarmd kunnen worden. De geproduceerde restwarmte wordt hier niet in meegenomen, omdat er op het industrieterrein Moerdijk geen vraag is naar ruimteverwarming van woningen. Gebruik in industriële processen of verwarming van bedrijfsgebouwen is wellicht mogelijk; er is echter – zoals ook eerder aangegeven – een warmteoverschot in Moerdijk.

Met de productie van LBM (bio-LNG) en biodiesel kunnen 377 vrachtwagens een heel jaar rijden, waarbij aangenomen is dat een vrachtwagen gemiddeld 100.000 km/jaar zal rijden. Overigens zijn er ook al plannen binnenvaartschepen op LBM (bio-LNG) te laten varen. Moerdijk is daarvoor dan een zeer geschikte tank locatie.

In Tabel 8 wordt de productie van overige producten gegeven:

**Tabel 8:** ECP-case Moerdijk: productie overige producten

Parameter	Waarde	Eenheid
Eiwitten (incl. vocht)	1.489	ton/jaar
Fosfaat	360	ton/jaar
CO <sub>2</sub>	7.185	ton/jaar
residu stromen	3.168	ton/jaar
dunne fractie	29.390	ton/jaar

Hieruit blijkt dat de productie van eiwitten in vergelijking met de andere (energie)producten beperkt is. Natuurgras bevat slechts een klein percentage (17,7% van het DS gehalte (Praktijkrapport Rundvee, 2005)) eiwitten, hetgeen – naast verliezen – een verklaring is voor deze lage productie. De productie van fosfaat is ook beperkt (4,2 kg/ton DS (Praktijkrapport Rundvee, 2005)). Residustromen en dunne fractie betreffen stromen die tegen kosten afgezet moeten worden.

### 3.3 Evaluatie projectverloop met leerpunten

Uit paragraaf 3.1 is gebleken dat de ontwikkeling van de ECP concepten geruime tijd geduurd heeft. Diverse concepten zijn ontwikkeld en weer verworpen. Een belangrijke reden hiervoor is dat in eerste instantie getracht is een ECP concept gezamenlijk met een aantal partijen te ontwikkelen, waarbij steeds input verkregen werd via een klankbordgroep. Uit het lange ontwikkeltraject van de ECP concepten blijkt dat deze aanpak in dit geval niet voldoende effectief was.

<sup>19</sup> LHV staat voor “Lower Heating Value”. Dit is de energie die vrijkomt onder standaardomstandigheden zonder condensatie van het water in de afgassen. Deze energie is bij de hier gebruikte technologieën niet te recupereren.

---

Reden hiervoor is waarschijnlijk het gebruik van het instrument ‘klankbordgroep’. Leden van de klankbordgroep kwamen op basis van eigen interesse zonder echt commitment bijeen. Dit leidde ertoe dat de klankbordgroep nogal wisselde qua samenstelling. Dit had als gevolg dat de klankbordgroep geen eenduidige richting kon vinden waardoor voorkeuren konden wisselen.

Een andere, mogelijke oorzaak is, dat bij de ontwikkeling van projecten normaal gesproken één partij als trekker en/of aanjager fungeert. Andere partijen kunnen op deelonderwerpen bijdragen, maar dienen niet af te leiden van de richting of focus. In het geval van het ECP Moerdijk zijn er diverse partijen geïdentificeerd die als ankerpunt hadden kunnen fungeren; Deze partijen hebben dit echter niet opgepikt. Er is vervolgens gekozen voor een wat meer theoretisch concept dat als “wenkend perspectief” kan gelden. Partijen in en rond Moerdijk kunnen dit concept – of onderdelen daaruit – oppikken en dit verder ontwikkelen.

Één belangrijk leerpunt voor de ontwikkeling van ECP concepten is dan ook dat het noodzakelijk is om in een vroeg stadium één partij als centrale belanghebbende te identificeren, welke als ankerpunt fungeert. Andere partijen kunnen op deelonderwerpen bijdragen, maar dienen niet af te leiden van de richting of de focus.

Het technische proces van selectie van het ECP concept is gelopen conform de verwachting. Op basis van de randvoorwaarden en de aannamen een technisch concept geselecteerd wat vervolgens is uitgewerkt. Vanwege diverse koerswijzigingen is het technische concept ook regelmatig aangepast; dit is echter een onderdeel van het ontwikkelen van een ECP.

---

## 4 ECONOMISCHE ASPECTEN

### 4.1 Economische uitwerking

In hoofdstuk 3 zijn de massa- en energiebalansen van het ECP Moerdijk opgesteld. Het ECP-concept omvat de productie van diverse hoogwaardige producten afhankelijk van de gekozen inputs.

Om helder te krijgen welke mix van inputs optimaal is, zal het gekozen ECP-concept ook economisch beoordeeld worden. In dit hoofdstuk worden de opzet, aannamen en resultaten van de economische modellering toegelicht.

#### 4.1.1 Opzet en aannamen economische uitwerkingen

De economische uitwerking van de ECP-case Moerdijk is gedaan door marktprijzen voor grondstoffen en product – met en zonder subsidie – te bepalen en kapitaal- en operationele kosten van het ECP concept te bepalen. Met behulp van een eenvoudig DCF (Discount CashFlow) model worden vervolgens financiële parameters bepaald welke een maat zijn voor de economische haalbaarheid van het concept. Uiteraard moeten hierbij de nodige aannames gedaan. Deze aannames zullen hieronder toegelicht worden.

##### *Algemene aannames*

Bij de opzet van de economische uitwerkingen zijn de volgende algemene aannamen gemaakt:

- In alle gevallen betreft wordt de economische haalbaarheid van een ‘greenfield’ complex bepaald. Een ‘greenfield’ complex betekent dat het complex vanaf de grond opnieuw wordt opgebouwd; er wordt dus geen gebruik gemaakt van bestaande infrastructuur of installaties.
- De kapitaalkosten van de ECP onderdelen zijn bepaald op het niveau van de gehele technologie. Dit is gedaan omdat het concept nog niet voldoende gedetailleerd is om een nadere uitsplitsing te maken.
- Van kosten van grondstoffen en inkomsten uit producten worden daarvoor geïdentificeerde marktprijzen (positief) danwel gate fees (negatief) gebruikt.
- De economische haalbaarheid wordt voor twee situaties bepaald:
  - Indien er geen enkele subsidie wordt verkregen.
  - Indien er subsidie voor de productie van duurzame energie wordt verkregen volgens de huidige SDE+2012 regeling<sup>20</sup>
- Overige subsidies die mogelijk relevant kunnen zijn, zoals bijvoorbeeld EIA en VAMIL, zijn niet verwerkt in de berekeningen.

---

<sup>20</sup> Het ECP project is een Vlaams Nederlandse samenwerking. Dat houdt in dat de informatie en de resultaten van de afzonderlijke cases wel onderling gebruikt en vergeleken moeten worden. Op dit van subsidies lopen de cases wel duidelijk uit elkaar. Waarvan acte!



### *SDE+ 2012 regeling*

De SDE+ 2012 regeling is de Nederlandse regeling voor de stimulering van productie van duurzame energie. Hoewel er ook andere stimuleringsmaatregelen beschikbaar zijn, heeft deze regeling normaal gesproken verreweg de meeste invloed op bedrijfseconomische resultaten, en praktisch alle producenten van duurzame energie in Nederland maken hier in meer of mindere mate gebruik van.

Bij de bepaling van de hoogte van de SDE+ 2012 subsidie is uitgegaan van de regeling zoals deze in 2012 opengesteld is (Staatscourant, 2012). Het basismechanisme van de SDE+ 2012 werkt als volgt: de overheid bepaalt een bepaald bedrag wat de producent nodig heeft om een (bescheiden) financieel rendement te behalen. Dit bedrag is per product en per technologie verschillend. Voor de productie van warmte met door verbranding van vaste biomassa is dit bijvoorbeeld 10,9 Euro/GJ<sup>21</sup>. De overheid bepaalt vervolgens de marktprijs die de producent krijgt door de verkoop van (in dit geval) warmte, en past dit bedrag bij tot een totaal van 10,9 Euro/GJ. Indien deze producent SDE+ subsidie verkrijgt, zal deze dus gedurende een periode van 12 jaar dit bedrag (10,9 Euro/GJ) aan totale inkomsten (via de verkoop van warmte plus subsidie) verkrijgen.

Een complicerende factor hierbij is dat in de afgelopen twee jaar producenten met elkaar kunnen concurreren. De SDE+2012 is opengesteld in vijf fasen. In de eerste fase is de te verkrijgen subsidie laag, waarna deze in de volgende fase stapsgewijs verhoogd wordt. Het idee hierachter is dat wanneer een producent met minder subsidie genoegen neemt, deze voorrang krijgt bij de subsidieverlening. In 2012 lijkt het erop dat het gehele budget van de SDE+ 2012 regeling reeds in de eerste fase geclaimd is<sup>22</sup>. Het is dus maar de vraag of de eerder genoemde vergoedingen daadwerkelijk verkregen kunnen worden.

In het geval van de economische uitwerking van het ECP-concept is voor elke technologie bepaald wat de daarvoor geldende SDE+2012 subsidie is. Hierbij is géén rekening gehouden met uitputting van het budget. Dat wil zeggen dat, indien een bepaalde technologie een bepaald minimum bedrag aan subsidie nodig heeft, er vanuit gegaan wordt dat deze ook verkregen kan worden. Uiteraard is dit niet geheel in overeenstemming met de huidige realiteit, omdat er steeds sprake is van overvraging van het beschikbare SDE-subsidiebudget. Het is echter niet te voorzien hoe de SDE-regeling zich de komende jaren zal ontwikkelen, vandaar dat voor deze benadering gekozen is.

De voor het ECP Moerdijk relevante bedragen staan vermeld in de navolgende tabel:

**Tabel 9:** Relevante SDE+2012 basis-, correctie- en subsidiebedragen

<b>Technologie</b>	<b>Basisbedrag</b>	<b>Correctiebedrag</b>	<b>Netto subsidie</b>	<b>Eenheid</b>
warmte - ketel vaste biomassa	10,9	9,1	1,8	Euro/GJ
warmte - WKK (thermisch, <10 MW)	38,2	8,1	30,1	Euro/GJ
- inkomsten elektriciteit	13,8	2,9	10,9	Euroct/kWh
- inkomsten warmte	38,2	8,1	30,1	Euro/GJ

Bij deze tabel dienen de volgende opmerkingen gemaakt te worden:

<sup>21</sup> Staatscourant (2012), artikel 79

<sup>22</sup> <http://www.agentschapnl.nl/content/stand-van-zaken-sde-30-april-2012>

- Als er in de pyrolyse fabriek warmte wordt opgewekt die extern benut wordt, dan valt deze – indien er geen elektriciteit wordt opgewekt, onder de categorie “warmte – ketel vaste biomassa”.
- Als er in de pyrolyse fabriek ook nog elektriciteit wordt opgewekt, dan valt deze installatie – aangenomen dat aan diverse aanvullende voorwaarden, zoals een minimum eis dat 6% van de opgewekte energie elektriciteit is, voldaan wordt - onder de categorie “warmte – WKK (thermisch < 10MW). Voor deze categorie is een basisbedrag (vrije categorie) van 19,4 Euro/GJ. Dit basisbedrag is hetzelfde als 7,0 Euroct/kWh aan elektriciteit. Voor de warmte- en elektriciteitsproductie in deze WKK zijn de netto subsidiebedragen dus 4,1 Euroct/kWh voor de elektriciteit en 11,3 Euro/GJ voor de warmte.
- SDE+ subsidiebedragen voor vergisting zijn er wel, indien er elektriciteit, warmte of groen gas geproduceerd wordt met het biogas. Omdat al het biogas wordt omgezet in LBM (bio-LNG) is deze categorie niet relevant voor het ECP Moerdijk.
- De correctiebedragen zijn een maat voor de marktprijzen welke volgens de Nederlandse overheid verkregen kunnen worden<sup>23</sup>.

#### *Biotickets*

Leveranciers van benzine en diesel voor het wegverkeer zijn op grond van de biobrandstoffenverplichting verplicht om een minimum aandeel van benzine en diesel als biobrandstof op de markt te brengen. Voor 2011 bedroeg dit minimum aandeel 4,25% en voor 2012 is dit 4,5%. In Figuur 20 is een overzicht gegeven van de bijmengverplichting van de huidige regeling, alsmede een voorstel om deze bijmengverplichting versneld in te voeren. Vooralnog is dit voorstel niet goedgekeurd en is de huidige bijmengverplichting van toepassing.

Verplichtingen in %	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Huidig*	4,25	4,5	5	5,5	6,25	7	7,75	8,5	9,25	10,0
Voorstel**		5,25	6,25	7,50	8,75	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0

**Figuur 20:** Bijmengverplichting biobrandstof<sup>24</sup>.

De leveranciers van benzine en diesel mogen aan de verplichting voldoen door biobrandstoffen bij benzine en diesel bij te mengen of door speciale biobrandstofmengsels of zelfs pure biobrandstoffen op de markt te brengen. Leveranciers van benzine en diesel moeten door middel van hun administratie aantonen dat ze aan de biobrandstoffenverplichting hebben voldaan.

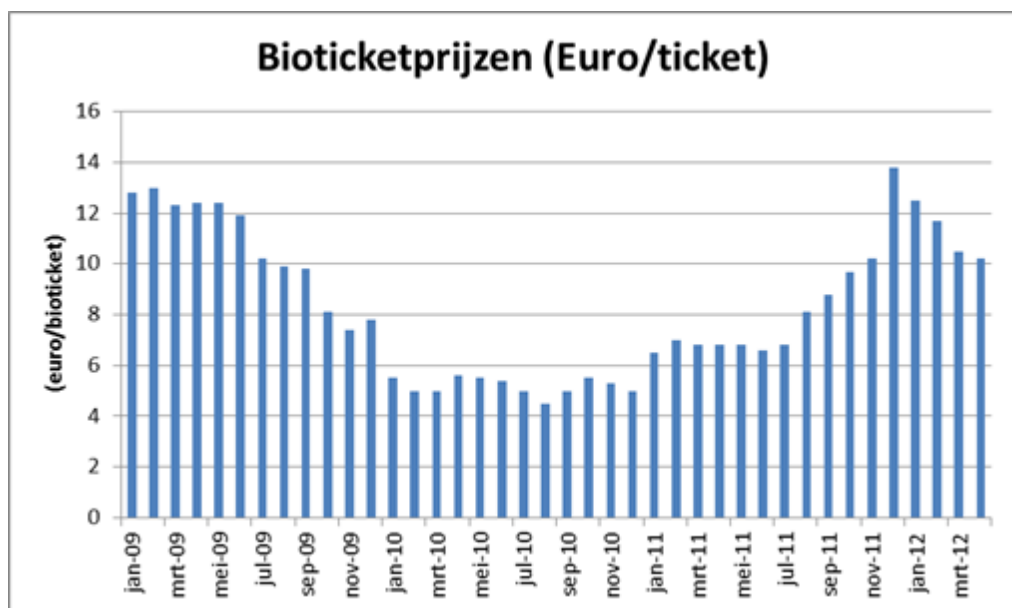
Grotere brandstofleveranciers kunnen wel op deze wijze voldoen aan hun verplichting. Voor kleinere brandstofleveranciers is dit echter moeilijk. Zij kunnen echter ook administratief voldoen aan hun verplichting door rechten van andere brandstofleveranciers te kopen. Deze andere brandstofleveranciers moeten die rechten natuurlijk wel hebben. Een leverancier van biobrandstoffen levert 100% biobrandstoffen.

<sup>23</sup> Staatscourant, “Regeling aanwijzing categorieën duurzame energieproductie 2012”, Nr. 3609, 21 februari, 2012, <https://zoek.officiëlebekendmakingen.nl/>, 2012

<sup>24</sup> <http://groengas.nl/wp-content/uploads/2012/06/GGNL-factsheet-Biotickets2.pdf>

Hij hoeft voor 2012 slechts 4,5% biobrandstoffen bij te mengen. De overige 95,5% mag hij verkopen aan brandstofleveranciers die het nodig hebben. Deze verkoop gebeurt in de vorm van biotickets. Als biobrandstof wordt geproduceerd uit een residu geldt dat de biobrandstof – met betrekking tot de bijmengverplichting - dubbel geteld mag worden.

De prijs van een bioticket is (theoretisch) gelijk aan de meerprijs van de hoeveelheid biobrandstoffen, die nodig is om één kubieke meter benzine of diesel op de markt te mogen brengen. Als een partij een bioticket koopt dan mengt een andere partij extra biobrandstof bij om 1 kubieke meter fossiele brandstof af te dekken. In de huidige bijmengverplichting van 4,5% moet voor elke kubieke meter diesel, 47 liter biodiesel worden toegevoegd. Dit komt overeen met 1.545 MJ, of 51 kubieke meter groen gas. Een bioticket voor diesel kost momenteel (2012) 10 euro per bioticket. Een enkel bioticket heeft een waarde van 6,5 €/GJ (20 ct./m<sup>3</sup>). Een dubbele bioticket heeft een waarde van 12,9 €/GJ (40 ct./m<sup>3</sup>). Omdat de prijs van biotickets in de afgelopen jaren behoorlijke fluctuaties vertoonde (zie figuur hieronder), is in het kader van het ECP Moerdijk met een iets conservatievere waarde van 17 ct./m<sup>3</sup> groen gas voor een enkel biotickets ofwel 10,7 Euro/GJ voor een dubbele bioticket rekening gehouden.



Figuur 21: Bioticketprijzen van de afgelopen drie jaar<sup>24</sup>.

#### *Kapitaal- en operationele kosten*

Kapitaalkosten van de verschillende technologieën zijn bepaald aan de hand van literatuurgegevens. In veel gevallen zijn hierbij gegevens gebruikt van ECN (2011). Voor technologieën waarvoor geen ECN-gegevens beschikbaar zijn, zijn andere bronnen gebruikt, aangevuld met informatie over kosten van recent geïmplementeerde installaties. Specifiek is de informatie uit de volgende bronnen verkregen:

- Informatie over grasraffinage: O'keeffe (2010), BIOPOL (2009) en E-kwadraat (2011)
- Pyrolyse: Van der Belt en Muggen (2012)

- Biomassa verbranding: ECN (2011)
- Informatie over LBM productie: Kattstrom (2008)
- Informatie over kapitaal- en operationele kosten van droge vergisting: California (2008)
- Informatie over biodieselproductie: Zhang, Y., et al., (2003a), Zhang, Y., et al., (2003b) en NREL (2004)
- Informatie over mestscheiden: Wageningen UR, website tool<sup>25</sup>

Met behulp van deze gegevens zijn de totale kapitaalkosten van de verschillende conversietechnologieën, afhankelijk van de schaal, geraamd. Indien de capaciteiten van de installaties groter of kleiner worden vanwege aanpassingen in de inputs worden deze kosten benaderd met de zes-tiende regel<sup>26</sup>. Deze regel geeft aan dat als de capaciteit verandert, de kapitaalkosten veranderen met de ratio tot de macht 0,6.

De volgende operationele kosten worden meegenomen:

- Kosten voor operatie en onderhoud: hiervoor wordt een vast bedrag van 3% van de totale kapitaalkosten genomen (Ullrich, 1984). Voor de pyrolyse fabriek en de biodieselproductie wordt voor de kosten voor operatie en onderhoud 6% genomen. Dit omdat het hier om relatief ingewikkelde, chemische processen gaat.
- Kosten voor arbeid: het aantal FTE's (Full Time Equivalent, ook wel VTE's genaamd) wordt geschat aan de hand van de capaciteit van een installatie. Kosten per FTE zijn gesteld op 40.000 Euro/jaar<sup>27</sup>.
- Kosten (marktprijzen) voor energie inkoop worden bepaald op 0,14 Euro/kWh voor elektriciteit bij hoeveelheden van minder dan 50 MWh/jaar (ECN, 2012). Het uitgangspunt is dat het ECP in de eigen energiebehoeften voorziet. Indien dit echter niet mogelijk is omdat de technologie (bijvoorbeeld voor elektriciteitsproductie) niet aanwezig is dan is inkoop noodzakelijk.
- De kosten voor transport worden niet apart meegenomen. Aangenomen wordt dat de kosten voor transport onderdeel uitmaken van de prijs van de grondstoffen en producten.

#### *Technologie specifieke aannamen*

- In het proces wordt gewerkt met gescheiden mest. Aangenomen wordt dat de kosten voor het scheiden van mest (en het transport) door de agrariër worden gemaakt. Deze keuze wordt gemaakt omdat mestscheiding diverse voordelen voor agrariërs kan hebben vanwege de scheiding tussen stikstof en fosfaat (Veehouderij techniek, 2010).

#### *Financiële aannamen*

De volgende financiële aannamen zijn gedaan:

---

<sup>25</sup>

<http://www.verantwoordeveehouderij.nl/index.asp?producten/pzprojecten/beterbenutten/mestscheidingswijzer/index.asp>

<sup>26</sup> <http://www.pdhonline.org/courses/g127/g127content.pdf>

<sup>27</sup> DACE "Prijzenboekje", Reed business publication bv, 2006

- De financiële kentallen (zoals Interne RenteVoet (IRV) en Netto Contante Waarde (NCW)) zijn bepaald aan de hand van een 10 jaar durende projectperiode
- Bouw van het ECP complex is gesteld op 1 jaar, waarna de productie direct 100% van de beschikbare capaciteit is.
- 80% van de kapitaalkosten worden via vreemd vermogen (een lening) gefinancierd.
- De lening wordt afgelost in 10 jaar, met een rentepercentage van 6%<sup>28</sup>.
- Marktprijzen van grondstoffen en producten worden meegenomen in kostprijzen en opbrengsten.
- In het model is geen rekening gehouden met inflatie.

#### *Marktprijzen voor producten en grondstoffen*

In Tabel 10 zijn de marktprijzen genoemd voor grondstoffen welke als input in het model gebruikt zijn. In Tabel 11 zijn de marktprijzen voor producten en afvalstoffen genoemd.

**Tabel 10:** Marktprijzen voor grondstoffen

Product/grondstof	Prijs	Eenheid
Natuurgras	0 <sup>29</sup>	Euro/ton
Afvalhout (B-hout)	68 <sup>30</sup>	Euro/ton
Berm- en slootmaaisel	-10 <sup>31</sup>	Euro/ton
Residuvetten	333 <sup>32</sup>	Euro/ton
Methanol	340 <sup>33</sup>	Euro/ton
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	164 <sup>34</sup>	Euro/ton
Water	0,5 <sup>35</sup>	Euro/m3
GFT	-40 (-60) <sup>36</sup>	Euro/ton
Mest	-10 (-25) <sup>37</sup>	Euro/ton

<sup>28</sup> Een gebruikelijk rentepercentage voor kapitaalinvesteringen in Nederland

<sup>29</sup> Natuurgras heeft momenteel geen toepassing, en dus een licht negatieve prijs. Omdat er een zekere kwaliteit nodig is, is een nultarief genomen.

<sup>30</sup> ECN rapport conceptadvies basisbedragen SDE 2012, Rapport ECN-E—11-046, <http://www.ecn.nl/docs/library/report/2011/e11046.pdf>, 2011

<sup>31</sup> Berm- en slootmaaisel kan vergist worden. Uit eigen observatie van BTG wordt hiervoor een licht negatieve prijs betaald.

<sup>32</sup> Bakker R., den Uil, H., van Ree, R. et al., “Financieel-economische aspecten van Biobrandstofproductie”, Food & Biobased Research 1175, Wageningen UR Food & Biobased Research, 1 oktober 2010

<sup>33</sup> <http://www.methanex.com/products/methanolprice.html>

<sup>34</sup> <http://price.alibaba.com/price/priceLeafCategory.htm?spuId=100069530&categoryId=100001649&Price%20Type=m>

<sup>35</sup> <http://www.brabantwater.nl/NL/productenendiensten/Drinkwater%20uit%20het%20net/Pages/Watertarieven.aspx>

<sup>36</sup> [http://wikimobi.nl/wiki/index.php?title=Composteren\\_versus\\_biovergisten:\\_de\\_broeikasbalans](http://wikimobi.nl/wiki/index.php?title=Composteren_versus_biovergisten:_de_broeikasbalans)

<sup>37</sup> ECN rapport eindadvies basisbedragen SDE 2012, Rapport ECN-E--11-054, <http://www.ecn.nl/docs/library/report/2011/e11054.pdf>, 2011

Aankoop restwarmte	5.1 <sup>38</sup>	Euro/GJ
Elektriciteit	7 <sup>37</sup>	Euroct./MWh

Negatieve prijzen betekenen dat de aanbieder ervan betaalt voor afname van deze producten (gate fees). De prijs van natuurgras is normaal gesproken licht negatief. Natuurgras heeft momenteel geen nuttige toepassing en landeigenaren moeten er van af. Kosten hiervoor zijn ca. 20 Euro/ton als men het gras laat composteren bij een composteerder. Alternatieven, zoals vergisting, compostering op akkers zijn – als beschikbaar – goedkoper<sup>39</sup>. Omdat er voor de grasraffinage een zekere kwaliteit nodig is, alsmede een snelle levering om degradatie te voorkomen wordt hier voor natuurgras een nultarief aangenomen. Zo is er voor een terreinbeherende organisatie een financieel voordeel om natuurgras te leveren. Berm- en slootmaaisel zullen worden vergist in het ECP, vandaar dat hiervoor een licht negatieve prijs wordt aangenomen. De prijs van B-hout is zeer hoog; B-hout is een gewilde brandstof voor o.a. BEC's (Biomassa Energie Centrales) in Nederland.

Voor GFT en mest zijn twee prijzen gegeven. De eerste prijs is de actuele marktprijs, de tweede prijs (tussen haakjes) is de prijs die in de modellen verwerkt is. De reden om deze (gunstiger) prijzen te nemen is om dat een groot aantal alternatieven met elkaar vergeleken moet worden. Indien al deze alternatieven een negatieve tot zeer negatieve economische rentabiliteit laten zien is een vergelijking moeilijk te maken. In een latere fase worden de (momenteel meest) realistische getallen ingevoegd.

**Tabel 11:** Marktprijzen voor producten

Product/grondstof	Prijs	Eenheid
Eiwitten	500 <sup>40</sup>	Euro/ton
Bio-olie	17 <sup>41</sup>	Euro/GJ
Fosfaat	0 <sup>42</sup>	Euro/ton
LBM (bio-LNG)	0.8 <sup>43</sup>	Euro/kg
CO2	19 <sup>44</sup>	Euro/ton
Biodiesel	870 <sup>45</sup>	Euro/ton
Dunne fractie	-10 (-25) <sup>37</sup>	Euro/ton
Elektriciteit	4.7 <sup>46</sup>	Euroct./kWh

<sup>38</sup> Vanwege het overschot aan warmte op het industrieterrein Moerdijk wordt een prijs aangenomen van 70% van de groothandelsprijs voor gas, zoals genoemd op [www.endex.nl](http://www.endex.nl)

<sup>39</sup> BTG markt informatie

<sup>40</sup> E-kwadraat, "Eindrapportage grasraffinage in Oostelijk Flevoland: een Business plan", 17 januari 2011, p. 22

<sup>41</sup> Van de Beld, L., Muggen, G., "EMPYRO - Demonstration of the fast pyrolysis process in the Netherlands", paper presented at the TC Biomass, Chicago (US), 2012

<sup>42</sup> Informatie van SMB

<sup>43</sup> Private communicatie met Volvo (Jan Schouten). De marktprijs is 0,8 – 1,10 Euro/kg

<sup>44</sup> Schatting op basis van gesprekken met marktpartijen

<sup>45</sup> <http://www.platts.com/RSSFeedDetailedNews/RSSFeed/Petrochemicals/8351771>

<sup>46</sup> GDF SUEZ trading, "Market trends", 06/02/2012 tot 13/02/2012, <http://newsletters.gdfsuez-globalenergy.com/Media/PDF/market-trends-NL-13022012.pdf>, 2012



Warmte	0 <sup>47</sup>	Euro/GJ
Residustromen biodieselproductie	-30 <sup>48</sup>	Euro/ton

Prijzen voor biodiesel en LBM (bio-LNG) zijn marktprijzen, waarbij aangenomen is dat de inkomsten van biotickets hier al bij ingeprijsd zijn. Dat wil zeggen dat de prijs zonder bioticket duidelijk lager zal liggen dan de hier genoemde prijzen. Prijzen voor dunne fractie zijn gelijk gesteld aan die van de onbewerkte mest. De prijs voor levering van warmte is op nul gesteld, vanwege het warmteoverschot op het industrieterrein Moerdijk.

#### *Financieel model*

De economische resultaten worden bepaald aan de hand van een DCF (Discounted CashFlow) model. In dit model worden jaarlijkse baten en lasten bepaald. Die bepalen de kasstromen (cashflows). Onderdeel van de uitgaande kasstroom is het betalen van belasting op winst. Het verschil tussen deze kasstromen is de netto kasstroom, welke benodigd is om de investeringen terug te betalen. Het project resulteert elk jaar in een netto kasstroom. Deze is typisch de eerste één of twee jaar sterk negatief (de investering) en de daarop volgende jaren positief. Aan de hand van deze kasstromen kunnen diverse parameters bepaald worden:

- De Interne RenteVoet (IRV). Deze parameter geeft aan wat de rente op de investering is over een gegeven periode. Indien dit getal negatief of zeer laag is, dan is de investering economisch niet rendabel. Indien deze interne rentevoet zeer hoog is, is het project zeer rendabel. Investeerders hanteren normaal gesproken een grenswaarde voor de interne rentevoet waarboven zij een positieve investeringsbeslissing nemen. Deze grenswaarde is afhankelijk van een groot aantal factoren zoals bijvoorbeeld de mate van risico die genomen moet worden, de verwachtingen in de sector, het eigen beleid van de investeerder en het land waar de investeringen plaatsvinden. In de chemische industrie bijvoorbeeld is een interne rentevoet van minimaal 18% normaal. In de woningbouw zijn zeer lage interne rentevoeten heel normaal, onder andere vanwege de beperkte risico's.
- De Netto Contante Waarde (NCW) geeft aan wat de huidige waarde is van de investering. Hierbij wordt de waarde van toekomstige cashflows afgewaardeerd aan de hand van een vooraf te kiezen rentepercentage (het disconteringspercentage), wat staat voor de kosten voor het verkrijgen van kapitaal. In onzekere omgevingen zijn deze kosten hoger, is het disconteringspercentage dus ook hoger, en dienen projecten derhalve hogere kasstromen te genereren voordat deze rendabel zijn.
- De terugverdientijd geeft aan hoe lang het duurt voordat een project zichzelf heeft terugverdiend. In investeringsbesluitvormingsprocessen wordt een norm gesteld waarbinnen een investering zichzelf moet terugverdienen. De terugverdientijd voor het ECP is echter niet zeer nauwkeurig te bepalen, omdat zaken als bijvoorbeeld bouwtijd en fluctuaties in productie niet meegenomen worden.

<sup>47</sup> Vanwege het overschot aan warmte op het industrieterrein Moerdijk wordt voor warmteverkoop een nultarief aangenomen.

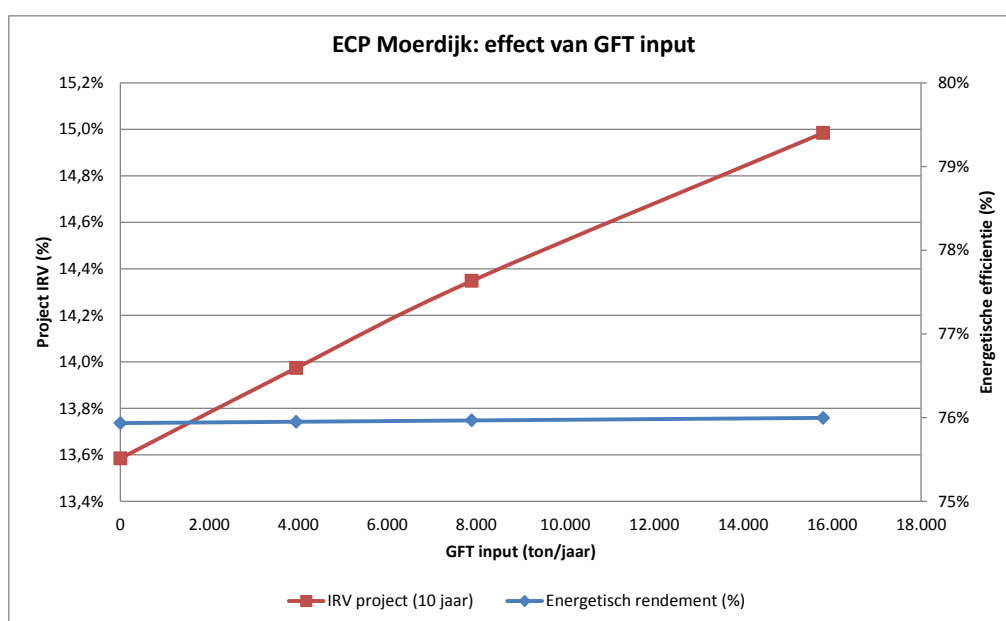
<sup>48</sup> <http://www.afvalzorg.nl/uw-afval/Tarieven-afvalstoffen.aspx>

Voor de economische evaluatie wordt hier verder uitgegaan van de interne rentevoet. Hierbij wordt deze op projectbasis bepaald en niet op het niveau van de individuele investeerder. De reden hiervoor is dat deze parameter informatie geeft over de haalbaarheid van het gehele project, hetgeen hier van belang is. Daarnaast wordt het effect van de verhouding eigen vermogen/vreemd vermogen minder geprononceerd.

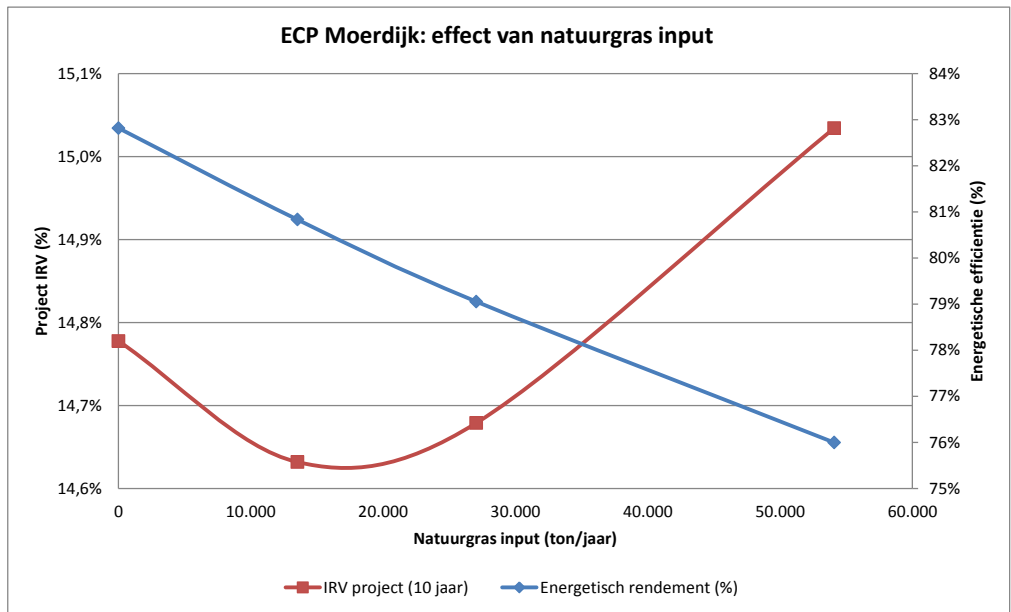
#### 4.1.2 Resultaten: variatie in input- en outputstromen

Met de genoemde aannamen kan de economische haalbaarheid van het ECP Moerdijk bepaald worden. In de navolgende grafieken worden de financiële resultaten getoond afhankelijk van de input- en outputstromen. In geen van deze resultaten is SDE+ subsidie meegenomen.

In Figuur 22 wordt de interne rentevoet en het energetisch rendement weergegeven als functie van de GFT input. Zoals eerder aangegeven is de base case een GFT input van bijna 16.000 ton, hetgeen beperkt te noemen is in relatie tot de gemiddelde verwerkingscapaciteit van GFT verwerkers. Deze is (zie ook paragraaf 3.2.2) 35.000 – 90.000 ton in Nederland. Uit de onderstaande grafiek is te zien dat de invloed van GFT op de financiële haalbaarheid en op het energetisch rendement van het ECP Moerdijk beperkt is. De Interne rentevoet loopt dan terug van 15% tot 13,6%. Het energetisch rendement verandert nauwelijks.

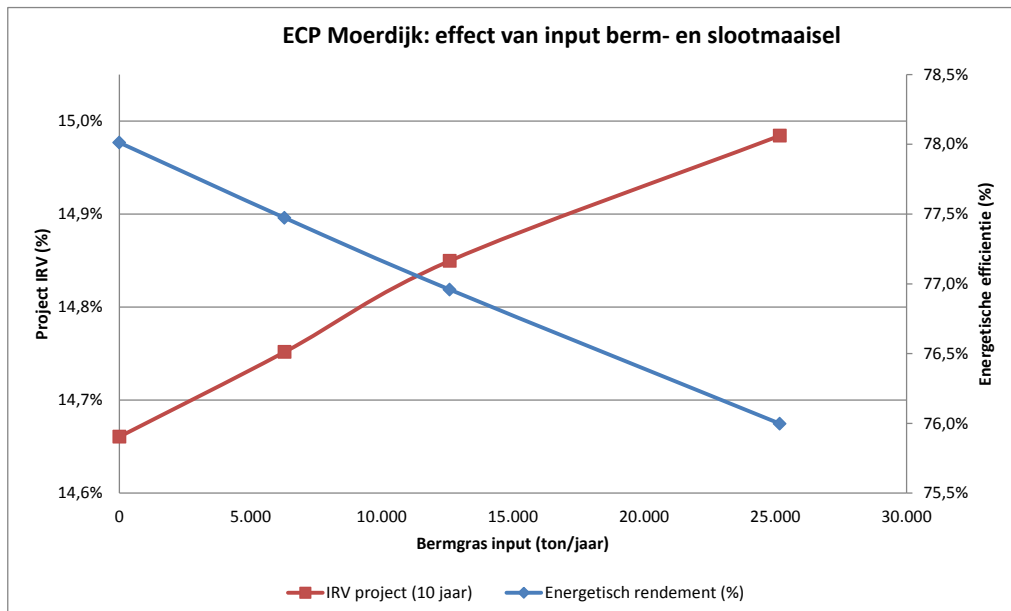


Figuur 22: Interne rentevoet van het ECP Moerdijk als functie van de GFT input

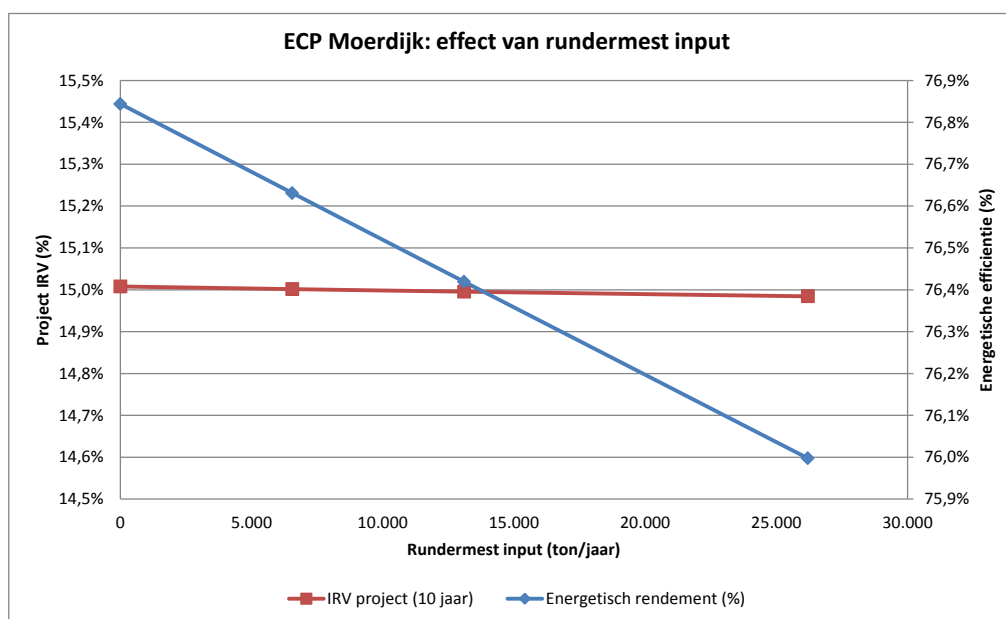


**Figuur 23:** Interne rentevoet van het ECP Moerdijk als functie van de natuurgras input

In de bovenstaande figuur is het effect van natuurgrasinput op de interne rentevoet en het energetisch rendement getoond. Hieruit blijkt dat de invloed van natuurgras input en grasraffinage op het ECP Moerdijk zeer beperkt is. Als er helemaal geen grasraffinage uitgevoerd wordt (input natuurgras is nul) heeft dat nagenoeg geen effect op de interne rentevoet. Deze is dan met 14,8% bijna niet lager dan de 15% interne rentevoet van de base case. Het zelfde geldt in vergelijkbare mate voor de input van berm- en sloopmaaisel. Financieel is het effect beperkt van de verwerking.

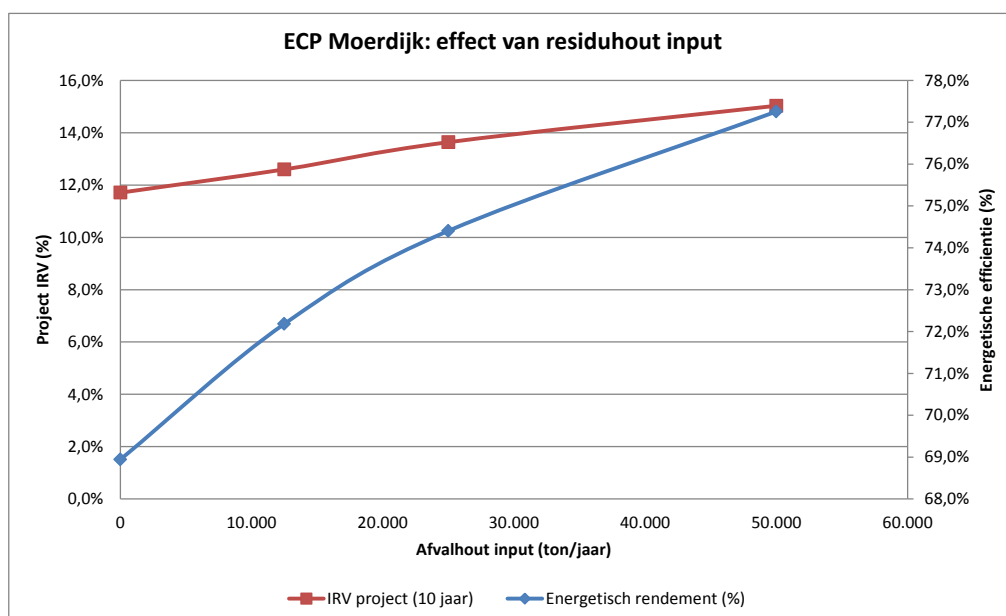


**Figuur 24:** Interne rentevoet van het ECP Moerdijk als functie van input van berm- en sloopmaaisel

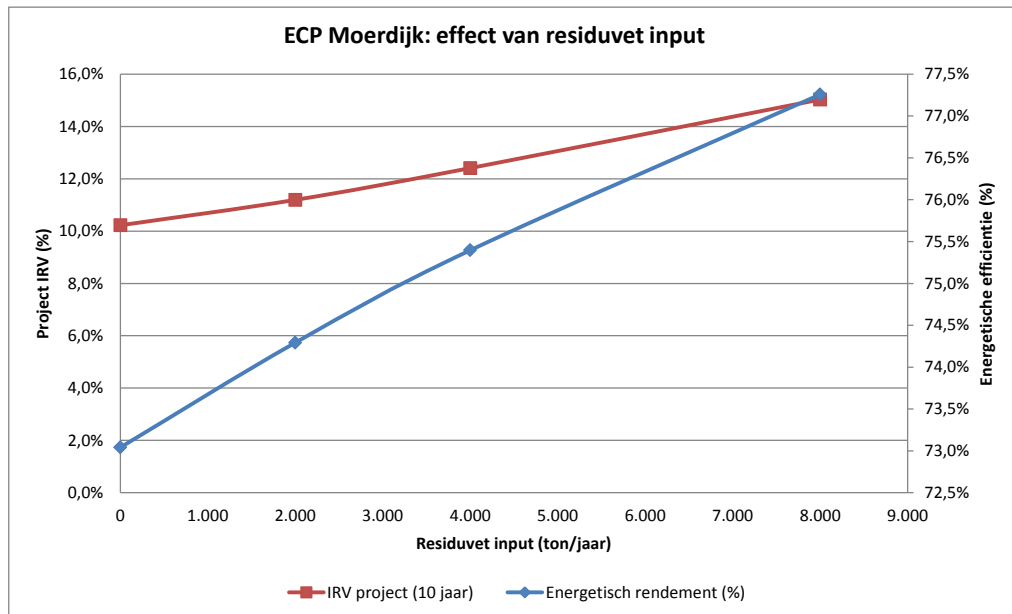


**Figuur 25:** Interne rentevoet van het ECP Moerdijk als functie van de rundermest input

Het effect van de input van rundermest (zie figuur hierboven) is zeer minimaal. Er is een klein effect op de energetische efficiëntie; het effect op de IRV is nihil. De invloed van de input van residuhout is veel groter (zie figuur hieronder). Minder residuhout geeft een lagere interne rentevoet en een lager energetisch rendement; zo geeft een 100% vermindering van residuhout een 3% vermindering in de IRV. Voor residu vetten geldt dit effect nog sterker; een 100% vermindering zorgt voor een verlaging van de IRV van 5%.



**Figuur 26:** Interne rentevoet van het ECP Moerdijk als functie van de input van residuhout



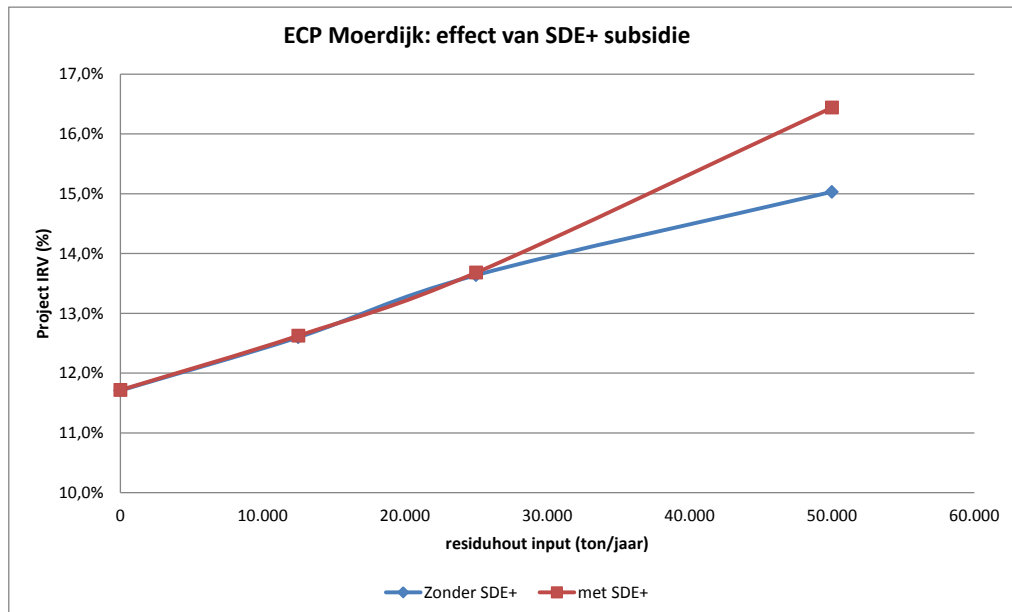
**Figuur 27:** Interne rentevoet van het ECP Moerdijk als functie van de input van residuinput

#### 4.1.3 Resultaten: variatie van kosten en prijzen

In deze paragraaf wordt de gevoeligheid van het ECP concept voor variaties in de prijzen van producten en grondstoffen bepaald.

##### *Invloed van subsidies*

De invloed van SDE+ subsidies op het ECP Moerdijk is beperkt tot een mogelijke subsidie op de levering van warmte en elektriciteit (door het ECP). In de navolgende grafiek is dit geïllustreerd aan de hand van de input van residuhout. Als er veel residuhout als input benut wordt, kan er warmte extern geleverd worden. De marktprijs voor deze warmtelevering is op nul gesteld, maar – omdat het een WKK betreft – komt de warmtelevering voor SDE+ subsidie in aanmerking.



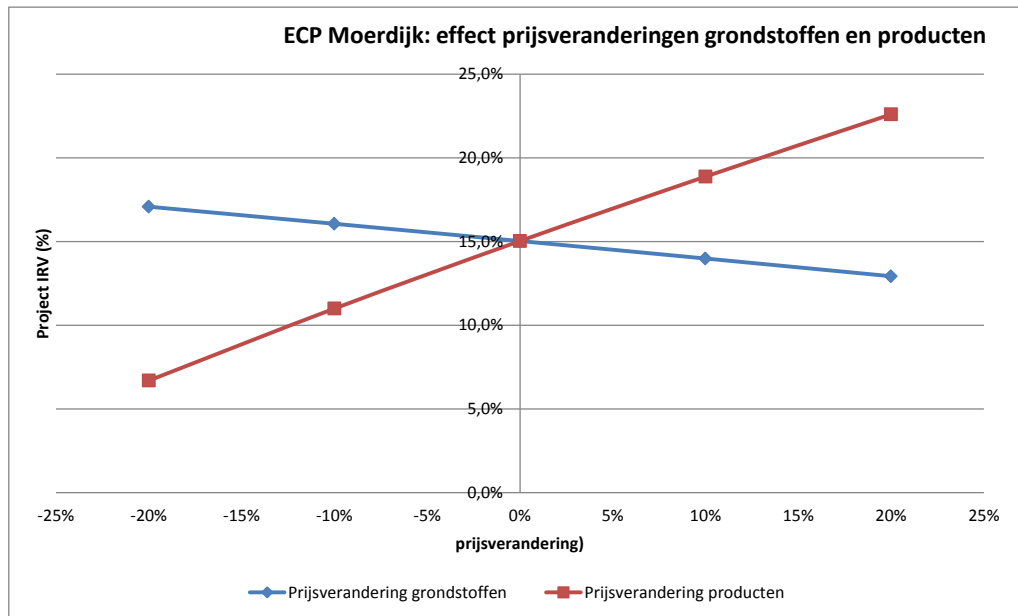
**Figuur 28:** Interne rentevoet als functie van de input van residuhout. Resultaten worden getoond met en zonder subsidie

Als er een groot warmteoverschot is – bijvoorbeeld als er veel residuhout als input benut wordt – zijn de extra inkomsten vanuit de SDE+ relevant. Als er minder residuhout als input gebruikt wordt, zijn de externe warmte en elektriciteitsleveringen laag of niet aanwezig, waardoor er ook geen voordeel te behalen is met SDE+ subsidie.

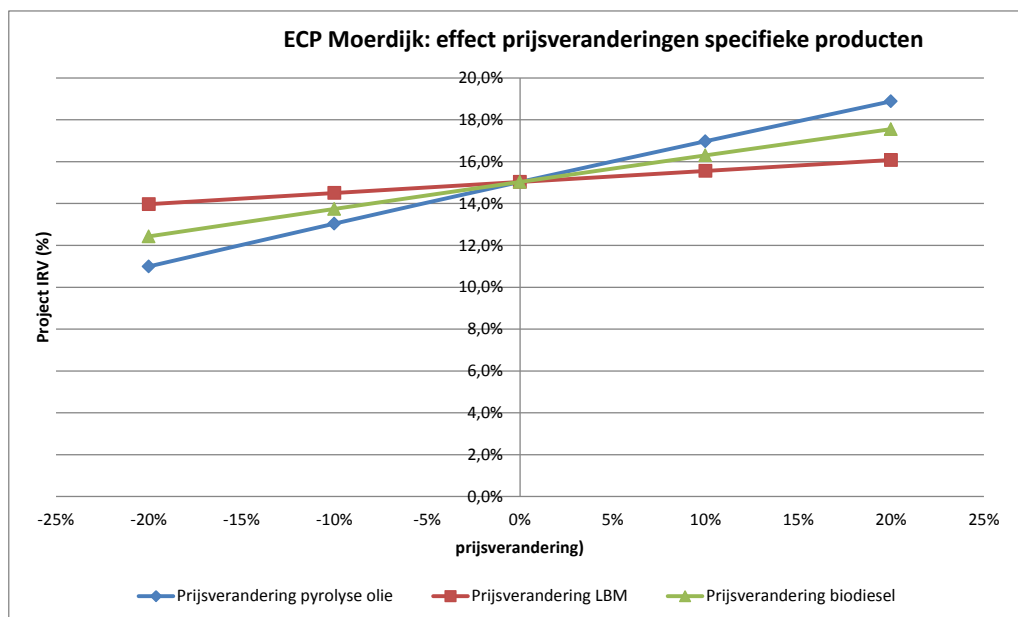
#### *Invloed van verandering in prijzen van grondstoffen en producten*

In Figuur 29 is het effect van veranderingen in de prijzen van grondstoffen en producten verduidelijkt. De prijsverandering, welke loopt van -20% tot +20%, is weergegeven op de x-as. Uit deze grafiek is het verwachte beeld zichtbaar; als de prijzen van grondstoffen stijgen daalt het financieel resultaat en vice versa. Duidelijk is dat de prijzen van de producten een grotere invloed hebben op het financieel resultaat dan de prijzen van de grondstoffen. Dit sluit aan bij de doelstelling van het ECP Moerdijk om hoogwaardige producten te produceren.

In Figuur 30 is de invloed van de prijzen van de meest belangrijke producten zichtbaar gemaakt. De meest belangrijke producten zijn pyrolyse olie (bio-olie), biodiesel en LBM (bio-LNG). Andere producten zoals eiwitten, warmte, elektriciteit en CO<sub>2</sub> hebben een veel kleinere invloed op het financieel resultaat. Van de drie belangrijke producten heeft de prijs van pyrolyse olie de meeste invloed op het financieel resultaat, gevolgd door biodiesel en LBM.



Figuur 29: Variatie van de prijzen van producten en grondstoffen



Figuur 30: Variatie van de prijs van specifieke producten

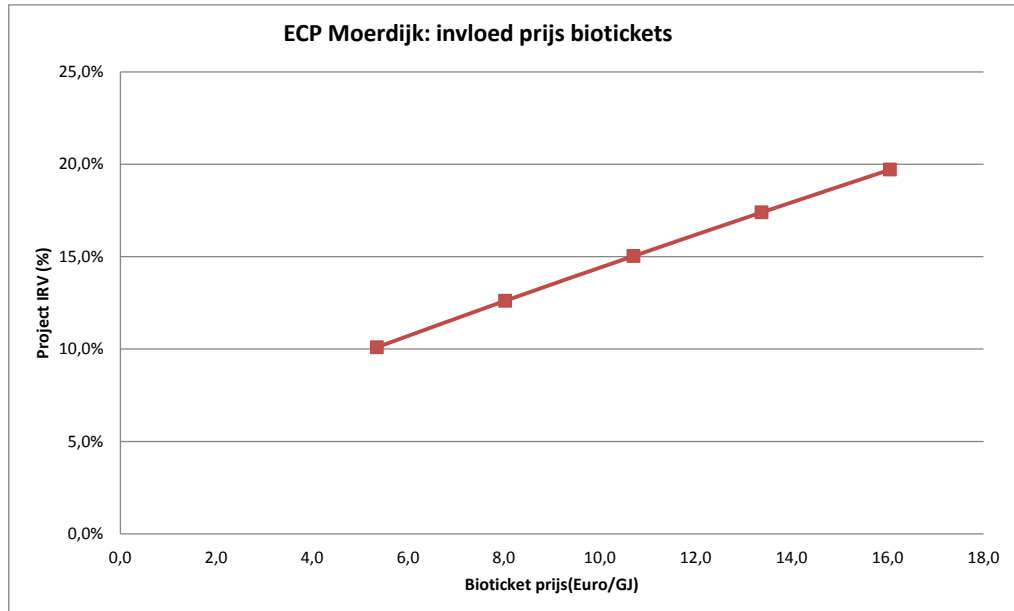
#### *Invloed van de prijs van biotickets*

Bij de financiële berekeningen is rekening gehouden met een prijs van biotickets van 10,7 Euro/GJ. Dit betreft geen subsidie, dus er is in alle gevallen rekening gehouden met deze prijs. Uit paragraaf 4.1.1 is echter gebleken dat de prijs van biotickets aanzienlijke fluctuaties vertoont. Om deze reden is het belangrijk om te weten wat de invloed is van de bioticket prijs op het financiële resultaat. In de navolgende grafiek is dit duidelijk gemaakt.

Uit deze grafiek blijkt dat de waarde van biotickets een grote invloed hebben op het financiële resultaat (rond de 10% over de gekozen range). Als de biomassa bijvoorbeeld



geen residuen betreft en als biotickets dus niet dubbelgeteld mogen worden, dan daalt de bioticketprijs tot 5,2 Euro/GJ, hetgeen een duidelijk lagere interne rentevoet tot gevolg heeft. Als er geen financiering via biotickets zou zijn dan daalt de interne rentevoet tot onder de 5%.



**Figuur 31:** Invloed van de prijs van biotickets

Een ander punt wat hier duidelijk gemaakt wordt is dat als biotickets niet of tegen een lagere prijs meegenomen kunnen worden, de financiële haalbaarheid problematisch wordt. Omdat bioticket prijzen sterk kunnen fluctueren betekent dit in het ECP Moerdijk onzekerheid wat betreft de financiële resultaten.

#### 4.2 Evaluatie proces met leerpunten

Het technische proces van selectie van de het juiste ECP is verlopen volgens twee stappen. Eerst is een technische evaluatie uitgevoerd, en vervolgens een economische evaluatie. Dit proces is in het algemeen verlopen zoals te verwachten is.

Inhoudelijk gezien is opvallend dat de SDE+ subsidie een zeer beperkte rol speelt; dit omdat elektriciteit en warmte slechts bijproducten zijn. Het grootste deel van de inkomsten wordt gegenereerd door de productie van hoogwaardige biobrandstoffen. Biomassatromen die met name invloed hebben op het resultaat zijn dan ook die grondstoffen die hier invloed op hebben, zoals afvalhout en residu vetten. Een tweede belangrijke conclusie is dat bio-tickets een grote invloed hebben op de financiële haalbaarheid. Indien er geen biotickets zouden zijn dan daalt de IRV onder de 5% en is het project financieel niet haalbaar.

Dit hoofdstuk beschrijft de duurzaamheid van het ECP concept waarbij energieopwekking uit gepyrolyseerd afvalhout gecombineerd wordt met co-vergisten van mest, gras en GFT en veresteren van schone residuvetten ter productie van een 3 verschillende biobrandstoffen, m.n. bio-olie, liquid biomethane (LBM, ook bio-LNG genoemd) en biodiesel.

Hierbij wordt het effect van het ECP concept op de volgende duurzaamheidsaspecten besproken:

- **Energie**verbruik en energiewinst t.o.v. de (fossiele) referentiesituatie;
- Emissies van **broeikasgassen** en emissiereductie t.o.v. de (fossiele) referentiesituatie.

Hierbij wordt in eerste instantie ingegaan op de gehanteerde aanpak en de gebruikte aannames en wordt afgesloten met de resultaten en conclusies.

### 5.1 Afbakening van het ECP systeem en referentiesituatie

De duurzaamheidsanalyse omvat alle essentiële onderdelen van de ECP case in Moerdijk. Hierbij wordt in eerste instantie de doorrekening van de pyrolyse van gedroogd afvalhout en digestaat uit het vergistingsstap uitgevoerd. Het pyrolyseproces levert d.m.v. een geïntegreerde turbine de nodige warmte en elektriciteit voor het gehele ECP systeem. Vervolgens wordt het co-vergisten en nacomposteren van gras, GFT en mest, het opschonen van het ruw biogas tot bio-LNG en de productie van biodiesel uit schone residuvetten berekend. De productie van eiwitten is hierbij buiten beschouwing gelaten, daar er hierbij te veel onzekerheden zijn wat de fossiele referentie betreft.

De centrale vraag in deze evaluatie is of in het systeem minder energie (niet-hernieuwbare en hernieuwbare) wordt gebruikt en er minder broeikasgasemissies worden uitgestoten dan in de huidige referentiesituatie waarbij de verschillende biomassa-reststromen afzonderlijk worden verwerkt en de geproduceerde biobrandstoffen en andere energiedragers (o.a. restwarmte) fossiele brandstoffen/energie vervangen.

Als fossiele referentie voor bio-LNG is gekozen voor vloeibaar aardgas (LNG) omdat LNG (ongeveer) dezelfde eigenschappen heeft en in vergelijkbare toepassingen kan worden gebruikt als het bio-LNG. Voor de geproduceerde bio-olie is als referentie de productie van zware stookolie gehanteerd, voor biodiesel gewone diesel en voor restwarmte warmte uit een fossiele stookinstallatie. Het afvalhout wordt momenteel ingezet in een bio-energiecentrale waarbij enkel elektriciteit wordt geproduceerd (rendement 30%). Wat de mestfractie betreft wordt aangenomen dat deze bij de boer wordt opgeslagen en wordt uitgereden op het veld.

In de huidige situatie wordt het GFT en gras gecomposteerd. Daar er geen compost wordt geproduceerd in het ECP systeem, wordt deze ook niet in de referentiesituatie

---

meegenomen. Vermoedelijk zal de hoeveelheid compost worden vervangen door compost van een andere installatie, of compost van veen of kunstmeststof. Gezien de onzekerheid omtrent de deze vervanging en de mogelijke impact, is dit niet meegenomen.

Omdat de productie van de biobrandstof wordt vergeleken met zijn fossiele referentie met ongeveer dezelfde eigenschappen, wordt de gebruiksfase niet meegenomen in de berekeningen.

Ten aanzien van de bekeken duurzaamheidsaspecten kan gesteld worden dat gezien het ECP concept gebruikmaakt van lokale biomassa-reststromen duurzaamheidsaspecten zoals biodiversiteit en landgebruik niet aan de orde zijn. Door dit gebruik van biomassa-reststromen dient de impact van de productie van deze reststromen ook niet te worden meegenomen, naar analogie met de richtlijnen van Bijlage V van de Europese Richtlijn voor hernieuwbare energie (EU RED).

De berekening van de impacten worden gemaakt per MJ energiedrager geproduceerd.

## **5.2 Bijproducten en allocatie**

In de ECP worden er naast biobrandstoffen ook bijproducten gevormd zoals warmte, elektriciteit, glycerine, digestaat en een residustroom. Sommige bijproducten, zoals glycerine en digestaat, worden in het ECP zelf ingezet. De impact van het gehele systeem moet dus voor een deel aan de geproduceerde biobrandstoffen, en voor een deel aan de bijproducten worden toegekend. Dit wordt allocatie genoemd.

De keuze welk deel van de impact aan welk deel van de procesketen wordt toegekend beïnvloedt sterk het eindresultaat van de evaluatie. Daarnaast is het toepassen van allocatie een complex probleem waarvoor verschillende methodes bestaan. In deze studie hanteren we de allocatiemethode zoals voorgeschreven in de richtlijnen van de EU RED, welk de impact toewijst volgens de totale energie-inhoud van de totaal geproduceerde hoofd- en bijproducten (o.b.v. Lower Heating Value, LHV). Aan afval wordt geen impact toegekend.

## **5.3 Methodologie en data voor modellering**

Momenteel is er nog weinig informatie beschikbaar met betrekking tot welke methodologie moet gevolgd worden voor de uitvoering van een duurzaamheidsevaluatie van dit soort van complexe/gecombineerde processen. Meestal wordt gerefereerd naar of wordt er gericht op de Life Cycle Assessment (LCA), omdat dit momenteel de benadering is die het meest wordt gebruikt.

De berekeningen van de broeikasgasbalans en energiebalans zijn uitgevoerd met VITO's duurzaamheidstool "Bioenergy Sustainability Assessment Tool" (B-SAT). Met deze tool kan de toetsing van een bio-energieproject worden gemaakt op basis van een vereenvoudigde levenscyclusanalyse (LCA). LCA is een wetenschappelijke methode om de impact op het milieu van verschillende producten met elkaar te vergelijken. Hierbij kan de hele levenscyclus van het product worden meegenomen, dus van de productie van

---

de grondstof tot en met de afvalfase. De tool neemt echter alleen de productie-, verwerking- en gebruiksfase van de onderzochte biomassa mee, de afvalfase wordt buiten beschouwing gelaten (naar analogie met de RED richtlijn).

Concreet berekent de tool hoeveel reductie in gebruik van energie (primaire en fossiele) en in emissie van broeikasgassen de productie van bio-energie kan opleveren ten opzichte van vergelijkbare fossiele energie, alsook de reductie in verzurings- en vermistingspotentieel. Verder geeft de tool een indicatie van de impact op land- en watergebruik, biodiversiteit en sociale aspecten in geval geteelde/geïmporteerde biomassa wordt gebruikt.

Voor de berekeningen van de energie- en broeikasgasbalans maakt deze tool gebruik van het werk (standard values en aanpak) dat verricht is in het kader van het BioGrace I project en data afkomstig uit de bijlage van de RED, rapporten van JRC (Joint Research Centre) en data van het IPCC (Intergovernmental Panel for Climate Change).

De tool werd voor de doorrekening van de ECP case aangepast zodat de energiebalans en broeikasgasbalans voor de productie van brandstoffen uit biomassa-reststromen kan worden berekend. De case-specifieke gegevens werden gehaald uit dit rapport.

#### 5.4 Aannames

Voor de doorrekening met B-SAT is het ECP concept opgesplitst in de 3 hoofdprocessen: pyrolyse, vergisten en opschonen, en veresteren. Indien bijproducten worden gevormd in het ene proces welke in het andere proces worden gebruikt, zoals warmte en elektriciteit uit de pyrolyse en glycerine uit het veresteren wordt de impact van deze bijproducten toegerekend aan het proces waarin ze gebruikt worden.

Voor het berekenen van de impact van de verschillende processtappen zijn volgende aannames gehanteerd (en ingevoerd in B-SAT):

Concreet zijn volgende aannames gehanteerd (en ingevoerd in B-SAT) voor het berekenen van de impact van de verschillende processtappen van het ECP:

- *Pyrolyse:*
  - o Alle grassen en restsappen worden opgeteld en als 1 input in de vergistingsstap ingevoerd;
  - o Autotherm continu proces: geen eigenverbruik, enkel de impact van het voobewerken van het afvalhout en productie digestaat is meegerekend;
  - o Alle energie gebruikt in het ECP systeem wordt door deze processtap geleverd.
- *Vergisting gras, GFT en mest*
  - o Emissie gras, GFT en mest:  
Hierbij wordt uitgegaan dat 5% van de methaan- en lachgas (N<sub>2</sub>O) emissies<sup>49</sup> die normaal bij opslag van het GFT en mest zou zijn geëmitteerd, vrijkomen in de atmosfeer tijdens de vooropslag. De emissie van methaan is het product van de hoeveelheid mest/GFT en de emissiefactor per eenheid mest/GFT (zie Tabel 12). Voor lachgas geldt

dat de emissie gelijk is aan de hoeveelheid stikstof in de mest/GFT maal het emissiepercentage (zie Tabel 12). Voor GFT zijn dezelfde aannames gehanteerd, waarbij voor methaan het gemiddelde van rundvee- en varkensmest is genomen.

- kg methaan/ton varkensmest = 0,05 x hoeveelheid mest x 4,65 (emissiefactor per ton)
- kg lachgas/ton varkensmest = 0,05 x hoeveelheid mest x 7,7 (N-gehalte mest<sup>49</sup>) x 0,001 (emissiefraction N<sub>2</sub>O)
- kg methaan/ton GFT = 0,05 x hoeveelheid GFT x 3,1 (emissiefactor per ton)
- kg lachgas/ton GFT = 0,05 x hoeveelheid GFT x 1,3 (N-gehalte covergistingsmateriaal<sup>49</sup>) x 0,001 (emissiefraction N<sub>2</sub>O)

**Tabel 12:** Emissie per materiaal uit opslag (Alterra, 2006)

Materiaal	CH <sub>4</sub> (kg/ton)	N-gehalte (kg/m <sup>3</sup> ) <sup>50</sup>	N <sub>2</sub> O (% van N)
Rundveemest	1,80	4,3	0,1
Varkensmest	4,65	7,7	0,1
Co-vergistingsmateriaal	3,1	1,3	0,1

- Glycerine: De impact van deze inputstroom is berekend uit de veresteringsstap waarbij dit als nevenproduct wordt geproduceerd.
- Lekverliezen: Het lekverlies is gesteld op 1% van de geproduceerde hoeveelheid biogas.
- *Opschonen/opwaarderen biogas tot bio-LNG:*
  - Aangenomen wordt dat 0,1% CH<sub>4</sub> uit het geproduceerde bio-LNG vrijkomt tijdens het proces<sup>51</sup>.
- *Veresteren:* De impact van dit proces is toegekend aan biodiesel en glycerine, en niet aan de gevormde reststromen daar geen kennis omtrent mogelijk nuttig gebruik (geen referentiesituatie).
- *Transport:*
  - Gemiddelde van 30 km (enkel) voor aanvoer van grassen en GFT, 50 km (enkel) voor afvalhout en schone residu vetten en 15 km (enkel) voor meststoffen.
  - Gebruik trucks met een verbruik van 0,94 MJ<sub>diesel</sub>/ton.km (JEC E3-database (version 31-7-2008))
  - Het transport van de geproduceerde brandstoffen naar de gebruiker worden niet meegerekend.

<sup>49</sup> Kor Zwart, Diti Oudendag, Phillip Ehlert en Peter Kuikman, Duurzaamheid co-vergisting van dierlijke mest, Alterra rapport 1427, Alterra Wageningen 2006

<sup>50</sup> Voor de berekeningen nemen we aan dat 1 m<sup>3</sup> mest/co-vergistingsmateriaal gelijk is aan 1 ton mest/co-vergistingsmateriaal

<sup>51</sup> <http://wikimobi.nl/wiki/index.php/Opwaarderen>

- 
- *Elektriciteit uit afvalhout* (voor berekening referentiesituatie):
    - o Hierbij wordt uitgegaan dat het afvalhout wordt ingezet in een bio-energiecentrale met een elektrisch rendement van 30%.
    - o De gehanteerde standaardwaarden m.b.t. primair energieverbruik, fossiele energieverbruik en CO<sub>2eq.</sub> emissies gerelateerd aan de productie van elektriciteit uit afvalhout zijn overgenomen uit JEC - Joint Research Centre-EUCAR-CONCAWE collaboration Well-to-tank report version 03-11-2008.
  
  - *Warmte uit fossiele stookinstallatie* (voor berekening referentiesituatie):
    - o De gehanteerde standaardwaarden m.b.t. primair energieverbruik, fossiele energieverbruik en CO<sub>2eq.</sub> emissies gerelateerd aan de productie van warmte zijn overgenomen uit BioGrace GHG calculation tool version 4b - public<sup>52</sup>

## 5.5 Resultaten

### 5.5.1 Energiebalans en energie-efficiëntie

B-SAT laat toe twee types van energiebalansen op te maken:

- de netto primaire energiebehoefte (NER), waarbij alle energie wordt meegenomen om de biomassa om te zetten in energiedragers (biobrandstof, elektriciteit, warmte), dus inclusief de energie nodig voor de voorbereiding van de biomassa, transport, opslag,.. plus de initiële energie-inhoud van de hernieuwbare fracties (lower heating value).
- de fossiele energiebehoefte (FER), waarbij enkel de hoeveelheid aan fossiele energiebronnen wordt meegenomen.

De fossiele en netto primaire energiebalans voor het ECP concept is samengevat in Figuur 32 en Figuur 33.

De fossiele energiebehoefte geeft de mate aan waarin een brandstof wel of niet hernieuwbaar is. Het is de verhouding van de hoeveelheid fossiele energie die nodig is voor het maken van de biobrandstof/benutbare energie tot de hoeveelheid biobrandstof en/of benutbare energie geproduceerd. Hoe lager deze verhouding hoe meer 'hernieuwbaar' de geprocedeerde brandstof/energie is. Als deze ratio 1 of hoger is, wordt de brandstof als niet-hernieuwbaar beschouwd. Een volledig hernieuwbare brandstof heeft geen fossiele input. Deze verhouding hangt ook samen met de netto CO<sub>2</sub> emissies; een hoge fossiele energiebehoefte geeft tevens hoge netto CO<sub>2</sub> emissies. De fossiele energiebehoefte van het ECP concept bedraagt 0,06 MJfossiel/MJenergiedrager, zie Figuur 32. Deze is met name afkomstig van de fossiele energie-input gerelateerd aan het gebruik van methanol bij de biodieselproductie. In verhouding tot de referentiesituatie geeft dit een reductie van 93%.

---

<sup>52</sup> <http://www.biograce.net/>

---

Het resultaat voor de netto primaire energiebehoefte (NER) van het bio-energiesysteem geeft aan hoeveel primaire energie nodig is voor de productie van een MJ functionele eenheid – het totaal aan geproduceerde energiedragers (LBM, elektriciteit en warmte) voor deze case - en de onderdelen van de keten die het meest hiertoe bijdragen. Het resultaat voor "reduction" geeft het percentage primaire energie aan die bespaard kan worden door het gebruik van het specifieke bio-energie systeem/ECP t.o.v. de referentiesituatie zoals gedefinieerd in paragraaf 5.1. Als dit een negatief resultaat is, is er meer primaire energie nodig om 1 MJ bio-energie te produceren dan voor de productie van 1 MJ van het (fossiele) referentie-energiesysteem.

Figuur 33 geeft aan dat de netto primaire energievraag voor de productie van 1MJ energiedrager 1,26 MJ is. Het grootste gedeelte (65%) van de netto primaire energiebehoefte is nodig voor de productie van bio-olie en biodiesel. Voor de productie van de gegeven energiedragers is ongeveer dezelfde primaire energie nodig als voor eenzelfde hoeveelheid en aard van fossiele energiedragers.

Tabel 13 geeft naast het verbruik en de elektriciteit- en benutbare warmteproductie een idee van het aantal huishoudens dat met de resterende warmte en elektriciteit kan voorzien worden.

Met de restwarmte, 673.785 GJ/jaar, kunnen theoretisch gezien 11.700 gezinnen 1 jaar van warmte worden voorzien<sup>53</sup>. Met de resterende elektriciteit (9.220 MWh/jaar) kunnen 2.630 gezinnen in hun jaarverbruik worden voorzien<sup>54</sup>. Het geproduceerde bio-LNG kan ingezet worden om 377 vrachtwagens<sup>55</sup> een jaar van brandstof te voorzien, in de veronderstelling dat deze 100.000 km per jaar afleggen.

---

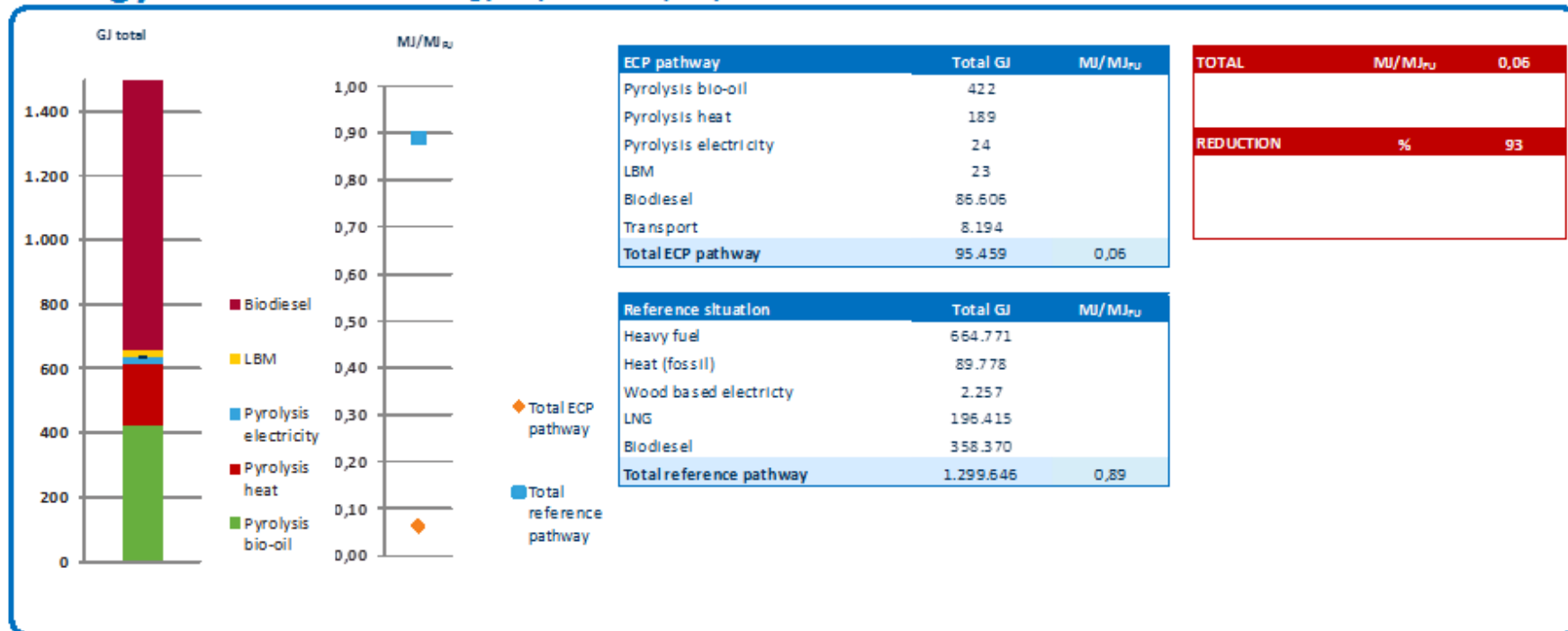
<sup>53</sup> Gemiddelde warmtevraag huishouden 1800 m<sup>3</sup>/jaar, energie-inhoud aardgas Nederland 32 MJ/m<sup>3</sup>

<sup>54</sup> Gemiddeld elektriciteitsverbruik huishouden 3500 kWh/jaar

<sup>55</sup> Verbruik vrachtwagen 35l/100 km, energie-inhoud diesel 43.1 MJ/kg ( $\rho=0.832$  kg/l)

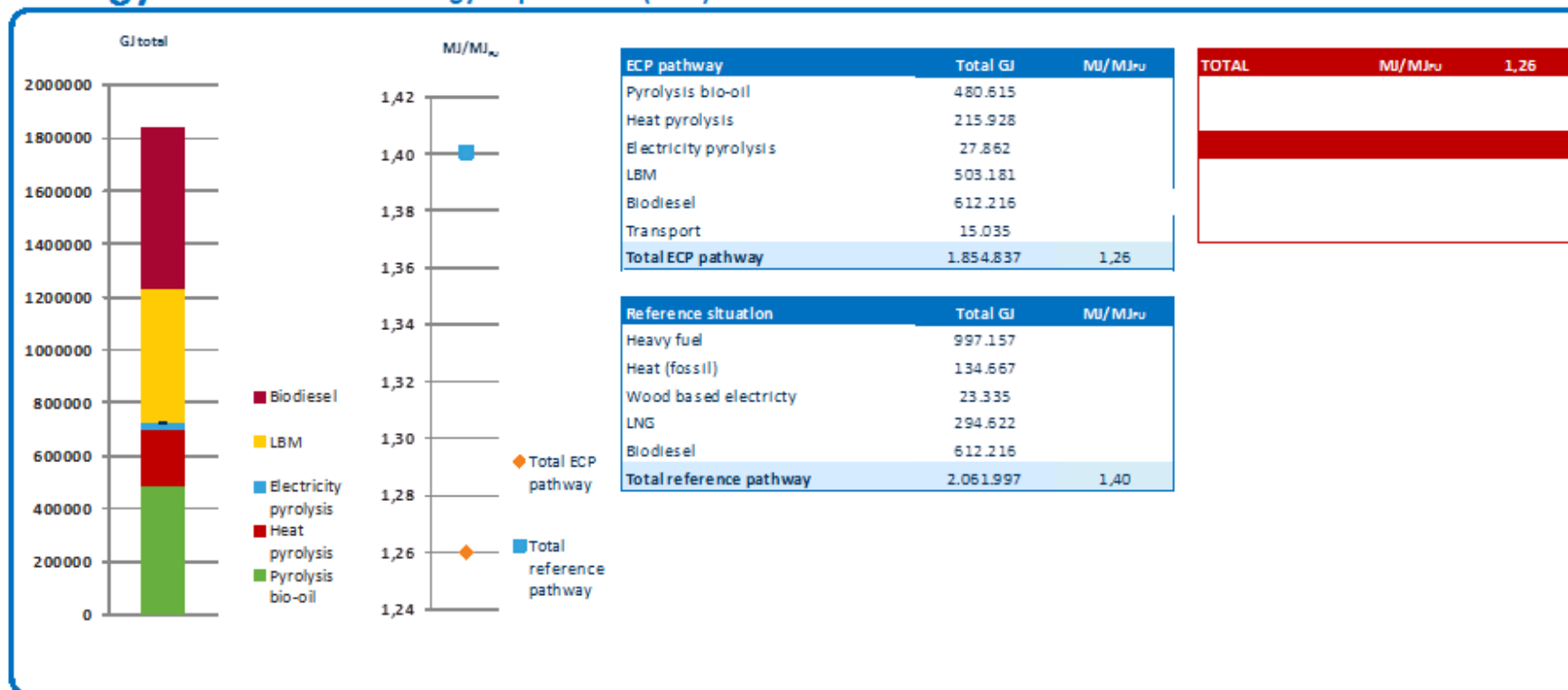


## Energy balance - fossil energy requirement (FER)



**Figuur 32:** Overzicht energiebalans -fossiel (FER) - voor het ECP concept en de huidige veronderstelde referentiesituatie, uitgedrukt per MJ totale jaarlijkse energiebehoefte en per MJ energiedrager/output (MJ<sub>FU</sub>).

## Energy balance - net energy requirement (NER)



**Figuur 33:** Overzicht energiebalans - primair (NER) - voor het ECP concept en de huidige referentiesituatie, uitgedrukt per MJ totale jaarlijkse energiebehoefte en per MJ energiedrager (MJ<sub>fu</sub>).

Tabel 13: Energiebalans ECP Moerdijk, exclusief eiwitproductie.

<i>Energie</i>	<i>Pyrolyse</i>	<i>Vergister + opwaarderen</i>	<i>Veresteren</i>
<b>Primaire energie input</b> <i>GJ/jaar @ 0% water</i>			
Afvalhout	791.845		
Grassen en restsappen		508.350	
GFT		76.594	
Schone residuvetten			304.192
Mest			12.156
Primaire input gerelateerd aan overige inputstromen (o.a.. methanol)			33.432
<b>Output</b>	<b>netto productie</b>	<b>Gebruik</b>	
elektriciteit MWh/jaar	9.220	2.634 gezinnen	
warmte (restwarmte en bio-olie) GJ/jaar	62.782 + 611.003	11.698 gezinnen	
transportbrandstof (bio-LNG en biodiesel) GJ/jaar	174.111 + 298.642	377 vrachtwagens	

De energie-efficiënte van een bio-energiesysteem geeft aan hoeveel energie (primaire) nodig is om de biobrandstof/energie te produceren.

De berekening van de globale energie-efficiëntie is de verhouding van de hoeveelheid MJ brandstof/energie geproduceerd tot de totale hoeveelheid energie-input (op droge basis). Het is een maat voor de hoeveelheid energie die in het proces gaat en welke uiteindelijk in de brandstof en benutbare energie terecht komt. Dit rendement vertegenwoordigt het verlies aan procesenergie om de brandstof en benutbare energie te maken uitgaande van de initiële grondstoffen. De primaire energie-efficiëntie van het gehele ECP concept is 68%.

### 5.5.2 Broeikasgasbalans

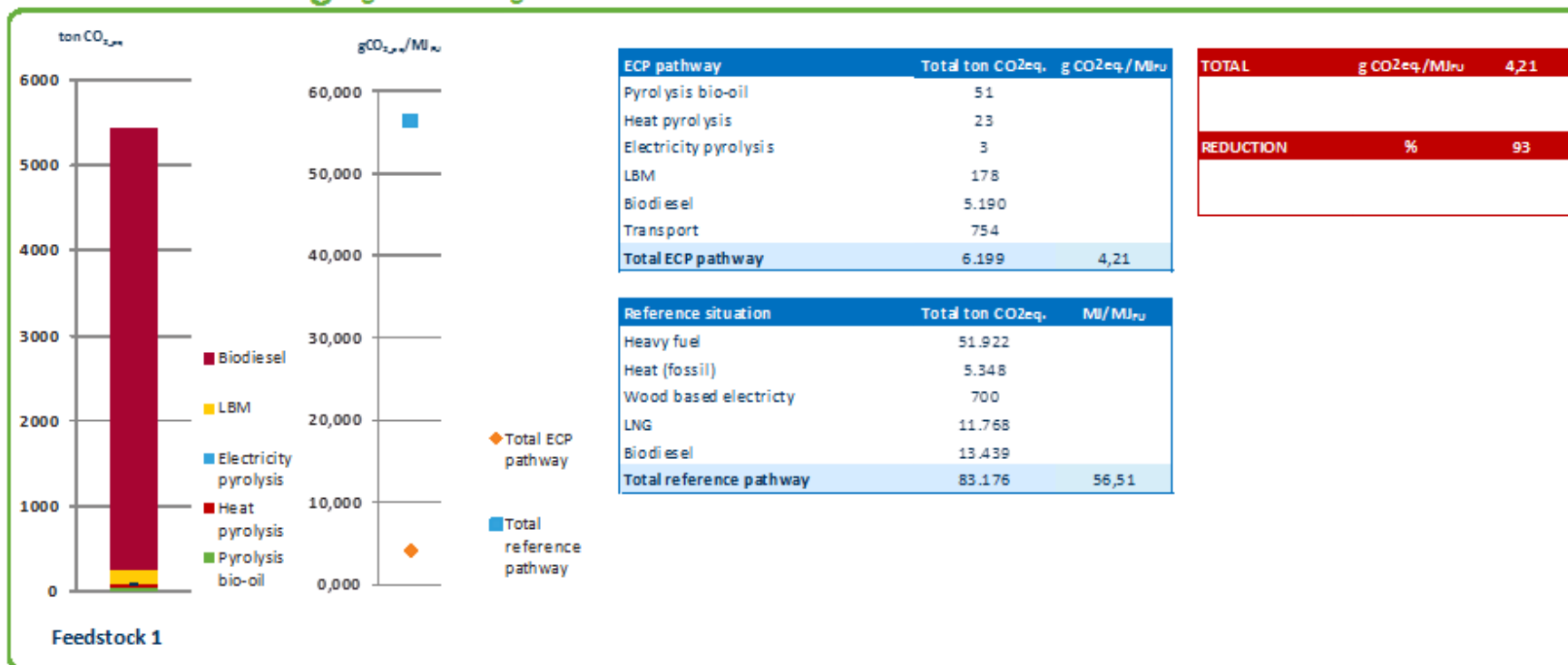
De broeikasgasbalans voor het ECP concept wordt weergegeven in Figuur 34.

De balans voor het ECP geeft een zeer lage emissie van 4,21 g CO<sub>2eq</sub> per MJ energiedrager geproduceerd. Dit is ook logisch daar het systeem volledig op hernieuwbare warmte loopt, en er voornamelijk reststromen worden gebruikt. Dit resulteert in een jaarlijkse besparing van ruim 75.000 ton CO<sub>2eq</sub>, of 93% t.o.v. de huidige (fossiele) referentiesituatie.

Het grootste reductiepotentieel zit overduidelijk in het gebruik van hernieuwbare warmte en elektriciteit geproduceerd door de pyrolyse van houtafval met geïntegreerde stoomturbine.

De productie van biodiesel heeft de grootste impact op broeikasemissies als gevolg van het gebruik van methanol en zwavelzuur in de veresteringsstap.

## Global warming - greenhouse gas balance



**Figuur 34:** Broeikasgasbalans voor het ECP concept en referentiesituatie, uitgedrukt als totale emissies CO<sub>2</sub>eq. per jaar en per MJ energiedrager(MJ<sub>FU</sub>)

- Renewable Energy Directive requirements on GHG savings: The greenhouse gas emission savings from the use of bio-energy should be at least 35%. From 1 January 2017 onwards savings must be at least 50%. From 1 January 2018 onwards savings must be at least 60% for installations in which production started on or after 1 January 2017.

---

## 5.6 Conclusies duurzaamheid ECP concept

De conclusies worden puntsgewijs opgelijst, waarna een korte algemene bespreking volgt omtrent de meerwaarde van de ECP t.o.v. de huidige (fossiele) referentiesituatie.

→ *Energie:*

- De netto energieopbrengst is hoog, jaarlijks;
  - wordt ca 3.500 ton LNG vervangen;
  - kunnen ca.2.630 gezinnen voorzien worden van elektriciteit, en;
  - worden ca. 11.700 gezinnen voorzien van warmte.
- Essentieel is het gebruik van het afval dat via een pyrolyseproces samen met het digestaat afkomstig uit de vergistingsstap wordt omgezet in hernieuwbare elektriciteit en warmte waarmee het ganse proces gevoed wordt.
- De totale energievraag van dit pyrolyseproces heeft eveneens het grootste effect op de primaire energiebehoefte.

→ *Broeikasgasemissies*

- De besparing op fossiele brandstoffen/energie door het inzetten van reststromen en warmte en elektriciteit uit gepyrolyseerd afvalhout resulteert in een emissiereductiepotentieel van 93%.
- De veresteringsstap vertegenwoordigt 85% van de totale emissies. Het gebruik van methanol en zwavelzuur in de productie van biodiesel is de belangrijkste CO<sub>2eq.</sub>-bron.

De belangrijkste meerwaarde van deze ECP t.o.v. de huidige situatie is dat dit proces met een zeer geringe impact op de broeikasgasemissies een ganse waaier aan biobrandstoffen produceert.

De productie van de biodiesel en bio-LNG in de ECP zou, zoals in Tabel 13 aangegeven, 377 vrachtwagens kunnen voorzien van brandstof. Inclusief de benutting van bio-olie, restwarmte en elektriciteit uit het pyrolyseproces wordt er zo ongeveer 75.000 ton CO<sub>2eq.</sub> per jaar bespaard t.o.v. de fossiele referentiesituatie.

In de huidige situatie wordt weliswaar compost gevormd, welke in de ECP niet meer wordt geproduceerd. Dit kan leiden tot een verschil in opslag van stabiele koolstof in de bodem tussen beide situaties, met mogelijke nood aan vervanging door compost veen of kunstmeststof. Daar er veel onzekerheid is op de impact van deze vervanging werd deze niet meegenomen in de duurzaamheidsdoorrekening.

De productie van de verschillende biobrandstoffen verhoogt tevens de waarde van huishoudelijke, industriële en agrarische biomassa-residuen. Het kan zo gebruikt worden voor de productie van warmte en elektriciteit en als biobrandstof in voertuigen.

### 6.1 Conclusies

Conclusies en leerpunten ten aanzien van het proces van het definiëren van ECP concepten zijn reeds genoemd aan het eind van de hoofdstukken 2, 3 en 4. De hier genoemde conclusies hebben betrekking op de inhoudelijke aspecten van het project, namelijk de beschikbaarheid van biomassa, de technische uitwerking van het ECP-concept en de economische evaluatie.

De volgende conclusies kunnen getrokken worden:

- Mest vertegenwoordigt in West-Brabant een groot potentieel aan duurzame energie. In West-Brabant is het aantal co-vergistingsinstallaties zeer klein, wat resulteert in een zeer grote hoeveelheid onbenutte bio-energie uit mest. Uit de hier gepresenteerde berekeningen blijkt echter dat de verwerking van mest past binnen dit ECP concept, ondanks het relatief hoge vochtgehalte en de lage energie-inhoud. De reden hiervoor is waarschijnlijk de veronderstelde ruime beschikbaarheid van goedkope warmte welke praktisch gesproken een voorwaarde is voor financieel haalbare verwerking van mest.
- Er is een ECP-concept ontwikkeld voor Moerdijk, waarbij de nadruk ligt op grasraffinage, productie van pyrolyse olie, biodiesel productie en vergisting van natte stromen. Dit ECP concept optimaliseert de onderlinge synergie met betrekking tot de benutting van energie en massa (bv. glycerine in de vergister, warmte van de pyrolyse eenheid voor droging van digestaat, vergisting van grasraffinage residuen, etc.)
- Van de genoemde technieken is grasraffinage nog het meest experimenteel. Pyrolyse olie productie bevindt zich qua ontwikkelingsfase in de demofase, evenals LBM (bio-LNG) productie. Droge vergisting en biodiesel productie zijn bewezen technieken.
- De economische uitwerking laat zien dat het ECP concept, onder de gegeven aannamen qua technologiekenmerken en marktprijzen een goed financieel resultaat geeft. De verkoop van pyrolyse-olie, LBM en biodiesel draagt hier in belangrijke mate aan bij. Grasraffinage heeft geen grote invloed op de resultaten. De te winnen hoeveelheid eiwitten (het nuttige product) is qua hoeveelheden te gering om een belangrijk verschil te maken.
- De verwerking van mest heeft praktisch gezien geen invloed op het financiële resultaat. Dat wil zeggen dat de extra kosten en opbrengsten van meer of minder verwerking van mest elkaar in evenwicht houden. Hierbij moet wel opgemerkt worden dat aangenomen is dat warmte tegen lage prijzen beschikbaar is. Daarnaast is er een relatief gunstige gate-fee voor mest aangenomen.
- De invloed van SDE+ subsidies op het financiële resultaat is gering. Dit komt omdat er in het ECP concept vooral hoogwaardige energiedragers zoals pyrolyse olie, LBM en biodiesel geproduceerd worden. Hiervoor wordt geen SDE+ subsidie verstrekt.

- 
- Bij toepassing van biobrandstoffen voor mobiliteit is het mogelijk om biotickets te verkrijgen. Bij het bepalen van het financiële resultaat van het ECP Moerdijk is hiermee rekening gehouden. Uit de gevoeligheidsanalyse is gebleken dat de prijs van biotickets een grote invloed heeft op het financiële resultaat. Dit betekent een risico, omdat bekend is dat de prijs van biotickets in de afgelopen periode behoorlijk gefluctueerd heeft. Daarnaast dient opgemerkt te worden dat als er geen inkomsten uit biotickets verkregen kunnen worden (zoals de situatie is in Vlaanderen) dan daalt de IRV tot onder de 5% waardoor de haalbaarheid van het gehele project in het geding is.

## 6.2 Aanbevelingen

Met het ECP Moerdijk is een ‘wenkend perspectief’ neergezet dat als inspiratie voor partijen kan dienen om gedeelten hiervan te realiseren. Mede vanwege de hoge investeringen is het niet te verwachten dat het concept als geheel op korte termijn gerealiseerd kan worden.

Een interessant onderdeel met potentie, om mee te starten, zou kunnen zijn de verwerking van mest. Deze zal goed in Moerdijk plaats kunnen vinden. Er is een warmteoverschot, en goedkope warmte is een noodzakelijke voorwaarde om mestverwerking kosteneffectief uit te voeren. Het resulterende biogas kan omgezet worden in bio-LNG, maar financiering via biotickets is momenteel nog een onzekere basis. Benutting van biogas in een WKK – niet onderzocht in dit ECP concept – is echter ook een alternatief, waarbij de warmte voor de mestverwerking zelf gebruikt wordt en de elektriciteit op het net gezet kan worden.

## 6.3 Dankwoord en verdere informatie

Deze rapportage is tot stand gekomen in samenwerking met diverse bedrijven en instellingen welke hun input gegeven hebben wat betreft het ECP Moerdijk, namelijk (in willekeurige volgorde): Staatsbosbeheer, Waterschap Brabantse Delta, Rasenberg milieu, Regio West Brabant, REWIN, de Brabantse Ontwikkelingsmaatschappij, Brabant Water, Gemeente Breda, Essent Local Energy Solutions, Heja, Attero, Stichting Agro & Co, United Gas C2Circle, ZLTO, de Suikerunie, SNB Slibverwerking Noord-Brabant, Lassche & de Bruijn en ATM. Speciale dank gaat uit naar BEWA voor de belangrijk input in het project en het regelmatig geven van terugkoppeling.

Verder informatie, alsmede de volledige rapportage, is te vinden op de website van het ECP project: <http://www.ecp-biomass.eu/>



Agentschap NL, “Statusoverzicht bioenergie 2011”,  
<http://www.agentschapnl.nl/sites/default/files/bijlagen/Statusdocument%20bio-energie%204-5-2012%2012.23.pdf>, 2012

BIOPOL, “Assessment of Biorefinery concepts and the implications for agricultural and forestry policy”, EU Project number: 44336 – FP6 – 2005 – SSP – 5A,  
[http://www.biorefinery.nl/fileadmin/biopol/user/documents/PublicDeliverables/BIOPOL\\_D\\_1\\_3\\_-\\_Final\\_090609\\_.pdf](http://www.biorefinery.nl/fileadmin/biopol/user/documents/PublicDeliverables/BIOPOL_D_1_3_-_Final_090609_.pdf), 2009

Biomass Energy Europe, “Best Practices and Methods Handbook (volume 1)”, FP7 GRANT AGREEMENT N°: 213417, <http://www.eu-bee.com/>, 2011

BTG, “Mogelijkheden voor de inzet van biomassa voor energie-opwekking in de MARN-regio”, BTG, Postbus 835, 7550 AV Enschede, 2008

BTG, “Inventarisatie biomassa regio Stedendriehoek”, BTG, Postbus 835, 7550 AV Enschede,  
<http://www.regiostedendriehoek.nl/bestanden/102954Eindrapportage%20BTG%20Inventarisatie%20biomassa%20regio%20Stedendriehoek.pdf>, 2009

BTG, “Energieconversieparken in Noord-Brabant (NL); Rapportage taak 1”, BTG, Postbus 835, 7550 AV Enschede, 2011

California Integrated Waste Management Board, “Current Anaerobic Digestion Technologies Used for Treatment of Municipal Organic Solid Waste”, Public Affairs Office, Publications Clearinghouse (MS-6) 1001 I Street P.O. Box 4025 Sacramento, CA 95812-4025, publication number #IWMB-2008-011, 2008

CBS, Informatie uit de "statline" database van het Centraal Bureau voor de Statistiek (verschillende jaartallen), [www.cbs.nl](http://www.cbs.nl) (diverse jaren)

DACE, “Prijzenboekje, editie 25”, Reed business information, 2006

E4tech, “CARBON REPORTING – Default values and fuel chains”, Version 1.2, 83, Victoria Street, London SW1H 0HW, United Kingdom, 2007

ECN rapport concept advies basisbedragen SDE 2011,  
<http://www.ecn.nl/docs/library/report/2010/e10053.pdf>, 2010

ECN rapport eindadvies basisbedragen SDE 2012, Rapport ECN-E--11-054,  
<http://www.ecn.nl/docs/library/report/2011/e11054.pdf>, 2011

E-kwadraat, "Eindrapportage grasraffinage in Oostelijk Flevoland: een Business plan", 17 januari 2011, <http://edepot.wur.nl/176895>

---

GDF SUEZ trading, “Market trends”, 06/02/2012 tot 13/02/2012, <http://newsletters.gdfsuez-globalenergy.com/Media/PDF/market-trends-NL-13022012.pdf>, 2012

Gemeente Breda, “Breda gaat voor een beter klimaat - Uitvoeringsprogramma Klimaat 2009-2012”, [http://helpdesk.eumayors.eu/docs/seap/458\\_428\\_1310542654.pdf](http://helpdesk.eumayors.eu/docs/seap/458_428_1310542654.pdf), 2009

Kattstrom, H. “Biogas becomes more competitive”, presentation at the Nordic Biogas Conference 2008, 5-7 March 2008 in Malmö, Sweden, 2008 [http://www.sgc.se/nordicbiogas/resources/Hans\\_Kattstrom.pdf](http://www.sgc.se/nordicbiogas/resources/Hans_Kattstrom.pdf)

Kuiper, L. en S. d. Lint, “Binnenlands biomassa potentieel”, Utrecht, Ecofys, 2008

Koppejan, J., Elbersen, W., Meeusen, M., Bindraban, P., “Beschikbaarheid van Nederlandse biomassa voor elektriciteit en warmte in 2020”, AgentschapNL, Croeselaan 15, 3521 BJ Utrecht, projectnr. 200809, 2009

NREL, “Biodiesel production technology”, report NREL/SR-510-36244, <http://www.nrel.gov/docs/fy04osti/36244.pdf>, July 2004

O’Keeffe, S.M. "Alternative use of Grassland Biomass for Biorefinery in Ireland: A Scoping study", PhD Thesis, Wageningen University, ISBN, 978-90-8585-809-6, 2010

Praktijkrapport Rundvee, 64, "Verkennde studie: Inpassing van gras uit natuurbeheer in rantsoenen van melkvee", ISSN 1570-8616, <http://edepot.wur.nl/27954> (2005)

Prahl, H., Georgiev, K., Dimitrova, D., Kulisic, B., Sioulas, K., Dzene, L., Ofiteru, A., Adamescu, M., Bodescu, F., Jan A., Rutz, D., “Biogas purification and assessment of the natural gas grid in Southern and Eastern Europe”. Ing. Gerhard Agrinz GmbH, Leibnitz, Austria, BiG>East Task 2.5 rapport, 2008.

Profnieuws, <http://www.profnews.nl/910389/recyclingbedrijf-var-verhoogt-capaciteit-gft-vergister>, april 2009

Van Beurten, K., Gomez, G., Stage project, “Inventarisatie Reststromen Biomassa West-Brabant 2011”, Avans Hogeschool, Lovensdijkstraat 61-63, Breda, [http://www.bio-based.nl/sites/default/files/extra/ECP2011\\_01\\_StudRappAvans\\_BiomassaInventWBrab.pdf](http://www.bio-based.nl/sites/default/files/extra/ECP2011_01_StudRappAvans_BiomassaInventWBrab.pdf) (2011).

SNB berichten nr. 50, “Op koers voor besparingsdoelstelling energie”, [http://www.snb.nl/files/Publicaties/SNBBerichten/SNB\\_berichten\\_nr50.pdf](http://www.snb.nl/files/Publicaties/SNBBerichten/SNB_berichten_nr50.pdf) (maart 2011)

Senternovem, “Haalbaarheid energieopwekking uit Bermgras”, Rapportnr. 2EWAB01.31, 2001

Staatscourant, “Regeling aanwijzing categorieën duurzame energieproductie 2012”, Nr. 3609, 21 februari, 2012, <https://zoek.officielebekendmakingen.nl/>, 2012

---

Twence, Milieu effectrapportage (MER) Bioenergiecentrale TWENCE, Twence B.V., Postbus 870 7550 AW Hengelo, 2004

Ulrich, G.D., "A guide to chemical engineering process design and economics", ISBN 0-471-08276-7, John Wiley & Sons, Inc., 1984

Van de Beld, L., Muggen, G., "EMPYRO - Demonstration of the fast pyrolysis process in the Netherlands", paper presented at the TC Biomass, Chicago (US), 2012

Veehouderij techniek, "Mestscheider bied oplossingen", <http://edepot.wur.nl/149202>, september 2010

Venderbosch, R.H., Prins, W., "Fast Pyrolysis Technology Development", Biofuels, Bioprod. Bioref. 4:178-208 (2010)

Wageningen UR, "Emissies van lachgas, methaan en ammoniak uit mest na scheiding", Wageningen UR Livestock Research, Postbus 65, 8200 AB Lelystad, Rapport 427, <http://edepot.wur.nl/161899>, december 2010

Wageningen UR Livestock Research, "Grasraffinage in de veehouderij", Wageningen UR Livestock Research, Postbus 65, 8200 AB Lelystad, Rapport 556, <http://edepot.wur.nl/206662>, april 2012

Zhang, Y., Du, M.A., McLean, D.D., Kates, M., "Biodiesel production from waste cooking oil: 1. Process design and technological assessment", Bioresource Technology 89, 1 - 16, 2003a

Zhang, Y., Du, M.A., McLean, D.D., Kates, M., "Biodiesel production from waste cooking oil: 2. Economic assessment and sensitivity analysis", Bioresource Technology 90, 229-240, 2003b

## APPENDIX A: REFERENTIES GEBRUIKTE GEGEVENS

Gegevens	Waarde	eenheid	opmerkingen	Bron
<b>Algemene gegevens</b>				
Gasconstante (R)		8,3144	J/kg.mol	Perry, 1.22
Standaard druk		101325	Pa	<a href="http://nl.wikipedia.org/wiki/Standaa&lt;br/&gt;rdtemperatuur_en_standaarddruk">http://nl.wikipedia.org/wiki/Standaa rdtemperatuur_en_standaarddruk</a>
kcal		4,184	KJ	Perry, 1.4
<b>Gegevens van stoffen</b>				
Aardgas				
Gemiddelde energiewaarde (		31,65	MJ/m3 aardgas	<a href="http://nl.wikipedia.org/wiki/Specifie&lt;br/&gt;ke_energie">http://nl.wikipedia.org/wiki/Specifie ke_energie</a>
percentage methaan		86%		<a href="http://nl.wikipedia.org/wiki/Aardgas">http://nl.wikipedia.org/wiki/Aardgas</a>
Biodiesel				
energieinhoud		89,2%	of regular diesel	NREL, "Life cycle inventory of Biodiesel and Peutroleum Diesel for
energieinhoud		38,4	MJ/kg	
dichtheid		0,88	kg/m3	<a href="http://en.wikipedia.org/wiki/Biodies&lt;br/&gt;el">http://en.wikipedia.org/wiki/Biodies el</a>
Biogas				
samenstelling				
- methaan		55%		
- CO2		45%		
gemiddelde dichtheid		1,283745	kg/m3	
gemiddelde k-waarde		1,3073		
moleculair gewicht		28,6	g/mol	
Biomassa algemeen				
Warmtecapaciteit		1,8	KJ/Kg/K	Jan Broeze, WUR, persoonlijke
B-hout				
Energiewaarde droog		17,6	GJ/ton	
Energiewaarde op		5,0%		ingangseis pyrolyse
is gelijk aan		16,6	GJ/ton	
Fosfaatgehalte		0,067%	droge en asvrije basis	
CO2				
Moleculair gewicht		44	g/mol	Perry, cover
Dichtheid		1,718272	kg/m3	Perry, 3.78
Cp/Cv		1,304		Perry, 3.144

Gegevens	Waarde	eenheid	opmerkingen	Bron
<b>Diesel</b>				
Energieinhoud		43,1 MJ/kg		Carbon and Sustainability Reporting Within the Renewable Transport Fuel Obligation, Department for Transport Great Minster House 76 Marsham Street London SW1P 4DR Telephone 020 7944 8300 Web site <a href="http://www.dft.gov.uk">www.dft.gov.uk</a>
dichtheid		0,832 kg/liter		Carbon and Sustainability Reporting Within the Renewable Transport Fuel Obligation, Department for Transport Great Minster House 76 Marsham Street London SW1P 4DR Telephone 020 7944 8300
<b>droog digestaat</b>				
Energiewaarde droog- en asvr		17,6 GJ/ton		analoog aan B-hout genomen
<b>knip- en snoeihout</b>				
LHV		7 GJ/ton		<a href="http://www.ecn.nl/docs/library/report/2011/e11046.pdf">http://www.ecn.nl/docs/library/report/2011/e11046.pdf</a>
C/N verhouding		60		<a href="http://www.ecn.nl/phyllis">www.ecn.nl/phyllis</a> , untreated wood: <a href="http://www.ecn.nl/phyllis">www.ecn.nl/phyllis</a> , untreated wood: <a href="http://www.ecn.nl/phyllis">wood and wood mixed (C/N: 80 and 40, average taken)</a>
Vochtgehalte		50%		
<b>Methaan</b>				
Moleculair gewicht methaan		16 g/mol		Perry, cover
Cp/Cv		1,31		Perry, 3.144
Dichtheid gasfase		0,62 kg/m3		Via ideale gaswet
Dichtheid als vloeistof		422,62 kg/m3		<a href="http://encyclopedia.airliquide.com/">http://encyclopedia.airliquide.com/</a>
Verbrandingswaarde		50 MJ/kg		<a href="http://en.wikipedia.org/wiki/Heat_of_combustion">http://en.wikipedia.org/wiki/Heat_of_combustion</a>
verbrandingswaarde gasfase		35,8 MJ/m3 gasfase		berekening
verbrandingswaarde vloeistof		21,1 MJ/liter		berekening
<b>Methanol</b>				
energieinhoud		21,3 MJ/kg		<a href="http://en.wikipedia.org/wiki/Energy_content_of_biofuel">http://en.wikipedia.org/wiki/Energy_content_of_biofuel</a>

Gegevens	Waarde	eenheid	opmerkingen	Bron
Pyrolyse olie				
Energiedichtheid	18	GJ/ton		Millieffectrapportage (MER) Pyrolysefabriek Hengelo (Ov), 29 maart 2010, BTG biomass technology group B.V. enschede, p. 60 en p. 59 (berekening)
Water				
Verdampingswarmte	2260	KJ/kg water		<a href="http://nl.wikipedia.org/wiki/Verdampingswarmte">http://nl.wikipedia.org/wiki/Verdampingswarmte</a>
Warmtecapaciteit	4,2	KJ/Kg/K		<a href="http://nl.wikipedia.org/wiki/Soortelijke_warmte">http://nl.wikipedia.org/wiki/Soortelijke_warmte</a>

Gegevens	Waarde	Eenheid	bron
<b>Vergisting</b>			
<i>GFT</i>			
Biogasproductie GFT	103,5	m3 biogas/	<a href="http://www.ivam.uva.nl/fileadmin/user_upload/PDF_documenten/rapporten/Milieu-analyse_vergisten_GFT-afval_IVAM_20080220o.pdf">http://www.ivam.uva.nl/fileadmin/user_upload/PDF_documenten/rapporten/Milieu-analyse_vergisten_GFT-afval_IVAM_20080220o.pdf</a>
Methaangehalte GFT	55%		<a href="http://www.ivam.uva.nl/fileadmin/user_upload/PDF_documenten/rapporten/Milieu-analyse_vergisten_GFT-afval_IVAM_20080220o.pdf">http://www.ivam.uva.nl/fileadmin/user_upload/PDF_documenten/rapporten/Milieu-analyse_vergisten_GFT-afval_IVAM_20080220o.pdf</a>
Ds gehalte	48%		informatie conversiedatasheets ECP project
water-additie	50%		Studentenproject Avans Hogeschool 2011
Fractie welke gecomposteerd wor	87%		Studentenproject Avans Hogeschool 2011
			<a href="http://www.google.nl/url?sa=t&amp;rct=j&amp;q=ecologische_en_economische_voor_delen_gft-%09_en_groencompost.pdf&amp;source=web&amp;cd=1&amp;sqi=2&amp;ved=0CCEQFjAA&amp;url=http%3A%2F%2Fwww.vlaco.be%2Fsystem%2Ffiles%2Fgenerated%2Ffiles%2Finfo%2Fecologische_en_economische_voordelen_gft-en_groencompost.pdf&amp;ei=cE_ftsi0ln0-gba-PnMBQ&amp;usq=AfQjCNHi2Z_jo6hZ3hKgeUSW0I4GQG-dXg&amp;cad=rja">http://www.google.nl/url?sa=t&amp;rct=j&amp;q=ecologische_en_economische_voor_delen_gft-%09_en_groencompost.pdf&amp;source=web&amp;cd=1&amp;sqi=2&amp;ved=0CCEQFjAA&amp;url=http%3A%2F%2Fwww.vlaco.be%2Fsystem%2Ffiles%2Fgenerated%2Ffiles%2Finfo%2Fecologische_en_economische_voordelen_gft-en_groencompost.pdf&amp;ei=cE_ftsi0ln0-gba-PnMBQ&amp;usq=AfQjCNHi2Z_jo6hZ3hKgeUSW0I4GQG-dXg&amp;cad=rja</a>
C/N verhouding vergist GFT	25,9		<a href="http://www.wotnatuuremilieu.wur.nl/NR/rdonlyres/D6F6180D-DEA1-440C-8072-0EBD2AD283A4/20613/WOtrapport_5.pdf">http://www.wotnatuuremilieu.wur.nl/NR/rdonlyres/D6F6180D-DEA1-440C-8072-0EBD2AD283A4/20613/WOtrapport_5.pdf</a> , p. 28
asrest	45%	van DS	MILIEUEFFECTRAPPORT LANDELIJK AFVALBEHEERPLAN
Fosfaat	6,2	kg/kg mine	<a href="http://www.wotnatuuremilieu.wur.nl/NR/rdonlyres/D6F6180D-DEA1-440C-8072-0EBD2AD283A4/20613/WOtrapport_5.pdf">http://www.wotnatuuremilieu.wur.nl/NR/rdonlyres/D6F6180D-DEA1-440C-8072-0EBD2AD283A4/20613/WOtrapport_5.pdf</a> , p. 28
<i>Rundermest</i>			
			<a href="http://www.lfl.bayern.de/ilb/technik/10225">www.lfl.bayern.de/ilb/technik/10225</a>
DS gehalte	8,50%		
ODS gehalte	85%		
Nm3 biogas/ton ODS	280		
Nm3/ton mest	20,2		
methaangehalte	55%		
C/N verhouding dikke fractie	21,3		<a href="http://edepot.wur.nl/161899">http://edepot.wur.nl/161899</a>
Fosfaatgehalte	1,6	kg/ton	<a href="http://www.bodemacademie.nl/documenten/94.pdf">http://www.bodemacademie.nl/documenten/94.pdf</a>
<i>Varkensmest</i>			
			<a href="http://www.lfl.bayern.de/ilb/technik/10225">www.lfl.bayern.de/ilb/technik/10225</a>
DS gehalte	6,0%		
ODS gehalte	85%		
Nm3 biogas/ton ODS	400		
Nm3/ton mest	20,4		
methaangehalte	60%		
C/N verhouding dikke fractie	12,6		<a href="http://edepot.wur.nl/161899">http://edepot.wur.nl/161899</a>
varkensdrijfmest gemiddeld	3,6	kg/ton mes	<a href="http://www.bodemacademie.nl/documenten/94.pdf">http://www.bodemacademie.nl/documenten/94.pdf</a>
<i>glycerine</i>			
			<a href="http://www.lfl.bayern.de/ilb/technik/10225/?sel_list=31%2Cb&amp;strsearch=&amp;pos=left">http://www.lfl.bayern.de/ilb/technik/10225/?sel_list=31%2Cb&amp;strsearch=&amp;pos=left</a>
Nm3 biogas/ton glycerine (db)	846		Bron:
Glycerolgehalte glycerine	85%		<a href="http://www.lfl.bayern.de/ilb/technik/10225/?sel_list=1%2Cb&amp;strsearch=&amp;pos=left">http://www.lfl.bayern.de/ilb/technik/10225/?sel_list=1%2Cb&amp;strsearch=&amp;pos=left</a>
CH4 gehalte	50%		
<i>natuurgras</i>			
ODS gehalte	87%		Meetresultaten BTG. Vers gras, 3x ingekuuld gras, zomer 2012
Nm3 biogas/ton ODS	245		Meetresultaten BTG. Vers gras, 3x ingekuuld gras, zomer 2012
methaangehalte	54%		Meetresultaten BTG. Vers gras, 3x ingekuuld gras, zomer 2012
			WUR: "Verkennde studie, inpassing van gras uit natuurbeheer in rantsoenen van melkvee", Praktijkrapport Rundvee 64,
P-gehalte	4,2	kg/ton ds	<a href="http://edepot.wur.nl/27954">http://edepot.wur.nl/27954</a> , p. 12
P2O5	9,6	kg/ton ds	
<b>Verbranding biogas in WKK</b>			
productie elektriciteit	37%		<a href="http://www.ecn.nl/docs/library/report/2011/e11054.pdf">http://www.ecn.nl/docs/library/report/2011/e11054.pdf</a>
productie warmte	47%		<a href="http://www.ecn.nl/docs/library/report/2011/e11054.pdf">http://www.ecn.nl/docs/library/report/2011/e11054.pdf</a>
<b>LBM productie</b>			
LBM productie per m3 methaan	0,72	kg/m3 methaan	
	1,70	liter LBM/m3 methaan	
Energieverbruik	0,25 kWh per nr		Zie sheet "Technologieberekeningen", tab "groen gas en LBM"
	0,15 kWh per nr		Zie sheet "Technologieberekeningen", tab "groen gas en LBM"
Methaanverlies	0,5%	van metha	Zie sheet "Technologieberekeningen", tab "groen gas en LBM"



Gegevens	Waarde	Eenheid	bron
<b>Grasraffinage</b>			
Ruw eiwitgehalte natuurgras	17,7%	percentage	11 Praktijkrapport Rundvee,64, "Verkennde studie: Inpassing van gras uit natuurbeheer in rantsoenen van melkvee", februari 2005, ISSN 1570-8616, p. Er worden in deze bron ook lagere percentages genoemd. Hier wordt het langjarige gemiddelde genomen
Energieverbruik persstap		16,9	Biopol, deliverable 1.3. p. 7
<b>Eiwitscheiding</b>			
			WUR: "Verkennde studie, inpassing van gras uit natuurbeheer in rantsoenen van melkvee", Praktijkrapport Rundvee 64, 177 <a href="http://edepot.wur.nl/27954">http://edepot.wur.nl/27954</a> , p. 11
		70%	Edwin Keijzer, WUR, persoonlijke communicatie, 11 mei 2012, zie gespreksverslag
		50%	Edwin Keijzer, WUR, persoonlijke communicatie, 11 mei 2012, zie gespreksverslag
		10%	E-kwadraat, "Eindrapportage grasraffinage in Oostelijk Flevoland: een Business plan", 17 januari 2011, p. 8
<b>Energieverbruik eiwitafscheiding</b>			
			O'Keefe, S.M. "Alternative use of Grassland Biomass for Biorefinery in Ireland: A Scoping study", PhD Thesis, Wageningen University, ISBN, 978-90-270 8585-809-6, p.
			O'Keefe, S.M. "Alternative use of Grassland Biomass for Biorefinery in Ireland: A Scoping study", PhD Thesis, Wageningen University, ISBN, 978-90-5,75 8585-809-6, p.
<b>Pyrolyse</b>			
Maximale vochtgehalte ingang			Millieueffectrapportage (MER) Pyrolysefabriek Hengelo (Ov), 29 maart 2010, 5% BTG biomass technology group B.V. enschede, p. 51
Energetische efficiëntie			Millieueffectrapportage (MER) Pyrolysefabriek Hengelo (Ov), 29 maart 2010, 54% BTG biomass technology group B.V. enschede, p. 60 Millieueffectrapportage (MER) Pyrolysefabriek Hengelo (Ov), 29 maart 2010, 29% BTG biomass technology group B.V. enschede, p. 60 Millieueffectrapportage (MER) Pyrolysefabriek Hengelo (Ov), 29 maart 2010, 1,3% BTG biomass technology group B.V. enschede, p. 60
<b>Droging</b>			
Thermische efficiëntie		70%	Ulrich, G.D., "A guide to chemical engineering Process Design and Economics", 1984, Wiley and Sons, p. 132, gemiddeld, direct kiln
<b>Verkleining</b>			
Energie voor verkleining		116,8	G.D. Ulrich, "A guide to Chemical Engineering Process Design and Economics", ISBN 0-471-08276-7
<b>Biodieselproductie</b>			
Methanolbehoefte		21,0%	<a href="http://www.mybiofuels.net/Pubs/2003_BD_Prod_WVO.pdf">http://www.mybiofuels.net/Pubs/2003_BD_Prod_WVO.pdf</a>
water		13,7%	<a href="http://www.mybiofuels.net/Pubs/2003_BD_Prod_WVO.pdf">http://www.mybiofuels.net/Pubs/2003_BD_Prod_WVO.pdf</a>
H2SO4		14,6%	
Glycerineproductie		12,5%	<a href="http://www.mybiofuels.net/Pubs/2003_BD_Prod_WVO.pdf">http://www.mybiofuels.net/Pubs/2003_BD_Prod_WVO.pdf</a>
Opbrengst biodiesel		97,1%	<a href="http://www.mybiofuels.net/Pubs/2003_BD_Prod_WVO.pdf">http://www.mybiofuels.net/Pubs/2003_BD_Prod_WVO.pdf</a>
residu stromen		39,6%	<a href="http://www.mybiofuels.net/Pubs/2003_BD_Prod_WVO.pdf">http://www.mybiofuels.net/Pubs/2003_BD_Prod_WVO.pdf</a>
Energiebehoefte (stoom)		1,10	<a href="http://www.mybiofuels.net/Pubs/2003_BD_Prod_WVO.pdf">http://www.mybiofuels.net/Pubs/2003_BD_Prod_WVO.pdf</a>
energiebehoefte (elektriciteit)		60	<a href="http://www.mybiofuels.net/Pubs/2003_BD_Prod_WVO.pdf">http://www.mybiofuels.net/Pubs/2003_BD_Prod_WVO.pdf</a>

# Energie Conversie Parken

financiers:



projectpartners:



subcontractors:

