



INZET VAN BIOMASSA/AFVALSTROMEN IN HET DROOGPROCES VAN GIBO

K. Hemmes
R.W.R. Zwart
A.B.J. Oudhuis
H. van Hest

Revisies		
A	Concept versie	
B	Eindversie	
Opgesteld door: K.Hemmes / R.W.R. Zwart	Goedgekeurd/vrijgegeven door: H.J. Veringa	ECN Biomassa
Geverifieerd door: A. Oudhuis		

Verantwoording

Deze openbare rapportage omvat de resultaten van het project "Inzet van biomassa/afvalstromen in het droogproces van GIBO" (ECN projectnummer 75274). Het project is uitgevoerd door ECN in samenwerking met GIBO en medegefinancierd door SenterNovem (projectnummer 2020-04-13-24-004, programma Duurzame Energie Nederland 2004).

Basisopzet voor evaluatie en implementatie WKK systemen

Binnen het project is een werkwijze gehanteerd van "matrix"-voorevaluatie, gevolgd door een meer gedetailleerde technische en economische evaluatie van de meest veelbelovende conversietechnologieën om te komen tot een uiteindelijke technologiekeuze en voorontwerp voor GIBO. Deze werkwijze, alsmede het opgestelde plan van aanpak om te komen tot realisatie, kan generiek dienen als een basis opzet voor de evaluatie en implementatie van WKK systemen bij midden en groot gas verbruikers.

Kennisoverdracht

Dit openbare eindrapport, dat gratis verkrijgbaar is via de internetsites van zowel ECN (www.ecn.nl) als SenterNovem (www.senternovem.nl), bevat derhalve alle niet-confidentiële informatie zoals gerapporteerd in het confidentiële eindrapport ECN-CX--05-036, "Inzet van biomassa / afvalstromen in het droogproces van GIBO". Geïnteresseerden kunnen voor meer informatie terecht op de eerder genoemde internetsites of contact opnemen met Mw. Hemmes of Dhr. Zwart middels het e-mail adres biomassa@ecn.nl.

Abstract

In this feasibility study the application of biomass and waste streams as source of energy within the existing drying facility of Gipsbouw BV (GIBO), a Dutch producer of non-load-bearing wall-building materials made of gypsum, is examined. The existing industrial drying process is operated non-stop for 5 days and switched off during the weekends. It has an annual natural gas consumption of 3.3 million m³_n, which is combusted in several burners with excess air in order to provide a drying medium with a temperature of approximately 150°C. The base load of this system amounts to 4 MW_{th} heat, with peak demands up to 8 MW_{th} heat.

As GIBO has no biomass or organic waste streams at its disposal these streams have to be contracted from other parties, therefore not restricting the type of biomass conversion technologies. Hence, thermochemical conversion (*i.e.* combustion, gasification & smelt) as well as anaerobic digestion have been taken into consideration. Furthermore, heat recovery from the flue gases as well as heat transfer from a local power plant have been evaluated. It has been concluded that anaerobic digestion should both technically and economically be preferred.

The required investments have a reasonable pay-back time of approximately four years for both co-digestion of manure and corn as well as digestion of municipal solid biodegradable waste. A 17 step implementation plan for these two digestion types has been constructed, which also takes into consideration the option of leasing the digestion plant, hence reducing the financial risks of implementation towards GIBO.

Keywords

Afval

Biomassa

Droogproces

GIBO

Haalbaarheid

Implementatie

Rookgascondensatie

Verbranding

Vergassing

Vergisting

Vergunningsaspecten

WKK

INHOUD

LIJST VAN TABELLEN	5
LIJST VAN FIGUREN	6
SAMENVATTING	7
1. INLEIDING	11
2. GIBO GIPSBOW B.V.	13
2.1 Bedrijfsprofiel	13
2.2 Droogproces	13
2.3 Huidig verbruik	13
2.3.1 Aardgas	13
2.3.2 Elektriciteit	15
2.3.3 Grondwater	15
2.4 Aannames omtrent huidig verbruik	15
2.5 Doelstelling GIBO	16
3. BESCHIKBAARHEID BIOMASSA/AFVALSTROMEN	17
3.1 Beschouwde brandstoffen	17
3.1.1 Brandstof versus conversietechnologie	18
3.1.2 Voorkeurstecnologie en –brandstof	19
3.2 Evaluatie potentieel beschikbare biomassa/afvalstromen	19
4. CONVERSIETECHNOLOGIEËN	21
4.1 Verbranding	21
4.1.1 Verbrandingstypen	21
4.1.2 Krachtwerktuigen (“prime movers”)	22
4.1.3 Geïntegreerde systemen	23
4.1.4 Leveranciers installaties	23
4.2 Vergassing	25
4.2.1 Vergassingstechnologieën	26
4.2.2 Geïntegreerde systemen	28
4.2.3 Leveranciers installaties	30
4.3 Smelten	30
4.4 Vergisting	30
4.4.1 Principe van anaërobe vergisting	31
4.4.2 Geïntegreerde systemen	33
4.4.3 Materiaal- en energiebalans	34
4.4.4 Leveranciers installaties	35
5. ECONOMISCHE EVALUATIE	37
5.1 Investeringskosten	37
5.2 Terugverdientijden en Netto Contante Waarde	39
5.3 Alternatieve verwerkingslocatie	42
5.4 Subsidiemogelijkheden	43
5.4.1 CO ₂ -reductieplan	43
5.4.2 Energiefonds Provincie Utrecht	44
5.4.3 Energie-investeringsaftrek (EIA)	44
5.4.4 Groei- en Milieuprogramma van het Europees Investeringsfonds	45
5.4.5 Groen beleggen / groene financiering	45
5.4.6 Milieu-investeringsaftrek (MIA)	45
5.4.7 Stimulering milieukwaliteit elektriciteitsproductie (MEP)	45
5.4.8 VAMIL - Regeling Willekeurig Afschrijving Milieu-investeringen	46

6.	OPTIMALISATIE ROOKGASTRAJECT	47
6.1	Warmteterugwinning in rookgastraject	47
6.1.1	Potentiële toepassingen voor restwarmte	47
6.1.2	Besparingspotentieel voorverwarming verbrandingslucht	48
6.1.3	Risico's van warmteterugwinning in het rookgastraject	49
6.2	Warmtekoppeling met NUON centrale Lage Weide of Merwedekanaal	50
6.2.1	Centrale Lage Weide	50
6.2.2	Centrale Merwedekanaal	50
6.2.3	Technische en economische haalbaarheid	50
7.	TECHNOLOGIEKEUZE EN VOORONTWERP	52
7.1	Warmtelevering middels vergisting	52
7.2	Technologiekeuze en bedrijfsvoering	54
7.3	Plan van aanpak	56
7.3.1	Algemeen stappenplan	56
7.3.2	Concreet stappenplan voor GIBO	57
8.	CONCLUSIES & AANBEVELINGEN	60
	REFERENTIES	62
	BIJLAGE A BRANDSTOF VS. TECHNOLOGIE	64
A.1	Kleurcodering	64
A.2	Niet geëvalueerde conversietechnologieën	64
A.3	Beoordelingsaspecten	65
A.3.1	Verwachte exploitatiekosten	65
A.3.2	Initiële investeringskosten	65
A.3.3	Kosten gerelateerd aan afvalstoffen	65
A.3.4	Brandstofkosten	66
A.3.5	Onderhoudskosten	66
A.3.6	Emissies	66
A.3.7	Continuïteit brandstoflevering in de komende jaren	66
A.3.8	Bedreiging prijsstijging brandstoffen	66
A.3.9	Betrouwbaarheid installatie	67
A.3.10	Gangbare schaalgroottes voor de specifieke conversietechnologieën	67
A.3.11	Vochtgehaltes brandstoffen	67
A.3.12	Terugverdiertijden	67
A.4	Matrix	68
	BIJLAGE B BIOMASSA/AFVALSAMENSTELLING	70
B.1	Groenten-, Fruit- en Tuinafval (GFT)	70
B.2	Organische Natte Fractie (ONF)	71
	BIJLAGE C CORRESPONDENTIE <i>(alleen in het confidentiële eindrapport)</i>	72
	BIJLAGE D VERGISTING <i>(alleen in het confidentiële eindrapport)</i>	74
	BIJLAGE E PLATTEGROND UTRECHT	76

LIJST VAN TABELLEN

Tabel 2.1	<i>Temperatuurprofiel over de tunneldroger</i>	13
Tabel 2.2	<i>Aannames omtrent huidig verbruik</i>	15
Tabel 3.1	<i>Beschouwde brandstoffen</i>	17
Tabel 4.1	<i>Belangrijkste leveranciers van (houtgestookte) verbrandingsinstallaties</i>	25
Tabel 4.2	<i>Vermogensranges van de meest gangbare vergassers</i>	28
Tabel 4.3	<i>Vermogensranges van de meest gangbare krachtwerktuigen</i>	28
Tabel 4.4	<i>Belangrijkste leveranciers van vergassingsinstallaties</i>	30
Tabel 4.5	<i>Overzicht van de in Nederland beschikbare agri-organische bijproducten met hun potentiële energie productie en CO₂ vermindering door vergisting</i>	32
Tabel 5.1	<i>Verschillende aangeschreven fabrikanten per technologie</i>	37
Tabel 5.2	<i>Overige aannames</i>	39
Tabel 5.3	<i>MEP vergoedingen voor duurzame energie</i>	46
Tabel 6.1	<i>Temperatuurniveaus in huidige schoorsteentraject</i>	47
Tabel 6.2	<i>Besparing op aardgasverbruik als gevolg van warmteterugwinning in rookgastraject</i>	49
Tabel 6.3	<i>Eigenschappen warmteterugwinning in rookgastraject</i>	49
Tabel 7.1	<i>Ranking van de technologieën op basis van de economie en de risico's</i>	54
Tabel B.1	<i>Samenstelling Groenten-, Fruit- en Tuinafval (GFT)</i>	70
Tabel B.2	<i>Samenstelling Organische Natte Fractie (ONF)</i>	71

LIJST VAN FIGUREN

Figuur 2.1	<i>Situatieschets bedrijfsterrein GIBO Gipsbouw BV</i>	14
Figuur 2.2	<i>Aardgasverbruik in het 1^e kwartaal van 2004</i>	14
Figuur 4.1	<i>Onderschroefstoker van de firma Nolting</i>	24
Figuur 4.2	<i>Inwerpinstallatie van Awina Anlage</i>	24
Figuur 4.3	<i>Schuifrooster verbrandingsinstallatie van de firma Reka</i>	24
Figuur 4.4	<i>Schematische voorstelling CFB vergasser/gasmotor systeem</i>	29
Figuur 4.5	<i>Verskillende vergistings systemen</i>	31
Figuur 4.6	<i>Snelheid van omzetting en cumulatieve biogasproductie bij anaërobe conversie van GFT-afval</i>	34
Figuur 4.7	<i>Water- en vaste stofbalans bij anaërobe conversie van GFT-afval</i>	35
Figuur 5.1	<i>Investeringskosten als functie van het thermisch vermogen van de verschillende conversietechnologieën</i>	37
Figuur 5.2	<i>Investeringskosten als functie van het elektrisch vermogen van de verschillende conversietechnologieën</i>	38
Figuur 5.3	<i>Terugverdientijd als functie van de kosten/opbrengsten van de biomassa/reststromen voor een verbrandingsinstallatie</i>	40
Figuur 5.4	<i>Terugverdientijd als functie van de kosten/opbrengsten van de biomassa/reststromen voor een vergistinginstallatie van BioFerm</i>	40
Figuur 5.5	<i>Terugverdientijd als functie van de kosten/opbrengsten van de biomassa/reststromen voor een vergistinginstallatie van BTA</i>	41
Figuur 5.6	<i>Ontwikkeling van de netto contante waarde voor de verschillende installaties</i>	41
Figuur 5.7	<i>Internal rate of return en terugverdientijd als functie van de grondprijs</i>	42
Figuur 6.1	<i>Benutting restwarmte rookgas voor voorverwarming lucht</i>	48
Figuur 7.1	<i>Co-vergisting van mest met additionele organische stromen (e.g. maïs)</i>	52
Figuur 7.2	<i>Vergisting van huishoudelijk afval</i>	53
Figuur 7.3	<i>Ontwikkeling van de netto contante waarde</i>	55
Figuur 7.4	<i>Algemene planning biologische en thermische conversieprocessen</i>	56
Figuur 7.5	<i>Stappenplan voor GIBO</i>	58
Figuur A.1	<i>Grafische uitleg van de matrix</i>	64

SAMENVATTING

Inleiding

Een van de mogelijkheden voor de opwekking van duurzame energie is het gebruik maken van biomassa. In deze richting lopen een groot aantal initiatieven, zowel ten behoeve van warmte- als elektriciteitsproductie. De implementatiegraad blijft echter achter, mede vanwege complexiteit en daarbij behorende financiële risico's.

Probleemstelling

Voor GIBO geldt dat het huidige droogproces voor gipsblokken een aanzienlijke warmtevraag heeft (basislast 4 MW_{th}, met pieklasten tot 8 MW_{th}), welke momenteel gegenereerd wordt met behulp van aardgasbranders. Reductie van het aardgasgebruik en (gedeeltelijke) vervanging door biomassa kan bij GIBO derhalve leiden tot een aanzienlijke reductie van het verbruik aan primaire energie en resulterende CO₂-emissies. In een korte voorstudie is beoordeeld in hoeverre binnen het droogproces gebruik gemaakt kan worden van duurzame energie uit biomassa-/afvalstromen. Uit deze voorstudie is gebleken dat voor GIBO zowel verbranding, vergassing als vergisting potentieel interessante technologieën zijn voor WKK. Verder is in deze voorstudie gebleken dat primaire maatregelen in het rookgastraject eveneens tot een reductie in het verbruik van primaire energie zouden kunnen leiden. Het is vooralsnog echter nog niet duidelijk welke technologie/maatregel technisch en economisch het meest aantrekkelijk is.

Doelstelling

Het project "Inzet van biomassa-/afvalstromen binnen het droogproces van GIBO" heeft als doelstelling de technische/economische haalbaarheid van enerzijds het inzetten van biomassa-en/of afvalstromen binnen het droogproces van gipsblokken en anderzijds de reductie van de huidige "schoorsteenverliezen" te bepalen. Het uiteindelijke doel van GIBO is het bewerkstelligen van een reductie van het jaarlijkse aardgasverbruik en daarmee een vermindering van de productiekosten van de gipsblokken. Daar GIBO zelf niet beschikt over potentieel interessante biomassa-/afvalstromen zijn (na een eerste evaluatie) drie WKK technologieën interessant voor de opwekking van duurzame energie als alternatief voor aardgas, te weten verbranding, vergassing en vergisting. Voor aanvoer van de benodigde biomassa kan gebruik gemaakt worden van transport over water, daar GIBO gesitueerd is aan het Amsterdam-Rijn-kanaal, industrieterrein Lage Weide, Utrecht. Doelstelling van het onderhavige project is op basis van zowel technische als economische haalbaarheid de voor GIBO meest interessante technologie te kunnen benoemen en een concreet stappenplan te presenteren om daadwerkelijk tot implementatie van deze technologie te komen.

Werkwijze

Om te komen tot een keuze van conversietechnologie welke voor GIBO het meest interessant is om te implementeren binnen het bestaande droogproces ten behoeve van de reductie/substitutie van het huidige aardgasverbruik is in deze haalbaarheidsstudie gekeken naar:

- ✓ de in aanmerking komende biomassa-/afvalstromen
- ✓ in hoeverre de drie technologieën afzonderlijk daadwerkelijk geïntegreerd kunnen worden binnen het bestaande droogproces en
- ✓ in hoeverre een of meerdere van deze technologieën economisch gezien interessant is

Daartoe zijn aan de hand van enerzijds een evaluatie van potentieel beschikbare biomassa-/afvalstromen in de omgeving van GIBO en anderzijds de inpasbaarheid binnen c.q. aanpasbaarheid van het bestaande droogproces de technologieën verbranding, vergassing en vergisting technisch-economisch geëvalueerd.

In geval van verbranding zal direct warmte geproduceerd worden. Deze kan direct gebruikt worden als droogmedium binnen het bestaande droogproces, maar ook ingezet worden voor de productie van elektriciteit (e.g. stoommotor) In deze optie wordt elektriciteit geproduceerd worden (welke zowel binnen het bedrijf ingezet of aan het net geleverd zou kunnen worden) en kan de (resterende) warmte van de stoommotor binnen de drooginstallatie benut worden. Bij vergassing en vergisting wordt allereerst stook- of biogas gevormd. Deze gassen kunnen rechtstreeks toegepast worden in de huidige gasbranders, maar ook hier geldt dat de WKK optie, gebruik makende van nieuw te installeren gasmotoren, tot de mogelijkheden behoort.

Twee andere opties zijn het (voor)verwarmen van (droog)lucht door (1) terugwinnen van warmte in het rookgastraject en (2) warmtekoppeling met de NUON centrale Lage Weide of Merwedekanaal.

Conclusies

Deze haalbaarheidsstudie heeft geleid tot een technologiekeuze, een voorontwerp van deze technologie en een plan van aanpak om tot daadwerkelijke implementatie te komen. Deze zijn verwoord in de volgende conclusies.

- 1) Zowel vergisting, vergassing en verbranding als luchtvoorverwarming middels een afgassen warmtewisselaar zijn technisch allen mogelijk
- 2) Stoomafname van de NUON centrale is technisch ongewenst daar dit het werkgebied van de centrale aanzienlijk wijzigt
- 3) Vergisting is economisch aantrekkelijker dan verbranding en vergassing, afgassen warmtewisselaar en stoom afnemen van de NUON centrale. Deze laatste twee geven een te geringe besparing om de hiervoor noodzakelijke investeringen te rechtvaardigen
- 4) De potentieel interessante vergistingconcepten zijn:
 - GFT vergisting
 - Co-vergisting van organische fracties (b.v. maïs & mest)
- 5) Voor vergisting zijn er twee opties:
 - Installatie in eigen beheer (b.v. van BTA)
 - Installatie pas na 4 jaar in eigen beheer, daarvoor leasen (b.v. van BioFerm)waarbij afgaande op de netto contante waarde (NCW) en de te verwachte levensduur van een vergistinginstallatie is het op lange termijn economisch aantrekkelijker om voor een in eigen beheer bedreven vergistinginstallatie te kiezen en niet voor lease
- 6) Afgaande op risico is het aantrekkelijker om voor een in lease beheer bedreven vergistinginstallatie te kiezen en niet voor eigen beheer
- 7) Een installatie dient bij voorkeur geplaatst te worden als warmtekrachtkoppeling en niet als stand-alone elektriciteitsproductiecentrale
- 8) Beschikbare biomassa/afvalstromen
 - *RHD, reinigings- en havendienst Utrecht*
De reinigings- en havendienst van de gemeente Utrecht zamelt op jaarbasis 100.000 ton huisvuil en GFT in. Het GFT afval gaat momenteel via het overlaadstation Lage Weide per trein naar de composteringsinstallatie van ESSENT te Wijster.
 - *SITA recycling services*
SITA heeft biomassa/afvalstromen die voor vergisting in aanmerking komen zoals swill, uitgepakte levensmiddelen en putvetten.

- *BioFerm*
Regelt bij bouw en bedrijf van een vergistingsinstallatie zelf maïs en mest

- 9) De uiteindelijke technologiekeuze is afhankelijk van zowel het financiële als het bedrijfsrisico dat GIBO kan en wil nemen

Vanwege omvang en complexiteit van de GFT vergistingsinstallatie lijkt deze voor GIBO op voorhand minder aantrekkelijk, alhoewel deze optie economisch gezien het beste scoort. GFT vergisting is vanwege de uitgebreide voorbereiding minder interessant (personele bezetting, investerings- en bedrijfsrisico, benodigd grondoppervlak en digestaat afzet). Daarentegen kan GFT vergisting voor de gemeente Utrecht een aantrekkelijk alternatief zijn voor de huidige verwerking van het GFT afval. GFT vergisting lijkt derhalve alleen een reële optie als de gemeente bereid is te participeren.

Aanbevelingen

Om te komen tot de daadwerkelijke implementatie van een vergistinginstallatie is het aan te bevelen de volgende acties te ondernemen:

- 1) informeren naar noodzakelijke (additionele) vergunningen en de mogelijke participatie van derden in GFT vergisting (Gemeente Utrecht)
- 2) concrete offertes aanvragen voor het basic design / contract onderhandelingen (BTA / BioFerm / Haase)
- 3) detail uitwerking van financiering en subsidiemogelijkheden (EZ / SenterNovem / Banken / Gemeente / Provincie)
- 4) vastleggen van garanties ten aanzien van elektriciteit levering en de afname van het GFT digestaat (NUON / Essent / AVR)
- 5) vastleggen van garanties ten aanzien van biomassa-/afvalstromen (*i.e.* contracteerbaarheid, levering, ...)

1. INLEIDING

Een van de mogelijkheden voor de opwekking van duurzame energie is het gebruik maken van biomassa. In deze richting loopt een groot aantal initiatieven, zowel ten behoeve van warmte- als elektriciteitsproductie. De implementatiegraad blijft echter achter, mede vanwege complexiteit en daarbij behorende financiële risico's.

Probleemstelling

Voor GIBO geldt dat hun huidige droogproces voor gipsblokken een aanzienlijke warmtevraag heeft (basislast 4 MW_{th}, met pieklasten tot 8 MW_{th}), welke momenteel gegenereerd wordt met behulp van aardgasbranders. Reductie van het aardgasgebruik en (gedeeltelijke) vervanging door biomassa zou bij GIBO derhalve kunnen leiden tot een aanzienlijke reductie van het verbruik aan primaire energie en resulterende CO₂-emissies. In een korte voorstudie is beoordeeld in hoeverre binnen het droogproces gebruik gemaakt kan worden van duurzame energie uit biomassa/afvalstromen. Uit deze voorevaluatie is gebleken dat voor GIBO zowel verbranding, vergassing als vergisting potentieel interessante technologieën kunnen zijn voor WKK (Zwart, 2004). Verder is in deze voorstudie gebleken dat primaire maatregelen in het rookgastraject eveneens tot een reductie in het verbruik van primaire energie zouden kunnen leiden. Het is vooralsnog echter nog niet duidelijk welke technologie/maatregel technisch en economisch het meest aantrekkelijk is.

Doelstelling

Het project "Inzet van biomassa-/afvalstromen binnen het droogproces van GIBO" heeft als doelstelling de technische/economische haalbaarheid van enerzijds het inzetten van biomassa-en/of afvalstromen binnen het droogproces van gipsblokken en anderzijds de reductie van de huidige "schoorsteenverliezen" te bepalen. Daar GIBO zelf niet beschikt over potentieel interessante biomassa-/afvalstromen zijn (na een eerste evaluatie) drie WKK technologieën interessant voor de opwekking van duurzame energie, te weten verbranding, vergassing en vergisting. Met een relatief gunstige ligging voor aanvoer van bijvoorbeeld sloophout en RDF (GIBO is gesitueerd aan het Amsterdam-Rijn-kanaal, industrieterrein Lage Weide, Utrecht) én met potentieel over (natte) biomassa-/afvalstromen beschikkende bedrijven als Smith en Douwe Egberts in de nabijheid is de keuze voor een van deze drie technologieën niet direct op voorhand te maken zijn. Doelstelling van het onderhavige project is op basis van zowel technische als economische haalbaarheid de voor GIBO meest interessante technologie te kunnen benoemen en een concreet stappenplan te presenteren om daadwerkelijk tot implementatie van deze technologie te komen.

Werkwijze

Om te komen tot een keuze van conversietechnologie welke voor GIBO het meest interessant is om te implementeren binnen het bestaande droogproces wordt in deze haalbaarheidsstudie eerst gekeken naar de in aanmerking komende biomassa-/afvalstromen, in hoeverre de drie technologieën afzonderlijk daadwerkelijk geïntegreerd kunnen worden binnen het bestaande droogproces en in hoeverre een of meerdere van deze technologieën economisch gezien interessant is. Daarnaast is een plan van aanpak opgesteld om tot daadwerkelijke implementatie te komen.

Daartoe zijn aan de hand van enerzijds een evaluatie van potentieel beschikbare biomassa-/afvalstromen in de omgeving van GIBO en anderzijds de inpasbaarheid binnen c.q. aanpasbaarheid van het bestaande droogproces de technologieën verbranding, vergassing en vergisting technisch-economisch geëvalueerd.

In geval van verbranding zal direct warmte geproduceerd worden. Deze kan direct gebruikt worden als droogmedium binnen het bestaande droogproces, maar ook ingezet worden voor de productie van elektriciteit (e.g. stoommotor) In deze optie wordt elektriciteit geproduceerd worden (welke zowel binnen het bedrijf ingezet of aan het net geleverd zou kunnen worden) en kan de (resterende) warmte van de stoommotor binnen de drooginstallatie benut worden. Bij vergassing en vergisting wordt allereerst stook- of biogas gevormd. Deze gassen kunnen rechtstreeks toegepast worden in de huidige gasbranders, maar ook hier geldt dat de WKK optie, gebruik makende van nieuw te installeren gasmotoren, tot de mogelijkheden behoort.

De technische en economische evaluatie moet leiden tot een technologiekeuze, een voorontwerp van deze technologie en een plan van aanpak om te komen tot daadwerkelijke implementatie.

Indeling van dit rapport

Alvorens te komen tot de bepaling van de de technische/economische haalbaarheid van enerzijds het inzetten van biomassa- en/of afvalstromen binnen het droogproces van gipsblokken en anderzijds de reductie van de huidige “schoorsteenverliezen” worden de bedrijfssituatie van GIBO (hoofdstuk 2), de resultaten van de voorevaluatie (hoofdstuk 3) en de beschouwde technologieën (hoofdstuk 4) nader toegelicht. Een gedetailleerde economische evaluatie van zowel de conversietechnologieën als de optimalisatie van het rookgastraject volgt in respectievelijk hoofdstuk 5 en 6, waarna in hoofdstuk 7 de technologiekeuze en het voorontwerp voor GIBO zijn bepaald, inclusief een plan van aanpak om te komen tot realisatie. Het hoofdrapport wordt afgerond met de conclusies en aanbevelingen in hoofdstuk 8.

2. GIBO GIPSBOUW B.V.

2.1 Bedrijfsprofiel

GIBO Gipsbouw BV is opgericht in 1961 en bestaat derhalve in 2006 45 jaar. GIBO richt zich op enerzijds het produceren van gipsblokken voor niet-dragende scheidingswanden voor de woningbouw en utiliteitsbouw voor de Nederlandse markt en anderzijds het plaatsen van deze wanden in de woning- en utiliteitsbouw. GIBO heeft circa 95 werknemers in dienst, waarvan ongeveer 25 werknemers in een drie ploegendienst werken aan de productie van de gipsblokken. Circa 45 werknemers houden zich bezig met het plaatsen van de scheidingswanden, de overige werknemers verlenen intern ondersteunende diensten.

2.2 Droogproces

De gipsblokken worden in drie parallelle tunneldrogers met behulp van lucht gedroogd, waarbij het vochtgehalte van de blokken gereduceerd wordt tot circa 10% van het initiële vochtgehalte. Iedere drooglijn bestaat uit 9 droogsecties met temperaturen variërend van 40°C tot 125°C (zie tabel 2.1). De temperatuur in de droogsectie wordt geregeld met behulp van in totaal negen aardgasbranders per drooglijn. De temperaturen mogen hierbij niet te hoog oplopen vanwege het gevaar van verbranding van de gipsblokken.

Tabel 2.1 *Temperatuurprofiel over de tunneldroger*

Droogsectie:	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Temperatuur [°C]:	90	125	125	125	120	115	105	80	40

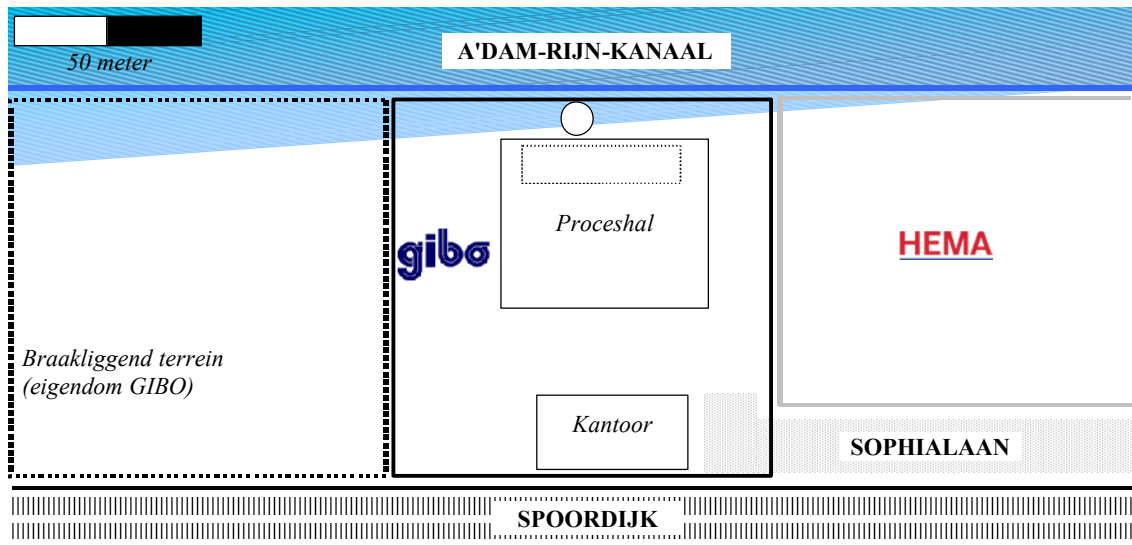
De gasbranders zijn geplaatst aan de bovenzijde van de tunneldroger, alwaar ook de afvoer van de rookgassen geschiedt. De tunneldrogers zijn in z'n geheel geplaatst binnen een grote hal waar tevens opslag van gedroogde gipsblokken plaatsvindt. De ruimte boven de drooginstallatie is voldoende groot om eventuele wijzigingen in aan- en afvoer van lucht/aardgas en rookgas te realiseren.

Een te realiseren bioenergie -installatie zal buiten de bestaande hal geplaatst dienen te worden. Het huidige terrein van GIBO biedt daartoe een beperkte ruimte. Naast de bestaande hal is een strook grond beschikbaar aan het Amsterdam-Rijn-kanaal van circa 5 bij 50 meter, welke vooralsnog benut wordt voor het lossen en opslaan van grondstoffen. Verder is er nog circa 2500 m² beschikbaar waar momenteel zowel opslag plaats vindt van ingepakte gipsblokken, alsmede de belading van de vrachtwagens. GIBO beschikt echter ook nog over een braakliggend stuk grond van circa 10.000 m² dat aangrenzend aan het in bedrijf zijnde terrein is gelegen.

2.3 Huidig verbruik

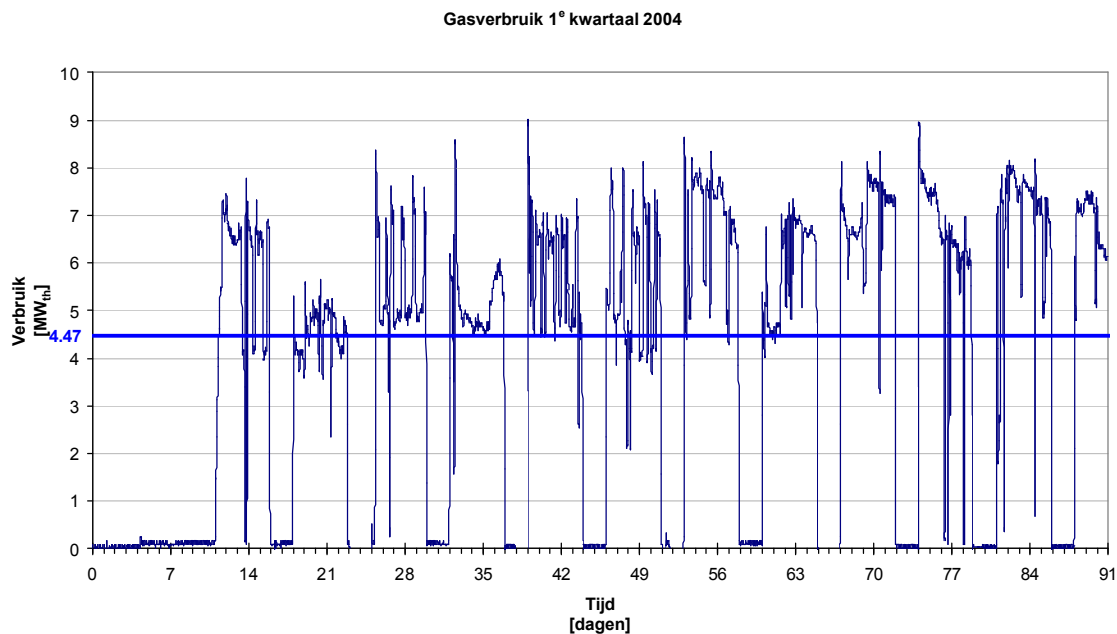
2.3.1 Aardgas

Het aardgasverbruik van GIBO bedroeg in de eerste drie maanden van 2004 circa 840.000 Nm³, of 3.350.000 Nm³ per jaar, ofwel een kostenpost van circa 600.000 € per jaar. Dit verbruik kan vrijwel volledig worden toegeschreven aan het gebruik van aardgas in de branders van de drooginstallatie. Deze vraag is grafisch weergegeven in figuur 2.2. Duidelijk is te zien dat de installatie slechts 5 dagen per week in gebruik is. Aangenomen is dan ook dat een nieuwe WKK installatie een bedrijfstijd heeft overeenkomstig de bedrijfstijd van de bestaande drooginstallatie, ofwel 6260 uur per jaar.



Figuur 2.1 *Situatieschets bedrijfsterrein GIBO Gipsbouw BV*

Aan de hand van het aardgasverbruik kan de basisvraag van de droger geschat worden op circa $4,5 \text{ MW}_{\text{th}}$. Uitgaande van een rendement van de gasbranders van 90% bedraagt de daadwerkelijke warmtevraag van het droogproces respectievelijk 4 MW_{th} (basislast) en 8 MW_{th} (pieklast). Derhalve zullen de WKK installaties ontworpen worden op een thermisch vermogen van $4,0$ en $8,0 \text{ MW}_{\text{th}}$ of op een gasproductie van $4,5 \text{ MW}_{\text{th}}$. In geval van een WKK installatie met thermisch vermogen van $8,0 \text{ MW}_{\text{th}}$ (pieklast) zal een aanzienlijke hoeveelheid warmte weg gekoeld moeten worden daar deze niet continu toegepast kan worden binnen het droogproces.



Figuur 2.2 *Aardgasverbruik in het 1^o kwartaal van 2004*

2.3.2 Elektriciteit

Het elektriciteitsverbruik van GIBO bedroeg in 2003 in de daluren 637.158 kWh en in de normale uren 1.213.178 kWh. Dit elektriciteitsverbruik is niet meegenomen in de verdere berekeningen. Daarentegen is wel rekening gehouden met teruglevering aan het elektriciteitsnet bij WKK bedrijf van de installaties. Omdat het voorzien in eigen verbruik een gegarandeerde vaste opbrengst heeft en teruglevering aan het net gekoppeld is aan een (onzekere) terugleververgoeding is het goed te weten hoe het huidige elektriciteitsverbruik zich verhoudt met de eventuele elektriciteitsproductie van de verschillende concepten.

Om te kunnen voorzien in het huidige gebruik zou de installatie een vermogen van circa 0,3 MW_e moeten hebben. Het elektrisch vermogen van de WKK installaties ligt met circa 2,5 MW_e (bij basislast bedrijf) en 5,0 MW_e (bij pieklast bedrijf) aanzienlijk hoger, zodat bij WKK bedrijf uitgegaan dient te worden van teruglevering aan het net. De terugleververgoeding kan, afhankelijk van de verkregen MEP vergoeding (§ 5.3), oplopen tot circa 12 €/kWh_e. In tegenstelling tot het thermisch vermogen kan het elektrisch vermogen bij een op pieklast ontworpen WKK installatie wel volledig benut worden.

2.3.3 Grondwater

Het verbruik aan grondwater binnen het productieproces van de gipsblokken bedraagt circa 32.000 m³ per jaar. Aangenomen is dat van dit grondwater circa 88% de droger in het rookgas verlaat. Deze aanname is gedaan naar aanleiding van de eerste gesprekken bij GIBO, maar is achteraf gezien wat aan de lage kant. De kosten voor het grondwater zijn met 17,85 €/m³ grondwater echter relatief laag, zodat een besparing op het watergebruik door het terugwinnen van condenswater uit het rookgas niet direct tot een grote financiële besparing zal leiden. Benutting van de restwarmte, daarentegen, kan wel tot een aanzienlijke aardgasbesparing leiden, zoals wordt besproken in hoofdstuk 6.

2.4 Aannames omtrent huidig verbruik

De aannames met betrekking tot het huidig verbruik van aardgas, elektriciteit en grondwater zijn in tabel 2.2 nog eens kort samengevat.

Tabel 2.2 *Aannames omtrent huidig verbruik*

Parameter	Aanname
Gas	
- verbruik	3.350.000 Nm ³ /jaar
- kosten gas	600.000 €/jaar
- rendement gasbranders	90 %
Elektriciteit	
- verbruik	1.850.000 kWh _e /jaar
- terugleververgoeding	<i>afhankelijk van te verwerken biomassa (§5.4.7)</i>
Grondwater	
- verbruik	32.000 m ³ /jaar
- kosten	17,85 €/m ³
- percentage water naar rookgas	88%
WKK installatie	
- bedrijfstijd	6260 uur/jaar
- gasproductie ten behoeve van de branders	4,5 MW _{th}
- thermisch vermogen bij basislast	4,0 MW _{th}
- thermisch vermogen bij pieklast	8,0 MW _{th}

2.5 Doelstelling GIBO

Door de plaatsing van een bioenergie-installatie hoopt GIBO het huidige aardgasverbruik van 3.350.000 Nm³ per jaar en daarmee een aanzienlijke jaarlijkse kostenpost drastisch te kunnen reduceren. Daarnaast speelt een verduurzaming van het huidige productieproces een belangrijke rol. Gestreefd wordt naar het gebruik van materialen en technieken die zo min mogelijk een beroep doen op primaire grondstoffen, die zo weinig mogelijk energie verbruiken en die afval tot een minimum beperken.

De gipselementen van Gipsbouw scoren op het vlak van duurzaamheid reeds uitzonderlijk hoog. Bij de fabricage wordt nagenoeg uitsluitend gebruik gemaakt van het industriële restproduct rookgasgips, dat overblijft bij rookgasontzwaveling in elektriciteitscentrales. Daarmee is de productie van Gibo gipselementen reeds heel duurzaam en milieuvriendelijk. Naast het feit dat natuurlijke hulpbronnen worden gespaard doordat geen natuurgips hoeft te worden gedolven, wordt tevens een industrieel restproduct omgezet in hoogwaardig bouw materiaal.

Het verminderen van het gebruik van de fossiele brandstof aardgas door gebruik te maken van biomassa en/of afvalstromen binnen het droogproces is een welkome aanvulling op het duurzame karakter van de gipsblokkenproductie.

3. BESCHIKBAARHEID BIOMASSA/AFVALSTROMEN

3.1 Beschouwde brandstoffen

Bij de totstandkoming van een bio-energie installatie is het van groot belang dat de initiatiefnemer zicht krijgt op de toekomstige beschikbaarheid en prijs van de in te zetten biomassa. Dit is met name het geval indien de initiatiefnemer, zoals bij GIBO, niet beschikt over in eigen beheer geproduceerde biomassa maar afhankelijk is van externe partijen. In een dergelijk geval kan onduidelijkheid omtrent eventuele toekomstige prijsverhogingen of afnemende beschikbaarheid van bepaalde biomassa- of afvalstromen een groot risico vormen voor het project. Het projectbureau duurzame energie (<http://www.duurzame-energie.nl>) heeft om die reden op haar internetsite een scala aan informatiemateriaal staan, alsmede het rekenprogramma "BioWizard.nl" dat inzicht biedt in de globale haalbaarheid van bio-energieprojecten (<http://www.biowizard.nl>), waarbij uitgegaan wordt van een dertigtal brandstoffen (zie tabel 3.1). In deze tabel zijn tevens karakteristieke kenmerken opgesomd, waarbij echter gezegd dient te worden dat opmerkingen ten aanzien van prijsniveau en continuïteit van de brandstoflevering zeer onzeker zijn.

Tabel 3.1 *Beschouwde brandstoffen*

Brandstof	Karakteristieken
¹ Drijfmest koeien	Relatief natte brandstof die lokaal verwerkt dient te worden. Strengere milieueisen kunnen de al negatieve marktprijs nog negatiever laten worden. Vanwege het hoge vochtgehalte is vergisting de voor de hand liggende conversietechnologie
² Drijfmest vleeskalveren	
³ Drijfmest vleeskoeien	
⁴ Drijfmest mestvarkens	
⁵ Drijfmest fokvarkens	
⁶ Legkippenmest	
⁷ Vleeskippenmest	Drogere ook verbrand-, vergas- en smeltbare meststromen. Kunnen wel getransporteerd worden, kosten en continuïteit daarmee onzeker
⁸ Pluimveemest	
⁹ Houtsnippers	Relatief goedkope droge brandstoffen, geschikt voor verbranding, smelt en vergassing. Kunnen geïmporteerd worden, continuïteit is daarmee redelijk zeker is, maar prijs kan toenemen
¹⁰ Schoon resthout	
¹¹ Houtpellets	Relatief dure droge brandstoffen, geschikt voor verbranding, smelt en vergassing. Kunnen geteeld en geïmporteerd worden, continuïteit is daarmee redelijk zeker, maar prijsniveau zal aan de hoge kant blijven
¹⁵ Miscanthus (<i>geteeld gras</i>)	
¹⁷ Stro van granen	
¹² A-hout	Potentieel interessante stromen voor E-opwekking, met concurrentie op het gebied van hergebruik (A) of bijstook / stort (B,C). Gerelateerd daaraan gevolgen voor continuïteit en prijsniveau van de brandstof
¹³ B-hout	
¹⁴ C-hout	
¹⁶ Bermgras	Multifunctionele brandstoffen die door problematiek in de veevoer markt <u>vooralsnog</u> ondanks prijs (afvalvetten) interessant kunnen zijn
²² Afvalvetten	
¹⁸ Hennep en vlas	Niet vergistbare brandstoffen met vrijwel nul prijsniveau, die echter vanwege hergebruik (hennep, vlas, oud papier, karton) en crisis in de veevoerwereld (meel) een onzekere continuïteit en prijs hebben
²⁰ Vis-, dier- en verenmeel	
²⁶ Oud papier en karton	
¹⁹ Swill (<i>etensresten en keukenafval</i>)	Vergistbare stromen die veelal in de veevoer industrie worden toegepast. Waardoor continuïteit/prijs onzeker
²¹ Slachtafval	
²³ Wei (<i>zuivelindustrie</i>)	
²⁷ Gras	
²⁸ Mais	
²⁹ Aardappelresten	
³⁰ Voederbieten	
²⁴ Fruitafval	Financieel aantrekkelijke vergistbare brandstoffen, die echter ook tot compost verwerkt kunnen worden, waardoor continuïteit/prijs onzeker
²⁵ GFT-afval	

Door de grote variëteit in deze brandstoffen kunnen aan de hand van deze lijst zowel verwerkingstechnologieën voor relatief natte (vergisting) als relatief droge brandstoffen

(verbranding, smelt, vergassing) geëvalueerd worden. Daarbij speelt de huidige afzetmarkt voor deze stromen en de daaraan gerelateerde marktprijs een grote rol. Zo worden restanten uit de voedings- en zuivelindustrie als swill, wei, maar ook andere voor vergisting aantrekkelijke stromen veelal verder toegepast in de veevoederindustrie (koffiedik, filterkoek en uienpulp, zie ook §4.4) of als hulp- of brandstof voor respectievelijk de olieraffinage en de cementindustrie (bleekaarde). GIBO beschikt zelf niet over biomassa of organische afvalstromen. Derhalve is tevens een inventarisatie uitgevoerd naar dergelijke stromen in de directe omgeving van GIBO.

3.1.1 Brandstof versus conversietechnologie

Met behulp van “BioWizard.nl” is een matrix opgesteld die een globaal beeld geeft van zowel de technische als economische haalbaarheid van een bepaalde combinatie van biobrandstof en conversietechnologie. De matrix, met bijbehorende uitleg, is opgenomen als Bijlage A in dit rapport en leidt tot de voorlopige conclusie dat voor de situatie van GIBO vergisting de voorkeur verdient boven verbranding en vergassing. Afhankelijk van de te verwerken brandstof bedraagt de terugverdientijd van deze technologieën (welke in meer detail besproken worden in hoofdstuk 4) in het gunstigste geval voor:

- ✓ vergisting: 1 à 2 jaar,
- ✓ verbranding: 2 tot 4 jaar en
- ✓ vergassing: 3 tot 5 jaar.

Derhalve is bij de inventarisatie van potentieel beschikbare biomassa-/afvalstromen de nadruk gelegd op stromen die voor vergisting aantrekkelijk zijn. Dergelijke voedingsstoffen voor vergisting kunnen onderverdeeld worden in stromen die geld opbrengen bij verwerking en stromen die ingekocht dienen te worden.

- ✓ Geld opbrengend: bermgras, mest, swill, slachtafval, GFT
- ✓ Geld kostend: stro van granen, vis- en diermeel, maïs, gras en afvalvetten

Prijstechnisch aantrekkelijke stromen als *vleeskippen-* en *pluimveemest* bevatten zeer veel stikstof. Vanwege dit hoge stikstofgehalte moet de vergistingstemperatuur omlaag tot circa 33 °C, waardoor een zeer lange verblijftijd nodig is. Het advies is hierbij 36 dagen in de vergister en 36 dagen in de na-vergister. Tevens moeten de stromen opgemengd worden tot 15% droge stof. Derhalve zijn de vergistingvolumes, en daarmee de investeringen, relatief hoog. Daarnaast hebben kippen en pluimvee mest de vervelende eigenschap dat er een zout ontstaat dat snel kan uitzakken wat een dikke niet afpompbare bodem laag veroorzaakt. *Slachtafval* vergisten vereist een extra logistieke inpassing voor gekoelde, geïsoleerde opslag en transport. Zowel voor mest en slachtafval geldt derhalve dat vergistinginstallaties bij voorkeur geplaatst worden daar waar de afvalstromen direct beschikbaar zijn. Daarnaast wordt momenteel reeds weer een groot deel van het categorie II en III slachtafval afgezet binnen de voedingsindustrie en is slechts het categorie I slachtafval feitelijk beschikbaar. Voor de verwerking van dit categorie I slachtafval gelden echter strenge verwerkingseisen die het afval minder geschikt maken voor verwerking in een “externe” vergistinginstallatie.

Als alternatieve voedingsstroom voor vergisting kan daarnaast gedacht worden aan relatief droge biomassa en afvalstromen, welke eenvoudiger via water of weg te transporteren zijn naar de GIBO vestiging. Hierbij kan gedacht worden aan bijvoorbeeld afvalvetten, groente-, fruit- en tuinafval (GFT) en ONF, de organische natte fractie afkomstig uit huishoudelijk afval. *Afvalvet* is een multifunctionele brandstof die door de BSE-problematiek prijstechnisch zeer interessant is, daar deze (vooralnog) niet meer afgezet mag worden in de veevoermarkt. GFT en ONF zijn financieel aantrekkelijke vergistbare brandstoffen, die echter ook tot compost verwerkt kunnen worden, waardoor de continuïteit/prijs onzeker zijn.

3.1.2 Voorkeurstechologie en –brandstof

Afgaande op deze eerste globale analyse lijken vergisting van bermgras en swill de meest aantrekkelijke technologieën, gevolgd door vergisting van GFT, (co-)vergisting van mest en eventueel vergisting van slachtafval. Alhoewel verbranding opties met terugverdientijden tussen de 2 en 4 jaar aantrekkelijke alternatieven lijken leggen ze het in eerste instantie af bij de vergistinginstallaties. Uit gesprekken met leveranciers van zowel vergisting- als verbrandingsinstallaties (zie ook hoofdstuk 5) is gebleken dat de vergistinginstallaties in werkelijkheid minder gunstig uitvallen ten opzichte van “BioWizard”. Voor de te optimistische schattingen van “BioWizard.nl” worden een drietal redenen genoemd:

- ✓ Er wordt geen rekening gehouden met noodzakelijke voor- en nabehandeling
- ✓ De kosten van afzet van het digestaat worden te laag ingeschat
- ✓ De netto rendementen zijn te hoog verondersteld

Leveranciers geven aan dat de berekende investeringen slechts van toepassing lijken op het daadwerkelijke vergistingssegment van de installatie en dat geen rekening gehouden wordt met eventuele voor- en nabehandeling van de te verwerken stromen. Zo zullen stromen als GFT, bermgras en swill een voorbehandeling nodig hebben waarbij onder andere plastics, karton, takken e.d. afgescheiden worden ter voorkoming van verstoring van het feitelijke vergistingproces door deze stromen. Daarnaast dient terdege rekening gehouden te worden met de afzetmarkt van digestaat. Indien digestaat niet uitgereden mag worden zal het afgezet dienen te worden als afval, waarmee de kosten van digestaat afzet aanzienlijk toenemen. Als algemene aanname kan hierbij worden uitgegaan van de “van akker tot akker” benadering: indien de (grond)stof afkomstig is van de akker mag het digestaat ook afgezet worden op de akker. Dit maakt bermgras, swill, slachtafval en GFT minder aantrekkelijk en verwerking van mest, maïs en (eventueel) stro weer aantrekkelijker. Naast het ontbreken van noodzakelijke investeringen voor voor- en nabehandeling geven de aangeschreven partijen tevens aan dat de aangenomen rendementen voor vergisting zacht gezegd aan de optimistische kant zijn. Voor de gewenste warmtelevering gaan ze allen uit van een groter vergistingvolume dan door BioWizard.nl bepaald, waardoor de investeringskosten eveneens hoger uitvallen.

Door deze verandering van rentabiliteit van vergistinginstallaties worden de (economische) verschillen met verbranding geringer, waardoor besloten is in de detailuitwerking van de technische en economische haalbaarheid rekening te houden met zowel vergisting- als verbrandingsinstallaties en voor vergisting te focussen op een installatie bedreven op of een biomassa-stroom die voldoet aan het “van akker tot akker” principe (e.g. co-vergisting van mest en maïs) of een lokaal beschikbare “problematische” biomassa-/afvalstroom (e.g. GFT/ONF).

3.2 Evaluatie potentieel beschikbare biomassa/afvalstromen

Voor de evaluatie van de potentieel beschikbare biomassa-/afvalstromen in de omgeving van GIBO, zijn de volgende erkende afvalinzamelaars aangeschreven:

RHD, reinigings- en havendienst Utrecht

(info via 030 – 2866800 of info@utrecht.nl)

De reinigingsdienst en havendienst van de gemeente Utrecht heeft 100.000 ton huisvuil en GFT op jaarbasis. Het GFT afval gaat via het overlaadstation Lage Weide per trein naar de composteringsinstallatie van ESSENT te Wijster. Daar zet ESSENT het GFT-afval in circa 6 weken om in hoogwaardige compost voor onder andere de akkerbouw. Het huisvuil wordt momenteel door de AVR (Afvalverwerking Rijnmond) verbrand. De op- en overslag vindt plaats op het terrein van AVR aan de Isotopenweg te Utrecht, vlakbij GIBO (zie Bijlage E). De AVU (Afvalverwijdering Utrecht) in Nieuwegein bepaalt wat er met de afvalstromen gebeurt. Deze instelling regelt voor vele gemeenten in Utrecht de afvaltransporten en verwerking van verschillende ingezamelde afvalstromen.

SITA recycling services

(info via 030 – 2455011)

SITA heeft biomassa-/afvalstromen die voor vergisting in aanmerking komen zoals swill, uitgepakte levensmiddelen en putvetten.

Referentie: Louis Huisman, Afvalstromen Manager (06-51823744)

Lays, Smiths Food Group bv.,

(info via 030 – 2473911)

Heeft geen biomassa-/afvalstromen beschikbaar. Hun afvalstromen zijn veel kleiner dan de benodigde 50 kton/jr en gaan op dit moment naar de veevoederindustrie.

Douwe Egberts, Utrecht

(info via 030 – 22979111)

Geen reactie, hun afvalstromen gaan zeer waarschijnlijk naar de E.on kolencentrale op de Maasvlakte.

VVGroep, Nieuwegein

(info via 030 – 2855200 of vanvlietgroep@wmn.nl)

Geen reactie

Kleijn bv, Den Dolder

(info via 030 – 2292906 of info@dekleijn.nl)

Geen reactie

4. CONVERSIETECHNOLOGIEËN

Voor de productie van warmte en/of elektriciteit uit organische reststromen kan een variëteit aan conversiesystemen worden toegepast. In dit kader worden alleen die systemen weergegeven die reeds commercieel worden aangeboden of waarvan de ontwikkelingsstatus dusdanig is dat daadwerkelijke implementatie op korte termijn mag worden verwacht (Van Ree, 2000). De basis van deze conversiesystemen wordt gevormd door verbranding, vergassing, vergisting of smelten.

4.1 Verbranding

4.1.1 Verbrandingstypen

Verbrandingsinstallaties zijn op grond van hun werkingsprincipe in te delen in *inblaas-/stofwolkverbranding*, *schroefverbranding*, *roosterverbranding* en *wervelbed verbranding*. Bij *inblaasverbranding* wordt de brandstof pneumatisch in de vuurhaard gebracht. Een deel van de transportlucht wordt als verbrandingslucht benut. Deze technologie is geschikt voor brandstoffen met een kleine deeltjesgrootte en een vochtgehalte tot maximaal 20%. Vanwege de relatief eenvoudige technologie is dit type verbranding prijstechnisch gunstig. Een nadeel van deze technologie is dat het totale energetische rendement (Sulilatu F., 1992), vanwege de grote luchtvermaat, relatief laag is ten opzichte van alternatieve technologieën. De technologie wordt over het algemeen toegepast voor relatief grote vermogens (5-10 MW_{th}). De asverwijdering vindt langs mechanische weg plaats.

Bij *onder-/doorschroefverbranding* wordt de brandstof in de vuurhaard geschroefd. De verbranding vindt veelal getrapt plaats, waarbij eerst primaire en daarna secundaire lucht wordt toegevoerd. Door deze getrapte verbranding is het mogelijk de verbrandingscondities zodanig in te stellen dat het conversieproces optimaal verloopt. Onderschroefverbranding is bestemd voor brandstoffen met een laag asgehalte en een maximaal vochtgehalte van 40%. Het maximale vermogen bedraagt circa 3 MW_{th}. Afhankelijk van het vochtgehalte van de brandstof, kunnen relatief hoge conversierendementen (80-85%) worden behaald. Doorschroef verbranding is met name geschikt voor brandstoffen met kleine afmetingen, een vochtgehalte van maximaal 40% en een hoog asgehalte. Het rendement is overeenkomstig dat van onderschroef verbranding.

Bij *roosterverbranding* (statisch rooster schuin/horizontaal, schuifrooster) wordt de brandstof liggend op een rooster verbrand. Schuinrooster systemen worden over het algemeen toegepast voor grof verspaand hout. Het maximale vochtgehalte bedraagt 50%, terwijl een hoog asgehalte is toegestaan. Het rendement is vergelijkbaar met dat van onderschroefverbranding. Horizontale roostersystemen zijn geschikt voor grove brandstoffen, met een maximaal vochtgehalte van circa 25% (Temminck H.M.G., 1996).

Bij schuifroosterverbranding vindt tijdens het verbrandingsproces een periodieke schuivende beweging van het rooster in horizontale en verticale richting plaats. Hierdoor verandert de structuur van de brandstof (menging verbrande en onverbrande delen) en wordt een gelijkmatig brandstofbed verkregen. Dit is met name geschikt voor niet homogene brandstoffen. Zowel de ontassing als de beweging van het rooster vindt mechanisch plaats. Op het rooster zijn vier separate zone's te onderscheiden: de droogzone, de ontgassingszone, de verbrandingszone en de uitbrandzone. Voor elke zone is het verbrandingsproces (middels toevoer van lucht) separaat instelbaar, zodat een optimale totale conversie wordt verkregen. Schuifrooster systemen zijn geschikt voor de conversie van grove brandstoffen. Het totale rendement bedraagt afhankelijk van het vochtgehalte van de brandstof circa 75-80%.

Bij *wervelbed verbranding* wordt de brandstof verbrand in een gefluidiseerd bed. De fluïdisatielucht dient hierbij tevens als verbrandingslucht. Een belangrijk voordeel van deze

technologie is de grote flexibiliteit m.b.t. de te verwerken brandstof. Een nadeel is dat de bedrijfskosten relatief hoog zijn. De afmetingen van de brandstof worden bepaald door de fluïdisatiesnelheid. Het vochtgehalte mag maximaal circa 30% bedragen. Door de goede menging van brandstof en lucht kunnen goede verbrandingscondities gerealiseerd worden, met een hoog totaal rendement (circa 80%). De werktemperatuur ligt tussen de 750-950°C, ofwel 100-200°C lager dan bij conventionele (niet wervelbed) verbranding. Deze werktemperatuur kan, in tegenstelling tot bij bijvoorbeeld roosterverbranding, afhankelijk van de te verwerken specifieke brandstof, worden ingesteld. Hierdoor kunnen potentiële technische problemen als agglomeratie/verslakking worden voorkomen, en zodoende een continue bedrijfsvoering worden bevorderd.

4.1.2 Krachtwerktuigen (“prime movers”)

De in de verbrandingsketel geproduceerde hete rookgassen kunnen rechtstreeks worden aangewend of indirect voor de productie (en/of oververhitting) van stoom. Deze stoom kan worden aangewend als proceswarmte en/of worden gebruikt voor de productie van elektriciteit met behulp van een stoomturbine of stoommotor. In de toekomst kunnen potentieel ook Stirling motoren voor de productie van elektriciteit met warmte worden toegepast. Stoom voor de levering van *proceswarmte* kan direct op de gewenste condities (druk, temperatuur) in de ketel worden geproduceerd, dan wel bij de gewenste conditie worden afgetapt bij een tegendruk turbine.

Een *stoommotor* is een stoommachine met een toerental van 750-1500 omwentelingen per minuut, waarbij de energetische inhoud van de stoom wordt omgezet in mechanische energie door middel van expansie. De stoommotor wordt m.n. toegepast bij een laag stoomdebiet en bij een elektrisch vermogen van 50-3.000 kW_e. Het stoomverbruik bedraagt bij deze vermogens 0,2-25 t/uur. Er kan zowel oververhitte als verzadigde stoom worden toegepast. Afhankelijk van het aantal achter elkaar geschakelde cilinders ligt de stoomdruk bij de ingang van de motor tussen de 4-150 bar. De verhouding tussen in- en uitgangsdruk bepaalt het aantal expansietrappen (cilinders). Een gunstige drukverhouding voor een expansietrap ligt tussen de 2,5 en 3,5. Het thermisch rendement bedraagt circa 70-73% en het elektrisch rendement 10-15%. De WK verhouding bedraagt derhalve 4,75-6,25. Bij belastingen tussen de 50-100% van het maximale vermogen verandert het rendement niet wezenlijk. Hierdoor is een stoommotor met name geschikt voor situaties waarbij de warmte- en elektriciteitsvraag gedurende een periode van een dag of van een jaar sterk kunnen variëren. Tevens is de gevoeligheid van stoommotoren voor verontreinigingen in de stoom lager dan bij gebruik van stoomturbines (minder hoge eisen aan voorbehandeling ketelvoedingswater). Ook de eisen m.b.t. de droogheid van de stoom zijn minder stringent. Een vochtigheid van 10% aan de ingang van de motor levert geen problemen bij de procesvoering op.

De werking van een *stoomturbine* is gebaseerd op de Rankine cyclus. In de praktijk wordt deze cyclus, afhankelijk van de specifieke situatie, aangepast. Veelal worden watervoorverwarmers (“economisers”) en oververhitters ten behoeve van de stoom”productie” opgenomen. Oververhitte stoom wordt bij relatieve hoge druk geëxpandeerd tot een gewenste druk (tegendrukturbine of condenserende turbine), waarbij met behulp van een gekoppelde generator elektriciteit wordt opgewekt. De capaciteitsrange waarin stoomturbines kunnen worden toegepast is zeer groot (van honderden kW_e’s tot tientallen MW_e’s). Het elektrisch rendement is met name bij lage stoomdebieten laag, en daalt verder bij deellast bedrijf. Bij hogere capaciteiten is het elektrisch rendement beduidend hoger ten opzichte van stoommotoren. De gevoeligheid van stoomturbines voor verontreinigingen in de stoom is hoger dan bij gebruik van stoommotoren (hogere eisen aan voorbehandeling ketelvoedingswater). Ook de eisen met betrekking tot de droogheid van de stoom zijn stringenter.

Een *Stirlingmotor* is een externe warmtemachine. Door een biomassaverbrandingsinstallatie te koppelen aan een Stirlingmotor is het mogelijk warmte van gewenste condities te produceren, waarbij tevens een additionele hoeveelheid elektriciteit wordt geproduceerd. Een voordeel van

het gebruik van Stirlingmotoren ten opzichte van gasmotoren (en -turbines) is dat deze ook bij deellast bedrijf en bij relatief kleine capaciteiten ($< 200 \text{ kW}_e$) een redelijk elektrisch rendement (20-30 %LHV) bezitten. Een nadeel is dat er nog weinig Stirlingmotoren commercieel verkrijgbaar zijn en dat de prototypes vooralsnog erg duur zijn.

4.1.3 Geïntegreerde systemen

Een geïntegreerd systeem voor de productie van warmte en/of elektriciteit uit organische reststromen bestaat behalve uit de verbrandingsketel (van brandstof via heet rookgas naar stoomopwekking) en het krachtwerktuig (van stoom naar elektriciteit) tevens nog uit een tweetal andere secties, namelijk 1) de brandstofvoorbehandeling en 2) de rookgasreiniging (inclusief afvalwaterreiniging).

Brandstofvoorbehandeling

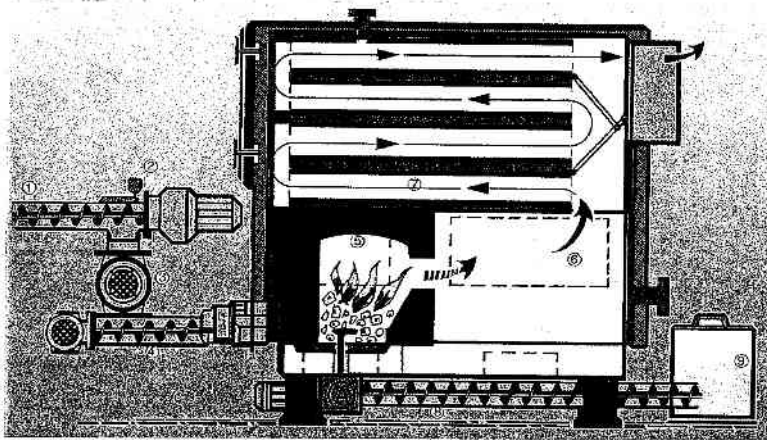
Afhankelijk van het type verbrandingssysteem dienen de organische reststromen aan bepaalde eisen (deeltjesgrootte(verdeling), vochtgehalte, asgehalte, ...) te voldoen. Hiertoe dienen deze, indien noodzakelijk, ter plaatse van de conversie te worden bewerkt (malen en drogen), oftewel reeds in voorbehandelde staat te worden aangeleverd, in het geval van externe brandstofaanvoer.

Rookgasreiniging

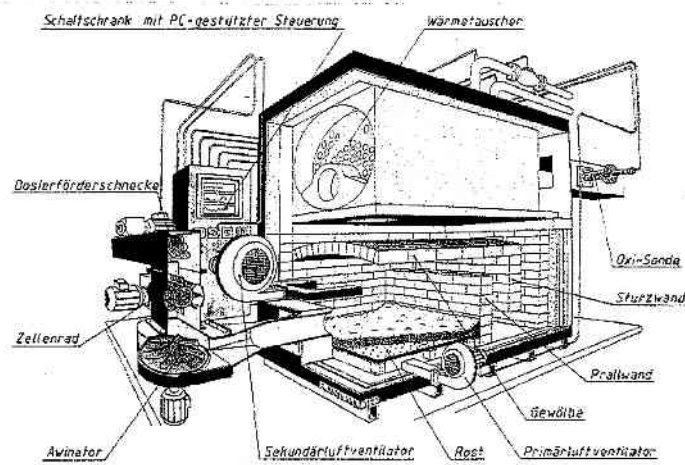
Om aan geldende luchtmissie-eisen te voldoen, dienen de rookgassen te worden gereinigd, alvorens deze worden geëmitteerd. Door reeds *primaire maatregelen* in het verbrandingsproces te treffen, wordt het ontstaan van verontreinigde componenten gereduceerd/voorkomen, waardoor gas reiniging “downstream” wordt vereenvoudigd. Bij *secundaire maatregelen* (“end of pipe” technieken) worden de verontreinigingen achteraf uit de rookgassen verwijderd. *Primaire maatregelen* hebben ten doel de verbranding te optimaliseren en tegelijkertijd de emissies te minimaliseren. Voorbeelden van primaire maatregelen zijn: beïnvloeding van het vochtgehalte van de brandstof (vochtgehalte $> 50\%$ + niet voorverwarmen lucht \rightarrow slechte verbranding \rightarrow hoge emissies), aanpassing van de deeltjesgrootte van de brandstof, keuze van het type verbrandingsproces en uitleg van de installatie op de warmtevraag (continubedrijf, optimale installatie dimensionering 25-40% lager dan maximale warmtevraag), verbetering van de constructie van de verbrandingsinstallatie en optimalisatie van de procesregeling. *Secundaire maatregelen* worden genomen om verontreinigingen uit het rookgas te verwijderen, alvorens het rookgas wordt geëmitteerd. Bij kleinschalige ($< 5 \text{ MW}_{th}$) verbrandingsystemen speelt het terugdringen van de stofemissie een belangrijke rol. Ontstoffingstechnieken die hiervoor kunnen worden gebruikt zijn: een uitvalkamer, (multi-)cyclonen, een elektrostatisch filter en een doekenfilter. Ontzwaveling vindt plaats door de injectie van kalksteen in de gasstroom; terwijl de NO_x wordt verwijderd middels een DeNO_x -installatie.

4.1.4 Leveranciers installaties

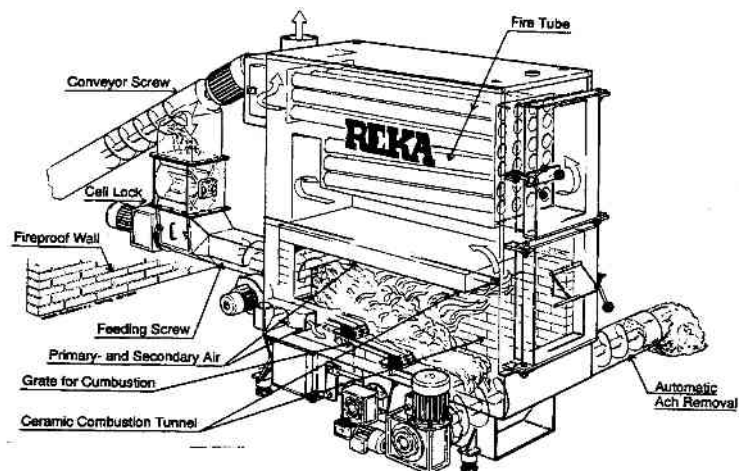
Er worden in Nederland thans 5 verschillende verbrandingsprincipes toegepast, namelijk: onderschroef stokers, schuif- en vlakrooster installaties, inblaasinstallaties en kleine handmatig gestookte installaties. 84% van de automatisch gestookte installaties in Nederland zijn van het type onderschroef stoker. De meeste niet handgestookte installaties komen voor in het vermogensbereik $0,25\text{-}0,5 \text{ MW}_{th}$. Installaties met een capaciteit $< 100 \text{ kW}_{th}$ worden voornamelijk ingezet voor de productie van warm water. Installaties met een capaciteit $> 100 \text{ kW}_{th}$ worden gebruikt voor de productie van hoge druk HD-stoom (WKK), lage druk LD-stoom (proceswarmte) en warm water (verwarming, tapwater). Ter illustratie wordt op de volgende pagina een schematische voorstelling gegeven van een drietal typen verbrandingsinstallaties. Het betreft: 1) een onderschroefstoker van de firma Nolting (Oostenrijk), 2) een inwerpininstallatie van Awina Anlage (Oostenrijk) en 3) een schuifrooster verbrandingsinstallatie van de firma Reka (Denemarken).



Figuur 4.1 *Underschroefstoker van de firma Nolting*¹



Figuur 4.2 *Inwerpinstallatie van Awina Anlage*²



Figuur 4.3 *Schuifrooster verbrandingsinstallatie van de firma Reka*³

¹ Internetsite: <http://www.nolting-online.de>

² Internetsite: <http://vatechlinebg.at>

³ Internetsite: <http://www.reka.com>

De voor Nederland belangrijkste leveranciers van (houtgestookte) verbrandingsinstallaties zijn vermeld in tabel 4.1.

Tabel 4.1 *Belangrijkste leveranciers van (houtgestookte) verbrandingsinstallaties*

Leverancier	Agentschap	Type installatie	Contactpersoon	Adres
Kara Engineering Almelo B.V	Kara Engineering (NL)	onderschroef stoker	Hr. Prinsen	Plesmanweg 27 7600 AN Almelo 05468-76580
W.K. Crone bv ketel en apparaten- fabriek	Crone	wervelbed- verbrandingsketels	Hr. Heijboer	1 ^e Tochtweg 39 2913 LN Nieuwekerk a/d Ijssel 0180-632922
Nohoma	WVT-(D)	getrapte verbranding	Hr. Kok	Antillenstraat 1 1524 AT Wormerveer 0541 –661390
Tubro	Heizomat (D) Binder (A)	onderschroef stokers	Hr. Nijboer	Euregioweg 265 7532 SM Enschede 053-4612888
Modesta	Nolting (D)	onderschroef stokers/ inwerpverbranding	Hr. Kloppenburg	Handelsweg 48 3881 LS Putten 0341 –371010
LVB-Wood- drying systems	Vyncke/Kob & Schafer (B) (D)	onderschroef stokers, schuinroosters, rotatie- brander	Hr. Van Bommel	Gasthuisstr.4 4161CC Heukelum 0345-619788
Nordtec	Nolting/Awina Anlage (A)	inwerpverbranding	Hr. Tilch/Kalk	Vrijheidsweg 16 9640 AD Veendam 0598-628231
Kachelbouw Doetichem	Froling (A)	omgekeerde verbranding	Hr. Klundert	Tramstraat 5 7001CH Doetichem 08340-45016
Hout CV	Hout CV (NL)	roterend rooster/ fluïde bed/ pyrolyse verbranding	Hr. Bakker	Kerkstraat 54 6883 HV Velp (Gld) 026-3882205
Vepro Industries	Reka (DK)	doorschroef-/onder- schroef stokers	Hr. Wermer	Punterstr.1 8102 HV Raalte 0572-362939
Hanwell B.V.	Sermet Oy (FIN)	roterend rooster/ fluïde bed/ pyrolyse verbranding	Hr. Van Nunen	Diamantstr. 26 7554 TA Hengelo 074-2431531
Passat	Passat(DK)	doorschroef/omgekeerde verbranding	Hr. Stienstra	Nassaustr 5 9076 ZN St. Annaparochie

4.2 Vergassing

Het proces waarvan veel wordt verwacht met betrekking tot de conversie van organische reststromen voor de productie van warmte en/of elektriciteit is lucht-/O₂-geblazen *vergassing*. Bij vergassing wordt de vaste brandstof (biomassa) met een ondermaat zuurstof omgezet in een gasvormige brandstof (voornamelijk waterstof en koolmonoxide). Het geproduceerde gas kan worden gebruikt als stookgas voor elektriciteit- en/of warmteopwekking. Daarnaast kan het als synthesegas worden ingezet in de chemische industrie. Vergassing is een techniek waarvan, vanwege het hoge energetische rendement bij relatief lage kosten, veel wordt verwacht. De belangrijkste reden om vaste brandstoffen om te zetten naar een brandbaar gas is het feit dat gassen efficiënter in prime movers (gasmotoren, gasturbines of brandstofcellen) ingezet kunnen worden ten behoeve van de opwekking van elektriciteit en/of warmte. Daarnaast wordt in het algemeen reiniging van de kleinere volumestroom aan stookgas als voordelig voor vergassing beschouwd. In het geval van (alleen) warmteopwekking of elektriciteitsopwekking via een stoomcyclus is directe verbranding meer voor de hand liggend.

4.2.1 Vergassingstechnologieën

Er bestaan verschillende vergassingstechnieken waarvan de geschiktheid telkens afhankelijk is van o.a. de gebruikte brandstof, de schaalgrootte van de installatie en de beoogde toepassing van het geproduceerde stookgas. De belangrijkste kenmerken van de verschillende technieken zijn het type brandstofbed, de manier van warmtetoever en het drukniveau in de vergasser (Reed et al, 1999, Koljonen 1999, Faaij 1998, Solantausta 1996, Kaltschmit 1998, de Boer 1996).

Het type brandstofbed: vastbed versus wervelbed en entrained flow (EF)

In vastbed reactoren ligt de (meestal van boven toegevoegde) brandstof los in de reactor en zakt als gevolg van ontleding van de daaronder liggende brandstof langzaam omlaag. In wervelbed reactoren worden de (verkleinde) brandstofdeeltjes d.m.v. een gasstroom gefluidiseerd. In een EF reactor wordt de (verpoederde) brandstof pneumatisch getransporteerd. Dankzij het hoge warmte- en massatransport bestaat er in wervelbed en EF reactoren - in tegenstelling tot vaste bedden - vrijwel geen beperking ten aanzien van de schaalgrootte van de reactor.

De manier van warmtetoever: direct versus indirect

De voor het vergassingsproces benodigde warmte wordt meestal opgewekt door in de reactor een deel van het te vergassen materiaal te verbranden (autotherme of directe vergassing). Als vergassingsmedium wordt meestal lucht gebruikt, soms zuivere zuurstof of met zuurstof verrijkte lucht. In het geval van een externe warmtebron (allotherme of indirecte vergassing) wordt als vergassingsmedium over het algemeen waterdamp gebruikt. In principe zouden ook andere zuurstofhoudende vergassingsmedia (bijvoorbeeld CO₂) in aanmerking kunnen komen.

Het drukniveau in de reactor: atmosferisch versus druk

De meeste vergassers worden (vrijwel) atmosferisch bedreven; een lichte onderdruk of overdruk is voor de handhaving van het proces noodzakelijk. Voor grote systemen, met toepassing van het stookgas in een gasturbine, wordt soms ook drukvergassing toegepast.

In principe is elke combinatie van de hierboven genoemde opties mogelijk. In de praktijk blijkt echter slechts een beperkt aantal "basistechnologieën" te bestaan.

Vastbed vergassers

Meestroom glijdend bed vergassers

De meeste vastbed vergassers worden atmosferisch met lucht bedreven en werken volgens het meestroom glijdend bed principe (downdraft gasifier). Dat betekent dat zowel het gas als de brandstof van boven naar beneden bewegen. De belangrijkste kenmerken van dit principe zijn:

- ✓ De eisen ten aanzien van de kwaliteit van de brandstof zijn hoog ten opzichte van tegenstroom vergassers en wervelbed vergassers.
- ✓ Het principe is alleen geschikt voor kleine installaties tot enkele MW thermisch vermogen (de werkelijke bovengrens is afhankelijk het ontwerp en niet exact bekend).
- ✓ De kwaliteit van het geproduceerde stookgas is beter dan bij wervelbed en tegenstroom vergassers (o.a. lager teergehalte).

Tegenstroom glijdend bed vergassers

In tegenstroom vergassers (updraft gasifiers) stroomt het gas van beneden naar boven. Dit principe wordt in een aantal commerciële installaties t.b.v. warmteopwekking toegepast. Voor toepassing van prime movers is tegenstroom vergassing echter minder geschikt (of zelfs ongeschikt) in verband met de slechte kwaliteit van het stookgas. De belangrijkste kenmerken van dit principe zijn:

- ✓ De eisen ten aanzien van de kwaliteit van de gebruikte brandstof zijn laag ten opzichte van meestroom glijdend bed vergassers en wervelbed vergassers.
- ✓ Het principe is geschikt voor installaties tot enkele tientallen MW thermisch vermogen.

- ✓ De kwaliteit van het geproduceerde stookgas is minder dan bij wervelbed en meestroom glijdend bed vergassers (o.a. hoger teergehalte).

Overige vastbed vergassers

Er bestaat een groot aantal variaties op de twee bovengenoemde principes. Deze variaties worden slechts bij een klein aantal vergassers toegepast en hebben tot dusver niet tot marktdoorbraak van (vastbed) vergassing geleid. Het gaat hierbij onder andere om:

- ✓ Toevoer van zuurstof i.p.v. lucht.
- ✓ Open reactor in plaats van gesloten reactor.
- ✓ Combinatie van het meestroom principe en het tegenstroom principe door het vergassingsmedium op meerdere niveaus van het brandstofbed toe te voegen of de gasstroom in de reactor te draaien.
- ✓ Brandstoftoevoer van beneden naar boven met behulp van een transportschroef in plaats van brandstoftoevoer van boven.

Wervelbed vergassers

In een *stationaire wervelbed vergasser* (bubbling fluidised bed, bfb) wordt de (verkleinde) brandstof samen met een inert bedmateriaal (meestal zand) d.m.v. het met hoge snelheid toegevoegde vergassingsmedium gefluïdiseerd. In een *circulerend wervelbed vergasser* (cfb) wordt het vergassingsmedium met een dusdanige snelheid toegevoegd dat de brandstofdeeltjes en het bedmateriaal circuleren in een systeem bestaande uit: reactorvat, cycloon en terugvoerpijp. Belangrijke kenmerken van zowel stationaire als circulerend wervelbed vergassers zijn:

- ✓ De brandstof dient verkleind te worden (meestal tot enkele cm).
- ✓ Er bestaat vrijwel geen technische beperking ten aanzien van de schaalgrootte. De vermogens-range wordt door economische of logistieke overwegingen bepaald (ondergrens door “economy of scale”, bovengrens door beschikbaarheid van de brandstof).
- ✓ Wervelbed vergassers worden meestal atmosferisch met lucht als vergassingsmiddel bedreven. Drukverhoging is boven een schaalgrootte van circa 100 MW thermisch vermogen bij toepassing van een gasturbine interessant.
- ✓ In verband met de relatief lage vergassingstemperatuur van circa 850 °C is het risico van asagglomeratie laag.

Entrained flow vergassers

In entrained flow vergassers is de snelheid van het toegevoegde vergassingsmedium dusdanig hoog dat de (verpoederde) brandstof pneumatisch door de reactor getransporteerd wordt. Belangrijke kenmerken van entrained flow vergassers zijn:

- ✓ De brandstof dient verpoederd te worden.
- ✓ Om ondanks de korte verblijftijd van de brandstof in de reactor een goede omzetting naar stookgas te kunnen bereiken wordt als vergassingsmiddel zuurstof gebruikt i.p.v. lucht.
- ✓ Vergassing met zuurstof is slechts voor grootschalige installaties economisch interessant. Voor biomassavergassing is deze technologie in verband met de brandstoflogistiek (beschikbaarheid van de brandstof) alleen in uitzonderlijke gevallen toepasbaar.
- ✓ De relatief hoge vergassingstemperatuur van 1000-1200 °C heeft een hoog risico van asagglomeratie tot gevolg, waarmee in het ontwerp rekening moet worden gehouden.

4.2.2 Geïntegreerde systemen

Een vergassingssysteem, voor de productie van elektriciteit en/of warmte, is over het algemeen opgebouwd uit een viertal secties, te weten: brandstofvoorbehandeling (malen, drogen), vergassing, stookgasreiniging en krachtwerktuig. Afhankelijk van het type vergassingssysteem dienen de organische reststromen aan bepaalde eisen (deeltjesgrootte(verdeling), vochtgehalte, asgehalte, ...) te voldoen. Hiertoe dienen deze, indien noodzakelijk, ter plaatse van de conversie te worden bewerkt (malen en drogen), oftewel reeds voorbehandeld te worden aangeleverd, in het geval van externe brandstofaanvoer. Er bestaan verschillende vergassingstechnieken. Voor Nederland zijn de belangrijkste technieken de circulerende wervelbed technologie en de vastbed vergassingstechnologie.

Tabel 4.2 *Vermogensranges van de meest gangbare vergassers*

	Ondergrens ²⁾	bovengrens
Meestroom glijdend bed vergassing	400 kW _{th}	8 MW _{th}
Circulerend wervelbed vergassing, atmosferisch met lucht	8 MW _{th} ³⁾	¹⁾
Circulerend wervelbed vergassing, onder druk met lucht	15 MW _{th}	¹⁾

¹⁾ Er bestaan wel bovengrenzen. Deze liggen echter boven de hier beschouwde toepassing.

²⁾ Kleinere installaties zijn technisch wel mogelijk, echter alleen in uitzonderlijke gevallen economisch haalbaar.

³⁾ Voor combinatie met een gasmotor. Voor bijstook doeleinden zijn reeds vergassers van 2,5 MW_{th} beschikbaar.

Eén voordeel van vergassing ten opzichte van verbranding is dat brandstofgerelateerde verontreinigingen uit het relatief kleine stookgasdebiet en in gereduceerde vorm (bijvoorbeeld H₂S in plaats van SO₂ en NH₃ in plaats van NO_x), d.w.z. voor de daadwerkelijke verbranding in de “prime mover”, kunnen worden afgescheiden. Daardoor kan de gasreinigungssectie qua volume relatief klein blijven, wat uit financieel oogpunt voordelig is. Voor relatief kleinschalige decentrale toepassingen geniet atmosferische luchtgeblazen vergassing de voorkeur. Het gas wordt over het algemeen gereinigd door toepassing van cyclonen en een doekfilter/elektrostatisch filter (deeltjesafscheiding) en een natte, lage temperatuur stookgasreiniging (afscheiding NH₃, H₂S, HCl, teercomponenten). Het waswater wordt gereinigd en geloosd.

Het “schone” stookgas wordt aan een krachtwerktuig (prime mover) toegevoerd voor de productie van warmte- en/of elektriciteit. Indien de warmtebehoefte beperkt is, kan het gas ook gemethaniseerd worden, waarna het SNG kan worden toegevoerd aan het openbare aardgasnet. Deze laatste techniek bevindt zich echter nog in de R&D fase. Voor de productie van elektriciteit en/of warmte zijn er, afhankelijk van o.a. het vermogen, verschillende krachtwerktuigen voorhanden, te weten: 1) een verbrandingsketel met stoommotor of stoomturbine, 2) gasmotoren en 3) gasturbines. Ook kunnen in de verdere toekomst potentieel brandstofcellen worden toegepast (zie ook tabel 4.3).

Tabel 4.3 *Vermogensranges van de meest gangbare krachtwerktuigen*

	ondergrens ²⁾	bovengrens
Stoommotoren	50 kW _e	3 MW _e ¹⁾
Stoomturbines	10 MW _e	
Gasmotoren	50 kW _e	10 MW _e ¹⁾
Gasturbines	1 MW _e	
Brandstofcellen	geen beperking (stapelbaar)	

¹⁾ Er bestaan wel bovengrenzen. Deze liggen echter boven de hier beschouwde toepassingen tot 200 MW_{th}.

²⁾ Kleinere installaties zijn technisch wel mogelijk, echter alleen in uitzonderlijke gevallen economisch haalbaar.

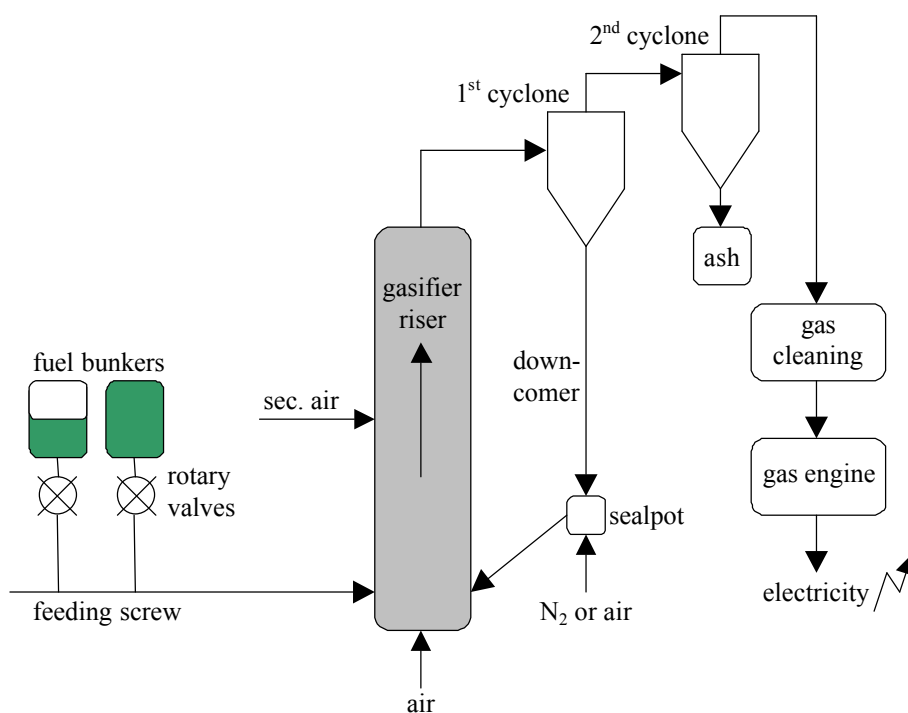
Voor de (nabije) toekomst wordt veel verwacht van het gebruik van *brandstofcellen* voor de productie van elektriciteit. In deze cellen wordt chemische energie langs elektrochemische weg omgezet in elektrische energie. Door de manier van omzetting is het mogelijk een (zeer) hoog rendement te behalen. Te onderscheiden zijn hoge temperatuur (HT) brandstofcellen en lage temperatuur (LT) brandstofcellen. De HT brandstofcellen zijn uitermate geschikt voor elektriciteitsproductie, terwijl de LT brandstofcellen kunnen worden aangewend als krachtbron voor vervoerstoepassingen.

De huidige status is dat de eerste toepassingen voor stationaire elektriciteitsproductie thans gerealiseerd zijn. Voor een verdergaande marktintroductie is het van belang dat technische (materiaal) problemen overwonnen worden en dat de prijs voor de systemen middels systeemoptimalisaties wordt gereduceerd. Voor toepassingen in de vervoersector richt het onderzoek zich thans op de brandstofconditionering en op de omvangreductie van totale systemen. Door de participatie van de grote autofabrikanten in het RD&D-traject is de verwachting dat de introductie brandstofcel aangedreven auto's, tegen concurrerende prijzen, niet lang meer op zich zal laten wachten.

Geïntegreerde vergassingssystemen voor decentrale toepassing die voor Nederland als perspectiefvol worden gezien zijn:

1. atmosferisch bedreven luchtgeblazen vastbed vergassing met natte, lage temperatuur stookgasreiniging en een gasmotor voor WK-productie en
2. atmosferisch bedreven luchtgeblazen circulerend wervelbed vergassing met natte lage temperatuur stookgasreiniging en een gasmotor voor WK-productie.

Het eerstgenoemde systeem is m.n. geschikt voor de verwerking van een goed gedefinieerde brandstof op relatief kleine schaal. Het tweede systeem is flexibeler m.b.t. de brandstofinzetbaarheid en over het algemeen (economisch) toepasbaar vanaf iets grotere capaciteiten.



Figuur 4.4 Schematische voorstelling CFB vergasser/gasmotor systeem

4.2.3 Leveranciers installaties

Er zijn veel leveranciers van (componenten van) vergassingssystemen. In tabel 4.4 is een selectie van leveranciers opgenomen die – voor zover bekend – de beschreven systemen turnkey zouden kunnen leveren.

Tabel 4.4 *Belangrijkste leveranciers van vergassingsinstallaties*

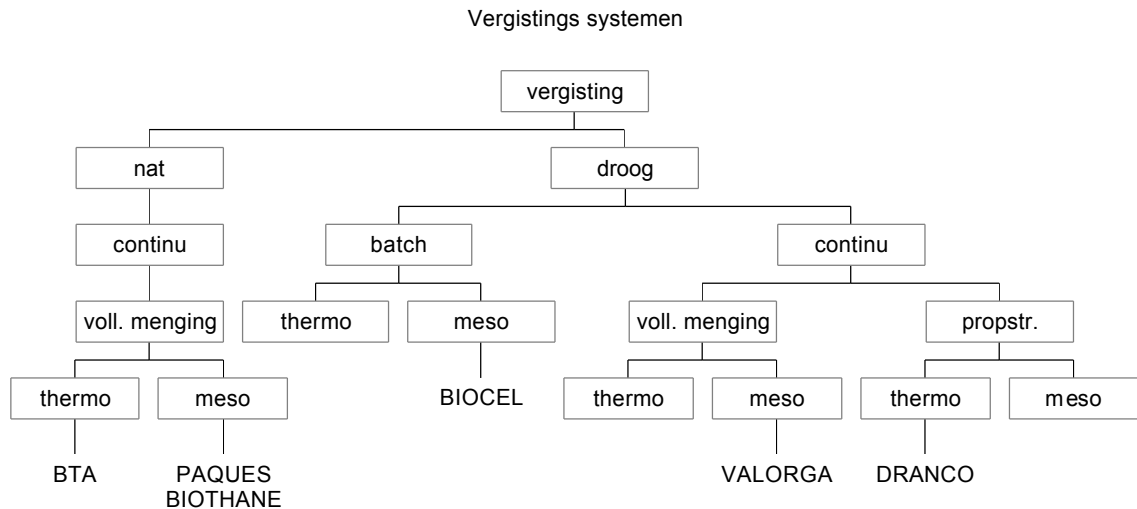
Ontwikkelaar of leverancier	Contactpersoon	Voorbeeldinstallatie
Stork Thermeq B.V. P.O.Box 33 NL-7550 AA Hengelo	? Tel +31-74-2401530 Fax +31-74-2424790	Vastbed vergasser, 250 kW _e -2MW _e ECN Petten
Martezo-Touillet 237, route de Paris, P.O. Box 419 F-86010 Poitiers Cédex	Tel +33-549370203 Fax +33-549373979	Downdraft, meerdere, o.a. Grand Bassam (Ivoorkust), 200 kW _e
Shawton Engineering Ltd Junction Lane, Sankey Valley Industrial Estate, Newton le Willows, UK-WA12 8DN	D. Patrick Tel +44-01925-220338 Fax +44-01925-220135	Downdraft, 100 kW _e (demo)
B9 Energy Biomass Ltd Willowbank Road, Millbrook Larne, Co Antrim N. Ireland BT40 2SF	D. Jenkins Tel +44-1504-271520 Fax +44-1504-308090	Downdraft, 200 kW _e (demo)
KARA P.O. Box 570 NL-7600 Almelo	C. Reinders Tel +31-546-876580 Fax +31-546-870525	Vastbed vergasser, up to 250 kW _e Almelo (NL)
HoSt Industrieplein 3 NL-7553 LL Hengelo	H. Klein Teeselink Tel +31-2401810 Fax +31-2401811	CFB, 1 –5 MW, Petten (NL), 60 kW _e

4.3 Smelten

In de smelter worden minerale afvalstromen samen met energierijke afvalstromen bij een temperatuur van ongeveer 1400 °C omgezet in basalt en eventueel een metaalfase. Beide zouden kunnen afgezet worden als secundaire grondstof. Tijdens het smeltproces ontstaat er ook een productgas dat gezuiverd moet worden. De voornaamste verontreiniging in dit gas zijn vluchtige metalen. In de reinigungsstap van het productgas komende uit de smelter, wordt warmte gerecupereerd in de vorm van stoom. Deze stoom kan gebruikt worden voor de warmtetoevoer in de droger van GIBO. Het productgas kan worden benut in het droogproces of voor een WKK. Het smeltproces is met name economisch aantrekkelijk voor verontreinigde afvalstromen. Verwerking van deze stromen vergt echter de nodig vergunningen en daarmee mogelijk lange vergunningsprocedures. Verder verlangt het smeltproces een vrijwel continue personeelsbezetting, welke het smeltproces waarschijnlijk minder interessant maakt als conversietechnologie voor GIBO.

4.4 Vergisting

Vergisting is een proces waarbij micro-organismen onder anaërobe omstandigheden (in afwezigheid van zuurstof) organisch materiaal omzetten in methaan (CH₄) en kooldioxide (CO₂). Het organische residu kan na ontwatering worden afgezet als compost (na aërobe nabehandeling). Dit biogas wordt gebruikt voor elektriciteitsopwekking in gasmotoren of kan worden opgewerkt tot aardgaskwaliteit en aan het gasnet worden toegevoegd. Vergisting is vooral geschikt voor 'natte' stromen en wordt al op grote schaal toegepast voor industrieel afvalwater en slib van rioolwaterzuiveringsinstallaties. Ook zijn er installaties te vinden in de voedings- en genotmiddelenindustrie voor verwerking van residuen. Recent is een sterke groei in het aantal installaties voor (co)vergisting van mest. De verwerkingssystemen zijn onder te verdelen in natte en droge systemen. In figuur 4.5 zijn de verschillende vergistingssystemen weergegeven.



Figuur 4.5 *Verschiede vergistings systemen*

Bij natte conversiesystemen vinden de processen voor een aantal specifieke stromen in twee gescheiden reactoren plaats, een verzuringsreactor en een methaanreactor. Vanwege de lange verblijftijd in de verzuringsreactor geldt echter voor de meeste stromen dat een specifieke methaanreactor niet noodzakelijk is. Bij droge conversiesystemen vinden de processen altijd in één reactor plaats. Deze systemen kunnen continue of batchgewijs worden uitgevoerd. De eigenlijke conversie vindt, net zoals eventuele voorbehandeling van voeding en nabehandeling van het uitgediste materiaal, plaats in gesloten systemen waardoor emissies naar het milieu en de processen goed beheersbaar zijn.

De anaërobe verwerkingssystemen zijn gedurende de laatste 20 jaar ontwikkeld en worden met name in het buitenland veelvuldig toegepast. In Nederland worden momenteel één commerciële GFT-afval en twee commerciële huisvuil (ONF) vergistingsinstallaties bedreven:

GFT:

- ✓ ORGAWORLD / Biocel-procédé in Lelystad (1996)

Huisvuil (ONF):

- ✓ VAGRON / Waasa-procédé in Groningen (2000)
- ✓ OMRIN / Waasa-procédé in Oudehaske (2003)

De totale opbrengst aan biogas is afhankelijk van de samenstelling en de biologische afbreekbaarheid van het organische materiaal. De biogasproductiesnelheid is afhankelijk van de gebruikte populatie bacteriën, hun groeiomstandigheden zoals nutriënten, zuurtegraad (pH) en temperatuur. In tabel 4.5 wordt een overzicht gegeven van de in Nederland beschikbare agri-organische bijproducten met hun potentiële energie productie en CO₂-vermindering door vergisting (Nijssen, 1997).

4.4.1 Principe van anaërobe vergisting

Anaërobe vergisting bestaat uit een viertal processen, te weten hydrolyse, fermentatie, acetogenese en methanogenese:

1. Hydrolyse: complex, niet opgelost materiaal wordt door enzymen, uitgescheiden door hydrolytische bacteriën, omgezet in minder complexe opgeloste stoffen (monomeren).

2. Fermentatie of zuurvorming: de opgeloste stoffen worden in de cellen van fermentatieve bacteriën omgezet in een reeks eenvoudigere verbindingen die weer worden uitgescheiden. Producten van deze fase zijn o.a. vluchtige vetzuren, alcoholen, melkzuur, CO₂, H₂, NH₃ en H₂S, alsmede nieuw celmateriaal.
3. Acetogenese: tijdens de acetogenese, of intermediaire zuurvorming, worden de fermentatie producten omgezet in azijnzuur, H₂ en CO₂, alsmede nieuw celmateriaal.
4. Methanogenese: azijnzuur, mierzuur, H₂ en CO₂ worden omgezet in CH₄, CO₂ en nieuw celmateriaal.

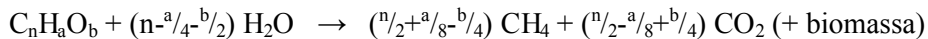
Tabel 4.5 *Overzicht van de in Nederland beschikbare agri-organische bijproducten met hun potentiële energie productie en CO₂ vermindering door vergisting*

Grondstof	Beschikbaar [kton]	Methaanproductie [aardgaseq./ton]	Vermeden CO ₂ [ton]
Bleekaaarde	15	552	12.825
Slurrie uienolie	12	552	10.260
Swill	108	378	63.180
Koffiedik cichorei	46	105	7.452
Was afval zetmeel ind.	30	105	4.860
Filterkoek soep ind.	4	105	648
GFT	258	58	23.220
Spruitkoolblad	100	47	7.200
Witlofafval	88	47	6.336
Sorteerafval ui ind.	60	47	4.320
Groentenaafval ind.	52	47	3.744
Bermmaaisel	50	47	3.600
Tomatenstengels	45	47	3.240
Doordraai groenten	25	47	1.800
Cacao afval	14	47	1.008
Doordraai fruit	10	47	720
Fruitaafval industrie	7	47	504
Slootafval	200	12	3.600
Schaaldelen Cacao	5	0	0

Hydrolyse is de snelheidsbepalende stap in het anaërobe vergistingsproces. Voor een goed verloop van de anaërobe conversie is het o.a. van belang dat de omstandigheden voor methanogene bacteriën optimaal zijn. De activiteit van methanogene bacteriën is het grootst in twee temperatuurtrajecten; 30 - 40°C (mesofiele condities) en 50 - 70°C (thermofiele condities). Andere belangrijke procescondities zijn onder andere een neutrale pH (6.5-8), lage ammoniumconcentratie en lage concentratie aan zware metalen.

Het restproduct van anaërobe vergisting bestaat uit een anaëroob gestabiliseerd residu dat een zekere aërobe nabehandeling behoeft (nacompostering). De nabehandeling kan tevens bestaan uit ontwatering, voorafgaand aan de aërobe stabilisatie, en zeving, na de stabilisatie. Op deze wijze wordt compost verkregen met een hoge kwaliteit; vrij van pathogenen, hoog waterabsorberend vermogen en een laag zout- en zware metalen gehalte, afhankelijk van de kwaliteit van de ingaande stroom.

De verhouding CH₄/CO₂ in het biogas wordt bepaald door de samenstelling van het om te zetten materiaal, met name de mate waarin het materiaal is gereduceerd of geoxideerd. De biogassamenstelling kan worden berekend met de volgende reactievergelijking:



De anaërobe conversie van GFT-afval geeft een biogasmengsel bestaande uit circa 55% CH₄ en 45% CO₂. Bij enkele conversiesystemen wordt papier aan het GFT-afval toegevoegd. Dit geeft een hogere biogasopbrengst met een hoger percentage CH₄. De oorzaak hiervan is dat de cellulose in het papier bestaat uit vergaand gereduceerde koolstofketens. De toevoeging van papier kan, indien het papier zware metalen bevat (drukinkt), negatieve gevolgen hebben voor de kwaliteit van het eindproduct.

4.4.2 Geïntegreerde systemen

De vergisting systemen zijn onder te verdelen in natte en “droge” systemen (zie figuur 4.5).

Natte anaërobe conversie

Natte anaërobe conversie is in het algemeen een twee fasen proces waarbij in de eerste snelheidsbepalende fase de zuurvorming plaatsvindt (hydrolyse, fermentatie en acetogenese) en in de tweede fase de methaanvorming. De conversie kan plaatsvinden in twee gescheiden, onafhankelijk beheersbare reactoren, waarbij het om te zetten materiaal zich bevindt in de eerste reactor. De producten van de hydrolyse en zuurvorming worden in opgeloste vorm naar de tweede reactor geleid. Deze reactor is een waterzuiveringsreactor waar de producten worden omgezet in biogas. Het gezuiverde water wordt vervolgens teruggebracht in de eerste reactor of wordt geloosd op het riool. De gemiddelde verblijftijd in de reactor is twee tot tien dagen. Vanwege de relatief langzame zuurvorming vindt voor een groot aantal stromen echter de tweede fase reacties ook reeds plaats in de “verzursingsreactor” waardoor volstaan kan worden met 1 “overall” reactor.

De ontwikkeling van natte anaërobe conversie technieken heeft geresulteerd in een aantal systemen:

- ✓ PAQUES
- ✓ Biothane-systeem
- ✓ BTA-systeem
- ✓ Haase

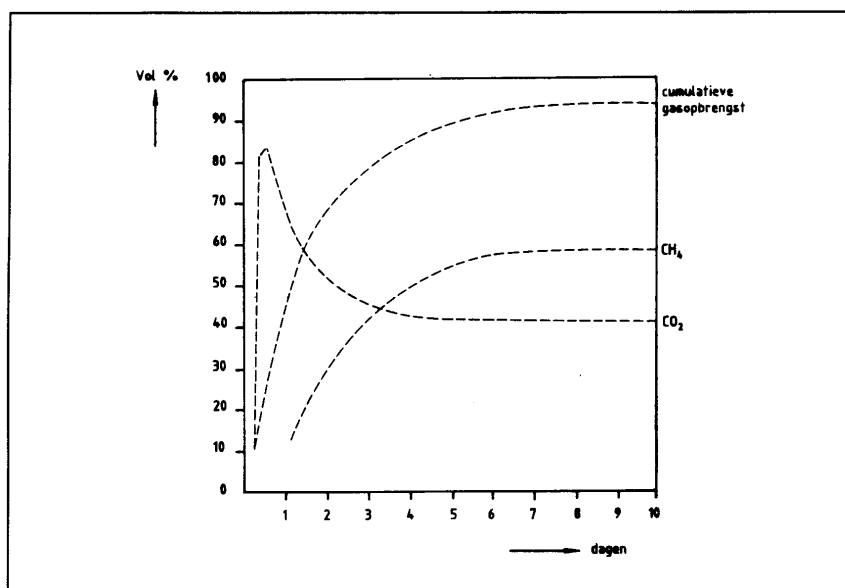
Droge anaërobe conversie

Droge anaërobe conversie vindt plaats in één reactorsysteem (één fase systeem) waarin de vier processen simultaan verlopen. Het proces kan zowel batchgewijs als continu worden bedreven. De verblijftijd bedraagt 2 tot 4 weken. Een belangrijk element bij de droge conversie betreft de menging van het om te zetten materiaal (substraat) met de actieve biomassa (entmateriaal). Deze menging dient snel en zo volledig mogelijk te verlopen daar anders de reactieproducten van de zuurvormende fase, de activiteit van de methaanproducerende bacteriën remmen.

De droge anaërobe conversie vindt plaats bij een droge stof gehalte van 20 tot 40%. Bij de nu beschikbare systemen wordt een droge stof gehalte aangehouden van 20 à 25%. Het droge stof gehalte van GFT-afval bedraagt ca 35 – 40 % zodat vocht moet worden toegevoegd aan het GFT-afval. Na de conversie dient een gedeelte van het vocht te worden verwijderd om het residu op het gewenste droge stof-gehalte te brengen van circa 60%. Dit vocht kan worden gerecirculeerd voor het bevochtigen van het substraat dan wel worden geloosd op het riool. Bij lozing op het riool dient een voorzuivering te worden toegepast aangezien dit vocht een hoog droge stof gehalte en een hoge organische belasting bevat. De ontwikkeling van droge anaërobe conversie technieken heeft geresulteerd in een aantal systemen:

- ✓ Biocel-systeem
- ✓ VALORGA
- ✓ Dranco-systeem

In figuur 4.6 wordt de omzetting van het biologisch afbreekbaar materiaal in CH_4 en CO_2 getoond. Onderzoek heeft aangetoond dat 90% van het makkelijk afbreekbare materiaal wordt omgezet in de eerste 4 à 5 dagen (de Baere et al, 1986). De omzetting van de resterende 10% duurt langer. De verblijftijd in de reactor zou in principe korter kunnen zijn dan de aangehouden 2 tot 4 weken. De reden voor de langere verblijftijd is de lage groeisnelheid van de bacteriën. De verdubbelingstijd van enkele anaërobe bacteriën bedraagt 12 dagen. Aangezien het uitgestemde materiaal als entmateriaal wordt gebruikt, wordt een minimale verblijftijd van 2 weken aangehouden. Indien dit niet zou gebeuren, zou het entmateriaal een geringere biologische activiteit vertonen.



Figuur 4.6 *Snelheid van omzetting en cumulatieve biogasproductie bij anaërobe conversie van GFT-afval*

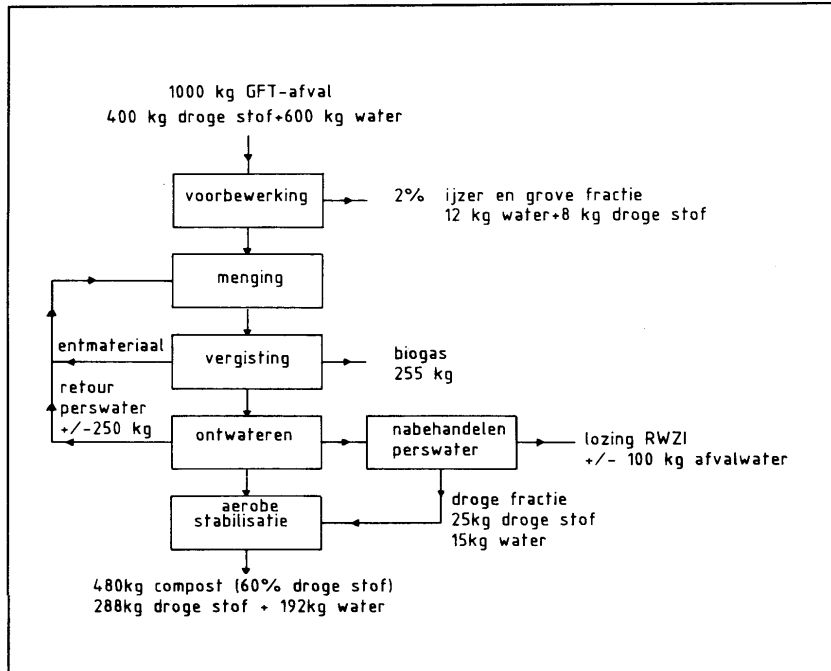
4.4.3 Materiaal- en energiebalans

Water en vaste stofbalans

In figuur 4.7 wordt een water- en vaste stofbalans gegeven voor anaërobe conversie van GFT. De vermelde data zijn gebaseerd op de gegevens zoals verstrekt door de leveranciers van conversiesystemen. Deze gegevens zijn veelal proefondervindelijk vastgesteld. De vermelde waarden zijn een gemiddelde van de beschikbare gegevens. Opgemerkt dient te worden dat de data per conversiesysteem kunnen afwijken, afhankelijk van de toegepaste technieken / voorzieningen voor voorbereiding, conversie en nabewerking.

In de balansen wordt uitgegaan van een droge stof gehalte van 40% voor GFT-afval en van 60% van het verkregen residu. De water en vaste stofbalansen zijn niet geheel eenduidig op te stellen. De vaste stof wordt afgebroken tot CO_2 en H_2O of CH_4 en CO_2 terwijl ook opbouw van organisch materiaal plaatsvindt. Het GFT-afval gemengd met entmateriaal (uitgestemde materiaal) en wordt retour perswater toegevoegd om het gewenste vochtgehalte (75 - 80%) te bereiken.

Na de vergisting wordt het materiaal ontwaterd. Dit perswater wordt vervolgens nabehandeld waaruit drie stromen ontstaan: een vaste fractie welke wordt toegevoegd aan het ontwaterde materiaal, perswater dat als retourstroom wederom de reactor in gaat en surpluswater dat wordt geloosd op het riool. De ontwatering en nabehandeling zijn verschillend bij de diverse anaërobe conversiesystemen. Om deze reden zijn in figuur 4.7 indicatieve waarden aangegeven.



Figuur 4.7 Water- en vaste stofbalans bij anaërobe conversie van GFT-afval

Energiebalans

Bij de anaërobe conversie komt slechts een zeer geringe hoeveelheid warmte vrij. De energie komt vrij in de vorm van een energiedrager, namelijk methaan. De vaste fractie van GFT-afval bestaat uit circa 50% organisch materiaal en circa 50% anorganisch materiaal. Het organische materiaal bevat circa 55% koolstof. Dit komt overeen met 110 kg koolstof per ton nat GFT-afval uitgaande van 400 kg droge stof per ton GFT-afval. Bij vergelijking van verschillende onderzoeksgegevens blijkt dat circa 50% van het organisch materiaal biologisch afbreekbaar is (Verstraete, 1981). Uitgaande van deze aanname kan worden berekend dat 55 kg koolstof per ton nat GFT-afval wordt omgezet in CO₂ en CH₄. Dit geeft een theoretische biogasproductie van 103 Nm³ per ton nat GFT-afval. Uitgaande van een samenstelling van 55% CH₄ en 45% CO₂ betekent dit een biogasproductie van 57 Nm³ CH₄ en 46 Nm³ CO₂ (of 40 kg CH₄ en 91 kg CO₂) per ton nat GFT afval.

4.4.4 Leveranciers installaties

BTA

Biotechnische Abfallverwertung, GmbH & Co. KG, Harry Wiljan Rottmannstraße 18 D-80333 München, Germany, tel: +4989522014, fax: +49895232329. Het BTA-systeem is een nat, continu, anaëroob verwerkingssysteem.

WAASA

HCG, Nieuwe Pekela, Pekelwerk 12, 9663 AW Nieuwe Pekela, Telefoon (0597) 66 66 04, Telefax (0597) 64 69 42

BIOCEL

Biocel / Arcadis Heidemij Realisatie BV, Wilem Elsinga, Postbus 139, 6800 AC, Nederland, tel: +31263778304, fax: +31264426984. Het BIOCEL-systeem van ARCADIS Heidemij is een droog, batchgewijs gevoed anaëroob verwerkingssysteem.

BIOFERM ENERGY

BioFerm Energy BV, Marcel Engels & Jupp Schücking, Veemarktkade 8, C-9, 5222 AE, 's Hertogenbosch, Nederland, tel: +31 736279323. BioFerm Energy BV gaat uit van het Haase-systeem.

HAASE

Haase Energietechnik AG, Jürgen Martens, Gadelander Strasse 172, D-24531 Neumuenster, Duitsland, tel: +49 (4321) 878-0.

VALORGA

Steinmüller Valorga Sarl, Claude Saint-Joly, 1300 avenue Albert Einstein, Immeuble Strategie Concept Parc du Millenaire BP 51, F-34935 Montpellier Cedex 09, France, tel: +33467994100, fax: +33467994101. Het VALORGA-systeem is evenals het DRANCO-procédé een droog, continu gevoed anaëroob verwerkingssysteem.

DRANCO

Dranco Organic Waste Systems, Winfried Six, Dok Noord 4, B-9000 Gent, België, tel: +3292330204, fax: 3292332825. Het DRANCO-procédé (Droge Anaërobe Conversie) is een droog, continu gevoed anaëroob verwerkingssysteem.

BIOTHANE

Biothane Systems International, Tandhofdreef 21, postbus5068, 2600 GB Delft, Nederland, tel: +31 152700111, fax: + 31 152560927. Het Biothane-systeem is een nat, tweetraps mesofiel anaëroob verwerkingssysteem.

PAQUES

Paques Solid Waste System BV, Marten Bennen, Posbus 52, 8560 AB Balk, Nederland, tel: +31514608500, fax: +31514603342. Het BIOLAYER-systeem is een nat, ééntrapsproces.

5. ECONOMISCHE EVALUATIE

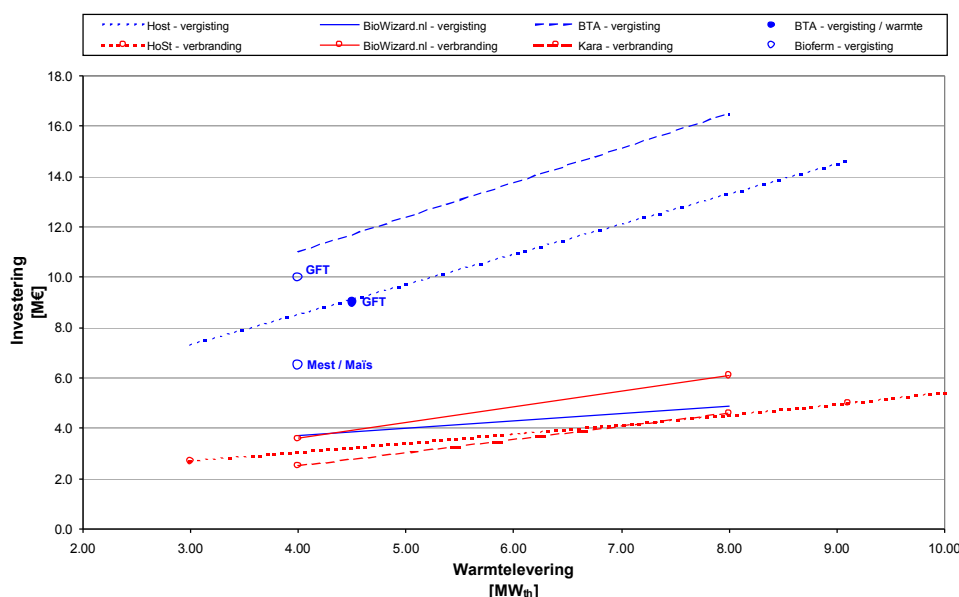
5.1 Investeringskosten

Voor de investeringskosten van een alternatieve energievoorziening ten behoeve van het droogproces voor gipsblokken van gipsbouw BV (GIBO) zijn verschillende bedrijven aangeschreven. Als alternatieve energievoorziening zijn vergisting, verbranding en vergassing voor alleen warmte of als warmte kracht (WKK) optie meegenomen. De aangeschreven fabrikanten staan vermeld in tabel 5.1. De cursief weergegeven fabrikanten in de tabel hebben turn key investeringskosten gegeven. Alleen voor vergisting en verbranding zijn turn key investeringskosten aangeboden. Wervelbed vergassing in combinatie met gasmotoren wordt op dit moment (nog) niet commercieel aangeboden. HoSt geeft aan dat de vergasser naar wens werkt, maar dat ook uit de laatste duurproeven bij ECN blijkt dat de gasreiniging nog niet marktrijp is. HoSt wil wel een wervelbedvergasser in combinatie met stoomcyclus aanbieden.

Tabel 5.1 *Verskillende aangeschreven fabrikanten per technologie*

Technologieën	Fabrikanten ⁴
Vergassing:	<i>Kara, HoSt</i>
Verbranding:	<i>HoSt, Kara, Vyncke Energietechniek N.V.</i>
Vergisting:	<i>BioFerm, HoSt, BTA, Organic Waste Systems NV en HCG</i>

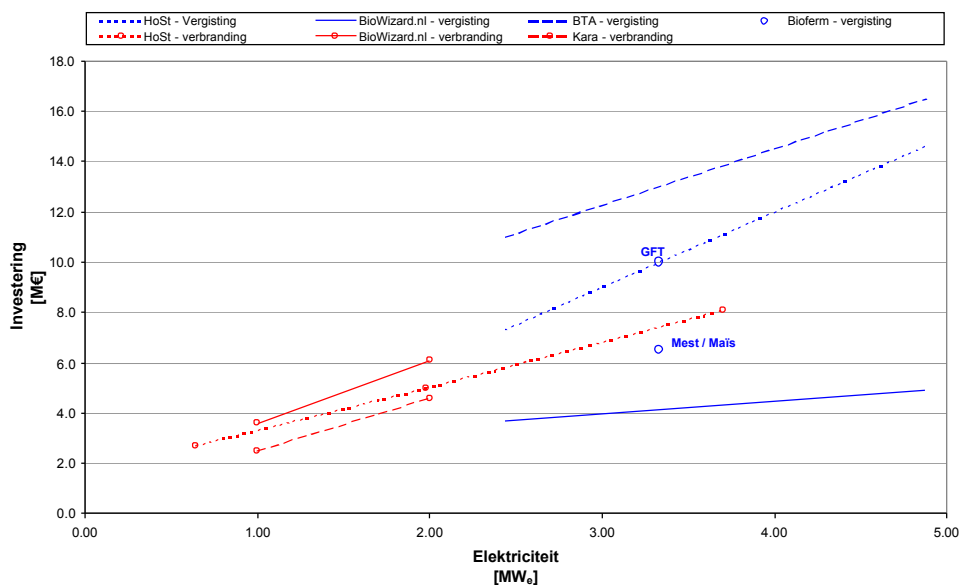
De resultaten van de verschillende offertes zijn weergegeven in de twee onderstaande grafieken. In deze grafieken staan de verschillende conversietechnologieën (vergisting in het blauw en verbranding in het rood) vermeld als functie van het vermogen en de investeringskosten. De doorgetrokken lijnen zijn in het kader van de voorstudie met behulp van “BioWizard.nl” bepaald (Zwart, 2004). In de eerste grafiek staat het thermische vermogen, in de tweede het elektrische vermogen. Kosten voor grond zijn hierbij niet meegerekend.



Figuur 5.1 *Investeringskosten als functie van het thermisch vermogen van de verschillende conversietechnologieën*

⁴ De cursief weergegeven fabrikanten hebben turn key investeringskosten gegeven.

In figuur 5.1 is te zien dat de investeringskosten van de verbrandingsinstallaties volgens de offertes van HoSt en KARA niet veel verschillen ten opzichte van de met “BioWizard.nl” berekende kosten (Zwart, 2004), maar dat de verschillende vergistingsinstallaties een sterke variatie kennen. Deze is hoofdzakelijk het gevolg van het verschil in het te vergisten materiaal en de daaraan gekoppelde noodzaak om het materiaal nog te moeten voorbehandelen. In figuur 5.2 is te zien dat, voor elektriciteitsproductie, de investeringskosten van verbrandingsinstallaties (rode lijnen) lager zijn dan de BTA GFT vergistingsinstallatie (blauwe lijnen).



Figuur 5.2 *Investeringskosten als functie van het elektrisch vermogen van de verschillende conversietechnologieën*

In geval van de offerte van HoSt is uitgegaan van een kippenmest vergister, bij de andere van een GFT vergister. Kippenmest bevat zeer veel stikstof. Waardoor er een zeer lange verblijftijd nodig is, 36 dagen in de vergister en 36 dagen in de na-vergister, Vanwege het hoge stikstofgehalte moet ook de vergistingstemperatuur omlaag tot circa 33 °C. De kippenmest moet tevens worden opgemengd met rundveemest (van circa 50% ds naar circa 15% ds). Een installatie voor 2,2 MW_{th} heeft dan al een vergistingsvolume van 8000 m³ nodig. Kippenmest heeft de vervelende eigenschap dat er een zout ontstaat dat snel kan uitzakken en een dikke niet afpompbare bodemlaag veroorzaakt. HoSt adviseert dan ook om altijd een gasdichte na-opslag te maken, met mixers en een vaste stof afscheider.

De offerte van BioFerm is gebaseerd op enerzijds GFT vergisting (waarbij het GFT een voorbehandeling moet ondergaan) en anderzijds co-vergisting van mest en maïs. Zij leveren een installatie met elektrisch vermogen van 3,3 MW_e en een thermisch vermogen van 4,0 MW_{th}. De co-vergister kost 6-7 M€, de GFT vergister (met voorbehandeling) 10 M€, waarbij kosten voor aanschaf van grond niet zijn meegenomen. Ter vergelijking, de investeringskosten van de VAGRON installatie in Groningen, een ONF (van huisvuil) vergister van 2,5 MW_e en 3,6 MW_{th}, was maar liefst 22 M€. De recent gebouwde ONF vergister (Omrin, Oudehaske) in Friesland, een kopie van de VAGRON, vertoont hetzelfde beeld.

Dhr. Muck van BTA geeft aan dat de investeringskosten zoals berekend met behulp van “BioWizard.nl” (Zwart, 2004) zeer optimistisch zijn. De ervaring van BTA is dat voor een systeem voor GFT vergisting met de omvang zoals gewenst bij GIBO de kosten circa 10 tot 12 M€ bedragen, afhankelijk van de te verwerken stroom. Hierbij is met name van belang in hoeverre de voedingsstromen voorbehandeld dienen te worden. De investering van 10 tot 12 M€ geldt voor een turnkey geleverde installatie inclusief gasmotor, exclusief kosten voor grond. In deze getallen wordt rekening gehouden met scheiding van zand, plastics en dergelijke. Deze

voorbehandeling vergt circa 50% van de totale investeringskosten. Dit zelfde beeld volgt uit de besprekingen met dhr. Schücking en dhr. Engels van BioFerm.

Naar aanleiding van de vraag naar de verschillen in vergisting van GFT of de ONF van huisvuil geeft dhr. Muck aan dat bij vergisting onderscheid gemaakt kan worden tussen één- en meerstaps vergistingprocessen, waarbij in de meerstaps vergisting de (vaste) organische stromen in de eerste stap opgelost worden en vervolgens in een tweede stap daadwerkelijk vergist worden. Uitgaande van GFT is een dergelijke 1^e stap niet noodzakelijk, zolang het mogelijk is de stroom als goed gemengde slurry met vaste stof gehalte van 8-10% aan de vergister te voeden. Het toevoegen van stromen als swill of vetten behoort daarbij tot de mogelijkheden.

Voor huishoudelijk afval geeft hij aan dat dit anders kan liggen, bijvoorbeeld wanneer in de ONF ook papier en dergelijke aanwezig zijn. De aanwezigheid van dergelijke stromen vraagt een additionele verwerkingsstap, waarmee tevens de kosten van een dergelijke installatie stijgen. BTA heeft tot op heden drie installaties in bedrijf genomen voor de verwerking van huisvuil, hierbij zijn twee van de drie gebaseerd op een meerstaps vergistingproces, waaronder de BTA installatie te Villacidro in Italië.

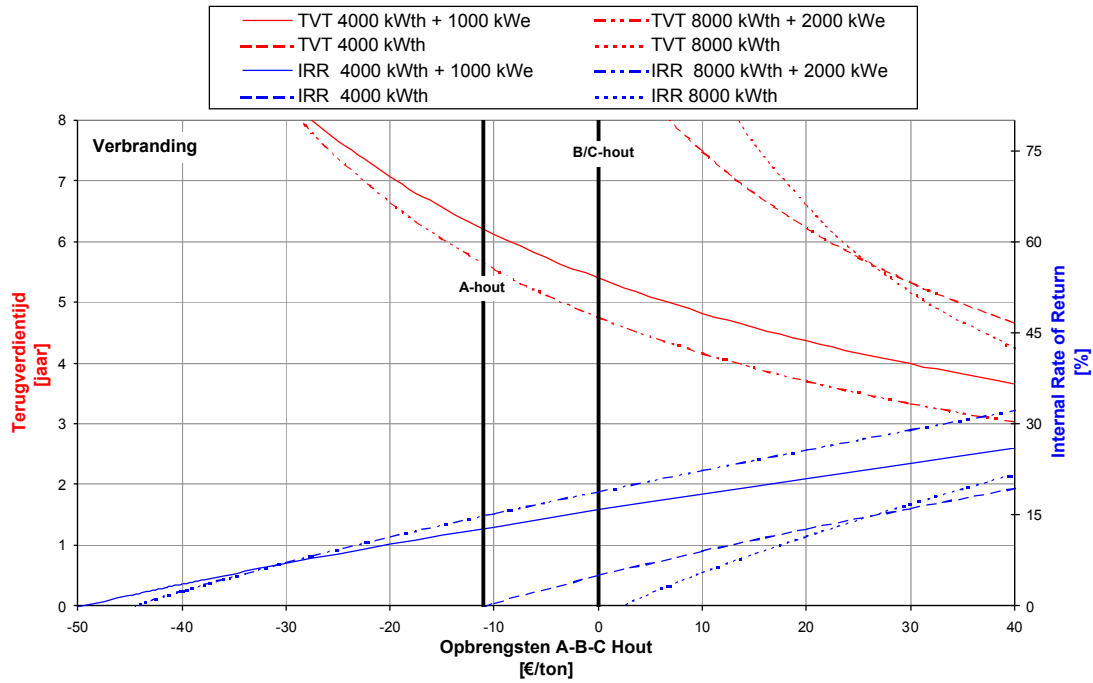
5.2 Terugverdiertijden en Netto Contante Waarde

Op basis van bovenstaande investeringskosten zijn de terugverdiertijden (TVT) en de netto contante waarden (NCW) berekend. De afhankelijkheid van de terugverdiertijd ten aanzien van de kosten / opbrengsten van de biomassa / reststromen voor een vergisting- en een verbrandingsinstallatie staan respectievelijk weergegeven in figuur 5.3 tot en met figuur 5.5.

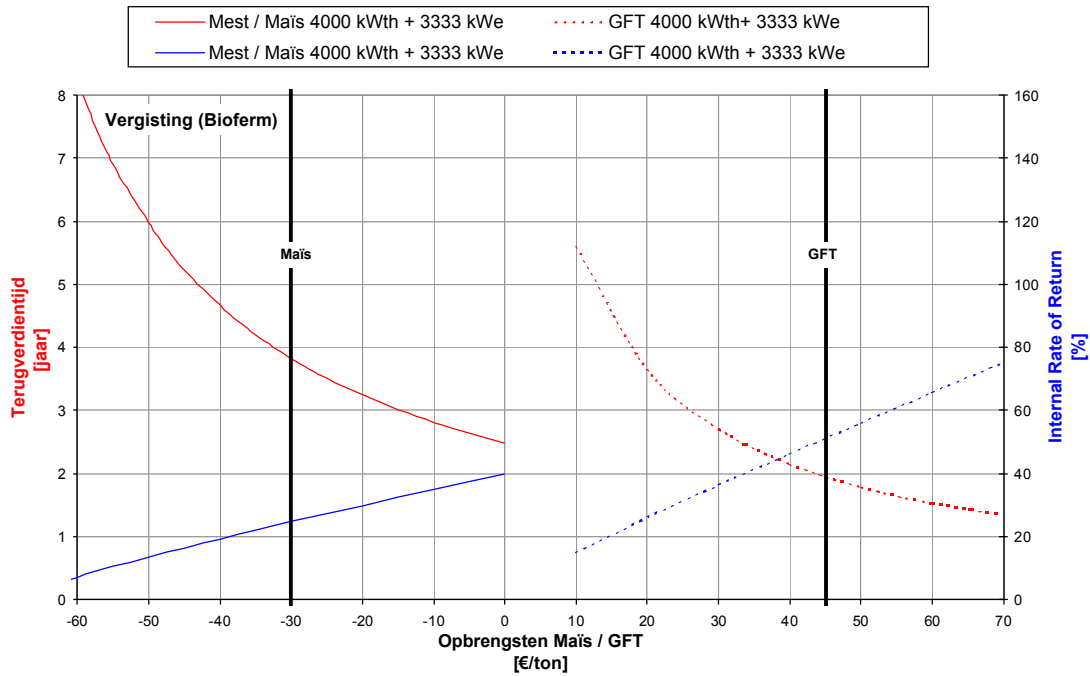
De gebruikte aannames met betrekking tot het huidig verbruik van GIBO van aardgas, elektriciteit en grondwater zijn reeds in tabel 2.2 samengevat. De aanvullende aannames staan in tabel 5.2 weergegeven, waarbij als enige subsidiemaatregel de stimuleringsmaatregel “milieukwaliteit elektriciteitsproductie” MEP verondersteld is (§5.3). Voor de kosten van de grond is aangenomen dat de waarde van de bij GIBO beschikbare grond 2 M€ bedraagt. Verder is er van uit gegaan dat het digestaat van de vergister afgezet kan worden als meststof (10 €/ton) en niet gestort of verbrand dient te worden. In geval van stort of verbranding kunnen de kosten oplopen tot 100 €/ton. BioFerm geeft aan dat voor het voorgestelde co-vergisting van mest en maïs het digestaat afgezet kan worden als meststof, maar dat voor GFT of ONF vergisting rekening gehouden moet worden met stort of verbranding. In de regel kan uitgegaan worden van de “van akker tot akker” gedachte: wat van de akker komt mag daar ook weer over uitgereden worden.

Tabel 5.2 *Overige aannames*

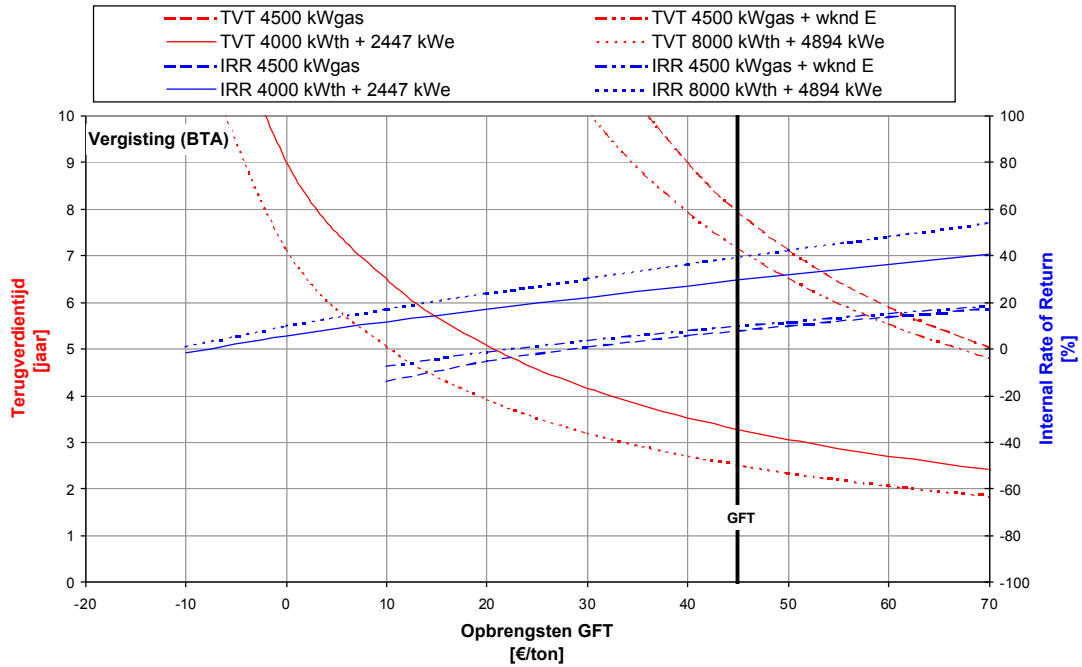
Parameter	Aanname
Kosten verbrandingsas afvoer	131,4 € / ton
Kosten digestaat afvoer	10 € / ton
Teruglever vergoeding elektriciteit	3,6 € ct / kWh
Vergoeding MEP	<i>afhankelijk van te verwerken biomassa (§5.4.7)</i>
Afschrijvingstermijn	13 jaar
Rente	6 %
Specifieke bedrijfs- en onderhoudskosten	5 % INV.
Netto overall E rendement - vergisting (W+K)	30 %
Netto overall E rendement - vergisting (W)	<i>(incl. eigen verbruik)</i> -2 %
Netto overall E rendement - verbranding (W+K)	12 %
Netto overall E rendement - verbranding (W)	0 %
Grondkosten beschikbare grond GIBO	2 M€
Personele bezetting co-vergisting / verbranding	volautomatisch, derhalve 0 k€
Personele bezetting GFT/ONF vergisting	4 personen in ploegdienst, derhalve 600k€



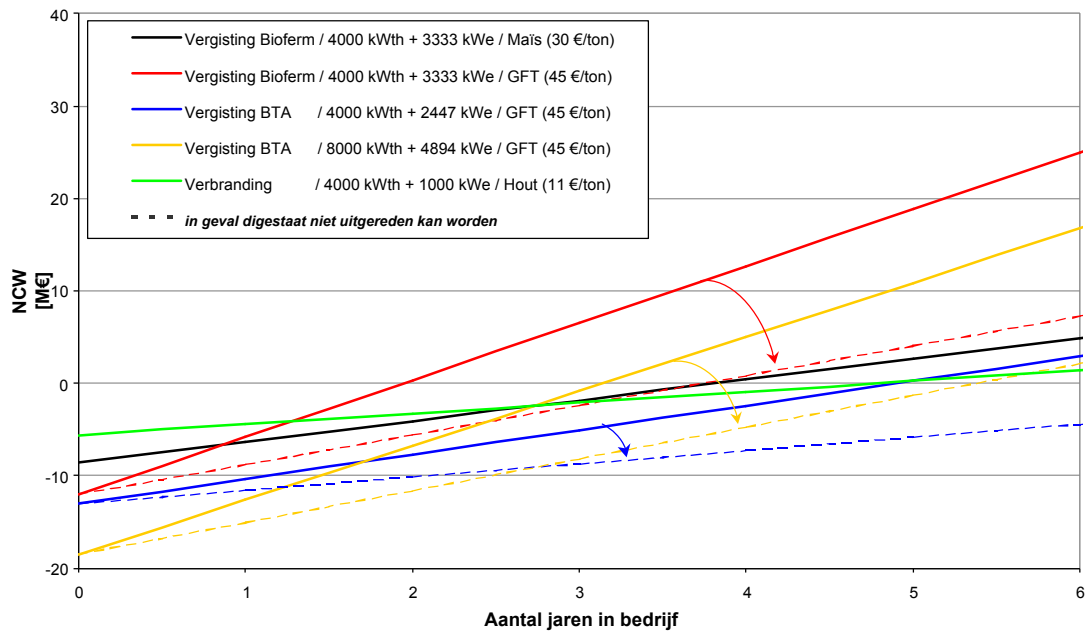
Figuur 5.3 *Terugverdientijd als functie van de kosten/opbrengsten van de biomassa/reststromen voor een verbrandingsinstallatie*



Figuur 5.4 *Terugverdientijd als functie van de kosten/opbrengsten van de biomassa/reststromen voor een vergistinginstallatie van BioFerm*



Figuur 5.5 Terugverdiendtijd als functie van de kosten/opbrengsten van de biomassa/reststromen voor een vergistinginstallatie van BTA



Figuur 5.6 Ontwikkeling van de netto contante waarde voor de verschillende installaties

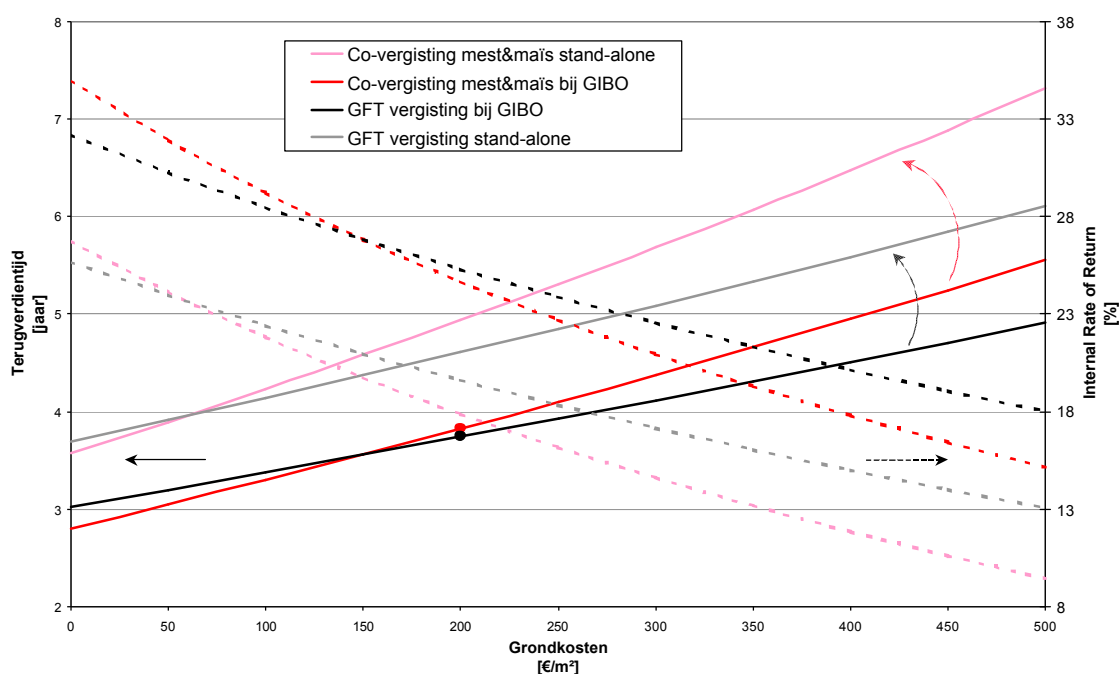
Figuur 5.6 laat zien wat de netto contante waarde van de betreffende investering is als functie van het aantal jaren dat de installatie in bedrijf is. Op het moment dat de NCW gelijk nul is heeft de installatie zich terugverdiend en kan winst gedraaid gaan worden. Ondanks de relatief lage turn-key investeringskosten van een verbrandingsinstallatie (3,6 M€) vallen de terugverdiendtijd en de NCW voor de verbrandingsinstallatie (rekening houdende met grondkosten à 2 M€) ongunstig uit in vergelijking met de BTA en BioFerm vergisters, waarvan de turn-key investeringskosten een stuk hoger zijn, maar de grondkosten onveranderd 2 M€ blijven.

In de grafiek is tevens aangegeven wat het effect is wanneer het digestaat uit de GFT vergister niet over het land om niet uitgereden kan worden (10 €/ton transportkosten) maar dient te worden gestort of verbrand (circa 100 €/ton). De investeringen blijven dan gelijk, maar de jaarlijkse opbrengsten van de installatie worden geringer, waardoor de installatie zich minder snel terug gaat verdienen. Bij toename van de afvoerkosten van het digestaat tot 100 €/ton daalt de NCW tot het niveau van de gestippelde lijnen. Hierbij is de personele bezetting meegenomen in de berekeningen. De co-vergister van maïs en mest wordt op afstand bestuurd (met minimale bezetting) terwijl voor de GFT vergister een 4 mans ploegendienst nodig is. Afgaande op terugverdientijden zijn co-vergisting van mest & maïs en GFT vergisting vergelijkbaar, de (veel eenvoudigere) installatie voor co-vergisting van mest en maïs gaat echter gepaard met een geringere jaarlijkse opbrengst vergeleken met de (veel complexere en grotere) GFT vergistinginstallaties.

Afgaande op terugverdientijd, NCW en de te verwachten lange levensduur van een vergistinginstallatie is het op lange termijn economisch aantrekkelijker om voor een vergistinginstallatie te kiezen en niet voor verbranding. Hierbij komen zowel de complexe GFT vergisting als de eenvoudigere (kleinschaligere) co-vergisting van mest en maïs in aanmerking. Verbranding is wel aantrekkelijker dan GFT vergisting indien het digestaat gestort of verbrand dient te worden, maar blijft minder aantrekkelijk dan co-vergisting van mest en maïs.

5.3 Alternatieve verwerkingslocatie

Voorgaande berekeningen met betrekking tot de economische haalbaarheid gaan uit van de bouw van een installatie op het bij GIBO beschikbare bedrijfsterrein, waardoor de vrijkomende warmte benut kan worden binnen het bestaande droogproces. Dit vergt echter ook de nodige (logistieke) inpassing, alsmede een verrekening van de waarde van het (nu nog) braakliggende terrein. Het is echter ook mogelijk een stand-alone installatie te bouwen op een afgelegen terrein en de geleverde “groene” elektriciteit in het net te leiden. Daarmee is de toepassing van de vrijkomende restwarmte niet gegarandeerd, maar kan gekozen worden voor een “goedkopere” locatie. Om het effect van de grondprijs op de economische rentabiliteit te bepalen zijn voor de twee meest aantrekkelijke concepten, *i.e.* GFT vergisting en co-vergisting van mest & maïs, de terugverdientijd en de internal rate of return als functie van de grondprijs bepaald (figuur 5.7).



Figuur 5.7 Internal rate of return en terugverdientijd als functie van de grondprijs

Daarbij is voor zowel een installatie geplaatst bij GIBO (en derhalve met warmtekoppeling) als een stand-alone installatie (met alleen elektriciteitsproductie) de grondprijs gevarieerd tussen de 0 en 500 €/m² (typische landbouwgrond kost circa 35 k€/ha, voor aantrekkelijk gelegen bedrijfsterreinen gelden kosten van enkele honderden €/m²). Met de voor GIBO geldende grondkosten van 2 M€ bedraagt de grondprijs voor GIBO circa 200 €/m². Indien een installatie geplaatst wordt bij een agrarisch bedrijf zal echter rekening gehouden moeten worden met een verandering van het bestemmingsplan en daarmee een toename van de prijs van de landbouwgrond. Uit deze gevoeligheidsanalyse kunnen de volgende conclusies getrokken worden:

- ✓ Het effect van de grondprijs op de TVT en IRR is voor GFT vergisting kleiner dan voor co-vergisting (dit vanwege de lagere turn-key installatiekosten van co-vergisting).
- ✓ Zowel GFT als co-vergisting zijn zonder warmtekoppeling economisch minder aantrekkelijk doch nog steeds economisch rendabel, zelfs bij relatief hoge grondkosten.
- ✓ Het benutten van restwarmte heeft een zeer positief effect op de economische rentabiliteit (uitgaande van warmtelevering aan GIBO kan de TVT met circa 20% gereduceerd worden).
- ✓ Het voordeel van het plaatsen van een vergistinginstallatie op een goedkopere locatie weegt niet op tegen het (potentiële) nadeel van het niet kunnen benutten van de vrijkomende restwarmte.

In deze berekeningen is overigens geen rekening gehouden met de eventuele verschillen in aan- en afvoerkosten van grond- en afvalstoffen en rendementsverschillen als gevolg van het niet toepassen van (rest)warmte, maar slechts uitgegaan van het verschil in grondkosten en het mislopen van de “aardgasrevenue” bij warmtekoppeling met het bestaande droogproces van GIBO (zijnde 600 k€), waardoor deze analyse slechts een indicatief karakter heeft.

5.4 Subsidiemogelijkheden

De overheid heeft als doel om in 2010 5% en in 2020 10% van de verbruikte energie duurzaam op te wekken. Om dit doel te bereiken biedt zij betrokken (markt)partijen een financiële handreiking om hen over de streep te helpen. Dit financiële stimuleringsbeleid van de overheid uit zich in allerlei fiscale regelingen en subsidies, waarvan de meest relevante in deze paragraaf nader worden toegelicht.

Voor een uitgebreide omschrijving van de verschillende regelingen en subsidies, alsmede de contactgegevens van de uitvoeringsorganisatie, wordt verwezen naar de internetsite van het milieuloket⁵.

5.4.1 CO₂-reductieplan

Het CO₂-reductieplan⁶ ondersteunt grootschalige investeringsprojecten die een aanzienlijke bijdrage leveren aan de vermindering van de nationale CO₂-uitstoot. Duurzame projecten die voor het bedrijfsleven niet rendabel genoeg zijn, trekt het CO₂-reductieplan over de streep. Richtsnoer bij de beoordeling van de projecten is een zo groot mogelijke CO₂-reductie per subsidie-euro. Uiteindelijk moet met de investeringsprojecten uit het CO₂-reductieplan in 2010 een jaarlijkse reductie van vier a vijf megaton CO₂ bereikt worden.

Het CO₂-reductieplan is toegankelijk voor industriële ondernemingen, overheidsorganen, stichtingen, non-profit organisaties of eenmanszaken. Projecten die zich richten op energiebesparing, gebruik van hernieuwbare energiebronnen en directe reductie van emissie komen voor subsidie in aanmerking.

⁵ Internetadres van het milieuloket: <http://www.milieuloket.nl/>

⁶ Internetadres CO₂-plan: <http://www.co2reductieplan.nl/>

Als beoordelingscriterium geldt binnen het Besluit subsidies CO₂-reductieplan de interne rentevoet IR, welke de rentabiliteit van een project uitdrukt in een percentage. Met dit percentage kunnen projecten onderling vergeleken worden. Voor het CO₂-reductieplan moet de IR (na belasting) lager zijn dan 15% om voor subsidie in aanmerking te komen. In de cashflows wordt ook rekening gehouden met eventuele te betalen of bespaarde belastingen. Hierbij dient rekening gehouden te worden met alle voordelen die fiscale faciliteiten genereren. Het subsidiebedrag mag niet meer bedragen dan 30% van de subsidiabele projectkosten. Hierop zijn echter de volgende uitzonderingen van toepassing:

- ✓ Het MKB kan een (hogere) subsidie van maximaal 40% ontvangen.
- ✓ Indien vermindering van uitstoot van de broeikasgassen wordt bereikt door toepassing van hernieuwbare energiebronnen kan een subsidie van max. 40% worden ontvangen.

In het algemeen is het echter niet verstandig het maximale subsidiebedrag te vragen, omdat de kosten-/subsidie-effectiviteit dan niet altijd meer concurrerend is met de kosten-/subsidie-effectiviteit die andere projectindieners hebben. Hoe minder subsidie gevraagd wordt, hoe groter de kans dat het project gehonoreerd wordt.

5.4.2 Energiefonds Provincie Utrecht

De Provincie Utrecht bestemt van 2003 tot en met 2006 jaarlijks € 650.000 voor een provinciaal energiefonds. Dit fonds is bedoeld om duurzame energieprojecten te ondersteunen die bijdragen aan de reductie van de CO₂-uitstoot. De subsidie is gericht op gemeenten in de provincie Utrecht, welke moeten samenwerken met een marktpartij. Het energiefonds ondersteunt:

- ✓ Investeringsprojecten: door investering in een technologie die direct een lagere CO₂-uitstoot behaalt, zoals vergistinginstallaties die groenafval omzetten in warmte en elektriciteit.
- ✓ Projecten die indirect CO₂-emissie terugdringen, zoals campagnes voor woonwijken, servicepunten voor burgers, trainingen voor installateurs en haalbaarheidsstudies.

Het projectbureau Energie in Uitvoering biedt in opdracht van de provincie Utrecht inhoudelijke ondersteuning. De provincie roept marktpartijen op een bijdrage te leveren aan het Energiefonds vanuit hun maatschappelijke verantwoordelijkheid. Voor in ieder geval de jaren 2003 en 2004 leverden REMU, HBG en Rabo een financiële bijdrage aan het energiefonds. De kans lijkt groot dat het energiefonds stopt in 2005. Reden voor de vervroegde stopzetting zijn bezuinigingen.

5.4.3 Energie-investeringsaftrek (EIA)

Het doel van de Energie-investeringsaftrek⁷ is het stimuleren van investeringen in energiebesparende bedrijfsmiddelen of in duurzame energie. De regeling is bedoeld voor ondernemers die in Nederland onderworpen zijn aan de inkomsten- of vennootschapsbelasting en biedt ondernemers die investeren in energiebesparende bedrijfsmiddelen en duurzame energie een direct financieel voordeel. Van de jaarinvesteringkosten (aanschaf- en voortbrengingskosten) van deze bedrijfsmiddelen is 44 procent aftrekbaar van de fiscale winst. Om in aanmerking te komen voor de EIA moet het bedrag aan energie-investeringen ten minste € 2000 bedragen. De bedrijfsmiddelen mogen niet eerder zijn gebruikt en moeten vermeld staan op de Energielijst. Bedrijfsmiddelen die niet op de lijst vermeld zijn, maar wel energie of fossiele brandstoffen besparen, moeten een algemene besparingsnorm halen om eveneens voor EIA in aanmerking te komen. Voor de EIA geldt een vast percentage van 44 procent.

⁷ Internetadres Energie-InvesteringsAftrek regeling: <http://www.senternovem.nl/eia>

5.4.4 Groei- en Milieuprogramma van het Europees Investeringsfonds

Voor bedrijven uit het MKB (bij voorkeur niet meer dan 50 werknemers) die in milieuvriendelijke technieken investeren heeft de ING Bank een aantrekkelijke regeling: de MKB Milieulening. Op de lening krijgt de aanvrager een half procent rentekorting, terwijl de ING geen afsluitprovisie rekent. De MKB Milieulening is gericht op ondernemingen die willen investeren in milieuvriendelijke bedrijfsprocessen. Te denken valt aan investeringen in zuiveringsinstallaties, recycling van afvalmaterialen, energiebesparing of maatregelen ter verbetering van de gezondheid. Het Europees Investeringsfonds (EIF) stimuleert milieuvriendelijk ondernemen door heel Europa met het Groei- en Milieuprogramma. In Nederland is de ING Bank voorlopig de enige financiële instelling die via het EIF de regeling uitvoert. Leningen via het programma bedragen minimaal 15.000 € en maximaal 1 miljoen €. De looptijd varieert van 3 tot 10 jaar, met een vaste of variabele rente.

5.4.5 Groen beleggen / groene financiering

De Regeling groenprojecten⁸ is in het leven geroepen om projecten te stimuleren die een positief effect op het milieu hebben. De overheid stimuleert deze projecten onder meer door de financiering van 'groenprojecten' aantrekkelijk te maken. Doordat de overheid een belastingvoordeel geeft aan 'groene' spaarders en beleggers kan de bank een lening met een lager rentetarief verstrekken voor een duurzaam gebouwde woning, een windturbinepark of een biologisch landbouwbedrijf.

5.4.6 Milieu-investeringsaftrek (MIA)

De milieu-investeringsaftrek MIA biedt de ondernemer een extra aftrekmogelijkheid van de fiscale winst⁹. Als een bedrijfsmiddel is aangeschaft die op de milieulijst 2005 staat, mag 15, 30 of zelfs 40% van de investeringskosten afgetrokken worden van de winst over het kalenderjaar waarin het bedrijfsmiddel is aangeschaft. Om in aanmerking te komen voor de MIA moeten de kosten van een bedrijfsmiddel minimaal € 450 bedragen. Het totale bedrag aan investeringen per kalenderjaar moet ten minste € 2.000 zijn.

Is het bedrijfsmiddel nog niet in gebruik genomen, dan is het bedrag dat van de fiscale winst afgetrokken mag worden ook afhankelijk van de betalingen. Als het totale investeringsbedrag in één kalenderjaar betaald is, kan volledige aftrek toegepast worden. Het kan ook zijn dat de betalingen over meerdere jaren plaatsvinden. Als het totaalbedrag aan investeringsaftrek, energie-investeringsaftrek dan wel milieu-investeringsaftrek van dit bedrijfsmiddel uitgaat boven het bedrag dat is betaald, kan in het jaar van de investering niet meer investeringsaftrek, energie-investeringsaftrek en milieu-investeringsaftrek ten laste van de winst gebracht worden dan het bedrag dat is betaald. Het meerdere komt dan ten laste van de winst in de jaren waarin de betalingen daadwerkelijk plaatsvinden.

5.4.7 Stimulering milieukwaliteit elektriciteitsproductie (MEP)

Het doel van de Stimulering van de milieukwaliteit van de elektriciteitsproductie (MEP)¹⁰ is het stimuleren van de productie van milieubewust opgewekte elektriciteit in Nederland. In aanmerking voor een bijdrage komen energieproducenten die de volgende energievormen leveren op het Nederlandse net:

- ✓ duurzame of klimaatneutrale elektriciteit (instandhouding of beheer)
- ✓ elektriciteit opgewekt met een warmtekrachtkoppeling (wkk)

⁸ Internetadres Groen beleggen & groene financiering: <http://www.senternovem.nl/groenbeleggen>

⁹ Internetadres Milieu-InvesteringsAftrek regeling: <http://www.belastingdienst.nl/zakelijk/investeringsregelingen>

¹⁰ Internetadres MEP regeling: <http://www.enerq.nl/>

Installaties voor duurzame of klimaatneutrale elektriciteit komen slechts één maal in aanmerking voor een bijdrage. De subsidiesystematiek wordt in juli 2006 gewijzigd voor biomassa. Voor de opwekking van elektriciteit uit deze energievorm zal een onderscheid komen tussen de gebruikte soorten biomassa: bermmaaisel, houtsnippers, diersmeel etc. Warmtekrachtkoppeling installaties (wkk) komen wel meerdere malen in aanmerking voor een bijdrage. Voor de wkk-installaties zijn de voorwaarden voor subsidieverlening per 1 juli 2004 gewijzigd: niet het daadwerkelijk geleverde aantal kWh's, maar de milieuprestatie is maatgevend voor de subsidie. De milieuprestatie wordt afgemeten aan een CO₂-index.

In de regeling subsidiebedragen 2004 zijn de vergoedingen vastgesteld voor de verschillende vormen van duurzame elektriciteit. In een conceptadvies aan minister Brinkhorst (augustus 2004) van EZ stellen ECN en Kema dat de tarieven voor 2006 en 2007 verder verlaagd moeten worden, omdat deze organisaties verwachten dat de stroomprijs zal stijgen. Het met de MEP-subsidie aftoppen van de kosten kan dan minder. De vergoedingen per kWh zijn voorsnog als weergegeven in tabel 5.3 en komen boven op de reguliere vergoeding voor de geproduceerde elektriciteit.

Tabel 5.3 *MEP vergoedingen voor duurzame energie*

	01-01-'05 31-12-'05	01-01-'06 31-06-'06	01-07-'06 31-12-'06
Afvalverbrandingsinstallaties (AVI)	€ 0,029	€ 0,029	<i>nog niet bekend</i>
Electriciteit uit warmtekrachtkoppeling met netkoppeling	€ 0,022**	€ 0,097	
Niet-zuivere biomassa, uitgezonderd diersmeel (ongeacht vermogen)		€ 0,029	€ 0,036
Zuivere biomassa uit diersmeel (bij meer dan 50 MW _e)	€ 0,021	€ 0,021	€ 0,030
Zuivere biomassa* (bij maximaal 50 MW _e)	€ 0,097	€ 0,097	€ 0,097
Zuivere biomassa* (bij meer dan 50 MW _e , niet zijnde een AVI)	€ 0,070	€ 0,070	€ 0,066

* met uitzondering van stortgas en biogas uit slibvergisting

** met vermindering van het subsidiebedrag per geleverd kWh afhankelijk van de hoeveelheid geleverde elektriciteit

Als gevolg van het snelle succes van de MEP dekken de inkomsten de uitgaven niet meer geheel en heeft de Nederlandse overheid te maken met een budgettaire tegenvaller. Om budgettair meer greep op de MEP te krijgen heeft minister Brinkhorst van Economische Zaken op 10 mei 2005 in een brief aan de Tweede Kamer voorgesteld de MEP te wijzigen. Om te voorkomen dat een klein aantal projecten in de categorieën zuivere biomassa en wind op zee de komende tijd zeer veel budget zullen claimen is besloten de subsidiebedragen voor nieuwe aanvragen in deze categorieën tijdelijk op nul te zetten. Hierbij gaat het echter om grootschalige projecten. Voor kleinschalige biomassaprojecten (bij maximaal 50 MW_e) blijft de MEP vergoeding voorsnog ongewijzigd.

5.4.8 VAMIL - Regeling Willekeurig Afschrijving Milieu-investeringen

Deze fiscale regeling heeft tot doel investeringen in milieuvriendelijke bedrijfsmiddelen te stimuleren. Investeringen die op de 'VAMIL-lijst' staan, mogen vrij of willekeurig worden afgeschreven, zelfs in één jaar tijd. Door de versnelde afschrijving wordt de fiscale winst gedrukt, zodat minder belasting hoeft te worden betaald. Energie-investeringen maken sinds enkele jaren geen deel meer uit van de lijst. In 2004 kwamen opnieuw minder bedrijfsmiddelen voor vrije afschrijving in aanmerking. De nieuwste VAMIL-lijst is gratis verkrijgbaar bij de Belastingdienst en het ministerie van VROM¹¹. De VAMIL kan aangevraagd worden in combinatie met de Milieu-investeringsaftrek (MIA) en de Energie-investeringsaftrek (EIA).

¹¹ Internetadres VAMIL regeling: <http://www.vrom.nl/miavamil>

6. OPTIMALISATIE ROOKGASTRAJECT

6.1 Warmteterugwinning in rookgastraject

6.1.1 Potentiële toepassingen voor restwarmte

Naast de mogelijke inzet van biomassa-/afvalstromen binnen het droogproces biedt het rookgastraject van de huidige drooginstallatie mogelijkheden tot besparing. Deze rookgassen zijn enerzijds mogelijk (deels) warm genoeg om ingezet te worden binnen het droogproces en anderzijds bevatten ze een aanzienlijke hoeveelheid (grond)water dat teruggewonnen zou kunnen worden. GIBO heeft in het verleden wel gebruik gemaakt van een economiser, maar vanwege hoge stofbelastingen is deze weer uit het droogstelsel verwijderd. Eventuele implementatie van een dergelijke economiser zal derhalve voorafgegaan dienen te worden door een evaluatie van de daadwerkelijke stofproblematiek.

Het huidige droogstelsel heeft in totaal negen schoorstenen per drooglijn. Afhankelijk van de locatie van de schoorsteen bedraagt de temperatuur van het rookgas 40 tot 125°C, als weergegeven in tabel 6.1.

Tabel 6.1 *Temperatuurniveaus in huidige schoorsteentraject*

Schoorsteen:	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Temperatuur [°C]:	90	125	125	125	120	115	105	80	40

Afgaande op het temperatuurniveau van de rookgassen lijkt benutting van de restwarmte in acht van de negen rookgasstromen op het eerste gezicht theoretisch haalbaar. Slechts het temperatuurniveau van het rookgas afkomstig uit de laatste schoorsteen is met 40°C te laag. Als toepassing van de restwarmte kan gedacht worden aan een drietal opties:

- 1) voorverwarmen van de drooglucht voor de laatste droogsectie
- 2) voorverwarmen van de verbrandingslucht
- 3) warmtebenutting binnen het vergistingproces

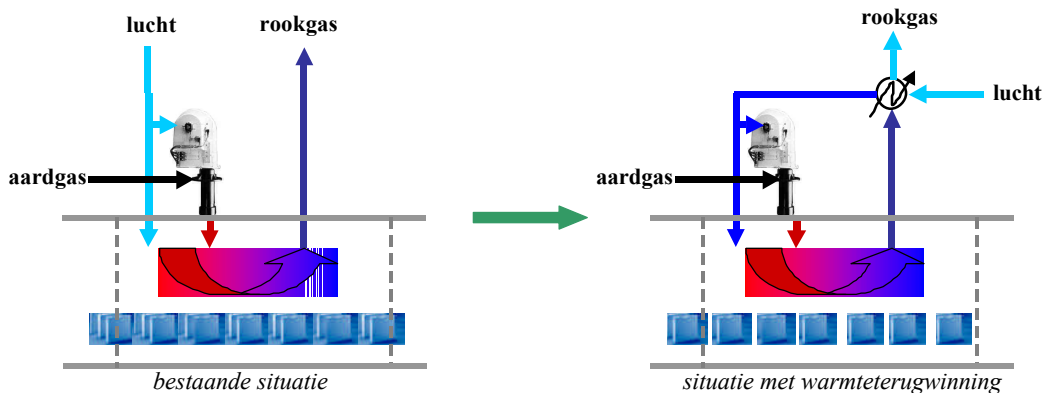
Door *voorverwarmen van de drooglucht voor de laatste droogsectie* wordt restwarmte van het rookgas uit de eerste acht schoorstenen gebruikt om lucht voor te verwarmen welke toegepast kan worden als droogmedium in de laatste sectie van de droger, zodat de branders in deze sectie van de droger onbenut kunnen blijven. Een dergelijke benutting van restwarmte is mogelijk vanwege het lage temperatuurniveau van het droogmedium in de laatste sectie van de droger. De benodigde hoeveelheid warmte is echter beperkt, zeker daar de praktijk uitwijst dat de branders in de laatste sectie van de droger reeds regelmatig onbenut blijven. Daarmee lijkt voorverwarmen van drooglucht voor de laatste droogsectie economisch gezien niet realistisch.

In geval van het *voorverwarmen van de verbrandingslucht* kan veel meer gebruik gemaakt worden van de restwarmte in het rookgas, daar deze restwarmte effectief ingezet kan worden voor alle droogsecties en niet vanwege het temperatuurniveau slechts beperkt is tot de laatste droogsectie. Als gevolg van de stijgende inlaattemperatuur van de lucht zal, bij gelijkblijvende temperatuur en hoeveelheid van het droogmedium, het verbruik over alle branders af kunnen nemen. In §6.1.2 wordt verder ingegaan op het besparingspotentieel van deze optie.

Derde potentiële toepassing van de restwarmte uit het rookgas ligt in de *terugkoppeling naar het vergistingproces*. Afhankelijk van het gekozen vergistingprocédé kan restwarmte op een temperatuurniveau van 30-40°C (mesofiele condities) of 50-70°C (thermofiele condities) benut worden. Normaliter wordt in deze warmtebehoefte reeds voorzien door het benutten van het koelwater van de nageschakelde gasmotor, waardoor koppeling van restwarmte uit de rookgassen met de vergisting alleen interessant is bij een vergistinginstallatie met rechtstreekse voeding van het biogas op de bestaande gasbranders, ergo zonder gasmotor. Deze optie is echter economisch minder aantrekkelijk dan een vergistinginstallatie met warmtekrachtkoppeling (hoofdstuk 5).

6.1.2 Besparingspotentieel voorverwarming verbrandingslucht

In het huidige droogproces wordt aardgas verbrand om het droogmedium lucht op te warmen tot de gewenste temperatuur binnen de specifieke droogsectie. Het rookgas verlaat de droogsectie zonder dat gebruik gemaakt wordt van de (laagwaardige) restwarmte. Door de lucht met behulp van deze restwarmte voor te verwarmen kan (bij gelijkblijvende hoeveelheid en temperatuur van het droogmedium) het aardgasverbruik gereduceerd worden (figuur 6.1).



Figuur 6.1 *Benutting restwarmte rookgas voor voorverwarming lucht*

Bij de indicatieve berekening van het besparingspotentieel van het voorverwarmen van de verbrandingslucht middels de rookgassen uit de droger wordt aangenomen dat het aardgasverbruik gerelateerd aan de negen schoorstenen gelijk is en dat het rookgas na de brander gemengd wordt met het droogmedium lucht tot de uiteindelijke schoorsteen temperatuur bereikt wordt. Voor het vochtgehalte in de rookgassen is uitgegaan van het huidige totale grondwaterverbruik van 32.000 m³ per jaar en is aangenomen dat van elke batch die naar de drogers geleid wordt circa 350 van de 400 liter water uiteindelijk in het rookgas terecht komt. Voor een nauwkeurige bepaling van de potentieel haalbare besparing zijn metingen in het rookgaskanaal noodzakelijk.

Terugwinning van restwarmte in elk van de rookgaskanalen is economisch gezien niet logisch, derhalve is gekozen voor terugwinning in één overkoepelend rookgaskanaal. Vanwege de lage temperatuur van het rookgas uit de laatste droogsectie wordt deze stroom buiten dit kanaal gehouden. Hierdoor kan de temperatuur van het rookgas op 108°C gehouden worden. Middels een tegenstroom warmtewisselaar wordt lucht van 15°C voorverwarmd tot respectievelijk 45, 55, 65 en 75°C. Als gevolg van de voorverwarming van de lucht hoeft per brander minder aardgas verstoekt te worden. In tabel 6.2 is weergegeven wat het effect van het voorverwarmen van lucht is op het aardgasverbruik. Uitgaande van voorverwarming van de lucht tot 75°C kan de overall besparing oplopen tot ruim 20%, oftewel circa 120.000 €/jaar. Navraag bij leveranciers zal moeten aantonen of deze besparing een investering ten behoeve van warmteterugwinning in het rookgastraject rechtvaardigt, zeker daar de warmtewisselaar als gevolg van de aanwezigheid van restanten (basisch) gips in het rookgas prijzig uit kan vallen.

Tabel 6.2 *Besparing op aardgasverbruik als gevolg van warmteterugwinning in rookgastraject*

Aardgasverbruik [Nm ³ /jaar]	Huidige situatie	Lucht voorverwarmd tot			
		45°C	55°C	65°C	75°C
Brander 1	366.667	330.186	318.025	305.789	293.629
Brander 2	366.667	343.786	336.133	328.519	320.866
Brander 3	366.667	343.786	336.133	328.519	320.866
Brander 4	366.667	343.786	336.133	328.519	320.866
Brander 5	366.667	343.786	336.133	328.519	320.866
Brander 6	366.667	340.869	332.269	323.632	315.033
Brander 7	366.667	337.308	327.837	317.684	307.873
Brander 8	366.667	323.594	309.199	294.841	280.484
Brander 9	366.667	244.836	204.188	163.540	122.816
Totaal	3.300.000	2.951.934	2.836.051	2.719.561	2.603.299
Besparing		11%	14%	18%	21%

Als gevolg van de warmte uitwisseling met lucht daalt de temperatuur van het rookgas tot net onder de 60°C, waarbij het minimale temperatuurverschil in de tegenstroom warmtewisselaar 33°C bedraagt (zie tabel 6.3). Een dergelijk temperatuurverschil is toereikend in een gas-gas warmtewisselaar. Door de afkoeling van het rookgas treedt tevens condensatie op, waardoor naast een effectievere warmteterugwinning ten gevolge van de benutting van condensatiewarmte eveneens sprake is van terugwinning van ingezet grondwater. De besparing op het grondwaterverbruik is met (maximaal) 11% echter beperkt.

Tabel 6.3 *Eigenschappen warmteterugwinning in rookgastraject*

	Huidige situatie	Lucht voorverwarmd tot			
		45°C	55°C	65°C	75°C
T _{rookgas, initieel}	108°C	108°C	108°C	108°C	108°C
T _{rookgas, uiteindelijk}	108°C	70°C	60°C	59°C	58°C
ΔT _{minimaal}	-	55°C	45°C	43°C	33°C
Condenswater	-	0m ³	284m ³	1637m ³	2983m ³
Grondwaterbesparing	-	0%	1%	6%	11%

De besparing is met name beperkt vanwege het feit dat het totale rookgas niet volledig verzadigd is. Nadere analyses van de samenstelling van het rookgas na de verschillende droogsecties zullen moeten uitwijzen of wellicht na sommige droogsecties het rookgas wel verzadigd is en derhalve meer gebruik gemaakt zou kunnen worden van bij afkoeling vrijkomende condensatiewarmte. Economisch gezien lijkt dit echter niet aantrekkelijk vanwege de vermoedelijk hoge investeringskosten wanneer meerdere separate warmtewisselaars geïnstalleerd dienen te worden.

6.1.3 Risico's van warmteterugwinning in het rookgastraject

Warmteterugwinning in het rookgastraject gaat gepaard met een aantal risico's. Het rookgas uit de droger bevat sporen gips, welke bij (gedeeltelijke) condensatie zich kunnen gaan afzetten op het warmteuitwisselend oppervlak. Een in het verleden in het rookgastraject geplaatste economiser is vanwege deze stofproblematiek uiteindelijk weer uit het rookgastraject verwijderd. Bij het ontwerp zal derhalve rekening gehouden moeten worden met de afzetting van stof, alsmede wellicht het basische karakter van deze stof.

Daarnaast zal bij benutting van restwarmte uit het rookgas rekening gehouden moeten worden met een toename van de verzadigingsgraad van het rookgas na warmteuitwisseling, waardoor het uiteindelijke rookgas eerder zal uitcondenseren in de buitenlucht, wat gezien de ligging van GIBO in de nabijheid van de Utrechtse wijk Zuilen niet gewenst is.

6.2 Warmtekoppeling met NUON centrale Lage Weide of Merwedekanaal

In de nabijheid van GIBO heeft NUON twee elektriciteitscentrales in bedrijf, te weten de centrales “Lage Weide” en “Merwedekanaal” (Milieujaarverslag NUON 2003). Deze centrales leveren warmte op een niveau van circa 70°C aan een warmtenet in Utrecht, dat in de nabije toekomst verder uitgebreid wordt voor onder andere het nieuwe woongebied Leidsche Rijn. Door toevoeging van koud water is het temperatuurniveau omlaag gebracht naar minder dan 55°C, waardoor warmtekoppeling van het bestaande warmtenet met de drooginstallatie van GIBO niet tot de mogelijkheden behoort. Wel kan mogelijk lagedruk stoom van één van de bestaande locaties afgenomen worden.

6.2.1 Centrale Lage Weide

De locatie Lage Weide bestaat uit de productie-eenheden Lage Weide 5 en Lage Weide 6. De eenheid Lage Weide 5 is een zogenaamde combi-eenheid met een vermogen van 265 MW_e. De bestemming van Lage Weide 5 wordt in 2004 heroverwogen. De eenheid Lage Weide 6 is een moderne warmtekrachteenheid met een maximum vermogen van 247 MW_e en 180 MW_{th}. De bij de opwekking van elektriciteit ontstane restwarmte wordt gebruikt binnen het warmtenet. De Lage Weide centrales liggen op circa 3 kilometer afstand van GIBO, waardoor warmtekoppeling technisch haalbaar lijkt.

6.2.2 Centrale Merwedekanaal

De locatie Merwedekanaal bestaat uit drie productie-eenheden, te weten Merwedekanaal 10, 11 en 12, met een maximum vermogen van achtereenvolgens 96 MW elektrisch en 100 MW thermisch, 103 MW elektrisch en 110 MW thermisch en 217 MW elektrisch en 180 MW thermisch. In het vierde kwartaal van 2003 is op de locatie Lage Weide gestart met de bouw van het warmteoverdrachtstation Leidsche Rijn om op deze manier op termijn de nieuwbouwlocatie Leidsche Rijn te voorzien van warmte. De centrale Merwedekanaal is gelegen aan de Keulsekade 181, op circa 5 kilometer afstand van het bedrijfsterrein van GIBO.

6.2.3 Technische en economische haalbaarheid

Om lucht voor de drooginstallatie tot 125°C te kunnen voorverwarmen zou gebruik gemaakt kunnen worden van lagedruk stoom (5-6 bar, >150°C). Middels condenserende warmtewisselaars zou de lucht voorverwarmd kunnen worden, waarna het condensaat, al dan niet herverhit middels de restwarmte in de rookgassen van GIBO, benut kan worden binnen het bestaande warmtenet of teruggedleid worden naar de elektriciteitscentrale.

Het temperatuurniveau in het bestaande warmtenet is voor (volledige) warmtevoorziening niet toereikend. Om aan de warmtevraag van GIBO te voldoen zal gedurende 6260 uur per jaar 4 MW_{th} geleverd dienen te worden, waarbij de kosten voor deze warmtelevering op jaarbasis niet boven de huidige kosten aan aardgas (600 k€) mogen uitstijgen. Warmtekoppeling met één van de NUON centrales is derhalve slechts aantrekkelijk wanneer de betreffende centrale (continu) stoom op een niveau van circa 5 bar kan leveren tegen een vergoeding van maximaal 6,65 €/GJ.

Navraag bij NUON leert dat zij na bestudering van de gegevens tot de conclusie komen dat warmtelevering vanaf de Utrechtse centrales van NUON (Lage Weide en Merwede) aan GIBO niet mogelijk is. De redenen hiervoor zijn dat:

- 1) de gewenste lage druk van het stoom (4-5 bar) hoger is dan de druk in bestaande stadsverwarmings transportpijpleidingen;
- 2) een dergelijke stoom specifiek afgetapt dient te worden uit de centrale, waardoor het werkgebied van de centrale dusdanig wijzigt dat dit niet realiseerbaar is voor NUON;
- 3) het aanleggen van een 1,5-2 km lange transportleiding (geschikt voor 4-5 bar stoom) een aanzienlijke investering zal vergen (meer dan 1 miljoen €/km), waardoor het project nimmer rendabel zal kunnen zijn.

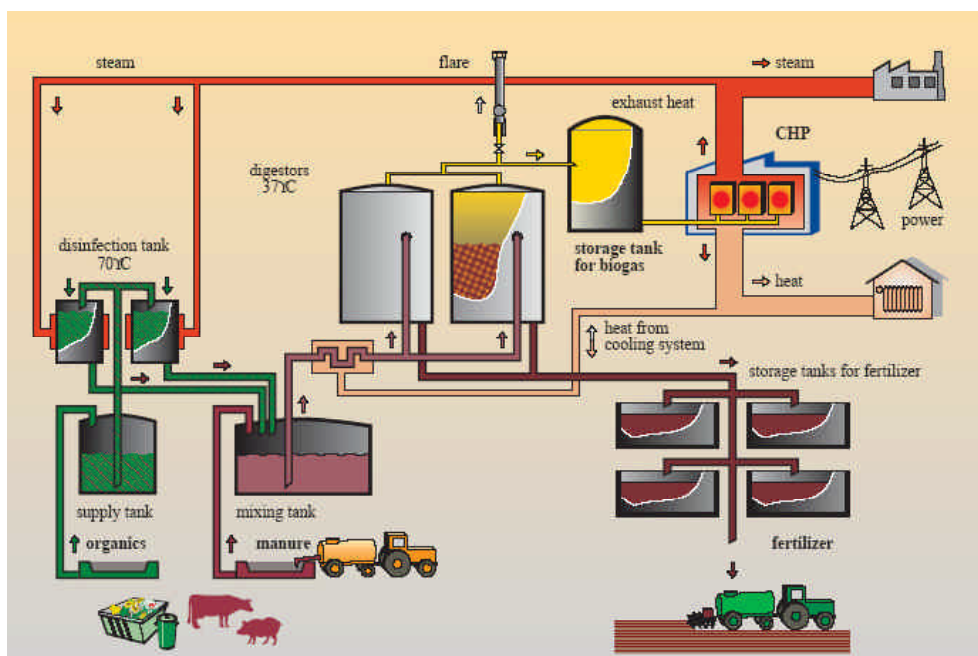
7. TECHNOLOGIEKEUZE EN VOORONTWERP

Indien bij GIBO gekozen wordt voor de bouw van een biomassa conversieinstallatie is een vergisting technisch-economisch het meest interessant. Hierbij kan zowel aan vergisting van GFT of ONF van huisvuil gedacht worden als aan co-vergisting van mest en maïs. Van alle technologieën komen deze het beste uit de evaluatie. De mogelijkheid van warmteterugwinning uit het rookgas van de bestaande installatie of warmteafname bij de electriciteitscentrales van de NUON leiden wel tot een besparing op het huidige aardgasgebruik zonder dat daarvoor grote risicoinvesteringen voor te hoeven worden aangegaan, maar zijn zowel technisch als economisch minder aantrekkelijk (zie hoofdstuk 6). In dit hoofdstuk zal derhalve alleen ingegaan worden op het voorontwerp van warmtelevering middels vergisting.

7.1 Warmtelevering middels vergisting

GFT/ONF versus mest/maïs

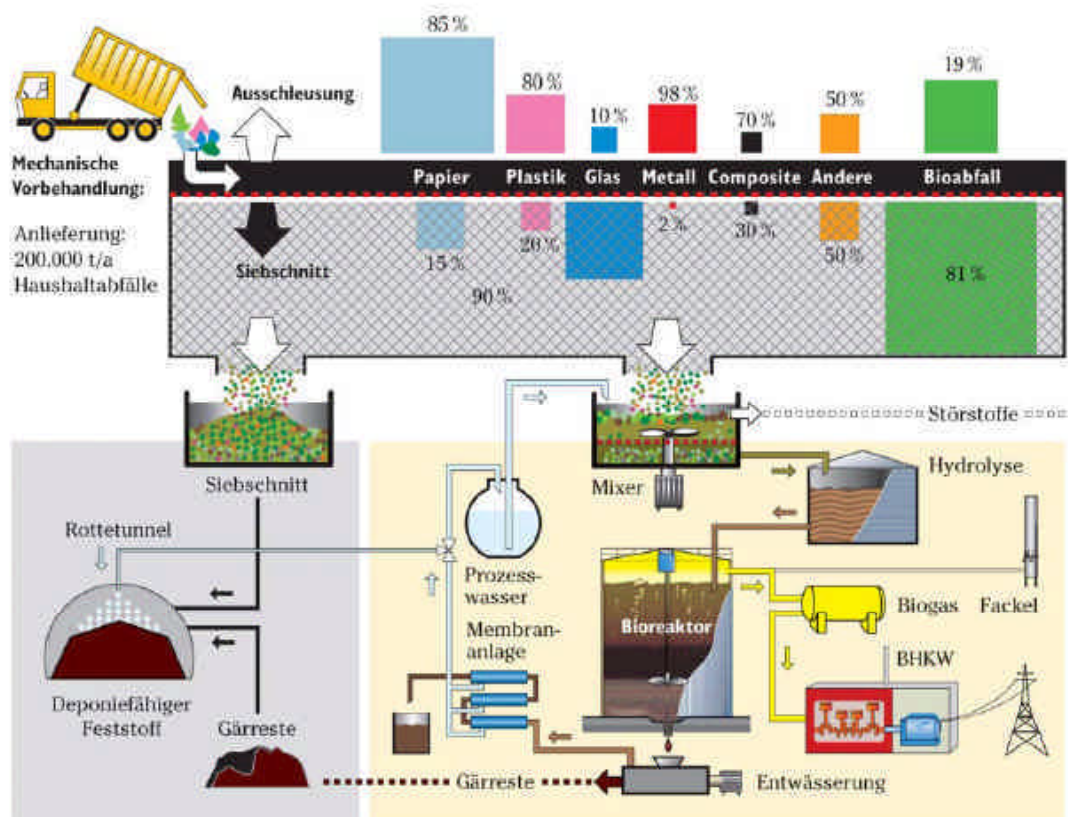
In geval van vergisting is inpassing van het systeem bepalend voor de keuze van het uiteindelijk te plaatsen systeem, meer specifiek voor de keuze van de te vergisten biomassa. Indien gekozen wordt voor co-vergisting van mest en maïs kan de installatie beperkt blijven tot een aantal opslag tanks, de daadwerkelijke vergisting tanks, gasopslag en de WKK-installatie (zie figuur 7.1). Deze installatie met een voeding van circa 60 kton per jaar kan geplaatst worden op het braakliggende terrein naast het huidige GIBO terrein. De warmte van de WKK-installatie wordt benut voor het voorverwarmen van de drooglucht van de bestaande installatie.



Figuur 7.1 Co-vergisting van mest met additionele organische stromen (e.g. maïs)

In geval van vergisting van GFT of de ONF van huisvuil bestaat de installatie naast het feitelijke vergistingsproces en de WKK-eenheid uit voorscheiding van de binnenkomende afvalstroom en nacompostering (figuur 7.2). Het plaatsen van de gehele installatie op het braakliggende terrein naast GIBO zou theoretisch kunnen, maar daarmee zou iedere meter van het terrein volledig benut dienen te worden. Het lijkt derhalve logischer om delen van de GFT/ONF-vergistingsinstallatie niet direct bij GIBO te plaatsen, maar bijvoorbeeld op de bestaande terreinen voor op- en overslag van GFT en huisvuil te Utrecht.

Voor de compostering van de grove fractie van de voeding, eventueel vermengd met het digestaat uit de vergisting, zou wellicht gebruik gemaakt kunnen worden van de installatie te Wijster, welke momenteel reeds de volledige GFT stroom verwerkt. Dit biedt als voordeel dat gebruik gemaakt kan worden van de bestaande voorzieningen als weegbruggen en eventueel aanwezige scheidingsinstallaties, maar door deze fysieke scheiding zullen wellicht additionele opslagmogelijkheden binnen de installatie geplaatst dienen te worden.



Figuur 7.2 Vergisting van huishoudelijk afval

Transport

Daarnaast is transport een belangrijke issue. Voor de GFT vergistingsinstallatie van BioFerm is 115 kton GFT per jaar vereist. Momenteel wordt GFT alsmede huisvuil reeds op- en overgeslagen op industrieterrein Lage Weide, maar indien gekozen wordt voor gescheiden voorbereiding, vergisting en (na-)compostering zal ook transport tussen de verschillende installaties moeten plaatsvinden, wat leidt tot een toename van logistieke handelingen.

Ook in geval van co-vergisting van mest en maïs zal sprake zijn van een toename van logistieke handelingen op het industriegebied, zij het in mindere mate. De BioFerm vergistingsinstallatie draait op ongeveer de helft aan biomassa: 60 kton mest en maïs. Deze kunnen eventueel ook over het water getransporteerd worden. Bij een capaciteit van circa 2 kton per vrachtschip kan zo het transport beperkt blijven tot 2 à 3 keer per maand. Doordat de aanbieder van de biomassa eveneens de afnemer is van het digestaat lijken de logistieke aspecten voor co-vergisting van mest en maïs aanzienlijk eenvoudiger dan voor GFT/ONF vergisting.

7.2 Technologiekeuze en bedrijfsvoering

Een ranking van bovengenoemde technologieën op basis van de economie en de risico's (1 is goed en 5 is minder goed) wordt weergegeven in tabel 7.1. Hierin is te zien dat de technologieën met het hoogste economische potentieel ook de hoogste risico hebben. Digestaat uit de GFT vergister mag niet over het land uitgereden worden zoals het digestaat van co-vergisting van maïs en mest maar dient te worden gestort of verbrand (100 €/ton). Ook in geval van verbranding of stort van het digestaat blijft GFT vergisting aantrekkelijk. De terugverdientijd komt overeen met co-vergisting van maïs en mest maar de jaarlijkse opbrengsten blijven hoger (zie figuur 5.6).

Hierbij is personele bezetting meegenomen in de berekeningen. De maïs en mest vergister wordt op afstand bestuurd terwijl voor de GFT vergister 4 man per shift nodig zijn. Daarmee wordt de (veel eenvoudigere) installatie voor co-vergisting van mest en maïs minstens zo aantrekkelijk als de overige (veel complexere en grotere) GFT vergistinginstallaties.

Tabel 7.1 *Ranking van de technologieën op basis van de economie en de risico's*¹²

Technologie	Economie	Risico
Vergisting "BioFerm" in eigen beheer (GFT)	1 ¹³	5
Vergisting "BioFerm" in eigen beheer (maïs & mest)	2	4
Vergisting "BioFerm" middels lease (maïs & mest)	3 ¹⁴	3
Warmteterugwinning uit rookgas	4	2
Warmtelevering door NUON	5	1

Figuur 7.3 laat zien wat de netto contante waarde van de betreffende investering is als functie van het aantal jaren dat de installatie in bedrijf is. Op het moment dat de NCW gelijk aan nul is heeft de installatie zich terugverdiend. Daar, mede op verzoek van GIBO, tevens rekening gehouden is met de huidige waarde van de reeds beschikbare grond (zijnde 2 M€), geldt ook voor de lease constructie een initiële investering c.q. boekhoudkundige afschrijving van de beschikbare grond.

Uit deze grafische weergave van de NCW in de tijd blijkt dat – ondanks de relatief lage investeringskosten – een warmtewisselaar voor warmteterugwinning in het rookgastraject niet snel kan worden terugverdiend.

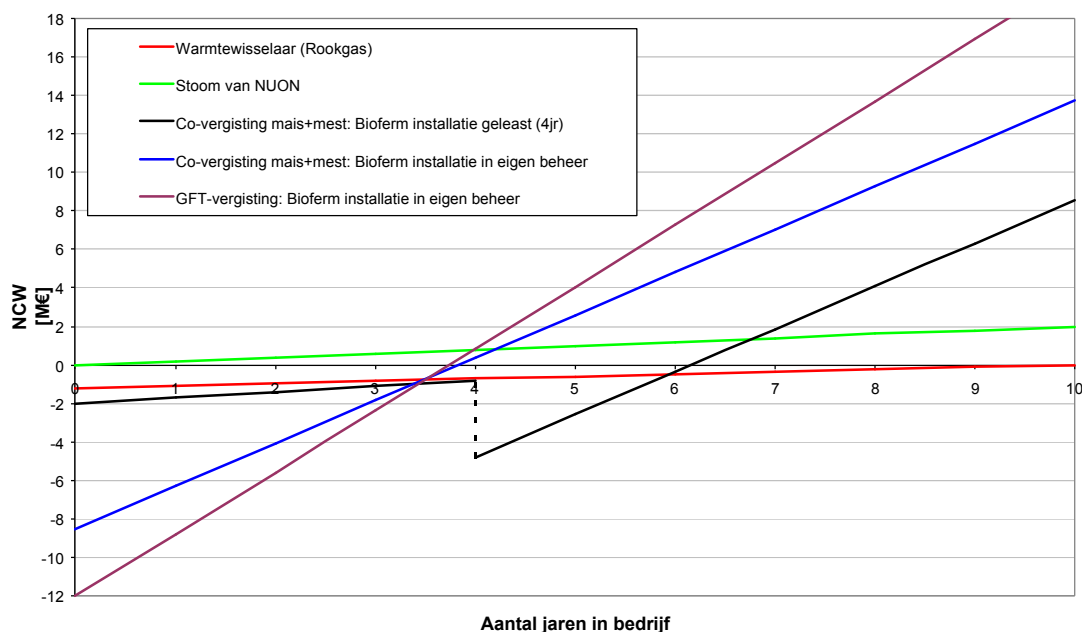
Verder blijkt dat voor een BioFerm co-vergistingsinstallatie van maïs en mest de NCW circa de eerste 3,5 jaar voor een in eigen beheer bedreven lager is dan voor een geleaste installatie, maar dat na 3,5 jaar de geleaste installatie minder aantrekkelijk is. Alhoewel initieel een geleaste installatie het meest aantrekkelijk lijkt, is de lease constructie voor een installatie met een verwachte levensduur van minimaal 10 jaar economisch minder aantrekkelijk dan bedrijf in eigen beheer.

De besparing van de warmtewisselaar is naar verwachting lager t.o.v. het concept om de drooglucht voor te verwarmen met stoom van NUON. Bij de berekening van de NCW van de NUON case is nog aangenomen dat de investeringskosten van de transportleiding voor NUON zijn. In een late reactie heeft NUON echter al laten weten dat warmtelevering vanaf de Utrechtse centrales van NUON (Lage Weide en Merwede) aan GIBO niet mogelijk is (§6.2).

¹² Bij de ranking van technologieën staat 1 voor goed en 5 voor minder goed

¹³ Ook in geval van verbranding of stort van het digestaat (100 €/ton) blijft dit proces aantrekkelijk. De terugverdientijd komt overeen met maïs en mest vergisting maar de jaarlijkse opbrengsten blijven hoger.

¹⁴ Alhoewel in de eerste 4 jaar dit concept het meest aantrekkelijk is, is de lease constructie voor een installatie met een levensduur van minimaal 10 jaar economisch minder aantrekkelijk dan bedrijf in eigen beheer.



Figuur 7.3 *Ontwikkeling van de netto contante waarde*

Afgaande op NCW en de te verwachte levensduur van een vergistinginstallatie is het op lange termijn economisch aantrekkelijker om voor een vergistinginstallatie te kiezen en niet voor een rookgas warmtewisselaar (WW) of stoom van NUON (zie ook §6.2). Voor vergisting zijn er twee opties:

- 1) Eigen beheer = installatie per direct in eigen beheer, b.v. van BTA
- 2) Lease = installatie pas na 4 jaar in eigen beheer, b.v. van BioFerm

Door de bouw en bedrijf van de installatie uit te besteden kan de stap tot daadwerkelijke implementatie, mede door het wegvallen van het investeringsrisico, voor GIBO vereenvoudigd worden. BioFerm ontwikkelt, financiert, bouwt en exploiteert voor eigen rekening op een locatie van de partij een vergistingproject. Dit voor een looptijd van 4 tot 5 jaar. Hiervoor wordt in begin een contract gesloten waarin vastgelegd wordt dat de installatie in geval van een winstgevende exploitatie overgenomen kan worden. Voor de situatie van GIBO zou concreet gelden dat BioFerm vanaf de start van de bouw 4 jaar eigenaar is van de installatie (½ jaar bouw, 1 jaar opstart en optimalisatie, 2½ jaar "normaal" bedrijf) en GIBO tegen een bepaalde vergoeding warmte voor het droogproces afneemt. Na 4 jaar kan GIBO onder vooraf opgestelde voorwaarden de installatie overnemen en zo met de opgedane kennis van voorgaande jaren zelf de installatie bedrijven. Bij het opstellen van de voorwaarden van overname zal rekening gehouden moeten worden met na 4 jaar eventueel noodzakelijk onderhoud aan bijvoorbeeld de WKK installatie.

Vanwege omvang en complexiteit van de GFT vergistingsinstallatie lijkt deze voor GIBO op voorhand minder aantrekkelijk. GFT vergisting is vanwege de uitgebreide voorbereiding minder interessant (personele bezetting, investeringsrisico, benodigd grondoppervlak en digestaat afzet). Economische scoort deze optie echter het beste, maar heeft ook het grootste bedrijfsrisico. Daarentegen kan GFT vergisting voor de gemeente Utrecht een aantrekkelijk alternatief zijn voor de huidige verwerking van het GFT afval. GFT vergisting lijkt derhalve alleen een reële optie als de gemeente bereid is te participeren.

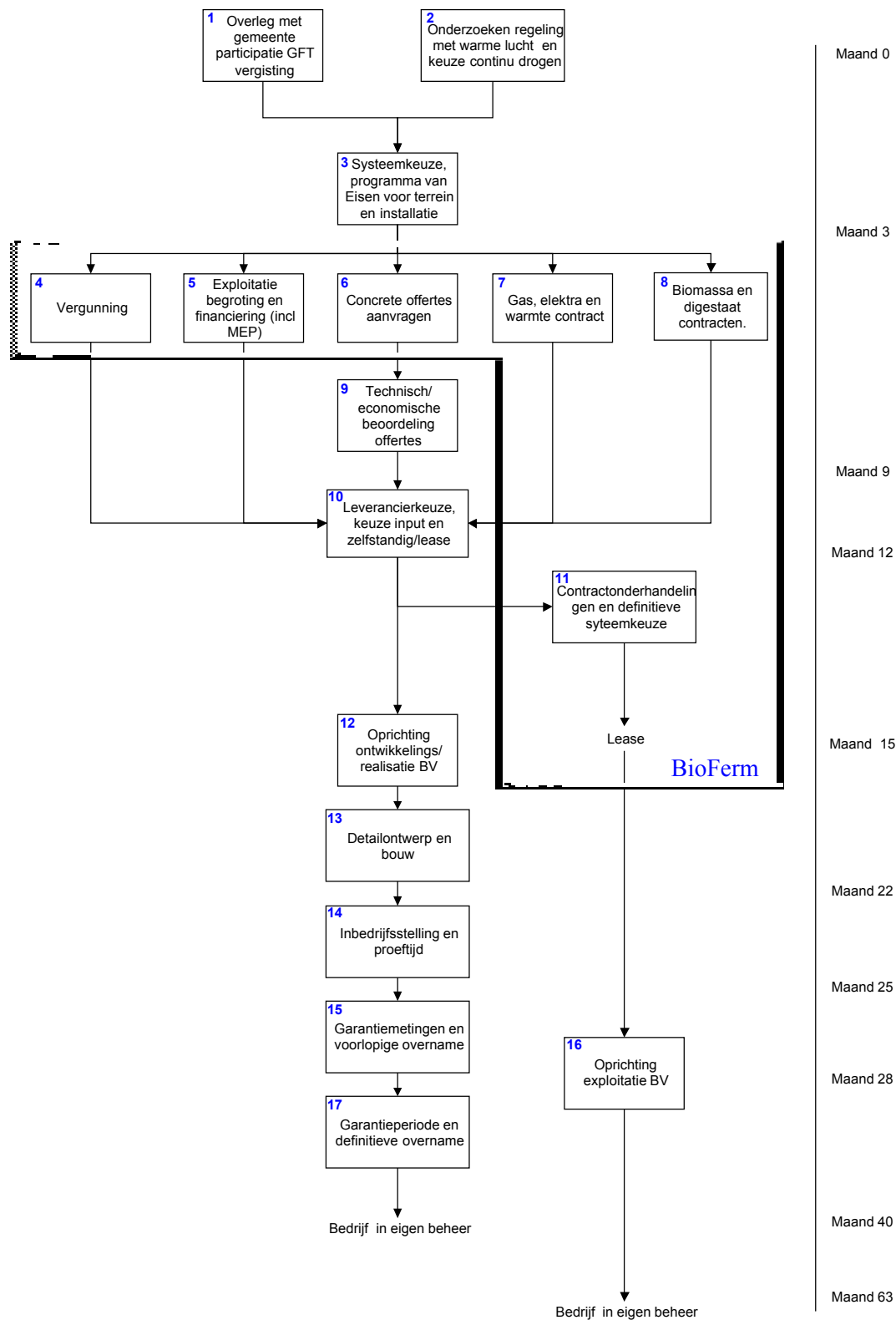
Nadat besloten is de installatie te bouwen (fase 3 na afloop van de bepaling van de technische en economische haalbaarheid) dienen de plannen extern gepresenteerd te worden en draagvlak gecreëerd te worden in de omgeving en bij omwonenden. Tevens kan begonnen worden met de voorbereiding (fase 4), waarin het afsluiten van contracten (of intentieverklaringen) voor zowel aanlevering als afvoer van organische reststromen en voor de verkoop van elektriciteit (onder voorbehoud van vergunningen) van essentieel belang zijn.

Eenmaal verzekerd van aanvoer van biomassa, afname van de energie en de financierbaarheid van het project kan de potentiële leverancier een intentieverklaring voor bestelling van de installatie (onder voorbehoud van vergunningen) gegeven worden. De doorlooptijd kan hierbij verkort worden door een engineeringopdracht te geven. Pas nadat zowel bouw- en milieuvergunningen zijn verleend kan definitief opdracht gegeven worden voor detailontwerp en bouw van de installatie.

7.3.2 Concreet stappenplan voor GIBO

In het concrete stappenplan voor GIBO, dat inhaakt op fase 3 van het algemene stappenplan (*i.e.* haalbaarheid bepaald) komen de verschillende aspecten terug, maar is ook rekening gehouden met enerzijds de nog noodzakelijke analyse van de koppeling van de te bouwen installatie met de bestaande droger (*i.e.* hoe de temperatuur nauwkeurig te regelen) en anderzijds de mogelijkheid de installatie in zijn geheel te leasen (*i.e.* de BioFerm optie). Het concrete stappenplan is weergegeven in figuur 7.5 en begint feitelijk met het extern presenteren van de plannen en het creëren van draagvlak in de omgeving en bij omwonenden (fase 3 in figuur 7.4). Dit plan kan als zodanig ook in zijn geheel “weggelegd” worden bij een projectontwikkelaar (*e.g.* BioFerm).

Ter verduidelijking van het stappenplan zijn de initiële stappen nader toegelicht, mede vanuit het oogpunt dat de praktijkervaring uitwijst dat met name deze stappen langzamer kunnen verlopen dan op voorhand gepland is. Bij de realisatie van mestvergisting op De Marke te Hengelo (Gld) bleken met name financiering én vergunningverlening de oorzaak van een vertraging van ruim anderhalf jaar (Kool, 2005).



Figuur 7.5 *Stappenplan voor GIBO*

- Ad 1:* Het eerste overleg met de gemeente vormt een onderdeel van het extern presenteren van de plannen en het creëren van draagvlak, maar richt zich ook op de vraag of de gemeente bereid is te participeren in een vergistingsproject en dan met name voor de verwerking van voor de gemeente problematische stromen als GFT en ONF. In die zin vormt dit overleg een belangrijke onderbouwing voor de uiteindelijke keuze van vergistingstechnologie. Alhoewel geen elementair onderdeel van dit eerste overleg kan het overleg een begin vormen van het te doorlopen vergunningstraject (zie ook stap 4).
- Ad 2:* Koppeling van de vergistingsinstallatie met de bestaande drooginstallatie dient bij voorkeur te geschieden middels benutting van de bij de productie van “groene” elektriciteit vrijkomende restwarmte. Directe toepassing van het biogas in de branders van de bestaande drooginstallatie beperkt de financiële haalbaarheid, daar dan de MEP vergoeding voor “groene” elektriciteit niet van toepassing is. Door gebruik te maken van restwarmte zal echter de temperatuurregeling van de drooginstallatie dienen te veranderen van gasgestuurd naar sturing met behulp van warme lucht.
- Ad 3:* De uiteindelijke keuze voor technologie is essentieel voor de verdere vervolgstappen en dan met name voor de vergunningverlening (stap 4), de exploitatie begroting en financiering (stap 5) en de contracten voor aan- en afvoer van de organische stromen (stap 8), daar deze sterk beïnvloedt worden door het te vergisten materiaal.
- Ad 4:* Bij de vergunningverlening dient onderscheid gemaakt te worden tussen milieu- en bouwvergunningen. Alhoewel GIBO gevestigd is op een categorie IV bedrijventerrein zal gekeken dienen te worden welke milieuvergunningen van toepassingen zijn en bij wie deze verkregen kunnen worden. Zo is de gemeente het bevoegd gezag voor het bewerken, verwerken, opslaan of overslaan van dierlijke of overige organische meststoffen, maar de provincie is bevoegd gezag indien er sprake is van het be- of verwerken van “geïmporteerde” dierlijke meststoffen met een capaciteit van meer dan 25.000 m³ per jaar (Veerman, 2005). In het overleg met de gemeente (stap 1) kan hier reeds naar gekeken worden. Voor de bouwvergunning geldt dat naast de feitelijke vergistingsinstallatie ook rekening gehouden moet worden met de verschillende noodzakelijke op- en overslagvoorzieningen van GFT, ONF, mest, maïs en digestaat, maar ook zeker van gas (noodzakelijk voor buffering). Omdat de bouw van de installatie binnen het bouwblok van het bedrijf valt is de gemeente waarschijnlijk het bevoegd gezag (Kool, 2005).
- Ad 5:* Bij het opstellen van de exploitatiebegroting en het regelen van de financiering spelen investeringssubsidies, MEP regeling, financierende partijen (banken, overheid) en participerende partijen (gemeente, provincie, AVR) een belangrijke rol. Derhalve is hierbij de keuze van technologie en daarmee de bepaling van het belang van de verschillende partijen een essentiële voorstap (stap 3).
- Ad 6:* Na de keuze voor het systeem kunnen concrete offertes aangevraagd worden, waarbij op voorhand al duidelijk is dat meerdere constructies (lease, eigen beheer) mogelijk zullen zijn. Derhalve wordt aanbevolen deze stap te relateren aan een beoordelingsstap van de offertes (stap 9) alsmede de definitieve keuze voor het in eigen beheer bedrijven of leasen van de installatie (stap 10). Aan de hand van de concrete offertes kunnen dan de technische en economische voor- en nadelen geëvalueerd worden (inclusief bijbehorende risico's).
- Ad 7:* Bij gas, elektra en warmte gaat het om het regelen van nieuwe contracten omtrent gas afname (loskoppelen van gasnet vs. handhaven aansluitingen), “groene” elektriciteitslevering (MEP, afnamecontracten) en potentiële levering van “groene” warmte (MEP voor “groene” warmte?). Momenteel is alleen voor elektriciteit een “groene” regeling van kracht; de MEP vergoeding. Alvorens in aanmerking te komen voor een MEP vergoeding dienen een aantal acties ondernomen te worden:
1. *verzoek tot aanmelding, registratie én biomassa verklaring via CertiQ*
 2. *aanvraag MEP subsidie via EnerQ*
 3. *installatie en goedkeuring van elektrameter*
 4. *vaststellen van aggregator (voor meetgegevens en groenpercentage)*
 5. *contract aangaan met afnemer groene elektriciteit (via groencertificaten)*
- Bij De Marke zijn met name de eerste twee onderdelen onnodig ingewikkeld gebleken. Ze vertonen veel overlap van gevraagde gegevens en verlopen traag.
- Ad 8:* Bij het sluiten van contracten (of intentieverklaring) voor de levering van de organische stromen dient ook rekening gehouden te worden met het regelen van de afvoer van het digestaat uit de vergistingsinstallatie. Contracten of intentieverklaringen worden afgesloten onder voorbehoud van de vergunningen.
- Ad 9:* Vanwege enerzijds de verschillende mogelijke bedrijfsconstructies (lease, eigen beheer) en anderzijds de uiteindelijke wijze van koppeling van de nieuw te bouwen installatie met de bestaande drooginstallatie, verdient het de aanbeveling de uiteindelijke definitieve offertes technisch en economisch te laten beoordelen om daarmee ook de risico's goed in te kunnen schatten.
- Ad 10:* Na de laatste technische en economische beoordeling kan de definitieve bedrijfsconstructie en leverancier vastgesteld worden en daarmee ook het verdere plan van aanpak (lijn “eigen beheer” versus lijn “lease”) doorlopen worden.

8. CONCLUSIES & AANBEVELINGEN

Ten aanzien van de inzet van biomassa / afvalstromen in het droogproces van GIBO ten behoeve van de reductie/substitutie van het huidige aardgasverbruik kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- 1) Vergisting, vergassing, verbranding en terugwinning van warmte uit afgassen warmtewisselaar zijn technisch alle mogelijk
- 2) Stoomafname van de NUON centrale is zowel technisch (aanzienlijke wijziging werkgebied van de centrale) als economisch (hoge kosten stoomtransport) ongewenst
- 3) Vergisting is economisch aantrekkelijker dan verbranding en vergassing, warmte terugwinning uit afgassen en stoom afnemen van de NUON centrale. Deze laatste twee geven een te geringe besparing om de hiervoor noodzakelijke investeringen te rechtvaardigen
- 4) De potentieel interessante vergistingconcepten zijn:
 - GFT vergisting
 - Co- vergisting van organische fracties (b.v. maïs + mest)
- 5) Voor vergisting zijn er twee opties:
 - Installatie in eigen beheer (b.v. van BTA)
 - Installatie pas na 4 jaar in eigen beheer, daarvoor leasen (b.v. van BioFerm)waarbij afgaande op de netto contante waarde (NCW) en de te verwachte levensduur van een vergistinginstallatie is het op lange termijn economisch aantrekkelijker om voor een in eigen beheer bedreven vergistinginstallatie te kiezen en niet voor lease
- 6) Afgaande op risico is het aantrekkelijker om voor een in lease beheer bedreven vergistinginstallatie te kiezen en niet voor eigen beheer
- 7) Een installatie dient bij voorkeur geplaatst te worden als warmtekrachtkoppeling en niet als stand-alone elektriciteitsproductiecentrale
- 8) Beschikbare biomassa/afvalstromen
 - RHD, reinigings- en havendienst Utrecht
De reinigings- en havendienst van de gemeente Utrecht zamelt op jaarbasis 100.000 ton huisvuil en GFT in. Het GFT afval gaat momenteel via het overlaadstation Lage Weide per trein naar de composteringsinstallatie van ESSENT te Wijster.
 - SITA recycling services
SITA heeft biomassa/afvalstromen die voor vergisting in aanmerking komen zoals swill, uitgepakte levensmiddelen en putvetten.
 - BioFerm
Kan maïs en mest leveren
- 9) De uiteindelijke keuze is afhankelijk van het risico dat GIBO wil nemen.

Vanwege omvang en complexiteit van de GFT vergistingsinstallatie lijkt deze voor GIBO op voorhand minder aantrekkelijk, alhoewel de optie economisch het beste scoort. GFT vergisting is vanwege de uitgebreide voorbereiding minder interessant (personele bezetting, investerings- en bedrijfsrisico, benodigd grondoppervlak en digestaat afzet). GFT vergisting kan voor de gemeente Utrecht echter een aantrekkelijk alternatief zijn voor de huidige verwerking van GFT afval. GFT vergisting lijkt alleen een reële optie als de gemeente bereid is mee te participeren.

Aanbevelingen

Om te komen tot de daadwerkelijke implementatie van een vergistinginstallatie is het aan te bevelen de volgende acties te ondernemen:

- 1) informeren naar noodzakelijke (additionele) vergunningen en de mogelijke participatie van derden in GFT vergisting (Gemeente Utrecht)
- 2) concrete offertes aanvragen voor het basic design / contract onderhandelingen (BTA / BioFerm / Haase)
- 3) detail uitwerking van financiering en subsidiemogelijkheden (EZ / SenterNovem / Banken / Gemeente / Provincie)
- 4) vastleggen van garanties ten aanzien van elektriciteit levering en de afname van het GFT digestaat (NUON / Essent / AVR)
- 5) vastleggen van garanties ten aanzien van biomassa-/afvalstromen (*i.e.* contracteerbaarheid, levering, ...)

REFERENTIES

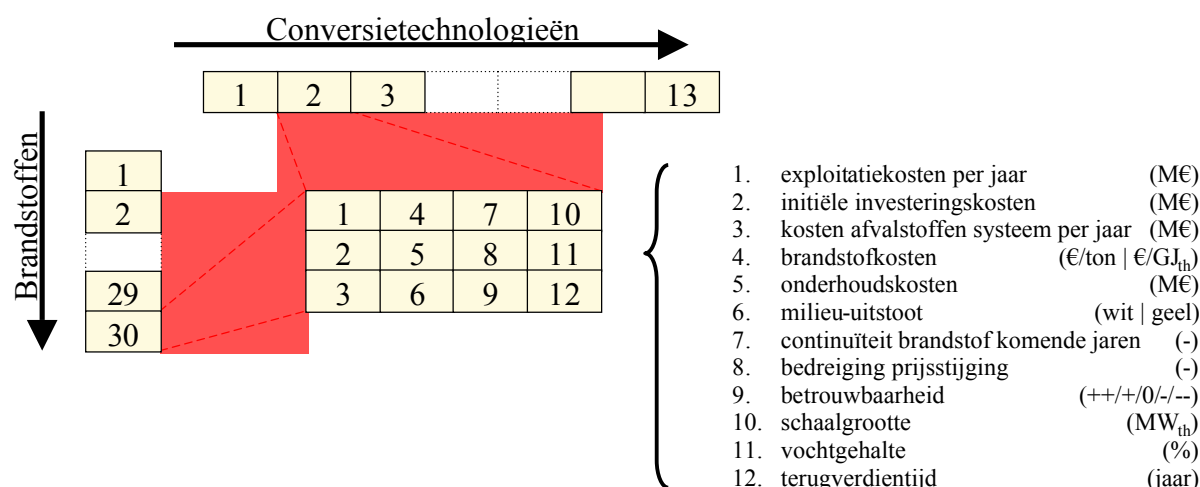
1. Blischke, J.: *Combining anaerobic digestion with enclosed tunnel composting*. Biocycle Energy, 2004.
2. De Baere, L., Verdonck, O. en Verstraete, W. *Biotech. bioeng. symp.*, No 15, pp 321-330, 1986.
3. De Boer, M., Van der Pluijm, R.: *Van kg naar kW*, ECN-DE-Memo 96-32, Petten, 1996.
4. Faaij, A., Van Ree, R., Meuleman, B.: *Long Term Perspectives of Biomass Integrated Gasification with Combined Cycle Technology*, Novem-EWAB: 9840, Utrecht, 1998.
5. Koljonen, T., Solantausta, Y., Salo, K., Horvath, A.: *IGCC Power Integrated to a Finnish Pulp and Paper Mill*, VTT Research Notes 1954, 1999.
6. Kool, A., Hilhorst, G.J., Van der Vegte, D.Z.: *Realisatie van mestvergisting op De Marke – Onderzoek en demonstratie*. CLM-rapport 608-2005, Februari 2005
7. Moorman, S. A. H.: *Emissies uit bijstoken, verbranden en vergassen van niet-gevaarlijke afvalstromen in vergelijking tot BLA en AVI*. Centrum voor energiebesparing en schone technologie. CE--00.5713.01, 2000.
8. Nijssen, J.M.A., Antuma, S.J.F. en Van Scheppingen A.T.J.: *Perspectieven mestvergisting op Nederlandse melkveebedrijven*. RSP-122, 1997.
9. NUON Power Generation. *Milieujaarsverslag 2003*. Utrecht: NUON. 2004.
10. PHYLLIS. *Information on the composition of untreated willow wood*, <http://www.ecn.nl>, 2000.
11. Reed, T.B. and Gaur, S.: *A survey of Biomass Gasification 2000, Gasifier Projects and Manufactures Around the World*, NREL and the Biomass Energy Foundation INC., Golden, Colorado, September 1999.
12. Solantausta, Y., Bridgwater, A., Beckman, D.: *Electricity Production by Advanced Biomass Power Systems*, VTT Research Notes 1927, 1996.
13. Sulilatu F.: *Kleinschalige Houtverbranding van Schoon Afvalhout in Nederland*, TNO, Novem rapport 9212, november 1992.
14. Temmink, H.M.G.: *Inventarisatie Buitenlandse Ontwikkelingen Roosterovenverbranding*, Novem rapport 9611, mei 1996.
15. Toon Breyne Ingenieurs - Architecten. *Electronic Citation*. <http://www.tbreyne.be>, 2005.
16. Van Ree, R. et al.: *Kritische succesfactoren biomassa, Identificatie/Specificatie kritische succesfactoren bij de ontwikkeling en de marktintroductie van biomassaconversiesystemen voor de productie van elektriciteit en/of warmte en/of gasvormige/vloeibare secundaire energiedragers*, ECN-C-99-061, Petten, 2000.
17. Veerman, C.P.: *Co-vergisten van dierlijke mest*. TRC 2005/825, Maart 2005
18. Verstraete, W., Pipyn, P. *Biotechnology and Bioengineering*, 23, 1145: 1154, 1981.
19. Zwart, R.W.R.: *Inzet van biomassa-/afvalstromen binnen het droogproces van Gipsbouw BV (GIBO)*. ECN-BM-820297-gr1, 2004

Bijlage A Brandstof vs. technologie

De resultaten van het vooronderzoek naar alternatieve energievoorziening ten behoeve van het droogproces voor gipsblokken van gipsbouw BV GIBO zijn weergegeven in één overall matrix. In deze matrix staan de onderzochte brandstoffen en conversietechnologieën vermeld, alsmede voor iedere combinatie van brandstof en conversietechnologie gegevens omtrent de volgende twaalf aspecten, te weten:

- | | |
|--|---|
| 1. verwachte exploitatiekosten | 8. bedreiging prijsstijging brandstoffen |
| 2. initiële investeringskosten | 9. betrouwbaarheid installatie |
| 3. kosten gerelateerd aan afvalstoffen | 10. gangbare schaalgroottes voor de specifieke conversietechnologieën |
| 4. brandstofkosten | 11. vochtgehaltes brandstoffen |
| 5. onderhoudskosten | 12. terugverdientijden |
| 6. milieu-uitstoot | |
| 7. continuïteit brandstoflevering | |

In onderstaand figuur is een grafische uitleg gegeven van de matrix. De daadwerkelijke matrix is afgebeeld in §A.4. Op de horizontale as staan de dertien beschouwde conversietechnologieën, op de verticale as de dertig beschouwde brandstoffen. Per combinatie van brandstof en conversietechnologie zijn de twaalf beoordelingsaspecten weergegeven.



Figuur A.1 Grafische uitleg van de matrix

A.1 KLEURCODERING

De matrix kenmerkt zich zelf door het gebruik van verschillende kleuren. Allereerst wordt er onderscheid gemaakt tussen lichtgeel (□) en lichtoranje (◻). De combinaties van brandstof en conversietechnologie die daadwerkelijk mogelijk zijn, zijn lichtgeel gekleurd (bijvoorbeeld vergisting van drijfmest), maar combinaties die niet mogelijk zijn lichtoranje (bijvoorbeeld vergisting van droge houtstromen of verbranding van natte meststromen). Verder wordt er gebruik gemaakt van oranje (■) voor die combinaties van brandstoffen en vergassing of smelt, waarbij aan de hand van de evaluatie van de betreffende brandstoffen en de verbrandingstechnologie al gebleken is dat de brandstof te prijzig is (houtpellets, miscanthus en stro van granen). De kleuren groen (■) en rood (■) worden gebruikt om aan te geven dat bepaalde conversietechnologieën om bepaalde redenen niet nader beschouwd worden.

A.2 NIET GEËVALUEERDE CONVERSIETECHNOLOGIEËN

Stoom- en gasturbines worden over het algemeen bij grote schaalgroottes gebruikt. Met gewenste thermische vermogen van 4 respectievelijk 8 MW binnen het droogproces van GIBO zal normaliter gekozen worden voor WKK productie middels stoom- of gasmotor en niet voor stoom- of gasturbines. Derhalve zijn de concepten verbranding met stoomturbine, alsmede vergisting, vergassing of smelt met gasturbine niet verder geëvalueerd.

Het smelt concept is verder ook in combinatie met gasmotor niet verder geëvalueerd daar smelt enerzijds continue beschikbaarheid van een operator vergt en anderzijds alleen economisch aantrekkelijk is indien ook verontreinigde afvalstromen verwerkt worden. Verwerking van dergelijke afvalstromen vergt echter ook weer specifieke vergunningen, welke vrijwel zeker niet verleend zullen worden aan GIBO wegens diens huidige locatie. Daarnaast heeft GIBO haar voorkeur uitgesproken voor een installatie die onbemand bedreven kan worden.

De laatste twee concepten die niet verder geëvalueerd zijn, zijn verbranding in combinatie met de Stirling motor en vergassing in combinatie met brandstofcellen. Zowel de Stirling motor als brandstofcellen worden namelijk nog volop ontwikkeld. De huidige status is echter dat de eerste toepassingen voor stationaire elektriciteitsproductie thans gerealiseerd zijn. Daarnaast zijn de schaalgroottes waar aan gedacht wordt klein. Alhoewel brandstofcellen weliswaar stapelbaar zijn en daarmee schaalgroottes in principe ongelimiteerd, geldt namelijk dat kostenreductie als gevolg van schaalvergroting voor de brandstofcel beperkt is. Voor die technologieën die niet verder geëvalueerd zijn (een groot aantal van) de beoordelingsaspecten met een kruis gemarkeerd.

A.3 BEOORDELINGSASPECTEN

De verschillende combinaties van brandstoffen en conversietechnieken zijn op een twaalfal aspecten beoordeelt. In sommige gevallen is deze beoordeling alleen gedaan voor een WK systeem dat de basislast van de warmtevraag voorziet (zijnde 4 MW thermisch aan warmte of 4,5 MW thermisch aan gas) en is er maar één waarde opgegeven in de matrix. Voor die gevallen waar gekeken is naar WKK productie zijn twee schaalgroottes geëvalueerd, te weten WKK productie met enerzijds invulling van de basislast van de warmtevraag (4 MW thermisch) en anderzijds invulling van de piekvraag (8 MW thermisch). In die gevallen zijn twee waardes opgegeven in de matrix, waarbij de eerste waarde altijd geassocieerd dient te worden met de basislast WKK installatie.

A.3.1 VERWACHTE EXPLOITATIEKOSTEN

De verwachte exploitatiekosten geven de netto kosten per jaar weer van de installatie en bevatten derhalve zowel de opbrengsten ten gevolge van gas besparing, brandstof verwerking en elektriciteitsproductie als de kosten ten gevolge van onderhoud, restafval verwerking en brandstofinkoop. Afschrijvingen zijn echter niet meegenomen. Bij negatieve waarden zal dus sprake zijn van een jaarlijkse netto opbrengst.

A.3.2 INITIËLE INVESTERINGSKOSTEN

De initiële investeringskosten voor een WK installatie liggen lager dan die van een WKK installatie, daar niet geïnvesteerd hoeft te worden in een “prime mover” (e.g. gasmotor). Daarnaast zal de pieklast WKK installatie altijd duurder zijn dan de basislast WKK installatie, daar de pieklast installatie de dubbele capaciteit moet hebben.

A.3.3 KOSTEN GERELATEERD AAN AFVALSTOFFEN

In vrijwel alle gevallen zal afval geproduceerd worden in de vorm van as (verbranding, vergassing) of digestaat (vergisting). De kosten kunnen voor brandstoffen met hoge as fracties (e.g. vleeskippen- en pluimveemest) aanzienlijk oplopen, zeker indien de restfractie tegen storttarieven afgevoerd dient te worden (59 €/ton voor as, 10 €/ton voor digestaat).

A.3.4 BRANDSTOFKOSTEN

De brandstofkosten zijn weergegeven op zowel massabasis (€/ton) als energetische basis (€/GJ). Indien een brandstof geassocieerd kan worden met een negatieve marktprijs (e.g. de verwerker krijgt er geld bij toe), dan zullen de brandstofkosten op zowel massa- als energetische basis negatief zijn, daar uitgegaan kan worden van een positieve energetische waarde per massa-eenheid brandstof. De brandstoffen welke in deze studie bekeken zijn kenmerken zich door hun wijde range aan brandstofkosten (van -45 €/ton voor GFT afval tot 150 €/ton voor afvalvetten). Veelal zullen hoge brandstofkosten de inzet van de betreffende brandstof oninteressant maken (e.g. houtpellets, miscanthus en stro van granen).

A.3.5 ONDERHOUDSKOSTEN

De onderhoudskosten zijn opgebouwd uit daadwerkelijk onderhoud aan de installatie én personele kosten voor het in bedrijf houden van de installatie. Ten aanzien van deze laatste kostenpost kan gezegd worden dat alle geëvalueerde concepten in principe automatisch bedreven kunnen worden, waarmee de inzet van personeel minimaal kan zijn (e.g. de huidige operators van GIBO zouden, na enige scholing met betrekking tot specifieke kennis over de installatie, de controle op zich kunnen nemen).

A.3.6 EMISSIES

In het kader van de emissie richtlijnen is biomassa gesplitst in “vuile” biomassa (gele lijst), waarbij de BVA (Besluit Verbranden Afvalstoffen) eisen worden opgelegd, en “schone” biomassa (witte lijst), waarbij voor slechts een beperkt aantal componenten eisen worden opgelegd. De beschouwde brandstoffen voldoen allen aan het criterium dat het in beginsel biomassa stromen zijn en daarmee in aanmerking komen voor hogere (groene) teruglevering vergoedingen indien elektriciteit geproduceerd wordt. Indien een brandstof voorkomt op de “gele” lijst, dan betekent dit in beginsel dus dat de investeringskosten van de conversie installatie hoger zullen uitvallen als gevolg van de complexere c.q. duurdere reinigingsinstallaties die nodig zijn om aan de gestelde emissie eisen te voldoen.

A.3.7 CONTINUÏTEIT BRANDSTOFLEVERING IN DE KOMENDE JAREN

Zie §A.3.8

A.3.8 BEDREIGING PRIJSSTIJGING BRANDSTOFFEN

De continuïteit van de brandstoflevering en de bedreiging van prijsstijgingen zijn sterk gerelateerd aan elkaar en hangen sterk af van de geldende milieueisen met betrekking tot de verwerking van de brandstoffen (e.g. voor mest), de concurrerende afzetmarkten (bijstook, veevoer, hergebruik) of de oorsprong van het product (rest- of afvalproduct versus specifieke teelt).

Voor brandstoffen met strenge milieueisen geldt dat alternatieve verwerking best wat mag kosten voor de leverancier van de brandstof. Daarmee zal de marktprijs een negatieve waarde kennen (e.g. mest). Indien een dergelijke stroom ook nog moeilijk te transporteren valt zal deze marktwaarde nog meer negatief kunnen worden (zeker bij strengere milieueisen) en zal de continuïteit min of meer gewaarborgd zijn. Kan de brandstof echter getransporteerd worden (e.g. droge meststromen), dan zijn prijsniveau en continuïteit veel minder zeker daar alternatieven beschikbaar komen.

Dit zelfde geldt voor stromen die (tot voor kort) veel toegepast worden in de veevoeder industrie, maar ook voor bijstook doeleinden. De concurrerende markt is bereid meer te betalen voor de brandstof, waardoor continuïteit en prijsniveau onzeker zijn. Problemen in de concurrerende branche (e.g. de BSE crisis in de veevoeder industrie kunnen een positief effect hebben op continuïteit en prijs van de brandstof, maar ook hier geldt dat afgekondigde maatregelen van de ene op de andere dag weer ongedaan gemaakt kunnen worden.

Brandstoffen die vaak wel verzekerd zijn van continuïteit en prijs zijn de specifiek voorbehandelde alsmede geteelde brandstoffen. Deze brandstoffen worden nu al (deels) verhandeld met als doelstelling WKK productie, hebben om die reden reeds een gegarandeerde continuïteit en prijs, maar zijn (om die reden) veelal prijzig en oninteressant (e.g. miscanthus, houtpellets).

A.3.9 BETROUWBAARHEID INSTALLATIE

Voor alle installaties geldt dat ze in principe automatisch bedreven kunnen worden, maar dat in geval van storingen iemand beschikbaar zal moeten zijn om de installatie draaiende te houden. Uitzondering hierop is de smelt installatie, waar ten behoeve van de kwaliteit van de smelt continue controle gewenst is. De betrouwbaarheid is weergegeven met plussen en minnen. Verbranding ten behoeve van warmtevoorziening, alsmede vergisting zijn bewezen technologieën, waarbij koppeling van een bewezen technologie met een “prime mover” altijd een risico met zich meebrengt, vandaar een plusje minder bij verbranding met stoommotor. Voor vergassing geldt dat het reinigingstraject van het gas wat gecompliceerder is, zeker wanneer het gas ingezet gaat worden in een “prime mover” zoals bijvoorbeeld een gasmotor. Desalniettemin zijn testen met vergassingsinstallaties en nageschakelde gasmotoren succesvol uitgevoerd, onder andere bij ECN.

A.3.10 GANGBARE SCHAALGROOTTES VOOR DE SPECIFIEKE CONVERSIETECHNOLOGIEËN

Met gangbare schaalgroottes voor de specifieke conversietechnologieën wordt een indicatie gegeven van minimale en/of maximale schaal waarop de technologie interessant is of wordt geacht. Dergelijke indicaties zijn echter moeilijk te geven, daar deze sterk beïnvloed worden door een scala aan parameters, bijvoorbeeld de prijs van de brandstof. In algemene zin kan echter gezegd worden dat vergassing en smelt, afhankelijk van de “prime mover” pas interessant zijn bij de wat grotere schalen (vanaf enkele MW thermische invoer) en dat verbranding interessant is op wat kleinere schalen (vanaf enkele kW thermische invoer tot enkele MW). De schaalgrootte van vergisting is sterk afhankelijk van het vochtgehalte van de brandstof en de benodigde degradatie- of vergistingstijd, daar deze van grote invloed is op de daadwerkelijke omvang van de vergistingtank/-reactor. Gedacht dient te worden aan 1 tot enkele tientallen MW thermische invoer, waarbij volumes boven de 20.000 m³ uitzonderlijk zijn.

A.3.11 VOCHTGEHALTES BRANDSTOFFEN

Het vochtgehalte van de brandstof is (mede) bepalend voor de keuze van de conversietechnologie. Natte brandstoffen zoals drijfmest, voederbieten en aardappelresten zullen bij voorkeur vergist worden. Verbranding en vergassing zijn niet uitgesloten, maar door het hoge vochtgehalte van de brandstof zullen deze technologieën een netto negatief energetisch effect hebben. Daarentegen zijn er ook weer talloze brandstoffen die niet te vergisten vallen, maar deze zijn vanwege het vake droge karakter van deze stromen weer bij uitstek geschikt voor de thermische conversiesystemen verbranding, vergassing en smelt. De brandstoffen welke in deze studie bekeken zijn kenmerken zich door hun wijde range aan vochtgehaltes.

A.3.12 TERUGVERDIENTTIJDEN

De vermelde terugverdiëntijden zijn gebaseerd op volledige financiering uit eigen vermogen. Tevens is er rekening gehouden met toepassing van een aantal fiscale stimuleringsmaatregelen als de Milieu Investerings Aftrek (MIA), de Vrije Afschrijving Milieu Investerings-lijst (VAMIL) en REB vrijstellingen. De totale vermindering op de investering door subsidies en fiscaal voordeel kan oplopen tot 20 à 40% van de totale investering. De terugverdiëntijd wordt echter ook sterk beïnvloed door de vergoedingen die gepaard gaan met elektriciteitsproductie en brandstof. Deze vergoedingen worden veelal voor een bepaalde periode vastgelegd, maar zijn daarna onzeker. Een relatief lage terugverdiëntijd voor een installatie met hoge jaarlijkse opbrengsten (e.g. WKK installaties) kan daarmee minder interessant worden dan een installatie met lagere jaarlijkse opbrengsten (e.g. WK installatie) die binnen twee jaar terugverdiend is.

A.4 MATRIX

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	Drijfst boeien	lokale stabel 90%	lokale stabel 90%	lokale stabel 90%	lokale stabel 90%	lokale stabel 90%	lokale stabel 90%	lokale stabel 90%	lokale stabel 90%	lokale stabel 90%	lokale stabel 90%	lokale stabel 90%	lokale stabel 90%
2	Drijfst vreeskruiven	lokale stabel 88%	lokale stabel 88%	lokale stabel 88%	lokale stabel 88%	lokale stabel 88%	lokale stabel 88%	lokale stabel 88%	lokale stabel 88%	lokale stabel 88%	lokale stabel 88%	lokale stabel 88%	lokale stabel 88%
3	Drijfst vreeskruiven	lokale stabel 91%	lokale stabel 91%	lokale stabel 91%	lokale stabel 91%	lokale stabel 91%	lokale stabel 91%	lokale stabel 91%	lokale stabel 91%	lokale stabel 91%	lokale stabel 91%	lokale stabel 91%	lokale stabel 91%
4	Drijfst restvarkens	lokale stabel 92%	lokale stabel 92%	lokale stabel 92%	lokale stabel 92%	lokale stabel 92%	lokale stabel 92%	lokale stabel 92%	lokale stabel 92%	lokale stabel 92%	lokale stabel 92%	lokale stabel 92%	lokale stabel 92%
5	Drijfst fokvarkens	lokale stabel 95%	lokale stabel 95%	lokale stabel 95%	lokale stabel 95%	lokale stabel 95%	lokale stabel 95%	lokale stabel 95%	lokale stabel 95%	lokale stabel 95%	lokale stabel 95%	lokale stabel 95%	lokale stabel 95%
6	Legkoppennest	transport 70%	transport 70%	transport 70%	transport 70%	transport 70%	transport 70%	transport 70%	transport 70%	transport 70%	transport 70%	transport 70%	transport 70%
7	Vreeskoppennest	afnemend 40%	afnemend 40%	afnemend 40%	afnemend 40%	afnemend 40%	afnemend 40%	afnemend 40%	afnemend 40%	afnemend 40%	afnemend 40%	afnemend 40%	afnemend 40%
8	Pruimveest	afnemend 45%	afnemend 45%	afnemend 45%	afnemend 45%	afnemend 45%	afnemend 45%	afnemend 45%	afnemend 45%	afnemend 45%	afnemend 45%	afnemend 45%	afnemend 45%
9	Houspanners	ent. import 25%	ent. import 25%	ent. import 25%	ent. import 25%	ent. import 25%	ent. import 25%	ent. import 25%	ent. import 25%	ent. import 25%	ent. import 25%	ent. import 25%	ent. import 25%
10	Schoon resthoud	hergebruik 15%	hergebruik 15%	hergebruik 15%	hergebruik 15%	hergebruik 15%	hergebruik 15%	hergebruik 15%	hergebruik 15%	hergebruik 15%	hergebruik 15%	hergebruik 15%	hergebruik 15%
11	Houdepijlen	ent. import 25%	ent. import 25%	ent. import 25%	ent. import 25%	ent. import 25%	ent. import 25%	ent. import 25%	ent. import 25%	ent. import 25%	ent. import 25%	ent. import 25%	ent. import 25%
12	A-hout	hergebruik 15%	hergebruik 15%	hergebruik 15%	hergebruik 15%	hergebruik 15%	hergebruik 15%	hergebruik 15%	hergebruik 15%	hergebruik 15%	hergebruik 15%	hergebruik 15%	hergebruik 15%
13	B-hout	hergebruik 10%	hergebruik 10%	hergebruik 10%	hergebruik 10%	hergebruik 10%	hergebruik 10%	hergebruik 10%	hergebruik 10%	hergebruik 10%	hergebruik 10%	hergebruik 10%	hergebruik 10%
14	C-hout	hergebruik 10%	hergebruik 10%	hergebruik 10%	hergebruik 10%	hergebruik 10%	hergebruik 10%	hergebruik 10%	hergebruik 10%	hergebruik 10%	hergebruik 10%	hergebruik 10%	hergebruik 10%
15	Maccantius	teelt 20%	teelt 20%	teelt 20%	teelt 20%	teelt 20%	teelt 20%	teelt 20%	teelt 20%	teelt 20%	teelt 20%	teelt 20%	teelt 20%
16	Bemgras	veevoer 50%	veevoer 50%	veevoer 50%	veevoer 50%	veevoer 50%	veevoer 50%	veevoer 50%	veevoer 50%	veevoer 50%	veevoer 50%	veevoer 50%	veevoer 50%
17	Silo van granen	variatie 15%	variatie 15%	variatie 15%	variatie 15%	variatie 15%	variatie 15%	variatie 15%	variatie 15%	variatie 15%	variatie 15%	variatie 15%	variatie 15%
18	Herhap en vlas	herhap/zaad 20%	herhap/zaad 20%	herhap/zaad 20%	herhap/zaad 20%	herhap/zaad 20%	herhap/zaad 20%	herhap/zaad 20%	herhap/zaad 20%	herhap/zaad 20%	herhap/zaad 20%	herhap/zaad 20%	herhap/zaad 20%
19	Stal	onbekend 75%	onbekend 75%	onbekend 75%	onbekend 75%	onbekend 75%	onbekend 75%	onbekend 75%	onbekend 75%	onbekend 75%	onbekend 75%	onbekend 75%	onbekend 75%
20	Vis, diep en vervoer	afnemend 4%	afnemend 4%	afnemend 4%	afnemend 4%	afnemend 4%	afnemend 4%	afnemend 4%	afnemend 4%	afnemend 4%	afnemend 4%	afnemend 4%	afnemend 4%
21	Saathalve	afnemend 65%	afnemend 65%	afnemend 65%	afnemend 65%	afnemend 65%	afnemend 65%	afnemend 65%	afnemend 65%	afnemend 65%	afnemend 65%	afnemend 65%	afnemend 65%
22	Alvalveten	veevoer 1%	veevoer 1%	veevoer 1%	veevoer 1%	veevoer 1%	veevoer 1%	veevoer 1%	veevoer 1%	veevoer 1%	veevoer 1%	veevoer 1%	veevoer 1%
23	Wier	veevoer 97%	veevoer 97%	veevoer 97%	veevoer 97%	veevoer 97%	veevoer 97%	veevoer 97%	veevoer 97%	veevoer 97%	veevoer 97%	veevoer 97%	veevoer 97%
24	Frutafal	compost 80%	compost 80%	compost 80%	compost 80%	compost 80%	compost 80%	compost 80%	compost 80%	compost 80%	compost 80%	compost 80%	compost 80%
25	GFT-afval	compost 56%	compost 56%	compost 56%	compost 56%	compost 56%	compost 56%	compost 56%	compost 56%	compost 56%	compost 56%	compost 56%	compost 56%
26	Oud papier en karton	hergebruik 27%	hergebruik 27%	hergebruik 27%	hergebruik 27%	hergebruik 27%	hergebruik 27%	hergebruik 27%	hergebruik 27%	hergebruik 27%	hergebruik 27%	hergebruik 27%	hergebruik 27%
27	Gras	veevoer 60%	veevoer 60%	veevoer 60%	veevoer 60%	veevoer 60%	veevoer 60%	veevoer 60%	veevoer 60%	veevoer 60%	veevoer 60%	veevoer 60%	veevoer 60%
28	Mais	veevoer 68%	veevoer 68%	veevoer 68%	veevoer 68%	veevoer 68%	veevoer 68%	veevoer 68%	veevoer 68%	veevoer 68%	veevoer 68%	veevoer 68%	veevoer 68%
29	Aandopbestellen	veevoer 85%	veevoer 85%	veevoer 85%	veevoer 85%	veevoer 85%	veevoer 85%	veevoer 85%	veevoer 85%	veevoer 85%	veevoer 85%	veevoer 85%	veevoer 85%
30	Voederbeten	veevoer 80%	veevoer 80%	veevoer 80%	veevoer 80%	veevoer 80%	veevoer 80%	veevoer 80%	veevoer 80%	veevoer 80%	veevoer 80%	veevoer 80%	veevoer 80%

Bijlage B Biomassa/afvalsamenstelling

B.1 GROENTEN-, FRUIT- EN TUINAFVAL (GFT)

In onderstaande tabel is de (gemiddelde) samenstelling weergegeven van gescheiden ingezameld groenten-, fruit- en tuinafval (GFT) (PHYLLIS).

Tabel B.1 *Samenstelling Groenten-, Fruit- en Tuinafval (GFT)*

Resultaten voor:		Huishoudelijke GFT, gescheiden ingezameld				
Project:		GIBO				
Component		gem. Waarde	min. waarde	max. waarde	standaard deviatie in %	aantal referenties
water	gew% nat	55,6	9,70	80,0	37	8
C	gew% dav	51,2	50,4	52,1	2	4
H	gew% dav	6,49	6,19	6,70	3	4
O	gew% dav	40,0	38,4	42,7	5	4
N	gew% dav	1,65	0,66	2,52	54	5
S	gew% dav	0,27	0,04	0,50	85	3
Cl	gew% dav	0,23	0,03	0,37	65	4
F	gew% dav					
Al	mg/kg droog	269	269	269	0	1
As	mg/kg droog	0,60	0,30	1,10	65	4
B	mg/kg droog					
Ba	mg/kg droog					
Ca	mg/kg droog	6100	6100	6100	0	1
Cd	mg/kg droog	0,20	0,20	0,30	12	6
Co	mg/kg droog					
Cr	mg/kg droog	4,70	3,10	7,30	34	5
Cu	mg/kg droog	5,40	1,90	9,30	63	5
Fe	mg/kg droog	189	189	189	0	1
Hg	mg/kg droog	0,10	0,00	0,10	64	6
K	mg/kg droog	1700	1700	1700	0	1
Mg	mg/kg droog	840	840	840	0	1
Mn	mg/kg droog	1,10	1,10	1,10	0	1
Mo	mg/kg droog					
Na	mg/kg droog					
Ni	mg/kg droog	2,20	2,00	2,40	13	2
P	mg/kg droog	740	740	740	0	1
Pb	mg/kg droog	5,90	0,70	24,5	155	6
Sb	mg/kg droog					
Se	mg/kg droog					
Si	mg/kg droog					
Sn	mg/kg droog					
Sr	mg/kg droog					
Te	mg/kg droog					
Ti	mg/kg droog					
V	mg/kg droog					
Zn	mg/kg droog	36,4	21,6	64,0	46	6
vluchtig	gew% dav	78,5	78,5	78,5	0	1
as	gew% droog	33,5	4,50	57,0	50	9
HHV	kJ/kg dav	20310	18115	22248	9	4
LHV ber.	kJ/kg dav	19341	14000	27907	21	8

Legenda:

dav: droog en asvrij

HHV: higher heating value (bovenste verbrandingswaarde)

LHV: lower heating value calculated (onderste verbrandingswaarde)

B.2 ORGANISCHE NATTE FRACTIE (ONF)

Op dit moment is er een ontwikkeling gaande om huisvuil te scheiden in grove fractie, voornamelijk bestaande uit de hoogcalorische componenten van huisvuil en een (onbruikbare) fijne fractie, voornamelijk bestaande uit organisch materiaal en inert materiaal (zand, glas, en grind). Deze organische natte fractie kan dienen als voedingsstroom voor vergisting. Een dergelijke bewerking wordt momenteel al toegepast bij de Vagron scheidingsinstallatie, GAVI en de AVI van ARN. In onderstaande tabel is de samenstelling van de organische natte fractie gegeven (Moorman, 2000).

Tabel B.2 *Samenstelling Organische Natte Fractie (ONF)*

Proximate analysis [wt.%]			
	dry	daf	ar
Ash	9.1		7
Water content			23
Volatiles			
Fixed C			

Calorific value [kJ/kg]			
	dry	daf	ar
HHV	26235	28858	20201
LHV	24535	26988	18330

Ultimate analysis [wt.%]				
	dry	daf	ar	
C	51.9	57.1	40	Msr
H	7.79	8.6	6	Msr
O	28.6	31.4	22	Msr
N	0.52	0.57	0.4	Msr
S	0.26	0.29	0.2	Msr
Cl	0.693	0.762	0.534	Msr
F				Msr
Br	0.001	0.001		Msr
Total:	98.9	98.8	99.1	

Elemental analysis [mg/kg sample (dry)]									
Al		Msr	Fe	490	Msr	Pb	210	Msr	
As	10	Lim	Hg	0.1	ND	Sb	10	Msr	
B		Msr	K		Msr	Se		Msr	
Ba		Msr	Mg	130	Msr	Si		Msr	
Ca		Msr	Mn	270	Msr	Sn	0.1	Msr	
Cd	20	Msr	Mo	35	Msr	Sr		Msr	
Co	100	Msr	Na		Msr	Te		ND	
Cr	130	Msr	Ni	120	Msr	Ti	100	Msr	
Cu	490	Msr	P	750	Msr	V	25	Msr	
						Zn	230	Msr	

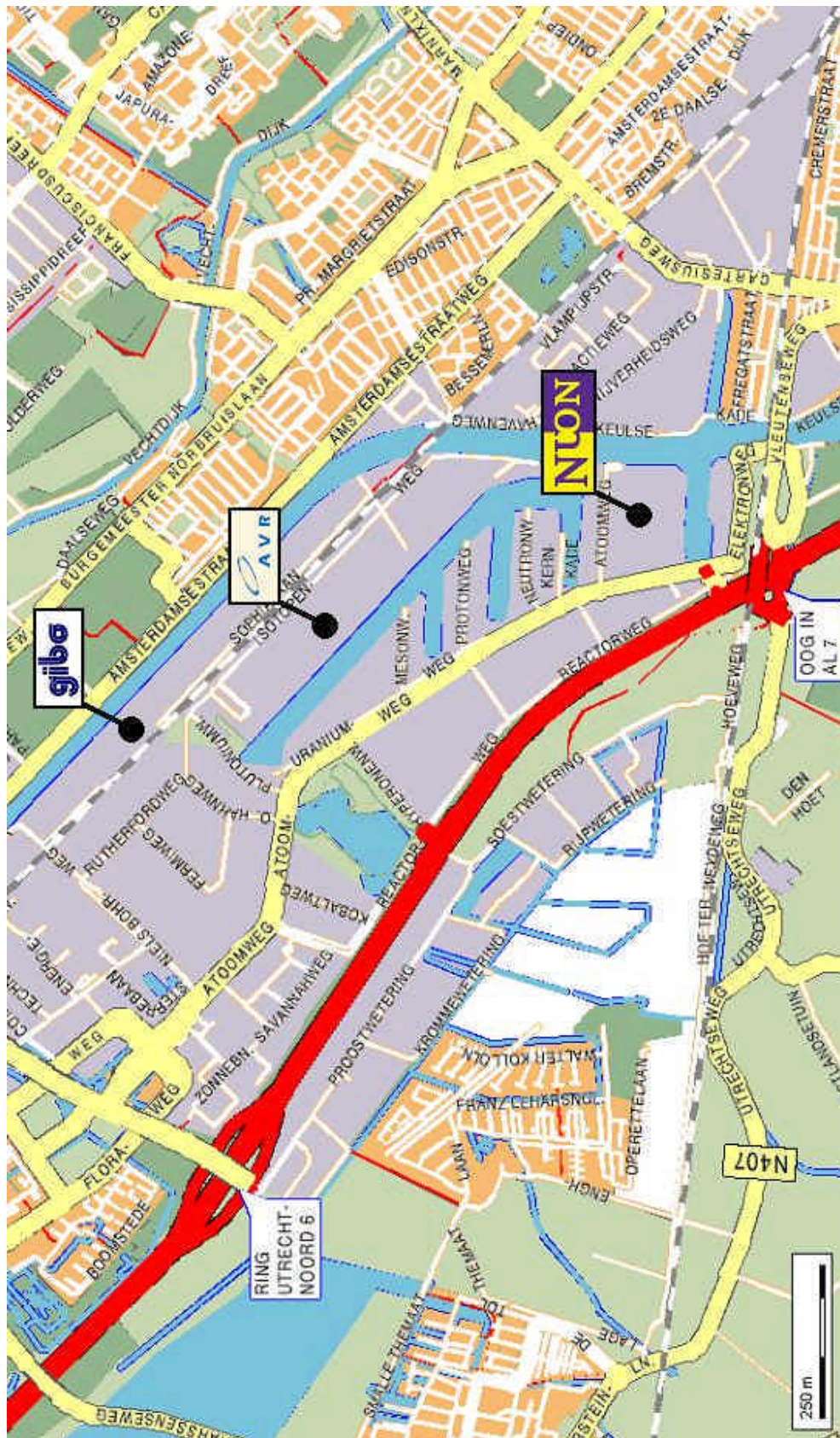
Bijlage C Correspondentie

Alleen beschikbaar in het confidentiële eindrapport (ECN-CX--05-036)

Bijlage D Vergisting

Alleen beschikbaar in het confidentiële eindrapport (ECN-CX--05-036)

Bijlage E Plattegrond Utrecht



- Gipsbouw B.V. GIBC Sophialaan 7 3542 AR Utrecht
 - AVR Rijnmond Isotopenweg 3 3542 AS Utrecht
 - NUON Power Generation Atoomweg 7-9 3542 AA Utrecht
- (Op-en overslag van huisvuil en GFT)*
(Centrale Lage Weide)