

# Wageningen UR Livestock Research

*Partner in livestock innovations*



Rapport 632

## Monovergisting varkensmest op boerderijschaal

Augustus 2012



**LIVESTOCK RESEARCH**  
**WAGENINGEN UR**

## Colofon

### Uitgever

Wageningen UR Livestock Research  
Postbus 65, 8200 AB Lelystad  
Telefoon 0320 - 238238  
Fax 0320 - 238050  
E-mail [info.livestockresearch@wur.nl](mailto:info.livestockresearch@wur.nl)  
Internet <http://www.livestockresearch.wur.nl>

### Redactie

Communication Services

### Copyright

© Wageningen UR Livestock Research, onderdeel van Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek, 2012

Overname van de inhoud is toegestaan, mits met duidelijke bronvermelding.

### Aansprakelijkheid

Wageningen UR Livestock Research aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Wageningen UR Livestock Research en Central Veterinary Institute, beiden onderdeel van Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek vormen samen met het Departement Dierwetenschappen van Wageningen University de Animal Sciences Group van Wageningen UR (University & Research centre).

Losse nummers zijn te verkrijgen via de website.



De certificering volgens ISO 9001 door DNV onderstreept ons kwaliteitsniveau. Op al onze onderzoeksopdrachten zijn de Algemene Voorwaarden van de Animal Sciences Group van toepassing. Deze zijn gedeponereerd bij de Arrondissementsrechtbank Zwolle.

### Abstract

Technical and economic calculations are presented of anaerobic digestion of pig manure with and without glycerine on farm scale in combination with the Microferm, UDR-fermenter mini-CHP and mini-gasturbine.

### Keywords

Mono fermentation, Microferm, UDR-fermenter, mini-CHP, gas, gas turbine, electric, heat, return, farm scale

### Referaat

ISSN 1570 - 8616

### Auteur(s)

G.J. Kasper  
B. Peters

### Titel

Monovergisting Monovergisting varkensmest op boerderijschaal

Rapport 632

### Samenvatting

Technische en economische berekeningen van vergisting van varkensmest zonder en met glycerine op boerderijschaal zijn weergegeven van de Microferm, UDR-fermenter, mini-WKK en minigasturbine.

### Trefwoorden

Monovergisting, Microferm, mini-WKK, gasturbine, elektrisch, rendement, warmte boerderijschaal



LIVESTOCK RESEARCH  
WAGENINGEN UR

Rapport 632

## Monovergisting varkensmest op boerderijschaal

### Fermenting pig manure on farm scale

G.J. Kasper  
B. Peters

Augustus 2012



## Samenvatting

In opdracht van en gesubsidieerd door het Productschap Vee en Vlees zijn praktijkproeven uitgevoerd met twee monovergisters, een mini-WKK (MAN, 60 kW) en een minigasturbine (Capstone, 60 kW) op boerderijschaal op VIC Sterksel. De Microferm van HoSt en de UDR-fermenter (Röring, Duitsland) zijn als monovergister onderzocht. De vergisters werden gevoed met varkensmest. Monovergisters op boerderijschaal zijn gedimensioneerd op ca. 5.000 m<sup>3</sup> mest. Ze hebben als voordeel dat de mest op het bedrijf aanwezig is. Er hoeven geen regionale mesttransporten en minder transport van digestaat plaats te hebben. De energie en mineralen uit mest kunnen op het bedrijf of in de regio worden gebruikt. Andere voordelen ten opzichte van co-vergistingsinstallaties zijn o.a. lagere investeringskosten, minder ruimtebeslag en een snellere bouwtijd. Doel van het onderzoek was het optimaliseren en het vaststellen van het technische en economische perspectief van Microferm, UDR-fermenter, mini-WKK en gasturbine.

Methoden van onderzoek die werden gehanteerd waren bepaling van de invoer van varkensmest en de hoeveelheid en de kwaliteit van het biogas. Voor bepaling van de biologie van de vergisters werden de gebruikelijke waarden van zuurgraad (pH), geleidbaarheid (EC), de verhouding tussen vluchtige organische zuren en het bufferend vermogen (FOS/TAC-verhouding), ammoniakale stikstof (NH<sub>4</sub>-N), azijnzuur en propionzuur geanalyseerd. Een nieuwe meetmethode werd gehanteerd om het potentieel aanwezige gas en het direct beschikbare gas te bepalen, waarmee het rendement op voeding en het rendement van de vergister Microferm kon worden vastgesteld. Het rendement van de UDR-fermenter kon niet worden bepaald.

De resultaten gaven aan dat de Microferm negen maanden en de UDR-fermenter acht maanden na plaatsing goed draaide, dat wil zeggen dat vrijwel al het beschikbare gas in de mest bij het vergistingsproces vrijgemaakt werd. De verblijftijd in de vergisters was daarbij acht à negen dagen. De nieuwe meetmethode gaf aan dat het rendement op voeding bij de Microferm laag was. Dit is af te leiden uit het hoge aandeel potentieel aanwezige biogas in de digestaat. Het rendement van vergisting was ook relatief laag, mede veroorzaakt door het hoge aandeel potentieel aanwezige biogas in de digestaat. Beide lage percentages geven aan dat de mest oud was. Van de UDR-fermenter was het monster dat voor analyse werd aangeboden niet geschikt, omdat o.a. de mixer niet goed draaide. De verwachting is dat het rendement van vergisting bij verse mest tussen 65 en 90% ligt. In de periode januari tot 2 februari 2012 produceerde de Microferm ca. 11 m<sup>3</sup> biogas/m<sup>3</sup> mest (met 65% CH<sub>4</sub>) bij een voeding van 15 m<sup>3</sup> mest per 24 uur. In de digestaat werd 6,96 biogas m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> als restgas gevonden. De UDR-fermenter vergistte ook 11 m<sup>3</sup> biogas/m<sup>3</sup> mest (65% CH<sub>4</sub>). Een restgasbepaling in de digestaat is bij de UDR-fermenter niet uitgevoerd.

Modelberekeningen werden uitgevoerd bij een voorbeeldbedrijf met 300 zeugen en 3000 vleesvarkens. Uitgegaan werd van 5.250 m<sup>3</sup> varkensmest waarbij bij vergisting 14 m<sup>3</sup> biogas/m<sup>3</sup> mest met 55% CH<sub>4</sub> werd geproduceerd. De mini-WKK draaide bij een stapsgewijze verlaging van het vermogen (60 kWe bij vollast draaien) ook met een stapsgewijze daling van het elektrisch rendement. De gasturbine behield hetzelfde elektrische rendement (23,3%) bij 40, 50 en 60 kW. Vervolgens werd m.b.v. de elektrische rendementen de besparing op aankoop van elektriciteit en de directe kosten berekend, uitgedrukt in bedrijfsbesparingen. Tenslotte werd berekend of het vollast draaien het financiële resultaat beïnvloedde.

Modelberekeningen werden ook uitgevoerd met de totale installatie, Microferm plus mini-WKK of Microferm plus gasturbine. De bedrijfsbesparingen bleken negatief te zijn zowel zonder toevoeging als met toevoeging van glycerine als co-product. De berekeningen zijn gebaseerd op 100% eigen verbruik van de geproduceerde elektriciteit. Hiermee wordt immers € 0,0771/kWh plus € 0,03 SDE-subsidie verdiend. De UDR-fermenter was door de lagere totaalinvesteringen financieel voordeliger dan de Microferm. In de situatie van 14 m<sup>3</sup> mest (55% CH<sub>4</sub>) gaat van de geproduceerde warmte bij de gebruikte (oude) mest 75% naar de vergister, zodat maar een klein deel kan worden benut voor andere doelen, b.v. voor opwarmen van drinkmelk of voor stalverwarming. Door versere mest met 26,5 m<sup>3</sup> biogas (55% CH<sub>4</sub>)/m<sup>3</sup> mest te gebruiken - bij investering van € 305.000, - voor UDR-fermenter + WKK - kan met een mini-WKK (30 kW) vollast worden gedraaid, waardoor in 85% van de benodigde warmte kan worden voorzien en 71% van de benodigde elektriciteit kan worden geleverd. Van de geproduceerde warmte gaat dan 37,1% naar de vergister. Door benutting van de warmte (€ 14.623, - opbrengst) is de bedrijfsbesparing van het bedrijf dan minder negatief, namelijk - € 18.942, -. Bij een

investering van € 350.000, - voor UDR-fermenter + gasturbine (30 kW), zou de gasturbine vollast draaien bij verse mest van 28,4 m<sup>3</sup> biogas (55% CH<sub>4</sub>)/m<sup>3</sup> ingevoerde mest en dan een bedrijfsbesparing realiseren van - € 11.136, -.

De beschikbare warmte zou, bij vollast draaien, ook voor het drogen van digestaat (met 6% ds) tot 90% ds gebruikt kunnen worden. Hiermee kan 680 ton digestaat gedroogd worden ofwel 12,4 % van de jaarlijkse productie van digestaat (bij 15 ton invoer van mest per 24 uur).

# Inhoudsopgave

## Samenvatting

<b>1</b>	<b>Inleiding .....</b>	<b>1</b>
1.1	Aanleiding .....	1
1.2	Doelstelling.....	1
1.3	Leeswijzer .....	1
<b>2</b>	<b>Materiaal en methode .....</b>	<b>2</b>
2.1	Materiaal .....	2
2.1.1	Beschrijving Microferm .....	2
2.1.2	Beschrijving UDR-fermenter .....	2
2.1.3	Beschrijving Minigasturbine .....	2
2.1.4	Beschrijving Mini-WKK .....	3
2.1.5	Co-producten .....	3
2.2	Methode .....	3
2.2.1	Microferm .....	3
2.2.2	UDR-fermenter.....	3
2.2.3	Capstone C60 .....	4
2.2.4	Mini-WKK.....	4
2.2.5	Rendement vergister .....	4
2.2.6	Monstername en analyses.....	5
2.2.7	Biogas .....	6
<b>3</b>	<b>Resultaten.....</b>	<b>7</b>
3.1	Mest.....	7
3.2	Microferm .....	7
3.2.1	Algemeen.....	7
3.2.2	Mestinput en biogas.....	7
3.2.3	Analyses biologie.....	8
3.2.4	Gaswaarden.....	8
3.3	UDR-fermenter.....	8
3.3.1	Algemeen.....	8
3.3.2	Mestinput en biogas.....	9
3.3.3	Analyses biologie.....	9
3.3.4	Gaswaarden.....	9
3.4	Elektrisch rendement gasturbine .....	9
3.5	Elektrisch rendement mini-WKK .....	10
3.6	Rendement vergisters .....	10
<b>4</b>	<b>Economie .....</b>	<b>12</b>
4.1	Vergelijking mini-WKK en minigasturbine .....	12
4.1.1	Rendementen mini-WKK en minigasturbine.....	12
4.1.2	Modelberekeningen bij voorbeeldbedrijf .....	12
4.2	Modelberekeningen totale installatie.....	13
4.3	Warmtebenutting.....	16

4.4	Modelberekening met verse mest en lagere investering .....	16
4.5	Verhoging bedrijfsbesparingen .....	16
<b>5</b>	<b>Discussie .....</b>	<b>17</b>
<b>6</b>	<b>Conclusies en aanbevelingen.....</b>	<b>19</b>
6.1	Conclusies.....	19
6.2	Aanbevelingen .....	20
	<b>Literatuur .....</b>	<b>21</b>
	<b>Bijlagen.....</b>	<b>22</b>
	<b>Bijlage 1 Drogestofgehalten (DS) en organische-stofgehalten (OS) .....</b>	<b>22</b>
	<b>Bijlage 2 Gemeten parameters van de Microferm in de periode van 22 juni tot 16 juli 2011.....</b>	<b>23</b>
	<b>Bijlage 3 Analyseresultaten van de biologie Microferm van 31 januari 2011 tot 2 mei 2012.....</b>	<b>24</b>
	<b>Bijlage 4 Gemeten parameters van de UDR-fermenter 16 februari 2012 tot 18 juni 2012.....</b>	<b>26</b>
	<b>Bijlage 5 Analyseresultaten van de biologie UDR-fermenter van 16 februari tot 14 juni 2012....</b>	<b>26</b>
	<b>Bijlage 6 Elektrisch rendementen van de mini-WKK bij 62 kWe en 40 kWe.....</b>	<b>28</b>



## 1 Inleiding

In opdracht van en gesubsidieerd door het Productschap Vee en Vlees zijn praktijkproeven uitgevoerd met twee monovergisters, een mini-WKK en een minigasturbine. De vergisters werden gevoed met varkensmest.

### 1.1 Aanleiding

Conventionele vergisters hebben een ingewikkeld biologisch proces en daardoor hoge technische (prijs)risico's. De tot nu toe gebruikelijke warmtekrachtkoppelingen (WKK's), die pas bij hogere vermogens rendabel zijn en hoge onderhoudskosten hebben, werken grote installaties in de hand. Veel veehouders zoeken naar een goedkopere, eenvoudiger en niet-subsidieafhankelijke manier om energie uit mest te kunnen halen met een eenvoudige, goedkope installatie waarbij geen coproducten hoeven te worden aangekocht en daardoor minder digestaat hoeft te worden afgevoerd. Deze eenvoudige installaties, waarbij alleen mest wordt vergist, worden monovergisters genoemd. Ze zijn op boerderijschaal gebouwd en worden gecombineerd met een mini-WKK of een minigasturbine om biogas om te zetten in elektriciteit en warmte. De monovergisters zijn geschikt voor melkveebedrijven van ca. 120 melkkoeien en bijbehorend jongvee met jaarlijkse hoeveelheid mest van ca. 4000 m<sup>3</sup> of varkensbedrijven met 300 zeugen en 3000 vleesvarkens met ca. 5000 m<sup>3</sup>. Monovergisters worden ook microvergisters genoemd, omdat de hoeveelheid te vergisten mest op jaarbasis relatief gering is. Dit betekent ook dat het vermogen van de WKK of gasturbine laag kan zijn. Een berekening van het genoemde melkveebedrijf toont dat uitgaande van verse mest met 20 m<sup>3</sup> biogas/m<sup>3</sup> mest - door het direct verwijderen van de mest uit de stal en daarna snel vergisten – en uitgaande van 1,8 kWh per m<sup>3</sup> biogas, het vermogen van de WKK of gasturbine berekend kan worden op 18 kW. Voor de berekening van de grootte van de WKK of gasturbine van het genoemde varkensbedrijf geldt 22,5 kW.

Een belangrijke reden voor de keuze van een minigasturbine ten opzichte van een mini-WKK is dat de minigasturbine weinig onderhoud vraagt. In tegenstelling tot WKK's kan de turbine ook bij lage vermogens een goed rendement worden verkregen. Andere door de leverancier genoemde voordelen zijn: een hoog vermogen in verhouding tot een laag gewicht en een kleine omvang, hoge betrouwbaarheid, lange levensduur, flexibiliteit in brandstofkeuze en lage emissies.

### 1.2 Doelstelling

Vaststellen van het technische en economisch perspectief van de microvergisters Microferm en UDR-fermenter, een minigasturbine en een mini-WKK op bedrijfsniveau middels een praktijktest op VIC Sterksel. Tijdens de praktijktest werden veel parameters gemeten en in overleg met de leveranciers werden microvergisters, mini-WKK en mini-gasturbine geoptimaliseerd.

### 1.3 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 worden materiaal en methoden behandeld. Hierbij wordt een beschrijving gegeven van de Microferm, UDR-fermenter, gasturbine en mini-WKK en het co-product glycerine dat virtueel in modelberekeningen werd meegenomen bij het niet-vollast draaien op alleen mest. Bij methoden is aangegeven welke parameters gemeten en berekend zijn. De meetmethode wordt besproken die de hoeveelheden direct beschikbaar gas en potentieel aanwezig gas bepaalt. Hoofdstuk 3 behandelt de resultaten van type mest, mestinput, biogas, analyses en gaswaarden van de Microferm en UDR-fermenter. Verder worden de rendementen van gasturbine en mini-WKK met elkaar vergeleken bij vollast en niet-vollast draaien. In hoofdstuk 4 komt de economie van de mini-WKK, de gasturbine en de totale installatie aan de orde. Opties om de bedrijfsbesparingen te verhogen worden besproken. In hoofdstuk 5 worden de resultaten bediscussieerd. Hoofdstuk 6 geeft de conclusies en aanbevelingen weer.

## 2 Materiaal en methode

### 2.1 Materiaal

Varkensmest werd aangevoerd van het eigen proefbedrijf (VIC Sterksel) en van veehouders in de regio. De mest werd in een verzamelput opgeslagen. In de volgende paragrafen wordt een beschrijving gegeven van de Microferm, UDR-fermenter, mini-WKK en mini-gasturbine.

#### 2.1.1 Beschrijving Microferm

Elke dag is mest overgepompt vanuit de verzamelput naar de vergistingstank van de Microferm. Deze tank heeft een diameter van 4,5 m en een hoogte van 12 m. De temperatuur wordt op ca. 38 °C gehouden. In deze tank vindt omzetting plaats van een deel van de organische stof naar biogas met naar verwachting een samenstelling van 55-60% methaan (CH<sub>4</sub>), 40-45% koolstofdioxide (CO<sub>2</sub>) en lage concentraties aan overige gasvormige stoffen. Een speciaal voor dit proces ontwikkeld roerwerk in de tank zorgt ervoor dat de tankinhoud homogeen gehouden wordt en het proces constant verloopt. De tankinhoud is 130 m<sup>3</sup>. De digestaat van de Microferm wordt opgeslagen in de algemene digestaatopslag voor de vergisters van VIC Sterksel.

#### 2.1.2 Beschrijving UDR-fermenter

De UDR-fermenter is tussen de bestaande vergistingsinstallaties op VIC Sterksel geplaatst. De input van varkensmest gebeurt op dezelfde wijze als bij de Microferm. De varkensmest komt verwarmd in de eerste vergistingstank. De UDR-fermenter heeft 3 tanks: de Upflow (tank 1), Downflow (tank 2) en Reflow (tank 3), alle 10 m hoog en met een diameter van 3 m. In de eerste tank gaat het substraat naar boven, waarbij het een vastbedstelsysteem van 1000 m<sup>2</sup> passeert, komt daarna via een vaste pijpverbinding in de bovenkant van de tweede tank binnen. In tank 2 scheidt het substraat zich in een dikke fractie en een dunnere fractie. De dunne fractie bestaat uit overtollige vloeistof en digestaat. De digestaat passeert ook in tank 2 een vastbedstelsysteem van 1000 m<sup>2</sup>, waarin de nog aanwezige biomassa, afgestorven bacteriën en de nog aanwezige vluchtige vetzuren worden omgezet in biogas. Alleen deeltjes die kleiner zijn dan 2 mm worden onderin tank 2 afgenomen als digestaat, dat vervolgens in de digestaatopslag wordt opgeslagen. De actieve biomassa - de nog niet volledig afgebroken biomassa en de levende bacteriën - wordt aan de bovenkant van tank 2 samen met het gevormde biogas via een buis afgevoerd naar de bovenkant van tank 3 (Reflowtank). De biomassa heeft in tank 3 de tijd om nog verder te verteren. De automatische besturing van het systeem zal het substraat via een leiding weer in tank 1 terugbrengen. De geconcentreerde levende bacteriën vermengen zich dan intensief met de vers ingevoerde mest. Het voordeel van dit systeem is dat naast de automatische besturing er een hoge substraatbenutting is met een gering ruimtegebruik en energieverbruik ten opzichte van reguliere co-vergisters.

#### 2.1.3 Beschrijving Minigasturbine

De Capstone C60 Microturbine - een minigasturbine - is tussen de bestaande vergistingsinstallaties op VIC Sterksel geplaatst. De minigasturbine is een generator met een elektrisch vermogen van 60 kWe, een elektrisch rendement van 28% (+/- 2) en een thermisch rendement van 57%. De turbine heeft geringe afmetingen (hoogte = 2110 mm, breedte = 762 mm en diepte = 1956 mm) en een laag gewicht: 758 kg. Het geluidsniveau is laag met 70 dB op 10 m hoogte. Ter vergelijking: een gasmotor (WKK) heeft een geluidsniveau van ca. 90 dB. Het biogas wordt verbrand in de Capstone, die opgebouwd is uit een compressor, een turbine en een hoog toerentalgenerator die alle op één as zijn gemonteerd. Ter verhoging van het rendement is een warmtewisselaar in het systeem opgenomen. Vermogenselektronica zet de hoogfrequente wisselspanning om naar de 50 Hz netfrequentie. De Capstone kan daardoor aangesloten worden op het elektriciteitsnet en met een variabel toerental draaien. Naast biogas kan de Capstone ook storgas en olie als voeding gebruiken. Deze flexibiliteit in voeding is een voordeel voor het produceren van goedkope elektriciteit. De gasturbine zal in samenwerking met de leverancier PON Power Nederland verder worden geoptimaliseerd, waarbij aandacht wordt besteed aan gasinvoer, koeling van het gas en de compressor die voor de gasturbine is gemonteerd.

### 2.1.4 Beschrijving Mini-WKK

De mini-WKK voor biogas is een MAN, type E 0834 LE 302, met een mechanisch vermogen van 68 kW. Het opgegeven elektrisch vermogen is 62 kW<sub>e</sub>, het elektrisch rendement 37,2% en het thermisch rendement 52,5%. Bij 75% capaciteit is het elektrisch rendement 35,4% en het thermisch rendement 52,5% en bij 50% capaciteit zijn de rendementen respectievelijk 31,5% en 55,3%. De afmetingen zijn gering (hoogte = 866 mm, breedte = 809 mm en lengte = 1055 mm) en het gewicht laag: 495 kg. De wisselspanning wordt omgezet naar de 50 Hz netfrequentie. De mini-WKK kan daardoor aangesloten worden op het elektriciteitsnet en met een variabel toerental draaien.

### 2.1.5 Co-producten

Co-producten worden niet toegediend in de vergisters. Glycerine wordt alleen in berekeningen toegepast om de gasturbine vollast en/of financieel optimaal te laten draaien.

## 2.2 Methode

### 2.2.1 Microferm

Voor de Microferm zijn de volgende parameters gemeten of berekend (tabel 1).

**Tabel 1** Gemeten en berekende parameters bij de Microferm

Gemeten parameters	Eenheid	Berekende parameters	Eenheid
Datum	Dag	Biogas (van MAN)	m <sup>3</sup> /24 h
Temp. vergister	°C	Elektriciteit (van MAN)	kWh/24 h
Inhoud	m <sup>3</sup>	Mest (input)	m <sup>3</sup> /24 h
Gasflow (actueel)	m <sup>3</sup> /h	Hoefv. gas/hoefv. ingevoerde mest	m <sup>3</sup> gas/m <sup>3</sup> mest
Gas totaal	m <sup>3</sup>		
Elektric. cum; productie MAN	kWh		
Urenteller cum.	-		
Ingesteld vermogen	kW		
Mestpomp aan	s		
Mestpomp uit	min		
Aantal starts	-		
H <sub>2</sub> S	ppm		
CH <sub>4</sub>	%		
CO <sub>2</sub>	%		
O <sub>2</sub>	%		

### 2.2.2 UDR-fermenter

Voor de UDR-fermenter zijn de volgende parameters gemeten of berekend (tabel 2).

**Tabel 2** Gemeten en berekende parameters bij de UDR-fermenter

Gemeten parameters	eenheid	Berekende parameters	eenheid
Datum	dag	Gashoeveelheid	m <sup>3</sup> gas/m <sup>3</sup> mest
tijd	uur		
Temp. Upflow onder	°C		
Temp. Upflow boven	°C		
Temp. Downflow onder	°C		
Temp. Downflow boven	°C		
Temp. Reflow onder	°C		
Temp. Reflow boven	°C		
Inhoud Upflow	%		
Inhoud Downflow	%		
Inhoud Reflow	%		
Invoer mest	kg		
Gas/uur	m <sup>3</sup> /h		
Gas (cumulatief)	m <sup>3</sup>		
Gas (hoefv. gisteren)	m <sup>3</sup>		

### 2.2.3 Capstone C60

De Capstone C60 werd tussen de bestaande vergistingsinstallaties op VIC Sterksel geplaatst. Het biogas werd verkregen van een van de opgestelde vergisters. De onderzoekperiode werd opgedeeld in een opstartperiode en een meetperiode van elk een jaar. De volgende parameters van het gas werden gemeten of berekend (zie tabel 3).

**Tabel 3** Gemeten en berekende parameters van de Capstone C60

Gemeten parameters	Eenheid	Berekende parameters	eenheid
Datum	Dag	Gasverbruik	m <sup>3</sup> /uur
Tijd	Uur	Gasverbruik per kWe	m <sup>3</sup> /kWe
Uren (gedraaid, cumulatief)	Uur	Hoef. methaan per kWe	m <sup>3</sup>
Temp. turbine uitgaand	°C	Verbruik compressor tov tot e-verbruik	%
gasmengerstand	-	Elektr. rendement turbine incl. compr.	%
Inlaatdruk gas	kPa	Elektr. rendement turbine exc. compr.	%
Vermogen ingesteld	kW		
Vermogen gerealiseerd	kW		
Starts (aantal)	-		
Fuel index 1	-		
Elekt. (prod.) turbine (cum.)	kWh		
Elekt. verbruik compressor (cum.)	kWh		
Ruimtetemp.	°C		
CH <sub>4</sub>	%		
Gasverbruik turbine (cum.)	m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /kWe		

### 2.2.4 Mini-WKK

De mini-WKK werd verbonden met de Microferm. De onderzoekperiode werd opgedeeld in een opstartperiode en een meetperiode. De gemeten en berekende parameters van de mini-WKK zijn weergegeven in tabel 4.

**Tabel 4** Gemeten en berekende parameters van de mini-WKK

Gemeten parameters	Eenheid	Berekende parameters	eenheid
Datum	Dag	Gasverbruik	m <sup>3</sup> /uur
Tijd	Uur	Gasverbruik per kWe	m <sup>3</sup> /kWe
Urenteller (gedraaid, cumulatief)	Uur	Hoef. methaan per kWe	m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /kWe
Temperatuur	°C	Elektr. rendement turbine	%
Vermogen ingesteld	kW		
Elektriciteitsproductie (cumulatief)	kWh		
Starts (aantal)	-		
Biogastemp.	°C		
Biogasgasmeter (cumulatief)	m <sup>3</sup>		
H <sub>2</sub> S	ppm		
CH <sub>4</sub>	%		
CO <sub>2</sub>	%		
O <sub>2</sub>	%		

### 2.2.5 Rendement vergister

#### Inleiding

Het anaërobe vergistingsproces is afhankelijk van een aantal factoren. De belangrijkste zijn samenstelling van de voeding ofwel substraat, temperatuur en pH. De samenstelling van het substraat bepaalt de snelheid van de anaërobe vergisting. De C:N:P nutriënten verhouding is belangrijk voor het behouden van een actieve biomassa. Voor biogasvorming volstaat een verhouding van 800:5:1. S&M systems onderzoekt deze waarden onderzoeken aan de hand van een analyse van de toegepaste voeding (Dekkers, 2012). De vergisting is in grote mate pH-afhankelijk. Het optimale pH-bereik voor biogasvorming is 6,5 - 7,8. Meestal worden aan de hand van FOS-TAC verhoudingen hogere pH-waardes toegepast om risico van verzuring tegen te gaan. Uit praktijkervaring en metingen is gebleken dat hierdoor echter de risico's van onvoldoende afbraak en schuimvorming toenemen. Een optimale sturing, aangepast aan de samenstelling van de voeding heeft een groot effect op het biogasrendement en de processtabiliteit.

### Snelheid en stabiliteit vergisting

Voor de snelheid en stabiliteit van de vergisting is de biodegradeerbaarheid van de voeding belangrijk. Bij het vergistingsproces worden polymere stoffen door fermentatieve bacteriën gehydrolyseerd tot componenten die vervolgens omgezet worden in biogas. De uiteindelijke biogasopbrengst is afhankelijk van de samenstelling en biodegradeerbaarheid van het substraat. De snelheid waarmee dit proces plaatsvindt, heeft invloed op de stabiliteit van het vergistingsproces. Voedingsstoffen die snel gedegradeerd worden kunnen leiden tot hoge concentraties vetzuren in de vergister waardoor er een kans op pH-daling en remming van de biogasvorming kan optreden. Daarbij kan ook overmatige schuimvorming ontstaan, omdat bepaalde fracties onvoldoende afgebroken worden. Als gevolg van minder optimale vergistingscondities kunnen de voedingsstoffen omgezet worden in biomassa, waardoor er biogasopbrengst verloren gaat. Uit praktijkervaringen is gebleken dat dit effect een grote invloed heeft op het rendement van de vergistingsinstallatie (Middag en Dekkers, 2012).

### Meetmethode potentieel en direct beschikbaar gas

S&M systems heeft een snelle laboratorium-onderzoeksmethode ontwikkeld om de biodegradeerbaarheid van producten en digestaat te onderzoeken. De methode is gebaseerd op een chemische bepaling van de oxidatietoestand van het gefractioneerde organische materiaal. Aan de hand van praktijkmetingen kan vastgesteld worden hoe het hydrolyseproces verbeterd kan worden. De door S&M systems ontwikkelde meetmethode geeft twee waarden: het "potentieel aanwezige biogas (PoB, potential biogas)" en het "direct beschikbare biogas (AvB, available biogas)". De PoB geeft aan hoeveel biogasopbrengst er in potentie aanwezig is. Deze waarde geeft het totaal aanwezige biodegradeerbaar materiaal weer. Het totale biodegradeerbare materiaal is dan bijvoorbeeld een bepaling van de totale organische stof. Deze bepaling meet het biologisch afbreekbaar organisch materiaal. De AvB geeft de direct beschikbare biogasopbrengst. Deze waarde geeft de hoeveelheid organische stof weer, die snel biodegradeerbaar is. Bij het vergistingsproces komt deze organische stof snel vrij en wordt bij een goede procesvoering snel via vetzuren (FOS) omgezet in biogas.

### Metingen en rendement vergister

Het verschil tussen het PoB in de voeding (= PoB-v) en het PoB in de digestaat (= PoB-dig) is PoB-verwijderd. Hiermee werd het rendement op voeding bepaald.

Het rendement op voeding is (in %) : 
$$\frac{\text{PoB-verwijderd} \times 100}{\text{PoB-v}}$$

PoB-verwijderd is bij goede vergisting groot, omdat dan immers nog weinig biodegradeerbaar materiaal in de digestaat resteert.

Het verschil tussen PoB-dig en AvB-dig is een waarde voor de organische stof die niet afgebroken is of gebonden is in biomassa. Deze fractie verlaat de vergister zonder gehydrolyseerd te zijn. De afbraak van deze fractie gaat langzaam. Een goed vergistingsproces heeft lage waarden voor deze fractie. Het rendement van vergisting in een vergister werd ook berekend door deze fractie te relateren aan het totaal ingevoerde organische stof PoB-v.

Het rendement van vergisting is (in %) : 
$$\frac{\text{PoB-v} - (\text{PoB-dig} - \text{AvB-dig}) \times 100}{\text{PoB-v}}$$

Het onderzoek werd uitgevoerd door een geaccrediteerd laboratorium: ALcontrol laboraties te Hoogvliet. De gevonden waarden werden vervolgens ingevoerd in een programma waarin met behulp van een model werd bepaald hoeveel maximaal aanwezig biogas en minimaal direct beschikbaar biogas het product bevat. Dit model is gevalideerd aan de hand van praktijkresultaten. De maximale aanwezige biogashoeveelheid kan theoretisch bereikt worden wanneer het vergistingsproces optimaal verloopt. De werkelijke waarde van de biogashoeveelheid zal vanwege optredende verliezen en suboptimale procesomstandigheden in de praktijk tussen de direct beschikbare en de maximaal aanwezige biogashoeveelheid liggen.

### 2.2.6 *Monstername en analyses*

Analyses van een aantal parameters van het vergistingsproces werden wekelijks uitgevoerd door het laboratorium MT-Energie Biogas-Technologie GmbH te Zeven in Duitsland. De analyses werden

uitgevoerd op toegestuurde monsters die vooraf door een medewerker van VIC Sterksel waren genomen. De parameters voor bemonstering waren: pH, FOS, TAC, EC,  $\text{NH}_4\text{-N}$ , azijnzuur (ES), propionzuur (PS), droge stof (TS), en organische stof als percentage van de droge stof (oTS in %). De bemonsteringspunten bevinden zich bij De UDR-fermenter aan de onderzijde van de vergistingstanks op een hoogte van ca. 20 cm vanaf de bodem bij de Upflow-tank en de Downflow-tank. De Reflow-tank heeft geen bemonsteringspunt. De Microferm heeft het monsterpunt op ca. 5 meter hoogte, waar het digestaat de tank verlaat.

### 2.2.7 Biogas

Het biogas werd gefilterd met een biologisch filter en een actief koolstoffilter. Het is een eigen fabricaat van HoSt voor o.a. het wegvangen van een deel van het aanwezige  $\text{H}_2\text{S}$  en  $\text{NH}_3$ . De  $\text{H}_2\text{S}$ -concentratie werd gemeten met een Kitagawa-meter. Het bereik van de meter was 2.000 ppm voor  $\text{H}_2\text{S}$ .

### 3 Resultaten

#### 3.1 Mest

De aangevoerde mest was een mengsel van zeugen- en vleesvarkensmest. De mest was afkomstig van VIC Sterksel en van verschillende varkensbedrijven in de omgeving. Dit gaf een variatie in de drogestofgehalten en organische-stofgehalten van de aangevoerde mest (bijlage 1).

#### 3.2 Microferm

##### 3.2.1 Algemeen

De Microferm werd in november 2010 op VIC Sterksel geplaatst en afgebouwd door HoSt, waarbij ook de mini-WKK werd geïntegreerd. De plaatsing van Microferm en mini-WKK en integratie van Microferm en mini-WKK nam ca. 6 maanden in beslag. Vanaf eind januari 2011 werden mestmonsters genomen en geanalyseerd op bepaalde biologische parameters (zie ook paragraaf 2.2.6). Vanwege aanpassing van software voor de Microferm konden vanaf 22 juni 2011 de eerste gegevens met draaiende mini-WKK worden gerealiseerd. In de volgende 6 maanden (22 juni tot 12 december 2011) werd geëxperimenteerd met de opstart van de vergister, de gewenste instelling van het vermogen van de mini-WKK, met de juiste gasmeting en met de registratie van de juiste input van mest. Probleem was echter dat de mini-WKK niet vollast kon draaien vanwege de beperkte hoeveelheid geproduceerd biogas. Dit was enerzijds het gevolg van het vergisten van alleen varkensmest zonder co-producten, anderzijds van de lage hoeveelheid geproduceerd biogas per m<sup>3</sup> ingevoerde mest.

##### 3.2.2 Mestinput en biogas

Vanaf 12 december 2011 waren mestinput en biogas zodanig goed te meten dat tot 2 februari 2012 de vergister goed draaide. De mestinput varieerde nogal. Na de vorstperiode, waarbij de mestinput werd gestopt (aanvoerleidingen waren bevroren), werd op 13 februari 2012 weer 7,6 m<sup>3</sup> mest per 24 uur ingevoerd oplopend tot 11,9 m<sup>3</sup> op 5 maart. Daarna werd tot 27 maart geen gas geregistreerd, omdat het gas werd gebruikt samen met biogas van andere vergisters om de mini-WKK te testen. De hoeveelheid mest is vanaf 27 maart geleidelijk opgevoerd met ongeveer 1 m<sup>3</sup> extra per week tot 20 m<sup>3</sup> mest per dag op 7 mei 2012. Het geheel is weergegeven in tabel 5.

**Tabel 5** Input mest, hoeveelheid geproduceerde biogas per input mest (m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>) en ingesteld vermogen mini-WKK in periode van 22 juni 2011 tot 7 mei 2012

Periode	Input mest/ 24 h (m <sup>3</sup> /24 h)	Variatie biogas/ input mest (m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> )	Ingesteld vermogen WKK (kW)	Opmerkingen	reden
22 jun – 23 jul '11	5,1 – 9,4	0 – 11	62	Geen gasproductie	Opstart
24 jul – 02 sept	9,4 – 10,7	0	0	Geen gasproductie	WKK niet ingeschakeld
03 sep – 09 sep	11,4	2	40	Lage gasproductie	Onbekend
10 sep – 23 sep	11,4 – 12,4	0	niet	Geen gasproductie	WKK niet ingeschakeld
23 sep – 04 nov	12,4 – 11,4	0	40	Geen gasproductie	Regelen gasmeter
06 nov – 16 nov	11,4	2 – 7	30	Lage gasproductie	Biologie optimaliseren
17 nov – 23 nov	11,4 – 13,1	3 – 7	40	Lage gasproductie	Biologie optimaliseren
24 nov – 03 dec	13,1 – 14,1	0 – 7	30	Lage gasproductie	Temp: 33-34°C
4 dec – 11 dec	14,1 – 15,2	0	40	Geen gasproductie	Temp. laag: 24-30°C; vergister overvoerd ?
12 dec – 16 dec	8,3	1 – 6	40	Vergister herstelt zich	
17 dec – 02 feb '12	8,3 – 12,5	8 – 20	40	Vergister loopt stabiel	
02 feb – 10 feb	0	0	40	mestleidingen bevroren	Strenge vorst
13 feb – 05 mrt	7,6 – 11,9	7 – 10	40	Opstart na vorstperiode	Biologie moet herstellen
06 mrt – 27 mrt	11,9 – 14,5	0	niet	Geen gasmeting	WKK getest op elekt. rend.
28 mrt – 24 apr	14,5 – 19,0	9 – 11	30 en 40	Input is geleidelijk opgevoerd	Doorlooptijd van vergister moet sneller
25 apr – 07 mei	20,0	1 – 6	30 en 40	Input hoger	Doorlooptijd sneller

Tabel 5 laat zien dat in de periode van 22 juni tot 11 december 2011 de hoeveelheid ingevoerde mest toenam van 5 tot 15,2 m<sup>3</sup>/24 uur. De hoeveelheid geproduceerd biogas per m<sup>3</sup> ingevoerde mest varieerde, maar was maximaal 11 m<sup>3</sup> biogas/m<sup>3</sup> mest bij een dagelijkse invoer van 15 m<sup>3</sup> mest (periode half december 2011 tot begin februari 2012). Dit betekent - bij een vergisterinhoud van 130 m<sup>3</sup> - een doorlooptijd van 8 à 9 dagen.

In de periode eind april tot 7 mei 2012 werd de dagelijkse invoer verhoogd tot 20 m<sup>3</sup>, overeenkomend met een doorlooptijd van ruim 6 dagen. In de periode van 22 juni tot 11 december 2011 werd de nadruk gelegd op het werken aan een stabiele biologie van de vergister en op het verkrijgen van de optimale instelling van het vermogen van de mini-WKK in relatie tot de biogasopbrengsten van de vergister. Omdat het geproduceerde biogas per ingevoerde hoeveelheid mest variabel en laag was, kostte het verkrijgen van de juiste instelling van de mini-WKK veel tijd. Gezien de lage biogasproductie werd de mini-WKK ingesteld op 40 kW en soms op 30 kW. Het elektrisch rendement was echter lager dan bij vollast draaien (zie ook paragraaf 3.4). In de periode van 12 december 2011 tot begin februari 2012 liep de vergister redelijk stabiel. De gashoeveelheid per hoeveelheid ingevoerde mest was ongeveer 11 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> met gemiddeld 65,5% methaan. Dit betekent dat de verblijftijd van de mest bijna 12 dagen was. In de periode na de vorst (13 februari – 5 maart 2012) werd de vergister weer stabiel gemaakt. Van 27 maart tot 7 mei 2012 werd de ingevoerde hoeveelheid mest opgevoerd (tot 20 m<sup>3</sup>/24 uur) om de doorloopsnelheid te verhogen. In deze periode was de hoeveelheid biogas ongeveer 7 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> mest (65,5% CH<sub>4</sub>).

In bijlage 2 is een overzicht gegeven van gemeten parameters van de Microferm. Bijlage 2 laat zien hoe de Microferm de verschillende parameters per 24 uur registreerde: datum, tijd, temperatuur mest in vergister, inhoud vergister, gasflow, elektriciteitsproductie (in kWh), en de tijd per minuut dat de mestpomp aan stond (in sec) en de tijd dat de mestpomp uit stond (in minuten). Door per minuut de 'mestpomp aan' groter te maken, kon de input van mest worden vergroot. Omdat de mestpomp 95 l/min verpompte, kon voor de datum 16 juli berekend worden dat  $228/60 \cdot 95 \cdot 24/1000 = 8,7$  m<sup>3</sup> mest per dag ingevoerd werd.

### 3.2.3 Analyses biologie

Rond half maart 2011 was de pH van de vergister zodanig laag dat de vergister verzuurde. Dit bleek ook uit de verhouding FOS/TAC, die normaal op het niveau 0,2 tot 0,5 zit, maar nu tot 2,35 steeg. Een overzicht van de parameters van de biologie is weergegeven in bijlage 3.

### 3.2.4 Gaswaarden

De gemiddeld gerealiseerde gaswaarden met de bijbehorende standaardafwijking zijn weergegeven in tabel 6. De gaswaarden zijn genomen van de periode 17 oktober 2011 tot 18 februari 2012 en de dagen 2, 3, 4 en 16 april 2012. Op de andere data was het gas vermengd met een bedrijfsvergister van VIC Sterksel.

**Tabel 6** Gemiddelde gaswaarden met bijbehorende standaardafwijking.

	H <sub>2</sub> S (ppm)	CH <sub>4</sub> (%)	CO <sub>2</sub> (%)	O <sub>2</sub> (%)
Gemiddeld	13,5	65,5	33,3	0,0
Stand. afwijking	26,3	4,8	4,9	0,2

Opvallend is het hoge methaangehalte (normaal 55%) van het biogas. De lage H<sub>2</sub>S-gehalten (normaal: 200 ppm in biogas) zijn gerealiseerd door toepassing van een filter voordat het biogas de mini-WKK ingaat.

## 3.3 UDR-fermenter

### 3.3.1 Algemeen

De UDR-fermenter werd begin juni 2011 op VIC Sterksel geplaatst en afgebouwd door de bouwer en leverancier, de firma Röring. Het afbouwen omvatte het aanbrengen van isolatiemateriaal, aan- en afvoerleidingen van mest, digestaat en water. In oktober werd de vergister gestart. De gecombineerde gasvolume- en gaskwaliteitsmeter werd eind januari 2012 geplaatst en ingebouwd in de bestaande software. Vanaf 16 februari 2012, werden volumes over invoer van mest en uitvoer van digestaat en biogas geregistreerd (bijlage 4).



### 3.3.2 Mestinput en biogas

Bijlage 4 laat zien dat vanaf 15 maart 2012 de hoeveelheid biogas per 24 uur gemeten is. Omdat de hoeveelheid mest per 24 uur ook bekend is, kon de hoeveelheid biogas per ingevoerde m<sup>3</sup> mest berekend worden. De hoeveelheid biogas per ingevoerde m<sup>3</sup> mest nam toe van 2 tot 9 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> tot begin april. Vanaf 5 april tot 9 mei werd gemiddeld 4,6 m<sup>3</sup> biogas/m<sup>3</sup> mest geproduceerd. Dit kwam door verschillende problemen: storing met pomp- en luchtsysteem, kleppen en frequentie van mixen. Vanaf 16 april werd de mixfrequentie opgevoerd, omdat er droge stof ophoopte onderin de Upflow-tank. Het duurde tot 9 mei voordat de hoeveelheid biogas/m<sup>3</sup> mest toenam. In de periode van 9 mei tot 15 juni 2012 werd gemiddeld 9,7 m<sup>3</sup> biogas/m<sup>3</sup> mest geproduceerd.

### 3.3.3 Analyses biologie

De drogestofgehalten varieerden in de Upflowtank van 9,7 (31 oktober 2011) tot 29,4% (12 juni 2012; bijlage 5). Het drogestofgehalte was op de andere meetdata relatief hoog: 15 tot 18 % m.u.v. 24 januari 2012 (9,9%). Het drogestofgehalte in de Downflowtank was gemiddeld 10% met een variatie van 4,1 (12 juni 2012) tot 13,5%. Bij het lage drogestofgehalte hoorde een organisch stofgehalte van 67,8% (normaal os-gehalte: 75% of hoger)

### 3.3.4 Gaswaarden

De gemiddeld gerealiseerde gaswaarden met de bijbehorende standaardafwijking van de UDR-fermenter zijn weergegeven in tabel 7. De gaswaarden zijn genomen van de periode 1 december 2011 tot 16 mei 2012.

**Tabel 7** Gemiddelde gaswaarden UDR-fermenter met bijbehorende standaardafwijking.

	H <sub>2</sub> S (ppm)*	CH <sub>4</sub> (%)	CO <sub>2</sub> (%)	O <sub>2</sub> (%)
Gemiddeld	> 2.000	64,7	33,9	0,0
Stand. afwijking	-	4,1	2,5	0,1

\* alleen gemeten in periode 1 december 2011 tot 9 maart 2012; H<sub>2</sub>S-meter was daarna kapot

## 3.4 Elektrisch rendement gasturbine

In de periode 3 januari tot 1 november 2011 heeft de gasturbine gedraaid op biogas verkregen van een aantal, dat aanwezig waren op VIC Sterksel. De gemiddelde waarden van gemeten en berekende parameters zijn weergegeven in tabel 8.

**Tabel 8** Gemiddelde waarden van gemeten en berekende parameters bij toenemend vermogen van de gasturbine voor de periode 3 januari 2011 tot 1 december 2011 (meetperiode)

Ingesteld vermogen gasurbine (kW)	Afgenomen vermogen gasturbine (kW)	Elektriciteitsverbruik compressor t.o.v. totaal geproduceerde elektriciteit (%)	Energieverbruik compressor t.o.v. totaal geproduceerde energie uit gasproductie(%)	Elektrisch rendement gasturbine inclusief verbruik compresor (%)	Elektrisch rendement gasturbine exclusief verbruik compresor (%)	Methaanverbruik (m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /kWe)	Aantal goede metingen (-)
30	28,7	16,1	2,6	14,0	16,6	0,51	8
40	39,4	12,8	2,9	20,3	23,2	0,40	23
50	46,7	14,0	3,0	20,1	23,1	0,42	14
60	56,7	10,6	2,4	21,0	23,4	0,40	38

Uit tabel 8 blijkt dat het elektriciteitsverbruik van de compressor ongeveer gelijk is bij variërend vermogen, maar bij een lager vermogen neemt het aandeel toe. Het elektrisch rendement van de gasturbine was het laagst bij het laagst ingestelde vermogen (30 kW), maar nogal hoger en onderling gelijk voor de drie overige gemeten hogere vermogens (40, 50 en 60 kW). Het gemiddeld methaanverbruik was bij vermogens vanaf 40 kW en hoger vrijwel constant. Bij een lager vermogen was het methaanverbruik hoger.

### 3.5 Elektrisch rendement mini-WKK

De mini-WKK was gekoppeld aan de Microferm. Bij de opstartperiode – vanaf 22 juni 2011 – werd echter het biogas van de Microferm niet gebruikt als voeding voor de mini-WKK, enerzijds door biogas van lagere kwaliteit, anderzijds door de kleine volumes geproduceerd gas. Vanaf 9 november werd er steeds meer biogas geproduceerd. De hoeveelheden waren 1 tot 7 m<sup>3</sup> biogas/m<sup>3</sup> input mest, die echter alleen bij lagere vermogens (30 en 40 kW) konden worden gerealiseerd. Dit omdat de mini-WKK – die vollast draaide – een te groot vermogen had voor het geproduceerde biogas en daardoor vaak gestopt en opnieuw gestart moest worden. Dit kwam het elektrisch rendement niet ten goede, zoals eerder besproken bij de gasturbine (paragraaf 3.4). In de periode van 6 maart tot 19 april 2012 is daarom de mini-WKK aangesloten op een grote gaszak, waarbij het gas afkomstig was van meer vergisters. Hierdoor kon de mini-WKK behalve op lagere vermogens ook op 50 en 60 kW draaien (tabel 9).

**Tabel 9** Gemiddelde waarden van gemeten en berekende parameters – uitgaande van 55% CH<sub>4</sub> in Het biogas – bij toenemend vermogen van de mini-WKK in de periode 6 maart tot 20 mei 2012

Vermogen (kW)	Elektrisch rendement (%)	Methaanverbruik (m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /kW <sub>e</sub> )	Aantal goede metingen (-)
30	27,6	0,39	9
40	29,5	0,36	13
50	31,9	0,33	14
60	32,6	0,33	11

Het elektrisch rendement, berekend bij biogas met 55% CH<sub>4</sub>, blijkt het hoogst bij 50 en 60 kW. Hiermee in overeenstemming is het hogere methaanverbruik bij de lagere vermogens (30 en 40 kW). Evenals bij de gasturbine draait ook de mini-WKK bij hogere vermogens met hogere elektrische rendementen. Een te groot gedimensioneerde mini-WKK ten opzichte van de grootte van de monovergister heeft dezelfde nadelen als vermeld bij de gasturbine (paragraaf 3.5) met dit verschil dat de mini-WKK bij 40 kW een nogal lager rendement heeft dan bij 60 kW, terwijl de minigasturbine gelijke rendementen heeft bij 40, 50 en 60 kW.

De elektrische rendementen van de mini-WKK zijn ook vastgesteld m.b.v een gaszak van 70 m<sup>3</sup> die gevuld was met biogas. Dit is uitgevoerd door HoSt. De gaskwaliteit is gemeten door Kiwa Gastehnologie BV. Een beschrijving van de gebruikte methode en de parameters voor berekening van de elektrische rendementen zijn weergegeven in bijlage 6.

### 3.6 Rendement vergisters

In de periode 16 april tot 2 mei 2012 werden elke dag monsters genomen van het invoermateriaal. Op 2 mei is ook een monster genomen van de digestaat van de microferm. De volgende waarden werden bepaald:

- Potentieel gas in invoermateriaal: 27,56 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>
- Direct beschikbaar gas in invoermateriaal: 10,79 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>
- Potentieel gas in digestaat: 20,28 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>
- Direct beschikbaar gas in digestaat: 6,96 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>

Met de in paragraaf 2.2.5 weergegeven twee formules zijn in genoemde periode het rendement op de voeding van de vergister en het rendement van vergisting te bepalen.

Rendement op voeding is (in %):  $\frac{(27,56 - 20,28)}{27,56} \times 100 = 26,4\%$ .

Door het grote aandeel potentieel gas in de digestaat ten opzichte van het potentieel gas in het invoermateriaal is het rendement op de voeding laag.

Rendement van vergisting is (in %):  $\frac{27,56 - (20,28 - 6,96)}{27,56} \times 100 = 51,7\%$

Het verschil tussen PoB-dig en AvB-dig is groot. Dit betekent dat een groot aandeel van de organische stof niet is afgebroken of nog gebonden in biomassa. De fractie is niet vergist en verlaat de vergister zonder gehydrolyseerd te zijn. Omdat een goed vergistingsproces lage waarden voor deze fractie heeft, kan gesteld worden dat het vergistingsproces matig is. Dit blijkt het verkregen percentage van 51,7%. Bij een goede vergisting zou tussen de 65 tot 90% gehaald kunnen worden. Dat heeft grotendeels niet met de techniek van de vergister te maken als wel met de leeftijd van de mest. Het grote verschil tussen PoB-dig en AvB-dig geeft waarschijnlijk aan dat oude mest is gebruikt. Er kon geen uitspraak worden gedaan over het rendement van de vergister bij het voeden met verse mest.

De Microferm produceerde een hoeveelheid restgas. Dit is de hoeveelheid biogas aanwezig in digestaat bij het verlaten van de vergister. De gemiddelde hoeveelheid restgas van zes meetdata was  $6,35 \text{ m}^3/\text{m}^3$  digestaat (Kleizen, 2012). Dit komt goed overeen met de restgasbepaling van  $6,96 \text{ m}^3/\text{m}^3$  digestaat.

Van de UDR-fermenter was het monster dat uit de Upflow-tank genomen werd (dit betreft digestaat) en voor analyse werd aangeboden niet geschikt, omdat o.a. de mixer niet goed liep. Het drogestofgehalte van het monster was daardoor te hoog.

## 4 Economie

### 4.1 Vergelijking mini-WKK en minigasturbine

#### 4.1.1 Rendementen mini-WKK en minigasturbine

De hoeveelheid biogas die nodig is om 1 kW<sub>e</sub> te kunnen produceren, is berekend voor een mini-WKK en een minigasturbine (tabel 10). De berekening kon worden gemaakt uitgaande van de berekende elektrische rendementen voor de minigasturbine de mini-WKK. Beide motoren hebben een maximaal vermogen van 60 kW en zijn geschikt om het biogas van kleine biogasinstallaties om te zetten naar elektriciteit en warmte. Verder zijn de investeringen, het onderhoud en het rendement weergegeven in tabel 10.

**Tabel 10** Investeringen, onderhoud en rendement van mini-WKK en gasturbine

	Mini-WKK	gasturbine
investering	120.000	101.800
restwaarde	0	0
onderhoud (€/uur)	2,50	0,8
Rendement (vollast)	32,6%	23,4%
max draaiuren (10 jaar)	80.000	80.000
productie per uur (max.,kW <sub>e</sub> )	60	60
Afschrijving (jaar)	10	10
MJ per kW <sub>e</sub> out	3,6	3,6
MJ per m <sup>3</sup> biogas	20	20
MJ input per Kwe	11,0	15,4
m <sup>3</sup> biogas input per kW <sub>e</sub>	0,55	0,77

#### 4.1.2 Modelberekeningen bij voorbeeldbedrijf

Een voorbeeldbedrijf met 300 zeugen en 3000 vleesvarkens produceert 5.250 ton mest met 14 m<sup>3</sup> biogas/ton mest met 55% CH<sub>4</sub> (dit kwam ongeveer overeen met de gerealiseerde biogashoeveelheid per m<sup>3</sup> mestinvoer uit dit onderzoek: 11 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> met 65,5% CH<sub>4</sub>). Op dit bedrijf zijn besparingen gedefinieerd als het benutten van de geproduceerde elektriciteit van mini-WKK en gasturbine voor een tarief van € 0,0771/kWh (tabel 11: enkel tarief plus energiebelasting bij een energieverbruik groter dan 50.000 kWh), waardoor (een deel van de) kosten voor aankoop van elektriciteit werden vermeden.

**Tabel 11** Elektriciteitstarieven en energiebelasting (€/kWh) bij een netaansluiting tot 3 x 80 Ampère (kleinverbruiker)

Elektriciteit	tarief
Enkel tarief	0,066
Hoog tarief	0,076
Laag tarief	0,052
<b>Energiebelasting</b>	
0-10.000 kWh/jr	0,114
10.001-50.000 kWh/jr	0,0415
50.001-10 miljoen kWh/jr	0,0111

Het bedrijf produceert totaal 73.500 m<sup>3</sup> biogas uit alleen mest. Hieruit konden de volgende parameters voor de mini-WKK en de gasturbine berekend worden: draaiuren zonder en met glycerine, de geproduceerde elektriciteit, en het verbruik aan glycerine om vollast te kunnen draaien, bedrijfsbesparingen en bedrijfsbesparingen minus kosten glycerine (tabel 12). Bedrijfsbesparingen zijn gedefinieerd als besparingen minus kosten voor afschrijving, rente, onderhoud en verzekering.

**Tabel 12** Modelberekeningen voor mini-WKK en gasturbine bij een voorbeeldbedrijf van 300 zeugen en 3000 vleesvarkens. Mestproductie 5.250 m<sup>3</sup> mest met 14 m<sup>3</sup> biogas(55% CH<sub>4</sub>)/m<sup>3</sup> mest per bedrijf op jaarbasis. Glycerine bevat 750 m<sup>3</sup> biogas/ton product (90% ds) en kost € 190,-/ton product. Rendementen van mini-WKK en gasturbine waren ingesteld op resp. 32,6% en 23,4% bij 60 KW (mest + glycerine) en 29,5 en 23,2 bij 40 kW (alleen mest). Besparing aangekochte elektriciteit door eigen productie: € 0,0771/kWh plus € 0,03 SDE-subsidie.

Parameter	Mini-WKK	gasturbine
Draaiuren (alleen mest; uur)	3.011	2.368
Draaiuren (mest + glycerine; uur)	8.000	8.000
Elektriciteit (alleen mest; kWh)	120.458	94.733
Elektriciteit (mest + glycerine; kWh)	480.000	480.000
Verbruik glycerine (ton)	255,4	394,3
Bedrijfsbesparingen (mest + glycerine; €)	16.150	32.093
Aankoopkosten glycerine (€)	48.521	74.918
Bedrijfsbesparingen – aankoop glycerine (€)	-32.371	-42.825
Bedrijfsbesparingen (alleen mest; €)	-10.029	-4.818

Tabel 12 toont dat bij de gegeven omstandigheden het vollast draaien met de mini-WKK en gasturbine niet uit kan. Berekend is dat bij een besparing van € 0,0771/kWh op aangekochte elektriciteit het omslagpunt van de aankoopprijs van glycerine bij de mini-WKK en gasturbine resp. op € 102,-/ton en € 93,-/ton ligt. Bij een lagere prijs is toevoegen van glycerine financieel pas voordeling.

De mini-WKK en de gasturbine zijn wat betreft kostprijs/kWh van geproduceerde elektriciteit onderling vergeleken (tabel 13) voor alleen draaien op mest en voor vollast draaien (mest en glycerine).

**Tabel 13** Vergelijking van onderdelen en totale kostprijs/kWh van mini-WKK en gasturbine voor het draaien op alleen mest en vollast draaien (mest en glycerine)

	alleen mest		Mest + glycerine	
	Mini-WKK	gasturbine	Mini-WKK	gasturbine
investering	0,099	0,107	0,025	0,021
onderhoud	0,063	0,020	0,041	0,013
rente	0,025	0,021	0,006	0,005
verzekering	0,003	0,003	0,001	0,001
<b>Totaal</b>	<b>0,191</b>	<b>0,152</b>	<b>0,074</b>	<b>0,040</b>
Besparing gasturbine t.o.v. WKK (in %)		20,4%		44,9%

Vergelijking van de tabellen 12 en 13 toont dat hoewel de kostprijs/kWh van vollast draaien voor WKK en gasturbine lager is dan deellast draaien (= alleen mest) de bedrijfsbesparingen met alleen mest hoger zijn.

#### 4.2 Modelberekeningen totale installatie

Voor de praktijk is het belangrijk om voor de gehele installatie (vergister + mini-WKK of vergister + minigasturbine) de terugverdientijd te weten bij de uitgangspunten genoemd in tabel 10 en bij de gerealiseerde rendementen bij 40 kW voor respectievelijk de gasturbine en de mini-WKK. Hierbij is uitgegaan van de investeringen en andere uitgangspunten vermeld in tabel 14.

**Tabel 14** Investerings, kosten, rendementen en overige parameters bij keuze van Microferm of UDR-fermenter in combinatie met mini-WKK of minigasturbine.

	Microferm		UDR-fermenter	
	Mini-WKK	gasturbine	Mini-WKK	gasturbine
Investering Microferm	210.000	210.000		
Investering UDR-fermenter			280.000*	280.000*
Investering WKK of gasturbine	120.000	101.800	-	-
graafwerk/fundering	5.000	5.000	5.000	5.000
aan-/verleggen leidingen	15.000	15.000	15.000	15.000
(gasdichte) navergister	70.000	70.000	50.000**	50.000**
netaansluiting	15.000	15.000	15.000	15.000
totale investering	435.000	416.800	365.000	365.000
onderhoudskosten (€/draaiuur)	2,50	0,80	2,50	2,50
rente over geïnv. vermogen (%)	2,50	2,50	2,50	2,50
Rendement	29,5%	23,2%	29,5%	23,2%
max draaiuren	80.000	80.000	80.000	80.000
productie per uur (kW)	40	40	40	40
afschrijving (jaar)	10	10	10	10
MJ per Kw out	3,6	3,6	3,6	3,6
MJ per m <sup>3</sup> biogas	20	20	20	20
MJ input per Kw	12,2	15,4	12,2	15,4
m <sup>3</sup> biogas input per Kw	0,55	0,74	0,55	0,74

\* prijs is inclusief mini-WKK of gasturbine van 60 kW

\*\* niet-gasdichte kap, omdat in de navergister UDR geen vergisting meer vereist is i.t.t. de navergister Microferm

In tabel 15 staan de Bedrijfsbesparingen van Microferm en UDR gecombineerd met mini-WKK en gasturbine, waarbij de investeringen en andere parameters van tabel 14 als uitgangspunt zijn genomen.

**Tabel 15** Bedrijfsbesparingen van Microferm en UDR gecombineerd met mini-WKK en minigasturbine bij 40 kW. De vergister wordt gevoed met alleen mest. Het bedrijf produceert 5.250 ton varkensmest met 14 m<sup>3</sup> biogas (55% CH<sub>4</sub>)/ton. Het elektriciteitsstarief voor besparing is € 0,0771/kWh plus € 0,03 SDE-subsidie.

	Microferm+WKK	Microferm + gasturb	UDR+WKK	UDR + gasturb
Elektr. rendement (%)	29,5	23,2	29,5	23,2
Vermogen (kW)	40	40	40	40
Gedraaide uren (uur)	3.011	2.368	3.011	2.368
Bedrijfsbesparing (€)	- 50.633	- 45.866	- 41.621	- 38.742

In tabel 15 is deellast gedraaid. In tabel 16 staan de bedrijfsbesparingen bij vollast draaien.

**Tabel 16** Bedrijfsbesparingen van Microferm en UDR gecombineerd met mini-WKK en minigasturbine bij 60 kW. De vergister wordt gevoed met mest en glycerine tot vollast draaien. Het bedrijf produceert 5.250 ton varkensmest met 14 m<sup>3</sup> biogas (55% CH<sub>4</sub>)/ton. Het elektriciteitsstarief voor besparing is € 0,0771/kWh plus € 0,03 SDE-subsidie.

	Microferm+WKK	Microferm + gasturb	UDR+WKK	UDR + gasturb
Elektr. rendement (%)	32,6	23,4	32,6	23,4
Vermogen (kW)	60	60	60	60
Gedraaide uren (uur)	8.000	8.000	8.000	8.000
Bedrijfsbesparing (€)	- 73.119	- 83.573	- 64.106	- 76.904

Uit de tabellen 15 en 16 blijken de bedrijfsbesparingen negatief te zijn waardoor geen terugverdientijd te berekenen is. Omdat de mini-WKK en de gasturbine overgedimensioneerd zijn ten opzichte van de hoeveelheden biogas die uit de vergisters komen, zijn ook modelberekeningen gemaakt met een mini-WKK en een gasturbine van beide 30 kW maximaal vermogen (tabel 17). De totale investering van de Microferm is € 435.000,- (+ WKK) en € 416.800 (+ gasturbine), en voor de UDR € 305.000 (+WKK) en € 350.000 (+ gasturbine). Bij deze kleinere WKK en gasturbine horen elektrische rendementen van respectievelijk 31,0% en 29,0 %.

**Tabel 17** Bedrijfsbesparingen van Microferm en UDR gecombineerd met mini-WKK en minigasturbine (beide 30 kW). De vergister wordt gevoed met alleen mest. Het bedrijf produceert 5.250 ton varkensmest met 14 m<sup>3</sup> biogas (55% CH<sub>4</sub>)/ton. Het elektriciteitsstarief voor besparing is € 0,0771/kWh plus € 0,03 SDE-subsidie.

	Microferm+WKK	Microferm + gasturb	UDR+WKK	UDR + gasturb
Elektr. rendement (%)	31,0	29,0	31,0	29,0
Vermogen (kW)	30	30	30	30
Gedraaide uren (uur)	4.219	3.947	4.219	3.947
Bedrijfsbesparing (€)	- 52.997	- 44.138	- 36.260	- 35.538

Omdat de installatie nog niet vollast draait, zal glycerine worden gevoed tot 8000 uur op jaarbasis. Hieruit ontstaat tabel 18.

**Tabel 18** Bedrijfsbesparingen van Microferm en UDR gecombineerd met mini-WKK en minigasturbine (beide 30 kW). De vergister wordt gevoed met mest en glycerine tot vollast draaien. Het bedrijf produceert 5.250 ton varkensmest met 14 m<sup>3</sup> biogas (55% CH<sub>4</sub>)/ton. Het elektriciteitsstarief voor besparing is € 0,0771/kWh plus € 0,03 SDE-subsidie.

	Microferm+WKK	Microferm + gasturb	UDR+WKK	UDR + gasturb
Elektr. rendement (%)	31,0	29,0	31,0	29,0
Vermogen (kW)	30	30	30	30
Gedraaide uren (uur)	8.000	8.000	8.000	8.000
Bedrijfsbesparing (€)	- 66.985	- 53.477	- 50.248	- 44.876

Tabel 19 geeft aan dat glycerine toevoegen nog negatievere bedrijfsbesparingen geeft.

De kostprijzen/kWh van de geproduceerde elektriciteit van de gerealiseerde installaties op Sterksel, waarbij de mini-WKK en de gasturbine elk 40 KW draaiden en de berekende situatie bij een 30 en 60 kW zijn weergegeven voor zowel de Microferm als de UDR in tabel 19. Uitgangspunten zijn 14 m<sup>3</sup> biogas (55% CH<sub>4</sub>) /m<sup>3</sup> ingevoerde mest en een elektriciteitsstarief voor besparing van € 0,0771/kWh plus € 0,03 SDE-subsidie.

**Tabel 19** Kostprijzen per kWh (€/kWh) van Microferm en UDR-fermenter bij gebruik van WKK (W; 30 W of 60 kW) of gasturbine (G; 30 of 60 kW). In de kostprijs is meegenomen: aankooprij vergister + WKK of gasturbine + afschrijving (10%), rente (2,5% over gemiddeld geïnvesteerd vermogen), onderhoud (bedrag per uur\* aantal gedraaide uren), verzekering en kosten glycerine (alleen bij vollast draaien). De vergister wordt gevoed met mest en glycerine tot vollast draaien. Het bedrijf produceert 5.250 ton varkensmest met 14 m<sup>3</sup> biogas (55% CH<sub>4</sub>)/ton. Het elektriciteitsstarief voor besparing is € 0,0771/kWh plus € 0,03 SDE-subsidie.

Vergister-type	Investering (totaal k€)	Vermogen (kW)	Elektrisch rendement (%)		Alleen mest (am) of vollast	WKK	gasturbine
			WK	gasturbine			
Microferm	435 (W); 416,8 (G)	30	31,0	29,0	am	0,53	0,48
	435 (W); 416,8 (G)	30	31,0	29,0	vollast	0,39	0,33
	435 (W); 416,8 (G)	40	29,5	23,2	am	0,53	0,59
	435 (W); 416,8 (G)	60	32,6	23,4	vollast	0,26	0,28
UDR-ferm	305 (W); 350 (G)	30	31,0	29,0	am	0,39	0,41
	305 (W); 350 (G)	30	31,0	29,0	vollast	0,32	0,29
	365 (W); 365 (G)	40	29,5	23,2	am	0,45	0,52
	365 (W); 365 (G)	60	32,6	23,4	vollast	0,24	0,27

De lagere investeringen van de UDR-fermenter geven bij gelijke uitgangspunten uiteraard lagere kosten per kWh. De lagere kostprijs/kWh bij vollast draaien geeft echter wel meer negatieve bedrijfsbesparingen. Deze lagere kostprijs/kWh heeft o.a. te maken met een hoger rendement bij 60 kW versus 40 kW. Een ander punt is dat de vaste kosten (afschrijving, rente en verzekering) bij vollast draaien verdeeld kunnen worden over een kWh-productie, die twee- tot driemaal zo hoog is als bij deellast draaien.

### 4.3 Warmtebenutting

Bij de gerealiseerde biogasproductie van  $11 \text{ m}^3$  biogas/ $\text{m}^3$  ingevoerde mest met een methaanpercentage van 65%, waarbij  $15 \text{ m}^3$  mest/24 uur ingevoerd werd, kan berekend worden dat jaarlijks:  $11 \cdot 15 \cdot 365 \cdot 0,65 \cdot 9,91 = 387,9$  MWh aan totale energie geproduceerd wordt. Dit correspondeert met 1.397 GJ. Bij een elektrisch rendement van 30% zal jaarlijks 114.461 kWh ofwel 419 GJ aan energie worden geleverd. Berekend is dat 559 GJ nodig is voor het op temperatuur houden van de vergister (Kroes, 2012). Dit is 40% van de totaal geproduceerde energie. Bij een totaal rendement van mini-WKK of mini-gasturbine van 85% betekent dit dat ca. 73% van alle geproduceerde warmte nodig is voor verwarming van de vergister. Het restant warmte kan gebruikt worden voor verwarming. Berekend is dat  $6.608 \text{ m}^3$  aardgas kan worden bespaard. Wanneer aardgas wordt gewaardeerd tegen  $\text{€} 0,49/\text{m}^3$  (KWIN, 2011) dan zou dat een besparing van  $\text{€} 3.208,-$  op aardgasverbruik betekenen. Heeft het bedrijf zelf of een buurtbedrijf elke dag warmte nodig voor b.v. opwarmen van het water dat nodig is om drinkmelk voor vleeskalveren (witvleesproductie) te maken, dan wordt deze warmte bijna volledig benut. Er zullen alleen verliezen optreden bij het transport van de warmte. Wanneer de warmte wordt benut voor stalverwarming dan is 60% van de energie uit warmte hiervoor beschikbaar (Schellekens, 2012).

### 4.4 Modelberekening met verse mest en lagere investering

Van de geproduceerde warmte gaat bij gebruik van een 60 kW WKK/gasturbine, waarbij deellast gedraaid werd op 40 kW en bij de gebruikte (oude) mest, 75% naar de vergister. Hierdoor kan maar een klein deel benut worden voor andere doelen, b.v. voor opwarmen van drinkmelk of voor stalverwarming. Door versere mest ( $26,5 \text{ m}^3$  biogas/ $\text{m}^3$  mest) en een kleinere WKK/gasturbine te gebruiken - bij een totale investering van  $\text{€} 305.000,-$  van de UDR-fermenter + WKK (30 kW) - kan met de mini-WKK vollast worden gedraaid, waardoor  $47.300 \text{ m}^3$  biogas ofwel  $29.843 \text{ m}^3$  aardgas wordt geproduceerd. Het bedrijf heeft  $36.000 \text{ m}^3$  aardgas voor warmte nodig. Bovendien kan 71% van de benodigde elektriciteit worden geleverd. Van de geproduceerde warmte gaat dan 37,1% naar de vergister. Door benutting van de warmte ( $\text{€} 14.623,-$  opbrengst) is de bedrijfsbesparing van het bedrijf dan veel minder negatief, namelijk -  $\text{€} 18.942,-$ . Bij een investering van  $\text{€} 350.000,-$  voor UDR-fermenter + gasturbine (30 kW), zou de gasturbine vollast draaien bij verse mest van  $28,4 \text{ m}^3$  biogas ( $55\% \text{ CH}_4$ )/ $\text{m}^3$  ingevoerde mest en dan een bedrijfsbesparing realiseren van -  $\text{€} 11.136,-$ . De beschikbare warmte zou, bij vollast draaien, ook voor het drogen van digestaat (met 6% ds) tot 90% gebruikt kunnen worden. Hiermee kan 498 ton digestaat gedroogd worden ofwel 9,1 % van de jaarlijkse productie van digestaat (bij 15 ton invoer van mest per 24 uur).

### 4.5 Verhoging bedrijfsbesparingen

De volgende opties zijn voorzien om de bedrijfsbesparingen te verhogen:

1. Lagere kosten voor rente, afschrijving en onderhoud. Mogelijkheden zijn:
  - a. Een langere looptijd van de vergister + minigasturbine of mini-WKK, b.v. 15 jaar i.p.v. 10 jaar. Wel moet hierbij rekening gehouden worden met hogere onderhoudskosten.
  - b. Lagere investeringskosten. Dit is te realiseren door inbreng van eigen arbeid of door eenvoudigere bouw van zowel vergister als digestaatopslag.
  - c. Een groep boeren gaat gezamenlijk bouwen, waardoor de investeringskosten per opgesteld vermogen (kW) kleiner is.
2. Meer biogas per  $\text{m}^3$  ingevoerde mest produceren door verse mest te gebruiken of betere ontsluiting en processturing.



## 5 Discussie

De opstart van de Microferm duurde negen maanden. In de eerste helft van 2011 is gewerkt aan de start van de vergister en aan de plaatsing/koppeling met software van de mini-WKK. In de tweede helft is meer de nadruk gelegd aan het goed meten van de invoer van de mest en de hoeveelheid biogas. De juiste meters waren in die periode niet beschikbaar. Bij de gasmeting speelde daarbij mee dat de bepaling van biogas onder lage druk moeilijk was te realiseren.

Er is een mini-WKK van 60 kW geplaatst. Bij 14 m<sup>3</sup> biogas (55% CH<sub>4</sub>) per m<sup>3</sup> ingevoerde mest is te berekenen dat ook een mini-WKK van 30 kW al voldoet. Dit zou een hoger rendement van de mini-WKK gegeven hebben, omdat de WKK dan in het domein van de hoogst te verwachten rendementen zou draaien.

In de periode eind april tot 7 mei 2012 was de gashoeveelheid gemiddeld ruim 4 m<sup>3</sup> per m<sup>3</sup> ingevoerde mest. Bij een goed vergistingsproces zou al het direct beschikbare gas per m<sup>3</sup> invoermateriaal – de gemeten 10,79 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> – in de vergister omgezet moeten worden. Er zijn omstandigheden die het beletten dat het direct beschikbare gas wordt omgezet. Te denken is aan een te korte verblijftijd, waardoor de enzymen te weinig tijd krijgen om het substraat af te breken of waardoor bacteriën onvoldoende tijd beschikbaar hebben voor vorming van methaan. Het is ook mogelijk dat het ingevoerde materiaal beter ontsloten zou moeten worden door b.v. een hittebehandeling of enzymatische ontsluiting. Bij oude(re) mest kan daardoor de gebonden organische fractie, die relatief groter is bij oude(re) mest, weer beschikbaar komen voor omzetting naar biogas. Dit betekent dat hoewel de pH, EC en FOS/TAC-verhouding goed te noemen zijn – en deze waarden waren over het geheel genomen redelijk tot goed – toch ook gelet moet worden op voldoende omzetting van organische stof naar biogas door het proces van vergisting goed in de vingers te krijgen. Dit is mogelijk door vaker het rendement van de vergister te laten bepalen waardoor eerder en sneller bijgestuurd kan worden.

Het rendement op de voeding was laag. Dit wordt aangegeven door de hoeveelheid potentieel gas dat aanwezig is in de digestaat. Het betekent dat nog een groot deel in potentie aanwezige energie in het digestaat vergistbaar is (20,28 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>), maar toch niet is vergist. Zelfs van het direct beschikbare biogas zit nog een deel in de digestaat (6,96 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>). Beter zou zijn mest te gebruiken die na vergisting nog 7 m<sup>3</sup> potentieel biogas/m<sup>3</sup> digestaat bevat, dan zou het rendement op voeding 75% zijn. Dat kan door gemakkelijk afbreekbaar (= te vergisten) materiaal te gebruiken of door een ontsluitingsmethode toe te passen om organische stof weer toegankelijk te maken voor vergisting. Wanneer ook het direct beschikbare biogas in het digestaat nul zou zijn (dit betekent: geen restgas in digestaat) dan zou het rendement op vergisting ook 75% zijn. De formules voor 'rendement op voeding' en 'rendement van vergisting' zijn dan immers aan elkaar gelijk.

De opstartperiode van de UDR-fermenter duurde acht maanden. Vanaf 15 maart 2012 was de gasmeter zodanig geïntegreerd in de software dat de hoeveelheid biogas/m<sup>3</sup> ingevoerde mest bepaald kon worden. Na enkele storingen (pomp, reflow en mixen) liep de vergister minder goed doordat de frequentie van mixen te laag was. Nadat deze werd opgevoerd trad op 9 mei een verbetering in. De vergister bleef ca. 10 m<sup>3</sup> biogas/m<sup>3</sup> ingevoerde mest geven tot 13 juni, vanaf 14 juni zelfs 12 tot 14 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> mest. Vanaf 25 april werd de vergister optimaal gevoed: 20 m<sup>3</sup> mest per 24 uur. Opvallend is dat de drogestofpercentages van de Upflowtank hoog waren: ca. 15% met uitschieters naar beneden van rond de 10% (31 oktober 2011 en 14 januari 2012) en naar boven 29% op 12 juni 2012. De hoge drogestofpercentages gaan samen met hoge organische-stofpercentages (meestal 75-82%). Het drogestofpercentage van de ingevoerde mest was gemiddeld ruim 6%. Het verschil tussen het drogestofgehalte van de invoer en het drogestofgehalte in de Upflowtank kan veroorzaakt zijn door uitzakken van de varkenmest. Een andere oorzaak kan liggen in de positie van de monsternamenoening van de tank die juist onder de roerder ligt, waardoor ophoping van mest optrad. In de Downflowtank was het gemiddelde drogestofgehalte ca. 10% (en ca. 75% organische stof). De doorlooptijd van Upflowtank is één dag en van de Downflowtank zeven dagen.

De vergelijking van minigasturbine en mini-WKK toont dat het elektrisch rendement van de minigasturbine aanzienlijk lager ligt (23,4% vs 32,6%). Dit geldt vooral bij vollast draaien (beide op een vermogen van 60 kW). Vanwege de lage biogashoeveelheid per m<sup>3</sup> ingevoerde mest werd het vermogen teruggeregeld naar 30 en 40 kW. Opvallend is dat de minigasturbine bij 40 kW nog hetzelfde rendement houdt als bij 60 kW, de mini-WKK echter daalt dan in rendement naar 29,5%.

Hoewel de minigasturbine een lager elektrisch rendement heeft, zijn de bedrijfsbesparingen (= besparing op aangekochte elektriciteit minus kosten voor rente, afschrijving, onderhoud en verzekering) vergelijkbaar met die van de mini-WKK. Dit komt door de aanzienlijk lagere kosten ten opzichte van de mini-WKK (€0,80/kWh vs €2,50/kWh).

Bij een dagelijkse invoer van 15 m<sup>3</sup> mest en een biogasproductie van 11 m<sup>3</sup> (65% CH<sub>4</sub>)/m<sup>3</sup> mest, gebruikt de vergister zelf bijna 75% van alle geproduceerde warmte, waardoor 25% voor andere zaken, b.v. verwarming van stallen gebruikt kan worden. Van de 36.000 m<sup>3</sup> aardgas die nodig is kan dan ruim 6.600 m<sup>3</sup> aardgas vervangen worden. Bij deze kleine besparing is het de vraag of het zinvol is om hiervoor leidingen voor warm water naar stallen aan te leggen.

De totale investering van de Microferm-installatie inclusief de mini-WKK, bijbehorende digestaatopslag, netaansluiting, graafwerk en het aanleggen van leidingen bedraagt € 435.000,-. Het blijkt dat met 14 m<sup>3</sup> biogas/m<sup>3</sup> mest (met 55% CH<sub>4</sub>) jaarlijks een aanzienlijk financieel verlies wordt geleden. Een belangrijke reden is de lage vergoeding van de geproduceerde elektriciteit (€0,0771/kWh) plus €0,03 SDE-subsidie. Een bijkomend probleem is – zoals hiervoor al besproken – dat uit dit onderzoek ongeveer 11 m<sup>3</sup> biogas/m<sup>3</sup> mest uit de vergister komt met 65% CH<sub>4</sub>, terwijl een hogere hoeveelheid biogas/m<sup>3</sup> mest was verwacht. Meer aandacht voor de biologie en het proces van vergisten is daarom van belang (b.v. verse mest).

De kostprijs van geproduceerde elektriciteit per kWh is hoog: het varieert van €0,24/kWh tot €0,59/kWh (tabel 19), waardoor de bedrijfsbesparingen op jaarbasis sterk negatief zijn. Vergisting met alleen mest geeft de hoogste kostprijs per kWh. De UDR-fermenter heeft een lagere kostprijs dan de Microferm vanwege de lagere investeringskosten. Het verlagen van de investeringskosten en/of vergisten in combinatie met ondernemers in de regio kan een aanzienlijke verbetering geven van het financiële rendement.

Bij de berekeningen van het in dit onderzoek besproken varkensbedrijf (300 zeugen en 3000 vleesvarkens) is uitgegaan van volledige benutting van de geproduceerde elektriciteit en warmte van de vergister voor het eigen bedrijf.

## 6 Conclusies en aanbevelingen

### 6.1 Conclusies

Onderzoek naar het monovergistingsconcept op boerderijschaal is uitgevoerd met de Microferm in combinatie met de mini-WKK (MAN, 60 kW) en de UDR-fermenter in 2011 tot mei 2012. Het leverde de volgende conclusies op.

- De biologie van het te vergisten materiaal van beide vergisters was stabiel, af te leiden uit de pH-waarden, EC-waarden en FOS/TAC-verhouding. Het drogestofgehalte van de ingevoerde mest varieerde van 2 tot 10% met een gemiddelde van ruim 6%.
- De drogestofgehalten in de Upflowtank en de Downflowtrank van de UDR waren gemiddeld respectievelijk 15% en 10%. Het gemiddelde drogestofgehalte in de Microferm was 6,4%.
- De mini-WKK (60 kW) heeft een te groot maximaal vermogen voor de omgerekende biogasopbrengst uit Microferm en UDR-fermenter. Het niet goed op elkaar afgestemd zijn werd nog vergroot door de lage gerealiseerde biogasopbrengst van ca.  $11 \text{ m}^3/\text{m}^3$  mest met 65,5%  $\text{CH}_4$ .
- De Microferm had de volgende gehalten in het biogas: 65,5%  $\text{CH}_4$ , 33,3  $\text{CO}_2$  en 0%  $\text{O}_2$ .
- De UDR-fermenter had de volgende gehalten in het biogas: 64,7%  $\text{CH}_4$ , 33,9%  $\text{CO}_2$  en 0%  $\text{O}_2$ .
- De mini-WKK heeft een hoger elektrisch rendement dan de minigasturbine bij vollast draaien (32,6% versus 23,4%); het elektrisch rendement van mini-WKK daalt bij lagere vermogens trapsgewijs. De minigasturbine heeft gelijke elektrische rendementen bij vermogens van 40, 50 en 60 kW.
- Een nieuwe meetmethode is gehanteerd voor het meten van potentieel aanwezig gas en direct beschikbaar gas in mest en digestaat. Het rendement op voeding was 26,4% en het rendement van vergisting was 51,7%. Bij verse mest ligt het rendement van vergisting hoger. Geschat wordt tussen de 65 en 90%.
- De mini-WKK en de minigasturbine draaien financieel gezien op ongeveer hetzelfde niveau. De minigasturbine compenseert het lager elektrisch rendement met lagere kosten per draaiuur.
- De totale investeringskosten is bij de Microferm zodanig hoog en de besparing (+ SDE-subsidie) op aangekochte elektriciteit zodanig laag dat bij alleen mest vergisten, een omgerekende biogasproductie van  $14 \text{ m}^3/\text{m}^3$  mest (55%  $\text{CH}_4$ ) en bij een mestproductie op bedrijfsniveau van  $5.250 \text{ m}^3$  mest met de mini-WKK (60 kW) ruim € 50.000,- verlies (besparingen minus directe kosten) wordt geleden. Toevoegen van glycerine tot vollast draaien geeft een nog groter verlies, namelijk ruim € 73.000,-. Het verliesen zijn bij de UDR-fermenter vanwege de lagere investeringen minder groot.
- Biogasverwerking met een kleinere WKK (30 kW) ten opzichte van een WKK van 60 kW geeft bij de Microferm dezelfde verliezen. Dit komt door de gelijke (hoge) investeringen bij de Microferm plus WKK en de lagere investeringen bij de UDR-fermenter plus WKK.
- De kostprijzen/kWh van de geproduceerde elektriciteit zijn hoog, maar verschillen weinig tussen WKK en gasturbine met de gerealiseerde elektrische rendementen. Wel geeft vollast t.o.v. deellast draaien lagere kostprijzen/kWh.
- Berekeningen zijn gebaseerd op 100% eigen gebruik van de geproduceerde elektriciteit. Hiermee wordt immers €0,1071/kWh inclusief €0,03 SDE verdiend. De geproduceerde mest (5.250 ton) van het in dit project genoemd varkensbedrijf levert bij een productie van  $14 \text{ m}^3$  biogas (55%  $\text{CH}_4$ ) aan elektriciteit 126.583 kWh/jaar. Het varkensbedrijf verbruikt ca. 336.000 kWh/jaar. Door een hoog eigen verbruik voor de vergister zal van de resterende warmteproductie van  $6.600 \text{ m}^3$  aardgas bij stalverwarming maar 60% benut worden – d.i. ca.  $4.000 \text{ m}^3$  aardgas – terwijl jaarlijks  $36.000 \text{ m}^3$  aardgas nodig is.
- Het varkensbedrijf kan met een WKK (30 kW) of een gasturbine (30 kW) en met verse mest van  $26,5 \text{ m}^3$  biogas/ $\text{m}^3$  respectievelijk  $28,4 \text{ m}^3$  biogas/ $\text{m}^3$  vollast draaien (240.000 kWh) en dan 71% van haar benodigde elektriciteit produceren en in 83% van benodigde warmte voorzien. De vergister verbruikt dan 37,1% van de geproduceerde warmte. De bedrijfsbesparingen (bij aanschaf UDR-fermenter met totale investering van € 305.000,- (WKK) en 350.000,- (gasturbine)) zijn voor gebruik van WKK – € 18.942,- en van gasturbine – € 11.136,-. De overige beschikbare warmte kan gebruikt worden voor stalverwarming of voor drogen van 498 ton digestaat. Dit is 9,1% van de jaarlijkse productie van digestaat bij een dagelijkse invoer van  $15 \text{ m}^3$  mest/24 uur.

- Voor het in dit project genoemde varkensbedrijf is draaien met een grotere WKK of gasturbine (60 kW) niet interessant, omdat dan met alleen verse mest niet vollast gedraaid kan worden. Het gebruik van glycerine – om vollast te kunnen draaien – is dan te duur.

## 6.2 Aanbevelingen

Naar aanleiding van de conclusies zijn de volgende aanbevelingen te maken.

- Bespreek vooraf duidelijk hoe het vergistingsproces verloopt. (b.v. biogasproductie onder lage druk) en hoe mestinvoer en biogasvolume en biogaskwaliteit gemeten wordt en wie ervoor garant staat.
- Lever bij een monovergister met bekende capaciteit (vergistervolume en verblijftijd) een op de capaciteit van die vergister gedimensioneerde mini-WKK, waardoor vollast gedraaid kan worden op alleen mest. Dit geeft een beter financieel resultaat.
- Ontwerp en fabriceer een goedkopere monovergister, waardoor de directe kosten dalen en de bedrijfsbesparingen toenemen.
- Voer bepaald werk op eigen bedrijf uit om de totale investeringskosten te drukken, b.v. leidingen aanleggen en graafwerk.
- Bereken per bedrijfssituatie de eigen benodigde elektriciteit en warmte om er achter te komen of de geproduceerde elektriciteit en warmte door vergister-WKK (vergister-gasturbine) op het bedrijf hiermee overeenkomt. Een 5-10% hogere elektriciteitsproductie dan het bedrijf kan benutten, heeft al een behoorlijk effect op de bedrijfsvergoedingen.
- Verhoog het rendement van de vergister door 1) vooraf ontsluiten van de mest en/of 2) betere management van het vergistingsproces door frequenter over kennis te beschikken van het direct beschikbare en het maximaal potentieel biogas in de invoerstroom en in het vergistingsproces.

## Literatuur

Dekkers, F. en F. Middag, persoonlijke mededeling, 2012

Kleizen, R., persoonlijke mededeling, 2012

KWIN 2011. Kwantitatieve Informatie Veehouderij 2011-2012. Handboek 21, Livestock Research van Wageningen UR, 394 pp.

Middag, F., persoonlijke mededeling, 2012

Schellekens, J., persoonlijke mededeling, 2012

## Bijlagen

### Bijlage 1 Drogestofgehalten (DS) en organische-stofgehalten (OS)

Week	Jaar	Datum monstername	DS (%)	OS (%)
		<b>Streefwaarde</b>	<b>&lt; 11%</b>	<b>&lt; 8%</b>
23	2011	06-Jun	8.2	6.4
27	2011	05-Jul	5.5	4.1
34	2011	22-Aug	5.1	3.7
35	2011	29-Aug	2.7	1.7
36	2011	05-Sep	9.5	7.6
37	2011	14-Sep	8.3	6.4
38	2011	19-Sep	5.7	4.3
39	2011	26-Sep	7.2	5.1
40	2011	04-Oct	6.9	5.0
41	2011	10-Oct	11.1	8.1
43	2011	24-Oct	5.7	4.4
44	2011	31-Oct	7.0	5.2
45	2011	07-Nov	5.7	4.1
46	2011	14-Nov	5.7	4.4
47	2011	21-Nov	2.8	2.0
48	2011	29-Nov	5.7	4.2
49	2011	05-Dec	9.6	7.7
50	2011	12-Dec	9.1	6.9
51	2011	19-Dec	6.2	4.9
52	2011	28-Dec	6.6	5.1
1	2012	04-Jan	3.4	2.6
2	2012	09-Jan	4.1	2.7
3	2012	16-Jan	5.3	3.7
4	2012	24-Jan	9.1	7.1
7	2012	14-Feb	5.7	4.2
9	2012	28-Feb	5.4	3.5
10	2012	05-Mar	6.2	4.6
11	2012	12-Mar	6.2	4.6
12	2012	20-Mar	8.0	5.3
13	2012	27-Mar	8.6	6.8
14	2012	02-Apr	5.6	4.1
15	2012	11-Apr	4.4	3.0
16	2012	16-Apr	3.4	2.3
17	2012	23-Apr	5.0	3.4
18	2012	02-May		

**Bijlage 2 Gemeten parameters van de Microferm in de periode van 22 juni tot 16 juli 2011**

Datum	Tijd		bere- kend	T vergister C	inhoud m3	gasflow act m3/h	gas totaal m3	Productie MAN Kwh	ingesteld urenteller	Mestpomp vermogen	Mestpomp aan (sec)	Mestpomp uit (min)
22-Jun	09:00	09:00		37.9	131.0	2.1	83	22560	421	62	135	58
23-Jun	11:30	11:30	26.50	37.6	128.9	2.2	133	24200	447	62	152	58
24-Jun	14:40	14:40	27.17	37.7	128.9	0.0	160	25880	474	62	152	58
25-Jun	10:30	10:30	19.83	37.1	130.2	0.0	167	27130		62	152	58
26-Jun	09:50	09:50	23.33	37.2	129.9	0.0	175	28410	515	62	152	58
27-Jun	10:00	10:00	24.17	36.3	129.9	2.1	177	28460	516	62	152	58
28-Jun		00:00	14.00									
29-Jun	11:00	11:00	35.00	36.0	130.0	2.3	179	28500	517	62	152	58
30-Jun	14:25	14:25	27.42	37.9	131.9	6.0	250	30110	543	62	171	57
01-Jul	09:00	09:00	18.58	37.1	128.0	3.0	293	31010	558	62	171	57
02-Jul	12:55	12:55	27.92	37.5	130.2	0.0	374	32650	584	62	171	57
03-Jul		00:00	11.08									
04-Jul	13:00	13:00	37.00	37.2	130.0	0.9	436	35610	632	62	190	57
05-Jul	15:11	15:11	26.18	37.1	129.7	3.7	488	36920	654	62	190	57
06-Jul	11:45	11:45	20.57	36.5	129.3	2.0	497	37090	657	62	190	57
07-Jul	17:35	17:35	29.83	37.8	129.7	4.1	529	37530	664	62	210	56
08-Jul	11:40	11:40	18.08	36.8	129.9	3.7	569	38110	674	62	210	56
09-Jul	13:00	13:00	25.33	35.7	129.8	3.3	569	38110	674	62	210	56
10-Jul		00:00	11.00									
11-Jul	09:00	09:00	33.00	34.5	130.1	2.9	575	38190	676	62	210	56
12-Jul	09:00	09:00	24.00	35.9	129.8	3.2	595	38480	681	62	228	56
13-Jul	11:00	11:00	26.00	36.0	129.9	3.2	613	38750	685	62	228	56
14-Jul	11:00	11:00	24.00	35.7	129.9	4.1	634	39130	692	62	228	56
15-Jul	13:00	13:00	26.00	36.6	129.9	1.6	648	39440	697	62	228	56
16-Jul	11:00	11:00	22.00	36.4	130.1	2.5	654	39670	701	62	228	56

**Bijlage 3 Analyseresultaten van de biologie Microferm van 31 januari 2011 tot 2 mei 2012**

<b>Microferm</b>											
Datum	pH [-log.c H+]	FOS [mgHAC <sub>aq</sub> /l]	TAC [mgCaCO <sub>3</sub> /l]	FOS/ TAC [-]	EC [mS/ cm]	NH <sub>4</sub> -N [mg/l]	ES [ppm]	PS [ppm]	TS [%]	oTS [%]	Bemer- kingen
31-01-2011	8.14	6,031	26,995	0.22		4,600	334	< 20			
07-02-2011	7.90	5,842	24,772	0.24							
14-02-2011	7.86	6,236	22,846	0.27	31.7	3,800	1653	205	7.3	68.1	
21-02-2011	7.98	5,106	21,460	0.24							
28-02-2011	7.93	4,259	21,916	0.19		4,000	173	< 20			
14-03-2011	7.05	17,560	13,138	1.34	30.3	3,800	11376	729	7.1	67.0	BS: 4336 ppm
22-03-2011	6.41	21,360	9,102	2.35							
16-05-2011	8.29	5,622	24,836	0.23			226	354			
23-05-2011	8.15	5,992	25,858	0.23		4,400	54	< 20			
30-05-2011	8.15	6,019	26,334	0.23							
06-06-2011	7.96	5,884	25,624	0.23	33.8	4,600	314	49	8.0	66.9	
14-06-2011	7.95	5,053	24,879	0.20							
20-06-2011	8.14	4,837	24,746	0.20		4,100	125	n.n.			
27-06-2011	7.95	4,941	25,070	0.20							
04-07-2011	8.06	4,443	24,288	0.18	30.9	4,400	122	< 20	7.7	69.3	
11-07-2011	7.98	4,768	21,118	0.23							
18-07-2011	7.95	4,380	21,706	0.20							
25-07-2011	7.91	4,142	22,566	0.18							
02-08-2011	7.73	6,669	21,475	0.31	28.3	4,000	1,986	339	6.6	71.1	
08-08-2011	8.02	4,158	21,279	0.20							
15-08-2011	7.94	3,737	21,042	0.18		3,800	31	< 20			
22-08-2011	7.88	3,780	21,770	0.17							
29-08-2011	7.94	3,619	19,783	0.18	26.6	3,600	36	n.n.	5.9	69.6	
05-09-2011	7.92	4,532	17,692	0.26							
14-09-2011	7.71	6,822	18,076	0.38		3,600	2,522	402			
19-09-2011	7.90	4,513	17,694	0.26							
26-09-2011	7.98	3,843	19,002	0.20	26.8	3,600	286	< 20	5.2	68.5	
04-10-2011	8.06	7,191	31,857	0.23							
10-10-2011	7.91	4,086	23,772	0.17		4,200	243	< 20			
17-10-2011	7.99	5,707	21,233	0.27							
24-10-2011	8.13	4,422	21,898	0.20	28.8	4,200	414	< 20	7.9	72.9	
31-10-2011	8.01	4,805	18,687	0.26					5.2	69.6	
07-11-2011	8.00	5,275	19,439	0.27		4,000	1,075	97			
14-11-2011	8.07	6,245	18,108	0.34							
21-11-2011	8.06	6,447	20,669	0.31	27.2	4,000	1,720	217	6.0	71.4	
28-11-2011	8.01	5,495	20,766	0.26							
05-12-2011	7.61	6,293	18,271	0.34		4,000	2,049	386			
12-12-2011	7.98	6,212	19,270	0.32							
19-12-2011	7.93	7,482	16,479	0.45	27.9	4,000	3,681	487	5.1	70.2	
28-12-2011	7.95	5,014	16,040	0.31							
03-01-2012	7.90	4,473	14,351	0.31		3,200	1,316	178			
09-01-2012	8.02	3,372	15,010	0.22							
24-01-2012	8.00	5,805	18,837	0.31	26.0	3,800	1,621	289	5.6	72.2	
30-01-2012	8.15	6,395	19,641	0.33		4,300	2,140	520			
28-02-2012	7.97	9,044	21,186	0.43		4,400	3,625	1,281			BS: 51 ppm



## Rapport 632

05-03-2012	8.06	6,022	20,440	0.29							
12-03-2012	8.08	5,348	23,580	0.23	29.5	4,400	526	889	5.2	67.2	
19-03-2012	8.09	4,777	25,905	0.18							
26-03-2012	7.87	6,532	22,306	0.29		4,600	2,122	583			
02-04-2012	7.84	5,912	20,852	0.28							
11-04-2012	7.93	4,125	22,133	0.19	28.9	4,000	395	< 20	7.0	70.4	
16-04-2012	7.90	4,848	20,304	0.24							
23-04-2012	7.82	3,330	16,568	0.20		3,600	194	n.n.			
02-05-2012	7.86	3,332	21,987	0.15							
07-05-2012	7.88	4,207	20,294	0.21	28.2	4,000					



**Bijlage 5 Analyseresultaten van de biologie UDR-fermenter van 16 februari tot 14 juni 2012**

<b>UDR-fermenter: Upflow-tank</b>											
Datum	pH [-log.c H <sup>+</sup> ]	FOS [mgHAc <sub>aq</sub> /l]	TAC [mgCaCO <sub>3</sub> /l]	FOS/TAC [-]	EC [mS/cm]	NH <sub>4</sub> -N [mg/l]	ES [ppm]	PS [ppm]	TS [%]	oTS [%]	Bemerkungen
24-10-2011	6.88	24.190	14.000	1.73							
31-10-2011	7.05	19,322	13,003	1.49					9.7	76.3	
07-11-2011	7.29	12,815	15,733	0.81							
14-11-2011	7.25	15,121	16,228	0.93							
21-11-2011	7.68	12,111	18,179	0.67	23.2	3,600	2,419	4,778	14.9	81.8	BS: 36 ppm
28-11-2011	7.58	10,124	29,621	0.34							
05-12-2011	7.53	9,865	22,123	0.45							
12-12-2011	7.54	7,417	18,938	0.39							
19-12-2011	7.42	8,211	19,891	0.41	21.9	4,200	2,810	702	14.1	81.7	
28-12-2011	7.58	6,790	17,661	0.38							
03-01-2012	7.31	10,619	19,372	0.55							
09-01-2012	7.57	6,843	19,448	0.35							
24-01-2012	7.68	6,806	17,402	0.39	24.3	3,900	2,025	445	9.9	82.3	
30-01-2012	7.63	5,769	18,228	0.32							
13-02-2012	7.76	5,509	21,268	0.26	24.1	4,400	858	149	17.8	74.7	
28-02-2012	7.66	6,327	23,090	0.27							
05-03-2012	7.71	4,765	22,479	0.21							
12-03-2012	7.64	6,734	23,165	0.29	18.9	4,200	1,422	276	15.5	80.3	
19-03-2012	7.82	5,135	26,515	0.19							
26-03-2012	7.58	9,114	21,140	0.43							
02-04-2012	7.82	4,949	21,410	0.23							
11-04-2012	7.83	4,629	21,582	0.21	24.1	4,000	674	88	17.5	76.2	
16-04-2012	7.89	4,119	18,130	0.23							
23-04-2012	7.55	16,619	28,189	0.59							
02-05-2012	7.77	4,468	25,340	0.18							
07-05-2012	7.60	5,866	15,928	0.37	21.4	4,000	1,657	470	14.9	75.7	
14-05-2012	7.62	7,674	17,040	0.45							
23-05-2012	7.74	5,911	18,911	0.31							
30-05-2012	7.49	7,348	17,828	0.41							
07-06-2012	7.36	9,681	18,733	0.52	21.1	3,900	2,655	456			BS: 30 ppm
12-06-2012	7.49	15,285	18,371	0.83					29.4	60.2	

<b>UDR-fermenter: Downflow-tank</b>											
Datum	pH [-log.c H <sup>+</sup> ]	FOS [mgHAc <sub>aq</sub> /l]	TAC [mgCaCO <sub>3</sub> /l]	FOS/TAC [-]	EC [mS/cm]	NH <sub>4</sub> -N [mg/l]	ES [ppm]	PS [ppm]	TS [%]	oTS [%]	Bemerkungen
24-10-2011	6.77	28,847	15,318	1.88							
31-10-2011	6.99	27,918	13,303	2.10					11.1	74.6	
07-11-2011	7.27	20,770	14,783	1.40							
14-11-2011	7.63	15,908	17,538	0.91							
21-11-2011	7.78	12,245	20,671	0.59	26.1	4,000	1,811	5,446	10.0	75.4	
28-11-2011	7.84	9,876	20,613	0.48							
05-12-2011	7.74	7,253	20,513	0.35							
12-12-2011	7.75	6,177	20,311	0.30							
19-12-2011	7.72	5,923	21,624	0.27	23.2	4,400	815	33	10.6	77.4	
28-12-2011	7.82	4,016	23,321	0.17							
03-01-2012	7.77	5,275	26,108	0.20							
09-01-2012	7.91	4,370	24,617	0.18							
24-01-2012	7.82	4,180	21,419	0.20	25.1	4,000	371	< 20	6.7	71.1	
30-01-2012	8.00	4,608	18,832	0.24							
13-02-2012	7.85	4,617	22,238	0.21	23.3	4,200	130	n.n.	10.2	77.2	
28-02-2012	8.01	4,477	21,934	0.20							
05-03-2012	8.00	4,388	25,025	0.18							
12-03-2012	7.85	4,403	25,371	0.17	27.4	5,000	110	153	9.1	74.5	
19-03-2012	7.91	4,666	26,970	0.17							
26-03-2012	7.86	5,315	22,265	0.24							
02-04-2012	8.05	4,817	21,949	0.22							
11-04-2012	7.84	5,603	27,726	0.20	26	4,400	224	< 20	13.5	78.1	
16-04-2012	8.01	4,964	23,480	0.21							
23-04-2012	7.83	5,164	22,686	0.23							
02-05-2012	7.81	4,323	21,777	0.20							
07-05-2012	7.81	4,896	23,277	0.21	23.7	5,000	< 20	< 20	12.6	76.8	
14-05-2012	7.80	5,824	18,236	0.32							
23-05-2012	7.70	6,632	20,338	0.33							
30-05-2012	7.71	5,808	17,019	0.34							
07-06-2012	7.74	5,229	16,400	0.32	25.7	3,200	1,859	295			
12-06-2012	7.90	5,793	16,637	0.35					4.1	67.8	

## Bijlage 6 Elektrisch rendementen van de mini-WKK bij 62 kW<sub>e</sub> en 40 kW<sub>e</sub>

Rendementsberekeningen Microferm te VIC Sterksel bij 62 kW<sub>e</sub> (15/11/11) en bij 40 kW<sub>e</sub> (19/12/11)

### Gebruikte methode

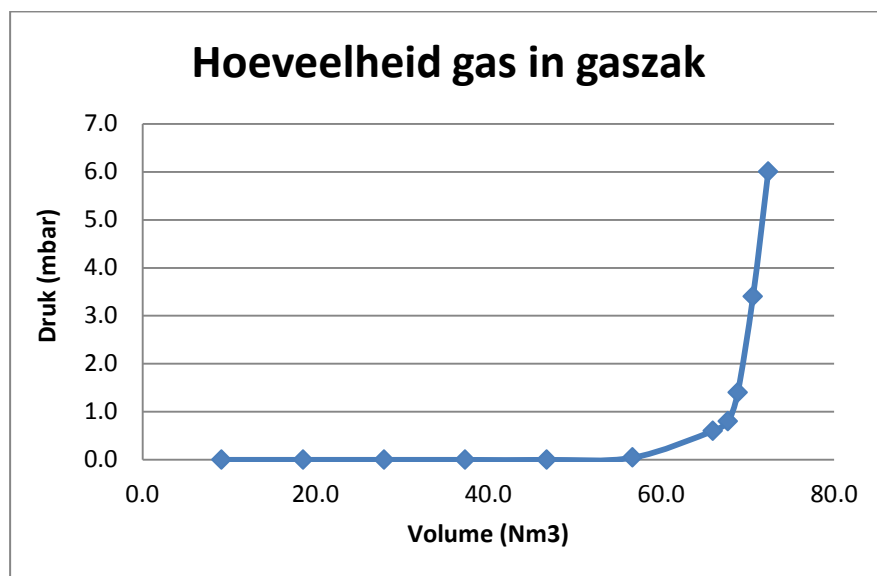
#### Principe:

Een gaszak met een volume van ca. 70 m<sup>3</sup> werd gevuld met biogas. Van te voren is bepaald wat het exacte volume is bij een bepaalde (lichte) overdruk en gegeven temperatuur. (zie verderop). Dit biogas werd in 2 - 3 uur volledig verbrand in de WKK van de Microferm bij een ingesteld elektrisch vermogen. Door de exacte hoeveelheid biogas te bepalen, de methaanconcentratie in het biogas en de tijdsduur van de motor, kan het elektrisch rendement van de motor worden berekend.

#### Bepaling volume gaszak:

Met stikstofflessen is de gaszak langzaam gevuld tot er een overdruk ontstond. De hoeveelheid gas werd bepaald door steeds weging van de gasflessen en de bijhorende druk werd genoteerd. Dit werd 5 maal gedaan tot een druk van 6 mbar. Zie grafiek.

Hierbij is de dichtheid van stikstof gesteld op 1,249 kg/m<sup>3</sup> (Binas). Buitentemperatuur ten tijde van deze bepaling was rond de 0 °C.



Door nu de druk te meten van de gaszak die gevuld is met biogas en de (buiten)temperatuur kan hieruit het volume worden berekend.

### Rendement bij 62 kW<sub>e</sub> vermogen (bepaald op 15-11-2011)

		Eenheid
Overdruk gaszak bij start	0,64	mbar
Inhoud bij start test	66	Nm <sup>3</sup>
Inhoud bij eind test <sup>1)</sup>	0,1	Nm <sup>3</sup>
Duur test	151	min
Verbruik	26,19	Nm <sup>3</sup> /h
Gaskwaliteit <sup>2)</sup>	63,43	% methaan
Energie inhoud biogas <sup>3)</sup>	6,31	kWh/Nm <sup>3</sup>

Energie input	165,26	kW
Vermogen WKK <sup>4)</sup>	62,0	kW <sub>e</sub>
Elektrisch rendement	37,52	%

### Rendement bij 40 kW<sub>e</sub> vermogen (bepaald op 19-12-2011)

		Eenheid
Overdruk gaszak bij start	0,88	mbar
Inhoud bij start test	68	Nm <sup>3</sup>
Inhoud bij eind test <sup>1)</sup>	0,1	Nm <sup>3</sup>
Duur test	196	min
Verbruik	20,79	Nm <sup>3</sup> /h
Gaskwaliteit <sup>5)</sup>	62,8	% methaan
Energie inhoud biogas <sup>3)</sup>	6,25	kWh/Nm <sup>3</sup>
Energie input	129,88	kW
Vermogen WKK <sup>4)</sup>	40,0	kW <sub>e</sub>
Elektrisch rendement	30,80	%

<sup>1)</sup> Na de test was de zak nagenoeg leeg. Schatting is dat er ca. 100 liter gas achter blijft.

Buitemperatuur was op beide data van de test rond de 0 °C.

<sup>2)</sup> Gaskwaliteit is gemeten door Kiwa Gastechonology BV.

<sup>3)</sup> Energie inhoud methaan: 1 Nm<sup>3</sup> methaan levert 9,95 kWh.

<sup>4)</sup> Ingesteld vermogen afgelezen van de display.

<sup>5)</sup> Gaskwaliteit gemeten door HoSt met de gasanalyzer GA2000



Wageningen UR Livestock Research

Edelhertweg 15, 8219 PH Lelystad T 0320 238238 F 0320 238050

E [info.livestockresearch@wur.nl](mailto:info.livestockresearch@wur.nl) | [www.livestockresearch.wur.nl](http://www.livestockresearch.wur.nl)