



---

# Mestvergisting Fermtech systems en Ecobag

G.J. Kasper en A. Kemperman



LIVESTOCK RESEARCH  
WAGENINGEN **UR**

---

---

# Mestvergisting Fermtech systems en Ecobag

Auteurs

G.J. Kasper, A. Kemperman

Wageningen UR Livestock Research

Wageningen, juni 2015

---

Livestock Research Rapport 874

## Samenvatting NL

Twee mono-vergisters Fermtech Systems (FS) en Ecobag (E) zijn onderzocht op melkveebedrijven van ca. 80 melkkoeien om het technisch, milieukundig en economisch perspectief vast te stellen. FS is een geavanceerde vergistingsinstallatie inclusief een hydrolysereactor, E is een eenvoudige mestzakvergister. De verblijftijd van het ingevoerde materiaal was bij FS 7 tot 12 dagen en bij E 117 dagen. De biogasproductie varieerde bij FS van 19 tot 26 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> invoer en bij E van 30-40 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> invoer. Mono-vergisting levert door aanpassing van de stal, het weidesysteem en kunstmestvervanging door digestaat een besparing van 9 tot 12% op de footprint van 1,8 kg CO<sub>2</sub>/kg melk. Modelberekeningen tonen bij gebruik van een WKK, bij FS bedrijfsbesparingen van ruim - € 42.000 en bij E van - € 1670. Bij extra toevoeging van glycerine en doorberekening van arbeid zijn de bedrijfsbesparingen - € 26.000 voor FS en € 10.500 voor E. Verhoging van de WKK-kosten en een hogere prijs voor glycerine verlagen de bedrijfsbesparingen aanzienlijk.

© 2015 Wageningen UR Livestock Research, Postbus 338, 6700 AH Wageningen, T 0317 48 39 53, E [info.livestockresearch@wur.nl](mailto:info.livestockresearch@wur.nl), [www.wageningenUR.nl/livestockresearch](http://www.wageningenUR.nl/livestockresearch). Livestock Research is onderdeel van Wageningen UR (University & Research centre).

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

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt worden door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke wijze dan ook zonder voorafgaande toestemming van de uitgever of auteur.



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

---

# Inhoud

<b>Woord vooraf</b>	<b>5</b>
<b>Samenvatting</b>	<b>7</b>
<b>1 Inleiding</b>	<b>9</b>
1.1 Aanleiding	9
1.2 Doel	9
1.3 Leeswijzer	10
<b>2 Materiaal en methode</b>	<b>11</b>
2.1 Materiaal	11
2.1.1 Beschrijving Fermtech Systems	11
2.1.2 Beschrijving Ecobag	11
2.1.3 Mest, digestaat en biogas	12
2.2 Methode	12
2.2.1 Volumemetingen en analyses	12
2.2.2 Rendement vergisting	13
2.2.3 Direct beschikbare biogas	14
<b>3 Resultaten</b>	<b>15</b>
3.1 Bouw en opstart	15
3.2 Voeding en biogasproductie vergister	15
3.3 Kwaliteit biogas	17
3.4 Weende-analyse en nutriënten	18
3.5 Biologische parameters hydrolyse	21
3.6 Biologische parameters en mineralen na vergisting	22
3.7 Rendement vergisting	27
3.8 Direct beschikbaar biogas in mest	28
<b>4 Effecten van monovergisting op milieu en bedrijfsprocessen</b>	<b>30</b>
4.1 Effecten op milieu	30
4.2 Effecten op bedrijfsprocessen	31
<b>5 Discussie</b>	<b>36</b>
<b>6 Conclusies en aanbevelingen</b>	<b>38</b>
6.1 Conclusies	38
6.2 Aanbevelingen	40
<b>Literatuur</b>	<b>41</b>

---

# Woord vooraf

Mono-vergisting op boerderijschaal heeft voordelen boven co-vergisting. De investeringskosten zijn lager, het kost minder arbeid en de energie in mest kan benut worden voor eigen energieverbruik. De duurzame geproduceerde energie van eigen vergister kan dan de gebruikte fossiele energie vervangen. Duurzaam melk produceren past in het beleid van zuivelondernemingen, o.a. Friesland Campina. De vraag is in hoeverre mono-vergisting bijdraagt aan het verlagen van de footprint voor melk. Ook is het sluiten van kringlopen van energie en mineralen op bedrijfs- of buurniveau – wel degelijk een verantwoordelijkheid van de melkveehouderij – makkelijker met minder dan met meer digestaat.

Verder is het niet onbelangrijk hoe de mono-vergister financieel presteert. De vraag is of geavanceerde duurdere vergistingstechnieken opwegen tegen eenvoudige goedkopere. De totaalinvesteringen, de biogasopbrengsten, de typen vergunningen en de SDE-subsidies zullen hierbij een belangrijke rol spelen, maar ook of de vergistingsinstallatie procesmatig en qua onderlinge afstemming optimaal functioneert.

In dit rapport wordt ingegaan op twee typen mono-vergisters: Fermtech Systems als geavanceerde vergistingstechniek met een hydrolysereactor in het vergistingssysteem en het Ecobag-systeem, waarbij een mestzak dienst doet als kleine vergister voor mest.

Gerrit Kasper  
Projectleider



---

# Samenvatting

In opdracht van en gesubsidieerd door de Rijksdienst Voor Ondernemend Nederland (RVO) zijn praktijkproeven uitgevoerd met twee mono-vergisters te weten Fermtech Systems en Ecobag. Fermtech systems werd gebouwd op KTC De Marke (Hengelo) en omvat een hydrolyseractor en een vergistertank, Ecobag werd gebouwd op melkveebedrijf Prinsen (Haarlo) en is een mestzakvergister. De twee vergisters op boerderijschaal zijn gedimensioneerd op ca. 2.500 tot 3.000 m<sup>3</sup> mest. Ze hebben als voordeel dat de mest op het bedrijf aanwezig is. Regionale mesttransporten zijn niet nodig, energie en mineralen uit mest kunnen op het bedrijf of in de regio worden gebruikt. Andere voordelen ten opzichte van grotere co-vergistingsinstallaties zijn o.a. lagere investeringskosten, minder ruimtebeslag en een snellere bouwtijd. Doel van het onderzoek was het vaststellen van het technische, economische en milieukundige perspectief van beide vergisters, waarbij het effect van mono-vergisting op de footprint van melk is berekend.

Voor het realiseren van de doelstelling zijn de invoer van rundveemest en het volume en de kwaliteit van het biogas gemonitord. Voor bepaling van de biologie van de vergisters werden de gebruikelijke waarden van zuurgraad (pH), de (verhouding tussen) vluchtige organische zuren en het bufferend vermogen (FOS/TAC-verhouding), ammoniakale stikstof (NH<sub>4</sub>-N), Weende analyse en mineralen bepaald. Daarnaast werd het potentieel aanwezige gas en het direct beschikbare gas vastgesteld.

De resultaten gaven aan dat de bouw van beide vergisters voorspoedig verliep. Bij Fermtech Systems ging 2,5 jaar later de monitoring van de installatie van start door o.a. problemen met de invoer en het hydrolyseren van de mest. De invoer van mest bij Fermtech systems is in twee van de drie maanden goed gemeten. In die twee maanden was er één periode met een gemiddelde invoer van 11 m<sup>3</sup>/etmaal en één met een gemiddelde invoer van 5 m<sup>3</sup>/etmaal met respectievelijk 19 en 26 m<sup>3</sup> biogas/m<sup>3</sup> ingevoerde mest. De vergister werd bij vijf van de zes monsters overvoed, hetgeen bij twee monsters resulteerde in disfunctioneren. Bij één monster functioneerde de vergister redelijk goed. Het potentieel aanwezige biogas was na vergisting 27 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> digestaat. Het direct beschikbare biogas na vergisting was ca. 8 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> digestaat. De rendementen op voeding en vergisting waren laag. De gemiddelde verblijftijd in de vergister was 7 tot 12 dagen.

Monitoring van Ecobag is gelijktijdig gestart met Fermtech Systems. De gemiddelde invoer van mest, graan en natuurgras in Ecobag was ongeveer 8 m<sup>3</sup>/etmaal. De vergister produceerde tussen de 30-40 m<sup>3</sup> biogas/m<sup>3</sup> ingevoerde mest. Het hoge kaliumgehalte in mest was toxisch voor acetogene en methanogene bacteriën, waardoor de vluchtige vetzuren onvoldoende benut werden tot vorming van biogas. De gemiddelde verblijftijd in de vergister was 117 dagen.

Op een bedrijf met 80 melkkoeien wordt als gevolg van monovergisting en door aanpassing van de stal, het weidesysteem en kunstmestvervanging door digestaat een besparing van 0,16-0,21 kg CO<sub>2</sub>-equivalenten per kg melk gerealiseerd. Dit is een besparing van 9-12% op de CO<sub>2</sub>-footprint van 1,8 kg CO<sub>2</sub>/kg melk. De arbeidsbehoefte zal bij een technisch goed functionerende vergister ca. 15-30 minuten per etmaal vragen aan controle, onderhoud, storingen en administratie.

Modelberekeningen geven aan dat op een melkveebedrijf met 80 melkkoeien met een Fermtech Systems installatie die 30 m<sup>3</sup> biogas/m<sup>3</sup> ingevoerde mest produceert en bij inzet van een WKK of gasturbine de bedrijfsbesparingen uit vergisting respectievelijk - € 42.602 en - € 41.765 zijn. Bij gebruik van mest en glycerine zijn de bedrijfsbesparingen uit vergisting respectievelijk - € 26.216 en - € 32.585. De bedrijfsbesparingen kunnen worden verbeterd bij bedrijfsvergroting tot 200 melkkoeien. De bedrijfsbesparing van een Ecobag-vergister bij gebruik van mest, graanresten en natuurgras (49,2 m<sup>3</sup> biogas/m<sup>3</sup> ingevoerde mest) en benutting warmte en elektriciteit voor eigen gebruik was - € 1.668 voor een melkveebedrijf van 60-80 melkkoeien. Werd hierbij nog glycerine toegevoegd dan was de bedrijfsbesparing € 10.501. In genoemde prijzen is de eigen arbeid als kostenpost meegenomen. Hogere WKK-kosten (€ 2,5/draaiuur i.p.v. € 1/draaiuur) verlagen de bedrijfsbesparingen met € 12.600. Een hogere glycerineprijs (€ 212/ton i.p.v. € 165/ton) geeft nog

---

een extra verlaging van de bedrijfsbesparingen met € 5.584 (bij Ecobag, 60-80 melkkoeien), € 7.050 (Fermtech Systems, 80 melkkoeien) of € 17.625 (Fermtech Systems, 200 melkkoeien).



---

# 1 Inleiding

## 1.1 Aanleiding

Een deel van de veehouders wil de energetische waarde van mest benutten om in hun energieverbruik te voorzien. Vergisting is een methode om energie uit mest te halen. Kleine vergisters (tot 100 kW) kosten per geïnvesteerd vermogen (KW) vaak het dubbele ten opzichte van vergisters vanaf 700 kW. Dit is een belangrijke reden voor het bouwen van grote vergisters; ze zijn eerder rendabel dan kleine vergisters. Nadelen van grote vergisters zijn echter niet alleen de hoge investeringskosten, maar ook de aankoop en daardoor het transport van co-producten (zoals maïs). Grote vergisters die de functie hebben van regiovergisters worden vaak op een industrieterrein gebouwd. Dit brengt hoge kosten met zich mee voor aankoop van dure industriegrond voor de vergister zelf, maar ook voor opslag van mest, coproducten en digestaat en niet te vergeten de aan- en afvoerroutes voor mest, coproducten en digestaat. Het rendement van co-vergisters hangt sterk af van de prijzen van co-producten. Bovendien werken de tot nu toe gebruikelijke warmtekrachtkoppelingen (WKK's), die bij hogere vermogens per kWe lagere investeringskosten hebben, grote installaties in de hand. Tenslotte zijn dergelijke installaties voor een rendabele exploitatie afhankelijk van overheidssubsidies, waaruit slechts weinig initiatieven kunnen worden gefinancierd.

Veel veehouders zoeken naar een goedkopere, simpeler en niet-subsidieafhankelijke manier om de energie uit mest te kunnen halen met een eenvoudige, goedkope installatie waarbij geen coproducten hoeven te worden aangekocht en daardoor minder digestaat wordt geproduceerd. Verder is de verwachting dat de broeikasgasemissies ketenbreed worden gereduceerd en kringlopen op regioniveau gesloten zijn. Dit past uitstekend binnen het 'programma klimaat' (Anoniem, 2008) van de overheid.

Om tot kansrijke concepten te komen is het zaak de verschillende mogelijkheden in de praktijk te testen en eventueel (door) te ontwikkelen. Twee types vergisters werden gemonitord: een met twee reactortanks op KTC De Marke te Hengelo (Gld) en een tweede in een mestzakvorm te Haarlo (Gld). De vergistingsinstallaties kennen beide een korte verblijftijd voor het substraat. De vergister is daardoor kleiner en beter inpasbaar in het landschap dan de grote covergisters. Voor omzetting van biogas in elektriciteit en warmte kan de vergister gekoppeld worden aan een mini-WKK of aan een gasturbine. In één vergistingsconcept is voorzien in een mestraffinage-unit voor terugwinning van mineralen N en P plus een waterige fractie, bij de tweede wordt digestaat en biogas gewonnen.

De technieken 'vergisting' en 'bioraffinage' van mest - zoals hiervoor besproken - geven het perspectief om niet alleen bij te dragen aan een rendabeler verwerking van dierlijke mest, maar eveneens aan het realiseren van een meer duurzame bedrijfsvoering. Duurzaamheid kan dan uitgedrukt worden in reductie van broeikasgasemissies, weergegeven in CO<sub>2</sub>-equivalenten, en verminderde uit- en afspoeling van mineralen, vooral stikstof en fosfaat.

## 1.2 Doel

Doel is het vergisten van alle soorten dierlijke mest met systemen die een rendabele business case realiseren in de keten '(verse) mest tot en met verwaarden van digestaat of mineralenterugwinning m.b.v. mestraffinage'. Hiertoe zijn twee innovatieve technieken van vergisten onderzocht, die op pilotschaal zijn getest. Daarna zal bij opschaling het innovatieve vergistingsproces van grote betekenis kunnen zijn voor het mede oplossen van het Nederlandse mestprobleem. Het doel van dit project in engere zin beperkt zich tot het monitoren van alleen de innovatieve vergistingstechnieken van twee systemen met melkveemest op boerderijschaal.

---

## 1.3 Leeswijzer

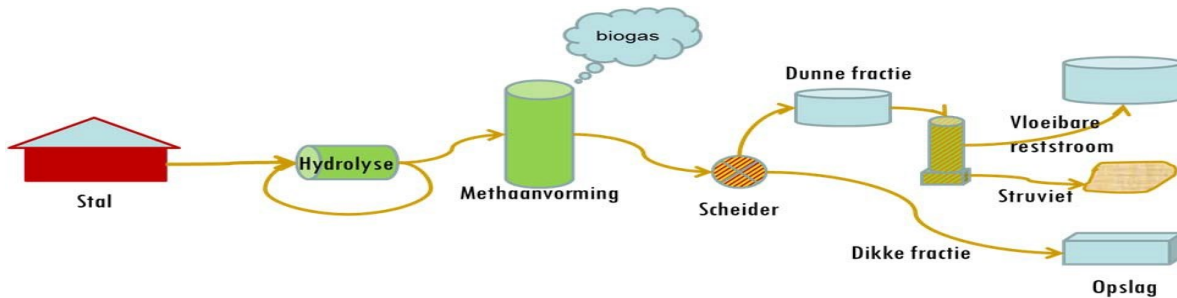
In hoofdstuk 2 wordt een beschrijving gegeven van de vergistingsinstallaties, de dagelijkse metingen van voeding, biogasvolume en -kwaliteit op locatie en de analyses op mest, digestaat en gras. In hoofdstuk 3 worden de resultaten vermeld van voeding, biogas, biologische parameters (pH, FOS/TAC, N en vluchtige vetzuren) en mineralen. Het vergistingsproces wordt biologisch en qua rendement beoordeeld. Hoofdstuk 4 beschrijft de effecten van vergisting op milieu (CO<sub>2</sub>-equivalenten), arbeid en economie. Het geheel wordt bediscussieerd in hoofdstuk 5. Tenslotte worden in hoofdstuk 6 de conclusies en aanbevelingen besproken.

## 2 Materiaal en methode

### 2.1 Materiaal

#### 2.1.1 Beschrijving Fermtech Systems

Op Kennis Transfer Centrum De Marke (KTC De Marke) is juli 2012 een hydrolyse-unit en een methaanreactor en gebouwd (figuur 1). De raffinage-unit voor struvietvorming is nog niet gerealiseerd.

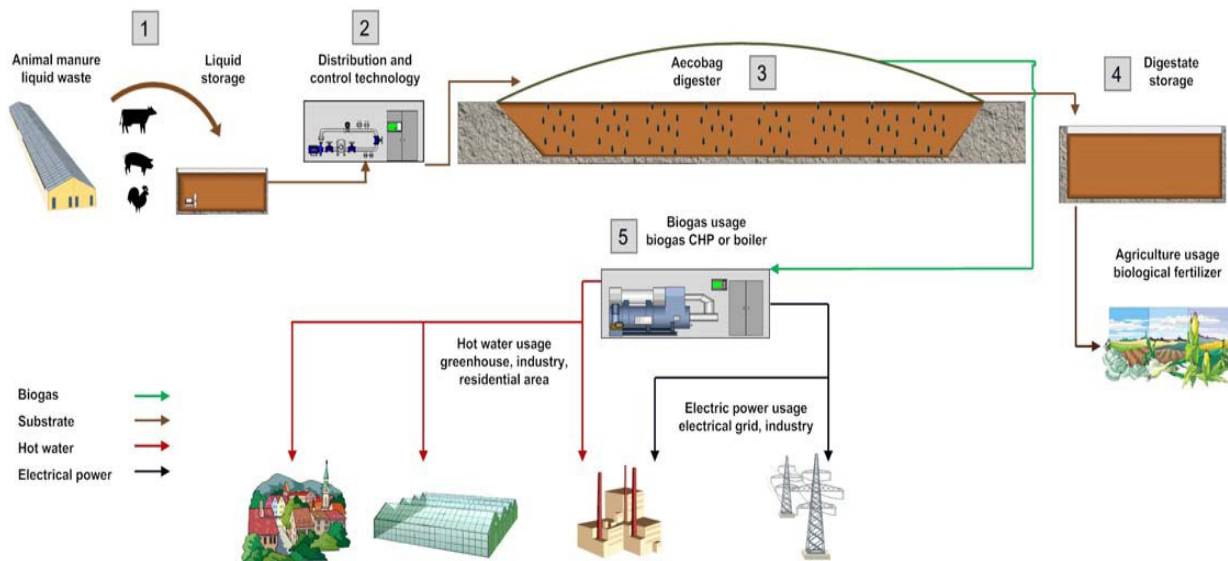


**Figuur 1** Vergistingsinstallatie Fermtech systems

De volumes van de hydrolyse-unit en de methaanreactor zijn respectievelijk ca. 33 m<sup>3</sup> en ca. 80 m<sup>3</sup>. De hydrolysetank staat in een bijgebouw, de methaanreactor – met een diameter van 3 meter en een hoogte van 11 meter – is buiten geplaatst. In de hydrolysetank is een roersysteem aanwezig dat langzaam in de radiale richting van de tank draait. In deze tank is een ontluchtingssysteem aanwezig om eventueel gevormde gassen, zoals NH<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>S te laten ontsnappen. De methaanreactor bevat geen roersysteem.

#### 2.1.2 Beschrijving Ecobag

Op het melkveehouderijbedrijf van de familie Prinsen te Haarlo is in 2012 een aecobag-vergister geplaatst van 800 m<sup>3</sup>. De vergister is onderdeel van een mestvergistingsketen van mest vanuit de melkveestal tot digestaat, biogas, elektriciteit en warmte (figuur 2).



**Figuur 2** Vergistingsinstallatie Ecobag (E)

### 2.1.3 Mest, digestaat en biogas

#### Fermtech Systems

De oudere rundermest is opgeslagen in de mestkelder onder de melkveestal met 80 melkkoeien. Met een pomp wordt de mest vervoerd naar een warmtewisselaar, waarbij de mest wordt verwarmd tot ca. 55<sup>0</sup> C. In de hydrolysetank blijft deze temperatuur gehandhaafd. De gehydrolyseerde mest wordt aan de onderzijde van de vergistertank met 55<sup>0</sup> C ingevoerd en verlaat het digestaat met ca. 30<sup>0</sup> C aan de bovenzijde de tank en valt vervolgens in een digestaatopslag, waarin het langere tijd opgeslagen blijft. Een à twee keer per jaar wordt de mest gescheiden in een dikke fractie en een dunne fractie. De dikke fractie en de dunne fractie worden opgeslagen.

Verdere verwerking tot struviet en loosbaar water vindt nog niet plaats. Dit is ook niet meegenomen in dit onderzoek. Het gevormde biogas loopt via een buis over naar de digestaatopslag. De Warmte Kracht Koppeling (=WKK) verbrandt dit gas vanuit deze opslag, waarbij elektriciteit en warmte ontstaan.

#### Ecobag

De mest van 60 melkkoeien en bijbehorende jongvee – ca. 6 m<sup>3</sup>/etmaal – en ca. 1 m<sup>3</sup> natuurgras/etmaal worden gemengd in en mengput (figuur 1, nr 1). Het gemengde materiaal wordt vervolgens qua dosering en distributie (nr 2) ingevoerd in de mestzak (nr 3, 800 m<sup>3</sup>). In de mestzak verblijft het materiaal ca. 60 dagen. Na vergisting komt een deel van het digestaat (1 m<sup>3</sup>/etmaal) weer terug in de mengput. Het digestaat komt in de na-opslag (nr 4). Van hieruit wordt het digestaat gescheiden in een dikke fractie en een dunne fractie. De dunne fractie wordt gebruikt voor bemesting voor het voeden van het eendenkroos van het eigen bedrijf, de dikke fractie wordt gedroogd met de warmte van de WKK. Het biogas wordt verbrand in een WKK (nr 5, 50 kW) met als doel productie van elektriciteit. Hierbij ontstaat ook warmte.

## 2.2 Methode

### 2.2.1 Volumemetingen en analyses

Van de ingaande mest en het digestaat, en van de dikke fractie en dunne fractie van digestaat worden monsters genomen (tabel 1). In tabel 1 wordt aangegeven in welke laboratoria mest, digestaat bepaald worden. Voor de biogaskwaliteit (zie paragraaf 2.2.3).

Tabel 1

Code, bemonsteringspositie en analysemethode Fermtech systems (FS)/Ecobag(E)

Code	Bemonsterings-positie; mest, digest, biogas, lucht	Analysemethode/ analyse op	laboratorium/biogas-meter
1a	mest	gaspotentietest	AlConsult
1b	mest na hydr tank (FS)/ mengput (E)	gaspotentietest	AlConsult
1c	digestaat na vergister	gaspotentietest	AlConsult
2a	mest	gaspot. + vc-os + Weende analyse + mineralen, etc.	Biogaslab
2b	mest na hydr tank (FS)/ mengput (E)	gaspot. + vc-os + Weende analyse + mineralen, etc.	Biogaslab
2c	digestaat na vergister	gaspot. + vc-os + Weende analyse + mineralen, etc.	Biogaslab
3	batch test	gaspot. testen	Biogaslab
4	dikke fract. digest.	gaspot. + Weende analyse + mineralen, etc.	Biogaslab
5	dunne fract. digest.	gaspot. + Weende analyse + mineralen, etc.	Biogaslab
6	biogas	gaskwaliteit (CO <sub>2</sub> , O <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , H <sub>2</sub> S)	biogasmeter (mobiele)

Verder werd een aantal parameters, die bepaald werden door vast opgestelde meters, een keer per etmaal genoteerd in een logboek (tabel 2). Dit kan de echte waarde zijn (b.v. pH) of een gecumuleerde waarde. Naast vast opgestelde meters werd met een mobiele biogasmeter (voor FS: Geotech draagbare Biogas5000 Analyser 4-gas inclusief H<sub>2</sub>S, type nummer BM5K00D0-000; voor E:

Euro-index) periodiek de gassamenstelling bepaald (bij de uitlaat van de hydrolyse reactor en) bij de vergister.

Tabel 2

*Bepalingen aan mest, digestaat en biogas*

mest/digestaat/biomassa	flowmeter (j/n)	noteren in logboek (frequentie)	opmerkingen
mest	ja (ton)	1x/24 h	zelfde tijd per etmaal uitlezen/noteren
mest na hydrolyse/mengput	ja (ton)	1x/24 h	zelfde tijd per etmaal uitlezen/noteren
temp. hydrolyse		1x/24 h	
temp. vergister		1x/24 h	
pH hydrolyse/mengput		1x/24 h	
pH vergister		1x/24 h	
gasmeter (Vol.+ CH <sub>4</sub> )	ja (m <sup>3</sup> )	1x/24 h	zelfde tijd per etmaal uitlezen/noteren
gassamenstelling (CH <sub>4</sub> , O <sub>2</sub> , CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> S)	nee	1x/24 h	mobiele biogasmeter aanschaffen; wordt gebruikt in hydrolyse reactor/mengput en vergister

### Monsternames en analyses

Analyses van een aantal parameters van mest, hydrolyse, digestaat, gras werden geanalyseerd door AlConsult te Wageningen (gaspotenties) en Biogaslab te België. AlConsult bepaalde het potentieel aanwezige gas in mest, gehydrolyseerde mest en digestaat (De Marke) en mest, mengsel van mest en gras (volume verhouding van respectievelijk 7:1) en digestaat (Prinsen). Het Biogaslab analyseerde de volgende parameters (tabel 3). Daarnaast werd voor mest de direct beschikbare biogasproductie en de potentiële biogasproductie bepaald.

Tabel 3

*Bepalingen van Weende-analyse, nutriënten en biologische parameters in (gehydrolyseerde) mest en digestaat*

methode	(gehydrolyseerde) mest/digestaat	gehydrolyseerde mest/digestaat
	<i>Weende-analyse</i>	<i>biologische parameters</i>
	<i>Macro- en micronutriënten</i>	
droge stof	natrium (Na)	pH
ruw eiwit (NKj*6,25)	kalium (K)	TAC
reëel eiwit	calcium (Ca)	FOS
ruw vet	magnesium (Mg)	TAC/FOS
ruwe celstof	fosfor (P)	N-totaal
ruwe as	zwavel (S)	N-NH <sub>4</sub> (tot. ammoniakale N)
overige koolhydraten	ijzer (Fe)	NH <sub>3</sub> (niet-ionische ammoniakale N)
organische stof	mangaan (Mn)	C/N
C/N-verhouding	koper (Cu)	organische stof
	zink (Zn)	propionzuur
	nikkel (Ni)	iso-boterzuur
	chrom (Cr)	boterzuur
		iso-valeriaanzuur
		valeriaanzuur

### Toevoegingen

Om de pH van het hydrolyseproces van Fermtech systems te verlagen (pH<6) werd in eerste instantie glycerine toegevoegd. Andere mogelijke toevoegingen zijn CCM.

#### 2.2.2 Rendement vergisting

In eerder onderzoek naar monovergisting is aandacht besteed aan het rendement van voeding bij vergisting en het rendement van vergisting (Kasper en Peters, 2012). 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 waarden worden uitgedrukt in

---

$m^3$  biogas/ $m^3$  mest of  $m^3$  biogas/ $m^3$  invoer of  $m^3$  biogas/ $m^3$  digestaat. In de rapportage van genoemd onderzoek wordt vermeld dat het vergisten optimaal verloopt bij een pH van 6,5 tot 7,8. Meestal wordt bij een hogere pH vergist, maar dat gaat ten koste van voldoende afbraak van de organische stof. Verder is ingegaan op de biodegradeerbaarheid van het substraat. Wanneer het materiaal te onregelmatig wordt afgebroken, waardoor meer of minder vluchtige vetzuren ontstaan, kunnen de acetogene en methanogene bacteriën daar niet goed op inspelen. Dit geeft een grote kans op verzuring en schuimvorming. Het is dan ook verklaarbaar dat dit de biogasopbrengst negatief beïnvloedt. Met de PoB van mest (=PoB-mest), PoB van gehydrolyseerde mest (=PoB-hyd), PoB-digestaat (=PoB-dig), AvB van mest (=AvB-mest), AvB van gehydrolyseerde mest (=AvB-hyd) en AvB van digestaat (=AvB-dig) is te berekenen welke rendementen op voeding en vergisting gerealiseerd zijn. De formules voor de berekeningen zijn als volgt:

Het rendement op voeding (mest tot na hydrolyse) is (in %): 
$$\frac{\text{PoB-mest} - \text{PoB-hyd} \times 100}{\text{PoB-mest}}$$

Het rendement op voeding (mest tot na vergisting) is (in %): 
$$\frac{\text{PoB-mest} - \text{PoB-dig} \times 100}{\text{PoB-mest}}$$

Het rendement op vergisting (mest tot na hydrolyse) is (in %): 
$$\frac{\text{PoB-mest} - (\text{PoB-hyd} - \text{AvB-hyd}) \times 100}{\text{PoB-mest}}$$

Het rendement op vergisting (mest tot na vergisting) is (in %): 
$$\frac{\text{PoB-mest} - (\text{PoB-dig} - \text{AvB-dig}) \times 100}{\text{PoB-mest}}$$

Het onderzoek werd uitgevoerd door een geaccrediteerd laboratorium: ALConsult te Wageningen. 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 werd gevalideerd aan de hand van praktijkresultaten (Dekkers, 2012). 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.

### 2.2.3 Direct beschikbare biogas

Biogaslab te Chaumont-Gistoux (België) heeft het direct beschikbaar biogas in mest bepaald middels een incubatieproef (batchtest). Voor deze batchtest werd het digestaat van een optimaal werkende vergister als substraat gebruikt. Van dit digestaat werd de macroscopische onverteerde organische stof verwijderd middels een 1 mm zeef. Het digestaat werd daarna gevoed met zuivere saccharose en in vergisters gewogen en geplaatst. De saccharose voor-incubatie beoogt twee doelen:

- gelijke vergistingscapaciteit van de flora te checken op alle vergisters.
- zich te verzekeren dat alle vergister gelijk vergisten en geen gaslekken vertonen.

Alle vergisters werden eerst uitgegist wat betreft de suiker. Het zeven en uitgisten werden uitgevoerd om o.a. de homogeniteit te verzekeren van alle vergisters t.o.v. een blanco vergister. Hierbij is 'blanco vergister' gedefinieerd als een vergister die dezelfde behandelingen heeft ondergaan als de batchtest-vergister, maar zonder mesttoevoeging.

Daarna vond het inenten van de batchtest-vergisters plaats met 5 kg organische stof/ $m^3$  substraat (in dit geval is de organische stof afkomstig van mest). Vervolgens werden de metingen gestart bij  $38^{\circ}\text{C} \pm 0,05^{\circ}\text{C}$ . Het resterend biogaspotentieel van het gebruikte substraat werd met behulp van de blanco vergisters afgetrokken zodat de netto resultaten alleen het biogaspotentieel weergeven van het ingeënte product. De batchtesten voldoen aan de Duitse VDI 4630 norm. Het direct beschikbare biogas verkregen uit de batchtesten uitgevoerd door Biogaslab werd vergeleken met het direct beschikbare biogas geanalyseerd door ALConsult te Wageningen.

---

## 3 Resultaten

### 3.1 Bouw en opstart

#### Fermtech systems

De bouw van de installatie in juli/augustus 2012 ging voorspoedig. Er waren echter problemen met het opstarten van de hydrolyse-unit. Voor het hydrolyseproces is het noodzakelijk dat er omstandigheden worden gecreëerd waarbij een bepaalde hydrolyserende bacteriestam het aangeboden substraat – in dit geval alleen mest – hydrolyseert. Dit betekent dat grote moleculen (b.v. polysacchariden) afbreken in kleinere, waarbij suikers en vluchtige vetzuren worden gevormd. Tijdens de fase van hydrolyse is het nodig dat de pH-waarde lager is dan 5,8 om omzetting van azijnzuur in methaan door methanogene bacteriën te voorkomen.

#### Ecobag

Na de bouw in 2012 is de vergister in de rest van 2012 e 2013 geoptimaliseerd. Dit optimaliseren was niet alleen nodig voor de vergister, maar ook voor de voorbehandeling van het natuurgras. Het gras was verkregen van Staatsbosbeheer en werd ingekuild in grote ronde balen. Omdat het gras niet kort genoeg was, gaf dit in eerste instantie problemen met drijfslagen in de vergister. Later is een mechanische ontsluitingsmethode toegepast op het gras. Daarna werd het gras (1 m<sup>3</sup>/etmaal) met een deel recirculerend digestaat (ca. 1 m<sup>3</sup>/etmaal) en een ander deel mest (ca. 6 m<sup>3</sup>/etmaal) enkele dagen in een mengput gehouden, zodat de verhouding gras:mest was 1:7, waarna het de vergister inging.

### 3.2 Voeding en biogasproductie vergister

#### Fermtech systems

Tijdens de monitoringsperiode is de voeding en de biogasproductie per m<sup>3</sup> ingevoerde mest van de vergister weergegeven (tabel 4 en bijlage 1).

Tabel 4

*Gemiddelde voeding en biogasproductie van de vergister per etmaal*

datum/ periode	voeding vergis-ter (gem. m <sup>3</sup> / etmaal)	pH hydr (gecor- rigeerd)	biogas/ voeding (m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> )	opmerkingen
1-11dec14	-	-	-	opstarten hydrolyse
03 dec	-	-	-	invoer 10 m <sup>3</sup> /24 uur; volume hydrolyseractor opvoeren naar 24 m <sup>3</sup> /etmaal
04 dec	-	-	-	start glycerine: 50 l/24 uur. Doel: pH-verlaging van hydrolyseproces
09 dec	-	-	-	veel schuimproductie; invoer glycerine gestopt
11 - 30 dec	9,8	7,4	17,6	30 dec: interne pH meter geeft 1,5 eenheid te hoog aan t.o.v. de werkelijke waarde (gold voor 11-30 dec)
31dec- 12jan15	ca. 10	-	ca. 16,1	volumes mest/biogas niet dagelijks, maar wekelijks opgeschreven (31 dec en 5 en 12 jan); 8 jan: pH-meters schoongemaakt/gewisseld, processor gereset, start met leeg pompen van de hydrolysereactor; 9 jan: hydrolysereactor is leeg; voeding vergister niet te berekenen door registratie van 1x/ week
12 jan	0	7,0	-	storing: voorraadvat achter de stal was leeg; vullen gestart met 8 m <sup>3</sup> ; + CCM
13 jan	0	-	-	CCM (2x)
15 - 19 jan	1,9 - 5,8	6,1	-	19 jan: hydrolysereactor weer leeggepompt; elke dag CCM
20 - 30 jan	0	5,9	-	20 jan: hydrolysereactor is leeg; gestart met vullen (instellen op 6 m <sup>3</sup> ): + CCM
31jan-16feb	5,3	5,9	26,4	16 feb: invoer verhoogd naar 12 m <sup>3</sup> /etmaal; + CCM
17 - 21 feb	10,2	6,8	20,9	20 feb:invoer verhoogd naar 14 m <sup>3</sup> /etmaal; 21 feb: niveaumeting hydrolysereactor stuk
23 - 24 feb	-	-	-	23 feb: storing. 24 feb: storing opgelost
27feb-6mrt	11,6	7,0	17,4	storing; roerinstallatie hydrolyseractor stuk; vergistingsproces verliep niet goed

Tabel 4 laat zien dat de hydrolysereactor nogal eens is leeggepompt en opnieuw opgestart. Het verkrijgen van een goede hydrolyse in de reactor was de belangrijkste reden voor het opnieuw opstarten. Ook zijn er nogal wat storingen opgetreden. Het betrof met name problemen in de software en hardware: pH-meter, voorraadvat, niveaumeter en roerinstallatie van hydrolysereactor. Verder valt op dat er periodes met minder en meer voeding/etmaal zijn geweest. De periode met minder voeding, 31 januari – 16 februari, gaf per m<sup>3</sup> ingevoerde mest/etmaal meer biogasopbrengst. Het effect van CCM-toevoeging heeft waarschijnlijk weinig invloed op de biogasopbrengst. In de periode 11 t/m 19 december is gemiddeld/etmaal 129 kg CCM gevoed. (voor de toegevoegde hoeveelheden CCM, zie bijlage 2). Dit gaf een toename van 1,1 m<sup>3</sup> biogas/etmaal en opzichte van het gemiddelde in de periode 11 t/m 30 december.

#### Ecobag

Tijdens de monitoringsperiode is de gemiddelde voeding van mest, graan en natuurgras en de gemiddelde elektriciteitsproductie vanaf de WKK de etmaal weergegeven (tabel 5).

Tabel 5

*Gemiddelde voeding (per etmaal) en output elektriciteit WKK per etmaal voor gehele monitoringsperiode*

Datum/periode	Voeding mest (m <sup>3</sup> )	Voeding graan (kg)	Voeding na- tuurgras (kg)	Elektriciteit uit WKK (kWh)	CH <sub>4</sub> - gehalte
01 nov'14 – 5 mrt'15	7,6	218	177	674	59,8
16 nov'14 – 30 nov'14	5,9	1787	193	678	59,7

De output elektriciteit (tabel 5) is exclusief het woningverbruik van 48 kWh/etmaal. Wanneer uitgegaan wordt van een elektrisch rendement van 32% van de WKK dan kan berekend worden dat in de periode 1 dec'14 – 5 mrt'15 met de invoer aan mest, graanresten en natuurgras gemiddeld 2106 kWh/etmaal is geproduceerd ofwel 674 kWh/etmaal als output WKK. Dit betekent dat dan bijvoorbeeld



uitgegaan moet worden van een biogasproductie van 30 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> mest, 493 m<sup>3</sup>/ton graanresten (85% ds) en 100 m<sup>3</sup>/ton natuurgas. De vergistingsperiode is ca. 117 dagen.

Het streven was 8 m<sup>3</sup> mest per etmaal als voeding te verstrekken vanaf 1 december 2014. In de periode van 15 -30 nov'14 werd ca. 6 m<sup>3</sup> mest/etmaal ingevoerd. Berekend is voor deze periode dat dan gemiddeld 678 kWh/etmaal als output uit de WKK komt en door de voeding 2073 kWh/etmaal is geproduceerd. De biogasproductie is dan: 40 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> mest, 522 m<sup>3</sup>/ton graan (85% ds) en 100 m<sup>3</sup>/ton natuurgas. Het vergisten gaf weinig problemen. Vandaar dat het vergistingsproces niet is onderbroken.

### 3.3 Kwaliteit biogas

#### *Fermtech systems*

De gassenstelling van het biogas dat via een uitlaatpijp de hydrolysereactor verlaat en van het biogas dat zich na vergisting gevormd heeft, is bepaald met de mobiele biogasmeter (tabel 6). Hierbij is ook de pH van de hydrolysereactor toegevoegd. In drie periodes is gemeten met de mobiele meter: eind december 2014, begin februari en eind februari 2015.

Tabel 6

*Gassenstelling van biogas hydrolysereactor en biogas vergister*

datum	biogas hydrolysereactor				biogas vergister				
	CH4 (%)	CO2 (%)	O2 (%)	H2S (ppm)	CH4 (%)	CO2 (%)	O2 (%)	H2S (ppm)	pH
22-dec-14	42.8	57	0.1	>5000	68.9	30.8	0.2	1490	7.4*
24-dec-14	39.6	60.3	0.1	>5000	69.2	30.6	0.2	1606	7.4*
26-dec-14	37.1	63.2	0.1	>5000	69.9	29.9	0.2	1650	7.4*
29-dec-14	33.6	67.3	0.1	>5000	70.5	29.3	0.2	1682	7.4*
gemiddeld	38.3	62.0	0.1	>5000	69.6	30.2	0.2	1607	
4-feb-15	7.3	70.5	19.9	>5000	58.6	41.3	0.1	1091	6.3
6-feb-15	0	42.9	7	-	60.4	33.5	5.9	988	5.9
9-feb-15	0	37.7	6.5	4574	59.9	32.4	0.1	851	5.7
11-feb-15	0	45.3	5.1	3568	63.9	28.6	0.1	1182	5.7
13-feb-15	0	73.1	0.2	5000	56	34.1	0.1	1072	5.8
gemiddeld	1.5	53.9	7.7	-	59.8	34.0	1.3	1037	
26-feb-15	27.9	72	0.1	>5000	63.4	36.4	0.2	1676	7
27-feb-15	25	74.6	0.1	>5000	68.9	31.0	0.1	1651	7
2-mrt-15	22.2	77.1	0.1	>5000	70.9	29.0	0.1	1704	7.1
4-mrt-15	22.6	77	0.1	>5000	71.3	28.5	0.2	1766	7.1
gemiddeld	24.4	75.2	0.1		68.6	31.2	0.2	1700	

\* de pH-waarden zijn met 1,5 eenheid verhoogd, omdat de vaste pH-meter van de hydrolysetank 1,5 eenheid te laag aangaf. Dit is vastgesteld door een gekalibreerde mobiele pH-meter.

Tabel 6 toont dat de periodes december 2014 en februari/maart 2015 qua gassenstelling van het biogas goed vergelijkbaar zijn. De samenstelling van het biogas dat de hydrolysereactor verlaat geeft in december hogere gehalten CH<sub>4</sub> en lagere gehalten CO<sub>2</sub>. De andere gehalten (O<sub>2</sub> en H<sub>2</sub>S) zijn vergelijkbaar. Het biogas uit de hydrolysereactor In de periode 4-13 februari toont een duidelijk ander patroon in vergelijking met december en eind februari/begin maart. De methaangehalten zijn tot nul gereduceerd en de H<sub>2</sub>S-gehalten zijn lager. De genoemde verschillen in het biogas van de hydrolysereactor hebben een duidelijke relatie met de pH. Een lagere pH geeft lagere methaangehalten (eind februari/maart versus december; begin februari vs december; begin februari vs eind februari/maart). Opmerkelijk is het hoge O<sub>2</sub>-gehalte in begin februari.

### Ecobag

De biogassamenstelling na vergisting is elke 7 - 10 dagen bepaald met een mobiele biogasmeter voor de periode 1 nov'14 – 5 mrt'15. Het gemiddelde en de variatiecoëfficiënt van alle waarden zijn weergegeven in tabel 7.

Tabel 7

*Gemiddelde waarden en variatiecoëfficiënt van de biogassamenstelling na vergisting van Ecobag-vergister*

	CH4 (%)	CO2 (%)	O2 (%)	H2S (ppm)
gemiddelde	59,8	36,2	0,1	35,2
variatiecoëfficiënt	1,9	3,0	0,1	33,8

De waarden in tabel 7 zijn normale waarden voor een vergister. De gehalten CH<sub>4</sub> en CO<sub>2</sub> laten weinig variatie zien. Het H<sub>2</sub>S-gehalte is laag.

## 3.4 Weende-analyse en nutriënten

### Fermtech systems

In tabel 8 zijn de analyses van de voeding van de Weende-analyse weergegeven. In tabel 9 zijn dezelfde parameters van gehydrolyseerde mest weergegeven.

Tabel 8

*Drogestofpercentages (g/g) en nutriënten (g/kg ds) van ingevoerde mest Fermtech system*

	5-12-14	19-12-14	6-1-15	6-2-15	20-2-15	27-2-15
Droge stof	7,78	8,12	7,96	7,19	7,6	7,42
Ruw eiwit (NKjeld*6.25)	27,59	28,39	28,38	31,99	33,3	33,43
Reëel Ruw eiwit	14,62	13,83	14,58	14,74	14,4	14,74
Ruw vet	1,7	1,55	1,66	2,04	3,19	2,62
Ruwe celstof	22,54	22,54	21,1	18,96	19,82	18,9
Ruwe as	18,78	20,08	19,47	20,86	22,68	22,05
Overige koolhydraten	42,36	41,99	43,19	43,39	39,92	41,68
Organische stof	81,22	79,92	80,53	79,14	77,32	77,95
C/N (-)	10,7	10,23	10,31	8,99	8,44	8,47

Tabel 9

*Drogestofpercentages (g/g) en nutriënten (g/kg ds) na hydrolysefase Fermtech system*

	5-12-14	19-12-14	6-1-15	6-2-15	20-2-15	27-2-15
Droge stof	7,37	8,35	7,42	8,49	7,44	7,73
Ruw eiwit (NKjeld*6.25)	28,59	27,76	32,21	31,02	33,6	27,92
Reëel Ruw eiwit	14,52	14,2	13,94	17,87	13,47	13,66
Ruw vet	1,95	1,41	1,81	1,86	5,6	3,11
Ruwe celstof	22,13	18,86	20,55	17,87	21,22	21
Ruwe as	21,42	24,34	22,79	17,56	21,12	21,81
Overige koolhydraten	39,98	41,18	40,92	44,84	38,58	40,42
Organische stof	78,58	75,66	77,21	82,44	78,88	78,19
C/N (-)	9,99	9,9	8,71	9,66	8,53	10,18

Tabel 8 laat zien dat het drogestofgehalte nogal varieert tijdens de monitoringsperiode. Het ruw as- en het ruwe eiwitgehalte nemen toe in 2015 ten opzichte van 2014. De overige parameters blijven vrijwel gelijk tijdens deze periode. In tabel 9 is het nogal andere patroon van de drogestofpercentages van de monsters opvallend. Dit geldt vooral op 6 februari 2015: de drogestofpercentages zijn 7,19 in de voeding en 8,49 in de hydrolyse. Het blijkt dat op 6 februari 2015 ook het organische stofgehalte, de overige koolhydraten en de C/N-verhouding verhoogd zijn.

In tabel 10 zijn de analyses van de Weende-analyse na vergisting weergegeven.

**Tabel 10**

*Drogestofpercentages (g/g) en nutriënten (g/kg ds) na vergistingsfase Fermtech system*

	5-12-14	19-12-14	6-1-15	6-2-15	20-2-15	27-2-15
Droge stof	7,97	8,85	7,57	7,18	7,67	6,89
Ruw eiwit (NKjeld*6.25)	26,26	23,62	29,14	33,6	32,96	34,17
Reëel Ruw eiwit	12,31	11,76	12,99	14,75	13,95	14,92
Ruw vet	1,49	2,21	1,34	2,24	5,82	2,8
Ruwe celstof	20,24	16,94	18,68	15,86	17,31	17,87
Ruwe as	29,3	35,9	33,1	29,8	30,14	29,14
Overige koolhydraten	36,65	33,19	33,89	37,35	32,78	35,27
Organische stof	70,7	64,1	66,9	70,2	69,86	70,86
C/N (-)	9,78	9,86	8,34	7,59	7,7	7,53

Het blijkt dat het organische stofgehalte na vergisting gedaald is tot ca. 70% (tabel 10). Alleen op 19 december 2014 en 6 januari 2015 was dit gehalte lager (resp. afgerond 64 en 67%).

#### Ecobag

De mest van het melkveebedrijf Prinsen heeft redelijk hoge drogestofgehalten (bijlage 3). De samenstelling van de voeding (= mest, graan en natuurgras) van de vergister is weergegeven in tabel 11. De gegevens van de laatste monsternamen (28 februari 2015) ontbreken omdat vergeten was het monster te verzenden naar het laboratorium. De digestaatsamenstelling staat in tabel 12.

**Tabel 11**

*Drogestofpercentages (g/g) en nutriënten (g/kg ds) van voeding Ecobag*

	6-12-14	20-12-14	3-1-15	17-1-15	31-1-15	14-2-15
Droge stof	11,35	11,13	9,51	10,79	11,94	-
Ruw eiwit (NKjeld*6.25)	38,57	40,6	29,23	34,91	37,16	-
Reëel Ruw eiwit	22,65	24,39	14,62	22,48	22,29	-
Ruw vet	8,39	10,97	3,49	10,48	9,9	-
Ruwe celstof	15,87	15,31	22,13	14,04	11,96	-
Ruwe as	25,18	22,04	24,37	22,89	25,03	-
Overige koolhydraten	27,91	27,29	35,39	30,11	30,83	-
Organische stof	74,82	77,96	75,63	77,11	74,97	-
C/N (-)	7,05	6,98	9,4	8,03	7,33	-

Tabel 12

*Drogestofpercentages (g/g) en nutriënten (g/kg ds) van digestaat Ecobag*

	6-12-14	20-12-14	3-1-15	17-1-15	31-1-15	14-2-15
Droge stof	8,64	9,29	8,88	9,61	9,97	9,86
Ruw eiwit Nkjeld*6.25)	42,31	41,3	43,42	36,97	37,54	38,87
Reëel Ruw eiwit	17,44	17,09	17,8	16,53	16,82	16,55
Ammoniakale stikstof	39779	38738	40992	32709	33160	35716
Niet-ionisch ammoniak	1817	1270	1605	572	972	683
Ruw vet	3,03	2,62	2,95	5,75	4,95	6,5
Ruwe celstof	14,81	15,16	14,65	15,42	15,9	15,94
Ruwe as	29,41	29,4	28,38	26,57	25,99	26,6
Overige koolhydraten	35,31	35,73	36,22	35,73	36,34	34,41
Organische stof	70,59	70,6	71,62	73,43	74,01	73,4
C/N (-)	6,06	6,21	5,99	7,22	7,16	6,86

De drogestofgehalten in de voeding variëren van 9,5 tot bijna 12%. Het lage gehalte is wellicht het gevolg van de relatief hogere input van natuurgras en lagere input van graanresten rondom het tijdstip van monsternamen (17 jan'15). Dit wordt bevestigd door het tot tweemaal hogere ruwe celstofgehalte en het tot driemaal lagere ruw-vetgehalte ten opzichte van de gemiddelde gehalten van de andere vijf monsteranalyses. In de periode 10 – 24 jan'15 waarin het monster is genomen, was de gemiddelde energieproductie 26% hoger dan de gemiddelde energieproductie over de gehele periode (1 nov'14 – 6 mrt'15). In de periode 22 dec'14 – 5 jan'15 was de gemiddelde elektriciteitsproductie 12% lager dan de gemiddelde energieproductie. In beide periodes werd 8 m<sup>3</sup> mest/etmaal gevoed. De gemiddelde voeding van graanresten en natuurgras staat vermeld in tabel 13.

Tabel 13

*Voeding (gemiddeld hoeveelheid/etmaal) in twee 14-daagse periodes en gehele monitoringsperiode met verwachte biogasproducties en bijbehorende elektriciteitsproducties*

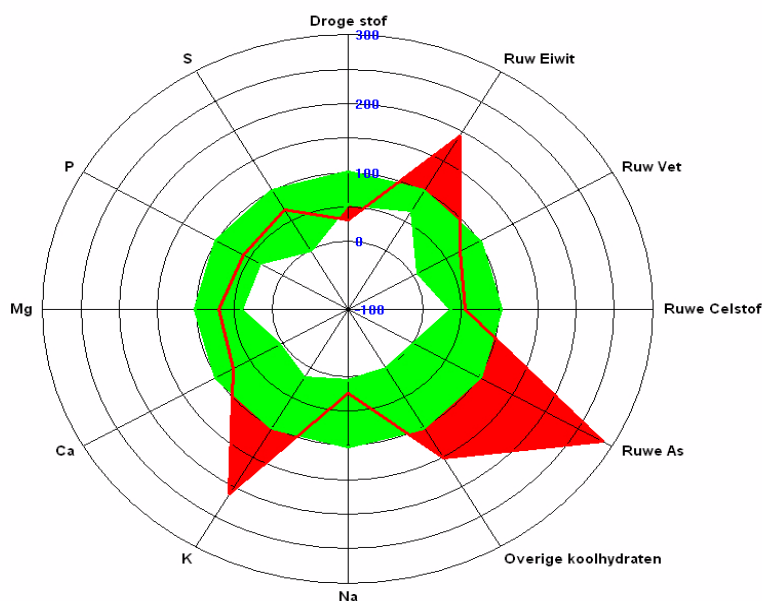
periode	Mest (m <sup>3</sup> )	Graanres- ten (kg)	Natuurgras (kg)	Biogas co-prod (m <sup>3</sup> , verwacht)	Totale energie (kWh, gerealiseerd)
1) 22 dec'14 – 5 jan'15	8,0	232,1	100,0	105,3	1860
2) 10 jan'15 – 24 jan'15	8,0	180,4	278,6	106,9	2648
3) 01 dec'14 – 5 mrt'15	7,6	217,9	176,6	109,2	2073

Tabel 13 toont dat de co-producten in de totale voeding in de drie periodes ongeveer dezelfde hoeveelheid verwachte biogasproductie realiseren. Dit is berekend door de verwachte biogasproducties van 125 m<sup>3</sup>/ton natuurgras en 400 m<sup>3</sup>/ton graan. Wanneer ook mest in de berekening wordt meegenomen dan kan de totale energieproductie berekend worden, uitgaande van 30 m<sup>3</sup> biogas/m<sup>3</sup> mest en de omrekeningsfactor van 1 m<sup>3</sup> biogas (60% CH<sub>4</sub>) is gelijk aan 6 kWh. De berekening van de totale energie geeft dan voor de periode 22 dec'14 – 5 jan'15 een overschatting en voor andere twee periodes een onderschatting van de gerealiseerde energie. Het lijkt aannemelijk dat de verhouding natuurgras/graanresten hierop van invloed is. De verhoudingen voor de perioden 1, 2 en 3 zijn respectievelijk: 0,43, 1,54 en 0,81. Het lijkt erop dat voldoende ruwe celstof belangrijk is voor een goed werkende bacterieflora in de vergister.

Een typische nutriëntenbalans is weergegeven in figuur 3, die het ontleed product illustreert voor anaërobe vergisters. Voor elk van de basisnutriënten stelt de groene zone de aanvaardbare concentraties voor. De rode pijlen buiten de groene zone geven aan dat het betreffende nutriënt in een te hoge concentratie aanwezig is. Dit geldt vooral voor het gehalte 'ruwe as'. Uit analyse van natuurgras bleek het aandeel van het ruwe as in de droge stof 30% te zijn. Uit een analyse van het ruwe as bleek dat 93,3% van de totale as onoplosbare as was in de vorm van zand, leem of klei (zie bijlage). Het is daarom aan te bevelen (indien mogelijk) het natuurgras minder kort te maaien om de efficiëntie per ton te verbeteren.

# Nutriënten Balans

in % of Maximale toelaatbare waarden  
P00Id8997 Voeding rundermest en natuurgas 2B 2015W03 ex Prinsen Arjan



**Figuur 3** Typische nutriëntenbalans van voeding Ecobag-vergister bij veehouder Prinsen

## 3.5 Biologische parameters hydrolyse

### Fermtech systems

In tabel 14 zijn de biologische parameters na de hydrolyse weergegeven.

Tabel 14

*Biologische parameters na hydrolyse*

parameter	5-12-14	19-12-14	6-1-15	6-2-15	20-2-15	27-2-15
pH	7,21	7,4	7,55	5,69	7,3	7,36
FOS/TAC	1,75	1,72	1,42	6,02	1,99	1,91
N-Totaal	3371	3708	3823	4213	3999	3451
N-NH4*	1660	1811	2169	1786	2396	1762
NH3**	15	26	43	1	27	23
Azijnzuur	7369	7212	6948	8463	7277	6572
Propionzuur	1870	1259	1362	1321	1647	1517
Boterzuur	399	753	738	2234	1142	791
Valeriaanzuur	88	72	73	380	98	75

\* totale ammoniakale stikstof; \*\* niet-ionische ammoniakale stikstof

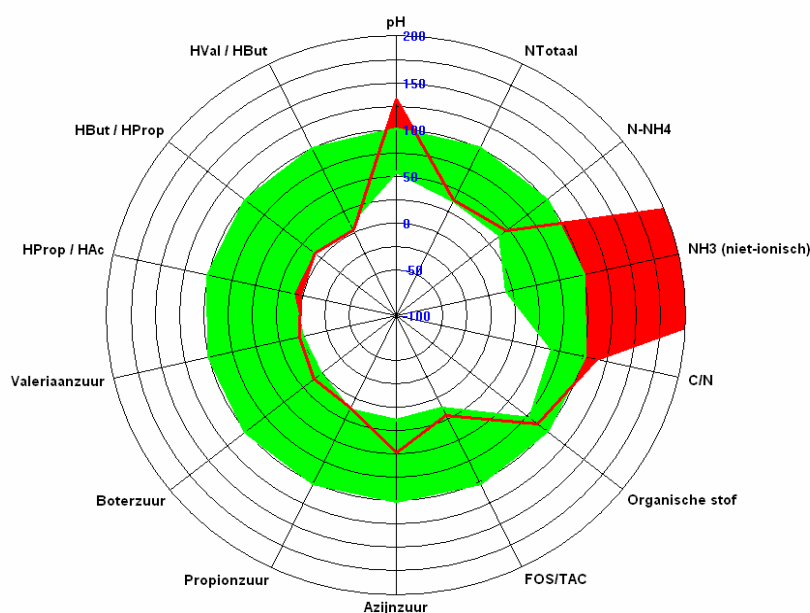
Tabel 14 toont dat de pH overal hoger was dan 7, behalve op 6 februari 2015 (5,69). Bij het monster op deze datum was de hydrolyse goed gelukt. Dit komt ook tot uiting in hogere concentraties van vluchtige vetzuren (azijnzuur, boterzuur en valeriaanzuur). De pH in de hydrolysereactor is op het goede niveau waardoor het de acetogene en methanogene bacteriën deactiveert, die dan niet in staat zijn de vluchtige vetzuren om te zetten in methaan.

De niet-ionische ammoniakale stikstof is - bij een hydrolyse met een pH hoger dan 7 - (te) hoog voor een hydrolysetank, maar is onvoldoende om de methanogene flora te deactiveren.

Een typische biologische balans bij hydrolyse is weergegeven in figuur 4. De balans is vrijwel gelijk voor de vijf analyses met hoge pH.

# Biologische balans

in % of Maximale toelaatbare waarden  
DigId8911 Digestaat na hydrolyse 2B 20150220 ex De Marke



**Figuur 4** Typische biologische balans van hydrolyse met een te hoge pH (De Marke)

## 3.6 Biologische parameters en mineralen na vergisting

### Fermtech systems

In tabel 15 zijn de biologische parameters na de vergisting weergegeven.

**Tabel 15**

*Biologische parameters na vergisting Fermtech systems*

parameter	5-12-14	19-12-14	6-1-15	6-2-15	20-2-15	27-2-15
pH (-)	7,73	7,97	8,08	7,56	7,86	7,98
FOS/TAC (-)	0,37	0,28	0,29	0,64	0,48	1,83
N-Totaal (mg N/kg)	3348	3345	3528	3862	4044	3767
N-NH4* (mg N/kg)	1779	1679	1955	2167	2332	2122
NH3** (mg N/kg)	53	86	126	44	93	111
Azijnzuur (mg/kg)	1156	1238	1249	3309	614	6803
Prop. zuur (mg/kg)	2006	144	142	954	228	1540
Boterzuur (mg/kg)	0	45	48	77	0	823
Valer. zuur (mg/kg)	0	0	0	47	0	78

\* totale ammoniakale stikstof; \*\* niet-ionische ammoniakale stikstof

Tabel 15 laat zien dat de pH rond de 8 schommelt. Echter op 6 februari 2015 was de pH nogal lager (7,56) met grotere kans op verzuring. De FOS/TAC was over het algemeen redelijk tot goed. Op 6 februari en 27 februari was de FOS/TAC te hoog (grenswaarde: 0,5). De verhouding en de individuele concentraties van de vluchtige vetzuren zijn belangrijke criteria voor het goed functioneren van een vergister. Hieruit kan ook een beoordeling gegeven worden over de status van de acetogene en methanogene bacteriën (tabel 16).

Tabel 16

Verhouding en individuele concentraties van de vluchtige vetzuren na vergisting en oordeel vergistingsproces Fermtech systems

datum	verhouding vluchtige vetzuren (= vvv) en beoordeling acetogene en methanogene bacteriën	concentratie (= cc) vluchtige vetzuren (=vv)
5-12-2014	vvv slecht; acetogene en methanogene bacteriën – de gevoeligste – zijn er slecht aan toe; vergister disfunctioneert	cc azijnzuur, propionzuur en isopropiaanz zijn veel te hoog
19-12-2014	vvv is hersteld; acetogene bacteriën komen weer op gang, methanogene bacteriën disfunctioneren door overvoeding	cc azijnz. veel te hoog; cc rest vv staan op aanvaardbare waarden
6-1-2015	vvv is goed; acetogene bacteriën komen weer op gang, methanogene bacteriën disfunctioneren door overvoeding	cc azijnz veel te hoog; cc rest vv staan op aanvaardbare waarden
6-2-2015	vvv is goed; acetogene bacteriën komen weer op gang, methanogene bacteriën disfunctioneren door overvoeding	cc azijnz., propionz., isoboterz.en iso- valeriaanz. staan op te hoge waarde
20-2-2015	vvv is goed; De methanogene bacteriën functioneren redelijk goed en kunnen het aanvoerdebit van azijnzuur redelijke goed aan.	cc azijnzuur, proponz, boterz-isomeren zijn hoog, maar aanvaardbaar; cc valeriaanz. isomeren is te hoog
27-2-2015	vvv n.v.t.; acetogene en methanogene bacteriën – de gevoeligste – zijn er slecht aan toe; vergister disfunctioneert	cc azijnzuur, proponz, boterz-isomeren en valeriaanz. isomeren extreem hoog

Tabel 16 geeft duidelijk aan dat het vergistingsproces niet optimaal verloopt. Dat kan veroorzaakt zijn door een paar aspecten: het invoervolume, het hydrolyseproces en de afstemming van volume hydrolyse reactor en vergister op elkaar. Het invoervolume werd gevarieerd in de monitoringsperiode. Van 30 jan-16 feb was de invoer per etmaal: 5,3 m<sup>3</sup> (laag), maar ook waren er perioden waarin de gemiddelde invoer/etmaal hoger was: 9,8 m<sup>3</sup> (11-30 dec), 10,2 m<sup>3</sup> (17-21 feb) en van (27 feb-5 mrt) 11,6 m<sup>3</sup>. Alleen in de periode 17-21 feb kunnen de methanogene bacteriën de aangeboden hoeveelheid azijnzuur nog redelijk verwerken, maar in de andere perioden is dat niet het geval. Om de pH van het hydrolyseproces onder de 5,8 te krijgen en te houden, was de invoer laag (ca. 5 m<sup>3</sup> mest/etmaal). Een voordeel van een lage pH is dat de vluchtige vetzuren niet worden omgezet in methaan, waardoor ze als voeding kunnen dienen voor de methaanreactor.

De mineralen in de voeding hebben een minimaal niveau een maximaal niveau nodig voor een goede bacteriewerking. Bij overschrijding van deze niveaus worden bacteriën geremd in hun groei of in hun werking. De niveaus van de mineralen in de voeding worden meestal ook teruggevonden in het digestaat uit de vergister. Omdat er een hydrolyseproces tussen voeding en vergister aanwezig is, hangt het van het proces in de hydrolyse af of het niveau van zwavel (S) en stikstof (N) gehandhaafd kan worden. Globaal geldt dat bij een pH lager dan 6, zwavel verdwijnt in de vorm van H<sub>2</sub>S. In pH-traject van 7 naar 8 zal stikstof verdwijnen in de vorm van NH<sub>3</sub>. Dit is overigens ook nog afhankelijk van de temperatuur.

De mineralen in het digestaat na vergisting zijn weergegeven in tabel 17.

Tabel 17

Mineralen na vergisting (mg/kg product) Fermtech systems

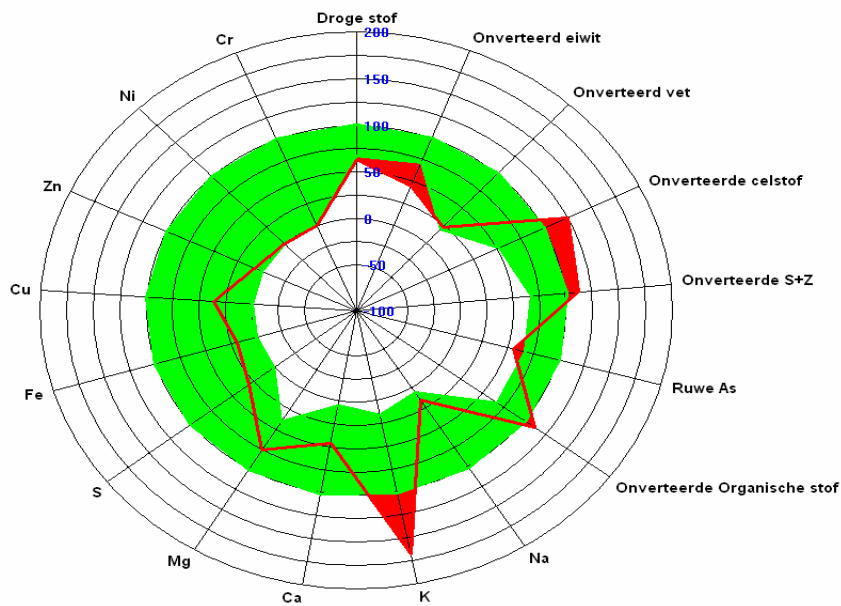
nutriënt	5-12-14	19-12-14	6-1-15	6-2-15	20-2-15	27-2-15
Na	587	544	515	509	589	515
K	4325	4540	4217	4501	4463	4001
Ca	1155	2031	1477	1191	1499	1179
Mg	756	871	755	678	701	601
P	512	586	517	493	558	470
S	386	395	296	313	319	213
Fe	78	153	80	74	67	51
Cu	23	20	18	17	14	14
Zn	23	16	13	13	16	14
Mn	14	16	15	14	12	12

Tabel 17 laat een constante samenstelling van mineralen zien met weinig variatie. Dit is onder andere het gevolg van alleen mestvoeding, maar ook van een constant rantsoen van de melkkoeien.

Met behulp van een nutriëntenbalans kan beoordeeld worden of de mineralen en nutriënten in het digestaat een aanvaardbare waarde hebben (figuur 5). Deze aanvaardbare waarde wordt in figuur 5 weergegeven met de groene strook in de cirkel, die voor elk mineraal of nutriënt een eigen range (= bereik tussen minimale en maximale waarden) heeft en bepaald is door het laboratorium Biogaslab te België (Lievens, 2015). Valt een mineraal/nutriënt buiten de range dan wordt dat aangegeven met een rode kleur. In figuur 5 zijn bijvoorbeeld het drogestofpercentage, en de gehalten onverteerd eiwit en ruwe as rood gekleurd onder het minimum, hetgeen betekent dat er een tekort (te laag gehalte) aan genoemde stoffen is. Rood boven het maximum betekent dat het mineraal in overschot aanwezig (K) is of dat het nutriënt niet voldoende benut of afgebroken is (onverteerde celstof, onverteerde suikers en zetmeel, en onverteerde organische stof). De nutriëntenbalans van figuur 5 is voor het drogestofpercentage, de mineralen en nutriënten van alle zes monsterdata vrijwel gelijk.

## Nutriënten Balans

in % of Maximale toelaatbare waarden  
**DigId8864 Digestaat na vergisting 2C 20150106 ex De Marke**



**Figuur 5** Typische nutriëntenbalans van het digestaat na vergisting Fermtech System

### Ecobag

In tabel 18 zijn de biologische parameters na de vergisting weergegeven.



Tabel 18

*Biologische paramaters na vergisting Ecobag*

	6-12-14	20-12-14	3-1-15	17-1-15	31-1-15	14-2-15
pH (-)	7,92	7,77	7,85	7,49	7,72	7,53
TAC (mg CaCO <sub>3</sub> /l)	12650	12450	13225	11125	10450	10900
FOS (mg HAc/l)	2664	4324	3660	4573	1668	9221
FOS/TAC (-)	0,21	0,35	0,28	0,41	0,16	0,85
N-Totaal (mg N/kg)	5845	6137	6169	5686	5988	6135
N-NH <sub>4</sub> , (mg N/kg)	3435	3598	3640	3144	3305	3523
NH <sub>3</sub> , niet.ion N (mg N/kg)	157	118	142	55	97	67
Azijnzuur (mg/kg)	44	1096	844	5196	5090	4704
Propionzuur (mg/kg)	33	369	269	1417	1394	1330
ISO-boterzuur (mg/kg)	13	69	51	216	215	209
Boterzuur (mg/kg)	0	86	69	354	344	337
ISO-valer. zuur(mg/kg)	29	116	84	318	319	310
Valeriaanzuur (mg/kg)	0	16	14	88	92	89

Tabel 18 laat zien dat de pH tussen de 7,7 en 7,9 varieert bij 4 monsterdata, bij de twee andere data is de pH 7,5. De lagere pH geeft aan dat de vergister een grotere kans op verzuring heeft of begint te verzuren. Dit is ook te zien aan de FOS-waarden, die vooral op 14 feb'15 sterk verhoogd zijn. Ook de FOS-TAC is te hoog (grenswaarde: 0,5). De verhouding en de individuele concentraties van de vluchtige vetzuren zijn belangrijke criteria voor het goed functioneren van een vergister. Hieruit kan ook een beoordeling gegeven worden over de status van de acetogene en methanogene bacteriën (tabel 19).

Tabel 19

*Verhouding en individuele concentraties van de vluchtige vetzuren na vergisting en oordeel vergistingsproces Ecobag*

datum	verhouding vluchtige vetzuren (=vvv) en beoordeling acetogene en methanogene bacteriën	concentratie (= cc) vluchtige vetzuren (=vv)
6-12-2014	vvv goed, behalve valeriaan-/boterzuur; alle bacteriën verkeren in goede gezondheid; vergister functioneert goed	cc azijn- en propionzuur staan op een lage en perfecte waarde
20-12-2014	vvv is normaal; acetogene en methanogene bacteriën moeten hard werken; vergister functioneert nog normaal	cc azijnz. en propionz. hoog; cc boterz. en valeriaanz. isomeren te hoog
3-1-2015	vvv is normaal; acetogene en methanogene bacteriën moeten hard werken; vergister functioneert nog normaal	cc alle vv hoog; het echter tijd om in te grijpen voordat vvv verslechteren
17-1-2015	acetogene en methanogene bacteriën kunnen aanvoer propion/aijnz. niet verwerken; vergister disfunctioneert	cc azijnz., propionz., isoboterz. en iso- valeriaanz. staan op extr. hoge waarde
31-1-2015	acetogene en methanogene bacteriën kunnen aanvoer propion/aijnz. niet verwerken; vergister wordt overvoed	cc azijnz., propionz., isoboterz. en iso- valeriaanz. staan op extr. hoge waarde
14-2-2015	acetogene en methanogene bacteriën kunnen aanvoer propion/aijnz. niet verwerken; vergister wordt overvoed	cc azijnz., propionz., isoboterz. en iso- valeriaanz. staan op extr. hoge waarde

Tabel 19 toont dat vanaf 20 dec'14 de vergister steeds slechter gaat functioneren. Dit is niet alleen af te leiden uit de pH-niveaus, maar ook uit de biologie. Opvallend is dat naast te hoge concentraties aan melk- en propionzuur ook de concentraties van boter- en valeriaanzuur hoog tot extreem hoog zijn. Dit geeft een grotere kans op verzuring van de vergister. Verder wordt de organische stof onvoldoende afgebroken en bij de laatste monsters stapelen ook de vetten op (tabel 12).

In tabel 20 zijn de mineralen na vergisting aangegeven.

**Tabel 20**  
*Mineralen (mg/kg ds) na vergisting Ecobag*

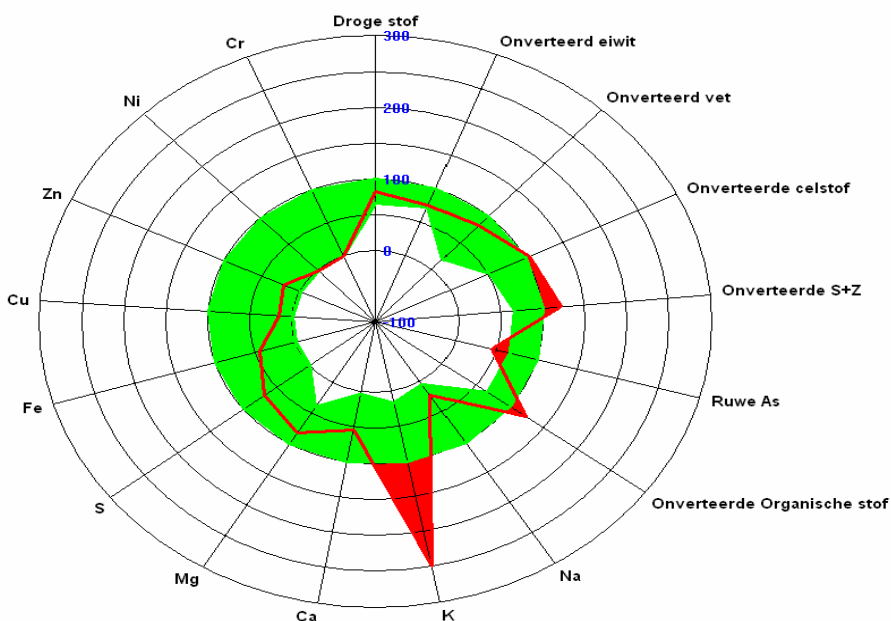
	6-12-14	20-12-14	3-1-15	17-1-15	31-1-15	14-2-15
Na (Natrium)	9188	8733	10152	7937	7726	7838
K (Kalium)	66054	64666	67391	63608	62305	63082
Ca (Calcium)	21087	21386	21628	17033	17763	18012
Mg (Magnesium)	8831	9390	8962	7982	8327	8193
P (Fosfor)	13189	13234	13510	11647	11570	11717
S (Zwavel)	7180	6686	7286	6908	6902	6163
Fe (Ijzer)	2149	2036	2158	1831	1775	1793
Cu (Koper)	132	119	135	84	84	85
Zn (Zink)	454	422	455	336	330	336

Tabel 20 toont dat de eerste drie monsterdata onderling qua niveau goed vergelijkbaar zijn, dat geldt ook voor de laatste drie data onderling. De reden voor het niveauverschil van beide groepen is moeilijk te achterhalen, omdat tijdens de monitoring niet alleen de niveaus van natuurgras en graan gewijzigd zijn maar ook de onderlinge verhouding (zie paragraaf 3.4 (Ecobag), en tabel 13). Bovendien kan het rantsoen van het melkvee veranderd zijn.

Met behulp van een nutriëntenbalans kan beoordeeld worden of de mineralen en nutriënten in het digestaat een aanvaardbare waarde hebben (figuur 6). In het mineralenoverzicht valt op dat het kaliumgehalte te hoog tot extreem hoog is. Bij dit gehalte is kalium steeds giftig voor bacteriën en zeer waarschijnlijk de reden voor de extreem hoge vluchtige vetzuurgehalten. Bovendien – zoals vermeld bij tabel 12 – worden de organische stof en het ruw vet de laatste 4 monsters steeds slecht afgebroken. Het hoge kaliumgehalte wordt waarschijnlijk veroorzaakt door de hoge kaliumgehalten in mest (bijlage 3).

## Nutriënten Balans

in % of Maximale toelaatbare waarden  
**DigId9003 Digestaat 2C 2015w05 ex Prinsen Arjan**



**Figuur 6** Typische nutriëntenbalans van het digestaat na vergisting Ecobag op melkveebedrijf Prinsen

## 3.7 Rendement vergisting

### Fermtech systems

Van de invoerstroom (rundveemest), gehydrolyseerde mest en digestaat na hydrolyse en na vergisting zijn de PoB en AvB bepaald op 12 december 2014 en 5 maart 2015 (zie paragraaf 2.2.2 en tabel 21).

Tabel 21

*PoB en AvB van rundveemest, gehydrolyseerde mest en digestaat ( $m^3$  biogas/ $m^3$  invoer) Fermtech systems*

(bewerkte) mest	12 december 2014		5 maart 2015	
	PoB	AvB	PoB	AvB
rundveemest	38,87	12,74	34,84	13,72
gehydrolyseerde mest	34,39	13,91	36,73	16,97
digestaat	28,02	8,84	24,77	6,44

Tabel 21 laat zien dat de PoB's van 12 december voor mest en digestaat respectievelijk ruim  $4 m^3/m^3$  en ruim  $3 m^3/m^3$  hoger zijn dan die van 5 maart. Voor de gehydrolyseerde mest geldt juist het omgekeerde al is het verschil minder groot. De AvB's van de drie mestfasen ((gehydrolyseerde)mest en digestaat) verschillen 1 tot  $3 m^3/m^3$ . Het digestaat laat zien dat er nog veel potentieel biogas aanwezig is in mest, namelijk ca. 25 tot  $28 m^3/m^3$  biogas, waarvan 6,5 tot  $9 m^3/m^3$  direct beschikbaar biogas is.

De rendementen op voeding en vergisting zijn uit de gegevens van tabel 21 te berekenen voor de twee data (tabel 22).

Tabel 22

*Rendementen van rundveemest op voeding en op vergisting (%) na hydrolyse en na vergisting Fermtech systems*

rendement	traject	12 december 2014	5 maart 2015
rendement op voeding	mest-na hydrolyse	11,5	0
	mest-na vergisting	27,9	28,9
rendement op vergisting	mest-na hydrolyse	47,3	51,1
	mest-na vergisting	50,6	47,4

Tabel 22 laat zien dat de rendementen op voeding laag zijn. Dit betekent dat de 'PoB-mest minus PoB-hyd' en ook 'PoB-mest minus PoB-dig' laag zijn. Met andere woorden: er is nog weinig potentieel beschikbaar materiaal in de hydrolyse afgebroken (verschil tussen PoB-mest en PoB-hyd), maar ook is er relatief weinig potentieel beschikbaar materiaal in de vergister afgebroken (verschil tussen PoB-mest en PoB-dig). Bij een rendement op voeding is het verschil tussen PoB-mest en PoB-dig veel groter, omdat dan immers nog weinig biodegradeerbaar materiaal in het digestaat resteert. Ook het rendement op vergisting is laag. Goede rendementen op vergisting liggen tussen de 60 en 90% (Dekkers, 2012).

### Ecobag

Van de rundveemest, invoerstroom (mest, graanresten en natuurgras) en digestaat na vergisting zijn de PoB en AvB bepaald op 12 december 2014 en 5 maart 2015 (zie paragraaf 2.2.2 en tabel 23).

**Tabel 23**

PoB en AvB van rundveemest, invoerstroom (= mest, graanresten en natuurgras) en digestaat ( $m^3$  biogas/ $m^3$  invoer) Ecobag

(bewerkte) mest	12 december 2014		5 maart 2015	
	PoB	AvB	PoB	AvB
rundveemest	40,50	11,96	29,58	10,47
invoerstroom	63,70	23,47	49,40	11,57
digestaat	35,17	12,03	37,31	6,24

Tabel 23 laat zien dat de PoB van 12 december voor mest respectievelijk bijna  $11 m^3/m^3$  hoger zijn dan die van 5 maart. Het verschil in de PoB van de invoerstroom (mest+ natuurgras + graanresten) van 12 december en die van 5 maart is nog groter:  $14 m^3/m^3$  invoer. Ook de AvB van de invoerstroom van 12 december verschilt met ruim  $11 m^3/m^3$  van de AvB van de invoerstroom van 5 maart. Het digestaat laat zien dat nog veel beschikbare biogas aanwezig is in mest van 12 december. De lagere PoB's van rundveemest en invoerstroom worden waarschijnlijk veroorzaakt door een vrijwel lege mestput met verse mest in de late herfst, maar een volle mestkelder met oude mest in maart. Verse mest heeft een hogere PoB dan oude mest.

De rendementen op voeding en vergisting zijn uit de gegevens van tabel 23 te berekenen voor de twee data (tabel 24).

**Tabel 24**

Rendementen van invoerstroom (= mest, graan en natuurgras) op voeding en op vergisting (%) na vergisting Ecobag

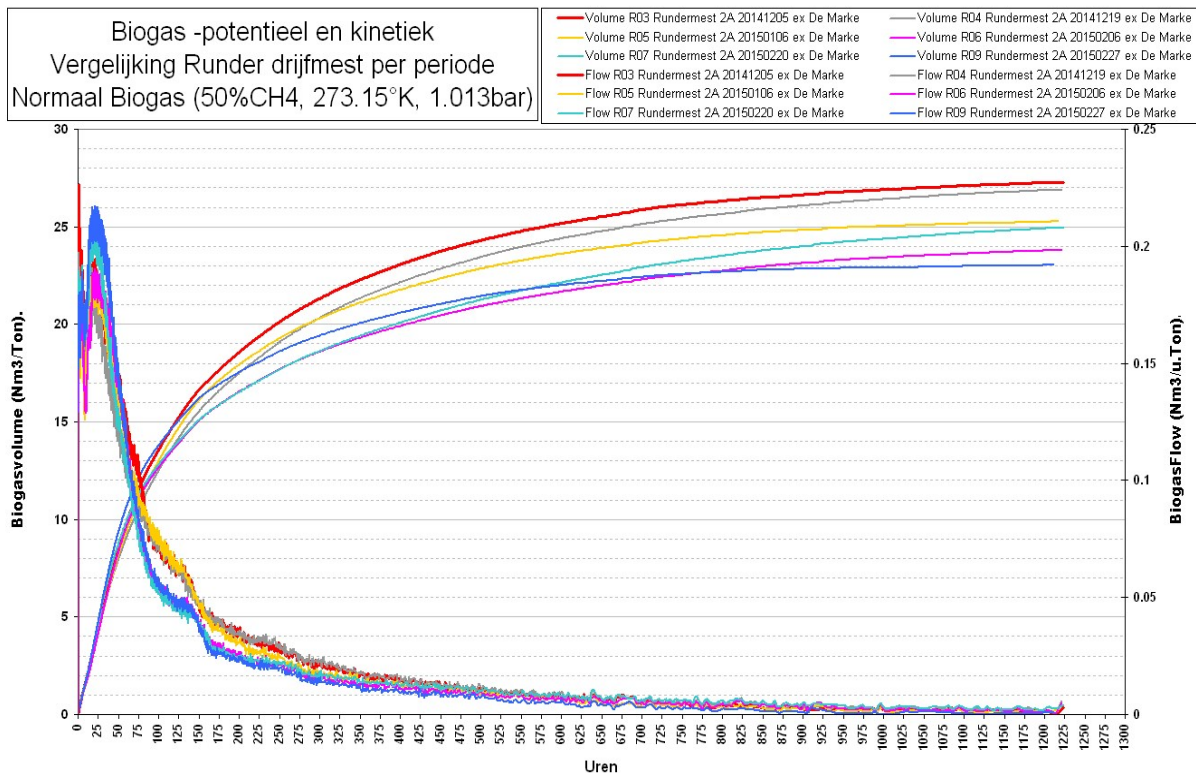
rendement	traject	12 december 2014	5 maart 2015
rendement op voeding	invoerstroom-na vergisting	44,8	24,4
rendement op vergisting	invoerstroom-na vergisting	63,7	37,1

Tabel 24 laat zien dat de rendementen op voeding in maart lager zijn dan in december. Dit betekent dat de 'PoB-invoerstroom minus PoB-dig' laag zijn. Met andere woorden: er is nog weinig potentieel beschikbaar materiaal in de vergister afgebroken (verschil tussen PoB-invoerstroom en PoB-dig). Bij een goede voeding is het verschil tussen PoB-mest en PoB-dig nogal groter, omdat dan immers nog weinig biodegradeerbaar materiaal in het digestaat resteert. Ook het rendement op vergisting in het voorjaar is laag. Dat heeft twee oorzaken. Ten eerste verliep de vergisting niet goed (tabel 19) en ten tweede is de mest eind februari oud ten opzichte van de mest in december (relatief lege mestput in december en volle mestput in februari). Goede rendementen op vergisting liggen tussen de 65 en 90% (Dekkers, 2012).

### 3.8 Direct beschikbaar biogas in mest

#### *Fermtech systems*

Het direct beschikbare biogas is eveneens bepaald door Biogaslab volgens de methode beschreven in paragraaf 2.2.3. De zes monsters drijfmest zijn tegelijk ingezet, namelijk op 7 april 2015 (figuur 7). Het einde van de grafiek is weergegeven op 29 mei 2015.



**Figuur 7** Biogasvolume (cumulatief) en biogasflow direct beschikbaar biogas van rundveedrijfmest De Marke

Uit figuur 7 blijkt dat verschil optreedt in het cumulatieve beschikbare aanwezige biogasvolume tussen de verschillende mesten die 51 dagen (= 1225 uur in grafiek) vergist zijn in het laboratorium. De mesten van de monsters van 2014 zijn het hoogst in biogaspotentieel en die van 2015 het laagst. Het verschil is ongeveer 2-3 m<sup>3</sup>. De vergelijking van de waarden van de batchtest en de AvB (direct beschikbaar gas) bepaald door ALConsult laat zien dat de waarden nogal verschillen van elkaar. ALConsult geeft AvB-waarden variërend van 13 tot 17 m<sup>3</sup> biogas/m<sup>3</sup> mest, Biogaslab geeft na 51 dagen vergisten waarden van 23 tot 27 m<sup>3</sup> biogas/m<sup>3</sup> mest.

---

# 4 Effecten van monovergisting op milieu en bedrijfsprocessen

## 4.1 Effecten op milieu

Bij de productie van één liter melk komt 1,8 kg CO<sub>2</sub>-equivalent vrij. Deze emissie wordt ketenbreed geproduceerd. Een klein deel van deze emissie komt vrij op het melkveebedrijf (10%). De overige bijdragen komen van de productie voor voer en strooisel (50%) en verwerking van melk vanaf boer tot consument (40%). Ondanks de kleine bijdrage op het melkveebedrijf kan op de volgende posten een reductie in CO<sub>2</sub>-emissie worden verwacht door toepassing van een mono-vergister op een melkveebedrijf:

- stal en mestopslag: methaanemissie uit mest
- energie: elektriciteit en aardgas
- besparing op kunstmestgebruik

### **Vermeden CO<sub>2</sub>-equivalenten in stal en mestopslag**

Broeikasgassen zijn methaan (CH<sub>4</sub>), lachgas (N<sub>2</sub>O) en kooldioxide (CO<sub>2</sub>). In een eerder onderzoek (Kasper en Timmerman, 2012) is vermeld dat CO<sub>2</sub>-emissie vooral veroorzaakt wordt door ademhaling van het vee. Daaraan is weinig te veranderen. N<sub>2</sub>O wordt in de stal vrijwel niet geproduceerd. Een beschrijving wordt daarom achterwege gelaten. CH<sub>4</sub> is wel een belangrijke emissiebron en vindt voor 67% plaats vanuit de pens en voor 33% vanuit de langdurende mestopslag. Reductie van de emissie vanuit de pens is deels te realiseren via het rantsoen. Dit wordt niet meegerekend in de berekening. Emissiereductie vanuit de mestopslag is mogelijk door een kortdurende mestopslag, gekoppeld aan stalaanpassingen met emissiearme vloersystemen. Wanneer hiervan uitgegaan wordt dan kan berekend worden dat de jaarlijkse besparing minimaal 36.120 en maximaal 69.216 kg CO<sub>2</sub>-equivalenten is voor een bedrijf met 80 melkkoeien.

### **Vermeden CO<sub>2</sub>-equivalenten door duurzame energieopwekking**

Het energieverbruik op een melkveebedrijf kan opgedeeld worden in elektriciteitsverbruik en aardgasverbruik. Het gemiddelde elektriciteitsverbruik per 1.000 kg melk op een melkveebedrijf varieert van 27 kWh voor de 10% best scorende bedrijven tot 88 kWh voor 10% meest verbruikende bedrijven. Het gemiddelde elektriciteitsverbruik ligt op ca. 50 kWh per 1.000 kg melk en ca. 400 kWh per melkkoe. Het gemiddelde aardgasverbruik per melkkoe is 16,7 m<sup>3</sup> (Anoniem, 2011). Op KTC De Marke wordt 750 kWh per melkkoe verbruikt, o.a. i.v.m. het gebruik van een melkrobot.

Voor een bedrijf KTC De Marke – met 80 melkkoeien en bijbehorend jongvee – betekent dit een elektriciteitsverbruik van 60.000 kWh en een aardgasverbruik van 1.336 m<sup>3</sup>. Op basis van de gegevens van de Ecoinvent-database (Ecoinvent, 2010) is een berekening gemaakt van de directe emissiereductie van de monovergister door de opwekking van elektriciteit en warmte. Er is een vergelijking gemaakt tussen opwekking van warmte met een WKK-installatie op biogas en tussen elektriciteitsopwekking o.b.v. de gemiddelde mix van elektriciteitsopwekking in Nederland en warmteproductie met aardgas. De berekende emissiereductie aan elektriciteit bedraagt op jaarbasis: 43,8 ton CO<sub>2</sub>-equivalenten en aan aardgas 1 ton CO<sub>2</sub>-equivalenten bij een besparing van 100% op aardgasverbruik. De totale berekende emissiereductie bedraagt 44,8 ton CO<sub>2</sub>-equivalenten.

### **Vermeden CO<sub>2</sub>-equivalenten bij toediening van digestaat**

Digestaat heeft ten opzichte van onvergiste mest een verhoogd gehalte aan ammonium-N (0,6 kg/ton). Toediening van vergiste mest op het bedrijf levert een besparing op van 10,9 kg CO<sub>2</sub> per kg N (artikel in Nieuwe Oogst, 2008), omdat voorkomen wordt dat bij de productie, transport en toediening van kunstmest CO<sub>2</sub> emitteert. Op melkveebedrijf KTC De Marke met ca. 80 melkkoeien en bijbehorend jongvee wordt bij een melkproductie van 8.000 kg melk/koe/jaar 3.000 m<sup>3</sup> mest inclusief spoelwater geproduceerd. Dit kan op KTC De Marke een besparing van kunstmest-N geven van 1.800 kg en levert een reductie van 19.620 kg CO<sub>2</sub>-equivalenten.

Onderzoek naar het effect van toediening van vergiste mest op lachgasemissie is onderzocht (Anoniem, 2013). In dit onderzoek wordt aangegeven dat de emissie van lachgas vanuit toediening van mest niet verschilt van die bij toediening van digestaat. Mogelijk is precisiebemesting hierbij van belang, denk aan het niet-bemesten van urineplekken. Samenvattend wordt op bedrijfsniveau (met 80 melkkoeien) en per melkkoe de potentiële besparing in CO<sub>2</sub>-equivalenten weergegeven in tabel 25.

Tabel 25

*Potentiële besparing in CO<sub>2</sub>-equivalenten als gevolg van monovergisting door aanpassing stal, weidesysteem en kunstmestvervanging door digestaat*

bron	besparing CO <sub>2</sub> -equivalenten (ton) tenzij anders weergegeven	locatie
CH <sub>4</sub>	36,1 – 69,2	stalaanpassing snelle mestafvoer
N <sub>2</sub> O/CO <sub>2</sub>	19,6	toediening digestaat i.p.v. kunstmest
besparing fossiele energie	44,8	monovergister
Totaal voor 80 melkkoeien	100,5 – 133,6	alleen op boerderij
per melkkoe	1,26 – 1,67	alleen op boerderij
per liter melk	0,16 – 0,21 kg	alleen op boerderij

Tabel 23 laat zien dat de 'schakel boerderij met mono-vergisting' in de totale melkproductieketen 'voer/strooisel – boerderij – verwerking – consument' een substantiële besparing van 9 tot 12% levert in de CO<sub>2</sub>-footprint van 1,8 kg CO<sub>2</sub>/kg melk.

## 4.2 Effecten op bedrijfsprocessen

Een monovergister heeft de volgende effecten op bedrijfsprocessen:

### **Mest, mestopslag en -verwerking, toediening**

Bij het vergisten van mest met een monovergister wordt het digestaat als geheel gebruikt voor bemesting van het eigen bedrijf, maar bij eigen teelt van maïs is scheiden van het digestaat wenselijk. De dikke fractie – met het hoogste aandeel fosfaat en een hoog organische – kan als meststof dienen voor de maïs, de dunne fractie voor het grasland. Wel vraagt twee fracties twee verschillende machines en meer bewerkingen of vraagt meer tijd voor toediening.

### **Energie**

Een vergister kan energie leveren in de vorm van elektriciteit en warmte of groen gas. Bij productie van elektriciteit en warmte wordt gebruik gemaakt van een installatie voor warmtekrachtkoppeling (WKK), waarbij een gasmotor of gasturbine het biogas omzet in elektriciteit en warmte. Gezien de geringe biogasproductie is productie van groen gas niet rendabel door de hoge kosten voor opwaardering van het biogas. De verwachting is daarom dat een WKK-installatie of een gasturbine de standaard wordt bij een mono-vergister, omdat daarmee wordt voorzien in zowel de elektriciteit - als de warmtevraag in het eigen bedrijf. Benutting van elektriciteit en warmte op eigen bedrijf is namelijk rendabeler dan verkoop aan het net of aan derden.

Op KTC De Marke wordt jaarlijks 3.000 m<sup>3</sup> mest geproduceerd. Zonder weidegang wordt alle mest verzameld in de mestkelder. Bij toepassing van beweiden komt ca. 90% van de jaarlijks geproduceerde mest in de mestkelder, d.i. 2.700 m<sup>3</sup>. Met de volgende uitgangspunten is met een model berekend hoe groot de WKK moet zijn voor 2.700 m<sup>3</sup> mest (tabel 26).

Tabel 26

*Uitgangspunten bij modelberekeningen*

Uitgangspunten	vergistingsinstallatie
investering (€)	435.000
restwaarde (€)	0
onderhoud (€/kWh)	2,5
rendement (elektrisch)	30,0%
max draaiuren (10 jr)	84.000
productie per uur (kW)	13,5
afschrijving (jaar)	10
MJ per kW out	3,6
MJ per m <sup>3</sup> biogas	23,4
MJ input per kW	12,0
m <sup>3</sup> biogas input per kW	0,48

Voor het vollast draaien (8.400 uur/jaar) op alleen mest (18 m<sup>3</sup> biogas/m<sup>3</sup> invoer) is een WKK nodig van 12,15 kW. Op KTC De Marke staat een WKK van 37 kW. Deze zal dan ook deellast draaien, namelijk 2.758 uur. KTC De Marke heeft een vergunning van monovergisting waarbij maximaal 5% van het mestvolume als co-product toegevoegd mag worden, d.i. 150 ton. Hiervoor kan glycerine gebruikt worden met 750 m<sup>3</sup> biogas/m<sup>3</sup>.

**Arbeid**

De arbeidsbehoefte op het bedrijf neemt toe door het gebruik van een monovergister voor de dagelijkse controle van de scheider, vergister en WKK-installatie en overige werkzaamheden zoals onderhoud, storingen en administratie. Deze inzet vraagt circa 15-30 minuten per dag (Timmerman et al., 2005). Kortom bij een goed draaiende mono-vergister kan de melkveehouder zich dus volledig blijven inzetten voor het melkveebedrijf. Tijdens de monitoringsperiode zijn er veel storingen opgetreden, waardoor de arbeidsbehoefte van de vergister in de praktijk niet goed ingeschat kon worden.

**Economie***Fermtech systems*

De totale vergistingsinstallatie bestaat uit voorraadvat, warmtewisselaar, hydrolysereactor, vergistertank en WKK. Verder zijn posten opgenomen voor graafwerk/fundering, netaansluiting, schakelkast en besturing, software, engineering en projectleiding. Er wordt uitgegaan van volledige nieuwbouw. Verder is uitgegaan van een biogasopbrengst van 30 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> invoer verse rundveemest. Voor twee bedrijfsgroottes – twee melkveebedrijven met 80 en 200 melkkoeien – is met een model berekend hoe groot de bedrijfsbesparingen zijn bij mono-vergisting en mono-vergisting met toevoeging van glycerine. Er werd vollast gedraaid op 8.400 uur/jaar met een WKK of gasturbine. De bedrijfsbesparingen zijn de som van de volgende opbrengsten en kosten:

- Opbrengsten aan elektriciteit (prijs van 0,16/kWh)
- Kosten zijn:
  - afschrijving (10 jaar);
  - rente (5% over het gemiddeld geïnvesteerd vermogen);
  - onderhoud (€ 1,0/draaiuur en € 2,5/draaiuur voor WKK en € 0,8/draaiuur voor gasturbine);
  - verzekering (€ 0,75% over het gemiddeld geïnvesteerd vermogen).

De modelberekeningen van beide bedrijfsgroottes zijn weergegeven in de tabellen 27 en 28. De investeringsbedragen zijn verkregen door opgaaf van een offerte van Van Mourik Group B.V. te Ede, de bouwer van de Fermtech Systems vergistingsinstallatie.



Tabel 27

Totaalinvestering in vergistingsinstallatie, grootte WKK of gasturbine, elektrisch rendement, eventueel gebruik van glycerine (max. 5% bij 95% mest) op melkveebedrijf met 80 melkkoeien en bijbehorend jongvee; vanwege weidegang wordt 90% van geproduceerde mest vergist. Mestproductie: 3.000 m<sup>3</sup>/jaar, biogasproductie: 30 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> mest, CH<sub>4</sub>-gehalte in biogas: 65%

	Mini-WKK alleen mest	Gasturbine alleen mest	WKK mest + glycerine	Gasturbine mest + glycerine
totaalinvestering (€)	435.000	435.000	435.000	435.000
rendement (elektr.)	30%	29%	33%	29%
WKK/gasturbine (kW)	18,8	18,2	44,9	43,4
opbrengsten-kosten (€)	- 39.134	- 38.297	- 16.634	- 4.370
kosten glycerine (€165/ton)			24.750	24.748
bedrijfsbesparingen (€)	- 39.134	- 38.297	- 22.748	- 29.117

Tabel 27 toont dat voor een bedrijf met 80 melkkoeien alle bedrijfsbesparingen negatief zijn. Met toevoeging van glycerine worden de bedrijfsbesparingen minder negatief. Omdat een WKK of gasturbine met een vermogen lager dan 20 kW niet voorhanden is of relatief duur is, is voor alle WKK's en gasturbines eenzelfde investeringspost opgenomen. Wanneer de onderhoudskosten van de WKK gesteld worden op € 2,5/draaiuur - niet ongebruikelijk - dan worden de bedrijfsbesparingen bij alleen mest - € 51.734 en voor mest + glycerine - € 35.348. Bij deze hogere onderhoudskosten van de WKK en een prijs van € 212/ton glycerine worden de bedrijfsbesparingen negatief: - € 42.398.

Tabel 28

Totaalinvestering in vergistingsinstallatie, grootte WKK en elektrisch rendement WKK en gasturbine, eventueel gebruik van glycerine (max. 5% van totale jaarlijkse mestproductie) op melkveebedrijf met 200 melkkoeien en bijbehorend jongvee; vanwege weidegang wordt 90% van geproduceerde mest vergist. Mestproductie: 7.500 m<sup>3</sup>/jaar, biogasproductie: 30 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> mest, CH<sub>4</sub>-gehalte in biogas: 65%

	WKK alleen mest	Gasturbine alleen mest	WKK mest + glycerine	Gasturbine mest + glycerine
totaalinvestering (€)	500.000	500.000	550.000	550.000
rendement (elektr.)	33,0%	29,0%	34%	29,0%
WKK/gasturbine (kW)	48,6	45,4	127,3	108,6
opbrengsten-kosten (€)	- 3.277	- 10.021	92.039	68.375
kosten glycerine (€165/ton)			61.881	61.881
bedrijfsbesparingen (€)	- 3.277	- 10.021	30.158	6.494

Tabel 28 laat zien dat zelfs bij grote bedrijven met alleen mest vergisten nog € ruim 20.000 en ruim € 10.000 verlies wordt gedraaid met respectievelijk de WKK en gasturbine. Pas wanneer vollast wordt gedraaid met mest en glycerine - onder de gegeven voorwaarden van maximaal 5% toevoeging van glycerine en de prijs van € 165/ton - wordt winst gedraaid. De grotere WKK behaalt een hogere winst - ondanks de hogere onderhoudskosten -, omdat het rendement van een grotere WKK hoger is dan bij een gasturbine. In de berekeningen is niet meegenomen dat bij niet-vollast draaien het rendement van de WKK sneller daalt dan bij de gasturbine. De hogere investering bij gebruik van glycerine wordt veroorzaakt door een hogere aankoop prijs van de WKK of gasturbine met hoger vermogen. Wanneer de onderhoudskosten van de WKK gesteld worden op € 2,5/draaiuur dan worden de bedrijfsbesparingen bij alleen mest - € 15.877 en voor mest + glycerine € 17.558. Bij deze hogere onderhoudskosten van de WKK en een prijs van € 212/ton glycerine worden de bedrijfsbesparingen negatief: - € 61.

Het verhoogde gehalte ammonium-N in vergiste mest ten opzichte van onvergiste mest (0,6 kg/ton) levert op het bedrijf met 80 melkkoeien hiermee een vervanging van kunstmest-N op van: 0,6\* 2.700 = 1.620 kg. Bij een prijs van € 1,20/kunstmest-N geeft vergiste mest op dit bedrijf een voordeel op van € 1.944. Op dezelfde wijze is voor een bedrijf met 200 melkkoeien te berekenen dat vervanging

van kunstmest-N door vergiste mest een voordeel geeft van € 4.860/jaar. De bedrijfsbesparingen van de tabellen 25 en 26 zijn daarom nog met de genoemde bedragen te verhogen.

De vergister kost aan arbeid een half uur/etmaal. Dit is bij een bruto uurloon van € 19/uur (KWIN 2014-2015) € 3.468 aan arbeidskosten, die nog in mindering moeten worden gebracht op de bedrijfsbesparingen.

### Ecobag

De vergistingsinstallatie Ecobag als geheel kost bij nieuwbouw € 220.000 en is opgebouwd uit de volgende onderdelen (tabel 29).

**Tabel 29**

*Onderdelen van vergistingsinstallatie Ecobag met bijbehorende kostenposten (€)*

Onderdelen	Deelpost (€)
mestzak	50.000
mixer	10.000
WKK	40.000
besturing	35.000
CV/isolatie mestzak en woning	20.000
aansluitingen	10.000
leidingwerk	30.000
grondwerk	25.000
Totaalkosten	220.000

De voorwaarden van de kostenposten van Ecobag – afschrijving, rente, onderhoud en verzekering – zijn gelijk aan die genoemd onder Fermtech systems, waarbij voor kosten van WKK is gerekend met € 1/draaiuur. De modelberekeningen van een bedrijf met 60-80 melkkoeien zijn weergegeven in tabel 30. Er wordt 2.500 m<sup>3</sup> mest/jaar vergist. De investeringsbedragen zijn verkregen door opgaaf van een offerte van Prinsen te Haarlo.

**Tabel 30**

*Totaalinvestering in vergistingsinstallatie, grootte WKK en elektrisch rendement, eventueel gebruik van glycerine (max. 5% van totale jaarlijkse mestproductie) op melkveebedrijf met 60-80 melkkoeien en bijbehorend jongvee. Mestproductie: 2.500 m<sup>3</sup>/jaar, biogasproductie: 49,2 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> (mest, natuurgas en graanresten), CH<sub>4</sub>-gehalte in biogas: 60%*

	WKK mest, natuurgas en graanresten	WKK, mest, natuurgas, graanresten en glycerine
totaalinvestering (€)	220.000	220.000
rendement (elektr.)	30,0%	33,0%
WKK (kW)	26,4	50
opbrengsten-kosten (€)	-2.126	29.650
kosten glycerine (€ 165/ton)		19.607
bedrijfsbesparingen (€)	- 2.126	10.043

Tabel 30 toont dat een WKK van 50 kW die vollast draait een hoger rendement levert 33% i.p.v. 30% bij niet vollast draaien. De extra toevoeging van glycerine verhoogt de bedrijfsbesparingen met € 12.169, ondanks de extra kosten voor glycerine van bijna € 20.000. De bedrijfsbesparingen worden weer beïnvloed door kosten van aankoop graanresten (€ 65/ton). Er wordt op jaarbasis 76,26 ton graanresten gevoed. Dit betekent dat voeding van graanresten € 4.957/jaar kost. Daartegenover geeft de warmte die benut kan worden voor twee woonhuizen, bedrijfsgebouwen en voor het drogen van de dikke fractie extra inkomsten, namelijk omgerekend 9.500 m<sup>3</sup> aardgas. Bij een kostprijs van € 0,64/m<sup>3</sup> aardgas zijn de opbrengsten € 6.080. Tenslotte wordt privé 17.520 kWh aan elektriciteit gebruikt, hetgeen extra € 2.803 oplevert. Verder kost de vergister aan arbeid een half uur/etmaal. Dit is bij een bruto uurloon van € 19/uur (KWIN 2014-2015) € 3.468 aan arbeidskosten.

---

De conclusie luidt dat vergisten met een Ecobag-vergister bij 2.500 m<sup>3</sup> mest/jaar het volgende financiële resultaat per jaar geeft zonder de arbeidskosten mee te rekenen:

- mest vergisten met co-producten graan en natuurgras geeft – alle kosten en opbrengsten meegerekend – een positief saldo van € 1.800
- mest vergisten met co-producten graan, natuurgras en glycerine geeft – alle kosten en opbrengsten meegerekend – een positief saldo van € 13.969.

Worden de arbeidskosten wel meegerekend dan levert dit bij vergisten zonder glycerine een saldo op van - € 1.668 en vergisten met glycerine een saldo van € 10.501.

Hogere WKK-kosten (€ 2,5/draaiuur i.p.v. € 1/draaiuur) verlagen het saldo met € 12.600 en een hogere glycerineprijs (€ 212/ton i.p.v. € 165/ton) geeft nog een extra verlaging van het saldo van € 5.584.

---

## 5 Discussie

### Voeding, biogas en verblijftijd

#### *Fermtech systems*

Wanneer uitgegaan wordt van een reëel volume van 80% van de vergistertank, dan is  $64 \text{ m}^3$  beschikbaar om mest te vergisten. Berekend kan worden dat de mest in de periode december en 1<sup>e</sup> week van januari een verblijftijd heeft van  $64/9,9 = 6,5$  dagen. Echter, in de 1<sup>e</sup> helft van februari is de verblijftijd  $64/5,3 = 12,1$  dagen ofwel een 86% langere verblijftijd. Dit levert 50% meer biogas per  $\text{m}^3$  mestinvoer op. Dit komt exact overeen met de biogasopbrengsten van 17,6 en  $26,4 \text{ m}^3/\text{m}^3$  invoer voor de periodes 11-30 dec en 30 jan-16 feb uit tabel 4. In eerder uitgevoerd onderzoek naar monomestvergisting was de verwachting dat bij een slechtere kwaliteit rundveemest, i.e. langer opgeslagen mest met een lager CZV gehalte, het effect van kortere verblijftijden op de biogasproductie ook negatief zal zijn (Timmerman et al., 2013). De biogasopbrengst bij kortere verblijftijd wordt bevestigd door de gaspotentietesten beschreven in paragraaf 3.8 (grafiek 7). Deze is namelijk  $17 \text{ m}^3/\text{m}^3$  invoer. Bij een langere verblijftijd van 290 uur (= 12,1 dagen) was de gaspotentie ca.  $20 \text{ m}^3$  biogas voor de mest van 5 februari 2015. Dit betekent dat de resterende  $6,4 \text{ m}^3$  biogas alleen te verklaren is door een ontsluitend effect van het hydrolyseproces. Dit geeft kennelijk meer biogas in de vergister. Blijkbaar geeft een optimale hydrolyse ( $\text{pH} < 5,9$ ) ten opzichte van een minder optimale, meer beschikbaar substraat voor de methaanbacteriën, waardoor ze bij een langere verblijftijd nog niet alle aangeboden azijnzuur kunnen omzetten in biogas (zie hiervoor ook: meting 6 februari 2015, tabellen 7 en 8).

Timmerman en Rulkens (2009) wijzen op een hogere biogasproductie door het gebruik van een hydrolyseproces. De vraag is dan of dit veroorzaakt wordt door de lage pH (ca. 5,9) in de hydrolyse waardoor wellicht meer gebonden biomassa (in oude mest) ontsloten wordt dan bij hogere pH-niveaus (7 en hoger). Naast het ontsluiten van gebonden biomassa, treedt er ook een effect op van oppotten van vluchtig vetzuren (tabel 5), omdat de vrijgemaakte vluchtige vetzuren bij een  $\text{pH} < 5,9$  niet omgezet worden in methaan. Dit omdat de methaanbacteriën gedeactiveerd zijn. Bij invoer van gehydrolyseerde mest in de vergister zullen de hoge concentraties van azijnzuur en andere vluchtige vetzuren moeten worden omgezet in biogas. Blijkbaar kunnen de methaanbacteriën in de vergister dit niet bijhouden. Een reden kan zijn dat de verblijftijd te kort is, of dat er te weinig oppervlakte aanwezig is voor hechting van deze bacteriën of een combinatie van beide. Het is wenselijk hieraan aandacht te besteden.

Opmerkelijk is het lagere methaangehalte in het biogas uit de vergister bij een voorafgaande hydrolyse met een lage pH ten opzichte van een hydrolyse met hogere pH (tabel 5: 59,8% (begin feb '15) vs 69,6% (dec '14) en 68,6% (feb/mrt '15)). Dit kan erop duiden dat er een verdunnend effect uitgaat van een hogere biogasproductie op het aandeel methaan. Wellicht is dit verdunnend effect ook van invloed geweest op de concentratie  $\text{H}_2\text{S}$  die lager is dan die bij de perioden met hogere pH in het hydrolyseproces. Normaliter zal bij een  $\text{pH} < 5,9$  in de hydrolyse meer  $\text{H}_2\text{S}$  vervluchtigen dan bij een hydrolyse met hogere pH. Echter, het aanzienlijk hogere  $\text{O}_2$ -gehalte bij de hydrolyse met lage pH ten opzichte van hogere pH is een meer verklaarbare reden voor het lagere  $\text{H}_2\text{S}$ -gehalte door de vorming van zwavelzuur. Om de absolute hoeveelheid gevormde methaan en  $\text{H}_2\text{S}$  bij een hydrolyseproces met een pH hoger dan 6 te kunnen berekenen, zou het wenselijk zijn om naast de concentratie  $\text{CH}_4$  die via de uitlaatpijp de hydrolysetank verlaat ook het debiet van deze luchtstroom te kennen.

#### *Ecobag*

Deze co-vergister met een volume van  $800 \text{ m}^3$  heeft een verblijftijd van 117 dagen. Dit betekent dat bij een gemiddelde mestinvoer van  $7,6 \text{ m}^3/\text{etmaal}$  exclusief ca. 200 kg graan en 200 kg natuurgas de vergister erg stabiel moet functioneren. Globaal gezien blijkt dat ook het geval te zijn. De temperatuur is erg stabiel met  $38^\circ\text{C}$ . Het  $\text{H}_2\text{S}$ -gehalte in het biogas is erg laag. Hierdoor is de kans op de vorming

---

van zwavelzuur door reactie van H<sub>2</sub>S met water in vochtig biogas erg klein. Dit is gunstig voor de levensduur van de WKK.

## **Biologische parameters en mineralen**

### *Fermtech systems*

Bepaalde biologische parameters in de hydrolyse kunnen het proces nadelig beïnvloeden. Een hogere pH is nadelig door vorming van methaan, die eigenlijk in de vergister moet gebeuren. Verder bleek het niet-ionisch NH<sub>3</sub> iets te hoge waarden te hebben – maar nog aanvaardbaar –, die indirect beïnvloed worden door de pH. Te hoge niet-ionisch NH<sub>3</sub>-waarden kunnen methanogene bacteriën deactiveren.

Het organische stofgehalte (en ook de overige koolhydraten en zetmeel) na vergisting is bij alle monsters te hoog. Dit betekent dat er te weinig organische stof is afgebroken ofwel de vergisting was onvoldoende. Dit wordt ook bevestigd door de rendementen op voeding en vergisting, die te laag zijn (paragraaf 2.2.2). Verder is N-totaal in mest minimaal voor de groei van bacteriën. Dit wordt nog versterkt doordat, bij hydrolyse met hoge pH, het N-gehalte nog lager wordt door vervluchtiging van NH<sub>3</sub>. Daarom worden de meeste monsters na vergisting gekenmerkt door het onverteerd ruw eiwitgehalte (reëel ruw eiwit) dat extreem laag is. Het valt op dat het K-gehalte in alle mesten en digestaten aan de hoge kant is. Dit heeft een remmende werking op de acetogene en methanogene flora. Tenslotte kan het zwavelgehalte in het digestaat variëren afhankelijk van de pH in de hydrolyse reactor.

### *Ecobag*

Het kaliumgehalte in het digestaat vanaf begin januari zodanig hoog is dat het toxisch is voor de acetogene en de methanogene bacteriën met als gevolg ophoping van alle vluchtige vetzuren en het gevolg daarvan is dat er te weinig organische stof wordt afgebroken. Een verklaring voor het hoge kaliumgehalte is dat al jaren bemest wordt met dunne fractie van mest. Door mestscheiding komt het grootste aandeel van kalium in de dunne fractie, waardoor ook het gras een hoog kaliumgehalte bevat. Dit blijft dus in de kringloop op bedrijfsniveau. Het zou aan te bevelen zijn de kringloop te doorbreken door een meer evenwichtige bemesting.

## **Arbeid**

Een monovergister is bedoeld om in te zetten op boerderijniveau. Dit zonder dat de veehouder daar extra werk aan heeft. Uitgangspunt moet zijn dat de veehouder ongeveer 30 minuten/dag besteed aan al het werk wat met de vergister te maken heeft: management, onderhoud, storingen en administratie. Momenteel is dat bij de installatie Fermtech systems nog zeker niet het geval.

## **Economie**

Bij nieuwbouw van het totale Fermtech system wordt bij middelgrote en grote bedrijven verlies geleden. Alleen bij grote bedrijven (200 melkkoeien) is mono-vergisting met toevoeging van maximaal 5% glycerine financieel haalbaar, waarbij een kostenpercentage van de WKK nogal uitmaakt. Bij onderhoudskosten van € 2,5/draaiuur t.o.v. € 1,0/ draaiuur van de WKK zijn de bedrijfsbesparingen € 12.600 lager of wordt € 12.600 meer verlies geleden. Onderhoudskosten van €2,5/draaiuur zijn niet ongewoon in de praktijk. Genoemde hogere onderhoudskosten en een hogere glycerineprijs (€ 212/ton) resulteren in negatieve bedrijfsbesparingen. Dit betekent dat wanneer een veehouder een vergister voor een periode van 10 jaar aanschaft, het rendement op vergisting erg afhankelijk is van prijs van de glycerine.

Vervanging van kunstmeststikstof door ammoniumstikstof van vergiste mest geeft een klein financieel voordeel dat in mindering kan worden gebracht op het bedrijfsverlies of de bedrijfswinst kan verhogen. De voordelen van emissiebeperking van broeikasgassen zijn in de veehouderijsector helaas nog niet om te zetten in financiële voordelen (Cozijnsen, 2007; Krebbekx et al., 2011).

---

# 6 Conclusies en aanbevelingen

## 6.1 Conclusies

Monitoring van de vergistingssystemen Fermtech systems op melkveebedrijf KTC De Marke met 80 melkkoeien en Ecobag op het melkveebedrijf Prinsen (Haarlo) met 60 melkkoeien levert de volgende conclusies op:

### **Voeding, biogasproductie en -kwaliteit, en verblijftijd**

#### Fermtech systems

- in periode 1 (december en 2<sup>e</sup> helft februari/maart) was de gemiddelde invoer in de vergister 11 m<sup>3</sup>/etmaal en de bijbehorende gemiddelde biogasproductie 19 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> invoer, in periode 2 (1<sup>e</sup> helft februari) was de invoer 5,3 m<sup>3</sup>/etmaal met een biogasproductie van ruim 26 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> invoer. De gemiddelde pH-niveaus in het hydrolyseproces van deze perioden waren respectievelijk hoger dan 7 en lager dan 5,9.
- de biogassamenstelling vanuit de vergister was in periode 1 ca. 70% CH<sub>4</sub> en 30% CO<sub>2</sub>, in periode 2 ca. 60% CH<sub>4</sub> en 34% CO<sub>2</sub>.
- de gassamenstelling vanuit de hydrolyse reactor met zure hydrolyse (pH lager dan 5,9) bevatte 0% CH<sub>4</sub>, 7,7% O<sub>2</sub> en lagere gehalten H<sub>2</sub>S dan bij basische hydrolyse (pH hoger dan 7). De lagere H<sub>2</sub>S-gehalten zijn waarschijnlijk veroorzaakt door binding met O<sub>2</sub> tot H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.
- een 87% langere verblijftijd (6,5 naar 12,1 dagen) geeft een 50% hoger volume biogas/ingande mest (m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>; 17,5 naar 26,4 m<sup>3</sup> biogas/m<sup>3</sup>).

#### Ecobag

- in de gehele monitoringsperiode was de gemiddelde invoer 7,6 m<sup>3</sup> mest/etmaal, 218 kg graanresten en 177 kg natuurgras.
- de biogassamenstelling was gemiddeld 59,8% CH<sub>4</sub>, 36,2% CO<sub>2</sub>, 0,1% O<sub>2</sub> en 25,2 ppm H<sub>2</sub>S.
- de verblijftijd in de vergister was 117 dagen.

### **Biologische parameters**

#### Fermtech systems

- tijdens de hydrolyse was bij vijf van de zes monsters de pH hoger dan 7 en bij het resterende monster 5,7. Verder was opvallend dat het niet-ionische NH<sub>3</sub> te hoog was, maar nog aanvaardbaar waardoor het de acetogene en methanogene bacteriën niet deactiveert.
- tijdens vergisting varieerde de pH van 7,7 tot net onder 8 met twee uitschieters (8,1 en 7,6), de FOS/TAC was redelijk tot goed.
- op basis van de verhouding van vluchtige vetzuren en hun individuele concentraties is een oordeel gegeven over de vergisting: de vergister werd bij de zes monsters vijfmaal overvoed, hetgeen bij twee monsters resulteerde in disfunctioneren. Bij één monster functioneerde de vergister redelijk goed.
- na hydrolyse liggen de waarden N-totaal en N-NH<sub>4</sub> net boven het minimum en zouden een probleem kunnen geven bij de bacteriegroei. Verder blijkt na vergisting het K-gehalte te hoog - maar het deactiveert de methanogene bacteriën nog niet -, en ook het organische stofgehalte te hoog te zijn.

#### Ecobag

- het gemiddelde drogestofgehalte van de invoer is hoog, bijna 11%
- tijdens de vergisting varieert de pH tussen de 7,7 en 7,9 bij 4 monsterdata, bij de twee andere data is de pH 7,5.

- de vergister ging vanaf eind december steeds slechter functioneren. Naast te hoge concentraties aan melk- en propionzuur zijn ook de concentraties van boter- en valeriaanzuur hoog tot extreem hoog zijn. Er lijkt en link te liggen met het hoge kaliumgehalte in het digestaat (en mest) dat zelfs toxisch werkt op de acetogene en methanogene bacteriën. De vergister wordt overvoed.

## **Rendement vergisting**

### Fermtech systems

- het potentieel aanwezige biogas was na vergisting 25-28 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> digestaat. Het direct beschikbare biogas (methode ALConsult) na vergisting was 6,5-9 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> digestaat. Hieruit blijkt dat na vergisting het potentieel aanwezige en het direct beschikbare biogas nog (veel) te hoog zijn.
- het direct beschikbare biogas van mest bepaald met een batchtest (Biogaslab) komt niet overeen met de methode van bepaling van het direct beschikbare biogas door ALConsult.
- de rendementen op voeding en vergisting zijn laag.

### Ecobag

- het potentieel aanwezige biogas was na vergisting in het najaar ruim 11 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> digestaat hoger dan in het begin maart. Wellicht veroorzaakt door de oudere mest in het voorjaar. Het verschil van het direct beschikbare biogas in de invoerstream was 12 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> hoger in het najaar dan in het voorjaar.
- het digestaat in het najaar heeft tweemaal zoveel direct beschikbaar biogas dan in het voorjaar. Een aanvaardbare verklaring is het hogere beschikbare biogas in verse mest (najaar) ten opzichte van die in oude mest (voorjaar).
- het rendement op voeding is in het najaar nog redelijk, maar in het voorjaar laag. Het rendement op vergisting is goed in het najaar, maar slecht in het voorjaar.

## **Effecten op milieu, arbeid en economie**

- voor een bedrijf met 80 melkkoeien wordt als gevolg van monovergisting door stalaanpassing, weidesysteem en kunstmestvervanging door digestaat een besparing van 100-134 ton CO<sub>2</sub>-equivalenten gerealiseerd ofwel 0,16-0,21 kg CO<sub>2</sub>-equivalenten per kg melk. Dit is een besparing van 9-12% van de CO<sub>2</sub>-footprint van 1,8 kg CO<sub>2</sub>/kg melk.
- de arbeidsbehoefte is moeilijk te bepalen vanwege de vele storingen, maar zal bij een technisch goed functionerende vergister ca. 15-30 minuten per etmaal vragen aan controle, onderhoud, storingen en administratie.

### Fermtech systems

- op een melkveebedrijf met 80 melkkoeien en een Fermtech systems installatie zijn met alleen mestvergisting en bij inzet van een WKK of gasturbine de bedrijfsbesparingen uit vergisting inclusief arbeid respectievelijk - € 42.602 en - € 41.765. Bij gebruik van mest en glycerine (5% op gewichtsbasis van het tonnage mest) zijn de bedrijfsbesparingen uit vergisting respectievelijk - € 26.216 en - € 32.585.
- op een melkveebedrijf met 200 melkkoeien en Fermtech systems installatie zijn met alleen mestvergisting en bij inzet van een WKK of gasturbine de bedrijfsbesparingen uit vergisting inclusief arbeid respectievelijk - € 6.745 en - € 13.489. Bij gebruik van mest en glycerine (5% op gewichtsbasis van het tonnage mest) zijn de bedrijfsbesparingen uit vergisting respectievelijk € 26.690 en € 3.026.
- hogere onderhoudskosten van de WKK - € 2,50/draaiuur i.p.v. € 1,00/draaiuur – die niet ongebruikelijk zijn – kunnen bij melkveebedrijven met 80 en 200 melkkoeien de bedrijfsbesparingen doen afnemen met € 12.600.
- Bij een bedrijfsgrootte van 200 melkkoeien resulteren hogere onderhoudskosten voor de WKK (€ 2,5/draaiuur) en een hogere glycerineprijs (€ 212/ton glycerine) in een bedrijfsbesparing van - € 61. Wordt ook de eigen arbeid meegerekend dan is het bedrijfsrendement al negatief bij een prijs van € 202/ton glycerine.

---

### Ecobag

- op een melkveebedrijf met 60 melkkoeien en een Ecobag-systeem zijn met inzet van een WKK (50kW) de bedrijfsbesparingen uit vergisting inclusief arbeid, benutting 50% van warmteproductie vergister en elektriciteit voor eigen gebruik - € 1.668. Bij gebruik van mest en glycerine (met graan en natuurgras max 5% op gewichtsbasis van het tonnage mest) zijn de bedrijfsbesparingen uit vergisting inclusief arbeid, benutting 50% van warmteproductie vergister en elektriciteit voor eigen gebruik € 10.501.
- hogere WKK-kosten (€ 2,5/draaiuur i.p.v. € 1/draaiuur) verlagen de genoemde bedrijfsbesparingen inclusief arbeid, benutting 50% van warmteproductie vergister en elektriciteit voor eigen gebruik met € 12.600 en een hogere glycerineprijs (€ 212/ton i.p.v. € 165/ton) geeft nog een extra verlaging van het saldo van € 5.584.

## 6.2 Aanbevelingen

De volgende aanbevelingen worden gedaan voor het proces van hydrolyse en vergisting.

### Fermtech Systems

- Optimaliseer het hydrolyseproces, waardoor de afstemming met het vergistervolume verbeterd kan worden.
- Overweeg – na overleg met deskundigen van microbiologie en proceskunde – of het zinvol is verder te gaan met zure hydrolyse. Schakel procesdeskundigen en nutritionisten in voor het optimaliseren van het hydrolyse- en vergistingsproces van het Fermtech systems.
- Ga na optimalisatie van hydrolyse- en vergistingsproces na wat de biogasopbrengst en financiële opbrengst van mono-vergisting per m<sup>3</sup> ingevoerde mest is.
- Bereken vervolgens modelmatig welke totaalinvestering voor het hydrolyseren en vergisten financieel nog positief is.
- Zoek tenslotte de juiste vergistingsconfiguratie die op voorgaande aanbevelingen aansluit.

### Ecobag

- Laat de WKK van 50 kW die nu niet-vollast functioneert, zoveel mogelijk vollast draaien door toevoeging met maximaal 5% co-producten. Dit verhoogt het rendement. Producten met veel energie per ton/m<sup>3</sup> die weinig arbeid vragen voor voeden zijn hiervoor geschikt, b.v. glycerine.
- Wees erop bedacht dat hogere WKK-kosten en een hogere glycerineprijs de bedrijfsbesparingen aanzienlijk laten dalen.



---

# Literatuur

- Anonymous, 2008. Convenant schone en zuinige agrosectoren, Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselveiligheid, 46 pp.
- Anonymous, 2011. Energiebesparing en – benchmark in de agrarische sector. Rapportage van een innovatieve aanpak in de regio Hoge Dunk. Agentschap NL. Ministerie van Economische Zaken en Innovatie, 29 pp.
- Anonymous, 2013. Beoordeling mestproducten op basis van het Protocol Gebruiksvoorschriften Dierlijke Mest, versie 1.0. Dossiernummer en datum: Gebr1\_2013; 2 mei 2013. 36 p.
- Cozijnsen, J., 2007. Netwerk Mestvergisting Zuid-Nederland. Pleidooi voor toelating van Mestvergisting op de CO<sub>2</sub>-emissiemarkt. Consulting Attorney, 4 pp.
- Dekkers, F., 2012. Persoonlijke mededeling.
- Ecoinvent, 2010. Ecoinvent-database.
- Kasper, G.J. en B. Peters, 2012. Monovergisting varkensmest op boerderijschaal. Rapport 632 , Wageningen UR Livestock Research, 29 pp.
- Kebbekx, J., E. Lambregts, W. de Wolf en M. van Seventer, 2011. Melk, de groene motor. Routekaart voor een 100% energieneutrale zuivelketen in 2020 met klimaatneutrale groei, 148 pp.
- KWIN 2014–2015, Kwantitatieve Informatie Veehouderij, Livestock Research Wageningen UR, 426 pp.
- Lievens, M., 2015. Persoonlijke mededeling.
- Timmerman, M., H. J. C. v. Dooren en G. Biewenga, 2005. Mestvergisting op boerderijschaal. PraktijkRapport Varkens 42. Lelystad, Animal Sciences Group.
- Timmerman, M. en W. Rulkens, 2009. Korte inventarisatie naar voorbehandeling van mest t.b.v. hogere biogasproductie. Rapport 287, Wageningen UR Livestock Research, 15 pp.
- Timmerman, M., M.H.A. van Eekert, J.W. van Riel en E. Schuman, 2013. Mestvergisting bij korte verblijftijden, Rapport 729. Wageningen UR Livestock Research, 22 pp.

# Bijlage 1 Voeding en biogasproductie Fermtech Systems



---

## Bijlage 2    Overzicht activiteiten/storingen, CCM-toevoegingen (Fermt syst.)

<u>Jaar</u>	<u>Datum</u>	<u>Opmerkingen</u>	
<b>2014</b>	05-11	invoer naar 9 m <sup>3</sup> per dag, 140 kg CCM	
	06-11	afvoer naar vergister aan	
	07-11	invoer naar 10 m <sup>3</sup> per dag, 's avonds invoer terug naar 8 m <sup>3</sup> per dag.	
	08-11	Frans heeft invoer verhoogd naar 10 m <sup>3</sup> per dag.	
	09-11	afvoer van vergister verstopt, alles in storting, probleem opgelost.	
	11-11	60 kg CCM	
	12-11	60 kg CCM	
	14-11	inhoud hydrolyse verhoogd naar 22 m <sup>3</sup>	
	03-12	invoer naar 10 m <sup>3</sup> per dag inhoud hydrolyse naar 24 m <sup>3</sup> per dag	
	04-12	start invoer glycerine: 50 liter per dag.	
	09-12	veel schuim productie, invoer glycerine uit.	
	11-12	130 kg CCM	
	12-12	225 kg CCM	
	15-12	450 kg CCM	
	16-12	225 kg CCM	
	17-12	100 kg CCM	
	18-12	100 kg CCM	
	19-12	60 kg CCM	
	21-12	aanvoer + reactor stonden uit. Alles weer aangezet	
	30-12	geconstateerd mbv mobiele pH-meter: pH-meter hydrolysetank functioneert niet goed.	
	<b>2015</b>	08-01	fout in pH-meting, pH-meters schoongemaakt en gewisseld, processor gereset. hydrolyse reactor is leeggepomt.
		09-01	hydrolyse reactor leeg.
		11-01	aanvoer aan op 70 Hz, afvoer aan op 50 Hz (reactor door pompen)
		12-01	storting, voorraad vat achter de stal leeg. starten met vullen, inhoud ingesteld op 8 m <sup>3</sup> . 140 kg CCM toegevoegd
		13-01	280 kg CCM, 150 kg CCM toegevoegd.
		15-01	400 kg CCM
		16-01	140 kg CCM
		17-01	250 kg CCM
		18-01	300 kg CCM
		19-01	200 kg CCM, Invoer stop gezet proces mislukt, reactor leegpompen.
20-01		reactor leeg, laatste pH: 5,3. Opnieuw opstarten vullen tot 6 m <sup>3</sup>	
21-01		270 kg CCM	
22-01		1,5 m <sup>3</sup> mest bijgepompt, 130 kg CCM	
23-01		3 m <sup>3</sup> mest bijgepompt, 185 kg CCM	
24-01		2 m <sup>3</sup> mest bijgepompt, 100 kg CCM	
26-01		100 kg CCM	
27-01		115 kg CCM	
30-01		aan-/afvoer opgestart 6 m <sup>3</sup> per dag, 110 kg CCM	
31-01		350 kg CCM	
01-02		190 kg CCM	
02-02		reactor inhoud naar 19 m <sup>3</sup> , 190 kg CCM	
03-02		190 kg CCM	
04-02		200 kg CCM, aan/afvoer pompen uit, 370 kg CCM	
05-02		aan/afvoer pompen aan.	
06-02		190 kg CCM, aan/afvoerpompen uit, 200 kg CCM	
07-02		aan/afvoerpompen aan.	
08-02		aan/afvoerpompen uit.	
09-02		aan/afvoerpompen aan, 120 kg CCM	
10-02		aan/afvoerpompen uit, 105 kg CCM	
11-02		200 kg CCM, aan/afvoerpompen aan	
12-02	aan/afvoerpompen uit, 110 kg CCM		
13-02	aan/afvoerpompen aan, 130 kg CCM		
14-02	100 kg CCM		
15-02	100 kg CCM		
16-02	stop opstart, invoer naar 12 m <sup>3</sup> per dag gezet		
20-02	invoer verhoogd naar 14 m <sup>3</sup> per dag		
21-02	storting Fermttech systems niveau meting hydrolyse stuk		
25-02	storting verholpen, opstart met 14 m <sup>3</sup> per dag doorvoer.		
04-03	storting hydrolyse roerwerk stuk.		

## Bijlage 3 Mestsamenstelling Ecobag (melkveebedrijf Prinsen)

Nutriënten mest veehouderij Prinsen (g/kg ds)	
Droge stof (g/kg vers)	8,79
Ruw eiwit (NKjeld*6.25)	31,62
Reël Ruw eiwit	16,67
Ruw vet	3,01
Ruwe celstof	17,68
Ruwe as	23,64
Overige koolhydraten	39,01
Organische stof	76,36
C/N (-)	8,78

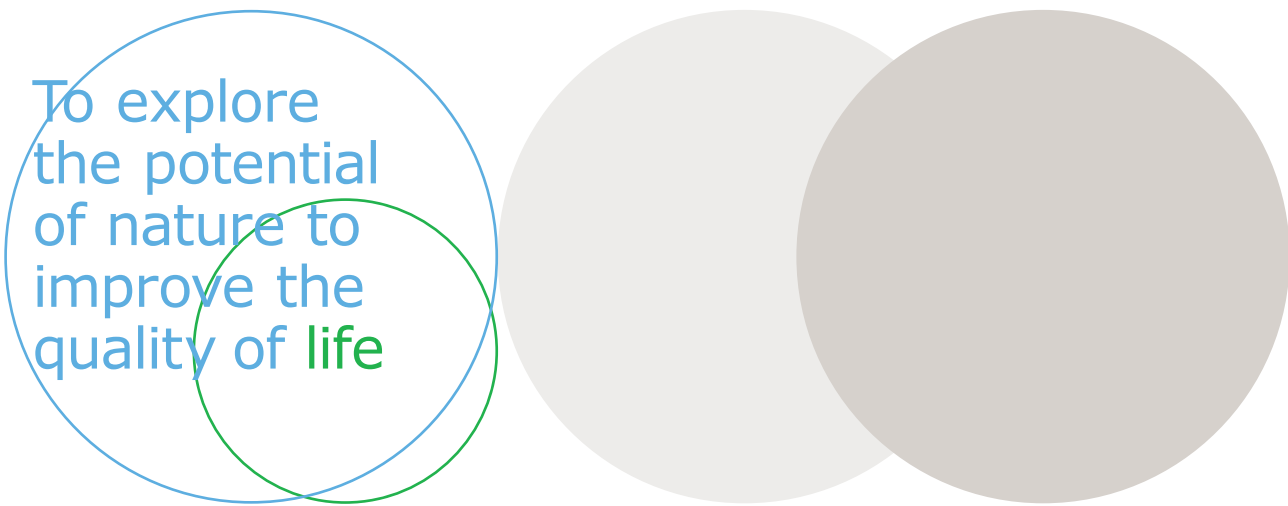
Mineralensamenstelling veehouderij Prinsen (mg/kg ds)	
Na (Natrium)	6221
K (Kalium)	63441
Ca (Calcium)	12439
Mg (Magnesium)	7465
P (Fosfor)	9210
S (Zwavel)	5280
Fe (Ijzer)	881
Mn (Mangaan)	176
Cu (Koper)	59
Zn (Zink)	222

---

## Bijlage 4 Samenstelling natuurgras (Ecobag, Prinsen)

Voedingswaarde natuurgras Prinsen (g/kg ds)	
Droge stof (g/kg vers)	22,17
Ruw eiwit (NKjeld*6.25)	8,75
Reël Ruw eiwit	8,75
Ruw vet	1,94
Ruwe celstof	25,16
Ruwe as	31,00
Overige koolhydraten	33,15
Organische stof	69,00
C/N (-)	28,66

Mineralensamenstelling natuurgras Prinsen (mg/kg ds)	
Na	489
K	3774
Ca	4068
Mg	1458
P	1893
S	1673
Fe	1909
Mn	284
Cu	8
Zn	98



To explore  
the potential  
of nature to  
improve the  
quality of life

---

Wageningen UR Livestock Research  
Postbus 338  
6700 AH Wageningen  
T 0317 480 10 77  
E [info.livestockresearch@wur.nl](mailto:info.livestockresearch@wur.nl)  
[www.wageningenUR.nl/livestockresearch](http://www.wageningenUR.nl/livestockresearch)

Livestock Research Rapport 874



---

Wageningen UR Livestock Research ontwikkelt kennis voor een zorgvuldige en renderende veehouderij, vertaalt deze naar praktijkgerichte oplossingen en innovaties, en zorgt voor doorstroming van deze kennis. Onze wetenschappelijke kennis op het gebied van veehouderijsystemen en van voeding, genetica, welzijn en milieu-impact van landbouwhuisdieren integreren we, samen met onze klanten, tot veehouderijconcepten voor de 21e eeuw.

De missie van Wageningen UR (University & Research centre) is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen UR bundelen 9 gespecialiseerde onderzoeksinstituten van stichting DLO en Wageningen University hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 6.000 medewerkers en 9.000 studenten behoort Wageningen UR wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.

---