



Publicatie 122

April 1997



Aver Heino



Bosma Zathe



Cranendonck



Zegveld



De Marke

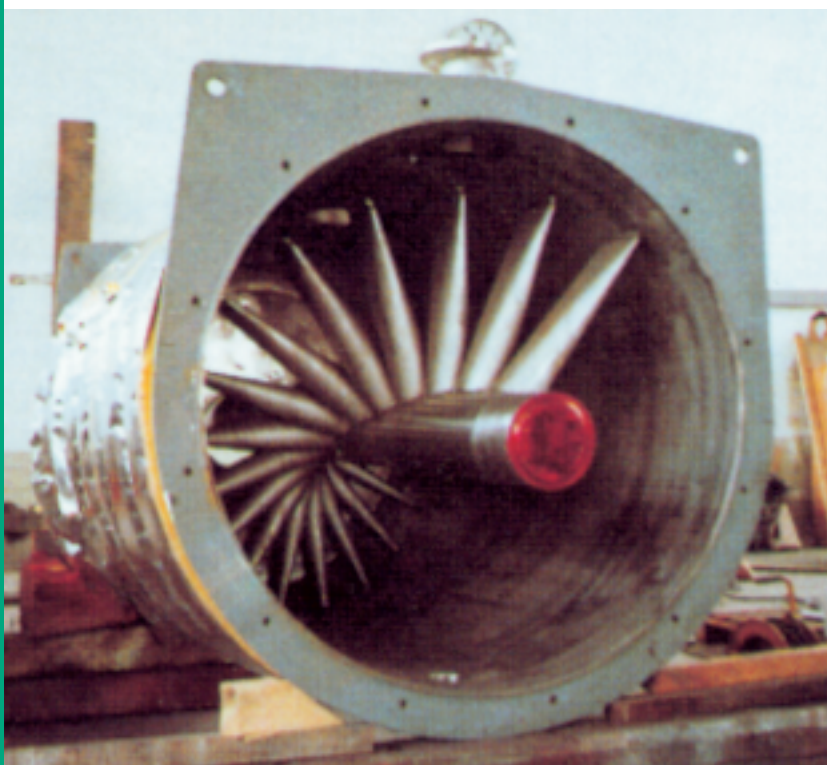


Waiboerhoeve



PR-Centraal

Perspectieven mestvergisting op Nederlandse melkveebedrijven



Uitgever:
Praktijkonderzoek Rundvee,
Schapen en Paarden (PR)
Runderweg 6, 8219 PK Lelystad.
Telefoonnr. 0320-29 32 11,
Fax. 0320-24 15 84.
E-mail info@pr.agro.nl
Internet <http://www.agro.nl/appliedresearch/pr/>

Redactie en fotografie:
Sectie Voorlichtingszaken van het PR

Tekeningen:
Pyt de Vries

Drukker:
Drukkerij Cabri bv
Lelystad

ISSN 1385-0121
Eerste druk 1997 / oplage 3750

Overname is toegestaan, mits van
uitdrukkelijke bronvermelding voorzien

Losse nummers zijn uitsluitend verkrijgbaar
door f 12,50 over te maken op
Postbanknr. 2307421 van het
Praktijkonderzoek PR, Runderweg 6, 8219 PK
Lelystad met vermelding:
Publicatie nr. 122





Publicatie 122
April 1997

Perspectieven mestvergisting op Nederlandse Melkveebedrijven

J.M.A. Nijssen
S.J.F. Antuma
A.T.J. van Scheppingen

Inhoud

1 Inleiding	3
2 Benutting van biogas	4
2.1 Biogas opwerken naar aardgas	4
2.2 Biogas via warmtekrachtkoppeling (WKK) omzetten in elektriciteit en warmte.....	4
2.3 Biogas via brandstofcellen omzetten in elektriciteit en warmte.....	5
3 Uitgangspunten berekeningen	6
3.1 Mestproductie.....	6
3.2 Gasproductie	6
3.2.1 Procestemperatuur en verblijfstijd	6
3.2.2 Gasproductie uit mest	7
3.2.3 Gasproductie uit ander organisch materiaal	7
3.3 Kosten vergister	8
3.4 Benodigde capaciteit converter	9
3.5 Kosten warmtekrachtkoppeling.....	9
3.6 Kosten brandstofcel	9
3.7 Energiegebruik en -tarieven	10
3.8 Bedrijfssituaties	10
3.9 Scenario's.....	11
4 Resultaten	13
4.1 Beperkt weiden (B)	13
4.1.1 Basis scenario.....	14
4.1.2 Positief scenario	14
4.2 Resultaten bij summerfeeding (S).....	15
4.2.1 Basis scenario.....	15
4.2.2 Positief scenario	15
4.2.3 Basisscenario met een melkrobot	16
5 Gevoeligheidsanalyse	18
5.1 Gasproductie	18
5.2 Methaangehalte	18
5.3 Toevoegingen	19
5.4 Warmtebehoefte mestvergister	21
5.5 Investing in de mestvergister.....	21
5.6 Investing in de converter	22
5.7 Prijsniveau energie	23
5.8 Terugleverprijs elektriciteit.....	23
6 Ontwikkelingen in melkveehouderij en energie	25
7 Conclusies	26
Samenvatting	28
Literatuurlijst	31
Bijlagen	32
Summary	36
List of figures and tables	39

Het Praktijkonderzoek Rundvee-, Schapen- en Paardenhouderij (PR) bereidt op het moment de oprichting van een High-Tech melkveebedrijf voor. Bovendien worden voorbereidingen getroffen voor de verplaatsing van het proefbedrijf Bosma Zathe. Meer informatie over de mogelijke opzet van deze bedrijven is te vinden in bijlage 1. Eén van de opties die voor beide bedrijven wordt overwogen is het plaatsen van een unit voor productie van biogas. Dit verslag geeft het resultaat van een studie naar de haalbaarheid van biogasproductie, die naar aanleiding van de opzet van de nieuwe bedrijven is uitgevoerd.


De haalbaarheidsstudie is uitgevoerd in opdracht van de NOVEM. De gegevens die in de studie zijn gebruikt zijn afkomstig van een groot aantal bronnen.

- In maart 1995 werd door de Boo en Verboon (1995) een studiereis naar Zwitserland ondernomen. Hier wordt op ± 20 tot 70 agrarische bedrijven mestvergisting uitgevoerd. Uit de reis bleek dat het mogelijk is mestvergisting op boerderijschaal toe te passen.
- Voor deze studie is een grote hoeveelheid literatuur verwerkt. De literatuurstudie richtte zich met name op het verkrijgen van gegevens voor berekening van de rendabiliteit van mestvergisting.
- In een aantal nieuwsgroepen op het internet is melding gemaakt van de ideeën omtrent de bouw van een vergistingsinstallatie. Hierdoor zijn een aantal nationale en internationale

contacten tot stand gekomen die hebben bijgedragen tot het inzicht omtrent mestvergisting.

- Van de kennis van experts op het gebied van mestvergisting en conversie van biogas is uitgebreid gebruik gemaakt. De resultaten van de studie zijn ook aan de groep experts gepresenteerd. Daarna zijn de berekeningen nog enigszins bijgesteld. Een lijst met geraadpleegde experts is opgenomen in bijlage 2.

Het gebruik van de bronnen is met name gericht op het krijgen van gegevens voor de bouw van een spreadsheet. Met deze spreadsheet kan het perspectief van mestvergisting voor een melkveebedrijf berekend worden. In de studie is een groot aantal alternatieven uitgewerkt. Hierdoor wordt inzicht gegeven in effecten van de gebruikte vergistingsgrondstof (mest, organisch afval), de gasproductie en gaskwaliteit, de investerings- en exploitatielasten van de vergister en de converter en uiteindelijk in het rendement van het hele systeem.

In hoofdstuk 2 is weergegeven hoe het geproduceerde biogas benut kan worden. In hoofdstuk 3 zijn de uitgangspunten voor de berekeningen weergegeven. Hoofdstuk 4 geeft de resultaten van de berekeningen. In hoofdstuk 5 wordt de gevoeligheidsanalyse van een aantal uitgangspunten gegeven. In hoofdstuk 6 staan enige achtergronden omtrent bedrijfsontwikkeling in de melkveehouderij en besparing op CO₂-uitstoot. Tenslotte worden in hoofdstuk 7 een aantal conclusies getrokken. 

2 Benutting van Biogas

- Bij het vergisten van mest ontstaat biogas. Om dit biogas om te zetten in bruikbare energie zijn er een drietal mogelijkheden:
- 1 Biogas opwerken naar aardgas
- 2 Biogas omzetten in elektriciteit en warmte
 - a. via warmtekrachtkoppeling (WKK)
 - b. via een brandstofcel.
- Hieronder is per mogelijkheid aangegeven wat de bijbehorende noodzakelijke stappen zijn.

2.1 Biogas opwerken naar aardgas

Voor dit proces is het belangrijk te werken met een liggende vergistingsreactor. Daarbij wordt de mest aan de ene kant in de reactor gebracht. Door steeds vooraan mest toe te voegen loopt aan de achterkant van de reactor de uitgestemde mest weer naar buiten. Bij de winning van biogas voor aardgas wordt een scheiding gemaakt in voorgas en hoofdgas. Het voorgas is het gas dat vrijkomt in het voorste één derde deel van de vergistingsreactor. Dit bevat relatief weinig methaan (58 %). Het voorgas wordt benut voor verwarming van de vergister. Het biogas dat in de achterste twee derde deel van de vergister wordt geproduceerd bevat meer methaan (68 %). Dit gas kan gereinigd worden van CO_2 , H_2S en water met behulp van een luchtwasser. Deze techniek voor reiniging van CO_2 is afkomstig uit de tuinbouw. Daar wordt in kassen overdag CO_2 toegevoegd dat 's nachts juist weer wordt verwijderd. Voor zover bekend wordt dit proces nog niet bij biogas toegepast. Het gereinigde gas zou volgens de leverancier van de installatie mogelijk als aardgas geleverd kunnen worden. Bij de VAM in Wijster wordt

met een vergelijkbare methode stortgas omgezet in aardgas.

Om de mogelijkheid van opwerken van biogas naar aardgas verder te onderzoeken is gesproken met de GAMOG, het regionale gasbedrijf in de Flevopolder. Het blijkt dat de levering van opgewerkt biogas aan het aardgasnet financieel volstrekt onhaalbaar is. Het gas moet namelijk onder hoge druk in het net gebracht worden. Het opvoeren van de druk van gas is erg duur en kost bovendien veel energie. Bovendien is methaan een reukloos gas. Om gaslekken snel op te merken wordt daarom aan aardgas een geurspoor toegevoegd. Dit zou ook voor opgewerkt biogas noodzakelijk zijn. De dosering van dit geurspoor komt erg precies. Volgens de GAMOG zouden investeringen in gascompressie en toevoegen van het geurspoor al gauw 300.000 gulden bedragen. Een ander probleem is de afzet van aardgas in de zomer. Doordat aardgas met name gebruikt wordt voor verwarming van woningen is het gasverbruik in de zomer veel lager dan in de winter. Het gas dat door een biogasinstallatie op boerderijschaal geleverd kan worden zou in de zomer een te groot deel van de totale gasafname uit het net zijn. Schommelingen in de biogaskwaliteit hebben daardoor een te grote invloed op de kwaliteit van het aardgas. Naast de hoge investeringskosten maakt ook dit argument de opwerking van biogas naar aardgaskwaliteit voorlopig niet interessant. Deze mogelijkheid is dan ook niet verder uitgewerkt.

2.2 Biogas via warmtekrachtkoppeling omzetten in elektriciteit en warmte

Biogas kan benut worden voor de opwekking van elektriciteit. In het verleden werd dit altijd gedaan met een zogenaamde TOTEM, een Total Energy Module. Dit is een voorloper van de moderne Warmtekrachtkoppelingsinstallatie (WKK). In Nederland werd met name een type gebruikt dat voorzien was van een motor van FIAT. Ook nu nog zijn deze eenheden te koop. Het voordeel van deze modules is dat ze leverbaar zijn met een relatief klein vermogen. Nadeel is de vrij lage efficiëntie van ongeveer 29 % bij de omzetting van biogas in elektriciteit.

Een moderne WKK heeft, vergeleken met een TOTEM, een hoger elektrisch rendement. Met

Kleine WKK-installatie van 5,5 kW elektrisch vermogen.



Bron: Zantigh Energie Systemen B.V., Rijsenhout

een WKK kan een elektrisch rendement bereikt worden tot 35 %. Het thermisch rendement kan daarbij oplopen tot ongeveer 55 %. De WKK levert bij toepassing in een situatie met biogas ruim voldoende warmte voor verwarming van de mestvergister. Ook blijft dan nog warmte over om in de warmwaterbehoefte en verwarming van bedrijf en woonhuis te voorzien. Om schommelingen in de frequentie van de elektriciteit te voorkomen kan het nodig zijn om een motormanagementsysteem toe te passen. Dit houdt het toerental van de motor gelijk bij verschillen in het methaangehalte van het biogas. Wanneer biogas gebruikt wordt in een TOTEM of WKK is het niet nodig om het gas te reinigen. Zwavel kan in voldoende mate verwijderd worden door ongeveer 4 % lucht toe te laten in de vergister. Hierdoor wordt H_2S door bacteriën afgebroken tot elementair zwavel. Het gehalte H_2S daalt dan tot rond de 100 ppm. (de Boo, 1995).

2.3 Biogas via brandstofcellen omzetten in elektriciteit en warmte

Biogas kan ook omgezet worden in elektriciteit door gebruik te maken van een brandstofcel. In een brandstofcel wordt waterstofgas met lucht door elektrodes geleid. Hierdoor vindt een chemische reactie plaats waarbij water wordt gevormd en elektrische energie vrij komt. Er vindt echter geen explosieve reactie plaats zoals in een verbrandingsmotor.

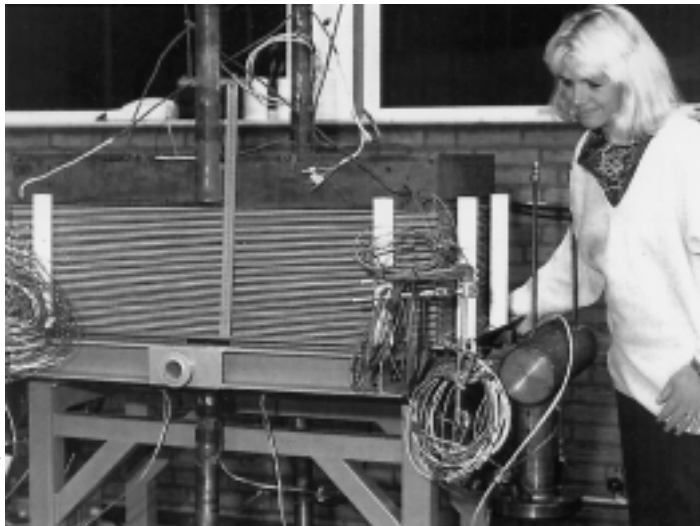
Er zijn diverse typen brandstofcellen in ontwikkeling. Deze typen onderscheiden zich door de gebruikte materialen van de elektrodes en de werktemperatuur. Voor gebruik met biogas zou een gesmolten carbonaat brandstofcel (molten carbonate fuel cell, MCFC) het beste passen. Bij de MCFC die nu door het ECN in Petten ontwikkeld wordt hoeft het waterstof niet buiten de brandstofcel afgescheiden te worden, maar gebeurt dit in de brandstofcel zelf. In dit type MCFC is ook CO_2 nodig als katalysator. Biogas bestaat juist uit deze twee gassen. Wel is de MCFC gevoelig voor verontreinigingen in de gassen. Met name de resten van H_2S in biogas zullen moeten worden verwijderd. Dit kan bijvoorbeeld door het gas door ijzeroxide te lei-



Door met een aquariumpompje lucht aan de vergister toe te voegen wordt H_2S -gas afgebroken.

den. Het voordeel van gebruik van een brandstofcel is het hoge elektrische rendement. Het maximale rendement ligt rond de 55 % elektrisch en 35 % thermisch. Het thermisch rendement is mede afhankelijk van de temperatuur waarop de warmte beschikbaar moet komen. Voor toepassing op het veehouderijbedrijf is een temperatuur van ongeveer 80 °C voldoende. Dan kan een warmterendement van 35 % gehaald worden. De geproduceerde warmte kan vrijwel volledig op het veehouderijbedrijf benut worden. Wanneer de warmtebehoefte van de vergister in de winter hoger is dan de standaard leverantie van de brandstofcel kan de cel bijgesteld worden. Het warmterendement kan dan worden opgevoerd ten koste van het elektrisch rendement. Zo kan er voor gezorgd worden dat aan de warmtebehoefte van de biogasinstallatie steeds wordt voldaan.

Een brandstofcel met 33 platen en een elektrisch vermogen van 14 kW staat klaar voor een test bij het ECN.



Bron: ECN, Petten

3

Uitgangspunten berekeningen

3.1 Mestproductie

Biogas zal in eerste instantie alleen uit mest geproduceerd worden. De mestproductie op het bedrijf is afhankelijk van de melkproductie van de koeien en van het aandeel jongvee dat wordt aangehouden. De mestproductie per koe per dag kan worden vastgesteld met de formules in kader 1 (KWIN 1995). Deze geven de mestproductie in de stal weer bij verschillende graslandgebruikssystemen. Er zijn formules voor voeding met geconserveerd ruwvoer (in de winter en in de zomer bij summerfeeding; S) 's zomers dag en nacht weiden (O), 's zomers beperkt weiden (alleen overdag, B) en voor zomerstalvoeding met vers gras (Z). In de studie zijn alleen berekeningen uitgevoerd gebaseerd op de graslandgebruikssystemen B en S. De mestproductie per pink (leeftijd 1-2 jaar) bedraagt 30 kg per staldag. De mestproductie per kalf (leeftijd 0 - 1 jaar) bedraagt 15 kg per staldag. Het aantal stuks jongvee per melkkoe wordt berekend met het vervangingspercentage van het aantal koeien volgens de formules uit kader 1.

Wanneer bij summerfeeding ook het jongvee het hele jaar binnen wordt gehouden is de mestproductie gelijkmatig over het hele jaar verdeeld. De capaciteit van de biogasinstallaties kan dan precies passend gekozen worden. Bij graslandgebruikssysteem O, B of Z is de mestproductie in de zomer anders dan in de winter. De capaciteit van de vergister en de omzetting

naar elektriciteit is in de berekeningen afgestemd op de maximale mestproductie. Het gevolg is dat de apparatuur bij O en B in de zomer slechts gedeeltelijk benut wordt. Bij Z is de mestproductie in de zomer juist hoger en zal de installatie in de winter slechts gedeeltelijk benut worden.

3.2 Gasproductie

De hoeveelheid biogas die gewonnen kan worden hangt af van de procestemperatuur, de verblijfstijd van de mest in de vergister en het te vergisten materiaal.

3.2.1 Procestemperatuur en verblijfstijd

In de literatuur wordt steeds de mesophile vergistingstemperatuur ($\pm 35\text{ }^{\circ}\text{C}$) aangeraden. De verblijfstijd van de mest in de vergister bedraagt bij mesophile vergisting ongeveer drie weken. In de berekeningen is daarom steeds gebruik gemaakt van mesophile vergisting met een verblijfstijd van 21 dagen.

Eén van de leveranciers stelt voor om de mest thermofiel ($\pm 55\text{ }^{\circ}\text{C}$) te vergisten. Door een kortere verblijfstijd van de mest kan de vergister dan kleiner zijn, waardoor bespaard wordt op investeringskosten. Wel is een groter deel van het benodigde biogas nodig om de vergister op de juiste temperatuur te houden. Uit literatuur blijkt dat het thermofiele vergistingsproces moeilijker beheersbaar is. Met name het risico op verzuring van de vergister is bij de hogere

Kader 1 Rekenregels mestproductie en jongvee

S: $22 + 0,0050 \times \text{melkproductie per koe per jaar} = \text{mestproductie (kg per koe per dag)}$

O: $9 \times (1 + (\text{melkproductie} - 6000) / 10000)$

B: $36 \times (1 + (\text{melkproductie} - 6000) / 10000)$

Z: $60 \times (1 + (\text{melkproductie} - 6000) / 10000)$

Voor een veestapel met een gemiddelde productie van 8.000 kg melk per jaar bedraagt de mestproductie bij voeding met geconserveerd ruwvoer $22 + 0,005 \times 8.000 = 62$ kg per koe per dag. Voor een bedrijf met een B-systeem is dat $36 \times (1 + (8.000-6.000)/10.000) = 36 \times 1,2 = 43,2$ kg per dag.

Aantal kalveren = Aantal koeien x vervangingspercentage x 1,2

Aantal pinken = Aantal koeien x vervangingspercentage x 1,1

Een bedrijf met 72 koeien en 30 % vervanging heeft $72 \times 30\% \times 1,2 = 25,92$ kalveren en $72 \times 30\% \times 1,1 = 23,76$ pinken

temperatuur groter. Bij een te hoge zuurgraad valt het vergistingsproces stil.

Het is ook mogelijk om mest psychrophiel ($\pm 17\text{ }^{\circ}\text{C}$) te vergisten. De gasproductie verloopt dan zeer langzaam. Er is echter geen aparte reactor nodig. De vergisting kan plaats vinden in een afgesloten mestopslag of mestkelder. Daardoor loopt de verblijfstijd van de mest op tot 6 à 7 maanden. De langzamere gasproductie hoeft dan geen nadeel te zijn. Voorwaarde is dat de mestopslag gasdicht is afgesloten en in de winter verwarmd kan worden. Door besparing op de bouwkosten van een reactor is dit mogelijk een alternatief, met name bij nieuwbouw van een bedrijf. In deze studie is dit onderdeel niet uitgewerkt.

3.2.2 Gasproductie uit mest

De productie van biogas uit mest wordt in de literatuur op twee manieren benaderd. In het ene geval wordt gerekend met een bepaalde gasopbrengst per hoeveelheid mest, in het andere geval wordt de gasproductie afgeleid uit het gehalte aan organische stof in de mest.

- Vaste verhouding mest - gas
In een rapport van NOVEM (van Nes et al, 1990) wordt de gemiddelde gasproductie per m^3 mest van 14 praktijkinstallaties weergegeven. De meeste van deze installaties verwerken geheel of voor een belangrijk deel rundveedrijfmest. De gasproductie varieerde tussen 12 en 29 m^3 biogas per m^3 mest. In een rapport van Zeeman (Zeeman et al, 1984) worden biogasproducties gemeld tussen 12 en 17 m^3 per m^3 mest. Deze waarnemingen zijn echter gebaseerd op oudere typen vergisters. In de rendementsberekeningen is uitgegaan van een gasproductie van 18 m^3 per m^3 mest. Het methaangehalte van biogas varieert tussen 55 en 70 %. In de berekeningen is uitgegaan van een methaangehalte van 60 %.
- Gasproductie afhankelijk van organische stof gehalte
De productie van biogas kan ook berekend worden op basis van het organische stofgehalte van de mest en een vergistingsrendement van die organische stof. In literatuur wordt het soortelijk gewicht van mest gesteld tussen 1.004 en 1.040 kg per m^3 mest. In de

berekeningen op basis van het organische stofgehalte zijn we uitgegaan van een soortelijk gewicht van 1.040 kg per m^3 mest. Het gehalte aan organische stof in rundveedrijfmest kan sterk variëren en is afhankelijk van het rantsoen en van de hoeveelheid spoelwater van het melken die in de mest komt. In de praktijk worden veelal waarden tussen 5 en 7 % organische stof gevonden. In de berekeningen is uitgegaan van een organische stofgehalte van 6,7 %. De theoretische hoeveelheid methaan die hieruit geproduceerd kan worden is $0,6\text{ m}^3$ per kg os. De hoeveelheid methaan die in de praktijk gevormd kan worden is afhankelijk van het vergistingsrendement. In de berekeningen is het vergistingsrendement op 25 % gesteld. Er wordt dus $0,15\text{ m}^3$ methaan per kg organische stof geproduceerd. In een literatuuroverzicht van Zeeman et. al. worden waardes gegeven tussen 0,11 en $0,21\text{ m}^3$ methaan per kg os. De waarde is mede afhankelijk van de verblijfstijd van de mest in de vergister. Deze varieert tussen 10 en 30 dagen.

Bij berekening van de methaanproductie op basis van het organische stof gehalte met de gekozen uitgangspunten is de methaanproductie per m^3 mest drie procent lager dan bij de gekozen uitgangspunten voor een vaste verhouding tussen methhoeveelheid en gasproductie. In de berekeningen is gewerkt met een vaste biogasproductie van 18 m^3 per m^3 mest.

3.2.3 Gasproductie uit ander organisch materiaal

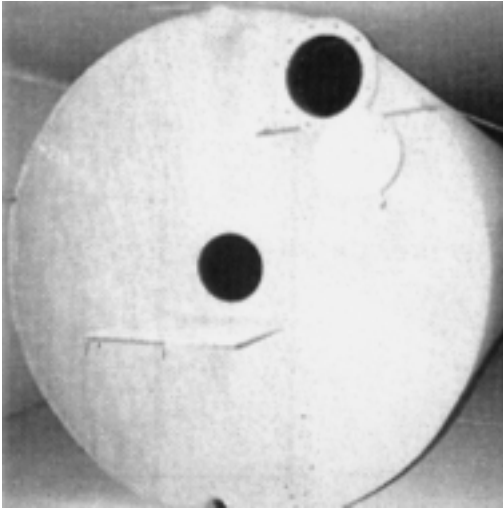
Door toevoeging van ander organisch materiaal aan de mest kan een beduidend hogere gasopbrengst verkregen worden. Organisch materiaal zoals GFT-afval, bermhooi en voerresten geeft een gasproductie van ongeveer 80 m^3 per m^3 materiaal. Bij gebruik van bedrijfsvreemd organisch materiaal moet bedacht worden dat dit materiaal meegenomen moet worden op de mineralenbalans. In diverse biogasprojecten in Duitsland wordt steeds slachtvet uit slachterijen toegevoegd aan het te vergisten materiaal. Dit slachtvet wordt op de slachterij eerst gesteriliseerd. Toevoeging van slachtvet leidt tot een gasproductie van $0,35\text{ m}^3$ per kg organische stof (Amon 1995). Ook afgewerkt frituurvet zou in een vergister kunnen worden toegevoegd en geeft ongeveer $0,70\text{ m}^3$ gas per kg organische

Kader 2 Rekenregels kosten mestvergister

Vergister < 115 m ³	2.437 - 11,7386 x inhoud vergister = investering (gld / m ³ vergister)
Vergister > 115 m ³	1.564 - 4,06 x inhoud vergister = investering (gld / m ³ vergister)

Een bedrijf heeft een vergistingsinstallatie met een capaciteit van 136 m³. De investering bedraagt dan 1.564 - 4,06 x 136 = 1.012 gulden per m³. Voor de hele installatie is dat dus 136 x 1.012 = 137.632 gulden.

Biogas reactor met een doorsnede van 2 meter.



Bron: Marcos BV, Swifterbant

De roerinstallatie binnen in de mestvergister zorgt voor menging en voorkomt ophoping van zand.

stof. Bovendien bevat dit materiaal vrijwel geen mineralen. In de gevoeligheidsanalyse is het effect van toevoegen van organisch afval weergegeven.

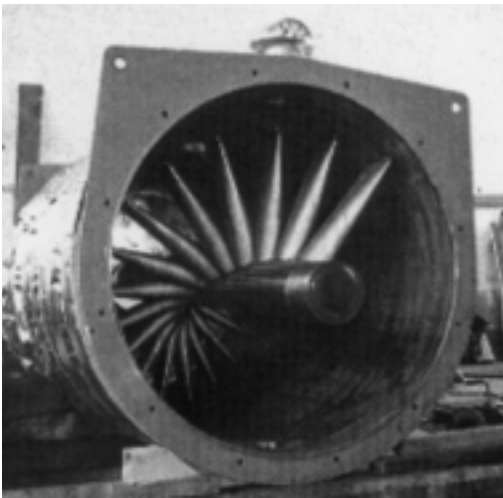
3.3 Kosten vergister

De investeringskosten in een vergister zijn sterk afhankelijk van de grootte van de installatie. De

grootte van de installatie is op zijn beurt sterk afhankelijk van de verblijfstijd van de mest in de vergister. Bij mesophile vergisting van mest is dit tussen de 10 en 30 dagen. In de berekeningen is de verblijfstijd van de mest in de vergister op 21 dagen gesteld. De capaciteit van de vergister kan nu worden berekend door de dagelijkse mesthoeveelheid te vermenigvuldigen met de verblijfstijd van de mest in de vergister. In de berekeningen van de gewenste capaciteit is steeds uitgegaan van de capaciteit bij een maximaal mestaanbod. Bij beweiding (O en B) is de capaciteit dus afgestemd op de winter. Bij stalvoeding met vers gras (Z) of geconserveerd ruwvoer (S) is de capaciteit afgestemd op de zomer.

De investeringskosten voor de vergister zijn afgeleid uit een tabel van de Boks en van Nes (1983). Er is onderscheid gemaakt in vergistingsinstallaties met een capaciteit kleiner dan 115 m³ en installaties groter dan 115 m³. In het investeringsbedrag is ruimte voor een goed geïsoleerde vergister, mengvoorziening, warmtewisselaar, cv-ketel, versnijdende doseerpomp, machinekamer, toe- en afvoerleidingen voor de mest, gaszuivering en gasopslag. Uit gesprekken met leveranciers bleek dat het gehanteerde prijsniveau ook nu nog geldig is. De investeringskosten worden weergegeven met de formules in kader 2. In van Nes c.s. (1990) wordt de investering in een complete mestvergistingsinstallatie geschat op ongeveer 800 gulden per m³ vergister.

De jaarkosten bestaan uit kosten voor afschrijving, onderhoud en rente van de installatie. In deze berekeningen zijn echter geen rentekosten meegenomen. Dat betekent dat uit het weergegeven rendement op het geïnvesteerde vermogen de rentekosten nog gedekt moeten worden.



Bron: Marcos BV, Swifterbant

Kader 3 Voorbeeldberekening elektrische capaciteit

Energie-inhoud biogas	$\pm 23 \text{ MJ} / \text{m}^3$
Energie-inhoud methaan	$39,1 \text{ MJ} / \text{m}^3$
Omrekening	$1 \text{ kWh} = 3,6 \text{ MJ}$

Productie biogas	40.000 m ³
Methaangehalte	60 %
Hoeveelheid methaan	24.000 m ³
Energie-inhoud	$24.000 \times 39,1 = 938.400 \text{ MJ}$
Energie-inhoud	$938.400 / 3,6 = 260.666 \text{ kWh}$
Bedrijfstijd converter	$353 \times 24 = 8.472 \text{ uur}$
Bruto capaciteit installatie	$260.666 / 8.472 = 31 \text{ kW}$
Elektrisch rendement brandstofcel	55 %
Benodigd vermogen brandstofcel	$31 \times 55 \% = 17 \text{ kW}_e$
Elektrisch rendement WKK	35 %
Benodigd vermogen WKK	$31 \times 35 \% = 11 \text{ kW}_e$

Waarschijnlijk zal voor de bouw van een biogasinstallatie gebruik gemaakt kunnen worden van een geldlening op basis van een "groen investeringsfonds". Het rentepercentage bij deze fondsen ligt onder het normale rentepercentage. Op dit moment kan geld uit groene fondsen worden aangetrokken voor ongeveer 4,5 % rente op jaarbasis. De kosten van afschrijving en onderhoud variëren over verschillende onderdelen van de biogasinstallatie. De gegevens zijn weergegeven in bijlage 3.

3.4 Benodigde capaciteit converter

De benodigde capaciteit van de WKK of de brandstofcel hangt, naast het rendement ook af van de maximale hoeveelheid gas die per uur verwerkt moet worden. Die hoeveelheid per uur is afhankelijk van de bedrijfstijd van de installatie. In de berekeningen is uitgegaan van een bedrijfstijd van 24 uur per dag. De totale energieproductie in kWh kan nu gedeeld worden door het aantal bedrijfsuren en het elektrisch rendement van de installatie om de capaciteit te berekenen. Dit wordt verduidelijkt in het voorbeeld in kader 3, bij een gestelde biogasproductie van 40.000 m³.

3.5 Kosten warmtekrachtkoppeling

De investeringskosten in WKK's zijn afhankelijk van de grootte van de installatie. In de range

van 60 tot 100 kW ligt de investering tussen de 1.500 en 2.000 gulden per kW_e. Bij kleinere installaties en bij gebruik van kleine TOTEM's lopen de investeringskosten op tot rond de 3.000 gulden per kW_e. De investeringskosten lopen zo sterk uiteen dat is besloten om investeringsniveaus door te rekenen van 1.500 tot 3.500 gulden per kW_e met als standaard een waarde van 2.500 gulden per kW_e. De jaarkosten voor de WKK zijn berekend met de uitgangspunten uit bijlage 3.

3.6 Kosten brandstofcel

De ontwikkeling van brandstofcellen is nog volop bezig. Nog steeds wordt gezocht naar de beste materialen voor het maken van de cellen. Bij ECN in Petten draait nu een proefopstelling van tien kW_e. De verwachting is dat opstelling van een brandstofcel op een proefbedrijf met een biogasinstallatie over ongeveer 3 jaar mogelijk is. De investeringskosten in een brandstofcel liggen nu nog boven de 3.000 gulden per kW_e. ECN heeft echter als ontwikkelingsdoel een investering van rond de 2.500 gulden per kW_e. Om de gevoeligheid van de investeringskosten te onderzoeken is ook hier het traject van 1.500 tot 3.500 gulden per kW_e doorgerekend. De investeringskosten bestaan voor 20 % uit bouwkundige kosten en voor 80 % uit technische kosten. De brandstofcel zelf wordt afgeschreven

in vijf jaar, de techniek om de cel heen in acht jaar. De jaarkosten voor de brandstofcel zijn berekend met de uitgangspunten uit bijlage 3.

3.7 Energiegebruik en -tarieven

De rendabiliteit van een biogasinstallatie hangt niet alleen af van de kosten voor die installatie. De geproduceerde energie kan gedeeltelijk op het eigen bedrijf benut worden. Daarmee wordt aankoop van energie uitgespaard. Elektriciteit die niet op het bedrijf benut kan worden, wordt teruggeleverd aan het net. Hiervoor wordt een vergoeding gegeven. Indien na verwarming van de mestvergister restwarmte overblijft kan deze benut worden voor verwarming van de woning. Hiermee wordt aankoop van aardgas uitgespaard. In deze studie is rekening gehouden met de volgende uitgangspunten voor eigen energiegebruik en energieprijzen (kader 4).

De warmtebehoefte voor de biogasinstallatie bedraagt gemiddeld over het jaar 28,5 % van de geproduceerde hoeveelheid energie in biogas. De behoefte gedurende de zomer verschilt van de behoefte in de winter. In de zomer is de behoefte gesteld op 75 % van het jaarlijks gemiddelde, dus 21,4 %. In de winter is dit 124 % van het jaarlijks gemiddelde ofwel 35,3 % van de totale jaarlijkse gasproductie. Ook de behoefte aan warmte voor het woonhuis (warm water en verwarming) is gesplitst in een zomerdeel van 20 % en een winterdeel van 80 %. De privé elektriciteitsbehoefte wordt voor 40 % in de zomer gebruikt en voor 60 % in de winter.

De gehanteerde prijs voor aankoop van elektri-

citeit is gebaseerd op het huidige tarief, inclusief BTW en energieheffing. Ook het teruglevertarief is inclusief BTW weergegeven. Gerekend is met een teruglevertarief van 10,75 cent per kWh. Dat tarief geldt op dit moment. In de windenergiesector is het teruglevertarief echter 15,75 cent per kWh. De extra vergoeding wordt gegeven omdat wind 'groene energie' is. Mogelijk kan het groene energietarief in de toekomst ook voor biogas gekregen worden. Het is immers net als windenergie een schone bron die bijdraagt aan de beperking van CO₂ uitstoot uit fossiele brandstoffen. Om die reden zijn alle berekeningen ook uitgevoerd bij het tarief van 15,75 cent per kWh. Het tarief voor aardgas is gebaseerd op het huidige tarief, verhoogd met de maximale energieheffing van ruim elf cent zoals die over enkele jaren zal gelden.

3.8 Bedrijfsituaties

De berekeningen zijn uitgevoerd voor twee graslandgebruikssystemen. Bij beide graslandgebruikssystemen is een serie van melkproducties per koe doorgerekend (7.500, 8.500, 9.500 en 10.500 kg / koe). Ook de bedrijfsomvang is gevarieerd (75, 100, 125 en 150 koeien).

Het eerste graslandgebruikssysteem wordt B (van beperkt weiden) genoemd. Het systeem komt vaak voor op intensieve bedrijven. Intensieve bedrijven hebben een hoog melkquotum per hectare. Het aantal koeien per hectare is dan hoog en er is relatief weinig grasland beschikbaar. In zulke situaties worden de koeien in de zomer vaak 's nachts binnen gehouden en bijgevoerd met geconserveerd ruwvoer.

Kader 4 Uitgangspunten energiegebruik en energieprijzen

Elektriciteitsbehoefte melken en koelen	
conventioneel melksysteem	1,25 kWh / 100 kg melk
met melkrobot en koeling	5 kWh / 100 kg melk
Elektriciteitsbehoefte rest bedrijf	2.000 kWh
Elektriciteitsbehoefte privé	5.000 kWh
Warmtebehoefte biogasinstallatie	28,5 % van energie-inhoud biogas
Warmtebehoefte woonhuis	5.000 m ³ aardgasequivalent
Prijs aankoop elektriciteit	23,00 cent / kWh
Prijs teruglevering elektriciteit	10,75 en 15,75 cent / kWh
Prijs aardgas	60,00 cent / m ³

Hierdoor wordt vers gras gespaard voor beweiding overdag. Ook bedrijven die niet alle grond rondom het erf hebben gebruiken deze methode vaak. In de berekeningen met het B-systeem wordt uitgegaan van jongvee dat gedurende de zomer dag en nacht geweid wordt.

In het tweede bedrijfssysteem blijven de koeien ook in de zomer dag en nacht op stal. Ze worden het hele jaar door gevoerd met geconserveerd ruwvoer. Dit systeem wordt S (van summerfeeding) genoemd. In de berekeningen met dit systeem is uitgegaan van jongvee dat ook het hele jaar binnen blijft. Dit systeem wordt uitgevoerd wanneer bedrijven heel weinig grond rondom het erf hebben liggen, zodat beweiding niet goed mogelijk is. Ook bedrijven met een zeer hoge melkproductie per koe passen dit systeem toe. De voeding van de koeien kan in de gecontroleerde situatie op stal immers beter beheerst worden. Bedrijven die met de melkrobot melken kiezen ook vaak voor dit systeem zodat de koeien de hele dag toegang hebben tot de melkrobot en vaker dan twee maal per dag gemolken kunnen worden. Bij systeem S zijn situaties doorgerekend met gebruik van een conventionele melkstal en situaties met een melkrobot. Bij gebruik van de melkrobot is de behoefte aan elektriciteit op het bedrijf ongeveer vier keer zo hoog als bij gebruik van een melkstal. De energiebehoefte bij een robot is, in

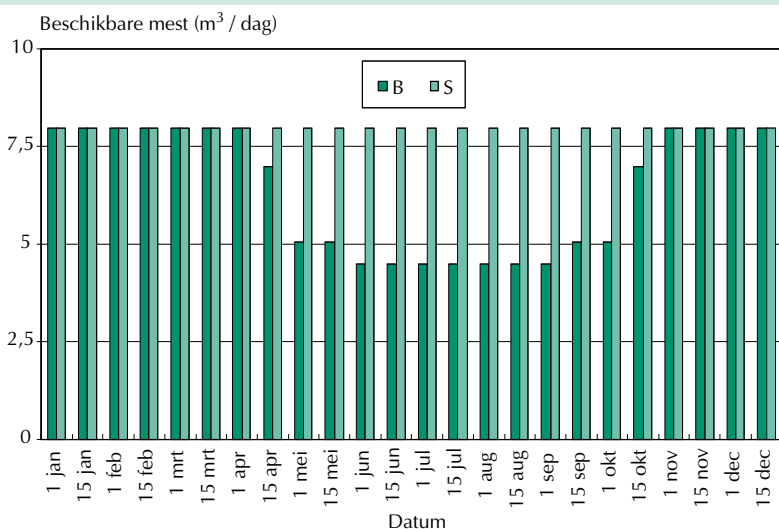
tegenstelling tot een conventioneel melksysteem, egaal over de dag verdeeld.

Het verschil in bedrijfssysteem uit zich onder andere door een verschil in de hoeveelheid mest die gedurende de zomer voor vergisting beschikbaar is. Wanneer de koeien overdag weiden wordt immers een deel van de mest in de weide geproduceerd. Deze mest is niet beschikbaar voor vergisting. Ook de mest die in de zomer door het jongvee wordt geproduceerd is niet beschikbaar voor vergisting. In figuur is de hoeveelheid mest weergegeven die bij beide systemen gedurende het jaar beschikbaar is voor vergisting. De hoeveelheden zijn berekend voor een veestapel van 100 melkkoeien met jongvee. De melkproductie is 8.500 kg per koe. Bij systeem B is in de zomer slechts een deel van de mest beschikbaar. Hierdoor zal de capaciteit van zowel de biogasinstallatie als de converter niet volledig benut worden.


3.9 Scenario's

Het aantal uitgangspunten waarop in de berekeningen is gevarieerd is groot. Het is daarom niet mogelijk een overzicht te geven waarin combinaties van alle uitgangspunten zijn doorgerekend. Daarom is gekozen voor de volgende aanpak. Bedrijfssystemen met verschil in bedrijfsomvang en melkproductie per koe zijn opgesteld. Voor alle series bedrijfssystemen is

Figuur 1 Hoeveelheid mest (m^3 /dag) beschikbaar voor vergisting bij systeem B en S



een basisscenario en een positief scenario door-
gerekend. In het positieve scenario zijn een
groot aantal uitgangspunten tegelijk veranderd.
De berekeningen zijn uitgevoerd bij twee sce-
nario's. In het basisscenario zijn de uitgangs-

punten gekozen zoals ze zijn weergegeven in
paragraaf 3.1 tot en met paragraaf 3.8. In het
positieve scenario zijn deze uitgangspunten
gewijzigd. In tabel 1 volgt een korte opsomming
van de uitgangspunten voor beide scenario's. 

Tabel 1 Uitgangspunten basisscenario en positief scenario.

Omschrijving	Basis scenario	Positief scenario
Mestproductie per koe	Volgens formules	Volgens formules + 10 %
Organisch afval toevoegen	Geen	Geen
Verblijftijd mest in biogasinstallatie (dgn)	21	18
Gasproductie (m ³ / m ³ mest)	18	21
Methaangehalte (%)	60,0	62,5
Warmtebehoefte biogasinstallatie (%)	28,5	25,0
Investering biogasinstallatie	Volgens formule	Volgens formule - 10 %
Investering converter (gld / kWe)	2.500	2.250
Prijsniveau energie (%)	100	110

De resultaten van het onderzoek worden op twee manieren weergegeven. Steeds wordt een resultaat in guldens voor het hele bedrijf genoemd en een rendement op het geïnvesteerde vermogen (IRR, Internal Rate of Return). De rentekosten zijn nog niet in deze kengetallen verrekend. Het betreft dus de vergoeding die wordt verkregen voor arbeid en geïnvesteerd kapitaal. Uit het resultaat moeten dus nog rentelasten betaald worden. Overigens is het voor investeringen in bio-energie waarschijnlijk mogelijk geld uit groenfondsen te verkrijgen waardoor het rentepercentage aanzienlijk lager (ongeveer 4,5 %) is dan op normale leningen.

4.1 Beperkt weiden (B)

4.1.1 Basis scenario

In tabel 2 zijn de economische resultaten weergegeven van het gebruik van een biogasinstallatie en converter bij toepassing van het basisscenario op bedrijfssysteem B. De tabel geeft voor alle combinaties van bedrijfsgrootte en melkproductie per koe voor zowel de warmtekrachtkoppeling als de brandstofcel het resultaat in gul-

dens per bedrijf. Ook het rendement op het geïnvesteerde vermogen is uit de tabel af te lezen. Alle bedragen zijn weergegeven bij een terugleverprijs voor elektriciteit van 10,75 en van 15,75 cent per kilowattuur.

Uit tabel 2 blijkt dat toepassing van een biogasinstallatie met converter voor een bedrijf waarbij de koeien in de zomer overdag buiten zijn bij het basisscenario met een teruglevertarief van 10,75 cent per kWh economisch niet interessant is. Alleen bij 150 koeien met een productie van 9.500 kg per koe of meer wordt een licht positief resultaat gehaald. Ook dan is het rendement op het geïnvesteerde vermogen echter nog zo laag dat de rentekosten niet gedekt kunnen worden.

Wanneer een terugleverprijs voor elektriciteit van 15,75 cent per kWh gerealiseerd kan worden stijgt het rendement bij gebruik van een WKK met 1,7 procent voor bedrijven met 75 koeien die 7.500 kg melk geven tot 3,8 procent voor bedrijven met 150 koeien die 10.500 kg melk geven. Bij gebruik van een brandstofcel

Tabel 2 Basis scenario bij beperkt weiden

Aantal melkkoeien		Terugleverprijs elektriciteit							
		10,75				15,75			
		75	100	125	150	75	100	125	150
melk/koe									
Resultaat bij gebruik van WKK (gld / bedrijf)	7.500	-4.761	-4.611	-3.672	-1.844	-2.185	-1.059	855	3.659
	8.500	-4.713	-4.240	-3.006	-584	-1.941	-428	1.846	5.309
	9.500	-4.620	-3.859	-2.217	854	-1.654	214	2.961	7.137
	10.500	-4.483	-3.474	-1.303	2.470	-1.321	858	4.201	9.144
Rendement bij gebruik van WKK (% investering)	7.500	-3,13	-2,60	-1,93	-0,96	-1,44	-0,60	0,45	1,91
	8.500	-2,98	-2,33	-1,56	-0,31	-1,23	-0,23	0,96	2,83
	9.500	-2,82	-2,07	-1,15	0,47	-1,01	0,11	1,54	3,91
	10.500	-2,66	-1,84	-0,68	1,41	-0,78	0,45	2,20	5,22
Resultaat bij gebruik van brandstofcel (gld / bedrijf)	7.500	-6.894	-7.455	-6.905	-5.243	-2.445	-1.406	744	4.005
	8.500	-6.960	-7.236	-6.248	-3.994	-2.177	-743	1.957	5.922
	9.500	-6.982	-6.938	-5.466	-2.566	-1.865	0	3.294	8.017
	10.500	-6.959	-6.561	-4.561	-960	-1.509	823	4.756	10.291
Rendement bij gebruik van brandstofcel (% investering)	7.500	-4,16	-3,81	-3,24	-2,40	-1,48	-0,72	0,35	1,83
	8.500	-4,03	-3,59	-2,89	-1,84	-1,26	-0,37	0,90	2,73
	9.500	-3,90	-3,36	-2,51	-1,20	-1,04	0,00	1,51	3,75
	10.500	-3,76	-3,11	-2,09	-0,46	-0,81	0,39	2,18	4,95

stijgt het rendement afhankelijk van de bedrijfs-grootte met 2,7 tot 5,4 procent. Bij de hoge terugleverprijs ligt het break-even punt in de buurt van de 100 tot 125 koeien. De rentekosten voor de installatie moeten dan nog wel verhoogd worden.

Bij een terugleverprijs van 10,75 cent per kWh zijn de resultaten bij gebruik van de brandstofcel ongunstiger dan die bij gebruik van een warmtekrachtkoppeling (WKK). De investering per kilowatt elektrisch vermogen van beide systemen is in de berekening gelijk. Door het hogere elektrische rendement van de brandstofcel, 55 % tegen 35 % voor de WKK, is de totale investering voor de brandstofcel echter bijna 60 % hoger. Deze hogere investering wordt slechts gedeeltelijk goed gemaakt door de grotere hoeveelheid elektriciteit die door de brandstofcel geproduceerd wordt. De totale hoeveelheid extra elektriciteit die de brandstofcel opwekt wordt teruggeleverd aan het net. Een vergoeding van 10,75 cent per kWh is echter te laag om de extra investeringskosten in een brandstofcel te dekken. Bij een grotere bedrijfsomvang en een terugleverprijs van elektriciteit van 15,75 cent

per kWh kan de extra investering voor een brandstofcel wel terugverdiend worden. Het rendement bij gebruik van een brandstofcel is dan vrijwel gelijk aan het rendement bij gebruik van een WKK.

4.1.2 Positief scenario

In tabel 3 zijn de resultaten weergegeven van systeem B bij een positief scenario. In het positieve scenario zijn alle energietarieven op 110 procent van de basissituatie gesteld. Bij de standaard terugleververgoeding van 10,75 cent per kWh wordt dat dus 11,25 cent per kWh. De terugleververgoeding in het 15,75-scenario bedraagt dan 17,325 cent per kWh.

Bij het positieve scenario biedt de toepassing van biogas met een converter voor grotere bedrijven mogelijk perspectief. Bij het 10,75 cent per kWh scenario varieert het rendement op het geïnvesteerde vermogen tussen -1,0 en +4,8 procent. Op bedrijfsniveau wordt dan maximaal 9.000 gulden verdiend aan mestvergistings. In het positieve scenario met een terugleverprijs van 15,75 cent per kWh levert mestvergistings met elektriciteitsproductie een positie-

Tabel 3 Positief scenario bij beperkt beweiden

Aantal melkkoeien	Terugleverprijs elektriciteit								
	10,75				15,75				
	75	100	125	150	75	100	125	150	
melk/koe									
Resultaat bij gebruik van WKK (gld / bedrijf)	7.500	145	910	2.217	4.381	4.135	6.358	9.124	12.746
Rendement bij gebruik van WKK (% investering)	7.500	0,10	0,55	1,22	2,31	2,91	3,85	5,00	6,71
Resultaat bij gebruik van brandstofcel (gld / bedrijf)	7.500	-1.510	-418	1.218	3.710	5.201	8.658	12.660	17.517
Rendement bij gebruik van brandstofcel (% investering)	7.500	-0,96	-0,22	0,58	1,67	3,29	4,64	6,05	7,88
Resultaat bij gebruik van WKK (gld / bedrijf)	8.500	611	1.354	3.075	5.772	4.905	7.209	10.489	14.746
Rendement bij gebruik van WKK (% investering)	8.500	0,42	0,79	1,65	3,04	3,39	4,22	5,64	7,75
Resultaat bij gebruik van brandstofcel (gld / bedrijf)	9.500	800	1.863	4.032	7.306	5.399	8.123	11.953	16.889
Rendement bij gebruik van brandstofcel (% investering)	9.500	0,53	1,06	2,14	3,87	3,59	4,62	6,34	8,94
Resultaat bij gebruik van WKK (gld / bedrijf)	10.500	1.024	2.435	5.088	8.984	5.927	9.101	13.517	19.176
Rendement bij gebruik van WKK (% investering)	10.500	0,66	1,35	2,68	4,83	3,80	5,06	7,12	10,31
Resultaat bij gebruik van brandstofcel (gld / bedrijf)	8.500	-938	169	2.253	5.314	6.281	9.922	14.541	20.136
Rendement bij gebruik van brandstofcel (% investering)	8.500	-0,58	0,09	1,05	2,36	3,88	5,12	6,77	8,96
Resultaat bij gebruik van WKK (gld / bedrijf)	9.500	-644	819	3.387	7.060	7.083	11.250	16.521	22.899
Rendement bij gebruik van WKK (% investering)	9.500	-0,38	0,41	1,55	3,13	4,19	5,62	7,54	10,15
Resultaat bij gebruik van brandstofcel (gld / bedrijf)	10.500	-313	1.532	4.620	8.950	7.922	12.641	18.601	25.805
Rendement bij gebruik van brandstofcel (% investering)	10.500	-0,18	0,74	2,08	3,98	4,52	6,14	8,36	11,47

ve bijdrage aan het inkomen. Het rendement loopt op tot boven de tien procent van het geïnvesteerde vermogen. Door de betere omstandigheden in dit scenario levert de brandstofcel nu een rendement op dat ongeveer één procent hoger is dan het rendement bij gebruik van een WKK.

4.2 Resultaten bij summerfeeding (S)

4.2.1 Basis scenario

Tabel 4 geeft het resultaat van de berekeningen voor de situatie waarbij de koeien en het jongvee ook in de zomer dag en nacht in de stal worden gehouden (summerfeeding).

Het rendement van mestvergisting is positief bij het basisscenario met een terugleverprijs voor elektriciteit van 10,75 cent per kWh en gebruik van summerfeeding voor bedrijven vanaf ongeveer 125 koeien. Het graslandgebruik van melkkoeien en jongvee heeft een grote invloed op de rentabiliteit van het systeem. Doordat bij summerfeeding alle mest het hele jaar door beschikbaar is voor vergisting wordt de capaciteit van de biogasinstallatie en de converter continu optimaal benut. Hierdoor stijgt het rendement

op het geïnvesteerde vermogen bij summerfeeding ten opzichte van beperkt weiden bij gebruik van een WKK met 1,3 % bij 75 koeien en 7.500 kg melk per koe tot 2,6 % bij 150 koeien met 10.500 kg melk per koe. Bij gebruik van een brandstofcel is het verschil tussen beperkt weiden en summerfeeding nog groter. Het rendement op het geïnvesteerde vermogen stijgt bij summerfeeding ten opzichte van beperkt weiden met 1,9 % bij 75 koeien en 7.500 kg per koe tot 3,4 % bij 150 koeien met 10.500 kg per koe.

Bij summerfeeding is het rendement van de brandstofcel 0,6 tot 1,2 % hoger dan het rendement bij gebruik van een WKK. Dit wordt veroorzaakt doordat bij summerfeeding alle mest gedurende het gehele jaar vergist kan worden. De capaciteit van de converter kan dus ook het hele jaar optimaal benut worden. De brandstofcel kan meer elektriciteit uit een kuub gas halen. Hierdoor wordt bij een toenemende benutting van de converter het rendement van de brandstofcel beter.

4.2.2 Positief scenario

In tabel 5 zijn de resultaten weergegeven van

Tabel 4 Basis scenario bij summerfeeding

Aantal melkkoeien	Terugleverprijs elektriciteit								
	10,75				15,75				
	75	100	125	150	75	100	125	150	
melk/koe									
Resultaat bij gebruik van WKK (gld / bedrijf)	7.500	-2.771	-1.957	-355	2.136	731	2.828	5.714	9.490
	8.500	-2.639	-1.475	449	3.562	1.096	3.623	6.909	11.384
	9.500	-2.463	-983	1.378	5.167	1.507	4.427	8.228	13.457
	10.500	-2.243	-487	2.431	6.951	1.961	5.235	9.671	15.709
Rendement bij gebruik van WKK (% investering)	7.500	-1,82	-1,10	-0,19	1,12	0,48	1,59	3,00	4,97
	8.500	-1,67	-0,81	0,23	1,90	0,69	1,99	3,60	6,06
	9.500	-1,51	-0,53	0,72	2,83	0,92	2,38	4,28	7,37
	10.500	-1,33	-0,26	1,27	3,97	1,16	2,77	5,06	8,97
Resultaat bij gebruik van brandstofcel (gld / bedrijf)	7.500	-3.767	-3.285	-1.693	1.011	2.137	4.70	8.380	13.168
	8.500	-3.702	-2.892	-817	2.522	2.596	5.622	9.913	15.469
	9.500	-3.593	-2.419	182	4.212	3.100	6.621	11.571	17.948
	10.500	-3.439	-1.867	1.306	6.081	3.649	7.700	13.352	20.606
Rendement bij gebruik van brandstofcel (% investering)	7.500	-2,27	-1,68	-0,79	0,46	1,29	2,40	3,93	6,03
	8.500	-2,14	-1,43	-0,38	1,16	1,50	2,79	4,58	7,13
	9.500	-2,00	-1,17	0,08	1,97	1,73	3,20	5,30	8,40
	10.500	-1,86	-0,89	0,60	2,92	1,97	3,65	6,11	9,90

bedrijven met summerfeeding bij het positieve scenario.

Bij het positieve scenario en gebruik van summerfeeding is de keuze voor een biogasinstallatie met converter duidelijk aantrekkelijker. Het rendement loopt bij de grootste bedrijven met de hoogste productie en gebruik van een WKK op tot ruim 8 % van het geïnvesteerde vermogen bij gebruik van een conventioneel melksysteem en tot 12,5 % bij gebruik van een melkrobot. Hieruit moet nog wel de rentevergoeding betaald worden.

4.2.3 Basisscenario met een melkrobot

Bij gebruik van een melkrobot met een in-line koelingsysteem voor de melk is het energiegebruik rondom het melken volgens de uitgangspunten vier keer zo hoog als bij een conventio-

neel melksysteem. Wanneer op een bedrijf zowel een melkrobot als een biogasinstallatie voorkomt kan een groter deel van de opgewekte elektriciteit op het bedrijf zelf worden benut. Eigen gebruik van elektriciteit wordt verrekend tegen het inkooptarief. Hierdoor is de gemiddelde elektriciteitsprijs hoger. De resultaten van berekeningen voor een bedrijf met summerfeeding en een melkrobot zijn weergegeven in tabel 6.

Doordat bij gebruik van een melkrobot de totale hoeveelheid elektriciteit die op het bedrijf gebruikt wordt toeneemt en de vergoeding daarvoor hoger is dan de terugleverprijs is het rendement van mestvergisting nu hoger. Het resultaat stijgt bij een robot ten opzichte van een conventioneel melksysteem met 2.500 tot 4.200 gulden, ofwel met 1,6 tot 2,4 %.



Tabel 5 Positief scenario bij summerfeeding

Aantal melkkoeien	Terugleverprijs elektriciteit								
	10,75				15,75				
	75	100	125	150	75	100	125	150	
melk/koe									
Resultaat bij gebruik van WKK (gld / bedrijf)	7.800	2.950	4.649	6.891	9.990	8.244	11.836	15.972	20.963
Rendement bij gebruik van WKK (% investering)	8.500	3.538	5.257	7.953	11.626	9.194	12.927	17.636	23.323
Resultaat bij gebruik van brandstofcel (gld / bedrijf)	9.500	3.849	5.929	9.115	13.406	9.867	14.081	19.400	25.826
Rendement bij gebruik van brandstofcel (% investering)	10.500	4.196	6.665	10.375	15.328	10.575	15.299	21.264	28.471
Resultaat bij gebruik van brandstofcel (gld / bedrijf)	7.800	2,08	2,81	3,78	5,26	5,81	7,17	8,76	11,04
Rendement bij gebruik van brandstofcel (% investering)	8.500	2,45	3,08	4,28	6,11	6,36	7,57	9,48	12,27
Resultaat bij gebruik van brandstofcel (gld / bedrijf)	9.500	2,56	3,37	4,84	7,10	6,56	8,01	10,29	13,68
Rendement bij gebruik van brandstofcel (% investering)	10.500	2,69	3,70	5,46	8,25	6,78	8,50	11,20	15,31
Resultaat bij gebruik van brandstofcel (gld / bedrijf)	7.800	2.897	5.458	8.563	12.524	11.658	17.267	23.421	30.430
Rendement bij gebruik van brandstofcel (% investering)	8.500	3.662	6.302	9.919	14.513	13.020	18.908	25.773	33.615
Resultaat bij gebruik van brandstofcel (gld / bedrijf)	9.500	4.149	7.209	11.374	16.645	14.105	20.612	28.224	36.942
Rendement bij gebruik van brandstofcel (% investering)	10.500	4.672	8.179	12.929	18.920	15.226	22.379	30.775	40.412
Resultaat bij gebruik van brandstofcel (gld / bedrijf)	7.800	1,83	2,92	4,09	5,64	7,38	9,25	11,19	13,69
Rendement bij gebruik van brandstofcel (% investering)	8.500	2,26	3,25	4,62	6,46	8,04	9,75	12,00	14,96
Resultaat bij gebruik van brandstofcel (gld / bedrijf)	9.500	2,46	3,60	5,19	7,38	8,35	10,29	12,88	16,37
Rendement bij gebruik van brandstofcel (% investering)	10.500	2,66	3,97	5,81	8,41	8,68	10,87	13,84	17,97

Tabel 6 Basis scenario bij summerfeeding en melkrobot

Aantal melkkoeien	melk/koe	Terugleverprijs elektriciteit							
		10,75				15,75			
		75	100	125	150	75	100	125	150
Resultaat bij gebruik van WKK (gld / bedrijf)	7.800 8.500 9.500 10.500	-187 289 810 1.375	1.488 2.429 3.381 4.336	3.952 5.330 6.833 8.460	7.304 9.419 11.713 14.186	2.260 2.830 3.444 4.102	4.867 5.933 7.010 8.089	8.263 9.798 11.456 13.239	12.548 14.851 17.331 19.991
Rendement bij gebruik van WKK (% investering)	7.800 8.500 9.500 10.500	-0,12 0,18 0,49 0,81	0,84 1,33 1,82 2,29	2,07 2,77 3,55 4,43	3,82 5,02 6,42 8,10	1,49 1,79 2,10 2,43	2,74 3,26 3,77 4,28	4,34 5,10 5,96 6,93	6,57 7,91 9,50 11,41
Resultaat bij gebruik van brandstofcel (gld / bedrijf)	7.800 8.500 9.500 10.500	-1.183 -773 -320 179	160 1.013 1.945 2.956	2.614 4.064 5.637 7.336	6.179 8.379 10.759 13.316	3.666 4.329 5.037 5.790	6.742 7.933 9.204 10.554	10.929 12.802 14.799 16.921	16.227 18.935 21.823 24.888
Rendement bij gebruik van brandstofcel (% investering)	7.800 8.500 9.500 10.500	-0,71 -0,45 -0,18 0,10	0,08 0,50 0,94 1,40	1,22 1,88 2,58 3,36	2,83 3,86 5,04 6,40	2,21 2,51 2,81 3,13	3,44 3,93 4,45 5,00	5,12 5,91 6,78 7,74	7,43 8,72 10,22 11,96

5 Gevoeligheidsanalyse

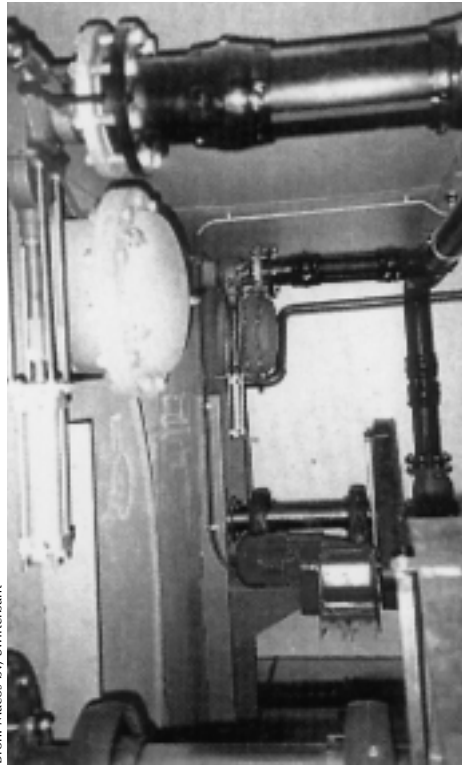
In dit hoofdstuk wordt op een aantal uitgangspunten van de berekeningen een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd. Als basis voor die berekeningen is steeds een bedrijf gekozen met 100 koeien en een melkproductie van 8.500 kg per koe. Op het bedrijf wordt summerfeeding toegepast en het jongvee blijft in de zomer binnen. Alle mest is dus beschikbaar voor vergisting en het aanbod van mest is gedurende het hele jaar constant. Er is gerekend met een conventioneel melksysteem.

5.1 Gasproductie

De gasproductie is 18 m³ per m³ mest. In het positieve scenario bedraagt de gasproductie 21 m³ per m³ mest. Zoals blijkt uit figuur 2 is bij een hogere gasproductie uit mest het rendement van het systeem beter. Dit wordt voornamelijk veroorzaakt doordat de kosten van de vergister niet stijgen. De kosten voor de converter stijgen wel omdat door de hogere gasproductie een hoger elektrisch vermogen gehaald kan worden.

5.2 Methaangehalte

In het basisscenario is gerekend met een methaangehalte in het biogas van 60 %. In het positieve scenario bedraagt het methaangehalte 62,5 %. In figuur 3 is af te lezen hoe het rendement op het geïnvesteerde vermogen wijzigt bij wijziging in het methaangehalte van biogas. Ook hier wordt de wijziging veroorzaakt door

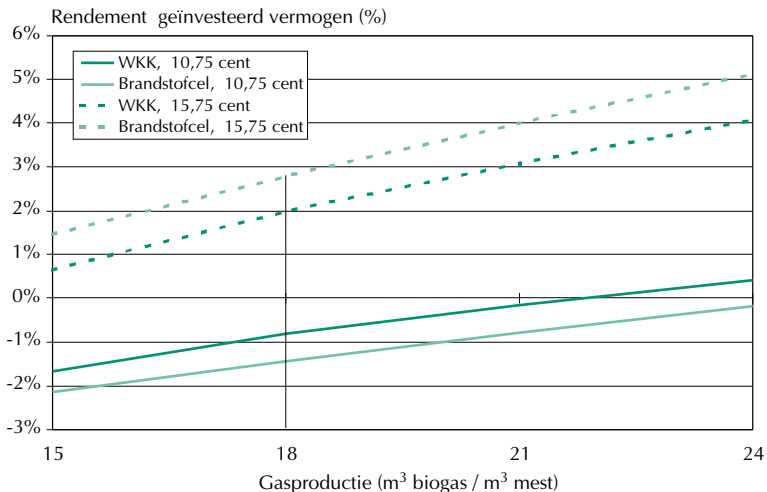


Bron: Macos bv, Swifterbant

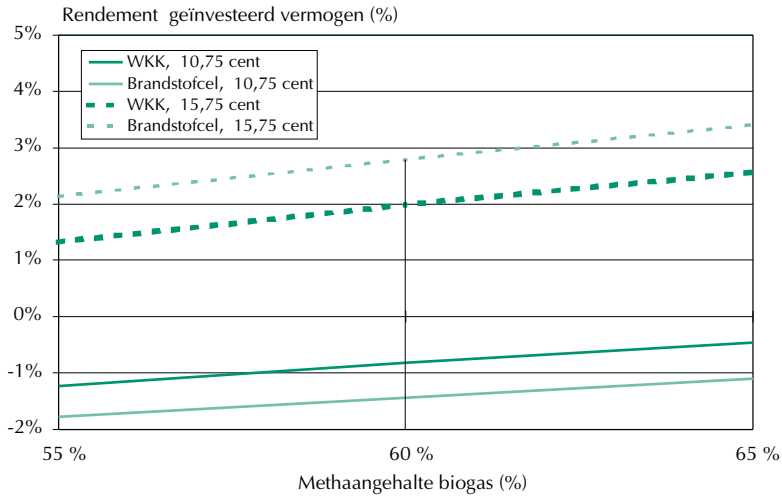
Invoerleiding van de mest naar de biogasinstallatie

een verhoudingsgewijze lagere investering in de biogasinstallatie bij een hogere methaan opbrengst.

Figuur 2 Rendement op geïnvesteerd vermogen (%) afhankelijk van gasproductie



Figuur 3 Rendement op geïnvesteerd vermogen (%) afhankelijk van methaangehalte biogas



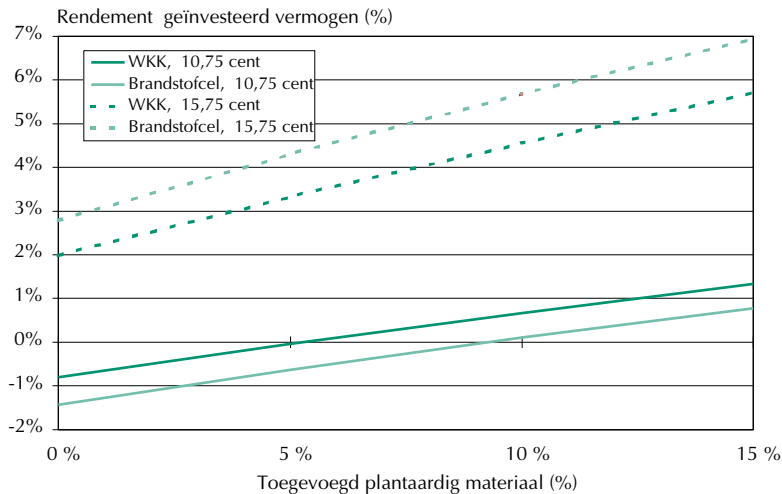
5.3 Toevoegingen

Naast mest kunnen ook andere producten via anaërobe vergisting worden afgebroken. Mest kan ook met deze producten gemengd worden en dan tegelijkertijd in de vergister gebracht worden. Het voordeel van toevoegen van organisch afval is de hoge gasproductie die in verhouding met mest gehaald kan worden. In het

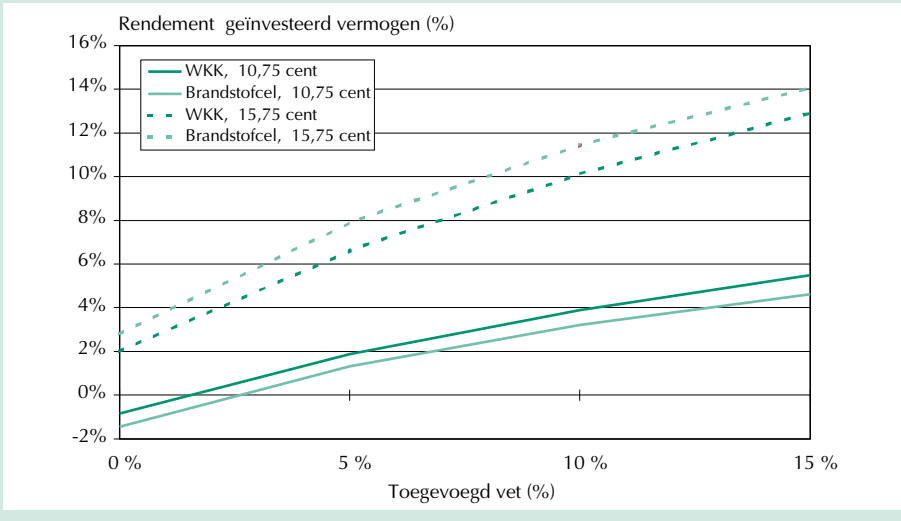
basisscenario levert één m³ mest 18 m³ biogas op, uit plantaardig afval (bermhooi, voerresten en dergelijke) komt 80 m³ biogas. Uit één m³ afgewerkt ongezuiverd frituurvet komt 300 m³ biogas.

Zoals blijkt uit figuur 4 en figuur 5 wordt het rendement van mestvergisting sterk verbeterd

Figuur 4 Rendement op geïnvesteerd vermogen (%) afhankelijk van toevoeging van plantaardig materiaal



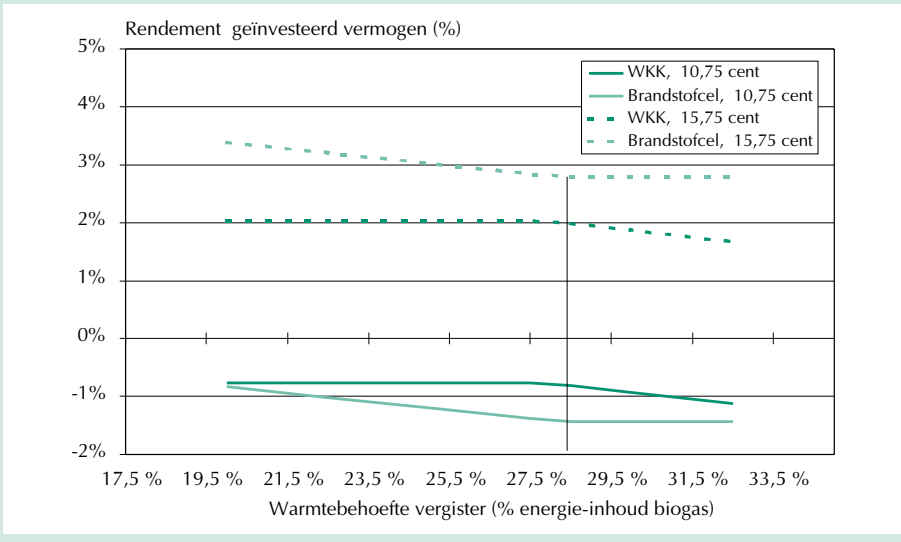
Figuur 5 Rendement op geïnvesteerd vermogen (%) afhankelijk van toevoeging van vet



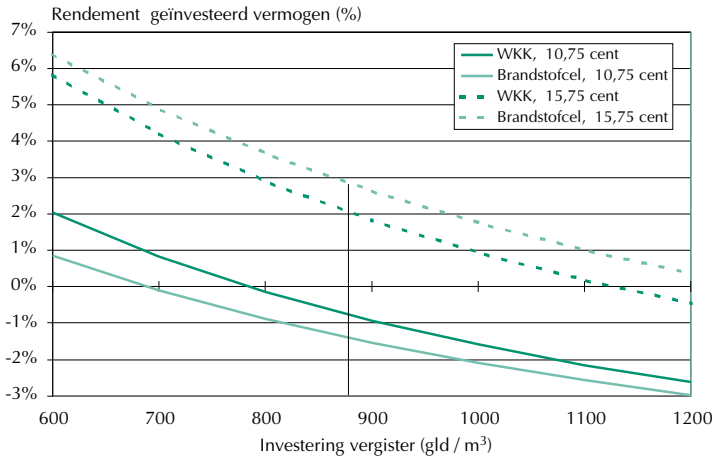
door toevoeging van organisch afval. Met name het toevoegen van afgewerkt frituurvet geeft een enorme toename van de gasproductie. In Duitsland wordt dit dan ook op vrij grote schaal toegepast. Een bijkomend voordeel bij het gebruik van afgewerkt frituurvet is dat dit product geen stikstof, fosfaat of kali bevat. Het wordt in de vergister volledig afgebroken tot methaan en

water en geeft dus geen bijdrage aan het mineralenoverschot op het bedrijf. Wanneer een bedrijf gebruik wil maken van het toevoegen van organisch materiaal om de rendabiliteit van de biogasininstallatie te verbeteren moeten daar wel vergunningen voor geregeld worden. Dit kan problemen geven omdat dit mogelijk als chemisch afval beschouwd wordt.

Figuur 6 Rendement op geïnvesteerd vermogen (%) afhankelijk van de warmtebehoefte van de vergister



Figuur 7 Rendement op geïnvesteerd vermogen (%) afhankelijk van de investering in de mestvergister



5.4 Warmtebehoefte mestvergister

In de basissituatie is de warmtebehoefte van de mestvergister gemiddeld per jaar gesteld op 28,5 % van de totale energie-inhoud uit geproduceerd biogas. In zomer is de behoefte 75 %, in de winter 124 %. In figuur 6 is weergegeven hoe het rendement op het geïnvesteerde vermogen wijzigt bij een andere warmtebehoefte van de mestvergister.

Wanneer minder energie nodig is voor de verwarming van de biogasinstallatie kan beter worden voldaan aan de warmtebehoefte voor de woning. In de zomer kan de warmtebehoefte zowel bij de WKK als bij de brandstofcel worden gedekt met warmte uit de converter. In de winter is de situatie anders. Bij gebruik van een WKK kan de privé warmtebehoefte vrijwel volledig worden voldaan uit de converter. Er is slechts een zeer kleine daling van de energiebehoefte voor de vergister nodig om ook in de winter alle warmte voor de woning uit de converter te kunnen halen. Wanneer de warmtebehoefte van de vergister nog verder daalt levert dat geen extra rendement op. Bij de brandstofcel kan aan de warmtebehoefte voor de vergister precies worden voldaan worden. Aardgas voor privé gebruik moet echter volledig uit het net worden gehaald. Wanneer de warmtebehoefte voor de vergister stijgt daalt het rendement van vergisting. Overigens is het mogelijk

om de brandstofcel zo af te stellen dat wat meer warmte en wat minder elektriciteit geproduceerd wordt.

5.5 Investering in de mestvergister

In het basisscenario is uitgegaan van een formule die op basis van de grootte van de vergister de investering bepaald. Voor de situatie met 100 koeien en een productie van 8.500 kg per koe bedraagt de investering dan 884 gulden per m3 mestvergister. Bij het positieve scenario is steeds 90 % van het bedrag uit de formule gehanteerd. Dit bedrag is alleen bestemd voor de vergister zelf, niet voor de converter die elektriciteit uit het biogas moet halen. In figuur 7 wordt het rendement op geïnvesteerd vermogen gegeven, afhankelijk van de investering in de mestvergister.

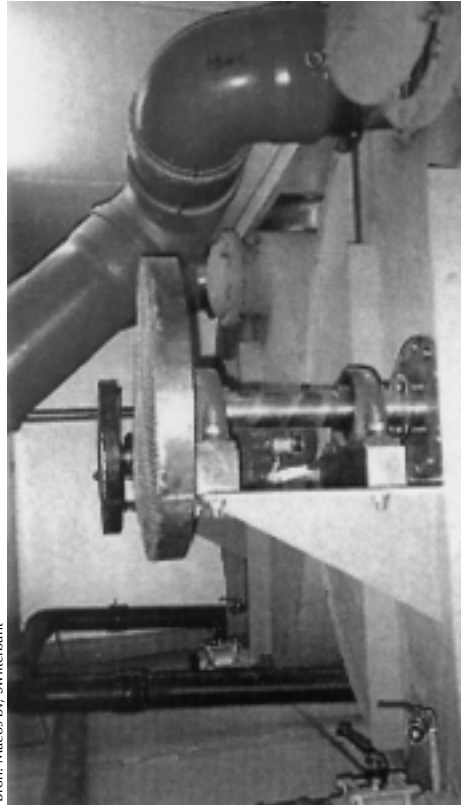
De lijnen voor WKK en brandstofcel lopen vrijwel parallel. Dit komt doordat alleen de productiekosten van het biogas door de wijziging worden beïnvloed. Er is geen reactie op de omzetting van biogas in elektriciteit. De invloed van de investering in de vergister op het rendement van de totale installatie is betrekkelijk gering. Wanneer de investeringskosten in de vergister met 25 % dalen stijgt het rendement slecht met ongeveer 2 %. Dit betekent dat bij de bouw van een vergister voorzieningen om een hogere gasproductie te bereiken al gauw interessant zijn.

Uitvoer van de mest uit de biogasinstallatie.

5.6 Investing in de converter

In figuur 8 wordt het rendement op geïnvesteerd vermogen gegeven, afhankelijk van de investering in de converter. In het basisscenario is gerekend met een investering van 2.500 gulden per kilowatt elektrisch vermogen. In het positieve scenario met 2.250 gulden per kilowatt elektrisch vermogen.

De brandstofcel heeft een hoger elektrisch rendement dan de WKK (55 % tegen 35 %). Daardoor is bij gebruik van een brandstofcel de totale investering hoger. Ondanks de hogere elektriciteitsproductie wordt dit verschil bij een terugleverprijs van 10,75 cent per kWh niet goedgehaakt in het rendement van het totale systeem. Wanneer de investeringskosten in de converter echter lager zijn dan ongeveer 1.900 gulden per kilowatt elektrisch vermogen levert de brandstofcel zo veel meer elektriciteit dat de extra investering (gedeeltelijk) wordt gecompenseerd door een hogere opbrengst aan elektriciteit. Bij een terugleverprijs van 15,75 cent per kWh is de brandstofcel steeds aantrekkelijker. Pas bij een investeringsniveau van meer dan 3.200 gulden per kilowatt elektrisch vermogen is een WKK gunstiger.

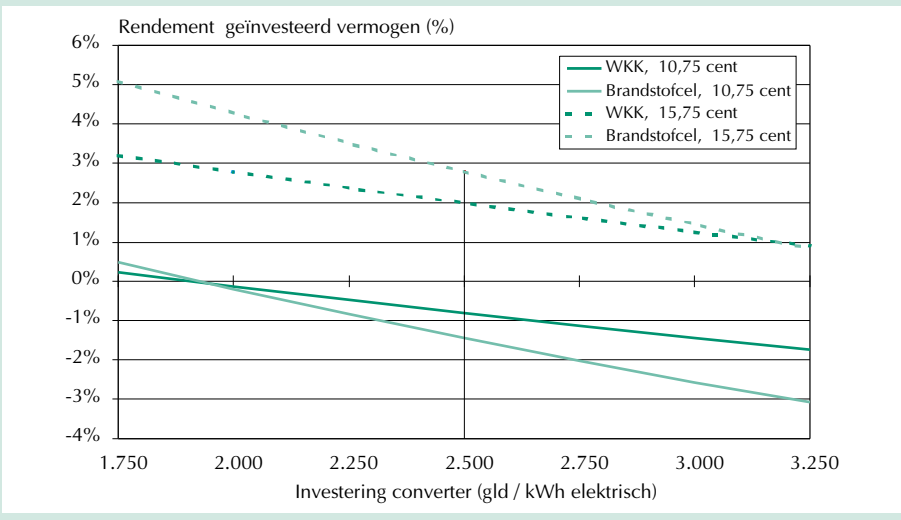


5.7 Prijsniveau energie

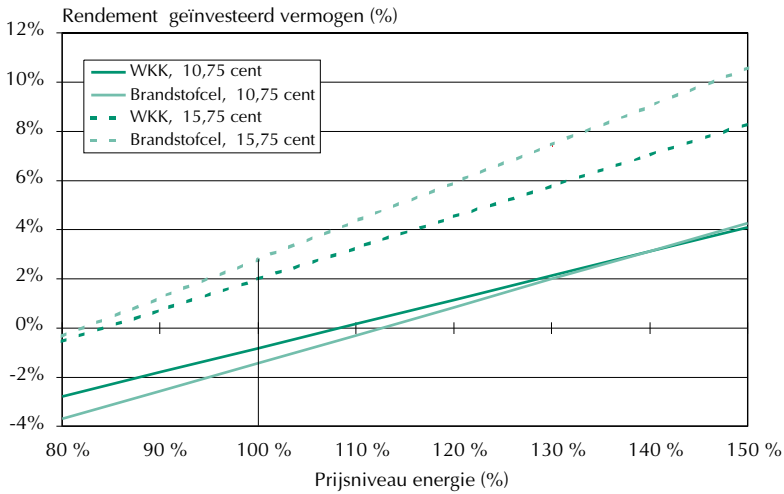
In figuur 9 wordt het rendement op geïnvesteerd vermogen gegeven, afhankelijk van het prijsniveau van de energie. In het basisscenario is

gerekend met een niveau van 100 %. Hierbij is de prijs voor aankoop van elektriciteit 23 cent per kWh, de prijs voor teruglevering van elektri-

Figuur 8 Rendement op geïnvesteerd vermogen (%) afhankelijk van investering in converter



Figuur 9 Rendement op geïnvesteerd vermogen (%) afhankelijk van het prijsniveau van energie



citeit 10,75 of 15,75 cent per kWh en de aardgasprijs 60 cent per m³. In het positieve scenario is het prijsniveau van energie 110 % van het basisscenario.

Naarmate de energieprijzen verder stijgen wordt het rendement van de combinatie mestvergister - converter steeds hoger. Het rendement van de brandstofcel stijgt sterker dan dat van de WKK doordat meer energie in een nuttige vorm (elektriciteit) beschikbaar komt.

5.8 Terugleverprijs elektriciteit

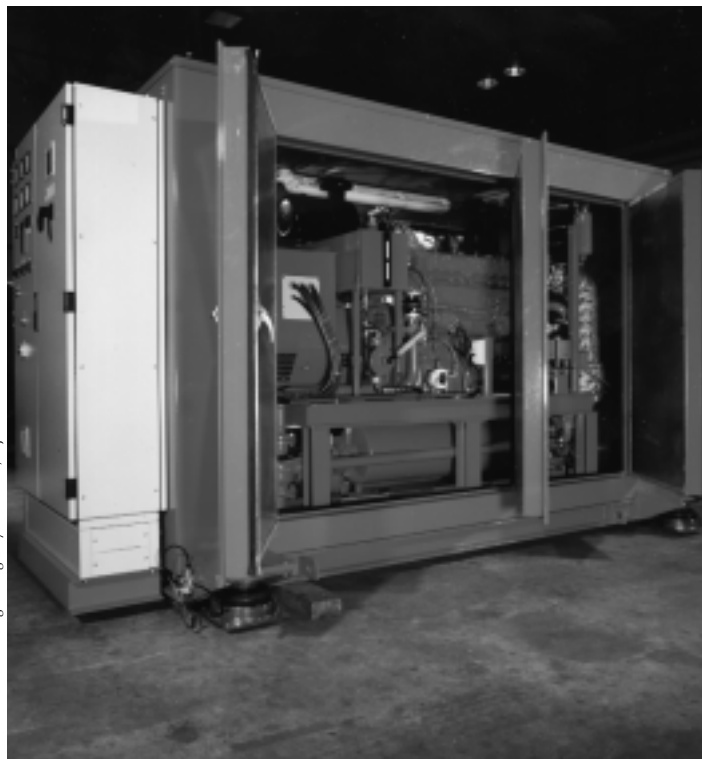
Het rendement van een systeem met biogasinstallatie en converter wordt voor een belangrijk deel bepaald door de vergoeding die wordt ontvangen voor teruggeleverde energie. Dit blijkt uit figuur 10.

De gehanteerde terugleverprijs van 10,75 cent per kWh levert bij de gekozen bedrijfsomvang een negatief rendement op voor het hele systeem. Bij een terugleverprijs van iets boven de 12 cent per kWh wordt echter al break-even gedraaid. Bij die prijs wordt ook de brandstofcel interessanter dan de WKK. Dat wordt veroorzaakt door het hogere elektrische rendement van de brandstofcel, dat bij die terugleverprijs direct te gelde gemaakt kan worden.

De vereniging van elektriciteitsdistributeurs EnergieNed heeft voor de opwekking van elek-

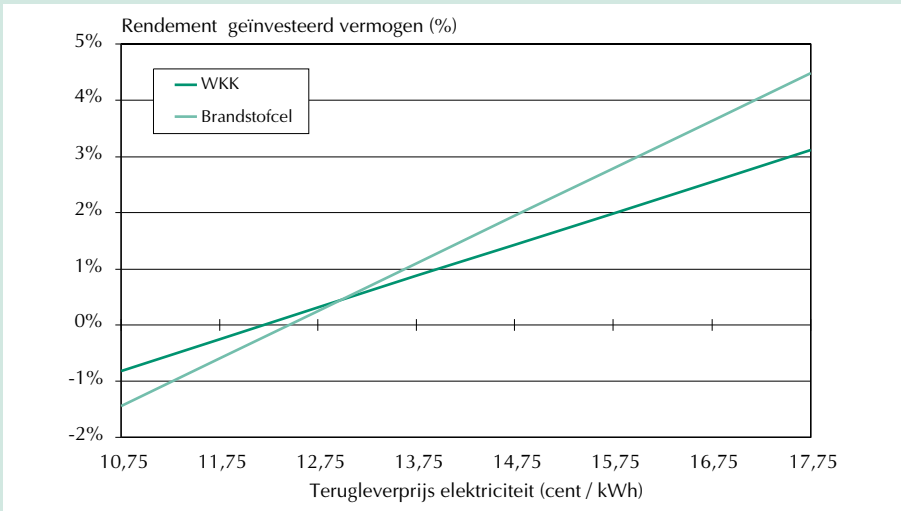
tricititeit met behulp van windmolens een apart minimum teruglevertarief afgesproken. Dit tarief ligt op 15,75 cent per kilowattuur. Naar aanleiding van de resultaten van deze studie zal contact met deze groep gezocht worden om de mogelijkheden van een gelijksoortig minimumtarief voor teruglevering van elektriciteit uit biogas te bespreken.

Warmte kracht koppeling van 85 kW elektrisch vermogen.



Bron: Zantigh Energy Systemen BV, Rijsenhout

Figuur 10 Rendement op geïnvesteerd vermogen (%) afhankelijk van prijs van teruggeleverde elektriciteit



Een andere manier om de terugleverprijs van elektriciteit te verbeteren kan liggen in het maken van afspraken met een grotere elektriciteitsafnemer. De met biogas opgewekte elektriciteit wordt dan rechtstreeks aan die afnemer verkocht tegen een overeengekomen prijs. Deze prijs is hoger dan het teruglevertarief maar lager dan de inkoopprijs van 'gewone' elektriciteit.

De elektriciteitsdistributeur zorgt in dat geval tegen een vergoeding alleen voor doorlevering van de stroom naar de afnemer. De afnameprijs verhoogd met het doorlevertarief kan nog steeds lager zijn dan het 'gewone' elektriciteitstarief. Hierdoor wordt voor de veehouder een hogere afnameprijs van overtollige elektriciteit mogelijk.




Ontwikkelingen in melkveehouderij en energie

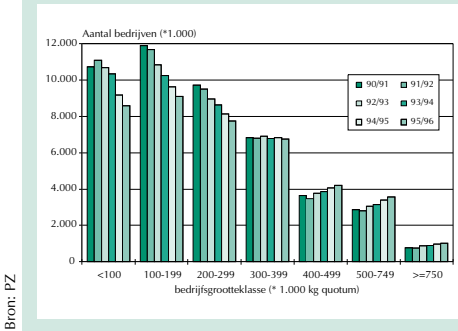
Zoals aangegeven in hoofdstuk 4 is mestvergisting aantrekkelijk voor bedrijven met summer-feeding vanaf ongeveer 100 tot 125 melkkoeien. In de volgende tabellen wordt de ontwikkeling van de bedrijfsgrootte vanaf melkprijsjaar 1990-91 weergegeven.

Uit figuur 11 blijkt dat het aantal bedrijven met een hoog melkquotum sterk groeit. Het aantal kleinere bedrijven neemt vrij snel af. Deze trend zal zich door een steeds grotere marktgerichtheid van de sector versterkt voortzetten. Uit figuur 11 blijkt bovendien dat de groep grotere bedrijven per bedrijf ook steeds groter wordt. De bedrijven in de klasse boven 750.000 kg quotum hadden in het laatste jaar een gemid-

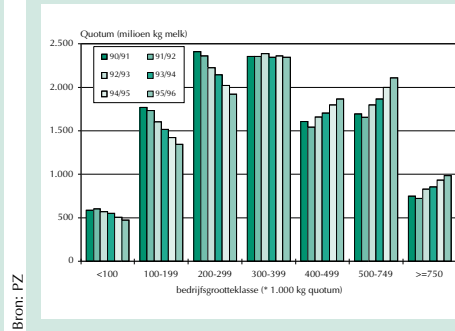
deld quotum van 969.000 kg melk. Dit is voldoende om ook bij beperkt weiden mestvergisting interessant te maken.

De overheid legt steeds meer nadruk op de in het beleid vastgelegde besparing op CO₂-uitstoot. De landelijke emissie van CO₂ moet van 1990 tot 2000 met 3 % afnemen. Het aandeel van de CO₂-emissie bedraagt op landelijk niveau ruim 5 %, waarvan 80 % uit de glastuinbouw (RIVM, 1995). Voor het begrotingsjaar september 1996- september 1997 wordt door het kabinet een bedrag van 750 miljoen gulden uitgetrokken om de CO₂-uitstoot te reduceren. In dit beleid kan vergisting van mest voor elektriciteitsopwekking zeker een rol spelen. 

Figuur 11 Aantal bedrijven per grootteklasse van 1990-91 tot en met 1995-96



Figuur 12 Hoeveelheid melk per bedrijfsgrootteklasse



7

Conclusie

- Een systeem van mestvergisting gecombineerd met omzetting van biogas in warmte en elektriciteit heeft voor toepassing op een melkveebedrijf onder bepaalde bedrijfsomstandigheden een gunstig economisch perspectief.
- De terugleverprijs van elektriciteit speelt een cruciale rol bij de bepaling van het economisch rendement van mestvergisting op melkveebedrijven. Een verhoging van het teruglevertarief van één cent per kWh verbeterd het economisch rendement met ongeveer 0,8 procent bij gebruik van een brandstofcel en met 0,5 procent bij gebruik van een WKK. Gezien het feit dat in de windenergiesector prijsafspraken met de vereniging van elektriciteitsdistributeurs zijn gemaakt ligt hier een aanknopingspunt voor behalen van het benodigde rendement van mestvergisting. Een andere methode om een voldoende hoge prijs voor geleverde elektriciteit te krijgen is het maken van verkoopafspraken met een derde partij. Hierbij wordt het distributienet alleen gebruikt voor doorlevering.
- De combinatie van mestvergisting en elektriciteitsproductie met behulp van een brandstofcel biedt bij een redelijke terugleverprijs voor elektriciteit veel perspectief.
- De bedrijfsomvang, de melkproductie per koe en het graslandgebruikssysteem bepalen samen de beschikbare hoeveelheid mest en de verdeling van die hoeveelheid over het jaar. In het basisscenario is mestvergisting bij beperkt weiden en een terugleverprijs van 10,75 cent per kWh economisch oninteressant. Bij een terugleverprijs van 15,75 cent per kWh een beperkt weiden is mestvergisting vanaf 125 à 150 koeien interessant. Voor bedrijven met summerfeeding en een terugleverprijs van 10,75 cent per kWh en een bedrijfsgrootte vanaf 125 à 150 koeien is mestvergisting bij het basisscenario interessant. Bij het basisscenario, summerfeeding en een terugleverprijs van 15,75 cent per kWh levert mestvergisting al vanaf 75 koeien een bijdrage aan het inkomen.
- Keuze van een positief, maar haalbaar scenario, verbeterd het rendement op het geïnvesteerde vermogen van mestvergisting bij een terugleverprijs van 10,75 cent per kWh met 3,2 tot 5,5 procent. Bij een terugleverprijs van 15,75 cent per kWh is de rendementsverbetering bij het positieve scenario 4,4 tot 8,1 procent.
- Bij een terugleverprijs van elektriciteit van 10,75 cent per kWh geeft conversie van biogas met een WKK een rendement op het geïnvesteerde vermogen dat tot één procent hoger is dan het rendement bij toepassing van een brandstofcel. Bij een terugleverprijs van 15,75 cent per kWh is het rendement op het geïnvesteerde vermogen van een brandstofcel juist tot één procent hoger.
- Bij een terugleverprijs van 10,75 cent per kWh geeft verhoging van alle energietarieven met tien procent een verbetering van het rendement op het geïnvesteerde vermogen met ongeveer één procent tot gevolg. Bij 15,75 cent per kWh stijgt het rendement op het geïnvesteerde vermogen met ongeveer 1,3 procent bij een verhoging van alle energietarieven met tien procent.
- Bij een terugleverprijs van meer dan twaalf cent per kWh geeft de brandstofcel een beter rendement dan een WKK.
- Verhoging van de gasproductie met één

Detail van een brandstofcel.



Bron: ECN, Petten

kubieke meter per kubieke meter mest leidt bij een terugleverprijs van 10,75 cent per kWh tot een verhoging van het rendement op het geïnvesteerde vermogen met 0,2 procent. Bij een terugleverprijs van 15,75 cent per kWh is dat 0,4 procent.

- Het methaangehalte van het biogas heeft binnen de mogelijke range van waarden een minder belangrijke invloed op het rendement van mestvergisting.
- Toevoeging van tien procent plantaardig organisch afval aan mest voor gezamenlijke vergisting levert bij een terugleverprijs van 10,75 cent per kWh een verbetering van het rendement op het geïnvesteerde vermogen van mestvergisting met 1,5 procent op. Bij een terugleverprijs van 15,75 cent per kWh is de rendementsverbetering ongeveer 2,5 procent
- Toevoeging van slachtvet of afgewerkt frituurvet aan de mest voor gezamenlijke vergisting geeft een grote verbetering van het rendement van mestvergisting. Bij een terugleverprijs van 10,75 cent per kWh en toevoeging van tien procent vet stijgt het rendement op het geïnvesteerde vermogen van mestvergisting met bijna vijf procent. Bij een terugleverprijs van 15,75 cent per kWh stijgt het rendement op het geïnvesteerde vermogen zelfs met ruim acht procent.

- Wanneer de investeringskosten in de vergister met 25 procent dalen stijgt het rendement op het geïnvesteerde vermogen van mestvergisting. Bij een terugleverprijs van 10,75 cent per kWh bedraagt de stijging ruim 1,5 procent. Bij een terugleverprijs van 15,75 cent per kWh bedraagt de stijging ruim 2,5 procent.

- Wanneer de investeringskosten in een WKK met tien procent dalen stijgt bij een terugleverprijs van 10,75 cent per kWh het rendement op het geïnvesteerde vermogen van mestvergisting met ongeveer 0,3 procent. Voor een brandstofcel is dat 0,6 procent. Bij een terugleverprijs van 15,75 cent per kWh is dat respectievelijk 0,4 en 0,8 procent.

- Door toename van de groep grote bedrijven en een toenemende belangstelling voor besparing op CO₂-uitstoot worden de perspectieven voor mestvergisting op bedrijfsniveau steeds gunstiger.

Gezien de bovenstaande conclusies lijkt het aantrekkelijk een proefproject op bedrijfsniveau te starten waarbij mestvergisting in eerste instantie gecombineerd wordt met gebruik van een WKK. Zodra ECN een brandstofcel voor praktijkproeven gereed heeft kan dan de combinatie mestvergisting met brandstofcel praktijkrijp gemaakt worden.



Samenvatting

Het PR heeft naar aanleiding van de bouw van een High-Tech melkveebedrijf op de Waiboerhoeve een studie uitgevoerd naar de haalbaarheid van mestvergisting voor individuele Nederlandse melkveebedrijven. De studie is uitgevoerd in opdracht van de NOVEM. Het betreft een deskstudie op basis van gegevens uit literatuur, van internet, afkomstig uit een studie-reis en uit intensieve contacten met een groot aantal experts. Op basis van deze gegevens is een rekenmodel ontwikkeld waarmee het economisch effect van verschillende bedrijfssituaties met mestvergisting berekend kan worden. Het biogas dat bij de vergisting ontstaat is in de berekeningen benut om, met warmtekrachtkoppeling of (in de toekomst) een brandstofcel, elektriciteit op te wekken. De investering in vergister en converter moet gedeeltelijk worden terugverdiend door besparing op de aankoop van elektriciteit en aardgas. De meeste inkomsten komen echter uit teruglevering van elektriciteit aan het net.

In de berekeningen zijn scenario's doorgerekend voor 75 tot 150 melkkoeien die 7.500 tot 10.500 kg melk per koe geven. Gerekend is met beperkt weiden en met summerfeeding. Bij beperkt weiden grazen de koeien overdag en worden ze 's nachts op stal gehouden en bijgevoerd. Bij summerfeeding staat het vee de hele zomer op stal. Alle mest is dan beschikbaar voor vergisting en de mestproductie is gedurende het hele jaar gelijk. Daardoor wordt steeds de volledige capaciteit van de vergister en de converter benut.

De hoeveelheid biogas die wordt verkregen is afhankelijk van de mestproductie op het bedrijf. Deze mestproductie is weer afhankelijk van het aantal dieren en de melkproductie per koe. Om ook in de zomer voldoende aanbod van mest voor vergisting te hebben is het belangrijk dat de koeien ook gedurende de zomer in elk geval 's nachts op stal staan. In een systeem waarbij het vee de gehele zomer op stal blijft is het mestaanbod constant en kan van de apparatuur steeds de optimale capaciteit benut worden.

De hoeveelheid gas die op het melkveebedrijf geproduceerd wordt in de vergister kan sterk verhoogd worden door toevoeging van andere producten dan mest. De gasproductie per m³ vergisterinhoud wordt hoger door toevoeging van organisch afval zoals voerresten, mislukte

kuil, bierhooi en dergelijke. Met name de toevoeging van een vetrijk product zoals afgewerkt frituurvet geeft een enorme verhoging van de gasproductie. De investering in de mestvergister is schaalgevoelig. Voor een bedrijf met 100 koeien bedraagt de investering in de vergister ongeveer 150.000 gulden.

Het geproduceerde biogas wordt gebruikt om elektriciteit mee op te wekken. Dat kan met een gasmotor in een warmtekrachtkoppelinginstallatie (WKK). Deze heeft een elektrisch rendement van ongeveer 35 procent en een warmterendement van ongeveer 55 procent. De warmte wordt voornamelijk benut om het vergistingsproces op gang te houden. De investering in een WKK bedraagt ongeveer 2500 gulden per kilowatt elektrisch vermogen. Voor een bedrijf met 100 koeien komt dat neer op een bedrag van ongeveer 30.000 gulden. Momenteel worden op verschillende plaatsen in de wereld brandstofcellen ontwikkeld. Dit zijn een soort batterijen waarin in een continu proces een waterstofrijk gas zoals biogas kan worden omgezet in elektriciteit. ECN in Petten verwacht in 1998 - 1999 een cel gereed te hebben voor praktijkproeven. Brandstofcellen hebben een elektrisch rendement van 55 procent, 20 procent meer dan een WKK. Op het melkveebedrijf met mestvergisting wordt elektriciteit verkocht, daarom is het hogere rendement belangrijk. De investering voor een bedrijf met 100 koeien is echter bijna 20.000 gulden hoger dan bij een WKK. Dit kan alleen worden terugverdiend bij een voldoende hoge terugleverprijs.

Het economische voordeel van mestvergisting moet komen uit verkoop van elektriciteit en besparing op ingekochte elektriciteit. De gehanteerde inkoopprijs bedraagt 23 cent per kWh. De huidige standaardprijs voor teruglevering bedraagt 10,75 cent per kWh. Energie uit biogas is echter 'groene energie'. Mogelijk kan daarom een vergelijkbaar teruglevertarief worden verkregen als in de windenergiesector. Dat tarief bedraagt 15,75 cent per kWh. Beide tarieven zijn in alle berekeningen tegen elkaar afgezet.

Naast het basisscenario is een positief scenario opgesteld. In het basisscenario zijn zeer voorzichtige uitgangspunten gekozen voor wat betreft gasproductie, investeringskosten en gehanteerde energieprijzen. In het positieve scenario zijn van gunstiger uitgangspunten toege-

Tabel A Samenvatting rendement op geïnvesteerd vermogen (%) bij summerfeeding

		Scenario							
		Basis				Positief			
		10,75		15,75		10,75		15,75	
Terugleverprijs elektriciteit									
Aantal koeien		75	150	75	150	75	150	75	150
Converter	Melk / koe								
WKK	7.500	-1,8	1,1	0,5	5,0	2,1	5,3	5,8	11,0
	10.500	-1,3	4,0	1,2	9,0	2,7	8,3	6,8	15,3
Brandstofcel	7.500	-2,3	0,5	1,3	6,0	1,8	5,6	7,4	13,7
	10.500	-1,9	2,9	2,0	9,9	2,7	8,4	8,7	18,0

past die volgens de deskundigen echter wel haalbaar zijn.

Het resultaat van de berekening wordt uitgedrukt in een rendement op het geïnvesteerde vermogen (IRR, Internal Rate of Return). Het betreft dus de vergoeding die wordt verkregen voor arbeid en geïnvesteerd kapitaal. Uit dit resultaat moeten de rentelasten nog betaald worden. Voor investeringen in bio-energie is het waarschijnlijk mogelijk geld uit groenfondsen te verkrijgen. Hiervoor is het rentepercentage aanzienlijk lager (ongeveer 4,5 %) is dan op normale leningen. De samengevatte resultaten voor melkveebedrijven met summerfeeding zijn weergegeven in tabel A.

In het basis scenario met een terugleverprijs van 10,75 cent per kWh wordt een break-even situatie bereikt bij 100 à 125 koeien. De extra investeringskosten in een brandstofcel worden bij de lage terugleverprijs niet vergoed. Bij een terugleverprijs voor elektriciteit van 15,75 cent per kWh, zoals die in een convenant tussen elektriciteitsdistributeurs en de windenergie-sector is afgesproken, is het rendement op het geïnvesteerde vermogen in alle gevallen positief. Voor grotere bedrijven is mestvergisting dan economisch interessant. Bij deze hogere terugleverprijs wordt ook de extra investering die gedaan moet worden bij toepassing van een brandstofcel vergoed.

In het positieve scenario zijn de rendementen

aanzienlijk hoger dan in het basisscenario. Toch zijn de technische uitgangspunten die bij het positieve scenario gehanteerd zijn volgens de deskundigen haalbaar. Mestvergisting kan dus een bijdrage leveren aan het inkomen van de veehouder en aan de productie van schone energie.

Voor de bedrijfssituatie met 100 melkkoeien die elk 8.500 kg melk produceren, waarbij het vee 's zomers op stal blijft en waarbij een terugleverprijs voor elektriciteit van 10,75 cent/kWh geldt is op een aantal punten een gevoeligheidsanalyse toegepast. De resultaten daarvan zijn opgenomen in tabel B

Uit tabel B blijkt dat het rendement van mestvergisting vooral kan verbeteren door een hogere terugleverprijs van stroom en door toevoeging van plantaardig afval of vet. Een verhoging van het teruglevertarief van stroom kan mogelijk gerealiseerd worden door een convenant af te sluiten met de elektriciteitsproducenten zoals dat ook in de windmolensector is gebeurd. Windmoleneigenaars krijgen een gegarandeerde terugleverprijs van 15,75 cent per kWh. Toevoeging van plantaardig afval van binnen het bedrijf geeft geen problemen. Bij verwerking van bijvoorbeeld bermhooi van buiten het bedrijf kunnen problemen met de mineralenbalans ontstaan. Voor verwerking van bedrijfsvreemde stoffen zoals bermhooi en vet kan bovendien een vergunning noodzakelijk zijn. Uit de tabel blijkt verder dat bij een teruglever-

Tabel B Samenvatting gevoeligheidsanalyse bij 100 koeien, 8.500 kg melk/koe en terugleverprijs 10,75 cent/kWh

	Basis		Laag			Hoog			
	Waarde	Rendement	Waarde	Rendement	Waarde	Rendement			
	WKK	BC	WKK	BC	WKK	BC			
Gasproductie (m ³ / m ³ mest)	18	-0,8	-1,4	15	-1,7	-2,1	24	0,4	-0,2
Methaangehalte (%)	60	-0,8	-1,4	55	-1,2	-1,8	65	-0,5	-1,1
Toevoeging plant afval (%)	0	-0,8	-1,4	5	0,0	-0,6	15	1,3	0,8
Toevoeging vet (%)	0	-0,8	-1,4	5	1,9	1,3	15	5,5	4,6
Warmtebehoefte vergister (%)	28,5	-0,8	-1,4	20,0	-0,8	0,8	32,5	-1,1	-1,4
Investering vergister (gld / m ³)	884	-0,8	-1,4	600	2,0	0,9	1200	-2,6	-3,0
Investering converter (gld / kWh)	2500	-0,8	-1,4	1750	0,2	0,5	3250	-1,7	-3,1
Prijsniveau energie (%)	100	-0,8	-1,4	80	-2,8	-3,7	150	4,1	4,3
Terugleverprijs stroom (€/kWh)	10,75	-0,8	-1,4	15,75	2,0	2,8	17,75	3,1	3,5

tarief van 10,75 cent per kWh een WKK gunstiger uitkomt dan een brandstofcel. Dit wordt veroorzaakt door de hogere investering in de brandstofcel. Bij hogere energieprijzen komt de brandstofcel echter beter uit.

Naast de hier genoemde economische effecten zijn nog een aantal andere effecten van belang bij gebruik van mestvergisting voor opwekking van elektriciteit. De volgende punten zijn wel van belang, maar in de economische analyse niet gewaardeerd:

- Wanneer mest niet wordt gebruikt voor vergisting wordt de mest na uitrijden in de bodem afgebroken. Hierbij komt CO₂ vrij. Bij verbranding van biogas gewonnen uit mest komt de zelfde hoeveelheid CO₂ vrij. Er is dan echter ook energie uit geproduceerd. Dit betekent dat bespaard kan worden op verbranding van fossiele energiebronnen. Per saldo komt bij gebruik van biogas dus minder 'nieuwe' CO₂ in de atmosfeer. Elektriciteit uit biogas kan dan ook onder de "groene energie" gerekend worden.
- Door vergisting wordt mest dunner en homogener. Hierdoor kan mest met lichtere apparatuur en dus voor lagere kosten uitgereden worden.
- Door vergisting van mest komt een groter deel van de in de mest aanwezige stikstof beschikbaar als mineraal stikstof. Hierdoor kan bespaard worden op kunstmestaankoop en dus ook op de mineralenbalans. Productie

van stikstof-kunstmest is erg energie-intensief, zodat extra energie wordt bespaard.

- Wanneer mest in het mesofiele (35 °C) of in het thermofiele (55 °C) traject wordt vergist zullen een aantal soorten bacteriën dit niet overleven. Daarom heeft mestvergisting een zuiverende werking.

De belangrijkste conclusie van dit rapport is dat mestvergisting rendabel kan zijn bij voldoende bedrijfsomvang (vanaf ongeveer 900.000 kg melk) en een redelijke terugleververgoeding (vanaf ongeveer 15 cent per kWh) voor elektriciteit. De groep van bedrijven met voldoende omvang groeit de laatste jaren sterk. Een verdere schaalvergroting in de melkveehouderij wordt verwacht. Ook krijgt besparing op de CO₂-uitstoot steeds meer nadruk. Gezien de toename in bedrijfsomvang en de verdergaande aandacht voor besparing op CO₂-uitstoot in de komende jaren wordt mestvergisting in toenemende mate een interessante optie. Bij een terugleverprijs voor elektriciteit vanaf ongeveer 15 cent per kWh is gebruik van een brandstofcel aantrekkelijk.

Gezien de bovenstaande conclusie lijkt het aantrekkelijk een proefproject op bedrijfsniveau te starten waarbij mestvergisting in eerste instantie gecombineerd wordt met gebruik van een WKK. Zodra ECN een brandstofcel voor praktijkproeven gereed heeft kan dan de combinatie mestvergisting met brandstofcel praktijkrijp gemaakt worden.



Literatuurlijst

Amon, T., 1995. Stand der Entwicklung zur dezentralen Verwertung organischer Dünger und Sekundärer Rohstoffe durch Co-Fermentation in Österreich. In: Tagungsband zur 2. Niedersächsischen Biogastagung am 24. und 25. November 1995 in Bremervörde. Biogasgruppe Nord, Bremervörde

Bruins, W.J., 1984. Het vergisten van rundveedrijfmest in een propstroom biogasinstallatie. Proefstation voor de Rundveehouderij, Schapenhouderij en Paardenhouderij, Lelystad. Rapport nr. 93.

de Boks, P.A. en W.J. van Nes, 1983. De haalbaarheid van een rendabele biogasinstallatie voor de middelgrote melkveehouderij. Centrum voor energiebesparing, Bureau E, Delft.

de Boo, W. en R. Verboon, 1995. Mestvergisting in Zwitserland. Proefstation voor de Rundveehouderij, Schapenhouderij en Paardenhouderij,


Lelystad. Intern rapport nr. 269.

IKC, 1995 Kwantitatieve Informatie veehouderij 1995-1996. Informatie en kenniscentrum Veehouderij, Ede.

van Nes, W.J., F.M.P. van Diemen en A.H.H.M. Schomaker, 1990. Mestvergisting in Nederland, tien jaar kennis en praktijkervaring. Novem, Utrecht.

RIVM (Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiëne), 1995. Achtergronden bij milieubalans 1995. RIVM, Alphen aan den Rijn.

Zanstra Consultancy, 1994. Dearsum en nu verder. Zanstra Consultancy, Dearsum.

Zeeman, G., M.E. Koster-Treffers en H.D. Halm, 1984. Anaërobe vergisting van rundveemest, optimalisering van het gistingproces t.b.v. energieproductie op melkveebedrijven. 

Bijlage 1 Kort overzicht High-Tech Bedrijf en nieuw Bosma Zathe

• HIGH-TECH BEDRIJF

Voor de Waiboerhoeve van het PR worden twee nieuwe melkveebedrijven opgezet, een High-Tech Bedrijf en een Laag Kosten Bedrijf. De verwachting is dat op grote gezinsbedrijven met een gunstige eigen vermogenspositie ruimte is voor arbeidsbesparing door een wat sterkere automatisering c.q. mechanisering met gelijkblijvende kosten (High-Tech Bedrijf) terwijl op de wat kleinere bedrijven met relatief veel vreemd vermogen zal moeten worden gestreefd naar een verlaging van de kostprijs (Laag Kosten Bedrijf).

Zomer 1995 heeft de directie van het PR een werkgroep ingesteld om voorstudie te maken van een opzet voor het High-Tech Bedrijf op de Waiboerhoeve. De opdracht is door de directie als volgt aangegeven: "Met als uitgangspunt de studie 'Melkveehouderij en automatisch melken' wordt de opzet van een Waiboerhoeve High-Tech Bedrijf voorbereid. Naast invoering van automatisch melken wordt aandacht geschonken aan automatisering van de bedrijfsvoering in zijn algemeenheid, afvalwater, mestverwerking, uiergezondheid en automatisering voederwinning. Hierbij wordt gedacht aan een bedrijf van 60-80 melkkoeien, waar in eerste instantie het vee binnen wordt gehouden. Een keuze van de robot volgt naar geschiktheid voor de praktijk. Het bedrijf wordt onderdeel van een groep 'robotbedrijven' met bedrijfseconomische boekhouding".

Het High-Tech Bedrijf heeft met name een systeemontwikkend karakter, waarbij allerlei combinaties in bedrijfsverband worden geïntegreerd. Uitgangspunt voor het bedrijf is dat arbeid zoveel mogelijk wordt vervangen door automatisering c.q. mechanisering. Het gaat niet alleen om arbeidstijd, maar ook om vermindering van psychische en fysieke arbeidsbelasting. Doel is de inzet van arbeid te beperken tot ongeveer 35 uur per koe per jaar (in plaats van de nu gebruikelijke 50 tot 60 uur op de grotere bedrijven) met een acceptabele kostprijs voor het bedrijfssysteem.

De bedrijfsopzet wordt in principe ruim gekozen, zodat toekomstige high-tech elementen ook op het bedrijf kunnen worden ingevoerd. Ook de economische cijfers zullen worden verzameld om dit bedrijf te kunnen plaatsen ten opzichte van gangbare dan wel min of meer high-tech bedrijven in de praktijk. Bij de uitwerking van de bedrijfsopzet worden de consequenties van verschillende onderdelen op arbeid, economie, milieu, energie, diergezondheid, e.d. tegen elkaar afgewogen. Een efficiënt gebruik van hulpmiddelen is belangrijk, waarbij mogelijk wordt aangesloten bij toetsbare elementen uit een Goede Agrarische Praktijk (GAP).


• BOSMA ZATHE

In het noorden van Nederland ligt het proefbedrijf Bosma Zathe, deel uitmakend van het PR. De huidige locatie in Ureterp voldoet niet meer aan de huidige eisen. Daar modernisering van die locatie beperkt mogelijk is en dan tegen relatief hoge kosten, wordt verplaatsing van het proefbedrijf nabij Leeuwarden overwogen. Wanneer hiertoe besloten wordt vormt het nieuwe proefbedrijf een belangrijke schakel in de centrumfunctie voor de (melk)veehouderij zoals die nu in en rond Leeuwarden bestaat (middelen en hoger agrarisch onderwijs, IPC-Dier in Oenkerk, zuivelindustrie, toeleverende industrie en een te stichten agrarisch handels- en dienstencentrum in Leeuwarden).

Het (nieuwe) proefbedrijf zal zich de komende jaren richten op efficiënt gebruik van land en voedermiddelen, het beheer van natuur, het minimaal gebruik van water en energie alsmede de kwaliteitsborging van zuivelproducten. Dit geheel in relatie met de agrarische industrie, voorlichting en onderwijs (voorlichtings- en demonstratiefunctie van het proefbedrijf).

In dit kader zou mestvergisting op proefbedrijf Bosma Zathe een plaats kunnen hebben. Dat is eerder het geval geweest. Op het proefbedrijf heeft namelijk in de jaren '80 ('82-'86) een bio-gasinstallatie gestaan. De productieresultaten

van de installatie waren toen teleurstellend. Ook bij een technisch goed functionerende installatie werden lage gasproducties gemeten. Na die tijd blijkt er echter veel veranderd te zijn in de installaties, waardoor hogere gasproducties te realiseren zijn. Daarnaast komen vanuit de maatschappij steeds sterkere signalen die oproepen om het verbruik van energie te verminderen. Een voorbeeld hiervan is de

recentelijk ingevoerde energieheffing op elektriciteit en aardgas. Eén en ander leidde ertoe dat het PR een studie uitvoert naar de perspectieven van mestvergisting op Nederlandse melkveebedrijven. De hiervoor gemaakte berekeningen worden geïllustreerd met berekeningen gebaseerd op de bedrijfsgegevens van het nieuwe High-Tech Bedrijf en het nieuwe proefbedrijf Bosma Zathe. 

Bijlage 2 Lijst van experts

F. van den Brink
W.R. Burgmeijer
J. Driegen
A. Goedmakers
P. ten Have

D. Jansen
P.C. van der Laag
E.J. van

G.J. Zanstra
G. Zeeman

Projectbureau Warmte/Kracht (PWK)
MeMon BV / Nuon
Macos BV / BRV Technologiesysteme

Centrum voor informatie en onderzoek
mestverwerking (CIOM)

Energieonderzoek Centrum Nederland (ECN)
Energieonderzoek Centrum Nederland (ECN)
Proefbedrijf Bosma Zathe (PR)

Convex BV
LUW-milieutechnologie

Driebergen
Arnhem


Arnhem
Wageningen

Petten
Petten
Ureterp
Wageningen
P=C:\TEMP
Wageningen



Bijlage 3 Investeringsverhoudingen en kostenpercentages biogasinstallatie en converter

Bij de presentatie van de resultaten van de berekeningen wordt het rendement op het geïnvesteerde vermogen als waarderingsgrondslag gebruikt. In dit rendement zijn nog geen rentekosten opgenomen. Uit het behaalde rendement moet dus nog rente worden betaald. Het dan

overblijvende rendement mag als winst van het systeem beschouwd worden. Let er op dat de rente betaald moet worden over het gemiddelde geïnvesteerde vermogen. Bij een restwaarde van de installatie van nul betekent dat, dat het rentepercentage door 2 gedeeld kan worden. 

Tabel 3.1 Investeringsverhoudingen en kostenpercentages biogasinstallatie en converter

	Biogasinstallatie		WKK		Brandstofcel		
	Bouw kundig	Technisch	Bouw kundig	Technisch	Bouw kundig	Stack	Rest Technisch
Aandeel investering	75.0 %	25.0 %	25.0 %	75.0 %	20.0 %	60.0 %	20.0 %
Afschrijving	5.0 %	12.5 %	5.0 %	12.5 %	5.0 %	20.0 %	12.5 %
Onderhoud	1.0 %	5.0 %	1.0 %	10.0 %	1.0 %	10.0 %	10.0 %
Totaal	6.0 %	17.5 %	6.0 %	22.5 %	6.0 %	30.0 %	22.5 %
Totaal installatie	8.875 %		18.375 %		23.700 %		

Summary

The construction of a high-tech dairy farm on the Waiboerhoeve experimental farm provided the impetus for PR to investigate the feasibility of on-farm manure digestion under Dutch conditions. The investigation, commissioned by NOVEM [the Netherlands Agency for Energy and Environment], was based on data from literature, from the internet, from a study trip and on information obtained from a large number of experts. The data were used to develop a model to calculate the economic effect of various farm scenarios with manure digestion. In the calculations, the biogas produced through digestion was used to generate electricity with cogeneration or with a fuel cell. It was intended that some of the cost of investing in a digester and converter would be recouped by the savings gained from not having to purchase electricity and natural gas. However, the greatest revenue was from supplying electricity to the grid.

The scenarios used in the calculations involved 75 to 150 dairy cows yielding 7 500 to 10 500 kg each. Limited grazing was compared with summer feeding. In the former system, the cows are brought in from the fields each night and kept in the barn, where they are given supplementary feed. In the latter, the cows remain in the barn throughout the year, therefore all manure is available for digestion and there is no drop in manure supply during summer, and so the digester and converter are used to full capacity.

The amount of biogas obtained depends on the farm's manure production which, in turn, depends on the number of cows and their individual milk yields. To obtain sufficient manure for digestion it is important that during the summer the cows are kept in the barn - at least during the night. When the herd is kept inside throughout the summer, the supply of manure remains constant and the equipment can be used at optimal capacity continuously.

The quantity of gas produced on the farm can be greatly increased by adding other materials to the digester. Gas production per cubic metre of digester is increased by adding organic waste such as left-over feed, failed silage and verge mowings. It is greatly increased by adding fat-rich products, such as stale cooking oil. The investment required in the manure digester

depends on scale. For a farm with a herd of 100 cows it is about 150 000 guilders.

The biogas is used to generate electricity, using a cogenerator. The cogenerator has an electric efficiency of about 35 per cent and a heat efficiency of about 55 per cent. The heat is used primarily to keep the digestion process going. The investment in a cogeneration installation is about 2500 guilders per kilowatt electrical capacity. This means a sum of about 30 000 guilders for a farm with 100 cows.

Fuel cells are currently being developed in various parts of the world. These are types of batteries in which biogas can be converted into electricity in a continuous process. The Netherlands Energy Research Foundation ECN, in Petten, expects to have a cell ready for trial in 1998-1999. Fuel cells have an electric efficiency of about 55 per cent; 20 per cent more than a cogeneration installation. The higher efficiency is important, because it is the electricity produced on a dairy farm with manure digesters which is sold. However, the investment in a fuel cell installation for a farm with 100 cows is almost 20 000 guilders more than is required for a cogeneration installation. This can be recouped if the selling price for the electricity generated is sufficiently high.

The economic advantage of manure digestion must come from the sale of electricity and the savings from not having to buy in electricity. A price of 23 cents per kWh was assumed for purchasing electricity. The current standard price for supplying electricity to the grid is 10.75 cents per kWh. However, the energy obtained from biogas is "green energy", and therefore it might be possible to obtain a favourable price for it, as is the case in the wind energy sector in the Netherlands, where the tariff is 15.75 cents per kWh. Calculations were done with both tariffs and were compared.

Two scenarios were set up: a basic scenario and a positive scenario. The former was based on very conservative figures for gas production, investments and energy prices. In the positive scenario, more favourable figures that experts nevertheless consider to be feasible were applied.

Table A Summary of Internal Rate of Return (%) under summer feeding conditions

		Scenario							
		Basic				Positive			
		10.75		15.75		10.75		15.75	
Price obtained for electricity	75		150		75		150		
Number of cows	75		150		75		150		
Converter	Milk / cow								
Cogeneration	7 500	-1.8	1.1	0.5	5.0	2.1	5.3	5.8	11.0
	10 500	-1.3	4.0	1.2	9.0	2.7	8.3	6.8	15.3
Fuel cell	7 500	-2.3	0.5	1.3	6.0	1.8	5.6	7.4	13.7
	10 500	-1.9	2.9	2.0	9.9	2.7	8.4	8.7	18.0

The result of the calculation was expressed as the Internal Rate of Return (IRR). This is thus the remuneration obtained for the investment of labour and capital. Interest must still be paid from this result. Moreover, it will probably be possible to obtain money to invest in bioenergy from “green investment funds”, which will make the interest rate considerably lower (about 4.5%) compared with normal loans. Table A summarizes the results for dairy farms practising summer feeding.

In the basic scenario with a price of 10.75 cents

per kWh for selling electricity to the grid, the break-even situation is reached with 100 to 125 cows. At this price for electricity, the extra investment in a fuel cell can not be recouped. At a price of 15.75 cents per kWh, which is the price agreed in a covenant between electricity distributors and the wind energy sector in the Netherlands, the Internal Rate of Return is positive in all cases. Manure digestion then becomes economically interesting for larger farms. At this price for electricity, the extra investment needed for a fuel cell is also recouped.

Table B Summary of sensitivity analysis for a situation with 100 cows, 8500 kg milk per cow, and a price of 10.75 cents per kW/h for electricity

	Basic			Low			High		
	Value	Returns		Value	Returns		Value	Returns	
		CG	FC		CG	FC		CG	FC
gas production (m ³ /m ³ manure)	18	-0.8	-1.4	15	-1.7	-2.1	24	0.4	-0.2
methane content (%)	60	-0.8	-1.4	55	-1.2	-1.8	65	-0.5	-1.1
addition of vegetable matter (%)	0	-0.8	-1.4	5	0.0	-0.6	15	1.3	0.8
addition of fat (%)	0	-0.8	-1.4	5	1.9	1.3	15	5.5	4.6
heat requirement of digester (%)	28.5	-0.8	-1.4	20.0	-0.8	-0.8	32.5	-1.1	-1.4
investm. in digester (NLG/m ³)	884	-0.8	-1.4	600	2.0	0.9	1200	-2.6	-3.0
investm. converter (NLG/kWh)	2500	-0.8	-1.4	1750	0.2	0.5	3250	-1.7	-3.1
price level for energy (%)	100	-0.8	-1.4	80	-2.8	-3.7	150	4.1	4.3
obtained electr. price (ct/kWh)	10.75	-0.8	-1.4	15.75	2.0	2.8	17.75	3.1	3.5

CG = Cogeneration FC = Fuel cell

The returns in the positive scenario are appreciably higher than those in the basic scenario. Experts believe that the technical assumptions made in the positive scenario are feasible. This means that manure digestion can contribute to the income of the farmer and to the generation of clean energy.

A sensitivity analysis was applied to several aspects of the situation in which there is a farm with 100 dairy cows, each producing 8 500 kg milk and kept in the barn throughout the summer, and in which the price for electricity is 10.75 cents per kWh. The results are shown in table B.

From the table it can be seen that the returns from manure digestion improve at a higher price for electricity and by adding vegetable matter or fat to the digester. It might be possible to raise the price obtained for electricity supplied to the grid, by making a covenant with the power companies, as has been done by the producers of wind turbine energy in the Netherlands. Owners of wind turbines receive a guaranteed price of 15.75 cents per kWh for the electricity they supply.

Vegetable matter to add to the digester is easily obtainable on the farm. However, adding material from elsewhere, such as mowings from road verges, will disrupt the input and output of nutrients on the farm, which Dutch farmers are expected to balance in order to reduce eutrophication. The table also shows that when the price for electricity is 10.75 cents per kWh, a total energy installation is more advantageous than a fuel cell, because the investment in the latter is greater. When the price for electricity is slightly higher, however, the fuel cell is more advantageous.


Certain other effects in addition to the economic effects mentioned above are important when manure digestion is used to generate electricity. The following points are important, but were not valued in the economic analysis:

- Manure not used for digestion but spread on the fields is broken down in the soil. This releases carbon dioxide. Combusting the bio-

gas produced from manure releases the same amount of carbon dioxide, but energy is also produced and therefore savings can be made in the combustion of fossil energy. In terms of the balance, therefore, less “new” carbon dioxide is released into the atmosphere. So electricity from biogas can be counted as “green energy”.

- Digestion makes manure thinner and more homogeneous, and therefore lighter equipment can be used to spread it on the fields, thereby saving costs.
- Digestion of manure makes a greater proportion of the nitrogen present in the manure available as mineral nitrogen. Thus the farmer can cut down on fertilizer purchases, and the mineral balance of the farm benefits. Furthermore, extra energy is saved because the production of nitrogenous fertilizer is extremely energy-intensive.
- Digesting manure under mesophilic (35 °C) or thermophilic (55 °C) conditions kills various bacteria. Therefore digestion has a sanitizing effect.

The most important conclusion from this report is that manure digestion can be profitable if the farm is sufficiently large (at least 900 000 kg milk) and the price obtained for the electricity generated is reasonable (at least 15 cents per kWh). The number of Dutch farms meeting farm size criteria has been growing steadily in recent years, and a further upscaling is expected in the Dutch dairy farming industry. Interest in reducing the emission of carbon dioxide is also increasing. These two trends mean that manure digestion is becoming an increasingly interesting option. When the price for electricity is about 15 cents per kWh, using a fuel cell also becomes interesting.

In the light of this conclusion, it would be worthwhile starting an on-farm pilot project, in which manure digestion is initially combined with the use of a cogeneration installation. Once the Netherlands Energy Research Foundation ECN has produced a fuel cell for on-farm trialling, work can begin on making the combination of manure digestion with a fuel cell suitable for implementation by farmers. 

List of figures and tables

PLEASE NOTE, IN ALL FIGURES AND TABLES, COMMAS (DUTCH) REPRESENT DECIMAL POINTS (INTERNATIONAL) AND THOUSAND-SEPARATING POINTS (DUTCH) REPRESENT SPACES (INTERNATIONAL) (e.g.: 10.500 MEANS 10 500, NOT $10 \frac{1}{2}$)

Figure 1 Amount of manure (m^3 per day) available for digestion in systems B (limited grazing) and S (summer feeding)

Legend B = Limited grazing
S = Summer feeding

X axis Date

Y axis Manure available (m^3 /day)

Legend Figure 2 - 9:
Cogeneration, price obtained 10.75 ct/kWh
Fuel cell, price obtained 10.75 ct/kWh
Cogeneration, price obtained 15.75 ct/kWh
Fuel cell, price obtained 15.75 ct/kWh

Figure 2 Internal Rate of Return (%) in relation to gas production

X axis Gas production (m^3 biogas/ m^3 manure)

Y axis Internal Rate of Return (%)

Figure 3 Internal Rate of Return (%) in relation to methane content of biogas

X axis Methane content of biogas (%)

Y axis Internal Rate of Return (%)

Figure 4 Internal Rate of Return (%) in relation to addition of vegetable matter

X axis Vegetable matter added (%)

Y axis Internal Rate of Return (%)

Figure 5 Internal Rate of Return (%) in relation to addition of fat

X axis Fat added (%)

Y axis Internal Rate of Return (%)

Figure 6 Internal Rate of Return (%) in relation to amount of energy (in % of total energy content of biogas produced) required to heat the digester

X axis Heat requirements of digester (% energy content of biogas)

Y axis Internal Rate of Return (%)

Figure 7 Internal Rate of Return (%) in relation to investment in manure digester

X axis Investment in digester (guilders/ m^3)

Y axis Internal Rate of Return (%)

Figure 8 Internal Rate of Return (%) in relation to investment in converter

X axis Investment in converter (guilders/kWh electricity)

Y axis Internal Rate of Return (%)

Figure 9 Internal Rate of Return (%) in relation to price level for energy

X axis Price level of energy (%)

Y axis Internal Rate of Return (%)

Figure 10 Internal Rate of Return (%) in relation to price for energy supplied to grid

Legend Cogeneration

Fuel cell

X axis Price for energy supplied to grid (cents/kWh)

Y axis Internal Rate of Return (%)

Figure 11 Number of Dutch farms per size category from 1990-91 to 1995-96

Legend Year

X axis Farm size category (*1000 kg quota)

Y axis: Number of farms (*1000)

Figure 12 Amount of milk per farm size category

Legend Year

X axis Farm size category

Y axis Quota (million kg milk)

Framework 1 Calculation rules for manure production and young stock

Framework 2 Calculation rules for costs off the manure digester

Framework 3 Example calculation for costs electric capacity

Framework 4 Assumptions off energy-consumption and energyprices



Table 1 Assumptions for the basic and positive scenarios

Table 2 Basic scenario with limited grazing

Table 3 Positive scenario with limited grazing

Table 4 Basic scenario with summer feeding

Table 5 Positive scenario with summer feeding

Table 6 Basic scenario with summer feeding and milking robot