

Rapport 194

Perspectieven mestvergisting op Nederlandse melkvee- en varkensbedrijven

april 2001



PRAKTIJKONDERZOEK
VEEHOUDERIJ



IMAG



Rapport 194

Perspectieven mestvergisting op Nederlandse melkvee- en varkensbedrijven

A.J.H. van Lent
H.J.C. van Dooren

april 2001

Voorwoord

Voor u ligt de rapportage van een haalbaarheidsstudie naar de perspectieven van mestvergisting op boerderijschaal. Het project is uitgevoerd in opdracht van NOVEM in het kader van het programma Reductie Overige Broeikasgassen (projectnummer Novem: 374299/0090).

De doelstelling van het ROB-programma is te komen tot een besparing van de uitstoot van broeikasgassen. De afspraken die op de klimaatconferentie in Kyoto zijn gemaakt worden daarbij als leidraad gehanteerd.

Een deel van de besparing kan worden gerealiseerd in de landbouw. Mestvergisting vermindert de uitstoot van methaan. Door het methaan te verbranden in een warmtekrachtinstallatie kan tevens worden bespaard op elektriciteit en aardgas en daarmee op deels elders geproduceerde CO₂.

In deze studie is berekend op welke bedrijven mestvergisting rendabel is en welke effecten op de uitstoot van broeikasgassen verwacht kunnen worden.

Deze studie is uitgevoerd in nauwe samenwerking met IMAG en CLM. Het CLM heeft een bijdrage geleverd in het berekenen van de energie- en warmtebehoefte op melkvee- en varkensbedrijven, terwijl het Imag gegevens over ammoniakemissies uit vergiste mest heeft aangeleverd. Bij deze wil ik Anton Kool (CLM), Gerjo Koskamp (CLM), Otto van der Laan (CLM), Gert-Jan Monteny (IMAG) en Max Hilhorst (IMAG) bedanken voor hun bijdrage aan deze studie.

Het Praktijkonderzoek Veehouderij bouwt momenteel een vergistingsinstallatie op Nij Bosma Zathe - Praktijkcentrum voor het noordelijke melkveehouderijgebied, nabij Leeuwarden. Daarnaast worden er voorbereidingen getroffen voor de bouw van een installatie op het Praktijkcentrum voor innovatie in de varkenshouderij in Sterksel en op De Marke - Praktijkcentrum voor melkveehouderij en milieu. Deze initiatieven zullen een bijdrage leveren aan de verbreiding van mestvergisting in de veehouderij.

F. Mandersloot,
Divisiehoofd Rundvee, Schapen en Paarden - Bedrijf en Omgeving

Samenvatting

Het Praktijkonderzoek Veehouderij (PV) heeft een studie uitgevoerd naar de haalbaarheid van mestvergisting voor Nederlandse melkvee- en varkensbedrijven. De studie is uitgevoerd in opdracht van de NOVEM. Het betreft een deskstudie op basis van gegevens uit literatuur, van internet en via diverse contacten met experts in binnen- en buitenland. Het PV heeft in 1997 reeds een eerste studie uitgevoerd. Destijds is een rekenmodel ontwikkeld waarmee het economisch effect van mestvergisting voor verschillende bedrijfssituaties berekend kan worden. In deze studie is dit model verder uitgebreid. Nieuwe kennis is ingebracht, de berekeningen zijn uitgebreid naar varkensbedrijven en berekeningen t.a.v. milieueffecten zijn toegevoegd.

Het biogas dat uit vergisting wordt verkregen is in de berekeningen benut om met warmtekrachtkoppeling elektriciteit op te wekken. De investering in de installatie moet deels worden terugverdiend door besparing op aankoop van elektriciteit en aardgas en deels uit teruglevering van elektriciteit aan het net.

In de berekeningen zijn scenario's doorgerekend voor bedrijven met 75 tot 150 melkkoeien die 7.500 tot 10.500 kg melk per koe per jaar produceren. Er is gerekend met beperkt weiden en zomerfeeding. Bij beperkt weiden grazen de koeien overdag en worden ze 's nachts op stal gehouden en bijgevoerd. Bij zomerfeeding blijft het vee de hele zomer op stal. In dat geval is alle mest beschikbaar voor vergisting en is de mestproductie gedurende het hele jaar gelijk. Daardoor wordt steeds de volledige capaciteit van de vergistingsinstallatie benut.

Voor varkens zijn scenario's doorgerekend voor bedrijven met alleen vleesvarkens, alleen zeugen en beide. De bedrijfssomvang varieerde van 1500 tot 3750 vleesvarkens en 200 tot 500 zeugen.

De hoeveelheid biogas die wordt verkregen is afhankelijk van de mestproductie op het bedrijf. Deze is weer afhankelijk van het aantal dieren en, bij koeien, van de hoogte van de melkproductie. 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 de apparatuur steeds op maximale capaciteit benut worden.

De hoeveelheid gas die geproduceerd wordt kan sterk verhoogd worden door toevoeging van andere producten dan mest aan de vergister. De gasproductie per m³ vergisterinhoud wordt hoger door toevoeging van organisch materiaal zoals voerresten, mislukte kuil, bermhooi en dergelijke. Op melkveebedrijven is doorgaans voor deze bedrijfseigen producten een mestvaalt aanwezig. Deze producten kunnen worden meevergist. Dit is naar schatting zo'n 10% op volumebasis t.o.v. de hoeveelheid mest. Bij varkensbedrijven is dat niet het geval. In deze studie is er daarom vanuit gegaan dat varkensbedrijven geen plantaardig materiaal toevoegen.

De toevoeging van vetrijke producten, zoals afgewerkt frituurvet, geeft nog meer biogas. Door het toevoegen van organisch materiaal worden meestal mineralen toegevoegd aan de mest. Hierdoor kan afhankelijk van de bedrijfsomstandigheden een mineralenoverschot ontstaan of kan het overschot groter worden. Ook bij verwerking van bijvoorbeeld bermhooi van buiten het bedrijf kunnen problemen met de mineralenbalans ontstaan. Voor verwerking van bedrijfsvreemde stoffen zoals bermhooi en vet is bovendien mogelijk een ontheffing noodzakelijk. Het is nog niet aan te geven in hoeverre het toevoegen van plantaardig materiaal leidt tot eventuele meerkosten voor voorzieningen aan de vergistingsinstallatie.

De investering in de mestvergister is schaalgevoelig en sterk afhankelijk van de bedrijfsomstandigheden, met name het al dan niet aanwezig zijn van enkele voorzieningen op het bedrijf, zoals leidingen, pompen voorraadkelders e.d. Voor de installaties die passend zijn op de doorgerekende bedrijven is uitgegaan van een investering van f 300.000 excl. BTW. In de praktijk kan dit bedrag ruwweg variëren tussen f 200.000 en f 400.000. Het lage bedrag kan gerealiseerd worden wanneer veel voorzieningen aanwezig zijn en als er een bestaande mestsilo voorhanden is die kan worden omgebouwd tot mestvergister. Het hoge bedrag geldt wanneer een aparte propstroomvergister wordt gebouwd en wanneer weinig voorzieningen aanwezig zijn.

Het geproduceerde biogas wordt gebruikt om elektriciteit op te wekken. Dat kan met een gasmotor in een warmtekrachtkoppelinginstallatie (WKK). Deze heeft een elektrisch rendement van ongeveer 32 procent en een warmterendement van ongeveer 55 procent. Een deel van de warmte wordt benut om het vergistingsproces op gang te houden.

Het economische voordeel van mestvergisting moet voor het belangrijkste deel komen uit verkoop van elektriciteit en besparing op ingekochte elektriciteit en aardgas. De gehanteerde inkoopprijs bedraagt 13,22 cent per kWh in de daluren en 24,33 cent in de piekuren, incl. BTW. Over deze prijs moet een Reguliere Energie Belasting (REB) worden betaald, deze is afhankelijk van de hoeveelheid aangekochte elektriciteit.

De huidige prijs voor teruglevering varieert; het gemiddelde is momenteel 11,89 in de daluren en 17,95 cent/kWh in de piekuren (incl. BTW, excl. toeslag voor Groen Stroom). Energie uit biogas is

echter 'groene energie'. Sommige energiemaatschappijen geven een toeslag voor Groene Stroom die kan oplopen tot 5 cent per kWh. Beide tarieven zijn in alle berekeningen tegen elkaar afgezet. Er is een basisscenario en een positief scenario opgesteld. In het basisscenario zijn voorzichtige uitgangspunten gekozen voor wat betreft gasproductie, investeringen en gehanteerde energieprijzen. In het positieve scenario zijn gunstiger uitgangspunten toegepast die volgens 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 het resultaat moeten dus nog rentelasten betaald worden. Voor investeringen in bio-energie is het waarschijnlijk mogelijk geld uit groenfondslen te verkrijgen waardoor het rentepercentage momenteel ongeveer 5% is. Dat is aanzienlijk lager dan op normale leningen. Wanneer de restwaarde van de vergistingsinstallatie nul is, is het gemiddelde geïnvesteerde bedrag gelijk aan de helft van de oorspronkelijke investering. In deze studie is met het oorspronkelijke investeringsbedrag gerekend maar is het rentepercentage door 2 gedeeld. Het rendement over de investering moet dus momenteel minimaal 2,5% bedragen willen de rentelasten betaald kunnen worden.

De samengevatte resultaten staan in Tabel 1. Het minimum geldt telkens voor het kleinst doorgerekende bedrijf, het maximum geldt voor het grootst doorgerekende bedrijf.

Tabel 1 Overzicht rendement van mestvergistings bij melkvee en varkens (% van geïnvesteerd vermogen)

Teruglevertarief elektriciteit		Geen groene stroom		Wel groene stroom	
Scenario		Min.	Max.	Min.	Max.
<i>Melkvee</i>					
Beperkt weiden	Basis	-5,7	+1,4	-5,0	+3,0
	Positief	-3,2	+8,2	-2,0	+11,2
Summerfeeding	Basis	-4,4	+4,0	-3,3	+6,6
	Positief	-1,2	+12,5	+0,7	+17,1
<i>Varkens</i>					
Alleen zeugen	Basis	-7,5	-2,9	-7,4	-2,6
	Positief	-6,7	+1,9	-5,9	+2,5
Alleen vleesvarkens	Basis	-1,7	+11,2	-0,6	+14,2
	Positief	+3,6	+25,6	+5,6	+30,8
Gesloten bedrijven	Basis	+1,5	+19,2	+2,7	+22,7
	Positief	+9,3	+39,7	+11,5	+45,6

Uit Tabel 1 blijkt dat een toeslag voor groene stroom het rendement verhoogt. Tevens blijkt dat bij summerfeeding het rendement hoger is dan bij beperkt weiden. Bij het positieve scenario is het rendement het hoogst. In Tabel 2 staat een overzicht van alle doorgerekende scenario's en bedrijfssituaties. Hierbij is per situatie aangegeven bij welk melkquotum voor mestvergistings het break-even punt ligt, exclusief en inclusief rentevergoeding.

Tabel 2 Overzicht van de break-even punten exclusief en inclusief rentevergoeding. Bij melkvee weergegeven op basis van het melkquotum, bij varkens a.h.v. het aantal dieren

Scenario		Exclusief rentevergoeding		Inclusief rentevergoeding	
		Geen groene stroom	Wel groene stroom	Geen groene stroom	Wel groene stroom
<i>Melkvee</i>					
Beperkt weiden	Basis	1.425.000	1.188.000	∞	1.425.000
	Positief	850.000	788.000	1.005.000	850.000
Summerfeeding	Basis	1.063.000	950.000	1.278.000	1063.000
	Positief	713.000	563.000	750.000	713.000
<i>Varkens</i>					
Alleen zeugen	Basis	∞	∞	∞	∞
	Positief	500	500	∞	500
Alleen vleesvarkens	Basis	2250	2250	2250	2250
	Positief	1500	1500	1500	1500
Gesloten bedrijven	Basis	200/1500	200/1500	200/1500	200/1500
	Positief	200/1500	200/1500	200/1500	200/1500

Voor zowel varkens als melkvee is op een aantal punten een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd. Bij melkvee is uitgegaan van een bedrijfssituatie met 100 melkkoeien die elk 8.500 kg melk produceren, waarbij het vee 's zomers op stal blijft met een traditionele melkstal en een terugleverprijs met groene stroom.

Bij varkens is uitgegaan van een gesloten bedrijf met 400 zeugen en 3000 vleesvarkens. De resultaten staan in Tabel 3.

Tabel 3 Samenvatting gevoeligheidsanalyse melkvee en varkens bij terugleverprijs met groene stroom

Omschrijving	Basis Rendement (%)			Laag Rendement (%)			Hoog Rendement (%)		
	Waarde	Melkvee	Varkens	Waarde	Melkvee	Varkens	Waarde	Melkvee	Varkens
Gasproductie	100%	-0,6%	15,8%	90%	-2,0%	11,8%	110%	0,8%	20,7%
Plantaardig materiaal	5%	-0,6%		0%	-2,1%		10%	2,3%	
Warmtebehoefte vergister	28,5%	-0,6%	15,8%	20%	-0,6%	18,2%	35%	-0,9%	14,0%
Investerings vergister (f)	300.000	-0,6%	15,8%	200.000	4,6%	29,4%	400.000	-3,2%	9,1%
Subsidie	0%	-0,6%	15,8%				40%	4,2%	31,6%
Prijsniveau energie	100%	-0,6%	15,8%	90%	-1,2%	14,0%	110%	0,0%	17,7%
Terugleverprijs	100%	-0,6%	15,8%	90%	-1,2%	14,7%	110%	0,0%	16,9%

Uit Tabel 3 blijkt dat het rendement van mestvergisting met name kan verbeteren door een lagere aanschafprijs en een eventuele subsidie op de aanschaf. Ook de biogasproductie is van belang en bij varkens een eventuele lagere warmtebehoefte van de vergister zelf. Ook een hogere (teruglever)prijs van stroom en toevoeging van plantaardig materiaal geven een beter rendement. De laatste jaren is de terugleververgoeding voor elektriciteit aanzienlijk gestegen, maar ligt nog altijd niet op het hoge niveau zoals dat bijvoorbeeld in Duitsland geldt.

Voor ieder individueel bedrijf moet worden bepaald of mestvergisting aantrekkelijk is. Specifieke omstandigheden t.a.v. bijvoorbeeld de investering voor de installatie en de benutting van de geproduceerde energie bepalen de rendabiliteit.

Het vergisten van mest is van invloed op de uitstoot van broeikasgassen. In Tabel 4 en Tabel 5 wordt de verminderde uitstoot van broeikasgassen, uitgedrukt in CO₂-equivalenten, weergegeven als percentage van de uitstoot op een zelfde bedrijf zonder vergistingsinstallatie. Omdat de grootte van het melkveebedrijf weinig invloed heeft op de reductie in uitstoot van broeikasgassen zijn in Tabel 4 gemiddelden opgenomen.

Tabel 4 Fractie van CO₂-uitstoot na vergisting op melkveebedrijven (Oorspronkelijke situatie=100)

	Melkstal		Melkrobot	
	Beperkt weiden	Summerfeeding	Beperkt weiden	Summerfeeding
Basis scenario	40%	24%	48%	32%
Positief scenario	38%	22%	46%	30%

Tabel 5 Fractie van CO₂-uitstoot na vergisting bij varkens (gesloten bedrijven in **vet**; oorspronkelijke situatie=100)

Situatie = 100%											
Basisscenario						Positief scenario					
Zeugen	0	200	300	400	500	0	200	300	400	500	
Vleesvarkens											
0	-	37,8%	36,6%	36,0%	35,7%	-	36,3%	35,1%	34,5%	34,1%	
1500	17,8%	24,2%	25,8%	27,0%	27,9%	15,2%	21,7%	23,5%	24,8%	25,8%	
2250	16,9%	22,0%	23,6%	24,8%	25,8%	14,3%	19,3%	21,1%	22,4%	23,5%	
3000	16,4%	20,6%	22,1%	23,3%	24,3%	13,8%	17,9%	19,5%	20,8%	21,9%	
3750	16,1%	19,6%	21,0%	22,1%	23,1%	13,6%	17,0%	18,3%	19,6%	20,6%	

Om de maximale potentiële emissiereductie van mestvergisting te bepalen zijn de economische en milieueffecten van mestvergisting gecombineerd met de bedrijfsgrootteverdeling in de melkvee- en varkenshouderij. In het positieve scenario bedraagt de totale reductie in de uitstoot van broeikasgassen voor de melkveehouderij 191 miljoen kg CO₂-equivalenten. Voor de varkenshouderij

komt dat op 448 miljoen kg CO₂-equivalenten. Mestvergisting biedt daarmee de mogelijkheid om een reductie in de uitstoot van broeikasgassen van 0,64 Mton CO₂-equivalenten te realiseren.

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

- Door vergisting van mest komt een groter deel van de in de mest aanwezige stikstof beschikbaar als minerale stikstof. Hierdoor kan mogelijk bespaard worden op kunstmestaankoop en dus ook op de mineralenbalans. Omdat productie van stikstofkunstmest erg energie-intensief is kan wellicht ook extra energie worden bespaard.
- Door vergisting wordt de mest dunner en homogener doordat slijmstoffen worden afgebroken. Mede hierdoor is vergiste mest beter geschikt voor mestbewerking of -verwerking dan niet vergiste mest.
- Vergiste mest geeft minder geuremissie.
- Wanneer mest in het mesofiele (35 °C) of in het thermofiele (55 °C) traject wordt vergist zullen een aantal soorten bacteriën en onkruidzaden dit niet overleven. Daarom heeft mestvergisting een sanitaire werking.

De belangrijkste conclusies van dit rapport zijn:

1. In het basisscenario is mestvergisting bij melkvee bij beperkt weiden zonder toeslag voor groene stroom niet rendabel, met toeslag voor groene stroom vanaf een melkquotum van 1,4 miljoen kg melk. Bij summerfeeding is het rendabel vanaf 1,3 en 1,1 miljoen kg melk respectievelijk zonder en met toeslag voor groene stroom. In alle gevallen zijn dan ook de rentekosten vergoed, uitgaande van een lening uit een groenfonds.
2. Bij varkens is mestvergisting rendabel vanaf 2250 vleesvarkens en bij een gesloten bedrijf vanaf ongeveer 200 zeugen en 1500 vleesvarkens. Bij alleen zeugen was het bij geen van de doorgerekende bedrijven rendabel om mest te vergisten.
3. Bij een positief, maar naar verwachting op termijn haalbaar scenario, verbetert het rendement aanzienlijk. Wanneer de rentevergoeding wordt inbegrepen is mestvergisting rendabel bij beperkt weiden vanaf 1.000.000 en 850.000 kg quotum, respectievelijk zonder en met toeslag voor groene stroom. Bij summerfeeding is het rendabel bij respectievelijk 750.000 en 713.000 kg quotum.
4. Bij varkens is het rendabel vanaf 1500 vleesvarkens en bij een gesloten bedrijf vanaf ongeveer 200 zeugen en 1500 vleesvarkens. Bij deze resultaten dient opgemerkt te worden dat de stapgrootte in de bedrijfsomvang in deze studie groot was. Het break-even punt kan dus in werkelijkheid op een kleinere bedrijfsomvang liggen.
5. Mestvergisting draagt aanzienlijk bij aan de vermindering van de uitstoot van broeikasgassen. In het basisscenario bij melkvee is de besparing 43 en 52 kg CO₂-equivalenten per m³ vergiste mest bij respectievelijk beperkt weiden en summerfeeding. Bij varkensbedrijven is de besparing bij alleen zeugen 119 kg per m³ mest, bij alleen vleesvarkens 128 en bij gesloten bedrijven 125 kg CO₂-equivalenten per m³ mest. Bij zowel melkvee- als varkensbedrijven is in het positieve scenario is de besparing iets groter.
6. Een reductie op landelijk niveau in de uitstoot van broeikasgassen met 0,64 Mton CO₂-equivalenten is mogelijk.

De groep van bedrijven met voldoende omvang groeit de laatste jaren sterk. Een verdere schaalvergroting in de melkvee- en varkenshouderij wordt verwacht. Ook krijgt besparing op de CO₂-uitstoot steeds meer nadruk. Gezien de toename in bedrijfsgrootte en de verdergaande aandacht voor besparing op CO₂-uitstoot in de komende jaren wordt mestvergisting in toenemende mate een interessante optie.

Veel uitgangspunten uit deze studie zijn afkomstig uit het buitenland en verzameld onder andere omstandigheden. De milieueffecten van mestvergisting zijn gebaseerd op oriënterend onderzoek. Gezien de slechte ervaringen met mestvergisting in het verleden heeft het de voorkeur om mestvergisting te onderzoeken op proefbedrijven, voordat het opnieuw in de praktijk wordt geïntroduceerd.

Summary

At the Research Institute for Animal Husbandry (PV) a study has been conducted on the feasibility of anaerobic manure digestion for individual Dutch dairy and pig farms. The study, commissioned by NOVEM, was a desk study based on data from the literature, from internet and from contacting experts in the Netherlands and abroad. PV carried out a preliminary study back in 1997, during which a model was developed for calculating the economic impact of manure digestion for various farm scenarios. In the latest study new information was incorporated into the model. The improved model can do calculations for pig farms and can calculate environmental impacts.

The calculations assume the total energy from biogas produced by the digestion is used to generate electricity. The investment in the unit must be recouped from the savings made on purchasing electricity and natural gas, and by supplying electricity to the grid.

The scenarios for which calculations were made ranged for dairy farms from 75 to 150 milk cows yielding 7500 to 10,500 kg milk per year. There were two management scenarios: limited grazing and summer feeding. In the first of these, the cows graze during the day and spend the night in the barn, where they receive supplementary feeding. In the second option the cows spend the entire summer in the barn. In this case, all the manure is available for digestion and the manure production remains constant throughout the year. As a result, the digestion unit is always used at full capacity.

The scenarios used for pig farms were for weaner producers, feeders, and breeder feeders. The farms varied in size from 1500 to 3750 porkers and 200 to 500 sows.

The amount of biogas obtained depends on the volume of manure generated on the farm. In turn, this depends on number of animals and, in the case of cows, on the milk yield. To have sufficient manure in summer for digestion, it is important for the cows to be kept in the barn – at least at night. In a system in which the animals remain in the barn throughout the summer the supply of manure remains constant and the apparatus can be continuously used at maximum capacity.

The amount of gas produced can be greatly increased by adding other, non-manure, products to the digester. The gas production per m³ of the digester's capacity can be raised by adding organic material such as left-over feed, failed silage, hay from verges, etc. Dairy farms generally pile these products up in a compost heap, but they can be added to the digester. Adding fatty products, such as old chip oil increases the biogas output. Adding organic material usually increases the mineral content of the manure. Depending on the farm circumstances, this can give rise to a mineral surplus, or, if the farm already has such a surplus, can increase it.

The investment in a manure digester is scale-dependent and very dependent on farm circumstances, particularly on whether certain facilities (such as pipes, pumps, storage pits) are already present. It was assumed that the investment would be 300,000 guilders, excluding VAT. In practice, this sum will vary between about 200,000 and 400,000 guilders. The low amount can be achieved if many facilities are already present and the farm has a manure silo that can be converted into a manure digester. The large sum applies when a separate batch flow digester is built and when few facilities are available on-farm.

The biogas generated is used to generate electricity, using a gas engine in a total energy unit. This has an electrical efficiency of about 32% and a heat efficiency of about 55%. Some of the heat is used to maintain the digestion process.

Most of the economic advantage of manure digestion comes from selling electricity and saving on purchase of electricity and natural gas. The purchase price was assumed to be 13.22 cents per kWh off-peak and 24.33 in peak times, both including VAT. A Regular Energy Tax has to be paid on this price; it depends on how much electricity is purchased.

The current price for supplying electricity to the grid varies. On average it is now 11.89 cents off-peak and 17.95 cents in peak times (including VAT but excluding the bonus for Green Electricity). But because energy from biogas is 'green energy', some electricity companies pay extra for it: the bonus can be up to 5 cents per kWh. In all the calculations both tariffs were compared.

Two scenarios were drawn up: base and positive. In the former, conservative starting-points were chosen for gas production, investment and energy prices. The positive scenario had more favourable starting points, which experts believe are realistic.

The result of the calculation is expressed as Internal Rate of return (IRR). It is the recompense obtained for labour and invested capital. From these returns the interest due must be paid. Otherwise, it is probably possible to obtain money to invest in bio-energy from 'green funds' that have much lower interest rates (about 4.5%) than regular loans. The results are summarised in Table 1. The minimum is always for the smallest farm used in the calculations, the maximum for the largest.

Table 1 Overview of returns from manure digestion, for dairy cattle and pigs (% of invested capital)

Tariff for supplying electricity to grid		No green electricity bonus		With green electricity bonus	
	Scenario	Min.	Max.	Min.	Max.
<i>Dairy cattle</i>					
Limited grazing	Base	-5.7	+1.4	-5.0	+3.0
	Positive	-3.2	+8.2	-2.0	+11.2
Summer feeding	Base	-4.4	+4.0	-3.3	+6.6
	Positive	-1.2	+12.5	+0.7	+17.1
<i>Pigs</i>					
Weaner producer	Base	-7.5	-2.9	-7.4	-2.6
	Positive	-6.7	+1.9	-5.9	+2.5
Feeder	Base	-1.7	+11.2	-0.6	+14.2
	Positive	+3.6	+25.6	+5.6	+30.8
Breeder feeder	Base	+1.5	+19.2	+2.7	+22.7
	Positive	+9.3	+39.7	+11.5	+45.6

Table 1 shows that a bonus for green electricity raises the returns, and that returns are higher under summer feeding than under limited grazing.

Table 2 gives an overview for all the scenarios and farm situations for which calculations were done. The milk quota at which is the break-even point for manure digestion is shown for each situation, excluding and including payment of interest. In the case of payment of interest, it assumed that the loan is from a green fund and the interest is 4 to 5%. At a remaining value of zero, the interest rate can be halved. The returns on investment will then have to be 2 – 2.5%.

Table 2 Overview of the break-even points with and without interest payment. For dairy cattle, based on the milk quota (quota x 1000 kg); for pigs, based on number of animals

		Without interest payment		With interest payment	
		No green electricity bonus	With green electricity bonus	No green electricity bonus	With green electricity bonus
<i>Dairy cattle</i>					
Limited grazing	Base	1.425	1.188	negligible	1.425
	Positive	850	788	1.005	850
Summer feeding	Base	1.063	950	1.278	1063
	Positive	713	563	750	713
<i>Pigs</i>					
Weaner producer	Base	negligible	Negligible	negligible	negligible
	Positive	500	500	negligible	500
Feeder	Base	2250	2250	2250	2250
	Positive	1500	1500	1500	1500
Breeder feeder	Base	200/1500	200/1500	200/1500	200/1500
	Positive	200/1500	200/1500	200/1500	200/1500

A sensitivity analysis was done on a number of aspects, for both the pig and the dairy farm situations. For the former, the assumption was a breeder feeder with 400 sows and 3000 porkers was assumed. For latter, the assumption was 100 milk cows, each producing 8500 kg milk, with the cows being kept in the barn in the summer, a conventional milking parlour and a price for supplying electricity to the grid with a bonus for green electricity. The results are shown in Table 3.

Table 3 Summarised sensitivity analysis for dairy cattle and pigs, assuming a price for supplying electricity to the grid that includes a bonus for green electricity

Description	Base			Low			High		
	Value	Returns (%)		Value	Returns (%)		value	Returns (%)	
		Dairy cattle	pigs		Dairy cattle	Pigs		Dairy cattle	pigs
Gas production	100%	-0.6	15.8	90%	-2.0	%11.8	110%	0.8	20.7
Vegetative material	5%	-0.6	15.8	0%	-2.1	not applicable	10%	2.3	not applicable
Heat requirement	28.5%	-0.6	15.8	20%	-0.6	18.2	35%	-0.9	14.0
Digester Investment in digester (guilders)	300.000	-0.6	15.8	200.000	4.6	29.4	400.000	-3.2	9.1
Subsidy	0%	-0.6	15.8	not applicable	not applicable	not applicable	40%	4.2	31.6
Price level of energy	100%	-0.6	15.8	90%	-1.2	14.0	110%	0.0	17.7
Price for supplying grid	100%	-0.6	15.8	90%	-1.2	14.7	110%	0.0	16.9

From Table 3 it is clear that the returns from manure digestion can be greatly improved by reducing the price paid for the digester and by purchase of the digester being subsidised. The biogas production is also important. In the case of pigs, so is a lower heat requirement of the digester. A higher price for electricity (and for electricity supplied to the grid) and the addition of vegetative material also improve returns. In recent years the remuneration for electricity supplied to the grid has increased appreciably, but it is still not as high as elsewhere (e.g. in Germany).

Adding vegetative material from the farm is not a problem. In the case of a dairy enterprise there is generally enough vegetative material on the farm. However, this is not the case on pig farms and therefore in this study it was assumed that pig farms did not add vegetative material but dairy farms did. The material that falls into the shallow manure pit can generally be added to the digester. This was estimated to be 10% of the volume of the amount of manure.

Problems with the mineral balance may arise; for instance, when off-farm hay from verges is processed. Furthermore, exemption may be required to process off-farm materials such as verge hay and oil.

It is not yet possible to say to what extent adding vegetative material could result in additional costs for facilities for the digestion unit.

The financial attractiveness of manure digestion must be determined for each individual farm because the profitability depends on specific circumstances, such as the investment needed in the unit and the utilisation of the energy produced.

Manure digestion affects the emission of greenhouse gases. In Tables 4 and 5 the reduction in emissions of greenhouse gases (expressed in CO₂ equivalents) is expressed as a percentage of the emissions from the same farm without a digestion unit. The results for dairy farm are summarised because the differences in emission reduction between different farm sizes were very small

Table 4 Percentage of CO₂ emission after digestion on dairy farms.
Benchmark situation (without digestion) =100

	Milking parlour		Milking robot	
	Limited grazing	Summer feeding	Limited grazing	Summer feeding
Base scenario	40%	24%	48%	32%
Positive scenario	38%	22%	46%	30%

Table 5 Percentage of CO₂ emission after digestion, for pigs (in bold: breeder feeders) (benchmark situation (without digestion) =100)

	Base scenario					Positive scenario				
Sows	0	200	300	400	500	0	200	300	400	500
Porkers										
0	-	37.8%	36.6%	36.0%	35.7%	-	36.3%	35.1%	34.5%	34.1%
1500	17.8%	24.2%	25.8%	27.0%	27.9%	15.2%	21.7%	23.5%	24.8%	25.8%
2250	16.9%	22.0%	23.6%	24.8%	25.8%	14.3%	19.3%	21.1%	22.4%	23.5%
3000	16.4%	20.6%	22.1%	23.3%	24.3%	13.8%	17.9%	19.5%	20.8%	21.9%
3750	16.1%	19.6%	21.0%	22.1%	23.1%	13.6%	17.0%	18.3%	19.6%	20.6%

To determine the maximum potential emission reduction achieved by manure digestion, the economic and environmental impact of manure digestion were combined with the size of the cattle and pig farms. For the positive scenario the total reduction in the emission of greenhouse gases was 191 million kg CO₂ equivalents for a dairy enterprise and 448 million kg CO₂ equivalents for a pig farm. This means that manure digestion has the potential to reduce the emission of greenhouse gases by 0.64 Mton CO₂ equivalents.

Using manure digestion to generate electricity and heat has a number of other effects in addition to the economic and environmental effects mentioned above. The following points are important, even though they were not estimated in the analysis of economic and environmental aspects.

- Digestion makes more of the nitrogen present in the manure available as mineral nitrogen. This could bring savings in the purchase of artificial fertiliser and thus benefit the farm's mineral balance. And as the production of nitrogen fertiliser is very energy-intensive, this could also save energy.
- Digestion makes the manure thinner and more homogeneous, because slime compounds are degraded. This is one of the reasons why digested manure is more suitable for treatment or processing than undigested manure.
- Digested manure is less odorous
- When manure is digested in a mesophile (35 °C) or thermophile (55 °C) system various bacteria and weed seeds are killed. Thus, manure digestion has a sanitising effect.

The most important conclusion from this report is that at the present price paid for supplying electricity to the grid, and given a sufficiently large farm enterprise, manure digestion can be remunerative. In recent years the number of sufficiently large farms in the Netherlands has increased sharply and further upscaling is expected in dairy and pig farming. More emphasis is also being given to reducing CO₂ emissions. Given these trends, in the coming years manure digestion will become an increasingly interesting option.

Many of the data input in this study were from outside the Netherlands and were collected under different conditions. The environmental impact of manure digestion was based on results from exploratory research. Given the disappointing results previously obtained with manure digestion, it would be preferable to trial manure digestion on experimental farms in the Netherlands before introducing it into the industry again.

Inhoudsopgave

Voorwoord

Samenvatting

Summary

1	Inleiding	1
1.1	Doelstelling	1
1.2	Afbakening	1
1.3	Aanpak	2
2	Literatuuronderzoek	3
2.1	Principe vergisting	3
2.2	Ervaringen uit het verleden	3
2.3	Ervaringen in het buitenland	4
2.4	Biogasproductie vanuit mest	5
2.4.1	Effect van voorbewerking op biogasproductie	6
2.4.2	Toevoegen organisch materiaal	6
2.5	Bemestingswaarde vergiste mest	6
2.6	Geuremissie	7
2.7	Investeringskosten in vergistingsinstallaties	7
2.7.1	Prijzen uit offertes	8
2.7.2	Prijzen uit de literatuur	8
2.7.3	Jaarkosten	8
2.8	Onkruidzaden en pathogenen	8
2.9	Systemen	9
2.9.1	Typen vergisters	9
2.9.2	Vergelijking thermofiele en mesofiele vergisting	9
2.9.3	Benutting van biogas	10
2.9.4	Arbeid en enkele praktische tips	11
3	Uitgangspunten berekeningen	12
3.1	Mestproductie	12
3.2	Gasproductie	12
3.3	Kosten vergister	13
3.4	Energiegebruik en -tarieven	14
3.5	Bedrijfssituaties	16
3.5.1	Melkveehouderij	16
3.5.2	Varkenshouderij	16
3.6	Scenario's	17
3.7	Milieueffecten mestvergisting	18
4	Resultaten economie	21
4.1	Resultaten melkvee beperkt weiden (B)	21
4.1.1	Basis scenario	21
4.1.2	Positief scenario	22
4.2	Resultaten melkvee summerfeeding (S)	23
4.2.1	Basis scenario	23
4.2.2	Positief scenario	23

4.3	Samenvatting melkvee.....	24
4.4	Resultaten varkens	25
4.4.1	Basis scenario.....	25
4.4.2	Positief scenario.....	26
5	Resultaten Milieu	27
5.1	Resultaten melkvee beperkt weiden (B)	27
5.2	Resultaten melkvee summerfeeding (S).....	28
5.3	Resultaten varkens	28
6	Gevoeligheidsanalyse	30
6.1	Gasproductie.....	30
6.2	Verblijfsduur vooropslag	31
6.3	Gasproductie in mestopslag	32
6.4	Toevoegingen	33
6.5	Warmtebehoefte mestvergister.....	35
6.6	Investering mestvergister	36
6.7	Prijsniveau energie	37
6.8	Terugleverprijs elektriciteit	38
6.9	Effect bedrijfsuren vergister	39
7	Ontwikkelingen in bedrijfsgrootten en potentiële emissiereductie	40
7.1	Melkvee	40
7.2	Varkens	41
7.3	Potentiële emissiereductie	41
8	Conclusies en aanbevelingen	42
	Literatuur	45
	Bijlagen	49
	Bijlage 1 Investeringsverhoudingen en kostenpercentages biogasinstallatie	49
	Bijlage 2 Literatuurgegevens biogasproducties rundveemest.....	50
	Bijlage 3 Literatuurgegevens biogasproducties varkensmest	52
	Bijlage 4 Toelichting TEWI-benadering	53
	Bijlage 5 List of tables en figures	61

1 Inleiding

In de veehouderij is momenteel een groeiende belangstelling voor mestvergisting op boerderijschaal. Deze belangstelling is gebaseerd op de perspectieven die mestvergisting lijkt te bieden op het gebied van reductie in de uitstoot van broeikasgassen en besparing op de aankoop van energie.

Dit verslag geeft de resultaten weer van een studie naar de haalbaarheid van mestvergisting op bedrijfsniveau die in opdracht van de NOVEM is uitgevoerd, in het kader van het programma "Reductie Overige Broeikasgassen".

Nederland heeft zich, naar aanleiding van de klimaatconferentie in Kyoto van december 1997, verplicht om in de periode 2008-2010 een vermindering in de uitstoot van broeikasgassen van 6% ten opzichte van 1990 te realiseren. Mestvergisting kan een bijdrage leveren aan het nakomen van deze afspraken.

Organische stof die in de mest aanwezig is wordt tijdens de opslag van de mest en in de bodem afgebroken. Daarbij komen o.a. de broeikasgassen methaan (CH_4) en koolstofdioxide (CO_2) vrij. Methaan heeft een 21 maal sterkere broeikaswerking dan koolstofdioxide. Door mest te vergisten wordt een aanzienlijk deel van de organische stof gecontroleerd afgebroken in een "gesloten" biogasreactor. Het biogas wordt opgevangen en met het methaan wordt energie (elektriciteit en warmte) opgewekt. Hierdoor vermindert de emissie van CH_4 . Bovendien zijn door de eigen opwekking van energie, minder fossiele brandstoffen nodig. Per saldo is daardoor de uitstoot van broeikasgassen, uitgedrukt in kg CO_2 -equivalenten, geringer.

Verder kan mestvergisting bijdragen aan de doelstelling die is afgesproken in een convenant tussen de overheid en de energiebedrijven om energie te winnen uit biomassa. Door mestvergisting blijft een groter deel van de energie binnen de kringloop op landbouwbedrijven.

De energie die door mestvergisting opgewekt wordt, kan in principe voldoende zijn om in de energiebehoefte van het bedrijf te voorzien. De warmte die bij de opwekking van stroom vrij komt, kan op veehouderijbedrijven deels benut worden voor het vergistingsproces zelf, deels voor verwarming van het woonhuis en bij varkensbedrijven voor verwarming van de stallen. Met name de benutting van de proceswarmte die vrijkomt is een groot voordeel van mestvergisting op boerderijschaal ten opzichte van centrale mestvergisting.

1.1 Doelstelling

Algemene doelstelling van deze studie is het verkennen van de economische en milieuperspectieven van mestvergisting op Nederlandse melkvee- en varkensbedrijven. Daarbij gaat het om het verkrijgen van inzicht in:

- de stand van techniek op het gebied van mestvergisting;
- de te verwachten gevolgen van de introductie van mestvergisting op de uitstoot van broeikasgassen in Nederland;
- de randvoorwaarden voor de introductie van een economisch rendabele van mestvergisting.

1.2 Afbakening

Mestvergisting kan om verschillende redenen en op verschillende manieren worden toegepast. Eind jaren '70 ging het met name om het winnen van energie uit mest, destijds ingegeven door een schaarste aan energie en hoge energieprijzen. Later is mestvergisting veelal onderzocht in het kader van mestverwerking. Voordeel van mestvergisting in dat kader is dat de mest homogener wordt en zich beter laat scheiden in een dikke en dunne fractie. Bovendien wordt door vergisting een deel van de organische stikstof gemineraliseerd, die na mestscheiding in de dunne fractie terechtkomt. De vrijgekomen energie kan worden benut in de verdere verwerking.

In deze studie wordt mestvergisting besproken uitgaande van de toepassing op boerderijniveau. Deze installaties hebben een relatief kleine capaciteit: tot ca 4.000 ton mest op jaarbasis. In het verleden heeft mestvergisting ook centraal plaatsgevonden, bij loonwerkers of samenwerkende bedrijven. De capaciteit van dergelijke installaties kan oplopen tot 25.000 ton mest op jaarbasis. Bedrijfsmatig gezien zijn deze processen sterk verschillend.

Ook wordt in deze studie geen aandacht besteed aan mestscheiding na vergisting. De processen die bij mestscheiding plaatsvinden zijn niet typerend voor een vergistingsinstallatie en leveren naar verwachting geen verdere bijdrage in de vermindering van de uitstoot van broeikasgassen.

Toch beperkt deze studie zich niet uitsluitend tot de processen die in de biogasreactor plaatsvinden. Ook emissies van broeikasgassen voor en na het vergisten en de effecten van vergisten daarop, worden besproken. Daarbij wordt er van uitgegaan dat de emissies tijdens het transport van mest (verpompen van mest tussen stal, opslag en vergister) verwaarloosbaar zijn. Vergisting van pluimveemest is technisch erg lastig, omdat veel pluimveemest de laatste jaren als droge mest wordt opgevangen. Daarom wordt alleen gesproken over rundvee- en varkensmest. Pluimveemest kan wel in combinatie met andere mestsoorten worden vergist.

1.3 Aanpak

De gegevens die in deze haalbaarheidstudie zijn gebruikt zijn afkomstig van een groot aantal bronnen.

- Daar er bijzonder veel literatuur over mestvergisting beschikbaar is, werd voor deze studie een grote hoeveelheid literatuur verwerkt.
- In 1997 heeft het PR reeds een studie verricht naar de perspectieven van mestvergisting (Nijssen, *et al* 1997). Voor deze studie is in een aantal nieuwsgroepen op het internet 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. Tevens is uitgebreid gebruik gemaakt van de kennis van experts op het gebied van mestvergisting en conversie van biogas. De resultaten van de studie zijn ook aan de groep experts gepresenteerd. Daarna zijn de berekeningen nog enigszins bijgesteld. Het door Nijssen *et al.* ontwikkelde model is gebruikt als basis voor de nu voorliggende rapportage.
- Deze studie is uitgevoerd in samenwerking met het Centrum voor Landbouw en Milieu (CLM) en het Instituut voor Milieu- en Agritechniek (IMAG). Van de expertise van deze beide instituten is gebruik gemaakt, het CLM heeft veel kennis ingebracht omtrent energie (elektriciteit en warmte). Het IMAG heeft met name kennis ingebracht rondom de effecten van mestvergisting op het milieu (methaan- en ammoniakemissie).

Het gebruik van deze bronnen is met name gericht op het krijgen van gegevens voor aanpassing en uitbreiding van de spreadsheet die ten grondslag lag aan de studie van Nijssen *et al.* (1997). Met deze spreadsheet kan het perspectief van mestvergisting voor een melkvee- en varkensbedrijf berekend worden en worden de milieueffecten inzichtelijk gemaakt.

In de studie is een groot aantal alternatieven uitgewerkt. Hierdoor wordt inzicht gegeven in effecten van het gebruik van vergistingsgrondstof (mest, organisch materiaal), de gasproductie en gaskwaliteit, de investerings- en exploitatielasten van vergister en gasmotor en uiteindelijk in het rendement van het hele systeem.

Hoofdstuk 2 geeft een samenvatting van de gebruikte literatuur. In hoofdstuk 3 zijn de uitgangspunten voor de berekeningen weergegeven. Hoofdstuk 4 geeft de resultaten van de berekeningen t.a.v. economie. In hoofdstuk 5 staan de resultaten t.a.v. milieu. In hoofdstuk 6 wordt de gevoeligheidsanalyse van een aantal uitgangspunten gegeven. In hoofdstuk 7 staan enige achtergronden omtrent bedrijfsontwikkeling in de melkvee- en varkenshouderij. Tenslotte staan in hoofdstuk 8 de conclusies en aanbevelingen.

2 Literatuuronderzoek

Mestvergisting is in het verleden reeds op uitgebreide schaal onderzocht, niet alleen in Nederland, maar in veel landen over de hele wereld. In dit hoofdstuk staan de belangrijkste resultaten van een uitgebreid literatuuronderzoek.

2.1 Principe vergisting

De productie van biogas uit mest is het gevolg van een aantal microbiële omzettingen, die alleen onder bepaalde condities plaatsvinden. Men onderscheidt hierbij de zure gisting die voornamelijk vluchtige vetzuren produceert (hydrolyse en acetogenese) en de methaangisting (methanogese) die de gevormde vetzuren omzet in CO_2 en CH_4 . Bij een goedwerkende biogasinstallatie is er een evenwicht tussen beide processen (Van der Hoek, 1983)

Beide processtappen kennen hun eigen optimale condities. Bij volledig gemengde doorstroomvergisters, die in het verleden in Nederland het meest werden toegepast, verlopen beide processen onder dezelfde omstandigheden. Door beide stappen na elkaar te laten verlopen, verloopt het proces beter. Dat kan in een propstroomvergister, ook wel doorstroomvergister of partieel geroerde vergister genaamd.

Een installatie voor mestvergisting op boerderijschaal ziet er als volgt uit. Om een constante aanvoer van homogene mest te verkrijgen wordt deze in een verzamelput bijeengebracht. Hier worden eventuele verschillende mestsoorten bij elkaar gevoegd en gemengd. Ook kunnen in deze put stoffen aan de mest worden toegevoegd, bijvoorbeeld organisch materiaal. Vervolgens wordt de mest regelmatig in kleine porties overgepompt naar de vergister. De vergister kan op verschillende wijzen worden uitgevoerd: een propstroomvergister (meestal een liggende tank) of volledig geroerde vergister (meestal een omgebouwde of aangepaste mestsilo). In beide gevallen is een mengvoorziening aanwezig. Vanuit de vergister komt de mest in een navergister. Hierin koelt de mest af, waarna deze naar de eindopslag wordt getransporteerd. Wanneer de (na)vergister tevens dient als mestopslag, blijft de mest in de vergister totdat de mest wordt toegediend op het land. Het biogas wordt normaliter opgevangen in een gaszak. Deze is aangesloten op de vergister. Bij vergisting in een mestsilo hangt de gaszak boven in de silo. Bij propstroomvergisters ligt de gaszak boven in een loods of boven de navergister. In de gasopslag wordt het biogas ontwaveld, om schade aan de verwerkingsapparatuur te voorkomen. De laatste jaren wordt doorgaans een goedkope biologische ontwaveling toegepast, door een kleine hoeveelheid lucht toe te voegen aan het gas in de gasopslag. Het biogas wordt daarna verbrand in een speciale biogasmotor. Deze wekt elektriciteit op. De warmte die hierbij vrijkomt wordt deels gebruikt voor verwarming van de vergister en deels voor verwarming van stal en woning.

2.2 Ervaringen uit het verleden

Mestvergisting is eind jaren '70, begin jaren '80 uitgebreid in Nederland onderzocht. De meeste projecten zijn na enkele jaren stopgezet. Redenen van het technisch falen in die periode waren (Anonymus, 1990; Mot *et al*, 1985):

- mestvergisting bevond zich in een experimenteel stadium;
- storingen en slijtage (veelal door de corrosieve eigenschappen van niet of slecht gereinigd gas);
- vorming van bezink- en/of drijfslagen, door slechte mengvoorzieningen;
- tekort schietende verwarming van de vergisters, vervuiling, lekkages, verkeerd berekende systemen, schuimvorming, verstopping, condensvorming, verkeerde materiaalkeuze etc.;
- biogasmotoren: lekkage, verkeerde bedrading, inadequate bedrading etc.;
- de gebruikte apparatuur was niet altijd afgestemd op toepassing in een dergelijke installatie;
- door onregelmatige mesttoevoer werden de vergisters niet altijd optimaal belast waardoor m.n. bij varkensmest voorvergisting kon optreden in de mestkelders. Dit ging ten koste van de gasopbrengst.

Deze problemen waren terug te voeren op een te snelle implementatie in de praktijk. Hierdoor werd te vaak gekozen voor goedkope oplossingen die uiteindelijk toch duur uitvielen.

Redenen van het economisch falen waren:

- technisch falen (lage opbrengst, hoge operationele kosten);
- hoge investeringen;
- daling van de energieprijzen.

Lusk (1994) meldt dat er in de USA omstreeks 1994 zo'n 73 vergisters op boerderijschaal waren. Ruim de helft (42) daarvan waren propstroom vergisters. Van deze 42 waren er 33 buiten werking. Ook van andere typen vergisters waren er veel buiten werking. Verkeerde apparatuur en materialen waren vaak de oorzaak van falen. De slagingskans van mestvergisting hangt af van de match tussen type vergister, mestmanagement en ontwerp van de installatie.

2.3 Ervaringen in het buitenland

Hoewel de introductie van mestvergisting in Nederland eind jaren '70, begin jaren '80 is mislukt, is deze in het buitenland doorgedaan. In deze paragraaf worden de ontwikkelingen in het buitenland, die in Nederland en de verschillen tussen Nederland en het buitenland beschreven.

Schomaker en Moen (1993) geven aan waarom mestvergisting in Denemarken wel van de grond gekomen is. In Denemarken heeft mestvergisting een ander doel dan in Nederland. Terwijl in Nederland mestvergisting bedoeld was als tussenstap in mestverwerking wordt in Denemarken mestvergisting toegepast voor energieopwekking op centraal niveau. In Denemarken is geen mestoverschot zodat de mest gemakkelijk kan worden afgevoerd; dat gebeurt centraal vanaf de biogasinstallatie, nadat de mest is vergist. Het aardgasnet in Denemarken is veel minder vertakt, zodat het aantrekkelijk is om het biogas in de buurt te distribueren. Er zijn veel lokale warmtekrachtcentrales, zodat de opgewekte warmte en elektriciteit makkelijk aan het bestaande leidingnet kunnen worden afgegeven. De terugleverprijzen van gas en energie waren altijd veel hoger dan in Nederland, de elektriciteitsprijs was eind jaren '80 ruim dubbel zo hoog.

Lindboe *et al.* (1995) stellen dat de biogasproductie per m^3 influent in Denemarken erg hoog is. Door 10 tot 20% organisch materiaal toe te voegen wordt 30 – 35 m^3 biogas geproduceerd per m^3 influent. Installaties met meer organisch materiaal halen 80 – 100 m^3 biogas per m^3 influent. Door het gas in de navergister ook op te vangen, stijgt de productie met 5 – 10%. Door de mechanische delen van mixers buiten de vergister te plaatsen zijn de onderhoudskosten verminderd. Sinds 1993 wordt in Denemarken met veel succes gas gezuiverd door tot 4% lucht toe te voegen aan het gas. H_2S wordt hierdoor omgezet naar waarschijnlijk sulfaat en elementair zwavel. Het gehalte H_2S daalt dan tot rond de 100 ppm. Gasopslag vindt de laatste jaren met name plaats in gaszakken. Deze zijn goedkoper geworden, zodat steeds meer bedrijven biogas verbranden tijdens de piekuren in de elektriciteitsbehoefte.

De Boo *et al.* (1994) geeft aan dat in Denemarken al eerder dan in Nederland een opslagplicht voor mest gold. Voor veel boeren was centrale vergisting meteen ook hun mestopslag, wat een kostenbesparing gaf. Tevens wordt in Denemarken de terugvoer van organische afvalstoffen naar landbouwgrond sterk gestimuleerd; in Nederland is daaromtrent veel onduidelijkheid.

Okken (1985) meldt dat in Italië vaak op grote schaal vergist wordt met vergisters van ongeveer 1000 m^3 inhoud. Verder zijn er veel installaties in Duitsland en Zwitserland. Ook in de VS en Canada staan veel installaties. Verder heeft met name China veel installaties, in 1985 waren er daar 7 miljoen.

In Duitsland wordt mestvergisting, in tegenstelling tot Denemarken, vooral op boerderijniveau toegepast. Volgens Schnell (2000) waren er in 1997 circa 300 biogasinstallaties op boerderijniveau. In Duitsland wordt mestvergisting beleidsmatig gestimuleerd met investeringssubsidies en hoge terugleverprijzen voor elektriciteit. In het voorjaar van 2000 zijn de terugleverprijzen gestegen naar DM 0,20 per kWh gedurende 24 uur per dag. Met name het toevoegen van organisch afval maakt mestvergisting in Duitsland rendabel. Enerzijds krijgen veehouders betaald voor het afnemen van organisch afval, anderzijds is de biogasproductie aanzienlijk hoger dan bij vergisting van alleen mest, waardoor meer elektriciteit verkocht kan worden.

Amon (1995) beschrijft dat mestvergisting in Oostenrijk interessanter is geworden doordat er veel technische vooruitgang is geboekt. Daarnaast zijn veehouders bereid om organisch afval te verwerken en krijgen ze daarvoor betaald. Door organisch afval te verwerken is de gasproductie sterk gestegen. De energetische benutting is sterk verbeterd door warmtekrachtkoppelingen. Bovendien zijn de terugleverprijzen gestegen.

Anonymus (1988) stelt dat in het buitenland dikwijls dunne mest wordt vergist. De toegepaste vergistingstechnologie is daarom niet zonder meer overdraagbaar naar Nederland, met mest met 10% droge stof en meer. Wel is het mogelijk om buitenlandse kennis te gebruiken bij de optimalisatie van vergisters in Nederland.

Mestvergisting is aantrekkelijk voor elektriciteitsmaatschappijen omdat biogasinstallaties op afstand gestuurd kunnen worden. Gedurende de piekuren kunnen de maatschappijen een aantal decentrale installaties aansturen, zodat die extra elektriciteit leveren, terwijl de elektriciteitscentrale de basisbehoefte kan blijven leveren. Op dit punt heeft mestvergisting een voordeel ten opzichte van wind- en zonne-energie.

Kort samengevat is er technisch gezien weer perspectief voor mestvergisting in Nederland doordat de ontwikkeling in het buitenland is doorgegaan en een aantal verbeteringen heeft opgeleverd. De kennis rondom het proces, het substraat en het biogas is sterk toegenomen en biogasmotoren zijn aanmerkelijk verbeterd. Door een beetje zuurstof toe te voegen kan biogas simpel en efficiënt ontgaan worden van het schadelijke H_2S . Verder zijn de toegepaste materialen en het ontwerp sterk verbeterd (Anonymus 1990). Resultaten uit het buitenland zijn echter niet zonder meer overdraagbaar naar Nederlandse situaties. Voorzichtigheid bij een herintroductie is dus geboden maar dat er mogelijkheden zijn blijkt o.a. uit het feit dat er de laatste jaren weer installaties worden opgestart (w.o. één in Denekamp). Een voordeel kan zijn dat in veel huisvestingsystemen, met name bij varkens, de mest snel wordt afgevoerd uit de stal. Hierdoor kan de mest vers worden vergist, waardoor de biogasproductie mogelijk iets hoger is.

2.4 Biogasproductie vanuit mest

In de literatuur zijn veel gegevens beschikbaar over biogasproducties bij vergisten. Het zou te ver gaan om al deze literatuur hier te gaan beschrijven. De beschikbare gegevens staan voor rundvee in bijlage 2 en voor varkens in bijlage 3. Een samenvatting van de bijlagen staat in Tabel 6. Bij de tabel dient te worden opgemerkt dat bij veel onderzoeken in het verleden niet alle kengetallen zijn vastgelegd. In sommige onderzoeken is bijvoorbeeld alleen de methaanproductie per kg organische stof gemeten, bij andere onderzoeken alleen de methaanproductie per m^3 mest. In de literatuur is bij varkens meestal niet vermeld of het om mest van zeugen, vleesvarkens of een combinatie van beide ging.

Tabel 6 Gemeten gasproducties bij vergisting van runder- en varkensmest

	% CH_4	m^3 CH_4 per kg o.s.	m^3 biogas per kg o.s.	m^3 CH_4 per m^3 mest	m^3 biogas per m^3 mest	m^3 biogas per kg d.s.
<i>Rundvee</i>						
Gemiddelde	62	0,17	0,30	13,2	20,5	0,16
Minimum	50	0,02	0,14	7,0	12,0	0,11
Maximum	73	0,45	0,85	28,0	43,0	0,21
Standaarddeviatie	6,6	0,07	0,13	7,3	9,0	0,07
<i>Varkens</i>						
Gemiddelde	68	0,29	0,46	15,1	15,4	0,32
Minimum	64	0,13	0,18	6,6	10,1	0,28
Maximum	80	0,66	0,92	21,5	20,0	0,37
Standaarddeviatie	4,6	0,15	0,20	5,4	5,0	0,05

Uit Tabel 6 blijkt dat de gasproductie bij vergisting op verschillende manieren wordt weergegeven. De meest betrouwbare manier is de methaanproductie per kg organische stof. Met dit getal kan mest van verschillende diersoorten en samenstelling met elkaar vergeleken worden. Bovendien zijn hiervan ook de meeste gegevens beschikbaar. De gemiddelde methaanproductie bij rundmest bedraagt $0,17 m^3$ per kg organische stof, bij varkens $0,29 m^3$ per kg organische stof.

De theoretische hoeveelheid methaan die geproduceerd kan worden is $0,6 m^3$ per kg o.s. (Nijssen, 1997). De hoeveelheid methaan die in de praktijk gevormd wordt is afhankelijk van het vergistingsrendement. Het vergistingsrendement bij rundvee is 30 procent. Het vergistingsrendement van varkensmest is hoger dan dat van rundveemest. De verklaring hiervoor is dat varkens een voer krijgen en een ander spijsverteringssysteem hebben. Het methaangehalte in het biogas bij het vergisten van rundveemest is gemiddeld bijna 62%, bij varkensmest gemiddeld 68%.

2.4.1 Effect van voorbereiding op biogasproductie

In principe is het mogelijk door voorbereiding de biogasproductie van mest te verhogen. Hierin zijn enkele methoden te onderscheiden, nl. mechanische, chemische en thermische voorbereiding. Voorbeelden van mechanische voorbereiding zijn roeren en versnijden. Het vermalen van koemestvezels is op laboratoriumschaal onderzocht. Daarbij werd een iets hogere en snellere biogasproductie geconstateerd (Houwaard en Scholten-Koerselman, 1984). Thermische voorbereiding is ook onderzocht, maar gaf geen hogere biogasproductie, wel een snellere (Brons, 1984).

Chemische voorbereiding door het toevoegen van natronloog, gaf een hogere en snellere gasopbrengst. (Houwaard en Scholten-Koerselman, 1984). Behandelen met natronloog biedt echter weinig perspectief.

Door de grote bufferende werking van mest is veel loog nodig, wat gepaard gaat met hoge kosten (Brons, 1984). Ook toevoegen van FeCl_3 verhoogt de biogasproductie enigszins. Nadeel is dat drijfslagen optreden en dat het een schadelijke stof is voor het milieu. Koper kan de gasproductie remmen. De laatste jaren is dit niet meer actueel omdat de kopergehalten, in met name het varkensvoer, sterk verlaagd zijn en daarmee de gehalten in de mest. Verwijdering van NH_3 (met bv. loog) heeft ook een gunstig effect.

2.4.2 Toevoegen organisch materiaal

In de vergistingsinstallatie kunnen diverse producten van het eigen bedrijf worden toegevoegd. Hayes (1980) vond de volgende biogasproducties (bij toevoeging aan mest) voor:

- stro : 0,34 tot 0,4 m^3 per kg o.s. (bij 78 dagen verblijftijd);
- maïsblad en stengel: 0,51 m^3 per kg o.s. bij 52 dagen verblijftijd;
- klaver: 0,45 m^3 per kg o.s. bij 28 dagen verblijftijd;
- gras: 0,6 m^3 per kg o.s. bij 24 dagen verblijftijd.

Ook ander organisch materiaal kan worden toegevoegd. Organisch materiaal zoals GFT-afval, bermhooi en voerresten geeft een gasproductie van ongeveer 80 m^3 per ton materiaal. Aanvoer van bedrijfsvreemd organisch materiaal moet meegenomen worden op de mineralenbalans, wat een groot nadeel kan zijn.

Er zijn ook stoffen waarbij nauwelijks mineralen worden aangevoerd. In Duitsland wordt bijvoorbeeld slachtvet uit slachterijen toegevoegd. Dit geeft een gasproductie van 0,35 m^3 per kg organische stof (anonymus, 1982). Ook afgewerkt frituurvet kan worden toegevoegd. Dit geeft ca. 0,70 m^3 gas per kg organische stof. In de praktijk kan door 10% olie of vet toe te voegen de biogasproductie verdubbelen (Schnell, 2000).

2.5 Bemestingswaarde vergiste mest

Door vergisting neemt de hoeveelheid minerale stikstof (N_m) in de mest toe, zie Tabel 7 (Henkens, 1983). Van Nes *et al.* (1990) vonden een toename van het N_m -gehalte bij rundermest met gemiddeld 0,3 g per kg en bij varkensmest met 0,7 g per kg. De relatieve stijging is in beide gevallen 15%. De pH stijgt met 0,2 – 0,7 eenheden bij rundermest en 0,8 – 1,0 bij varkensmest. Dubbelboer en Schelhaas (1990) en Holm Nielsen *et al.* (1993) vonden soortgelijke resultaten.

Tabel 7 Gehaltes in rundveemest (in kg per ton mest) naar Henkens (1983)

	N totaal	N_m	N_e	N_r
Onbehandelde mest	5	2,5	1,25	1,25
Vergiste mest	5	3,125	0,625	1,25
Verschil	0	+0,625	-0,625	0

N_m : snel werkzame minerale stikstof

N_e : makkelijk afbreekbare organische stof die in 1^e jaar na toediening werkt

N_r : moeilijk afbreekbare organische stof die pas werkt na meerdere jaren

De stikstof uit vergiste mest werkt sneller. Bij toediening kan er echter ook meer ammoniakemissie optreden (Henkens, 1983).

Gijsman en Hamwijk (1986) vonden in potproeven dat bij vergiste mest de N-recovery en N-efficiency hoger was dan bij onbehandelde mest. In veldproeven kwamen minder duidelijke verschillen naar voren, mogelijk door NH_3 -verliezen bij bovengronds toedienen. De stikstofopname van gras, dat met vergiste mest is bemest, was gelijk aan die bij bemesting met niet-vergiste mest.

Knudsen en Birkmose (1996) beschrijven enkele proeven in Denemarken. Daaruit bleek dat de stikstofwerking van vergiste mest niet beter was. De oorzaak was dat de mest niet of niet snel genoeg werd ingewerkt, zodat een groot deel van de extra stikstof emitteerde als NH_3 . Birkmose (1997) stelt dat vergiste mest een betere werking heeft dan niet-vergiste mest.

Kunz (1995) stelt dat vergiste mest dunner is en beter vloeibaar (slijmstoffen zijn afgebroken). De droge stofopbrengst op blijvend grasland was over meerdere jaren onderzoek gemiddeld 3% hoger. Van Geneijgen en Hakvoort (1984) vonden in de eerste snede na toediening een positief effect van vergiste mest op de opbrengst. Dit werd in de latere sneden tenietgedaan door iets lagere opbrengsten. Per saldo was de jaaropbrengst gelijk. Mogelijke verklaring hiervoor is, de naar verwachting hogere NH_3 -emissie van vergiste mest.

De fosfaatwerking van rundermest is diverse keren onderzocht maar de resultaten zijn niet eenduidig. Sommigen vinden een hogere fosfaatwerking, anderen vinden geen verschil. Henkens (1983) stelt dat door vergisting de oplosbaarheid en daardoor de werking van fosfaat kan toenemen.

De invloed van vergiste mest op het humusgehalte van de bodem is gelijk aan die van onbehandelde mest, dit is mogelijk het gevolg van het feit dat door mestvergisting alleen de snel afbreekbare organische stof wordt omgezet.

Kort samengevat blijkt uit de literatuur dat de stikstofwerking van vergiste mest over het algemeen gelijk tot iets hoger is dan van niet-vergiste mest. Op basis van de samenstelling is een betere benutting te verwachten. Deze wordt in de praktijk vaak niet geconstateerd door de hogere ammoniakverliezen bij toediening van vergiste mest. Er is echter geen enkel onderzoek voorhanden dat met emissiearme mesttoedieningstechnieken is uitgevoerd, zoals die in Nederland verplicht zijn.

2.6 Geuremissie

Mestvergisting heeft stankreductie tot gevolg, omdat de vluchtige vetzuren (stankcomponenten) worden afgebroken. Van Velsen (1981) toonde aan dat de gehalten van stankveroorzakende stoffen door vergisten sterk afnemen, zie Tabel 8.

Tabel 8 Gehaltes aan stankveroorzakende stoffen na 20 dagen vergisten bij 30 °C in mg/l

	Verse mest	Vergiste mest
Phenol	24,6	1,1
p-cresol	103,3	0,8
4-ethyl phenol	25,4	1,0
Indol	0,9	0,2
Skatol	8,7	3,4

Van Harreveld (1981) vond in enkele proeven dat de geuremissie van onbehandelde varkensmest, vlak na het toedienen, 3 keer zo hoog was als bij vergiste varkensmest. Bij onbehandelde mest duurde het 2 dagen, voordat de geur verdwenen was, bij vergiste mest slechts 1 dag.

Knudsen (1997) geeft aan dat de geuremissie van vergiste mest nauwelijks is onderzocht in Denemarken, algemeen wordt daar aangenomen dat vergiste mest minder stinkt.

2.7 Investerings in vergistingsinstallaties

Wat betreft de investering in de biogasinstallatie zijn zoveel mogelijk prijzen uit de literatuur en van recente offertes op een rijtje gezet. De prijzen uit de literatuur zijn niet goed bruikbaar voor economische studies. Deels zijn de gegevens verouderd en deels hebben ze betrekking op grootschalige centrale mestvergisting, zodat ze niet in verhouding staan tot de investeringen van installaties op boerderijschaal.

2.7.1 Prijzen uit offertes

Uit de offertes voor de nieuw te bouwen installaties op de drie praktijkcentra van het Praktijkonderzoek Veehouderij blijkt dat de investering sterk wordt bepaald door de bedrijfssituatie. In sommige situaties kan een bestaande mestsilo worden omgebouwd, zodat de silo ook als vergister dienst doet. Dat houdt in dat de silo dan wordt voorzien van verwarming en isolatie en dat er een gasopslag boven in de silo gemaakt wordt. In dat geval zijn prijzen tussen f 200.000 en f 300.000 reëel. Wanneer geen silo voorhanden is, kan er een kleine silo (verticale vergister) of een propstroomvergister (horizontaal) worden gebouwd. In die situaties lijkt een investering van f 300.000 tot f 400.000 reëel. De genoemde prijzen zijn exclusief BTW, gelden zowel voor varkens als voor melkveebedrijven en zijn afgeleid van de eerder genoemde offertes.

De bandbreedte van deze prijzen is groot, omdat specifieke bedrijfsomstandigheden grote invloed hebben. Voorbeelden hiervan zijn: leidingen, verzamelputten mixers en pompen die reeds aanwezig zijn, de afstand van de stal naar de vergister, de gasopslag en de gasmotor, aanwezige stroom verdeelkast en centrale verwarming. Verder is ook de bedrijfsgrootte van invloed: hoe meer mest, des te lager de investering per m³ vergisterinhoud.

2.7.2 Prijzen uit de literatuur

De Boks en van Nes (1983) geven een bandbreedte voor prijzen, zie Tabel 9.

Tabel 9 Prijzen voor een complete vergister, incl. BTW, naar De Boks en van Nes (1983)

Aantal koeien	Vergister		Gasmotor	
	Grootte (m ³)	Investering (f)	kW-e	Investering (f)
60	66	109740	7,4	22775
90	99	126260	8,8	24190
120	132	135700	11,3	27375
150	165	147500	13,9	30680

De Boo en Verboon (1995) geven aan dat op basis van gegevens uit Denemarken, Zwitserland, Duitsland en Nederland de investeringen zeer sterk variëren. Uit gegevens van enkele bedrijven blijkt dat de bruto investeringen variëren van f 2600 tot f 2800 per m³ vergisterinhoud. Na subsidies en eigen arbeid bedragen de netto kosten: f 1825 tot 1690 per m³. De vergisterinhoud was 260 en 500 m³. Bij kleinere installaties zijn de prijzen per m³ waarschijnlijk hoger.

2.7.3 Jaarkosten

De jaarkosten waren als volgt opgebouwd. Bij de vergister is 75% van de investeringen bouwkundig en wordt in 20 jaar afgeschreven, 25% is technisch en wordt in 8 jaar afgeschreven. Bij de Warmtekrachtkoppeling is 25% bouwkundig en wordt in 20 jaar afgeschreven en 75% is technisch en wordt in 8 jaar afgeschreven. De kosten voor onderhoud en verzekering bedragen 1% van alle bouwkundige delen. Voor het technische gedeelte wordt uitgegaan van 5% bij de vergister en 10% bij de WKK. De kosten voor bedrijfsmiddelen bedragen f 400,- per jaar (Nijssen *et al.*, 1997; Anonymus, 1999).

2.8 Onkruidzaden en pathogenen

Wat betreft het effect van mestvergisting op het doden van onkruidzaden zijn diverse onderzoeken uitgevoerd. Engeli *et al* (1993) beschrijven enkele proeven met batchreactors in een laboratorium. Hieruit blijkt dat bij *Plasmodiophora brassicae* bij 55 °C en een verblijftijd van 14 dagen er nagenoeg geen infectie meer plaatsvond. Bij 35 °C (mesofiel) of 55 °C (thermofiel) en een verblijftijd van 7 dagen was er nog wel infectie. Zaden van *Rumex obtusifolius* (ridderzuring) en *Solanum lycopersicum* (tomaat) werden compleet vernietigd na 14 dagen bij 55 °C. Tomatenzaad staat bekend als sterk resistent tegen fysisch-chemische behandeling (temperatuur, pH, etc).

Oechsner (1996) meldt dat bij thermofiele vergisting de doding van Salmonella, E. coli en streptococci zeer goed was, bij mesofiel veel minder, daar is pasteuriseren nodig (minimaal 30 minuten 70 °C).

Anonymus (1992) stelt dat afwezigheid van pathogenen en onkruidzaden niet kan worden gegarandeerd bij temperaturen onder de 50 °C. Alleen pasteuriseren kan die garantie geven.

2.9 Systemen

In deze paragraaf worden een aantal technische zaken opgesomd waarmee rekening gehouden moet worden bij de bouw van een mestvergistinginstallatie.

2.9.1 Typen vergisters

Vergisters zijn in twee hoofdtypen in te delen: propstroomsystemen (ook wel doorstroomsystemen genoemd) volgens het 'first in- first out'-principe en volledig geroerde systemen (ook wel staande vergisters genoemd). Bij propstroomsystemen is in theorie de gasopbrengst het hoogst, omdat alle mest een gelijke verblijftijd heeft. Bij traditionele propstroomvergisters werd de mest niet gemengd. Hierdoor traden problemen op met drijf- en bezinklagen. Moderne propstroomvergisters worden daarom partieel geroerd met een langzaam lopende as met bladen in een horizontale tank. Door deze manier van mengen is er wel een verticale menging en geen horizontale. De verblijftijd in de vergister is dus van vrijwel alle mest gelijk. In het begin van de vergister zitten nog weinig methaanbacteriën, aan het eind heel veel.

Door de geringe menging en door een klein deel van de vergiste mest weer terug te pompen in het begin van de vergister worden er ook methaanbacteriën in de verse mest gebracht. De biogasproductie komt hierdoor sneller op gang en is minder gevoelig voor veranderingen in mestsamenstelling en processtoringsen.

Volledig geroerde systemen hebben een iets lagere gasopbrengst, omdat verse mest met bijna uitgegiste mest gemengd wordt. De verblijftijd is gemiddeld lang genoeg, maar de mest blijft deels korter en deels langer in de vergister. Jewell (1981) vond bij propstroomvergisting een 10% hogere gasproductie dan bij volledig gemengde reactoren. Ook Gosh (1986) stelt dat gasopbrengst bij volledig gemengde vergisters lager is. Door het roeren zijn er geen problemen met bezink- en drijfslagen.

Volledig gemengde reactoren zijn alleen geschikt voor dunne vloeistoffen (maximaal 8 – 10% d.s.), propstroomvergisters kunnen vloeistof tot maximaal 15% d.s. verwerken (Gosh, 1986, Ruckert, 1996). In Duitsland zijn propstroomvergisters (stalen tanks) en opslag- en doorvoersilo's (beton) het meest gangbaar (Köttner, 1995). Propstroom wordt veel toegepast door zelfbouwers. Volledig geroerde systemen worden gebouwd wanneer reeds een (gasdichte) silo voorhanden is die geschikt is om om te bouwen (isolatie, verwarming, mengen). Nadeel is dat veel proceswarmte nodig is om de mest op temperatuur te houden. Dit wordt enigszins gecompenseerd door een langere verblijftijd en door te vergisten op een lagere temperatuur. Ander nadeel is dat 1/3 van de mest altijd in de silo moet blijven. Alleen doorvoersystemen zijn geschikt om vaste mest (of andere vaste stoffen) toe te voegen. De laatste jaren worden steeds vaker combinaties toegepast van doorstroomvergisters en opslag van vergiste mest in silo met gasopslag. Voordeel hiervan is dat de restgassen worden opgevangen (Schulz, 1998).

Door goede isolatie blijft het warmteverbruik van de vergister beperkt tot 20 – 30% van de totale warmteproductie (Van Nes *et al*, 1990).

Het elektriciteitsverbruik van de biogasinstallatie zelf bedraagt, bij installaties op boerderijschaal, 7,5 tot 16,8 kWh per dag (Göbel en Schneider, 1985).

Propstroomvergisters hebben doorgaans een verblijftijd van circa 20 dagen bij rundveemest en 15 dagen bij varkensmest. Bij staande vergisters zijn de procesfases niet gescheiden, daarom wordt doorgaans dit type vergister wat groter uitgevoerd. De verblijftijd is dan langer, ca. 40 – 60 dagen. Bij vergisters die tevens dienen als mestopslag kan de verblijftijd oplopen tot 6 maanden of meer.

2.9.2 Vergelijking thermofiele en mesofiele vergisting

De meeste vergisters op boerderijschaal werken mesofiel, de temperatuur is ca. 35 °C. Naast mesofiele is ook psychrofiële en thermofiele mestvergisting mogelijk. Psychrofiële vergisting is koude vergisting, zonder verwarming. Hierbij moet de verblijftijd erg lang zijn, omdat het methaangas langzaam vrijkomt. De vergister moet daarom erg groot zijn of bijvoorbeeld worden gecombineerd met de mestopslag. Psychrofiële vergisting is doorgaans niet aantrekkelijk. Bij thermofiele vergisting is de temperatuur ca. 55 °C. De biogasproductie per m³ mest is hierdoor niet hoger dan bij mesofiel. Het

gas komt wel sneller vrij, zodat met een kortere verblijftijd volstaan kan worden (Wenzlaff, 1981). De CH_4 -concentratie in biogas is bij thermofiel gemiddeld circa 3% lager. Doorstroomvergisters geven een constantere gasproductie dan andere vergisters. Bij thermofiele vergisting is extra energie voor verwarming nodig. Door de hogere temperatuur is het NH_3 -gehalte in de vergistende mest hoger (het evenwicht tussen NH_3 en NH_4 verschuift (Poelma, 1983, Van Nes *et al.*, 1990). Het vergistingsproces is hier gevoelig voor, adaptatie (gewenning) van de methaanbacteriën kan dit echter ondervangen (Döhler, *et al.*, 1999). Doordat de vergister kleiner kan worden gebouwd en er zo op de kosten kan worden bespaard, zijn er op termijn wellicht mogelijkheden voor thermofiele vergisting. Temperatuurschommelingen in de vergister van 1 tot 2 °C zijn geen probleem. Wanneer de temperatuur meer dan 2 tot 3 °C schommelt neemt de gasproductie af (Poelma, 1983 en Baserga, 1994).

2.9.3 Benutting van biogas

Nadat biogas is verkregen door mestvergisting zijn er een drietal mogelijkheden om dit gas om te zetten in bruikbare energie:

- biogas opwerken naar aardgas;
- biogas omzetten in elektriciteit en warmte via warmtekrachtkoppeling (WKK);
- biogas omzetten in elektriciteit en warmte via een brandstofcel.

Hieronder is per pad aangegeven wat de bijbehorende noodzakelijke stappen zijn.

Biogas opwerken naar aardgas

Bij de winning van biogas voor aardgas moet biogas worden ontdaan van CO_2 , H_2S en water. Om de mogelijkheid van opwerken van biogas naar aardgas verder te onderzoeken is gesproken met GAMOG; het regionale gasbedrijf in Flevoland.

De levering van opgewerkt biogas aan het aardgasnet blijkt financieel volstrekt onhaalbaar. Het gas moet namelijk onder hoge druk in het net gebracht worden. Dit is erg duur en kost veel energie. Bovendien is methaan net als aardgas 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 grofweg f 300.000 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 investeringen maakt ook dit argument de opwerking van biogas naar aardgaskwaliteit voorlopig niet interessant.

Biogas via warmtekrachtkoppeling (WKK) 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 omgebouwde benzinemotor, de voorloper van de moderne WKK-installatie. Lusk (1994) en Ter Rele en Van der Weide (1983) geven aan dat het rendement van een benzinemotor maximaal 24% is en dat van een dieselmotor maximaal 40%. Huidige WKK's zijn daarom vaak aangepaste dieselmotoren. In de praktijk halen deze doorgaans een elektrisch rendement tot 35 procent, het thermisch rendement is ca. 55 %. Schulz (1998) stelt dat kleine WKK's (onder 20 kW) meestal benzinemotoren (Gas-Otto) zijn. Grotere installaties werken met Zündstrahl motoren. Zündstrahl motoren hebben een hoger elektrisch rendement (30 – 35%, i.p.v. 20 – 25% bij gasmotoren) en ze hebben een langere levensduur. Bij Zündstrahl motoren wordt ca. 10% diesel mee verbrand. Hierdoor mag het CH_4 -gehalte in het biogas lager zijn en meer variëren. Nadeel is dat ze roet uitstoten, continu een beetje diesel verbruiken en meer geluid produceren. Beide typen motoren kunnen ook werken als er geen biogas is; op benzine, respectievelijk diesel. Op dat moment fungeren ze als noodstroom aggregaat.

Wat betreft generatoren zijn er twee mogelijkheden: een asynchrone of een synchrone generator. Een asynchrone generator heeft als voordeel dat deze door de netspanning gereguleerd wordt. Deze geeft dus altijd de juiste frequentie en fase als de netspanning. Daarom is dus geen dure synchronisatie apparatuur nodig. Nadeel is dat, wanneer de netspanning uitvalt, de gasmotor niet kan werken.

Tevens is het vollast rendement van een asynchrone generator iets lager dan van een synchrone generator. Een synchrone generator is duurder, omdat deze een nauwkeurige motorregeling vraagt. Dohne (1980) stelt dat de levensduur van gasmotoren sterk uiteenloopt van 7.000 tot 70.000 bedrijfsuren. De stroomproductie varieert tussen 1,1 en 1,9 kWh per m^3 biogas.

Biogas via brandstofcellen omzetten in elektriciteit en warmte

Biogas kan ook omgezet worden in elektriciteit door gebruik te maken van een brandstofcel. Het voordeel van gebruik van een brandstofcel is het hoge elektrische rendement: maximaal ca. 55% elektrisch en 35% thermisch (Lusk, 1994). Er zijn diverse typen brandstofcellen. Deze typen onderscheiden zich door de gebruikte materialen van de elektrodes en de werkt temperatuur. Momenteel werkt het ECN te Petten aan de ontwikkeling van de SOFC-cel (Solid Oxygen Fuel Cell). Deze brandstofcel lijkt vooralsnog het meest geschikt voor biogas, maar is gevoelig voor verontreinigingen in de gassen. Met name de resten van H_2S in biogas zullen daarom moeten worden verwijderd. Naar verwachting is de eerste demonstratieversie van deze brandstofcel gereed in 2005. Op dat moment zal de kostprijs van deze cel waarschijnlijk nog zo hoog zijn dat deze niet kan concurreren met de huidige gasmotoren. In deze studie is toepassing van de brandstofcel daarom niet verder uitgewerkt.

2.9.4 Arbeid en enkele praktische tips.

Een vergistingsinstallatie vraagt niet veel arbeid, maar heeft wel dagelijks aandacht nodig. Dagelijks onderhoud en controle vraagt 8 tot 15 uur per maand. Daarnaast is, minder frequent, tijd nodig voor kleine reparaties en preventief onderhoud. De ontwerper dient de gebruiker te leren hoe hij of zij de biogasinstallatie moet bedienen en controleren. De ontwerper dient ook na levering geraadpleegd te kunnen worden (Roos en Moser 1997; De Boo en Verboon, 1995; Kaltschmitt, 1992).

In de vergister moeten mengvoorzieningen gemonteerd worden (Poelma, 1983): voor een gelijkmatige temperatuurverdeling, bevordering van het contact tussen de aangevoerde mest en de bacteriën en ter voorkoming van drijf- en bezinklagen.

Het starten van een vergistingsinstallatie kan met verse runder- of varkensmest, bij voorkeur op 30 °C. Door vergiste mest aan te voeren bij het opstarten, start de vergister wel sneller op (Zeeman 1984).

Bij de constructie van de vergister dient de materiaalkeuze afgestemd te zijn op het zeer corrosieve karakter van mest en biogas. Daarnaast moet er een mogelijkheid zijn voor het vullen of leegmaken van de vergister en moet de vergister toegankelijk zijn voor controle en reparatie (Hoeksma, 1983).

Vergiste mest ontmengt zich, daarom moeten ook mengvoorzieningen gemaakt worden in de opslag voor vergiste mest (Van Nes *et al.*, 1990).

3 Uitgangspunten berekeningen

3.1 Mestproductie

Biogas zal in eerste instantie alleen uit mest geproduceerd worden. De mestproductie op een melkveebedrijf is afhankelijk van de melkproductie van de koeien en van het aandeel jongvee dat wordt aangehouden. De mestproductie per koe per stal dag kan worden vastgesteld met de volgende formules (Anonymus, 1999). Deze geven de mestproductie in de stal weer bij verschillende graslandgebruiksystemen. 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 graslandgebruiksystemen B en S.

S:	$22 + 0,0050 * \text{melkproductie per koe per jaar} = \text{mestproductie (kg per koe per dag)}$
O:	$9 * (1 + (\text{melkproductie} - 6000) / 10000)$
B:	$36 * (1 + (\text{melkproductie} - 6000) / 10000)$
Z:	$60 * (1 + (\text{melkproductie} - 6000) / 10000)$

De mestproductie per pink (leeftijd 1-2 jaar) bedraagt 30 kg per stal dag. De mestproductie per kalf (leeftijd 0 - 1 jaar) bedraagt 15 kg per stal dag. Het aantal stuks jongvee per melkkoe wordt berekend met het vervangingspercentage van het aantal koeien volgens de volgende formule:

$$\begin{aligned} \text{aantal kalveren} &= \text{aantal koeien} * \text{vervangingspercentage} * 1,2 \\ \text{aantal pinken} &= \text{aantal koeien} * \text{vervangingspercentage} * 1,1 \end{aligned}$$

Bij summerfeeding waarbij ook het jongvee het hele jaar binnen wordt gehouden is de mestproductie gelijkmatig over het hele jaar verdeeld. De capaciteit van de biogasinstallaties kan dus precies passend gekozen worden. Bij graslandgebruikstelsel B is de mestproductie gedurende de zomer anders dan gedurende de winter. De capaciteit van de vergister en de omzetting naar elektriciteit is in de berekeningen afgestemd op de gemiddelde mestproductie. Bij beperkt weiden wordt in de winter een deel van de mest opgeslagen, die vervolgens in de zomer wordt vergist. De methaanproductie in de mestopslag wordt afgetrokken van het nuttig te gebruiken biogas.

Bij varkens is gerekend met een mestproductie van 5,0 m³ per gemiddeld aanwezige zeug per jaar en 1,2 m³ per gemiddeld aanwezig vleesvarken per jaar (Anonymus, 1999). Aangenomen is dat de omvang van de varkensstapel gedurende het jaar min of meer gelijk is en daardoor ook de mestproductie constant is.

3.2 Gasproductie

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

In de literatuur wordt steeds de mesofiele vergistingstemperatuur (ca 35 °C) aangeraden. De verblijftijd van de mest in de vergister bedraagt bij mesofiele vergisting ongeveer drie weken. In de berekeningen is steeds gebruik gemaakt van mesofiele vergisting met een verblijftijd van 21 dagen bij rundvee en 15 dagen bij varkens.

De productie van biogas uit mest wordt in de literatuur op twee manieren benaderd. In het ene geval wordt er gerekend met een vaste gasopbrengst per hoeveelheid mest, in het andere geval wordt de gasproductie afgeleid uit het gehalte aan organische stof in de mest. In deze studie is gekozen voor de berekening vanuit het organische stof gehalte omdat hiervan verreweg de meeste literatuur beschikbaar is. Het soortelijk gewicht van rundermest is 1005 kg per m³, van zeugenmest is het 1024 kg per m³ en van vleesvarkenmest 1040 kg per m³ (Anonymus, 1999). Het gehalte aan organische stof in alle mestsoorten kan variëren afhankelijk van het rantsoen en de hoeveelheid spoelwater die in de mest komt. In de berekeningen voor melkvee is uitgegaan van een organische stofgehalte van 6,7%. Uit de literatuur blijkt dat gemiddeld 0,17 m³ methaan per kg organische stof wordt geproduceerd (zie paragraaf 2.4). Het organische stofgehalte van zeugenmest is 3,4% en van vleesvarkenmest 6,0%. Uit de literatuur blijkt dat bij varkensmest de gemiddelde methaanproductie 0,29 m³ per kg organische stof bedraagt (zie paragraaf 2.4).

Het methaangehalte van biogas bij het vergisten van melkveemest is bijna 62%, bij varkens gemiddeld 68%.

Bij berekening van de methaanproductie op basis van het o.s.-gehalte met de gekozen uitgangspunten is de methaanproductie per m^3 mest praktisch gelijk aan de waarden die in de literatuur wordt gevonden voor methaanproductie per m^3 mest.

In de berekeningen is er alleen bij melkvee vanuit gegaan dat bedrijfseigen organisch materiaal wordt meevergist. Dit materiaal komt normaliter op de mestvaalt (voerresten, storsrijke mest uit kalverhokken, etc.), wordt opgeslagen en op het eigen bedrijf toegediend. Op varkensbedrijven is momenteel doorgaans geen organisch materiaal voorhanden. Door de opkomst van huisvestingssystemen met stro komt hier in de toekomst wellicht verandering in.

In deze studie is gerekend met een toevoeging van 10% op volumebasis. Verondersteld is dat het materiaal een dichtheid heeft van 550 kg per m^3 en een organisch stofgehalte van 15%. De methaanproductie is $0,30 \text{ m}^3$ per kg organische stof. Het methaangehalte in het biogas is 57%. Omgerekend bedraagt de biogasproductie 80 m^3 per m^3 bedrijfseigen organisch materiaal.

3.3 Kosten vergister

De investeringen in een vergister zijn afhankelijk van de grootte van de installatie. In de praktijk blijkt de investering ook sterk af te hangen van de specifieke bedrijfsomstandigheden. De gevonden prijzen zijn beschreven in paragraaf 2.7.

Voor deze studie is in het basisscenario gerekend met een investering van f 300.000 excl. BTW (f 352.000 incl. BTW) voor een complete installatie.

De jaarkosten bestaan uit kosten voor afschrijving, onderhoud en rente van de installatie. In de berekeningen zijn echter geen rentekosten meegenomen. Dit betekent dat uit het weergegeven rendement op het geïnvesteerde vermogen de rentekosten nog gedekt moeten worden. 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 beduidend lager dan het normale rentepercentage. De kosten van afschrijving en onderhoud variëren over verschillende onderdelen van de biogasinstallatie. De gegevens zijn weergegeven in bijlage 1. Bij een eventuele subsidie zijn de onderhoudskosten berekend over het oorspronkelijke bedrag, alleen de afschrijvingskosten zijn aangepast. Er zijn geen kosten voor arbeid meegenomen.

De prijs van de biogasinstallatie wordt voor een belangrijk deel bepaald door de gasmotor. De hierboven genoemde prijzen zijn inclusief de gasmotor. De investering voor de gasmotor wordt bepaald door het soort motor en het vermogen (hoe meer biogas; des te meer vermogen). Bij de relatief kleine motoren voor de vergistinginstallatie op boerderijschaal is het schaaffect beperkt. Wanneer nauwkeurigere gegevens beschikbaar zijn zou op termijn, bij een rendementsberekening, een relatie tussen vermogen en investering voor de gasmotor kunnen worden ingebouwd.

Voor het toevoegen van organisch materiaal zijn in de berekeningen geen meerkosten meegenomen. Uit nader onderzoek zal moeten blijken in hoeverre dit terecht is. Voerresten kunnen waarschijnlijk zonder extra apparatuur in de vooropslag worden gebracht. Bij stromest is waarschijnlijk een snij- of hakselinstallatie nodig om het materiaal zodanig te verkleinen dat het door pompen verwerkt kan worden. Dit geeft enige meerkosten. Door deze stoffen direct, bijvoorbeeld wekelijks, in de vergister te verwerken heeft de veehouder geen mestvaalt nodig. Voor deze studie is aangenomen dat de meerkosten van een snij- of hakselinstallatie gecompenseerd worden door de besparing op de mestvaalt.

De benodigde capaciteit van de WKK 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. Verder wordt gerekend met de volgende waarden, waarbij 1 kWh gelijk is aan 3,6 MJ:

- Energie-inhoud aardgas $31,7 \text{ MJ/m}^3$
- Energie-inhoud methaan $39,8 \text{ MJ/m}^3$

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 volgende voorbeeld bij een gestelde biogasproductie van $40.000 \text{ m}^3/\text{jaar}$.

Productie biogas per jaar	40.000 m ³
Methaangehalte	60%
Hoeveelheid methaan	24.000 m ³
Energie-inhoud (in MJ)	24.000 * 39,8 = 955.200 MJ
Energie-inhoud (in kWh)	955.200 / 3,6 = 265.333 kWh
Bedrijfstijd converter	353 dagen * 24 uur = 8472 uur
Bruto capaciteit installatie	265.333 / 8472 = 31 kW
Thermisch rendement WKK	55%
Elektrisch rendement WKK	32,5%
Benodigd vermogen WKK	31 * 32,5% = 10 kW _e

3.4 Energiegebruik en -tarieven

De rendabiliteit van een biogasinstallatie hangt niet alleen af van de kosten voor die installatie. De geproduceerde elektriciteit en warmte kunnen gedeeltelijk op het eigen bedrijf benut worden. Daarmee wordt aankoop van energie voorkomen. Elektriciteit die niet op het bedrijf benut kan worden wordt teruggeleverd aan het net. Hiervoor wordt een vergoeding gegeven. Indien er na verwarming van de mestvergister restwarmte overblijft kan deze benut worden voor verwarming van de woning en/of stallen. Hiermee wordt aankoop van aardgas uitgespaard. In deze studie is rekening gehouden met de volgende uitgangspunten voor eigen energiegebruik, verdeling over dag en seizoen en energieprijzen (Bron: CLM). Daarbij is onderscheid gemaakt tussen een bedrijf met een conventionele melkstal waarin tweemaal daags gemolken wordt en een bedrijf met een melkrobot.

<u>Melkvee</u>		≤ 25	>25	<i>Koeien</i>
Jaarlijkse elektriciteitsbehoefte	Melkstal	7,1	5,6	kWh / 100 kg melk
	Melkrobot	-	10,0	kWh / 100 kg melk
Jaarlijkse warmtebehoefte	Melkstal	15	17	MJ / 100 kg melk
	Melkrobot	15	17	MJ / 100 kg melk
<u>Varkens</u>		<i>Vleesvarkens</i>	<i>Zeugen</i>	
Jaarlijkse elektriciteitsbehoefte dier		36	190	kWh / gem. aanw.
Jaarlijkse warmtebehoefte		420	4100	MJ / gem. aanw. dier
<u>Privé</u>				
Jaarlijkse elektriciteitsbehoefte	Aantal personen	Verbruik		
	1	2020		kWh
	2	3025		kWh
	3	3830		kWh
	4	4325		kWh
	5	4810		kWh
Jaarlijkse warmtebehoefte			96900	MJ

<i>Verdeling elektriciteitsbehoefte</i>		Melkvee stal		Melkvee robot		Vleesvarkens		Zeugen	
		Dal	Piek	Dal	Piek	Dal	Piek	Dal	Piek
	Voorjaar	8,9%	16,1%	12,9%	12,1%	11,8%	13,3%	12,0%	13,0%
	Zomer	8,9%	16,1%	12,9%	12,1%	12,6%	17,4%	13,5%	16,5%
	Herfst	8,9%	16,1%	12,9%	12,1%	11,8%	13,3%	12,0%	13,0%
	Winter	8,9%	16,1%	12,9%	12,1%	10,4%	9,6%	10,4%	9,6%
<i>Verdeling warmtebehoefte bedrijf (exclusief vergister en woonhuis)</i>									
		Melkvee		Varkens					
	Voorjaar	25%		25%					
	Zomer	25%		17%					
	Herfst	25%		25%					
	Winter	25%		33%					

De warmtebehoefte voor de biogasinstallatie bedraagt gemiddeld over het jaar 28,5% van de geproduceerde hoeveelheid energie uit biogas. Er is onderscheid gemaakt in de behoefte gedurende het voorjaar, de zomer, de herfst en de winter. In het voorjaar en het najaar is de behoefte gesteld op 100% van het jaarlijkse gemiddelde. In de zomer is de behoefte 75% en in de winter 125% van het jaarlijkse gemiddelde ofwel respectievelijk 21,4% en 35% van de energie-inhoud van het geproduceerde gas. De elektriciteitsbehoefte van de biogasinstallatie bedraagt 12 kWh per dag en is over het hele jaar constant. Ook de behoefte aan warmte voor het woonhuis (warm water en verwarming) is gesplitst in een voorjaars- en najaarsdeel van elk 20%, een zomerdeel van 10% en een winterdeel van 60%. De privé elektriciteitsbehoefte is volgens dezelfde verhouding als de warmtebehoefte over het voorjaar, de zomer, het najaar en de winter verdeeld.

<i>Tarieven elektriciteit</i>		Dal	Piek	
		23h-7h *)	7h-23h	* in weekeinden 24 h daltarief
Basistarief aankoop		13,22	24,33	cent / kWh
Teruglevertarief excl. toeslag groene stroom		11,89	17,95	cent / kWh
Teruglevertarief incl. toeslag groene stroom		16,89	22,95	cent / kWh
<i>Verbruik</i>		<i>REB</i>		
	0-8.000 kWh		0	cent / kWh voor het meerdere
	8.000-10.000 kWh		9,64	cent / kWh voor het meerdere
	10.000-50.000 kWh		4,16	cent / kWh voor het meerdere
	50.000-100.000 kWh		0,56	cent / kWh voor het meerdere
	>100.000 kWh		0	cent / kWh voor het meerdere
<i>Tarieven aardgas</i>				
	0-800 m ³		50,78	cent / m ³
	800-5000 m ³		75,24	cent / m ³
	50000-170000 m ³		64,22	cent / m ³

De gehanteerde prijs voor aankoop van elektriciteit is gebaseerd op het huidige tarief, inclusief BTW en energieheffing (REB). Ook het teruglevertarief is inclusief BTW weergegeven. Het teruglevertarief varieert enigszins tussen elektriciteitsmaatschappijen. De vergoeding in het daltarief varieert tussen 10,85 en 12,92 cent per kWh, in de piekuren tussen 15,65 en 20,25. In deze studie is gerekend met een basis teruglevertarief van 11,89 cent per kWh in de daluren en 17,95 cent per kWh in de piekuren; het gemiddelde van de tarieven in Nederland. Wanneer stroom uit biogas als "groene stroom" wordt aangemerkt ligt het teruglevertarief in de dal- en piekuren 5,0 cent per kWh hoger. Niet alle elektriciteitsmaatschappijen geven echter een toeslag voor groen stroom en ook de hoogte van de toeslag kan enigszins variëren. Veehouders kunnen nog niet kiezen aan welke elektriciteitsmaatschappij ze terugleveren, in de toekomst waarschijnlijk wel. Het tarief voor aardgas is gebaseerd op het tarief zoals dat op 1 juli 2000 gold.

3.5 Bedrijfssituaties

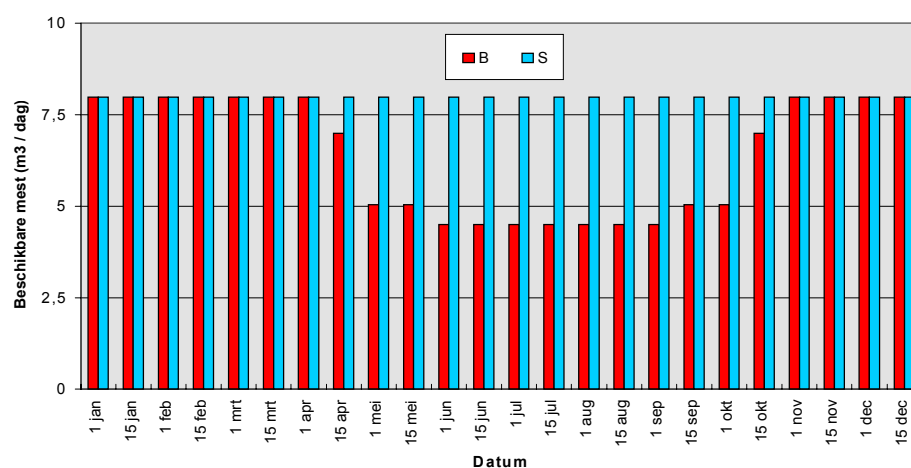
3.5.1 Melkveehouderij

De berekeningen zijn uitgevoerd voor twee graslandgebruikssystemen. Bij beide systemen 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 graslandgebruikstelsel 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 dus relatief weinig grasland beschikbaar. In zulke situaties worden de koeien in de zomer vaak 's nachts binnen gehouden en bijgevoerd met geconserveerd ruwvoer. 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 er van uitgegaan dat het jongvee 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 er van uitgegaan dat ook het jongvee het hele jaar binnen blijft. Dit systeem wordt uitgevoerd wanneer bedrijven slechts 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 meer dan twee maal per dag gemolken kunnen worden. Zowel bij systeem S als bij systeem B 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 2 keer zo hoog als bij gebruik van een melkstal. Wel is de energiebehoefte bij een robot in tegenstelling tot een conventioneel melksysteem gelijkmatig over de dag verdeeld. Voor alle bedrijven is zowel een situatie met als een situatie zonder een extra toeslag voor het terugleveren van groene stroom doorgerekend.

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 wei 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 1 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 / koe.

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



3.5.2 Varkenshouderij

Voor de varkenshouderij zijn de berekeningen uitgevoerd voor gespecialiseerde bedrijven en al dan niet gesloten bedrijven met zowel zeugen als vleesvarkens. De bedrijfsgrootte varieerde van 0, 200, 300, 400 tot 500 zeugen en van 0, 1500, 2250, 3000 tot 3750 vleesvarkens. Gespecialiseerde

bedrijven hebben alleen zeugen of vleesvarkens terwijl op gesloten bedrijven beiden diersoorten aanwezig zijn.

De gesloten bedrijven hebben een vaste verhouding tussen het aantal zeugen en vleesvarkens: voor 2 zeugen worden 15 vleesvarkens gehouden. Bij de niet gesloten bedrijven is elke combinatie van een aantal zeugen en vleesvarkens mogelijk. Voor alle bedrijven is zowel een situatie met als een situatie zonder een extra toeslag voor het terugleveren van groene stroom doorgerekend.

3.6 Scenario's

Het aantal uitgangspunten waarop in de berekeningen is gevarieerd is groot. Het is daarom niet mogelijk een overzicht te geven waarin alle combinaties van allerlei uitgangspunten zijn doorgerekend. Er is daarom gekozen voor de volgende aanpak. Er zijn bedrijfssystemen opgesteld met verschil in het aantal koeien en de melkproductie per koe of aantal zeugen en vleesvarkens. Voor alle series bedrijfssystemen is een basisscenario en een positief scenario doorgerekend. In het basisscenario zijn de uitgangspunten gekozen zoals ze zijn weergegeven in paragraaf 3.1 tot en met paragraaf 3.5. In het positieve scenario zijn een groot aantal van deze uitgangspunten tegelijk veranderd. Hierbij is een inschatting gemaakt van hetgeen in de nabije toekomst redelijkerwijze haalbaar lijkt. In Tabel 10 en Tabel 11 volgt een korte opsomming van de uitgangspunten voor beide scenario's.

Tabel 10 Uitgangspunten basisscenario en positief scenario voor de melkveehouderij

Omschrijving	Basis scenario	Positief scenario
Mestproductie per koe	Volgens uitgangspunt	Volgens uitgangspunt
Vervangings-% jongvee	30%	30%
Organisch materiaal toevoegen (in volume-%)	Plantaardig, 10%	Plantaardig, 10%
Organische stofgehalte (%)	6,7	6,7
Methaanproductie ($\text{m}^3 \text{CH}_4$ / kg os)	0,17	0,20
Methaanproductie in vooropslag ($\text{m}^3/\text{m}^3 \cdot \text{dag}$)	0,024	0,024
Elektriciteit nodig voor biogasinstallatie (kWh/dag)	12	10
Warmtebehoefte biogasinstallatie (%)	28,5	25,0
Investering totale installatie	Volgens uitgangspunt	Volgens uitgangspunt
Aandeel investeringssubsidie (%)	0	25
Prijsniveau energie (%)	100	110
Prijsniveau teruglevertarief (%)	100	110

Tabel 11 Uitgangspunten basisscenario en positief scenario voor de varkenshouderij

Omschrijving	Basis scenario	Positief scenario
Mestproductie per zeug	Volgens uitgangspunt	Volgens uitgangspunt
Mestproductie per vleesvarken	Volgens uitgangspunt	Volgens uitgangspunt
Organisch materiaal toevoegen (in volume-%)	Geen	Geen
Organisch stofgehalte zeugen-/vleesvarkenmest (%)	3,4 / 6,0	3,4 / 6,0
Methaanproductie ($\text{m}^3 \text{CH}_4$ / kg os)	0,29	0,33
Methaanproductie in vooropslag ($\text{m}^3/\text{m}^3 \cdot \text{dag}$)	0,053	0,053
Elektriciteit nodig voor biogasinstallatie (kWh/dag)	12	10
Warmtebehoefte biogasinstallatie (%)	28,5	25,0
Investering totale installatie	Volgens uitgangspunt	Volgens uitgangspunt
Aandeel investeringssubsidie (%)	0	25
Prijsniveau energie (%)	100	110
Prijsniveau teruglevertarief (%)	100	110

3.7 Milieueffecten mestvergisting

Het toepassen van mestvergisting heeft grote effecten op de gasvormige emissies op een bedrijf. Deze zijn verdeeld in de volgende componenten: methaan, koolstofdioxide en ammoniak. Methaan en koolstofdioxide zijn beiden broeikasgassen. Omdat methaan een veel sterkere werking heeft worden alle emissies uitgedrukt in CO₂-equivalenten. Een uitstoot van 1 kg CH₄ staat daarbij gelijk een 21 kg CO₂-equivalenten.

In de situatie zonder een vergistingsinstallatie ligt de belangrijkste bron van methaan bij fermentatieprocessen in de pens van de koe. Deze emissie wordt niet beïnvloed door een vergistingsinstallatie. Verder ontstaat er emissie door spontane vergisting van de mest.

Zowel bij varkens als bij melkvee vindt die zowel plaats in de stal als in de mestilo buiten de stal. De hoeveelheid methaan hangt af van de opslagduur en de emissie per m³ mest per tijdseenheid. Er is uitgegaan van een opslagduur van 10 maanden. Op dit moment wordt in de praktijk de mest vaak iets korter opgeslagen maar naar verwachting is dit in de toekomst een redelijke termijn. In het voorjaar worden de meeste mestopslagen nagenoeg leeggemaakt, waarna ze in de loop van het jaar weer langzaam vol raken. Dat betekent dat de mest gemiddeld 5 maanden in opslag is.

Om de methaanverliezen bij opslag van mest (ook wel koude vergisting genoemd) te kunnen berekenen, zijn vervolgens emissiefactoren voor methaanemissie gezocht. Hiervan is niet of nauwelijks geschikte literatuur beschikbaar. Wel is een tabel uit Anonymus (1992b) bruikbaar. Deze tabel is deels overgenomen en weergegeven in Tabel 12.

Tabel 12 Globale schatting van spontane vergisting in mest in m³ CH₄/m³ mest (Anonymus, 1992b)

	Varkensmest	Rundermest
Alleen opslag ¹ bij 10 °C en 15% ent	6,5	2,3
Alleen opslag ¹ bij 15 °C en 15% ent	9,6	4,3
Alleen opslag ¹ bij 20 °C en 15% ent	12,0	7,0
Opslag na vergisting ² , 10 °C	1,7 – 4,3	0,9
Opslag na vergisting ² , 20 °C	3,1 – 8,6	1,9

¹ opslag van 180 dagen

² opslag van 180 dagen na vergisting (30 °C, 20 dagen verblijftijd)

Anonymus (1992b) geeft aan dat de waarden die in Tabel 12 staan zijn berekend met een model. Dit model is ontwikkeld, uitgaande van ontwikkeling van methaan uit gehydrolyseerd substraat (vluchtige vetzuren) volgens de zogenaamde “Monod”-kinetiek en ontwikkeling van deze substraten voor methaanproductie via hydrolyse volgens een eerste orde kinetiek. De methaanproductie is vervolgens beschreven als een functie van de snelheidsconstanten voor groei en substraatverzadiging van methaanbacteriën, de temperatuur, de aan het begin aanwezige hoeveelheid methaanbacteriën en de fracties gehydrolyseerd en niet gehydrolyseerd materiaal in de mest. Deze bron volstaat met deze toelichting op de opbouw van het model.

In Tabel 12 staat dat bij opslag van melkveemest gemiddeld 4,3 m³ methaan verloren gaat per m³ mest over 180 dagen. Dit is omgerekend 0,024 m³ methaan per m³ mest die in opslag zit per dag. Daarbij is verondersteld dat de mest in de opslag een gemiddelde temperatuur heeft van 15 °C. In de praktijk varieert de temperatuur in een mestopslag onder de stal tussen 10 en 15 graden (deze volgt de temperatuur van het grondwater). Bij opslag in een bovengrondse silo kan de temperatuur iets sterker variëren.

Bij varkensmest wordt bij 15 °C een emissie van 9,6 m³ methaan per m³ mest gegeven. Dit is omgerekend 0,053 m³ methaan per m³ in de opslag aanwezige mest per dag. Anonymus (1992b) maakt geen onderscheid tussen zeugenmest en vleesvarkensmest. Dit zou betekenen dat, bij zeugenmest na 180 dagen opslag, 2/3 van de potentieel te vormen hoeveelheid methaan reeds is geëmitteerd.

Naast Anonymus (1992) zijn er enkele andere bronnen. Deze geven echter geen eenduidige emissiefactoren. Er zijn zowel bronnen met hogere emissies als bronnen die lagere emissies. Dit is een punt wat nader onderzoek vraagt.

Aangenomen is dat er geen verschil in methaanemissie is tussen opslag in een kelder of in een silo. Nader onderzoek zal moeten aantonen in hoeverre deze aanname terecht is. Mest in een silo zal waarschijnlijk iets warmer zijn dan in een kelder onder een stal en daardoor mogelijk iets meer methaan emitteren.

Wanneer een vergistingsinstallatie wordt aangeschaft neemt de methaanvorming sterk toe. Dit methaan emitteert echter niet, maar wordt opgevangen en verbrand. Als gevolg daarvan wordt wel CO₂ uitgestoten maar komt ook warmte en elektriciteit beschikbaar. Daardoor kan er bespaard worden op de aankoop van stroom en aardgas en kan de elektriciteit die niet op het eigen bedrijf wordt gebruikt, teruggeleverd worden aan het elektriciteitsnet. Hierdoor vindt op afstand een reductie in uitstoot van broeikasgassen plaats die toegeschreven mag worden aan de vergistingsinstallatie. Voor de elektriciteitsproductie wordt gerekend met 0,61 kg CO₂/kWh_e, voor de warmteopwekking met 1,77 kg CO₂/kWh_t. Deze getallen zijn opgenomen in de TEWI-benadering (Novem, 2000). Verbranding van methaan levert 1,97 kg CO₂/m³ methaan (Geersen, 1988). Per saldo zal er met een vergistingsinstallatie minder uitstoot aan broeikasgassen, uitgedrukt in CO₂-equivalenten, zijn dan in de situatie zonder vergistingsinstallatie.

Door de mest zo snel mogelijk te vergisten neemt de methaanemissie vanuit de mestopslag af. Bij varkens is er vanuit gegaan dat de mest gemiddeld 7 dagen in een mestkelder onder de stal wordt opgeslagen en daarna wordt vergist. Bij melkvee is er vanuit gegaan dat de mest gemiddeld 30 dagen in de kelder onder de stal wordt opgeslagen, daarnaast wordt er bij beperkt weiden een hoeveelheid mest opgeslagen die in de winter wordt geproduceerd en pas in de zomer wordt vergist. De methaanverliezen door koude vergisting vanuit de (voor-)opslag tellen mee in de milieubalans en worden tevens in mindering gebracht op de biogasproductie in de vergister.

Overigens mag worden verwacht dat veehouders die mest gaan vergisten, de mest zo snel mogelijk in de vergister zullen brengen, om methaanverliezen (= opbrengstderving) te beperken. Zeker bij nieuwbouw kan daarmee rekening worden gehouden. Bedrijven die mestvergisting toepassen, zullen daarom gaan streven naar een zo kort mogelijk verblijf in de vooropslag.

Wanneer de mest na vergisting wordt opgeslagen is verondersteld dat de methaanemissie lager is dan van niet vergiste mest. Gerekend is met 0,0133 m³ CH₄ per m³ aanwezige mest bij varkens en 0,00778 bij melkvee. Deze getallen zijn als volgt afgeleid. Het getal van melkvee is het gemiddelde van de waarden bij opslag na vergisting bij 10 en 20 °C in Tabel 12, nl. 1,4 m³ methaan per m³ mest per 180 dagen. Dat is omgerekend 0,00778 m³ methaan per m³ mest in opslag per dag.

Bij varkens is gekozen voor het gemiddelde van de minimum waarden uit de tabel bij 10 en 20 °C, nl. 2,4 m³ methaan per m³ mest per 180 dagen. De gemiddelde waarde uit de tabel (nl. 4,4 m³ methaan per m³ mest per 180 dagen) lijkt te hoog.

In de studie is er vanuit gegaan dat de opslag van reeds vergiste mest gasdicht is en dat deze is aangesloten op de gasopslag (voor gas vanuit de vergister). In de praktijk is dit bijvoorbeeld te realiseren door de gaszak boven in de mestsilo te plaatsen.

Van methaanemissie bij toedienen van mest op grasland is weinig bekend. Op basis van een oriënterende proef met rundermest (na zodenbemesting) is de methaanemissie op 0,167 kg per m³ mest gesteld. Bij varkensmest is er vanuit gegaan dat de methaanemissie bij toedienen 3 keer zo hoog is (bron: IMAG).

In deze studie is uitgegaan van verbranding van het biogas met een Zündstrahlmotor, deze verbrandt continu diesel. Dit geeft een extra CO₂-uitstoot, maar aan de andere kant ook een hoger elektrisch rendement. Beide zijn verdisconteerd in de berekeningen. Er is daarbij vanuit gegaan dat 10% van de totale energie die door de WKK geleverd wordt afkomstig is van diesel. Aan de hand van de verbrandingswarmte is daarna uitgerekend hoeveel liter diesel daarbij verbruikt is.

Tijdens vergisting wordt CO₂ gevormd in de installatie, dit wordt samen met het methaangas als biogas verbrand. Aangenomen is dat er bij mestvergisting per saldo niet meer CO₂ geproduceerd wordt dan zonder mestvergisting. Reden daarvoor is dat zonder vergisten de organische stof in de bodem wordt afgebroken en dat daarbij alsnog CO₂-productie plaatsvindt.

Ten aanzien van ammoniak is te verwachten dat de emissie hiervan toeneemt. Twee drijvende krachten achter de emissie nemen toe; het ammoniumgehalte met ca 15%, de pH met een halve eenheid. Door het hogere ammoniumgehalte zal naar verwachting ook emissie toenemen in dezelfde mate. De pH stijging heeft een veel grotere invloed, hierdoor zou in theorie de emissie kunnen verdrievoudigen (Monteny, 2000). Deze getallen gelden uitsluitend wanneer geen enkele maatregel zou worden getroffen om de emissie te verminderen. In Nederland is emissiearme opslag en toediening verplicht, zodat per saldo de stijging minder groot zal zijn. Overigens wordt de hogere emissie bij toedienen deels gecompenseerd doordat de mest dunner is en sneller in de bodem wordt opgenomen (Birkmose, 1997). Het effect van mestvergisting op de ammoniakemissie is vanwege deze onzekerheden niet verder uitgewerkt in deze studie.

Bijkomend voordeel van mestvergisting is mogelijk de betere stikstofwerking van de mest. Ook dit moet echter nog nader worden onderzocht. Wanneer de stikstofwerking van vergiste mest bijvoorbeeld 10% hoger is dan die van niet vergiste mest, levert dit, door een vermindering van het

kunstmestgebruik, een besparing op van 40 MJ per m³ mest (Okken, 1985). Indirect kan dit dus ook een besparing geven van de CO₂-uitstoot. Dit effect van mestvergisting is in deze studie buiten beschouwing gelaten.

Bovenstaande aannames zijn in bijlage 4 volgens de TEWI-benadering samengevat.

4 Resultaten economie

In dit hoofdstuk worden de resultaten ten aanzien van economie beschreven. De resultaten worden op twee manieren weergegeven. Er wordt steeds 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. 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 dit, dat het rentepercentage door twee gedeeld kan worden. Overigens is het voor investeringen in "groene energie" waarschijnlijk mogelijk geld uit groenfondsen te lenen waardoor het rentepercentage aanzienlijk lager is dan op normale leningen.

4.1 Resultaten melkvee beperkt weiden (B)

4.1.1 Basis scenario

In Tabel 13 zijn de economische resultaten weergegeven bij mestvergistings in het basisscenario op een bedrijfssysteem met beperkt weiden (B). De tabel geeft voor alle combinaties van bedrijfsgrootte en melkproductie per koe het resultaat in guldens per bedrijf. Ook het rendement op het geïnvesteerde vermogen is uit de tabel af te lezen. Alle bedragen zijn weergegeven bij een teruglevertarief voor elektriciteit dat zowel inclusief als exclusief een toeslag voor groene stroom is.

Tabel 13 Basisscenario melkvee, beperkt weiden met melkstal

	Teruglevertarief elektriciteit	Geen groene stroom				Wel groene stroom			
		7500	8500	9500	10500	7500	8500	9500	10500
	Productie per koe [kg]								
	# Koeien								
Resultaat [f]	75	-20074	-18518	-16963	-15509	-17755	-16084	-14413	-12843
	100	-14361	-12490	-10618	-8746	-11125	-9099	-7072	-5046
	125	-8848	-6512	-4176	-1840	-4694	-2165	365	2894
	150	-3545	-742	2061	4864	1526	4561	7596	10631
Rendement	75	-5,7%	-5,3%	-4,8%	-4,4%	-5,0%	-4,6%	-4,1%	-3,6%
	100	-4,1%	-3,5%	-3,0%	-2,5%	-3,2%	-2,6%	-2,0%	-1,4%
	125	-2,5%	-1,8%	-1,2%	-0,5%	-1,3%	-0,6%	0,1%	0,8%
	150	-1,0%	-0,2%	0,6%	1,4%	0,4%	1,3%	2,2%	3,0%

Uit Tabel 13 blijkt dat mestvergistings op een bedrijf met een melkstal, waarbij de koeien in de zomer overdag buiten zijn, bij het basisscenario zonder groene stroom toeslag, niet interessant is. Alleen bij 150 koeien met een productie vanaf 9.500 kg per koe wordt een licht positief resultaat behaald. Ook dan is het rendement op het geïnvesteerde vermogen echter nog zo laag dat de rentekosten niet gedekt worden.

Wanneer een teruglevertarief inclusief een toeslag voor groene stroom gerealiseerd kan worden stijgt het rendement met 0,7 procent voor bedrijven met 75 koeien die 7.500 kg melk geven tot 1,6 procent voor bedrijven met 150 koeien die 10.500 kg melk geven. Bij de hoge terugleverprijs ligt het break-even punt in de buurt van de 125 tot 150 melkkoeien. De rentekosten voor de installatie moeten dan nog wel vergoed worden.

Bij gebruik van een melkrobot is het energiegebruik rondom het melken volgens de uitgangspunten hoger dan bij een conventioneel melksysteem. Wanneer een bedrijf zowel een melkrobot als een biogasinstallatie heeft, kan een groter deel van de opgewekte elektriciteit op het bedrijf zelf worden benut. Eigen gebruik van elektriciteit wordt verrekend tegen het inkooptarief. Met de huidige prijsstellingen is die iets hoger dan het teruglevertarief. In Tabel 14 staan de resultaten bij gebruik van een melkrobot in het basisscenario bij beperkt weiden.

Tabel 14 Basisscenario melkvee, beperkt weiden met melkrobot

	Teruglevertarief elektriciteit	Geen groene stroom				Wel groene stroom			
		Productie per koe [kg]							
		# Koeien							
Resultaat [f]	75	-19147	-17818	-16489	-15160	-17918	-16554	-15190	-13826
	100	-13515	-11743	-9992	-8276	-11780	-9962	-8164	-6401
	125	-7744	-5603	-3462	-1243	-5502	-3303	-1103	1174
	150	-2275	295	2864	5604	473	3113	5752	8562
Rendement	75	-5,4%	-5,1%	-4,7%	-4,3%	-5,1%	-4,7%	-4,3%	-3,9%
	100	-3,8%	-3,3%	-2,8%	-2,3%	-3,3%	-2,8%	-2,3%	-1,8%
	125	-2,2%	-1,6%	-1,0%	-0,4%	-1,6%	-0,9%	-0,3%	0,3%
	150	-0,6%	0,1%	0,8%	1,6%	0,1%	0,9%	1,6%	2,4%

Uit Tabel 14 blijkt dat de resultaten bij gebruik van een melkrobot nauwelijks afwijken van die bij een melkstal. De reden hiervan is dat er slechts een klein verschil zit tussen de aankoop prijs en teruglever prijs voor elektriciteit.

4.1.2 Positief scenario

In Tabel 15 zijn de resultaten weergegeven bij beperkt weiden bij een positief scenario.

Tabel 15 Positief scenario melkvee, beperkt weiden met melkstal

	Teruglevertarief elektriciteit	Geen groene stroom				Wel groene stroom			
		Productie per koe [kg]							
		# Koeien							
Resultaat [f]	75	-8527	-6635	-4743	-2934	-5269	-3420	-1573	182
	100	-1452	849	3114	5374	2483	4941	7373	9625
	125	5012	7837	10663	13488	10028	12974	15937	18791
	150	11430	14821	18212	21602	17424	20960	24506	27958
Rendement	75	-3,2%	-2,5%	-1,8%	-1,1%	-2,0%	-1,2%	-0,4%	0,3%
	100	-0,5%	0,3%	1,2%	2,0%	1,2%	2,1%	3,1%	4,0%
	125	1,9%	3,0%	4,0%	5,1%	4,1%	5,3%	6,4%	7,6%
	150	4,3%	5,6%	6,9%	8,2%	7,0%	8,4%	9,8%	11,2%

Bij het positieve scenario biedt de toepassing van mestvergistings voor grotere bedrijven mogelijk perspectief. Zonder toeslag voor groene stroom varieert het rendement op het geïnvesteerde vermogen tussen -3,2 en +8,2 procent. Er wordt dan maximaal 21.000 gulden op bedrijfsniveau verdiend aan mestvergistings. Het break-even punt ligt bij 100 melkkoeien, vanaf 8.500 kg melk per koe. In het positieve scenario met een toeslag voor groene stroom levert mestvergistings in veel van de doorgerkende bedrijfssituaties een positieve bijdrage aan het inkomen. Het rendement loopt op tot 11% van het geïnvesteerde vermogen. Het break-even punt ligt tussen 75 en 100 melkkoeien. In Tabel 16 staan de resultaten beperkt weiden met een melkrobot bij het positieve scenario.

Tabel 16 Positief scenario melkvee, beperkt weiden met melkrobot

	Teruglevertarief elektriciteit	Geen groene stroom				Wel groene stroom			
		Productie per koe [kg]							
		# Koeien							
Resultaat [f]	75	-7206	-5362	-3570	-1889	-5269	-3420	-1573	182
	100	-245	2216	4613	6767	2483	4941	7373	9625
	125	6508	9458	12401	15146	10028	12974	15937	18791
	150	13113	16652	20188	23526	17424	20960	24506	27958
Rendement	75	-2,7%	-2,0%	-1,4%	-0,7%	-2,0%	-1,3%	-0,6%	0,1%
	100	-0,1%	0,8%	1,7%	2,6%	0,9%	1,9%	2,8%	3,6%
	125	2,5%	3,6%	4,7%	5,7%	3,8%	4,9%	6,0%	7,1%
	150	5,0%	6,3%	7,6%	8,9%	6,6%	7,9%	9,3%	10,6%

Uit Tabel 16 blijkt dat de melkrobot ook bij het positieve scenario leidt tot een vergelijkbaar economisch resultaat als bij een traditionele melkstal.

4.2 Resultaten melkvee summerfeeding (S)

4.2.1 Basis scenario

Tabel 17 geeft het resultaat weer 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).

Tabel 17 Basisscenario melkvee, summerfeeding met melkstal

Teruglevertarief elektriciteit		Geen groene stroom				Wel groene stroom			
Productie per koe [kg]		7500	8500	9500	10500	7500	8500	9500	10500
# Koeien									
Resultaat [f]	75	-15541	-13808	-12074	-10442	-11733	-9821	-7909	-6098
	100	-8464	-6355	-4246	-2137	-3243	-895	1453	3800
	125	-1841	769	3380	5991	4795	7704	10612	13521
	150	4680	7812	10945	14078	12730	16220	19711	23201
Rendement	75	-4,4%	-3,9%	-3,4%	-3,0%	-3,3%	-2,8%	-2,2%	-1,7%
	100	-2,4%	-1,8%	-1,2%	-0,6%	-0,9%	-0,3%	0,4%	1,1%
	125	-0,5%	0,2%	1,0%	1,7%	1,4%	2,2%	3,0%	3,8%
	150	1,3%	2,2%	3,1%	4,0%	3,6%	4,6%	5,6%	6,6%

Uit Tabel 17 blijkt dat mestvergisting rendabel is bij het basisscenario zonder toeslag voor groene stroom voor bedrijven vanaf 125 koeien met een productie van 8.500 kg melk per koe. Doordat bij summerfeeding alle mest het hele jaar door beschikbaar is voor vergisting, wordt de capaciteit van de biogasinstallatie en de gasmotor het hele jaar door optimaal benut. Hierdoor stijgt het rendement op het geïnvesteerde vermogen bij summerfeeding ten opzichte van beperkt weiden met 1,3% bij 75 koeien en 7.500 kg melk/koe, tot 2,6% bij 150 koeien met 10.500 kg melk/koe. Het break-even punt ligt bij 100 melkkoeien en 9.500 kg melk per koe.

Het rendement bij een teruglevertarief met groene stroom is gunstiger. In dat geval ligt het break-even punt bij 100 melkkoeien vanaf 8.500 kg melk per koe.

De resultaten van de berekeningen voor een bedrijf met summerfeeding en een melkrobot zijn weergegeven in Tabel 18.

Tabel 18 Basisscenario melkvee, summerfeeding met melkrobot

Teruglevertarief elektriciteit		Geen groene stroom				Wel groene stroom			
Productie per koe [kg]		7500	8500	9500	10500	7500	8500	9500	10500
# Koeien									
Resultaat [f]	75	-14366	-12674	-10983	-9291	-11796	-10091	-8385	-6680
	100	-7368	-5113	-2878	-679	-3797	-1523	730	2948
	125	-485	2239	4962	7685	4089	6835	9582	12328
	150	6205	9473	12741	16009	11780	15076	18372	21667
Rendement	75	-4,1%	-3,6%	-3,1%	-2,6%	-3,3%	-2,9%	-2,4%	-1,9%
	100	-2,1%	-1,5%	-0,8%	-0,2%	-1,1%	-0,4%	0,2%	0,8%
	125	-0,1%	0,6%	1,4%	2,2%	1,2%	1,9%	2,7%	3,5%
	150	1,8%	2,7%	3,6%	4,5%	3,3%	4,3%	5,2%	6,1%

Uit Tabel 18 blijkt dat net als bij beperkt weiden bij mestvergisting de melkrobot een vergelijkbaar rendement geeft als bij een traditionele melkstal.

4.2.2 Positief scenario

In Tabel 19 en Tabel 20 zijn de resultaten weergegeven van de berekeningen met een positief scenario voor bedrijven met summerfeeding, bij respectievelijk een melkstal en een melkrobot.

Tabel 19 Positief scenario melkvee summerfeeding met melkstal

Teruglevertarief elektriciteit		Geen groene stroom				Wel groene stroom			
Productie per koe [kg]		7500	8500	9500	10500	7500	8500	9500	10500
# Koeien									
Resultaat [f]	75	-3206	-1131	944	2936	1931	4263	6595	8845
	100	5307	7853	10397	12942	12302	15191	18079	20967
	125	13406	16586	19767	22947	22259	25869	29479	33088
	150	21503	25320	29136	32953	32215	36547	40878	45210
Rendement	75	-1,2%	-0,4%	0,4%	1,1%	0,7%	1,6%	2,5%	3,3%
	100	2,0%	3,0%	3,9%	4,9%	4,7%	5,7%	6,8%	7,9%
	125	5,1%	6,3%	7,5%	8,7%	8,4%	9,8%	11,2%	12,5%
	150	8,1%	9,6%	11,0%	12,5%	12,2%	13,8%	15,5%	17,1%

Bij het positieve scenario en summerfeeding geeft mestvergisting zonder toeslag voor groene stroom reeds bij 75 melkkoeien en een melkproductie van 9.500 kg per koe een positief rendement. Met toeslag voor groene stroom is het resultaat bij alle doorgerekende bedrijfssituaties positief. Zonder groene stroom toeslag loopt het rendement bij de grootste bedrijven op tot ruim 12% van het geïnvesteerde vermogen, met groene stroom tot 17%.

Tabel 20 Positief scenario melkvee, summerfeeding met melkrobot

Teruglevertarief elektriciteit		Geen groene stroom				Wel groene stroom			
Productie per koe [kg]		7500	8500	9500	10500	7500	8500	9500	10500
# Koeien									
Resultaat [f]	75	-1885	144	2173	4202	1891	3996	6101	8205
	100	6514	9219	11906	14550	11694	14501	17289	20034
	125	14902	18207	21511	24816	21487	24918	28349	31781
	150	23185	27151	31116	35082	31175	35292	39410	43527
Rendement	75	-0,7%	0,1%	0,8%	1,6%	0,7%	1,5%	2,3%	3,1%
	100	2,5%	3,5%	4,5%	5,5%	4,4%	5,5%	6,5%	7,6%
	125	5,6%	6,9%	8,1%	9,4%	8,1%	9,4%	10,7%	12,0%
	150	8,8%	10,3%	11,8%	13,3%	11,8%	13,3%	14,9%	16,5%

De resultaten met een melkrobot zijn wederom vergelijkbaar met die bij een traditionele melkstal.

4.3 Samenvatting melkvee

In deze paragraaf zijn de resultaten van de voorgaande paragrafen van melkvee samengevat. Daarbij zijn de resultaten van de bedrijfssituaties bij de melkrobot weggelaten, omdat deze nagenoeg dezelfde resultaten geven als bij een traditionele melkstal. Vervolgens is per scenario telkens het minimale en het maximale rendement bepaald. Deze komen overeen met bedrijfssituaties met respectievelijk 75 melkkoeien en 7500 kg melk per koe en 150 melkkoeien en 10500 kg melk per koe. In Tabel 21 staan de resultaten.

Tabel 21 Overzicht rendement van mestvergisting bij melkvee als percentage van geïnvesteerd vermogen

Teruglevertarief elektriciteit		Geen groene stroom		Wel groene stroom	
Scenario		Min	Max	Min	Max
Beperkt weiden	Basis	-5,7	+1,4	-5,0	+3,0
	Positief	-3,2	+8,2	-2,0	+11,2
Summerfeeding	Basis	-4,4	+4,0	-3,3	+6,6
	Positief	-1,2	+12,5	+0,7	+17,1

Uit Tabel 21 blijkt dat een toeslag voor groene stroom het rendement verhoogt. Tevens blijkt dat summerfeeding het rendement hoger is dan bij beperkt weiden. Bij het positieve scenario is het rendement het hoogst.

In Tabel 22 staat een overzicht van alle doorgerekend scenario's en bedrijfssituaties. Hierbij is per situatie aangegeven bij welk melkquotum mestvergisting het break-even punt ligt, exclusief en inclusief rentevergoeding. Bij de rentevergoeding is uitgegaan van een lening vanuit een groenfonds, met een rente van 4 - 5%.

Bij een restwaarde van nul kan het rentepercentage door 2 gedeeld worden. Het rendement over de investering moet dan 2-2,5% bedragen.

Tabel 22 Overzicht van de break-even punten exclusief en inclusief rentevergoeding weergegeven op basis van het melkquotum (quotum x 1000 kg)

Scenario		Exclusief rentevergoeding		Inclusief rentevergoeding	
		Geen groene stroom	Wel groene stroom	Geen groene stroom	Wel groene stroom
Beperkt weiden	Basis	1.425	1.188	∞	1.425
	Positief	850	788	1.005	850
Summerfeeding	Basis	1.063	950	1.278	1063
	Positief	713	563	750	713

4.4 Resultaten varkens

De berekeningen voor varkens zijn onderverdeeld in die voor het basis scenario en het positieve scenario.

4.4.1 Basis scenario

In Tabel 23 zijn de economische resultaten weergegeven van mestvergisting in het basisscenario. De tabel geeft voor alle combinaties van bedrijfsgrootte en soort dieren (zeugen en/of vleesvarkens) het resultaat in guldens per bedrijf. Ook het rendement op het geïnvesteerde vermogen is uit de tabel af te lezen. Alle bedragen zijn weergegeven bij een teruglevertarief voor elektriciteit dat zowel inclusief als exclusief een toeslag voor groene stroom is.

Tabel 23 Basisscenario varkens (gesloten bedrijven in **vet**)

		Teruglevertarief Geen groene stroom					Wel groene stroom				
elektriciteit											
Zeugen		0	200	300	400	500	0	200	300	400	500
Vleesvarkens											
Resultaat [f]	0	-	-26442	-20904	-15513	-10143	-	-26219	-20424	-14766	-9130
	1500	-5973	5224	10647	16074	21504	-2109	9463	15077	20697	26320
	2250	9299	20613	26030	31452	36877	15311	27000	32606	38219	43836
	3000	24476	36006	41419	46836	52257	32638	44540	50142	55749	61362
	3750	39596	51400	56810	62224	67642	49907	62083	67681	73284	78893
Rendement	0	-	-7,5%	-5,9%	-4,4%	-2,9%	-	-7,4%	-5,8%	-4,2%	-2,6%
	1500	-1,7%	1,5%	3,0%	4,6%	6,1%	-0,6%	2,7%	4,3%	5,9%	7,5%
	2250	2,6%	5,8%	7,4%	8,9%	10,5%	4,3%	7,7%	9,3%	10,8%	12,4%
	3000	6,9%	10,2%	11,7%	13,3%	14,8%	9,3%	12,6%	14,2%	15,8%	17,4%
	3750	11,2%	14,6%	16,1%	17,7%	19,2%	14,2%	17,6%	19,2%	20,8%	22,4%

Uit Tabel 23 blijkt dat mestvergisting in het basisscenario bij alleen zeugen geen positief economisch resultaat geeft. Bij alleen vleesvarkens is mestvergisting rendabel op bedrijven met ongeveer 1750 vleesvarkens. Op gesloten bedrijven is het rendabel vanaf 200 zeugen en 1500 vleesvarkens. Het rendement op het geïnvesteerde vermogen loopt op tot maximaal 19%. Bij een toeslag voor groene stroom geeft mestvergisting nog iets gunstiger resultaten, het rendement loopt op tot maximaal 22%. Wanneer de rentevergoeding wordt inbegrepen is mestvergisting rendabel vanaf 2250 vleesvarkens en bij een gesloten bedrijf vanaf ongeveer 200 zeugen en 1500 vleesvarkens.

4.4.2 Positief scenario

In Tabel 24 staan de resultaten bij het positieve scenario beschreven.

Tabel 24 Positief scenario varkens (gesloten bedrijven in **vet**)

Teruglevertarief elektriciteit	Geen groene stroom					Wel groene stroom					
	Zeugen	0	200	300	400	500	0	200	300	400	500
Vleesvarkens											
Resultaat [f]	0	-	-17602	-8977	-1991	4965	-	-15660	-8116	-733	6625
	1500	9515	24460	31370	38285	45204	14792	30454	37726	45005	52289
	2250	28952	44396	51298	58205	65118	37086	53244	60507	67777	75053
	3000	48291	64336	71232	78135	85042	59282	76040	83296	90559	97829
	3750	67561	83607	91171	98069	104972	81410	98167	106090	113348	120612
Rendement	0	-	-6,7%	-3,4%	-0,8%	1,9%	-	-5,9%	-3,1%	-0,3%	2,5%
	1500	3,6%	9,3%	11,9%	14,5%	17,1%	5,6%	11,5%	14,3%	17,0%	19,8%
	2250	11,0%	16,8%	19,4%	22,0%	24,6%	14,0%	20,1%	22,9%	25,6%	28,4%
	3000	18,3%	24,3%	26,9%	29,6%	32,2%	22,4%	28,8%	31,5%	34,3%	37,0%
	3750	25,6%	31,6%	34,5%	37,1%	39,7%	30,8%	37,1%	40,1%	42,9%	45,6%

Uit Tabel 24 blijkt dat bij het positieve scenario mestvergisting een gunstiger resultaat geeft dan in het basisscenario. Bij alleen zeugen is vergisting rendabel op bedrijven met minimaal 500 dieren. Bij alleen vleesvarkens ligt het break-even punt bij ongeveer 1500 dieren, op gesloten bedrijven ligt het break-even punt bij ongeveer 200 zeugen en 1500 vleesvarkens.

Het rendement op het geïnvesteerde vermogen loopt op van 40% zonder groene stroom tot 46% met toeslag voor groene stroom.

Wanneer de rentevergoeding wordt inbegrepen is mestvergisting voor gespecialiseerde bedrijven rendabel vanaf 1500 vleesvarkens en voor gesloten bedrijven vanaf 200 zeugen en 1500 vleesvarkens. Bij deze resultaten dient opgemerkt te worden dat de verschillen in de bedrijfsomvang groot zijn. Het break-even punt kan dus in werkelijkheid op een kleinere bedrijfsomvang liggen.

5 Resultaten Milieu

In dit hoofdstuk worden de resultaten van het onderzoek ten aanzien van milieu beschreven. Hierbij is het effect van mestvergisten weergegeven ten opzichte van een bedrijfsvoering zonder vergister. Vergisten heeft enerzijds effect op de uitstoot van methaan (CH₄), met name vanuit de mestopslag. Anderzijds levert mestvergisting een besparing op de aankoop van fossiele brandstof en ook daarmee een besparing op de uitstoot van kooldioxide (CO₂).

In Tabel 25 wordt een overzicht gegeven van de emissiefactoren die van belang zijn bij het berekenen van het effect van mestvergisting op de uitstoot van broeikasgassen.

Tabel 25 Emissiefactoren van de verschillende processen

Bron	Zonder vergisten		Met vergisten	
	Emissiefactor	Eenheid	Emissiefactor	Eenheid
Aankoop elektriciteit	0,61	kg CO ₂ /kWhe	0,61	kg CO ₂ /kWhe
Aankoop aardgas	1,77	kg CO ₂ /m ³	1,77	kg CO ₂ /m ³
Verkoop elektriciteit			0,61	kg CO ₂ /kWhe
Vergisting in mestopslag	21	kg CO ₂ /kg CH ₄		
Methaanverbranding			1,97	kg CO ₂ /m ³ CH ₄
Mesttoediening	3,51	kg CO ₂ / m ³ mest		

Al deze effecten zijn getotaliseerd en vervolgens omgerekend naar CO₂-equivalenten. In de onderstaande tabellen is de resterende uitstoot in CO₂-equivalenten weergegeven na mestvergisten t.o.v. niet vergisten. Bij de berekeningen is er vanuit gegaan dat mestvergisting geen effect heeft op de emissie van lachgas (N₂O). Er zijn echter indicaties dat de werking van vergiste mest beter is dan die van onbehandelde mest. Daardoor kan mogelijk op kunstmestgebruik bespaard worden en daarmee de uitstoot van lachgas verminderen.

Mestvergisting heeft naast een effect op de uitstoot van broeikasgassen ook effect op andere milieucomponenten. Ten aanzien van ammoniak zijn nog geen uitspraken te doen. Er zijn indicaties dat de emissie van ammoniak iets kan toenemen. Uit de literatuur is bekend dat mestvergisting de emissie van stank reduceert. Ten aanzien van mineralen heeft mestvergisting geen effect. De totale hoeveelheden stikstof, fosfaat en kali blijven onveranderd.

5.1 Resultaten melkvee beperkt weiden (B)

In Tabel 26 staan de resultaten van mestvergisten op de uitstoot van broeikasgassen weergegeven. Er is geen verschil tussen wel of geen toeslag voor groene stroom op de uitstoot van broeikasgassen.

Tabel 26 Fractie van CO₂-uitstoot na vergisting bij beperkt weiden

Productie per koe [kg] # Koeien	Melkstal				Melkrobot			
	7500	8500	9500	10500	7500	8500	9500	10500
Basis scenario	75	41,6%	41,5%	41,3%	41,2%	48,3%	48,4%	48,6%
	100	40,8%	40,7%	40,6%	40,5%	47,7%	47,9%	48,1%
	125	40,2%	40,2%	40,1%	40,1%	47,3%	47,5%	47,8%
	150	39,9%	39,9%	39,8%	39,8%	47,0%	47,3%	47,5%
Positief scenario	75	39,2%	39,1%	39,0%	38,9%	46,2%	46,4%	46,5%
	100	38,4%	38,3%	38,3%	38,3%	45,6%	45,8%	46,1%
	125	38,2%	38,2%	38,2%	38,3%	45,5%	45,8%	46,1%
	150	38,1%	38,1%	38,2%	38,2%	45,5%	45,8%	46,1%

Uit Tabel 26 blijkt dat mestvergisting een aanzienlijke besparing levert t.a.v. de uitstoot van broeikasgassen. Bij een traditionele melkstal bedraagt in het basisscenario de uitstoot in CO₂-equivalenten na vergisten slechts ruim 40% van de uitstoot in de situatie zonder vergisten; een reductie van bijna 60%. Bij een melkrobot is de besparing iets geringer. De verklaring hiervoor is dat bij de melkrobot het energieverbruik hoger is. Daardoor ligt de CO₂-uitstoot bij een robot op een hoger niveau, zodat de bijdrage van mestvergisting procentueel lager wordt.

In het positieve scenario wordt meer biogas gewonnen dan in het basisscenario, waardoor de reductie op broeikasgassen groter is.

De percentages in Tabel 26 zijn ook uit te drukken in kg CO₂-equivalenten per m³ vergiste mest. Bij het basisscenario is dit gemiddeld 43,0 kg per m³ mest. Er is geen verschil tussen de melkstal of de melkrobot. Bij het positieve scenario is het gemiddeld 44,3 kg CO₂-equivalenten per m³ mest.

5.2 Resultaten melkvee summerfeeding (S)

Tabel 27 toont de resultaten t.a.v. CO₂-uitstoot bij summerfeeding met een melkstal en een melkrobot.

Tabel 27 Fractie van CO₂-uitstoot na vergisting bij summerfeeding

	Productie per koe [kg] # Koeien	Melkstal				Melkrobot			
		7500	8500	9500	10500	7500	8500	9500	10500
Basis scenario	75	24,2%	24,6%	25,0%	25,3%	31,6%	32,3%	32,9%	33,5%
	100	23,2%	23,7%	24,1%	24,4%	30,8%	31,6%	32,3%	32,8%
	125	22,7%	23,2%	23,7%	24,1%	30,4%	31,3%	32,0%	32,7%
	150	22,5%	23,1%	23,5%	24,0%	30,3%	31,2%	31,9%	32,6%
Positief scenario	75	21,9%	22,4%	22,8%	23,2%	29,5%	30,3%	31,0%	31,6%
	100	21,4%	21,9%	22,4%	22,8%	29,2%	30,1%	30,8%	31,5%
	125	21,1%	21,7%	22,2%	22,6%	29,0%	29,9%	30,7%	31,3%
	150	20,9%	21,5%	22,0%	22,5%	28,9%	29,8%	30,6%	31,3%

Uit Tabel 27 blijkt dat de besparing t.a.v. de uitstoot van broeikasgassen bij summerfeeding groter is dan bij beperkt weiden. De reden hiervan is dat er bij summerfeeding meer mest in de stal wordt geproduceerd. Door deze mest te vergisten wordt meer biogas geproduceerd (en daarmee elektriciteit en warmte). Tevens levert mestvergisting in dat geval een grotere reductie t.a.v. de emissie van CH₄ vanuit de mestopslag. Doordat bij summerfeeding de mestproductie vrijwel constant is over het jaar hoeft er geen buffer aangelegd te worden. Bij beperkt weiden wordt in de zomer minder mest opgevangen. Om de biogasinstallatie toch optimaal te kunnen benutten wordt een buffer aangelegd in de winter. Deze buffer veroorzaakt methaanemissie door koude vergisting in de opslag. Ook in de mest die in de wei is uitgescheiden zal methaan ontstaan en emitteren. Deze hoeveelheid is onbekend en niet meegenomen.

Bij een traditionele melkstal bedraagt in de basissituatie de uitstoot in CO₂-equivalenten na vergisten slechts ca 24%, een reductie van ca 76%. Bij een melkrobot is de besparing iets geringer, net als bij beperkt weiden. Bij het positieve scenario is de reductie t.a.v. broeikasgassen door vergisting iets groter, net als bij beperkt weiden het geval was.

De percentages in Tabel 27 zijn ook uit te drukken in kg CO₂-equivalenten per m³ vergiste mest. Bij het basisscenario is dit gemiddeld 51,6 kg per m³ mest. Ook hier geen verschil tussen de melkstal of de melkrobot. Bij het positieve scenario is het gemiddelde 52,6 kg CO₂-equivalenten per m³ mest.

5.3 Resultaten varkens

In Tabel 28 staan de resultaten t.a.v. de uitstoot van broeikasgassen na vergisting bij varkensbedrijven.

Tabel 28 Fractie van CO₂-uitstoot na mestvergisting bij varkens (gesloten bedrijven in **vet**)

Basisscenario						Positief scenario				
Zeugen	0	200	300	400	500	0	200	300	400	500
Vleesvarkens										
s										
0	-	37,8%	36,6%	36,0%	35,7%	-	36,3%	35,1%	34,5%	34,1%
1500	17,8%	24,2%	25,8%	27,0%	27,9%	15,2%	21,7%	23,5%	24,8%	25,8%
2250	16,9%	22,0%	23,6%	24,8%	25,8%	14,3%	19,3%	21,1%	22,4%	23,5%
3000	16,4%	20,6%	22,1%	23,3%	24,3%	13,8%	17,9%	19,5%	20,8%	21,9%
3750	16,1%	19,6%	21,0%	22,1%	23,1%	13,6%	17,0%	18,3%	19,6%	20,6%

Uit Tabel 28 blijkt dat de besparing t.a.v. de uitstoot van broeikasgassen bij varkens groter is dan die bij melkvee. De resterende emissie in CO₂-equivalenten bedraagt bij alleen zeugen ca. 35%; een reductie van 65%. Bij alleen vleesvarkens is de resterende emissie 15 - 17%, een reductie van ca 85%. De reden hiervoor is dat bij varkens een groter deel van de warmte die vrijkomt bij mestvergisting kan worden benut (voor de verwarming van stallen). Met name bij de zeugenhouderij is veel warmte nodig.

Anderzijds geeft zeugenmest minder biogas dan mest van vleesvarkens. Naarmate er naar verhouding meer zeugen op het bedrijf zijn, wordt de biogasproductie relatief lager. Daardoor daalt uiteindelijk ook de reductie van de uitstoot van broeikasgassen. In het positieve scenario is de reductie door vergisten iets groter dan in het basisscenario, omdat iets meer biogas wordt gewonnen.

De gegevens uit Tabel 28 kunnen ook in CO₂-equivalenten per m³ mest worden uitgedrukt. In het basisscenario is de besparing door mestvergisting bij alleen zeugen 119 kg CO₂-equivalenten per m³ mest. Bij alleen vleesvarkens bedraagt de reductie 128 kg CO₂-equivalenten per m³ mest en bij gesloten bedrijven 125 kg CO₂-equivalenten per m³ mest.

In het positieve scenario bedragen de reducties respectievelijk 122, 131 en 129 kg CO₂-equivalenten per m³ mest. De reductiepercentages zijn iets hoger omdat in het positieve scenario iets meer biogas wordt geproduceerd.

6 Gevoeligheidsanalyse

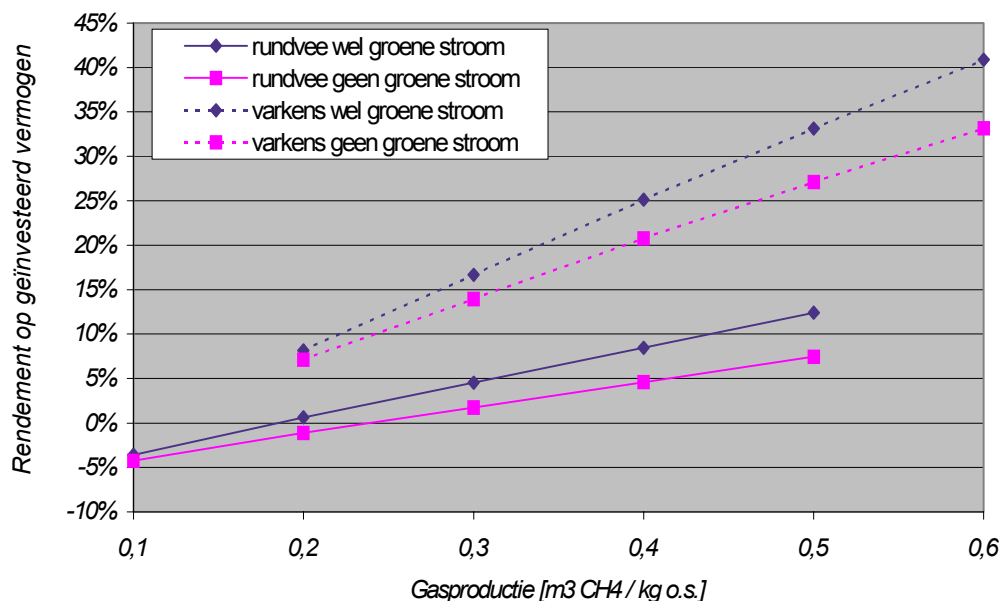
In dit hoofdstuk wordt op een aantal uitgangspunten van de berekeningen een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd. Hiervoor is zowel een melkvee- als een varkensbedrijf gedefinieerd. Voor melkvee is uitgegaan van een bedrijf met 85 koeien en een melkproductie van 8.500 kg per koe per jaar. Op dit bedrijf wordt 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 een conventioneel melksysteem op het bedrijf aanwezig.

Bij de berekeningen voor varkens is gekozen voor een gesloten bedrijf met 400 zeugen en 3000 vleesvarkens. De verwachting is dat, om de verspreiding van dierziekten zoveel mogelijk te beperken, in de toekomst de gesloten bedrijven zullen overheersen. Voor zowel melkvee- als varkensbedrijven zijn verder de uitgangspunten volgens het basisscenario gekozen. Vervolgens zijn achtereenvolgens een aantal factoren in positieve en negatieve zin gevarieerd. Het effect op rendement van het geïnvesteerde vermogen en het eventuele effect op de uitstoot van broeikasgassen is in grafieken weergegeven. Het rendement is zowel bepaald in de situatie met toeslag voor groene stroom als in de situatie zonder deze toeslag. De uitstoot van broeikasgassen is omgerekend naar CO₂-equivalenten en weergegeven als percentage van de uitstoot die zou plaatsvinden in de situatie zonder een biogasinstallatie.

6.1 Gasproductie

In het basisscenario is de gasproductie voor melkvee gesteld op 0,17 m³ CH₄/kg o.s. en voor varkens op 0,29 m³ CH₄/kg o.s. Het effect van veranderende gasproductie op het rendement van geïnvesteerd vermogen is weergegeven in Figuur 2.

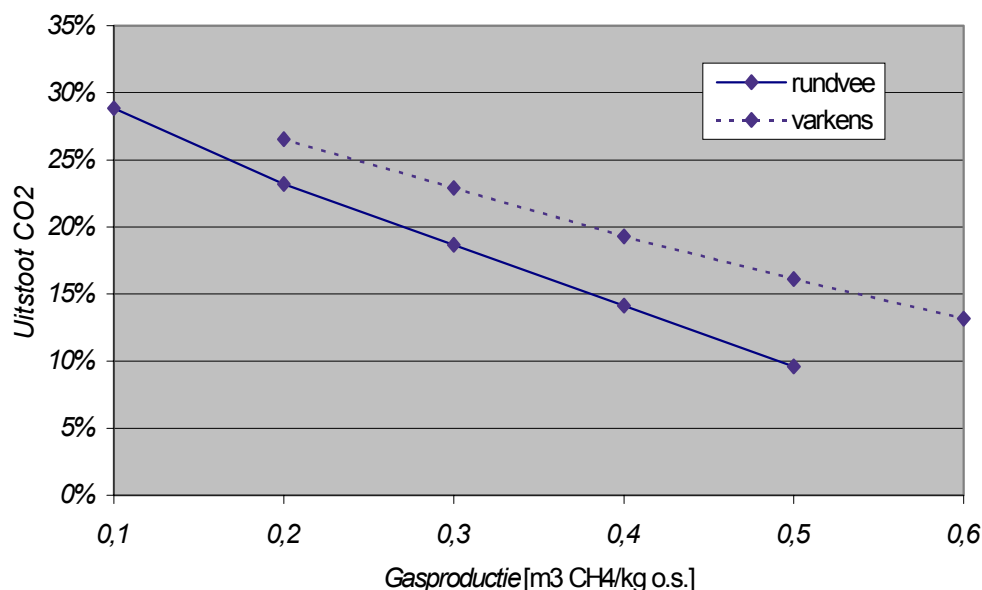
Figuur 2 Effect van veranderende gasproductie op rendement geïnvesteerd vermogen (%)



Uit de figuur blijkt dat bij een hogere gasproductie uit de mest het rendement van vergisting verbetert. Dit wordt voornamelijk veroorzaakt doordat de kosten van de vergister niet stijgen terwijl de opbrengsten van elektriciteit en warmte daarentegen wel toenemen.

Verhoging van de gasproductie met 10% geeft bij melkveebedrijven een toename van het rendement op het geïnvesteerde vermogen van 1,1 en 1,4%, respectievelijk zonder en met toeslag voor groene stroom. Bij varkens is dit respectievelijk 4,0 en 4,9%.

In Figuur 3 is te zien dat naarmate de gasproductie toeneemt de uitstoot van broeikasgassen, omgerekend naar CO₂-equivalenten en uitgedrukt als percentage van de uitstoot in een situatie zonder biogasinstallatie, afneemt. Door een hogere gasproductie kan meer elektriciteit en warmte worden opgewekt waardoor bespaard wordt op de aankoop van elektriciteit die elders wordt geproduceerd en daar voor CO₂-emissie zorgt.

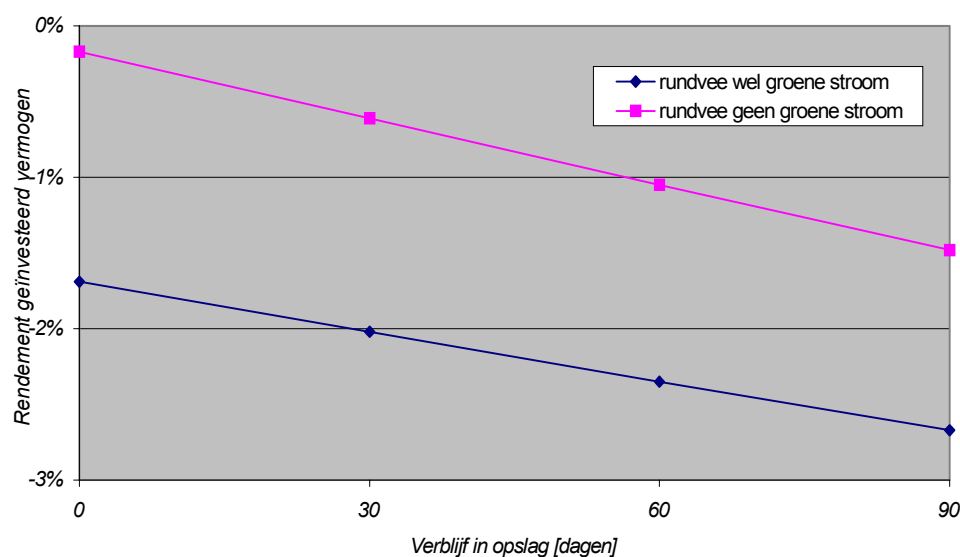
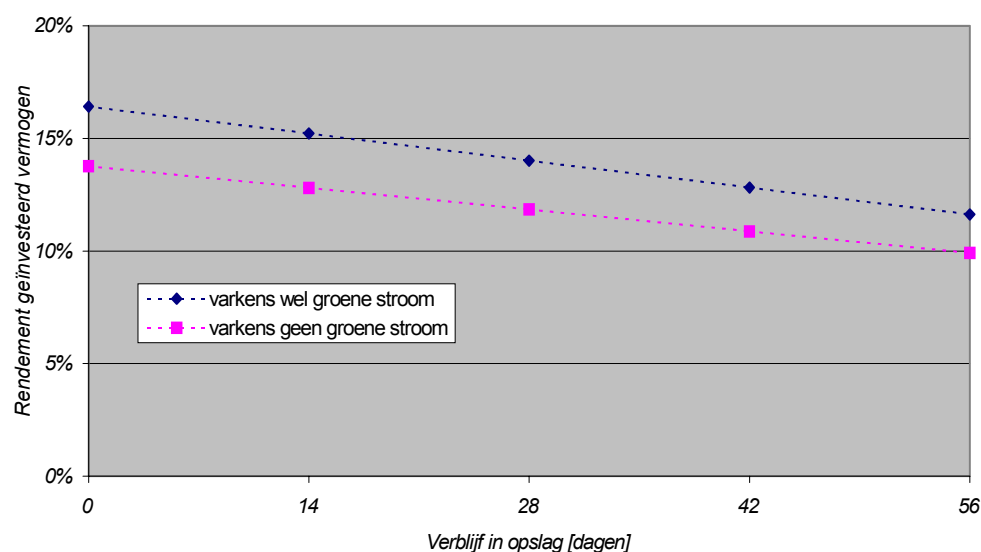
Figuur 3 Effect van veranderende gasproductie op CO₂-uitstoot

6.2 Verblifduur vooropslag

Bij varkens is er vanuit gegaan dat de mest na 7 dagen wordt vergist, bij melkvee na 30 dagen. Op moderne bedrijven is dit technisch mogelijk, gezien het feit dat deze steeds meer overgaan naar emissiearme huisvestingssystemen. Veel van de technieken die dan worden toegepast zijn er op gericht om de mest zo snel mogelijk af te voeren naar een gesloten opslag. De mest kan dan vers worden vergist, zodat de methaanverliezen voor vergisten (vanuit de vooropslag) minimaal zijn. In de praktijk kan mest echter ook pas later worden vergist. In het algemeen kan gezegd worden dat hoe sneller de mest vergist wordt hoe minder gas verloren gaat. In deze paragraaf is het effect van verschillende verblijftijd op economie en milieu doorgerekend. In Figuur 4 is het effect op het rendement geïnvesteerd vermogen bij melkvee weergegeven, in Figuur 5 dat bij varkens. Uit Figuur 4 en Figuur 5 blijkt dat het rendement op het geïnvesteerde vermogen afhangt van de verblijfsduur in de vooropslag. Bij een langere verblijfsduur gaat meer methaan verloren door kouder vergisting in de opslag. Dit methaan is niet meer beschikbaar voor energieopwekking. Bij gelijke investeringskosten voor de vergistingsinstallatie wordt minder stroom en warmte opgewekt en zal dus meer aangekocht moeten worden. Dit heeft een negatief effect op het rendement van de investeringen. Dat geldt ook voor de effecten op milieu. Door een afname in opgewekte energie zal de aankoop toenemen en daarmee de reductie in CO₂-uitstoot afnemen. Uit Tabel 29 blijkt dat de verblijfsduur van de mest in de vooropslag een aanzienlijk effect heeft op de uitstoot van methaan en daarmee op het effect van vergisten. Naarmate mest ouder wordt vergist, is de besparing op de uitstoot van broeikasgassen door vergisting geringer.

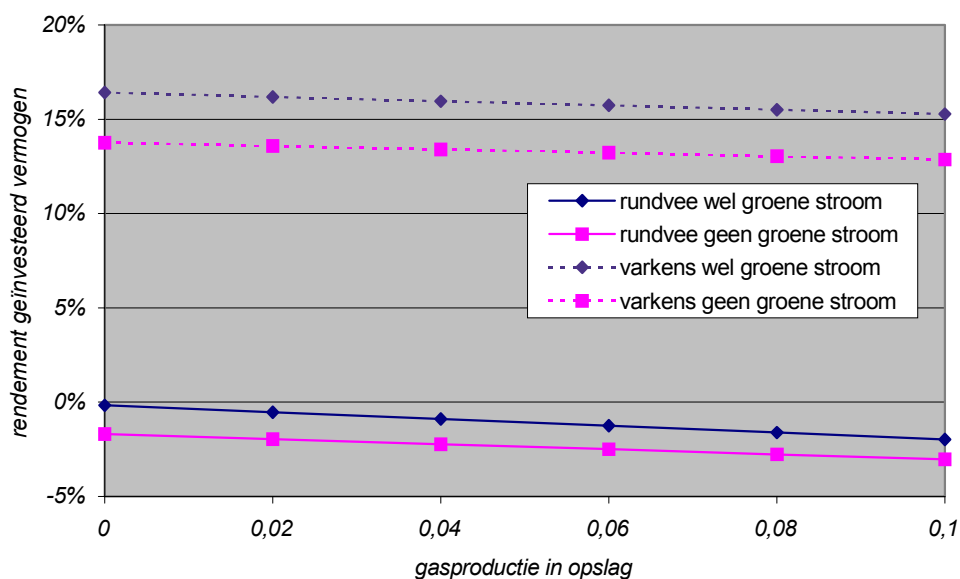
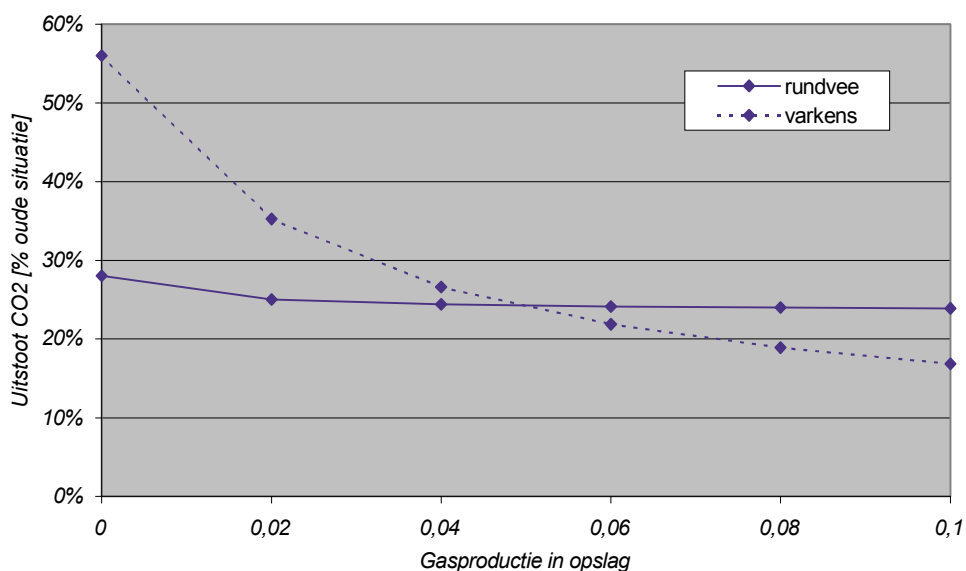
Tabel 29 Effect van korte verblijfsduur in vooropslag op de uitstoot van broeikasgassen

Melkvee			Varkens		
Verblijfsduur [dagen]	Besparing uitstoot CO ₂ -equivalenten [kg /m ³ mest]	Fractie na mestvergisting (%)	Verblijfsduur [dagen]	Besparing uitstoot CO ₂ -equivalenten [kg /m ³ mest]	Fractie na mestvergisting (%)
0	63	9	0	131	20
30	52	25	14	119	27
60	41	41	28	107	34
90	29	57	42	95	42
			56	83	49

Figuur 4 Effect van verblijfsduur in vooropslag op rendement geïnvesteerd vermogen (%) bij melkvee**Figuur 5** Effect van verblijfsduur in vooropslag op rendement geïnvesteerd vermogen (%) bij varkens

6.3 Gasproductie in mestopslag

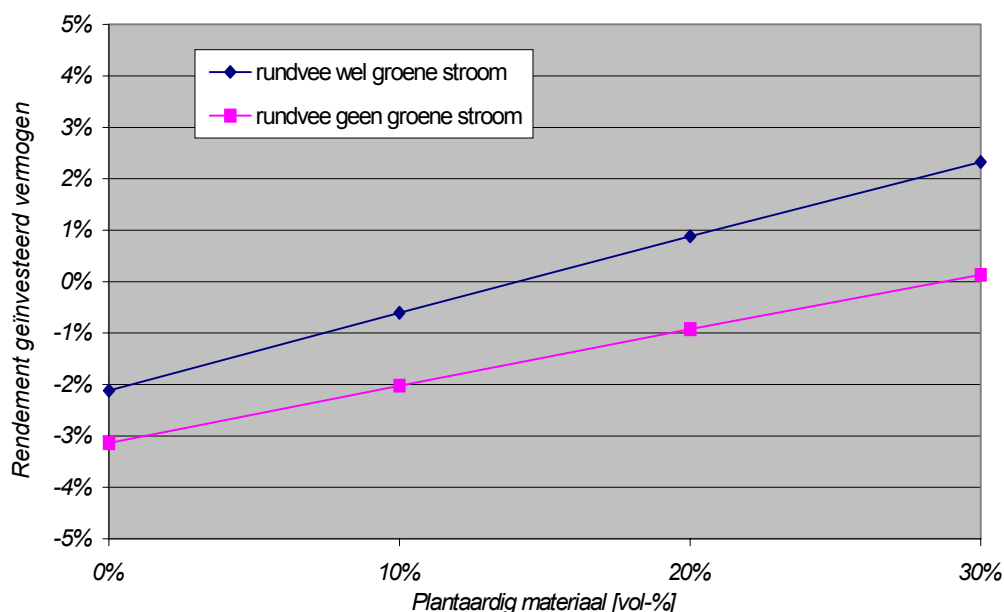
Ook in de mestopslag vindt vergisting plaats. In het basisscenario is die voor melkvee en varkens op respectievelijk $0,024$ en $0,053 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{m}^3$ mest gesteld. In onderstaande figuren is het effect op zowel het rendement geïnvesteerd vermogen als op de reductie in CO_2 -uitstoot weergegeven.

Figuur 6 Effect van gasproductie in vooropslag op rendement geïnvesteerd vermogen (%)**Figuur 7** Effect van gasproductie in vooropslag op reductie CO₂-uitstoot

6.4 Toevoegingen

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

Voor de gevoeligheidsanalyse is er vanuit gegaan dat alleen organisch materiaal van het eigen bedrijf wordt verwerkt. Op varkensbedrijven is doorgaans geen organisch materiaal voorhanden. De gevoeligheidsanalyse is daarom alleen voor melkveebedrijven uitgevoerd. Het organisch materiaal dat doorgaans beschikbaar is bestaat onder andere uit restanten voordroog- of maïskuil en stromest uit kalverhokken. In Figuur 8 wordt het rendement op geïnvesteerd vermogen weergegeven wanneer een hoeveelheid organische materiaal aan de mest wordt toegevoegd en vergist.

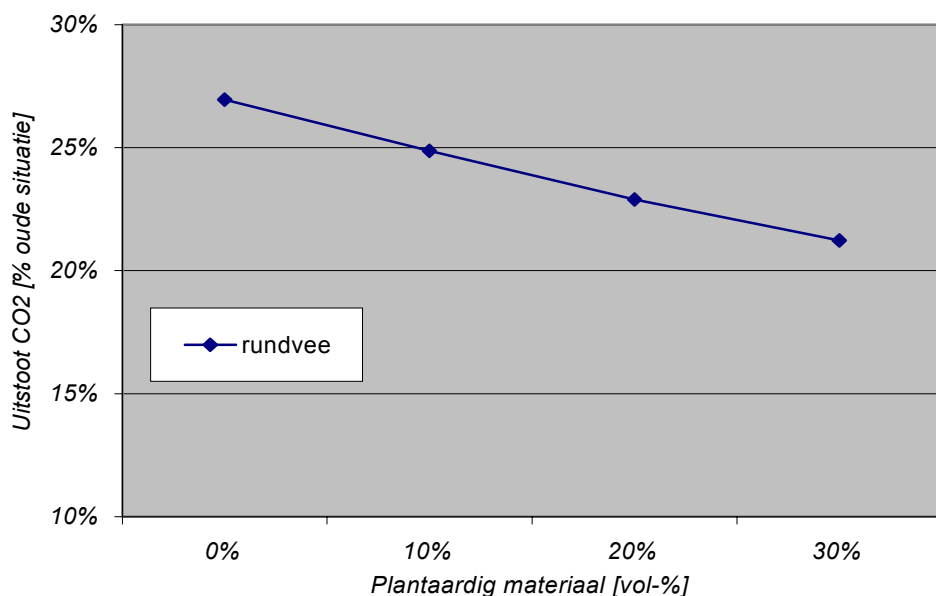
Figuur 8 Effect toevoegen van plantaardig materiaal op rendement geïnvesteerd vermogen (%)

Uit Figuur 8 blijkt dat het rendement door het toevoegen van plantaardig materiaal verbetert. Een stijging van 10 naar 20% toegevoegd plantaardig materiaal geeft een toename van het rendement op het geïnvesteerde vermogen met 1,1 en 1,5%, respectievelijk zonder en met toeslag voor groene stroom.

Naast het toevoegen van organisch materiaal van de mestplaat, zijn er ook mogelijkheden om andere organische stoffen toe te voegen. 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 geen stikstof, fosfaat of kali wordt aangevoerd. 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 echter gebruik wil maken van het toevoegen van dit materiaal om de rendabiliteit van de biogasinstallatie te verbeteren moeten daar wel vergunningen voor zijn. Dit kan problemen geven omdat dit mogelijk als chemisch afval beschouwd wordt. De mest wordt dan als Overige Organische Meststof beschouwd en valt daarmee onder het BOOM (Besluit gebruik Overige Organische Meststoffen) in plaats van onder het BGDM (Besluit Gebruik Dierlijke Meststoffen). Het BOOM hanteert strakkere richtlijnen bijvoorbeeld t.a.v. zware metalen.

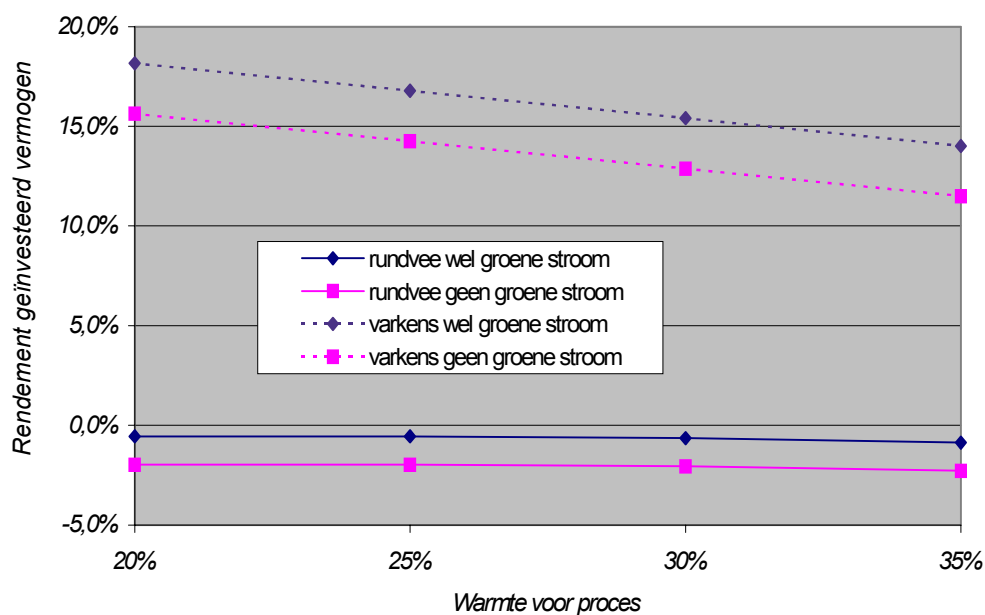
Meer perspectief is te verwachten van het vergisten van overige organisch materiaal zoals gras dat in de herfst wordt geoogst, gras van land met een beheersovereenkomst (met een lagere voederwaarde), of sloot- en bermmaaisel. Aandachtspunt hierbij de potentiële risico's ten aanzien van ziekteinsleep en verspreiding van onkruidzaden. Nader onderzoek daarna is nodig. In Duitsland wordt momenteel onderzoek gedaan naar het toevoegen van snijmaïs in de vergister. Snijmaïs levert zeer veel biogas. Bij de in Duitsland geldende terugleververgoedingen voor stroom, is het rendabel om snijmaïs te verbouwen en vervolgens te vergisten. Ook combinaties als het inkuilen van de kolven en het vergisten van het maïsstro zijn mogelijk. Meer onderzoek naar de technische haalbaarheid, het economische rendement en het effect op de uitstoot van broeikasgassen is nodig.

In Figuur 9 wordt het effect van de toevoeging van plantaardig materiaal op de uitstoot van CO₂ weergegeven. Door een toename van de beschikbare hoeveelheid methaan zal er minder stroom en warmte ingekocht hoeven te worden. Daardoor worden "op afstand" minder broeikasgassen uitgestoten.

Figuur 9 Effect van toevoeging plantaardig materiaal op CO₂-uitstoot

6.5 Warmtebehoefte mestvergister

In de basissituatie is de warmtebehoefte van de mestvergister gemiddeld per jaar op 28,5% van de totale energie-inhoud uit geproduceerd biogas gesteld. In Figuur 10 is weergegeven hoe het rendement op het geïnvesteerde vermogen wijzigt bij een veranderende warmtebehoefte van de mestvergister.

Figuur 10 Effect van warmtebehoefte vergister op rendement geïnvesteerd vermogen (%)

Wanneer minder energie nodig is voor de verwarming van de biogasinstallatie kan beter worden voldaan aan de warmtebehoefte voor de woning en bij varkens ook voor de stallen. Bij melkvee kan in de zomer de warmtebehoefte worden gedekt met warmte uit de gasmotor. In de winter is de situatie

anders. 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 gasmotor te kunnen halen.

Wanneer de warmtebehoefte van de vergister nog verder daalt, levert dat geen extra rendement op.

Wanneer de warmtebehoefte voor de vergister stijgt, daalt het rendement van vergisting.

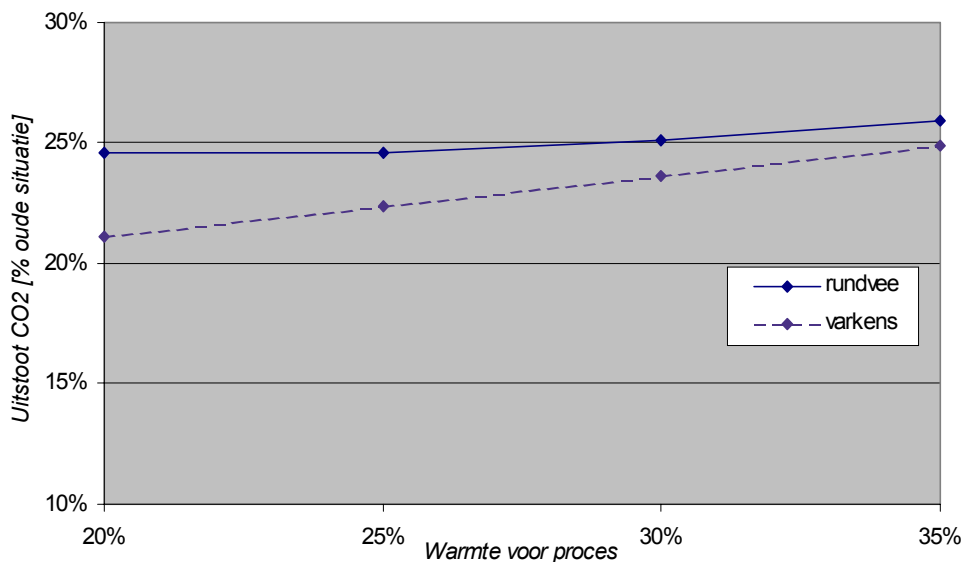
Bij varkens is de warmtebehoefte veel groter, vanwege de noodzaak voor het verwarmen van de stallen. Een vermindering van de warmtebehoefte van de vergister levert een grotere bijdrage t.a.v. het rendement.

Bij varkens geeft een afname van de warmtebehoefte van de vergister met 1% een verbetering van het rendement op het geïnvesteerde vermogen van 0,3%.

In Figuur 11 is het effect op de warmtebehoefte van de vergister op de CO₂-uitstoot weergegeven.

Ook hier blijkt het verschil tussen varkens- en melkveebedrijven. Als bij melkveebedrijven de warmtebehoefte onder de 25% daalt vindt er geen daling van de CO₂-uitstoot meer plaats. Aan de vraag naar warmte is voldaan zodat extra warmte niet nuttig gebruikt kan worden. Omdat de warmtevraag bij varkensbedrijven groter is in verband met de verwarming van de stallen blijft de CO₂-uitstoot op deze bedrijven wel dalen wanneer de vergister minder warmte vraagt. Alle vrijkomende warmte kan nuttig gebruikt worden waardoor minder aardgas aangekocht hoeft te worden.

Figuur 11 Effect van warmtebehoefte vergister op CO₂-uitstoot



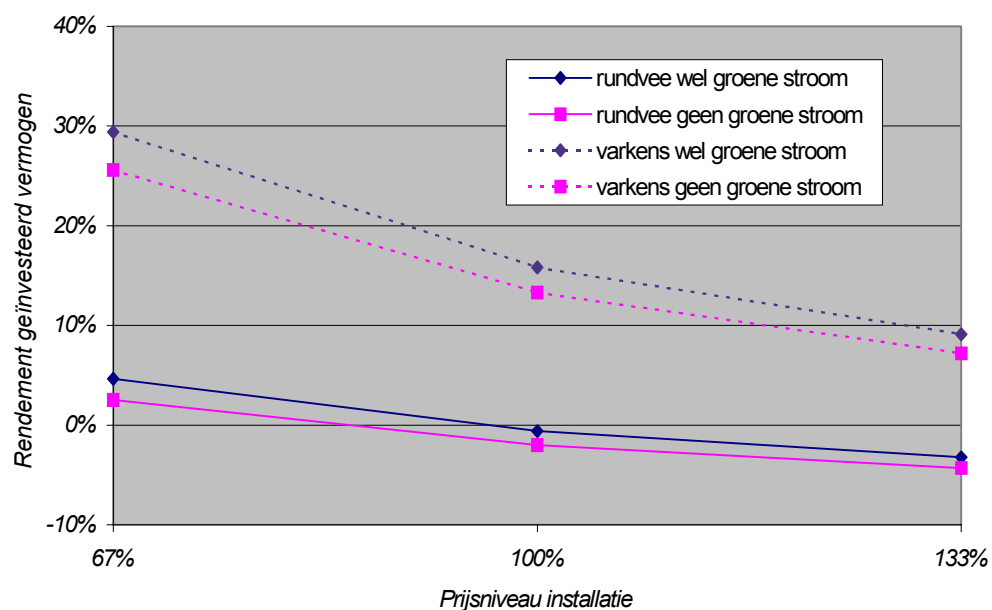
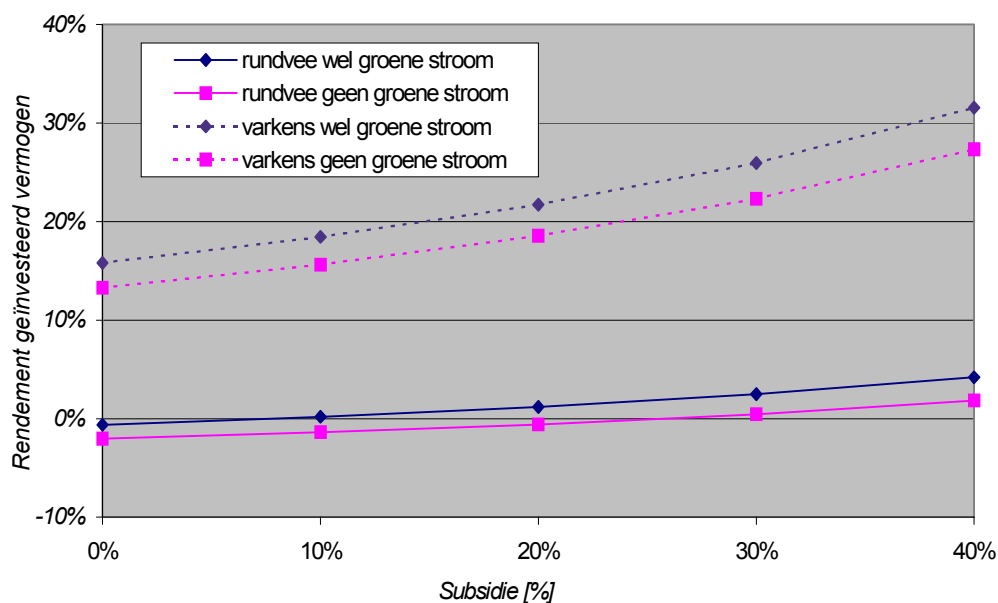
6.6 Investing mestvergister

In het basisscenario is uitgegaan van een investering van f 300.000 exclusief BTW. In de gevoeligheidsanalyse is gerekend met f 200.000 (67%) en 400.000 (133%).

In Figuur 12 wordt het effect van de hoogte van de investering op het rendement geïnvesteerd vermogen weergegeven. Uit deze figuur blijkt dat wanneer de investeringen in de vergister met 1/3 dalen, het rendement aanmerkelijk toeneemt. Bij melkvee stijgt het rendement op het geïnvesteerd vermogen met 4,5 en 5,2%, respectievelijk zonder en met toeslag voor groene stroom. Bij varkens is dit respectievelijk 12,3 en 13,6%.

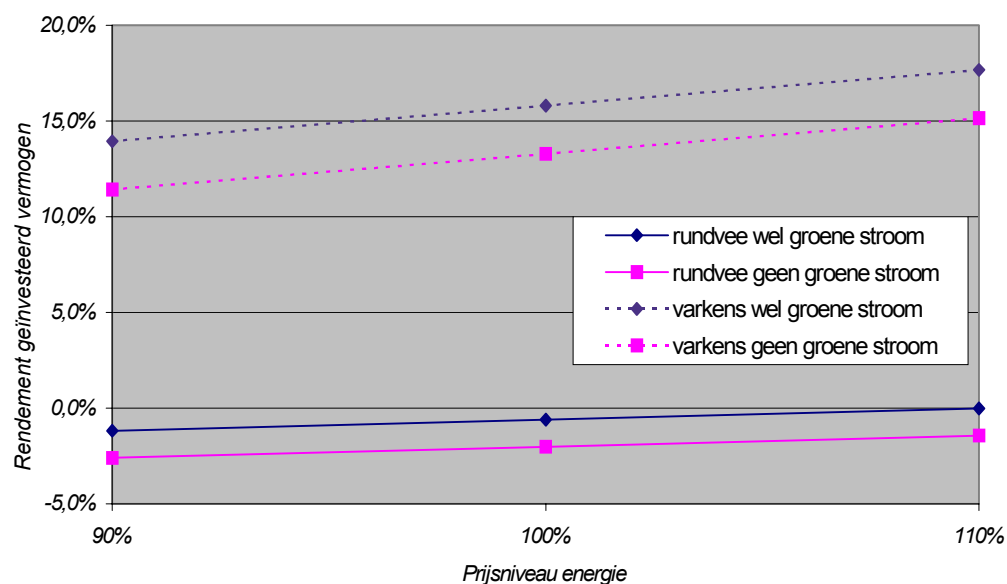
In Figuur 13 wordt het effect van een eventuele investeringssubsidie op het rendement van mestvergisting beschreven. Het rendement op de gedane investering stijgt bij afnemende investering of toenemende subsidie bij varkensbedrijven sneller dan bij melkveebedrijven.

Van veranderingen in investerings- of subsidieniveau is geen effect te verwachten op de CO₂-uitstoot.

Figuur 12 Effect van investeringsniveau op rendement geïnvesteerd vermogen (%)**Figuur 13** Effect van hoogte investeringssubsidie op rendement geïnvesteerd vermogen (%)

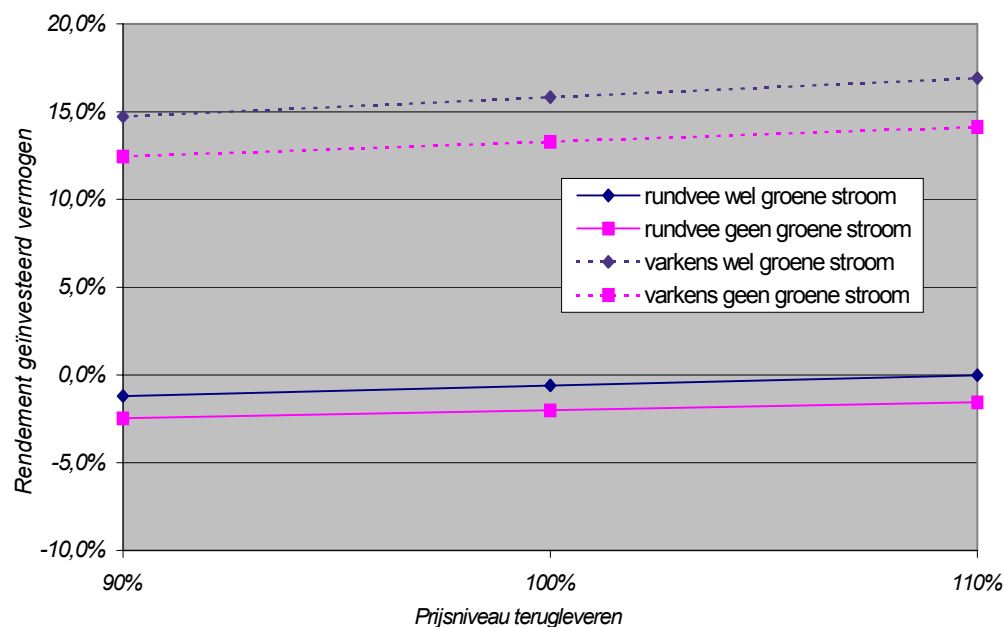
6.7 Prijsniveau energie

In Figuur 14 wordt het rendement op geïnvesteerd vermogen weergegeven, afhankelijk van het prijsniveau van de energie. In het basisscenario is gerekend met een niveau van 100%. Dit komt overeen met de energieprijzen die in paragraaf 3.4 staan aangegeven. In het positieve scenario is het prijsniveau van energie 110% van het basisscenario. Uit de figuur blijkt dat naarmate de energieprijzen verder stijgen het rendement van mestvergisting toeneemt. Bij een stijging van de energieprijzen met 10% neemt het rendement op het geïnvesteerde vermogen bij melkvee met 0,6%, bij varkens met 1,9% zowel zonder als met toeslag voor groene stroom.

Figuur 14 Effect van prijsniveau voor stroom op rendement geïnvesteed vermogen (%)

6.8 Terugleverprijs elektriciteit

Het rendement van een systeem met biogasinstallatie wordt voor een belangrijk deel mee bepaald door de vergoeding die wordt ontvangen voor terug geleverde energie. Dit blijkt uit Figuur 15.

Figuur 15 Effect van hoogte terugleververgoeding op rendement geïnvesteed vermogen (%)

Uit Figuur 15 blijkt dat wanneer de terugleverprijzen voor elektriciteit stijgen met 10%, het rendement op het geïnvesteede vermogen toeneemt. Bij melkvee is de stijging 0,5 en 0,6% bij respectievelijk zonder en met toeslag voor groene stroom. Bij varkens is het respectievelijk 0,8 en 1,1%. Om het verbruik van fossiele brandstoffen te verminderen is het te verwachten dat in de toekomst duurzame energie wordt gestimuleerd d.m.v. hogere teruglevertarieven. In de nabije toekomst komen er ook mogelijkheden om als elektriciteitsproducent afspraken te maken met een elektriciteitsafnemer.

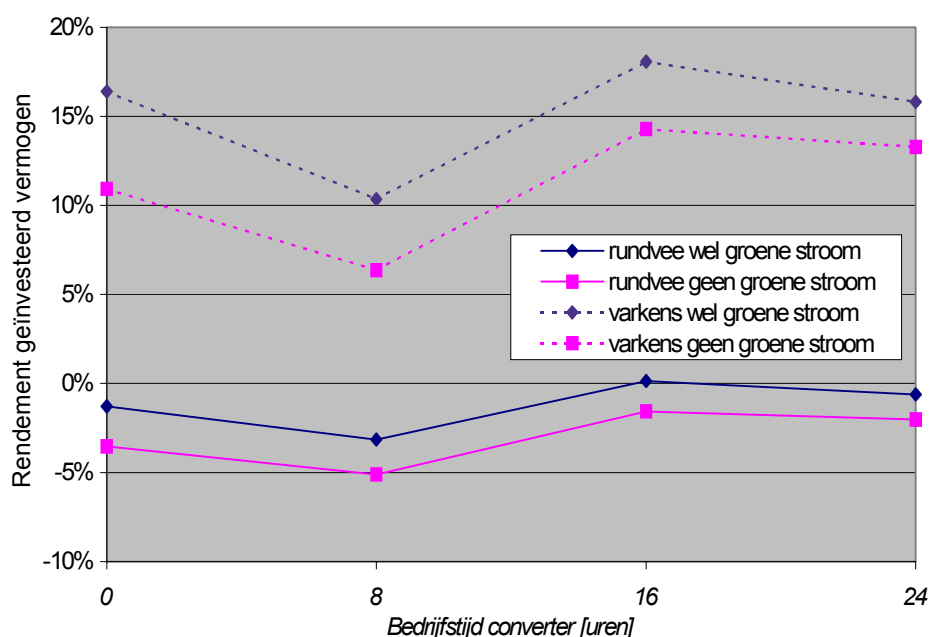
De met biogas opgewekte elektriciteit wordt dan rechtstreeks aan die afnemer verkocht tegen een overeengekomen prijs.

Deze prijs kan dan wellicht hoger zijn 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.

6.9 Effect bedrijfsuren vergister

De gasmotor kan naar keuze op verschillende tijdstippen het gas verbranden. In de gevoeligheidsanalyse zijn 4 situaties doorgerekend: 24 uur per dag, 16 uur per dag (alleen gedurende het piekuren voor elektriciteit), 8 uur (alleen gedurende daluren) en 0 uren. Bij 0 uren bedrijfstijd wordt alle geproduceerde elektriciteit geleverd aan het net en alle elektriciteit voor eigen gebruik wordt aangekocht. Bij alle andere varianten wordt in principe eerst voorzien in de eigen behoefte, het overschot wordt teruggeleverd. Tijdens de uren dat de gasmotor niet draait wordt elektriciteit aangekocht. In Figuur 16 zijn de effecten van de verschillende opties op het rendement geïnvesteerd vermogen weergegeven.

Figuur 16 Effect van aantal bedrijfsuren gasmotor op rendement geïnvesteerd vermogen (%)



Uit Figuur 16 blijkt dat het alleen tijdens de daluren omzetten van biogas naar elektriciteit niet aantrekkelijk is. Welk scenario het meeste rendement oplevert hangt sterk af van de hoogte van de aankoop- en terugleververgoeding in dal- en piekuren. Met de huidige aankoop- en terugleverprijzen voor elektriciteit is alleen tijdens de piekuren produceren van elektriciteit, het meest gunstig. In de studie is overigens steeds gerekend met 24 uur per dag produceren. Op bedrijfsniveau is dit milieukundig het meest gewenst, omdat dan altijd zelf geproduceerde elektriciteit kan worden gebruikt. In principe is het ook mogelijk alle opgewekte elektriciteit te verkopen en de volledige behoefte weer uit het net te betrekken.

Overigens is het technisch gezien heel goed mogelijk om een biogasmotor op afstand te besturen. Een elektriciteitsmaatschappij kan lokale biogasmotoren aanzetten op momenten dat de elektriciteitsbehoefte het grootst is. Dit dan in plaats van de grote energiecentrale gedurende enkele uren flink "op te stoken", wat gepaard gaat met een slechter rendement. Biogas heeft daarmee voordelen ten opzichte van bijvoorbeeld zonne- of windenergie waarvan de energieleveranties niet gestuurd kunnen worden. Dit biedt wellicht perspectieven voor een hogere terugleverprijs. Op landelijk niveau kan wellicht op deze manier ook een milieutechnisch voordeel worden geboekt. Deze aanpak

heeft overigens wel praktische consequenties, er is een grotere gasopslag en een zwaardere gasmotor nodig. Nader onderzoek naar de mogelijkheden en wijze van uitvoering is noodzakelijk.

7 Ontwikkelingen in bedrijfsgrootten en potentiële emissiereductie

Tot nu toe is de het effect van mestvergisting berekend voor afzonderlijke bedrijven. Om een inschatting te kunnen maken van het effect van invoering van mestvergisting op de landelijke uitstoot van broeikasgassen, is het nodig een overzicht te hebben van de bedrijfsgrootteverdeling in Nederland. Aan de hand van deze verdeling en de kennis over minimale benodigde bedrijfsomvang voor een rendabele mestvergisting, is het mogelijk de maximale emissiereductie te berekenen. De ontwikkelingen in de melkvee- en varkenshouderij worden apart besproken. Het is echter waarschijnlijk dat, naast de gespecialiseerde bedrijven waarvoor de berekeningen zijn uitgevoerd, er ook een groot aantal gemengde bedrijven zijn waarop rendabele mestvergisting mogelijk is. Ook combinaties met akkerbouw of tuinbouw bieden perspectief vanwege de aanwezige organische toevoegingen. Van deze bedrijven zijn er waarschijnlijk ook een groot aantal die mestvergisting rendabel toe kunnen passen. In werkelijkheid zou de bijdrage van mestvergisting daardoor groter kunnen zijn.

7.1 Melkvee

In Tabel 30 wordt de ontwikkeling van de bedrijfsgrootte vanaf melkprijsjaar 1995/96 weergegeven.

Tabel 30 Ontwikkeling in de relatieve verdeling van het aantal bedrijven en van het melkquotum, naar grootteklasse (Bron: Productschap voor Zuivel)

Grootteklasse (x 1000 kg)	1995/96		1996/97		1997/98		1998/99	
	Bedrijven	Quotum	Bedrijven	Quotum	Bedrijven	Quotum	Bedrijven	Quotum
0 – 100	20,9	4,3	20,4	4,1	19,8	3,8	19,5	3,6
100 – 200	22,2	12,2	21,4	11,4	20,7	10,7	19,6	9,8
200 – 300	18,9	17,4	18,4	16,5	17,8	15,4	17,1	14,2
300 – 500	26,8	38,1	27,6	38,3	28,2	38,1	28,4	37,1
500 – 750	8,7	19,1	9,4	20,1	10,5	10,5	11,8	23,4
750 en meer	2,5	8,9	2,7	9,6	3,0	10,4	3,6	11,9
Nederland	100	100	100	100	100	100	100	100

Uit Tabel 30 blijkt dat het aantal bedrijven met weinig melkkoeien sterk afneemt en het aantal grote bedrijven toeneemt. In 1998/99 had de klasse boven 750.000 kg quotum een gemiddeld quotum van 986.537 kg melk. Deze groep van 1337 bedrijven produceert bijna 12% van de totale hoeveelheid melk in Nederland, nl. 1.319.000 kg melk.

Zoals is aangegeven in hoofdstuk 4 is mestvergisting in het basisscenario rendabel voor melkveebedrijven met een quotum vanaf 1,0 tot 1,4 miljoen kg melk (afhankelijk van het beweidingssysteem en wel of geen toeslag voor groene stroom). Van deze groep zijn geen gegevens voorhanden (zie Tabel 30) om het effect op landelijk niveau te kunnen berekenen.

In het positieve scenario is mestvergisting vanaf 0,7 tot 1,0 miljoen kg melk rendabel. Nagenoeg de gehele groep van 750.000 kg melk uit Tabel 30 zou mestvergisting rendabel kunnen toepassen.

Wanneer alle bedrijven in deze groep dat zouden doen, is het effect op de uitstoot van broeikasgassen als volgt uit te rekenen. Aangenomen dat deze groep een melkproductie heeft van 9.000 kg melk per koe, hebben deze bedrijven gemiddeld 110 melkkoeien. De groep heeft dan in totaal 146.500 melkkoeien. Er vanuit gaande dat 50% van deze bedrijven summerfeeding toepast en 50% beperkt weiden, is de hoeveelheid mest die zou kunnen worden vergist op deze bedrijven in totaal naar verwachting 3,9 miljoen m³ (berekend met de uitgangspunten zoals beschreven in paragraaf 3.1). Bij het positieve scenario was de besparing t.a.v. broeikasgassen gemiddeld 48,5 kg CO₂ equivalenten per m³ mest (zie paragraaf 5.2). De totale besparing aan broeikasgassen in CO₂-equivalenten bedraagt in dit geval 191 miljoen kg.

7.2 Varkens

In Tabel 31 staan de bedrijfsgrootten van varkensbedrijven in 1999 weergegeven.

Tabel 31 Aantal varkensbedrijven per grootteklasse in 1999 (bron: CBS)

Fokzeugen	Totaal	1-199	200-249	249-399	>400	
# bedrijven	6.841	4.264	845	1.069	663	
# fokzeugen	1.372.833	412.724	187.004	328.037	445.068	
Vleesvarkens	Totaal	1-999	1000-1499	1500-1999	2000-2499	>2500
# bedrijven	14.662	12.953	910	403	181	215
# vleesvarkens	6.774.085	3.696.960	1.093.227	685.518	402.424	895.956

In hoofdstuk 4 bleek dat mestvergisting op varkens in het basisscenario niet aantrekkelijk is bij alleen zeugen. Bij alleen vleesvarkens is het rendabel op bedrijven met minimaal 2250 vleesvarkens. Op gesloten bedrijven is het rendabel vanaf 200 zeugen en 1500 vleesvarkens.

In 1999 waren er 215 bedrijven in Nederland met meer dan 2500 vleesvarkens, deze hadden in totaal 895.956 varkens. Wanneer al deze bedrijven mestvergisting zouden toepassen, bedraagt de totale hoeveelheid vergiste mest bijna 1,1 miljoen m³. De reductie van broeikasgassen door mestvergisting was gemiddeld 128 kg CO₂-equivalenten per m³ mest. De totale besparing aan broeikasgassen bedraagt in dit geval 138 miljoen kg CO₂-equivalenten. Er zijn ook een aantal bedrijven met de combinatie van zeugen en vleesvarkens. Op een aantal van deze bedrijven kan mestvergisting ook rendabel zijn. Voor deze categorie bedrijven kan het milieueffect van mestvergisting niet bepaald worden, omdat het aantal bedrijven en de mestproductie niet bekend zijn.

In het positieve scenario is mestvergisting bij alleen zeugen rendabel op bedrijven met minimaal 500 zeugen. Bij alleen vleesvarkens is het rendabel vanaf 1500 vleesvarkens, op gesloten bedrijven vanaf 200 zeugen en 1500 vleesvarkens.

Bij alleen zeugen zijn de gegevens m.b.t. het aantal bedrijven en het aantal dieren alleen beschikbaar bij een bedrijfsgrootte vanaf 400 zeugen. Deze categorie heeft gemiddeld 671 zeugen per bedrijf.

Wanneer op de helft van deze bedrijven mestvergisting rendabel is, gaat het hierbij om ruim 222.000 dieren. De totale mestproductie van deze dieren bedraagt ruim 1,1 miljoen m³. De reductie van broeikasgassen door mestvergisting was gemiddeld 122 kg CO₂-equivalenten per m³ mest. De totale besparing aan broeikasgassen bedraagt in dit geval 136 miljoen kg CO₂-equivalenten.

In 1999 waren er 799 bedrijven in Nederland met meer dan 1500 vleesvarkens. Deze hadden in totaal 1.983.898 varkens. Wanneer al deze bedrijven mestvergisting zouden toepassen, bedraagt de totale hoeveelheid vergiste mest bijna 2,4 miljoen m³. De reductie van broeikasgassen door mestvergisting was gemiddeld 131 kg CO₂-equivalenten per m³ mest. De totale besparing aan broeikasgassen bij vleesvarkens bedraagt in dit geval 312 miljoen kg CO₂-equivalenten.

In het positieve scenario is de totale bijdrage van zeugen en vleesvarkens samen 448 miljoen kg CO₂-equivalenten.

Tenslotte zijn er ook nog een aantal bedrijven met de combinatie van zeugen en vleesvarkens. Op een aantal van deze bedrijven kan mestvergisting ook rendabel zijn. Voor deze categorie bedrijven kan het milieueffect van mestvergisting niet bepaald worden, omdat het aantal bedrijven en de mestproductie niet bekend zijn.

7.3 Potentiële emissiereductie

Ervan uitgaande dat het deel van de veehouderijbedrijven dat mestvergisting rendabel kan toepassen dat ook werkelijk doet, is landelijk een emissiereductie haalbaar van 0,64 Mton CO₂-equivalenten. De totale methaanemissie vanuit de veehouderij bedraagt momenteel naar schatting 10 Mton CO₂-equivalenten. Daarvan is naar schatting 2 Mton afkomstig uit mestopslagen (Bron: LNV). De besparing door mestvergisting is grotendeels het gevolg van de lagere methaanverliezen uit de opslag. Een kleiner deel is afkomstig van de lagere CO₂-uitstoot omdat minder (elders geproduceerde) energie wordt aangekocht.

8 Conclusies en aanbevelingen

1. Mestvergisting heeft op melkvee- en varkensbedrijven een gunstig economisch perspectief.
2. Het prijsniveau van elektriciteit en aardgas speelt een cruciale rol bij de bepaling van het economisch rendement van mestvergisting op melkvee- en varkensbedrijven. De terugleverprijs is de laatste jaren aanzienlijk gestegen. Nog niet alle elektriciteitsmaatschappijen geven een toeslag voor groene stroom en de prijzen zijn nog altijd lager dan die in Duitsland.
3. Op basis van dit rapport lijkt het aantrekkelijk een proefproject op bedrijfsniveau te starten met mestvergisting. Veel uitgangspunten in deze studie zijn afkomstig uit het buitenland en verzameld onder andere omstandigheden. De milieueffecten van mestvergisting zijn gebaseerd op oriënterend onderzoek. Gezien de slechte ervaringen met mestvergisting in het verleden heeft het de voorkeur om mestvergisting te onderzoeken op proefbedrijven, voordat het opnieuw op grote schaal in de praktijk wordt geïntroduceerd.
4. Mestvergisting draagt aanzienlijk bij aan de vermindering van de uitstoot van broeikasgassen. In het basisscenario bij melkvee is de besparing 43 en 52 kg CO₂-equivalenten per m³ vergiste mest bij respectievelijk beperkt weiden en summerfeeding. Bij varkensbedrijven is de besparing bij alleen zeugen 119 kg per m³ mest, bij alleen vleesvarkens 128 en bij gesloten bedrijven 125 kg CO₂-equivalenten per m³ mest. Bij zowel melkvee- als varkensbedrijven is in het positieve scenario is de besparing iets groter.
5. Een reductie in de uitstoot van broeikasgassen met 0,64 Mton CO₂-equivalenten is mogelijk.
6. De bedrijfsomvang, en bij melkvee de melkproductie per koe en het graslandgebruikssysteem, bepalen samen de beschikbare hoeveelheid mest en de verdeling van die hoeveelheid over het jaar.
7. In het basisscenario is mestvergisting bij melkvee bij beperkt weiden zonder toeslag voor groene stroom niet rendabel, met toeslag voor groene stroom vanaf een melkquotum van 1,4 miljoen kg melk. Bij summerfeeding is het rendabel vanaf 1,3 en 1,1 miljoen kg melk respectievelijk zonder en met toeslag voor groene stroom. In alle gevallen zijn dan ook de rentekosten vergoed, uitgaande van een lening uit een groenfonds.
8. Bij varkens is mestvergisting rendabel vanaf 2250 vleesvarkens en bij een gesloten bedrijf vanaf ongeveer 200 zeugen en 1500 vleesvarkens. Bij alleen zeugen was het bij geen van de doorgerekende bedrijven rendabel om mest te vergisten.
9. Bij een positief, maar naar verwachting op termijn haalbaar scenario, verbetert het rendement aanzienlijk. Wanneer de rentevergoeding wordt inbegrepen is mestvergisting rendabel bij beperkt weiden vanaf 1.000.000 en 850.000 kg quotum, respectievelijk zonder en met toeslag voor groene stroom. Bij summerfeeding is het rendabel bij respectievelijk 750.000 en 713.000 kg quotum.
10. Bij varkens is het rendabel vanaf 1500 vleesvarkens en bij een gesloten bedrijf vanaf ongeveer 200 zeugen en 1500 vleesvarkens. Bij deze resultaten dient opgemerkt te worden dat de stapgrootte in de bedrijfsomvang in deze studie groot was. Het break-even punt kan dus in werkelijkheid op een kleinere bedrijfsomvang liggen.
11. De hoogte van de investering voor de installatie is van groot belang op de rendabiliteit. De bandbreedte hierbij is groot, omdat specifieke bedrijfsomstandigheden grote invloed hebben. Verder is ook de bedrijfsgrootte van invloed: hoe meer mest, des te lager de investering per m³ vergisterinhoud. Het bedrag kan dus in de praktijk sterk variëren hierover moet meer duidelijkheid komen.
12. Bij het positieve scenario is uitgegaan dat de investering voor de biogasinstallatie afneemt met 25% door subsidie. Op iets langere termijn lijkt een dergelijke besparing mogelijk zonder subsidie. De kosten kunnen mogelijk dalen wanneer er mestvergisting op grote schaal wordt toegepast en wanneer bij de bouw van een bedrijf de vergistingsinstallatie direct wordt ingepast. Extra besparingen zijn realiseerbaar door de gasmotor van de biogasinstallatie als noodstroom aggregaat te gebruiken. Bij nieuwbouw (en soms ook bij bestaande bouw) kan een mestsilo tevens worden gebruikt als mestvergister. Dit type vergisting vraagt echter nader onderzoek.
13. Verhoging van de gasproductie met 10% geeft bij melkveebedrijven een toename van het rendement met 1,4% en bij varkens met 4,9%, beide inclusief toeslag voor groene stroom.
14. Op melkveebedrijven is doorgaans in ruime mate plantaardig materiaal voorhanden. Wanneer niet 10 maar 20% plantaardig materiaal wordt toegevoegd stijgt het rendement met 1,5% (met toeslag voor groene stroom). Op varkensbedrijven zou technisch gezien ook plantaardig materiaal kunnen worden toegevoegd, maar dan moet dit worden aangevoerd. Omdat hierbij ook mineralen worden aangevoerd kunnen deze bedrijven hierdoor een (groter) mineralenoverschot krijgen. Toevoeging van slachtvet of afgewerkt frituurvet aan de mest voor gezamenlijke vergisting geeft een nog

- grotere verbetering van het rendement. Door echter alleen bedrijfseigen producten te gebruiken kunnen problemen met mineralen, vergunningen, onkruidzaden en ziektekiemen worden voorkomen.
15. Bij varkens geeft een afname van de warmtebehoefte van de vergister met 1% een verbetering van het rendement op het geïnvesteerde vermogen van 0,3%. Bij melkvee treedt dit effect nauwelijks op.
 16. Wanneer de investeringen in de vergister met een derde afnemen stijgt het rendement bij melkvee met 5,2% en bij varkens met 13,6%, beide inclusief toeslag voor groene stroom.
 17. Bij een stijging van de energieprijzen met 10% neemt het rendement toe; bij melkvee met 0,6%, bij varkens met 1,9%.
 18. Wanneer de terugleverprijzen voor elektriciteit stijgen met 10%, stijgt het rendement bij melkvee met 0,6% en bij varkens met 1,1%, beide inclusief toeslag voor groene stroom.
 19. Met de huidige prijzen voor elektriciteit is het het meest gunstig om alleen tijdens de piekuren elektriciteit te produceren. In de studie is overigens steeds gerekend met 24 uur per dag produceren. Op bedrijfsniveau is dit milieukundig het meest gewenst, omdat dan altijd zelf geproduceerde elektriciteit kan worden gebruikt. Het is overigens technisch gezien mogelijk om een biogasmotor op afstand te besturen. Een elektriciteitsmaatschappij kan lokale biogasmotoren aanzetten op momenten dat de elektriciteitsbehoefte het grootst is (in plaats van de grote energiecentrale gedurende enkele uren flink "op te stoken"). Biogas is daarmee in het voordeel t.o.v. zonne- of windenergie. Dit biedt wellicht perspectief voor een hogere terugleverprijs. Op landelijk niveau kan wellicht ook een milieutechnisch voordeel worden geboekt.
 20. Het energieverbruik kent in de praktijk een grote spreiding, er zijn bedrijven met een hoger, maar ook veel lager energieverbruik. Hiervan is onvoldoende bekend, terwijl het wel van belang is voor de economische haalbaarheid van een mestvergistingsinstallatie.
 21. Ook de mestsamenvatting en de mesthoeveelheden kunnen van bedrijf tot bedrijf verschillen. Hoeveelheid mest en organische stofgehalte van de mest zijn van invloed op de rentabiliteit van een mestvergistingsinstallatie.
 22. Op bedrijfsniveau kan door vergisting de uitstoot van broeikasgassen bij melkveebedrijven met 52 tot 60% verminderen wanneer zij beperkt weiden toepassen en met 68 tot 76% bij summerfeeding. Bij varkens is de reductie bij bedrijven met alleen zeugen ca. 65%, bij bedrijven met alleen vleesvarkens 85% en bij gesloten bedrijven ca. 76%.
 23. Op landelijk niveau is de besparing veel moeilijker te berekenen. Bij melkvee is er vanuit gegaan dat alle bedrijven, waarop dat economisch rendabel is, mestvergisting toepassen. Met die aanname is de besparing berekend op 191 miljoen kg CO₂-equivalenten op jaarbasis in het positieve scenario. In het basisscenario kon het effect niet berekend worden omdat onvoldoende bekend is over het aantal bedrijven.
 24. Bij varkens kon het effect bij bedrijven met zowel vleesvarkens als zeugen niet worden bepaald. In het basisscenario is vergisting bij alleen zeugen niet economisch rendabel, bij vleesvarkens op grote bedrijven wel. De besparing is berekend op 138 miljoen kg CO₂-equivalenten. In het positieve scenario is mestvergisting ook op bedrijven met veel zeugen rendabel. De besparing is berekend op 136 miljoen kg bij zeugen en 312 miljoen kg CO₂-equivalenten bij vleesvarkens. De totale besparing bedraagt 448 miljoen kg CO₂-equivalenten op jaarbasis. Het aantal bedrijven met mestvergisting kan in de praktijk lager zijn, omdat niet alle bedrijven waarop het rendabel is, dit toepassen. Het aantal bedrijven kan anderzijds ook toenemen. Door de groei van de bedrijven, komen er steeds meer grotere bedrijven, zodat het aantal dat mestvergisting rendabel kan toepassen toeneemt. Bovendien komen veel bedrijven voor die combinaties hebben van zeugen en vleesvarkens, maar ook bijvoorbeeld varkens en melkkoeien. De toepassing kan verder gestimuleerd worden door subsidies.
 25. De methaan die vrijkomt bij de opslag van vergiste mest moet worden opgevangen. Bij de berekening van de milieueffecten is hier ook vanuit gegaan. Er zijn aanwijzingen dat bij navergisting nog een aanzienlijke hoeveelheid methaan kan vrijkomen. De opvang is technisch gezien vrij eenvoudig en levert extra methaan dat kan worden verbrandt.
 26. Wat betreft de milieueffecten zoals die hierboven beschreven zijn, moet opgemerkt worden dat er nog veel onzekerheden zijn. In deze studie zijn oriënterende onderzoeksgegevens gebruikt om het milieueffect van mestvergisting te beoordelen. Wat betreft de volgende punten is aanvullend onderzoek noodzakelijk:
 - De NH₃-emissie van vergiste mest; bij opslag en bij toedienen;
 - De CH₄-vorming en -uitstoot in opslagen en bij toedienen van vergiste en onvergiste mest;
 - De CH₄-uitstoot door beweiding van koeien in de zomer;
 - inzicht in de werkelijke opslagduur van mest op bedrijven

27. Andere punten die nader onderzoek behoeven zijn:

- De extra kosten die wellicht gemaakt moeten worden bij het toevoegen van plantaardig materiaal;
- Het toevoegen van snijmaïs of andere speciaal voor vergisting geteelde gewassen aan het vergistingsproces;
- De mogelijkheden van het op afstand aansturen van de WKK-installatie en de milieuwinst die daar wellicht mee te behalen valt.
- De mogelijkheden van het toevoegen van producten van buiten het bedrijf met speciale aandacht voor wet- en regelgeving voor het verslepen van ziektekiemen en onkruidzaden.

28. Mestvergisting heeft naast een economisch en milieukundig voordeel in de praktijk nog meer positieve punten. Ten eerste worden een aantal ziektekiemen en onkruidzaden in meer of mindere mate vernietigd. Door vergisting wordt de mest dunner en homogener. Mestbewerkings- en mestverwerkingstechnieken werken beter bij vergiste mest. Bovendien neemt de emissie van geurstoffen door vergisting af en zijn er aanwijzingen dat de werking van de mest verbetert. Met name dit laatste punt vraagt om nader onderzoek. Een betere werking van stikstof betekent een besparing op de kunstmestaanvoer. Dit geeft eveneens een kostenbesparing, zeker wanneer bedrijven een MINAS-heffing betalen. Besparing op kunstmestverbruik geeft ook een reductie van de CO₂-uitstoot omdat bij de productie van kunstmest veel CO₂ wordt geproduceerd.

Literatuur

- 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, pag. 47 –53.
- Anonymus, 1988, "Grootschalige mestvergisting buiten Nederland", NOH, Novem, Haskoning.
- Anonymus, 1990, "Mestvergisting in Nederland, Tien jaar kennis en ervaring in de praktijk", Haskoning BV en Centrum voor Energiebesparing en Schone Technologie.
- Anonymus, 1992a, "Energieopwekking uit mest in Denemarken en Nederland; een vergelijking" Universiteit van Amsterdam, Milieukunde, projectverslag.
- Anonymus, 1992b, "Kwantificering van de nevenaspecten van mestvergisting" Haskoning, Nijmegen.
- Anonymus, 1995, "Kwantitatieve Informatie veehouderij 1995-1996" Informatie en kenniscentrum Veehouderij, Ede.
- Anonymus, 1999, "Kwantitatieve Informatie veehouderij (KWIN), 1999-2000" Praktijkonderzoek Rundvee, Schapen en Paarden, Lelystad.
- Baader, W., 1984 "The FAL experimental biogasplant", FAL.
- Baserga, 1994, "Production of biogas from solid manure" In: Renewable Energy Newsletter, Caddet (UK), pag 14 – 16.
- Baserga, U., K. Egger, A. Wellinger, 1994, "Biogas aus Festmist", FAT-Berichte, nr 451, Tänikon.
- Birkmose, T., 1997, "Utilization of slurry from Danish biogas systems", In: Umweltverträgliche Gülleaufbereitung und -verwertung, Statusseminar" KTBL, Arbeitspapier 242.
- Boks, P.A., de en W.J. van Nes, 1983, "De haalbaarheid van een rendabele biogasinstallatie voor de middelgrote melkveehouderij" Centrum voor energiebesparing, Projectbureau Energieonderzoek, Delft.
- Boks P.A., de en W.J. van Nes, 1983, "De haalbaarheid van biogas in de landbouw", Centrum voor Energiebesparing, Delft, PEO Utrecht.
- Boo, W., de, 1994, "Verslag van de workshop vergisting van dierlijke mest met energierijke additieven" Novem, Delft.
- Boo, W., de en R. Verboon, 1995, "Mestvergisting in Zwitserland" Proefstation voor de Rundveehouderij, Schapenhouderij en Paardenhouderij, Lelystad. Intern rapport nr. 269.
- Braun, R., 1982, "Biogas-Methangärung organischer Abfallstoffe, Grundlagen und Anwendungsbeispiele" Serie Innovative Energietechnik, Wenen, 204 p.
- Brons, H.J., 1984, "De verbetering van de anaerobe afbreekbaarheid van complex organisch materiaal (mest en slib)", Vakgroep Waterzuivering, LH Wageningen.
- Diemen, F., van, R. Poppen en G.J. Zanstra, 1992, "4 Jaar collectieve mestvergisting in Deersum", NOH.
- Dubbelboer N. en Schelhaas, 1990, "Vergelijkend onderzoek naar de waarde van vergiste mest en onvergiste runderdrijfmest, rapportage 8932 in "Nationaal Onderzoeksprogramma Hergebruik van afvalstoffen (NOH), Novem Utrecht.

- Döhler, H., K. Schiebl, M. Schwab, 1999, "Umweltverträgliche Gülleaufbereitung und -verwertung", KTBL, Darmstadt.
- Dohne, E. 1980, "Stromerzeugung aus Biogas", Landtechnik, aug/sept 1980, p 374 – 376.
- Engeli, H., W. Edelmann, J. Fuchs, K. Rottermann, 1992, "Survival of plant pathogens and seeds of weeds during anaerobic digestion. In: Anaerobic digestion of solid waste, proceedings of the International Symposium on Anaerobic Digestion of Solid Waste, Venice, Italy, 14-17 April 1992 / 1st ed. Oxford ; New York : Pergamon Press, 1993, p. 69-76.
- Geersen, Th. M., 1988, "Physical properties of natural gases" NV Nederlandse Gasunie, Groningen, 255 p
- van Geneijgen, J. en B.J. Hakvoort, 1985, "Gering effect van vergisting op bemestingswaarde van mengmest" Jaarverslag Proefstation Rundveehouderij.
- Goossens, W., 1988, "Anaerobe vergisting varkensmest, onderzoek BIMA-vergister te Nistelrode", IMAG-nota 398.
- Göbel, W., R. Kaufmann, 1980, "Zur Planung van Biogasanlagen" Landtechnik, aug/sept 1980, p 377 – 379.
- Göbel, W. en A. Schneider, 1985, "Zuviel Prozessenergie bei Biogasanlagen" FAT-Berichte nr 272.
- Gosh, S., 1986, "Novel processes for high-efficiency biodigestion of particulate feeds", In: Biogas technology, transfer and diffusion", ed: M.M. El-Halwagi, NRC, Cairo.
- Groen, G., 1981, "Comparison of anaerobic digester designs" In: Methane technology for agriculture, proceedings from the methane technology for agriculture conference, Ithaca, New York 17 – 19 maart, 1981.
- Gijsman A. en E. Hamwijk, 1986, "Een vergelijkend onderzoek naar de bemestende waarde en gebruiksmogelijkheden van drijfmest en gegiste mest op een rundveehouderij" Rijksuniversiteit Utrecht.
- Hayes, D.L., W.J. Jewell, S. Dell Orto, K.J. Fanfoni, A.P. Leuschner, D.F. Sherman, 1980, "Anaerobic digestion of cattle manure". In: Stafford, D.A., B.J. Wheatley, D.E. Hughes Proceedings of the 1st international symposium on anaerobic digestion. Cardiff, sept 1979, Londen, Applied Science Publ.
- Harreveld, A.P.H., van, 1981, "De geuremissie tijdens en na het verspreiden van varkensmest", IMAG Wageningen, rapport nr 37.
- Henkens, Ch. H., 1983, "Bemestingswaarde van vergiste mest", lezing op Informatie dag "Biogas uit mest" NVTL, Ede 7 juni 1983.
- Hoek, K.W., van der, 1983, "Geschiktheid van verschillende soorten mest voor biogasproductie", lezing op Informatie dag "Biogas uit mest", NVTL, Ede 7 juni 1983
- Holm-Nielsen, J.B., M. Niels Halsberg en M. Sally Huntingford, 1993, "Joint biogas plant, agricultural advantages – circulation of N, P and K", Danish Energy Agency.
- Hoeksma, P., 1983, "Ervaringen met praktijkinstallaties voor de vergisting van mengmest", lezing op Informatie dag "Biogas uit mest" NVTL, Ede 7 juni 1983.
- Homan, E., 1979, "Biogas from Manure", The Pennsylvania State University, Pennsylvania.
- Houwaard, F. en H.J. Scholten-Koerselman, 1984, "Cellulose en hemicelluloseafbraak onder omstandigheden van de methaangisting", Vakgroep Microbiologie, LH Wageningen.

- Jewell, J.W. *et al.*, 1981, "Earthen-supported plug flow reactor for dairy applications" In: Methane technology for agriculture, proceedings from the methane technology for agriculture conference, Ithaca, New York
17-19 maart, 1981.
- Kaltschmitt, M., 1992, "Biogas- Potentiale und Kosten". KTBL, Arbeitspapier 178, Darmstadt,
- Köttner, M., 1995 "Biogas – Nutzung und Potential in Europa", UTA, nr 2, pag 101-111.
- Knudsen, L. en T. Birknose, 1996 DAAC Aarhus, Denmark.
- Kunz, H., 1995 "Düngung mit Biogasgülle im Futterbaubetrieb" In: Tagungsband: Niedersachsische Biogastagung op 24 en 25 november 1995, pag 22 – 28
- Lindboe, H.H., K.H. Gregersen, S. Tafdrup, O.G. Jacobsen, J. Christensen, 1995 "Progress report on the economy of centralized biogas plants", Danish Energy Agency.
- Lusk, P., 1994 "Anaerobic digestion of livestock manure" In: Renewable Energy Newsletter, Caddet (UK) p 23 – 26.
- Manahl, R., 1983 "Biogasanlage – Entwurf und bauliche Gestaltung" lezing op Informatie dag "Biogas uit mest" NVTL, Ede 7 juni 1983.
- Monteny, G.J. IMAG-DLO, persoonlijke mededeling, 2000.
- Mot, E., D Gerritse, F. van Voornenburg, W.H. Rulkens, 1985 "De betekenis van mestvergisting voor energie, milieu en grondstoffenbeheer" TNO, Apeldoorn.
- Nes, W.J., van, F.M.P. van Diemen, A.H.H.M. Schomaker, 1990. "Mestvergisting in Nederland, tien jaar kennis en praktijkervaring" Novem, Utrecht.
- Nes, W.J., van, 1985 "Onderzoek, ontwikkeling en marktintroductie van mestvergisting op melkveebedrijven", Centrum voor Energiebesparing.
- Nielsen, V.C., 1984 "Installation and operation of digestors on farms in the UK", In: Second information bulletin of the FAO European network on Animal waste utilization. Swedish National Board of Agriculture.
- Nijssen, J.M.A., S.J.F. Antuma, A.T.J. van Scheppingen, 1997 "Perspectieven mestvergisting op Nederlandse melkveebedrijven" PR, Lelystad, Publicatie 122.
- Okken, P.A., 1985, "Milieu- en energieeffecten van biogas uit mest en mestoverschotverwerking", IVEM rapport, no 5, Rijksuniversiteit Groningen.
- Oechsner, H., 1996 "Gemeinsame Vergärung von Flussmist und Speiseabfällen" Tagung: Biogas in de Landwirtschaft, Fachverband Biogas, Kirchberg, 2 – 5 Jan 1996.
- Poelma, H.R., 1983 "Technische aspecten van verschillende typen biogasinstallaties" Lezing op Informatie dag "Biogas uit mest" NVTL, Ede 7 juni 1983
- Poels, J. en W. Verstraete, 1987 " Biogaswinning op landbouwbedrijven", I.W.O.N.L., Brussel.
- Pol – van Dasselaar, A. van den, Praktijkonderzoek Rundvee, Schapen en Paarden, persoonlijke mededeling, 2000.
- Pfister, 1996 "Förderung van Biogasanlagen" In: Tagung: Biogas in de Landwirtschaft, Fachverband Biogas, Kirchberg, 2 – 5 Jan 1996.
- Rele R.R.T., ter, en J. van der Weide, 1983 "Gasmotoren en – generatoren", lezing op Informatie dag "Biogas uit mest" NVTL, Ede 7 juni 1983

Roos K.F. en M.A. Moser, 1997 "AGSTAR Handbook, a manual for developing biogas systems at commercial farms in the United States, EPA, USA.

Ruckert, J., 1996 "Aus der praxis: Kovergärung Modell Sagard", J. Ruckert, In: Umwelttechnik Forum, nr 3.

Schnell, R., 2000 "Wärme aus Biogas", Fachverband Biogas op internet (<http://members.aol.com/biogasDE>).

Schulz, H., 1998 "Entwicklungsstand beim Biogasverfahren" Biogas Lehrfahrt, 26 juni 1998.

Schomaker, T. en A. Moen, 1993 Universiteit van Amsterdam, Milieukunde, projectverslag,.

Schomaker, T. en A. Moen, "Vergisting van dierlijke mest met energierijke additieven (Deense praktijk en Nederlandse perspectieven", Novem, Delft, 1993

Velsen, F.M., van, 1981. "Anaerobic digestion of piggery waste" Proefschrift, Landbouwhogeschool, Wageningen.

Voorburg J.H., 1983 "Toekomst van de mestvergisting". Lezing op Informatie dag "Biogas uit mest" NVTL, Ede 7 juni 1983.

Ward, R.F., 1986 "Engineering design of biogas units for developing countries" In Biogas technology, transfer and diffusion", ed: M.M. El-Halwagi, NRC, Cairo.

Wellinger, A., 1995 "Swiss country report on anaerobic digestion", IAE, Task X.

Wenzlaff, R., 1981 "Erfahrungen mit Biogas im praktischen Betrieb", KTBL-Schrift 266, Darmstadt.

Wiedenmann, R., 1995 "Centrales Agrar Rohstoff Marketing und Entwicklungs- Netzwerk (C.A.R.M.E.N.): Wirtschaftlichkeit von Biogasanlagen" In Tagungsband: Niedersachsische Biogastagung op 24 en 25 november 1995.

Zeeman, G., 1987 "Koude vergisting van mengmest; laboratorium en semitechnisch onderzoek" LU Wageningen, Vakgroep Waterzuivering, Wageningen.

Zeeman, G., 1991 "Mesophilic and psychrophilic digestion of liquid manure", Proefschrift Landbouwuniversiteit, Wageningen.

Zeeman G., 1994 "Methane production/emission in storages for animal manure" In: Fertilizer Research 37: 207 – 211.

Zeeman, G., M.E. Koster-Treffers, H.D. Halm, 1984 "Mestvergisting in Nederland", NOH, Projectenbureau Energieonderzoek.

Bijlagen

Bijlage 1 Investeringsverhoudingen en kostenpercentages biogasinstallatie

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 twee gedeeld kan worden.

Tabel 32 Investeringsverhoudingen en kostenpercentages biogasinstallatie

	Vergister		Gasmotor	
	Bouwkundig	Technisch	Bouwkundig	Technisch
Aandeel investering	75%	25%	25%	75%
Afschrijving	5,0%	12,5%	5,0%	12,5%
Onderhoud	1,0%	5,0%	1,0%	10,0%
Rente	0%	0%	0%	0%
Totaal	6,0%	17,5%	6,0%	22,5%
Totaal installatie	8,875%		18,375%	

Bijlage 2 Literatuurgegevens biogasproducties rundveemest

Referentie	Verblijftijd (dagen)	Temperat uur	Mestsoort	% CH ₄	m ³ CH ₄ per kg os	m ³ biogas per kg os	M ³ CH ₄ / m ³ mest	M ³ biogas per m ³ mest	Bijzonderheden
van Nes, <i>et al</i> 1990	34-40	30-34	rundvee		0,11-0,18				Praktijkinstallatie
Braun, 1982			rundvee			0,14-0,23			lab en pilotproeven
			rundvee			0,15-0,36			praktijkschaal
Haynes <i>et al</i> , 1980	15		rundvee	55	0,18535	0,337			propstroomreactor
	30		rundvee	57	0,20748	0,364			propstroomreactor
	15		rundvee	55	0,15455	0,281			volledig geroerde reactor
	30		rundvee	58	0,1798	0,31			volledig geroerde reactor
Göbel en Kaufmann, 1980	10	>28	rundvee			0,19			doorvoersysteem
	20	>28	rundvee			0,28			doorvoersysteem
	30	>28	rundvee			0,32			doorvoersysteem
	40	>28	rundvee			0,33			doorvoersysteem
	50	>28	rundvee			0,34			doorvoersysteem
	100	>28	rundvee			0,35			doorvoersysteem
Ward, 1986	20	35	melkvee			0,219			
Anonymus, 1992	20	30	rundvee				7,1		Volledig gemengd doorvoersysteem (VGD)
		30	rundvee				12,8		VGD + naopslag 20 graden C
		20	rundvee				7		Accumulatie
		30	rundvee				13,2		Accumulatie
de Boks en van Nes, 1983			rundvee		0,45				
			rundvee	65			27,95	43	
			rundvee					20	
Baader, 1984	17-20	33	rundvee	60	0,2496	0,416			
Oechsner, 1996	30	37	rundvee	59,5	0,1904	0,32			
Homan, 1979	21	25	rundvee	60	0,138	0,23			
Zeeman, <i>et al</i> , 1984	20	30	rundvee		0,12-0,16				volledig geroerd
		35	melkvee		0,21				
			melkvee					12-17	
	<5,5mnd	<14	rundvee					0	
Manahl, 1983	40		melkvee			0,85			
Wiedenmann, 1995			melkvee			0,21-0,23			
Mot, <i>et al</i> , 1985			melkvee			0,20-0,25			
van der Hoek, 1983	20	30-35	rundvee					16-22	

Zeeman, 1991	10	30	rundvee	0,1		
	15	30	rundvee	0,14		
	15	35	rundvee	0,146		
	20	30	rundvee	0,163		
	20	35	rundvee	0,158		
	25	30	rundvee	0,13-0,151		
	25	35	rundvee	0,149		
	25	40	rundvee	0,157		
	30	30	rundvee	0,153		
	30	35	rundvee	0,168		
van Diemen, 1992			rundvee			16,5
Nielsen, 1984	20-25	56	rundvee		0,14	
<i>Onderstaande verwijzingen komen uit G. Zeeman, et al 1984.</i>						
Converse et al (1977)	10	35	melkvee	0,15		
Dalrympe en Proctor (1967)	10 - 20	35	melkvee	0,02-0,04		
Hayes et al (1979)	15	35	melkvee	0,15		praktijkschaal volledig gemengd
	30	35	melkvee	0,18		praktijkschaal volledig gemengd
	15	35	melkvee	0,19		praktijkschaal propstroom
	30	35	melkvee	0,21		praktijkschaal propstroom
Hills en Stehen (1980)	20	35	melkvee	0,11		
Patelunas et al (1977)	7,5 - 30	37,5	melkvee	0,14 - 0,19		
Smith (1979)	12 - 15	35	melkvee	0,14 - 0,19		
Varel et al (1980)	6 - 18	30 - 40	melkvee	0,16 - 0,27		
<i>Onderstaande verwijzingen komen uit Wenzlaf, 1981.</i>						
Shelef (1979)	8 - 10	35 - 55	melkvee	60 - 70	0,097-0,273	0,162 - 0,390
Wellinger (1980)	15	33	melkvee	70 - 73	0,183-0,191	0,262
Andersen (1980)	20	35	melkvee	68	0,221	0,325
Pigg (1977)	36	35	melkvee	50 - 58	0,21-0,24	0,42
Gobel (1980)	11	55	rundvee	-		0,41
Lipp (pers mededeling)	30	35	rundvee	-		0,282
Lehman en Wellinger (1980)	30	35	rundvee	67	0,22378	0,334

Bijlage 3 Literatuurgegevens biogasproducties varkensmest

Referentie	Verblijftijd (dagen)	Temperat uur	Mestsoort	% CH ₄	m ³ CH ₄ /kg os	m ³ biogas per kg os	m ³ CH ₄ /m ³ mest	m ³ biogas per m ³ mest	Bijzonderheden
van Nes, <i>et al</i> 1990	160	15-20	varkens					10,08	praktijkproef op het PV
Goossens, 1988	15	32	varkens	66	0,132	0,2			
	18	32	varkens	66	0,1914	0,29			
	21	32	varkens	66	0,2046	0,31			
Braun, 1982			varkens	68-80	0,177-0,664	0,26-0,83			
Göbel en Kaufmann, 1980	10	>28	varkens			0,275			doorvoersysteem
	20	>28	varkens			0,4			doorvoersysteem
	30	>28	varkens			0,45			doorvoersysteem
	40	>28	varkens			0,48			doorvoersysteem
	50	>28	varkens			0,49			doorvoersysteem
	100	>28	varkens			0,5			doorvoersysteem
Ward, 1986	20	35	varkens			0,381			
Anonymus ,1992	20	30	varkens				6,6-18,4		Volledig gemend doorvoersysteem (VGD)
		30	varkens				15,2-21,5		VGD + naopslag 20 graden C
		20	varkens				11,1		accumulatie
		30	varkens				17,7		accumulatie
Manahl, 1983	25-30		zeugen			0,92			
	20		vleesvarkens			0,92			
Wiedenmann, 1995			vleesvarkens			0,43-0,56			
Mot, <i>et al</i> , 1985			varkens			0,30-0,40			
van der Hoek, 1983	15	30-35	vleesvarkens					16-20	
van Velsen, 1981	10-50	mesofiel	varkens		0,24-0,49				
Poels en Verstraete, 1987	24-38	30-36	varkens	64-71	0,316-0,338				
Nielsen, 1984	10-15	70	varkens						
		70	varkens						
		70	varkens			0,47-0,52			
<i>Onderstaande verwijzingen komen uit: Wenzlaf, 1981</i>									
Hobson <i>et al</i> (1977)	10	35	varkens	69	0,2967	0,43			
Wellinger (1980)	12	35	varkens	65	0,28145	0,433			
Andersen (1980)	16	35	varkens			0,18			
Wellinger (1980)	20	30	varkens			0,733			
Wellinger (1980)	66	33	varkens	68	0,204	0,3			
Wellinger (1980)	100	13	varkens			0,5			

Bijlage 4 Toelichting TEWI-benadering

Om het effect van mestvergisting op de uitstoot van broeikasgassen te berekenen is de volgende werkwijze gehanteerd.

Enerzijds is berekend op welke type bedrijven mestvergisting rendabel is. Door te veronderstellen dat al deze bedrijven mestvergisting wordt toegepast, is berekend hoeveel m^3 mest in Nederland vergist kan worden.

Anderzijds is berekend hoeveel de uitstoot van broeikasgassen wordt verminderd per m^3 mest die vergist wordt. In deze annex staan de resultaten samengevat. Daarbij zijn de uitgangspunten zoals in dit rapport aangegeven gehanteerd. Waar mogelijk is uitgegaan van de kengetallen uit de TEWI-benadering.

In de haalbaarheidsstudie is een basisscenario doorgerekend en een positief scenario. Het basisscenario bevat voorzichtige uitgangspunten die momenteel haalbaar zijn. Het positieve scenario bevat uitgangspunten zoals die over enkele jaren reëel zijn. In de onderstaande berekening is van het positieve scenario uitgegaan. Het verschil tussen het basis en het positieve scenario geeft hoofdzakelijk verschillen t.a.v. de economische haalbaarheid. De verschillen tussen de scenario's t.a.v. broeikasgassen zijn minimaal.

Uit de haalbaarheidsstudie blijkt dat mestvergisting rendabel is voor melkveebedrijven met een melkquotum van 1 miljoen kg melk. Dit waren in 1999 1337 bedrijven. De hoeveelheid mest die zou kunnen worden vergist op deze bedrijven bedraagt naar verwachting 3,9 miljoen m^3 . De besparing t.a.v. broeikasgassen is gemiddeld 48,5 kg CO_2 equivalenten per m^3 mest. Mestvergisting op melkveebedrijven levert een totale besparing aan de uitstoot van broeikasgassen van 191 miljoen kg CO_2 -equivalenten.

Bij bedrijven met alleen zeugen is mestvergisting rendabel bij minimaal 500 dieren. Bij bedrijven met alleen vleesvarkens is het rendabel vanaf 1500 dieren, op gesloten bedrijven vanaf 200 zeugen en 1500 vleesvarkens.

Bij alleen zeugen zou in 1999 de mest van ruim 222.000 dieren kunnen worden vergist. Deze produceren 1,1 miljoen m^3 mest. De reductie t.a.v. broeikasgassen door mestvergisting bij zeugen is 122 kg CO_2 -equivalenten per m^3 mest. De totale besparing door vergisting bedraagt dan 136 miljoen kg CO_2 -equivalenten.

In 1999 waren er 799 bedrijven in Nederland met meer dan 1500 vleesvarkens, deze hadden in totaal circa 1,9 miljoen vlees varkens. De hoeveelheid mest die kan worden vergist op deze bedrijven bedraagt bijna 2,4 miljoen m^3 . De reductie t.a.v. broeikasgassen door mestvergisting bij alleen vleesvarkens is 131 kg CO_2 -eq per m^3 mest. De totale besparing aan broeikasgassen bij vleesvarkens bedraagt 312 miljoen kg CO_2 -equivalenten.

De totale bijdrage van melkvee, zeugen en vleesvarkens bedraagt $191 + 131 + 312 = 639$ miljoen kg of 0,64 Mton CO_2 -equivalenten.

Er zijn ook nog een aantal bedrijven met de combinatie van zeugen en vleesvarkens en bedrijven met de combinatie van melkvee en varkens. Op een aantal van deze bedrijven kan mestvergisting ook rendabel zijn. Voor deze categorie bedrijven is het milieueffect van mestvergisting niet bepaald, omdat het aantal bedrijven en de mestproductie niet bekend is.

De totale methaanemissie vanuit de veehouderij bedraagt momenteel naar schatting 10 Mton CO_2 -equivalenten. Daarvan is naar schatting 2 Mton (Bron: LNV, geeft aan dat deze hoeveelheid onzeker is) afkomstig uit mestopslagen. Er vanuit gaande dat een deel van de veehouderijbedrijven in Nederland mestvergisting toepast levert dit een besparing van 0,64 Mton. De besparing door mestvergisting is grotendeels het gevolg van de lagere methaanverliezen uit de opslag. Een kleiner deel is afkomstig van de lagere CO_2 -uitstoot omdat minder (elders geproduceerde) energie wordt aangekocht.

TEWI Invulformulieren Algemene Gegevens

VRAGEN (zie deel 2 voor een toelichting op de vragen)

- 1 Wat is de (sub)categorie waartoe het project gerekend kan worden?

Landbouw

- 2 Wat is of zijn de belangrijkste niet-CO2 broeikasgassen in het project?

2a Huidige situatie (voor de implementatie van de maatregel)

	Gas	GWP
gas-1	<i>CH₄</i>	<i>21</i>
gas-2		
gas-3		

2b Toekomstige situatie (na implementatie van de maatregel)

	Gas	GWP
gas-1	<i>CH₄</i>	<i>21</i>
gas-2		
gas-3		

- 3 Selecteer het type maatregel (s.v.p. vakje aankruisen)

- 3a Substitutie
3b End-of-pipe
3c Proces-geïntegreerd
3d Mix van maatregelen

☐
☐
☐
☒

- 4a Wat is de levensduur van de maatregel in dit project?

nvt jaar

- 4b Wat is de gemiddelde levensduur van de maatregel indien de maatregel in andere projecten navolging zou vinden?

nvt jaar

- 5 Beschrijf de functionele eenheid

Geef een eventuele toelichting in een annex.

Aantal Eenheid
m³ mest
Annex nr.

- 6 Herhalingspotentieel

- 6a Op hoeveel functionele eenheden heeft het project betrekking?

- 6b Hoeveel van deze functionele eenheden zijn er thans in Nederland?

- 6c Hoeveel van deze functionele eenheden verwacht u in 2010?

- 6d Op hoeveel van deze functionele eenheden zou uw maatregel in 2010 kunnen worden toegepast?

Geef een eventuele toelichting in een annex.

Aantal Eenheid
47,5 *miljoen m³ mest*
47,5 *"*
47,5 *"*
7,4 *"*
Annex nr.

- 7 Stel vast op welke levenscyclus fase(s) de emissiereductie maatregel ingrijpt

(s.v.p. vakje(s) aankruisen)

7a Productiefase (PF)

☐   

7b Gebruiksphase (GF)

☐   

7c Afvalfase (AF)

☒   



Indien u bij vraag 7 alle vakjes 7a, 7b en 7c heeft aangekruist:

Begin met het invullen van GF-1 op het Rekenblad Gebruiksphase (GF)

Indien u alleen vakje 7c heeft aangekruist:

Begin met het invullen van AF-1 op het Rekenblad Afvalfase (AF)

TEWI Invulformulieren										PF		
REKENBLAD - PRODUCTIEFASE (PF)												
PF-1 Directe emissies						huidige situatie			toekomstige situatie			
Wat zijn de jaarlijkse directe emissies van niet-CO2 broeikasgassen tijdens de PRODUCTIEFASE (per functionele eenheid)? - uitgedrukt in massastromen per jaar (of per functionele eenheid) - uitgedrukt in CO2-equivalenten per jaar (of per functionele eenheid) (GWP)						gas-1	gas-2	gas-3	gas-1	gas-2	gas-3	eenheid
Vul de directe emissies (uitgedrukt in CO2-eq.) in in het corresponderende veld in PF-1 van de VERZAMELTABELLEN A (geaggregeerd). Geef een eventuele toelichting in een annex.												
Ga naar PF-2A van dit rekenblad.									Nr. ..			
PF-2A Indirecte emissies - energie												
Indien u beschikt over projectspecifieke informatie aangaande de PRODUCTIEFASE, beantwoord dan vragen 1 t/m 4. Indien dit niet het geval is, beantwoord dan vraag 4.3 volgens de instructies in de toelichting.												
1 Welke energiedrager(s) worden tijdens de PRODUCTIEFASE van het niet-CO2 broeikasgas gebruikt?												
2 Wat is het energiegebruik per energiedrager tijdens de PRODUCTIEFASE (per functionele eenheid)? Eenheid (b.v. kWh elektriciteit, TJ warmte, TJ aardgas):												
3 Wat zijn de CO2-emissiefactoren die voor de TEWI-berekening worden gehanteerd? Eenheid (b.v. MJ (primaire)/kg, kg CO2 per kWh elektriciteit, TJ warmte of TJ aardgas):												
4 Bereken de indirecte emissies van niet-CO2 broeikasgassen tijdens de PRODUCTIEFASE (per functionele eenheid / per jaar).												
4.1 - per energiedrager en/of per gas												
4.2 - totaal (per functionele eenheid / per jaar)												
Vul de totale indirecte emissies voor energiegebruik (uitgedrukt in CO2-equivalenten) in in het corresponderende veld in PF-2 van de VERZAMELTABELLEN A.						CO2-eq. emissies			CO2-eq. emissies			
Geef een eventuele toelichting in een annex.												
Als er geen relevante wijzigingen in materiaalgebruik of transport plaatsvinden (zie Bijlage II.3) ga dan naar PF-3 van dit rekenblad; anders naar PF-2B.									Nr. ..			
PF-2B Indirecte emissies - materialen (zie toelichting)						CO2-eq. emissies			CO2-eq. emissies			
Opmerking: Voor de meeste opties kan deze berekening worden overgeslagen (zie toelichting). Bereken de indirecte emissies van niet-CO2 broeikasgassen l.g.v. materiaalgebruik tijdens de PRODUCTIEFASE. (per functionele eenheid / per jaar).												
Geef een toelichting in een annex.									Nr. ..			
Vul de totale indirecte emissies voor materiaalgebruik (uitgedrukt in CO2-equivalenten) in in het corresponderende veld in PF-2 van de VERZAMELTABELLEN A.												
Als er geen relevante wijzigingen in transport plaatsvinden (zie Bijlage II.3) ga dan naar PF-3 van dit rekenblad; anders naar PF-2C.												
PF-2C Indirecte emissies - transport (zie toelichting)						CO2-eq. emissies			CO2-eq. emissies			
Opmerking: Voor de meeste opties kan deze berekening worden overgeslagen (zie toelichting). Bereken de indirecte emissies van niet-CO2 broeikasgassen l.g.v. transport tijdens de PRODUCTIEFASE. (per functionele eenheid / per jaar).												
Geef een toelichting in een annex.									Nr. ..			
Vul de totale indirecte emissies voor transport (uitgedrukt in CO2-equivalenten) in in het corresponderende veld in PF-2 van de VERZAMELTABELLEN A.												
Ga naar PF-3 van dit rekenblad.												
PF-3 Overige aspecten												
Vermeld eventuele overige relevante (milieu)aspecten in een annex en samengevat in VERZAMELTABELLEN A.												
Indien uw maatregel uitsluitend betrekking heeft op de PRODUCTIEFASE. Als u de instructies heeft opgevolgd, dienen de vereiste velden in de VERZAMELTABELLEN A te zijn ingevuld. Neem de betreffende getallen over in VERZAMELTABELLEN B en bereken de verlangde grootheden. In de andere gevallen: Ga naar AF-1 van het REKENBLAD AFVALFASE (controleer of T-1 en T-2 zijn ingevuld).												
T-1 Broeikasgassen (of alternatieven) die naar de GEBRUIKSFASE gaan						gas-1			gas-1			
Deze gegevens moeten terug te vinden zijn in de VERZAMELTABELLEN A, of moeten hier worden ingevuld.						gas-2			gas-2			
						gas-3			gas-3			
									eenheid			
									kg/jr			
T-2 Materialen die naar de GEBRUIKSFASE gaan						Materiaal 1			Materiaal 1			
Deze gegevens moeten terug te vinden zijn in de VERZAMELTABELLEN A, of moeten hier worden ingevuld.						2			2			
						3			3			
									eenheid			
									kg/jr			

TEWI Invulformulieren REKENBLAD - GEBRUIKSFASE (GF)							GF																		
GF-1 Directe emissies		huidige situatie		toekomstige situatie																					
Wat zijn de jaarlijkse directe emissies van niet-CO2 broeikasgassen (en eventuele alternatieven) tijdens de GEBRUIKSFASE (per functionele eenheid)? - uitgedrukt in massastromen per jaar (of per functionele eenheid) - uitgedrukt in CO2-equivalenten per jaar (of per functionele eenheid) (GWP) Totaal - uitgedrukt in CO2-equivalenten per jaar (of per functionele eenheid) (GWP) Vul de directe emissies (uitgedrukt in CO2-eq.) in in het corresponderende veld in GF-1 van de VERZAMELTABELLEN A (geopgegeerd). Vul in T-1 van de VERZAMELTABELLEN A de totale hoeveelheid (in kg/jaar) in van de betrokken gassen (en eventuele alternatieven), die gebruikt worden per functionele eenheid over de levensduur van de toepassing gedeeld door de levensduur. Vul in T-3 (VERZAMELTABELLEN A) de totale hoeveelheid (in kg/jaar) in van de gassen (en eventuele alternatieven) die in de gebruiksfase waren opgeslagen in installaties en die naar de AFVALFASE gaan, gedeeld door de levensduur. Geef een eventuele toelichting in een annex. Ga naar GF-2A van dit rekenblad.		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>gas-1</th> <th>gas-2</th> <th>gas-3</th> <th>gas-1</th> <th>gas-2</th> <th>gas-3</th> <th>eenheid</th> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>kg/jr</td> </tr> <tr> <td colspan="3"></td> <td colspan="3"></td> <td>CO2-eq.</td> </tr> </table>		gas-1	gas-2	gas-3	gas-1	gas-2	gas-3	eenheid							kg/jr							CO2-eq.	
		gas-1	gas-2	gas-3	gas-1	gas-2	gas-3	eenheid																	
								kg/jr																	
								CO2-eq.																	
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>CO2-eq. emissies</th> <th>CO2-eq. emissies</th> <th>CO2-eq.</th> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>		CO2-eq. emissies	CO2-eq. emissies	CO2-eq.																					
CO2-eq. emissies	CO2-eq. emissies	CO2-eq.																							
						Nr. ..																			
GF-2A Indirecte emissies - energie		huidige situatie		toekomstige situatie																					
1 Welke energiedrager(s) worden tijdens de GEBRUIKSFASE van het niet-CO2 broeikasgas gebruikt? 2 Wat is het energiegebruik per energiedrager tijdens de GEBRUIKSFASE (per functionele eenheid)? Eenheid (b.v. kWh elektriciteit, TJ warmte, TJ aardgas): 3 Wat zijn de CO2-emissiefactoren die voor de TEWI-berekening worden gehanteerd? Eenheid (b.v. kg CO2 per kWh elektriciteit, TJ warmte of TJ aardgas): 4 Bereken de indirecte emissies van niet-CO2 broeikasgassen tijdens de GEBRUIKSFASE (per functionele eenheid / per jaar). 4.1 - per energiedrager 4.2 - totaal (per functionele eenheid / per jaar) Vul de totale indirecte emissies voor energiegebruik (uitgedrukt in CO2-equivalenten, 4.2) in in het corresponderende veld in GF-2 van de VERZAMELTABELLEN A. Geef een eventuele toelichting in een annex. Als er geen relevante wijzigingen in materiaalgebruik plaatsvinden (zie Bijlage II.3) ga dan naar GF-3 van dit rekenblad; anders naar GF-2B.		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>gas-1</th> <th>gas-2</th> <th>gas-3</th> <th>gas-1</th> <th>gas-2</th> <th>gas-3</th> <th>eenheid</th> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>kg/jr</td> </tr> <tr> <td colspan="3"></td> <td colspan="3"></td> <td>CO2-eq.</td> </tr> </table>		gas-1	gas-2	gas-3	gas-1	gas-2	gas-3	eenheid							kg/jr							CO2-eq.	
		gas-1	gas-2	gas-3	gas-1	gas-2	gas-3	eenheid																	
								kg/jr																	
								CO2-eq.																	
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>CO2-eq. emissies</th> <th>CO2-eq. emissies</th> <th>CO2-eq.</th> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>		CO2-eq. emissies	CO2-eq. emissies	CO2-eq.																					
CO2-eq. emissies	CO2-eq. emissies	CO2-eq.																							
						Nr. ..																			
GF-2B Indirecte emissies - materialen (zie toelichting)		huidige situatie		toekomstige situatie																					
Opmerking: Voor de meeste opties kan deze berekening worden overgeslagen (zie toelichting) 1 Welke materiaalcategorieën worden door de maatregel tijdens de GEHELE LEVENSCYCLUS beïnvloed? 2 Wat is het materiaalgebruik tijdens de GEBRUIKSFASE per functionele eenheid / per jaar? 3 Wat zijn de CO2-emissiefactoren die voor de TEWI-berekening worden gehanteerd? 4 Bereken de indirecte emissies van niet-CO2 broeikasgassen tijdens de GEBRUIKSFASE (per functionele eenheid / per jaar). 4.1 - per materiaalcategorie 4.2 - totaal (per functionele eenheid / per jaar) Vul de totale indirecte emissies voor materiaalgebruik (uitgedrukt in CO2-equivalenten, 4.2) in in het corresponderende veld in GF-2 van de VERZAMELTABELLEN A. Vul in T-2 van de VERZAMELTABELLEN A de totale hoeveelheid (in kg/jaar) in van de relevante materialen die de GEBRUIKSFASE ingaan. Vul in T-4 van de VERZAMELTABELLEN A de totale hoeveelheid (in kg/jaar) in van de relevante materialen die van de GEBRUIKSFASE naar de AFVALFASE gaan. Geef een eventuele toelichting in een annex. Ga naar GF-3 van dit rekenblad.		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>gas-1</th> <th>gas-2</th> <th>gas-3</th> <th>gas-1</th> <th>gas-2</th> <th>gas-3</th> <th>eenheid</th> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>kg/jr</td> </tr> <tr> <td colspan="3"></td> <td colspan="3"></td> <td>CO2-eq.</td> </tr> </table>		gas-1	gas-2	gas-3	gas-1	gas-2	gas-3	eenheid							kg/jr							CO2-eq.	
		gas-1	gas-2	gas-3	gas-1	gas-2	gas-3	eenheid																	
								kg/jr																	
								CO2-eq.																	
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>CO2-eq. emissies</th> <th>CO2-eq. emissies</th> <th>CO2-eq.</th> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>		CO2-eq. emissies	CO2-eq. emissies	CO2-eq.																					
CO2-eq. emissies	CO2-eq. emissies	CO2-eq.																							
						Nr. ..																			
GF-3 Overige aspecten		huidige situatie		toekomstige situatie																					
Vermeld eventuele overige relevante (milieu)aspecten in een annex en samengevat in VERZAMELTABELLEN A. Ga naar PF-1 van het REKENBLAD PRODUCTIEFASE.																									
						Nr. ..																			

TEWI Invulformulier										AF		
REKENBLAD - AFVALFASE (AF)												
T-3 Broeikasgassen (of alternatieven) die naar de AFVALFASE gaan <i>Deze gegevens moeten terug te vinden zijn in de VERZAMELTABELLEN A, of moeten hier worden ingevuld.</i>						huidige situatie gas-1 gas-2 gas-3			toekomstige situatie gas-1 gas-2 gas-3			eenheid
												kg/jr
T-4 Materialen die naar de AFVALFASE gaan <i>Deze gegevens moeten terug te vinden zijn in de VERZAMELTABELLEN A, of moeten hier worden ingevuld.</i>						Materiaal 1 2 3			Materiaal 1 2 3			eenheid
												kg/jr
AF-1 Directe emissies <i>Indien u beschikt over projectspecifieke informatie aangaande de AFVALFASE, beantwoord dan vraag 1. Indien dit niet het geval is, beantwoord dan vraag 2 en 3 volgens de instructies in de toelichting.</i>												
1 Wat zijn de jaarlijkse directe emissies van niet-CO2 broeikasgassen (en eventuele alternatieven) tijdens de AFVALFASE (per functionele eenheid)? - uitgedrukt in massa'stroom per jaar (of per functionele eenheid) - uitgedrukt in CO2-equivalenten per jaar (of per functionele eenheid) (GWP) Totaal - uitgedrukt in CO2-equivalenten per jaar (of per functionele eenheid) (GWP)						gas-1 gas-2 gas-3			gas-1 gas-2 gas-3			eenheid
						2,0 Mton			136 Mton			kg/jr
						CO2-eq. emissies			CO2-eq. emissies			CO2-eq.
<i>Als T-3 ingevuld is ga dan naar de volgende stap, vermijd anders de hoeveelheid broeikasgassen (in kg/jaar) die gemiddeld per functionele eenheid per jaar de afvalfase ingaan en al dan niet volledig worden geïmitteerd; vul dit in in T-3 (zie hierboven).</i>												
2 Wat is de fractie E van T-3 die naar de lucht wordt geïmitteerd? (standaardwaarden zijn gegeven in Bijlage II.5)						E (%)			E (%)			
3 Wat is de hoeveelheid broeikasgassen (uitgedrukt in CO2-eq.) die naar de lucht wordt geïmitteerd? Totaal - uitgedrukt in CO2-equivalenten per jaar (of per functionele eenheid) (GWP)						gas-1 gas-2 gas-3			gas-1 gas-2 gas-3			eenheid
						CO2-eq. emissies			CO2-eq. emissies			CO2-eq.
<i>Vul de directe emissies (uitgedrukt in CO2-eq.) in in het corresponderende veld in AF-1 van de VERZAMELTABELLEN A (geëngreerd).</i> <i>Geef een eventuele toelichting in een annex.</i>												Nr. 1
<i>Als de maatregel direct ingrijpt op de afvalfase: Ga naar AF-2 van dit rekenblad.</i> <i>Als de afvalfase uitsluitend indirect wordt beïnvloed door maatregelen in de productie- of gebruiksfase: Ga naar AF-3 van dit rekenblad.</i>												
AF-2 Indirecte emissies - energie voor de gasen <i>Opmerking: Dit onderdeel moet alleen worden ingevuld als de maatregel direct ingrijpt op de afvalfase.</i>												
Welke fractie (D) van T-3 wordt vernietigd? (voor sommige opties zijn standaardwaarden gegeven in Bijlage II.5)						gas-1 gas-2 gas-3			gas-1 gas-2 gas-3			eenheid
						D (%)			D (%)			
<i>Geef een eventuele toelichting in een annex (dit geldt ook voor de vragen 2a t/m 2e).</i>												
<i>Als geen vernietiging van de gasen plaatsvindt: Ga naar AF-2c.</i> <i>Als daarnaast ook geen regeneratie/recycling van de gasen plaatsvindt: Ga naar AF-2d.</i> <i>Als de gasen worden vernietigd zonder energieproductie: Ga naar AF-2e; in andere gevallen: Ga naar AF-2b.</i>												
AF-2a In het geval van vernietiging van het specifieke broeikasgas zonder energieproductie:												
1 Wat is het energiegebruik voor de verbranding/vernietiging van fractie D van het gas/de gasen (per functionele eenheid)?												eenheid
2 Wat is de energiebron?												MJ/kg
3 Wat is de emissiefactor van deze energiebron (Bijlage II, Tabel A-II.1)?												
4 Vermenigvuldig fractie D met T-3, het netto energiegebruik en de emissiefactor voor de energiebron die wordt gebruikt voor de vernietiging van het gas (zie toelichting).												CO2-eq.
						CO2-eq. emissies			CO2-eq. emissies			CO2-eq.
<i>Vul de totale resulterende emissie (uitgedrukt in CO2-eq.) voor het energiegebruik in in de desbetreffende velden van AF-2 in de VERZAMELTABELLEN A</i>												
<i>Ga naar AF-2d van dit rekenblad.</i>												
AF-2b In het geval van vernietiging van het specifieke broeikasgas met energieproductie:												
1 Wat is de energie-inhoud (in MJ/kg) van de betreffende broeikasgassen (Bijlage II, Tabel A-II.2)?						gas-1 gas-2 gas-3			gas-1 gas-2 gas-3			eenheid
2 Neem als emissiefactor de energie-inhoud van het broeikasgas (uitgedrukt in MJ per kg gas) en vermenigvuldig dit met (-0.056). Dit resulteert in een negatieve emissiefactor.												MJ/kg
3 Vermenigvuldig de fractie D met T-3 en de hierboven berekende emissiefactor.												CO2-eq./kg
Totaal:												CO2-eq.
<i>Vul de resulterende emissies (uitgedrukt in CO2-eq.; negatief getal) voor de energie productie in in de desbetreffende velden in AF-2 van de VERZAMELTABELLEN A.</i>												CO2-eq.
<i>Ga naar AF-2d van dit rekenblad.</i>												

TEWI Invulformulieren		REKENBLAD - AFVALFASE (AF)		AF
AF-2c Geef de fractie (R) van T-3 die wordt geregenereerd/gerecycled (zie toelichting).		R = %	R = %	
☐ Ga naar AF-2d van dit rekenblad.				
AF-2d Indirecte emissies - energie voor materialen Opmerking: Voor de meeste opties kan deze berekening worden overgeslagen (zie toelichting)		CO ₂ -eq. emissies	CO ₂ -eq. emissies	CO ₂ -eq.
☐ Ga naar AF-2e van dit rekenblad.				
AF-2e Indirecte emissies - transport Opmerking: Voor de meeste opties kan deze berekening worden overgeslagen (zie toelichting)		CO ₂ -eq. emissies	CO ₂ -eq. emissies	CO ₂ -eq.
☐ Ga naar AF-3 van dit rekenblad.				
AF-3 Overige aspecten Vermeld eventuele overige relevante (milieu)aspecten in een annex en samengevat in VERZAMELTABELLEN A.				Nr. ..
☐ Als u de instructies heeft opgevolgd, dienen de vereiste velden in de VERZAMELTABELLEN A te zijn ingevuld. Neem de betreffende getallen over in VERZAMELTABELLEN B en bereken de verlangde grootheden.				

TEWI Invulformulieren
VERZAMEL TABELLEN A

HUIDIGE SITUATIE

TOEKOMSTIGE SITUATIE

PRODUCTIEFASE			
PF-1	Directe emissies		
	CH ₄	CO ₂ -eq.	
	N ₂ O	CO ₂ -eq.	
	SF ₆	CO ₂ -eq.	
	PFCs	CO ₂ -eq.	
	Overige (HCFCs, HFCs, etc.)	CO ₂ -eq.	+
	Totaal directe Niet-CO ₂ broeikasgas emissies	CO ₂ -eq.	1A1
	CO ₂ (proces-emissies)	CO ₂ -eq.	1A2
PF-2	Indirecte emissies		
	Energie	CO ₂ -eq.	
	Transport	CO ₂ -eq.	
	Materiaalgebruik	CO ₂ -eq.	+
	Totaal indirecte emissies	CO ₂ -eq.	1B
PF-3	Overige emissies		
	Specificeer		
T-1	Hoeveelheid van de niet-CO ₂ broeikasgassen die naar de volgende fase gaan	kg/jr	
	.....	kg/jr	
	.....	kg/jr	
T-2	Hoeveelheid materialen die naar de volgende fase gaan	kg/jr	
	.....	kg/jr	
	.....	kg/jr	
	.....	kg/jr	
GEBRUIKSFASE			
GF-1	Directe emissies		
	CH ₄	CO ₂ -eq.	
	N ₂ O	CO ₂ -eq.	
	SF ₆	CO ₂ -eq.	
	PFCs	CO ₂ -eq.	
	Overige (HCFCs, HFCs, etc.)	CO ₂ -eq.	+
	Totaal directe Niet-CO ₂ broeikasgas emissies	CO ₂ -eq.	2A1
	CO ₂ (proces-emissies)	CO ₂ -eq.	2A2
GF-2	Indirecte emissies		
	Energie	CO ₂ -eq.	
	Transport	CO ₂ -eq.	
	Materiaalgebruik	CO ₂ -eq.	
	Totaal indirecte emissies	CO ₂ -eq.	2B
GF-3	Overige emissies		
	Specificeer		
T-3	Hoeveelheid van de niet-CO ₂ broeikasgassen die naar de volgende fase gaan	kg/jr	
	.....	kg/jr	
	.....	kg/jr	
T-4	Hoeveelheid materialen die naar de volgende fase gaan	kg/jr	
	.....	kg/jr	
	.....	kg/jr	
	.....	kg/jr	
AFVALFASE			
AF-1	Directe emissies		
	CH ₄	CO ₂ -eq.	
	N ₂ O	CO ₂ -eq.	
	SF ₆	CO ₂ -eq.	
	PFCs	CO ₂ -eq.	
	Overige (HCFCs, HFCs, etc.)	CO ₂ -eq.	+
	Totaal directe Niet-CO ₂ broeikasgas emissies	CO ₂ -eq.	3A1
	CO ₂ (proces-emissies)	CO ₂ -eq.	3A2
AF-2	Indirecte emissies		
	Energie: gerelateerd aan gasen		
	Energie gebruik	CO ₂ -eq.	
	Energie productie	CO ₂ -eq.	+
	Netto energie	CO ₂ -eq.	3B1
	Energie: gerelateerd aan materialen		
	Energie gebruik	CO ₂ -eq.	
	Energie productie	CO ₂ -eq.	+
	Netto energie	CO ₂ -eq.	3B2
	Transport	CO ₂ -eq.	3B3
	Totale indirecte emissies	CO ₂ -eq.	3B1+3B2+3B3 =
AF-3	Overige emissies		
	Specificeer		

TEWI invuiformulieren
VERZAMEL TABELLEN B

VERZAMEL TABELLEN B									
HUIDIGE SITUATIE				TOEKOMSTIGE SITUATIE				VERSCHILLEN	
PRODUCTIEFASE Directe emissies - niet-CO2 Directe emissies - CO2 Indirecte emissies		1A1 1A2 1B		CO2-eq./jr CO2-eq./jr CO2-eq./jr		Directe emissies - niet-CO2 Directe emissies - CO2 Indirecte emissies		1C1 1C2 1D	
GEBRUIKSFASE Directe emissies - niet-CO2 Directe emissies - CO2 Indirecte emissies		2A1 2A2 2B		CO2-eq./jr CO2-eq./jr CO2-eq./jr		Directe emissies - niet-CO2 Directe emissies - CO2 Indirecte emissies		2C1 2C2 2D	
AFVALFASE Directe emissies - niet-CO2 Directe emissies - CO2 Indirecte emissies		3A1 3A2 3B		CO2-eq./jr CO2-eq./jr CO2-eq./jr		Directe emissies - niet-CO2 Directe emissies - CO2 Indirecte emissies		2C1 2C2 2D	
		2,0		Mton		1,36		Mton	
TEWI - HUIDIGE SITUATIE				TEWI - TOEKOMSTIGE SITUATIE				TEWI-D	
2,0				1,36				0,64	
2,0				1,36				0,64	
2,0				1,36				0,64	
2,0				1,36				0,64	
2,0				1,36				0,64	
2,0				1,36				0,64	
2,0				1,36				0,64	
2,0				1,36				0,64	
2,0				1,36				0,64	
2,0				1,36				0,64	
2,0				1,36				0,64	
2,0				1,36				0,64	
2,0				1,36				0,64	
2,0				1,36				0,64	
2,0				1,36				0,64	
2,0				1,36				0,64	
2,0				1,36				0,64	
2,0				1,36				0,64	
2,0				1,36				0,64	
2,0				1,36				0,64	
2,0				1,36				0,64	
2,0				1,36				0,64	
2,0				1,36				0,64	
2,0				1,36				0,64	
2,0				1,36				0,64	
2,0				1,36				0,64	
2,0				1,36				0,64	
2,0				1,36				0,64	
2,0				1,36				0,64	
2,0				1,36				0,64	
2,0				1,36				0,64	
2,0				1,36				0,64	
2,0				1,36				0,64	
2,0				1,36				0,64	
2,0				1,36				0,64	
2,0				1,36				0,64	
2,0				1,36				0,64	
2,0				1,36				0,64	
2,0				1,36				0,64	
2,0				1,36				0,64	
2,0				1,36				0,64	
2,0				1,36				0,64	
2,0				1,36				0,64	
2,0				1,36				0,64	
2,0				1,36				0,64	
2,0				1,36				0,64	
2,0				1,36				0,64	
2,0				1,36				0,64	
2,0				1,36				0,64	
2,0				1,36				0,64	
2,0				1,36				0,64	
2,0				1,36				0,64	
2,0				1,36				0,64	
2,0				1,36				0,64	
2,0				1,36				0,64	
2,0				1,36				0,64	
2,0				1,36				0,64	
2,0				1,36				0,64	
2,0				1,36				0,64	
2,0				1,36				0,64	
2,0				1,36				0,64	
2,0				1,36				0,64	
2,0				1,36				0,64	
2,0				1,36				0,64	
2,0				1,36				0,64	
2,0				1,36				0,64	
2,0				1,36				0,64	
2,0				1,36				0,64	
2,0				1,36				0,64	
2,0				1,36				0,64	
2,0				1,36				0,64	
2,0				1,36				0,64	
2,0				1,36				0,64	
2,0				1,36				0,64	
2,0				1,36				0,64	
2,0				1,36				0,64	
2,0				1,36				0,64	
2,0				1,36				0,64	
2,0				1,36				0,64	
2,0				1,36				0,64	
2,0				1,36				0,64	
2,0				1,36				0,64	
2,0				1,36				0,64	
2,0				1,36				0,64	
2,0				1,36				0,64	
2,0				1,36				0,64	
2,0				1,36				0,64	
2,0				1,36				0,64	
2,0				1,36				0,64	
2,0				1,36				0,64	
2,0				1,36				0,64	
2,0				1,36				0,64	
2,0				1,36				0,64	
2,0				1,36				0,64	
2,0				1,36				0,64	
2,0				1,36				0,64	
2,0				1,36				0,64	
2,0				1,36				0,64	
2,0				1,36				0,64	
2,0				1,36				0,64	
2,0				1,36				0,64	
2,0				1,36				0,64	
2,0				1,36				0,64	
2,0				1,36				0,64	
2,0				1,36				0,64	
2,0				1,36				0,64	
2,0				1,36				0,64	
2,0				1,36				0,64	
2,0				1,36				0,64	
2,0				1,36				0,64	
2,0				1,36				0,64	
2,0				1,36				0,64	
2,0				1,36				0,64	
2,0				1,36				0,64	
2,0				1,36				0,64	
2,0				1,36				0,64	
2,0				1,36				0,64	
2,0				1,36				0,64	
2,0				1,36				0,64	
2,0				1,36				0,64	
2,0				1,36				0,64</	

Bijlage 5 List of tables en figures

Figure 1	Amount manure (m ³ /day) available to be digested by limited grazing (B) and summer feeding (S) systems.
Figure 2	Effect of altered gas production on returns on invested capital (%).
Figure 3	Effect of altered gas production on CO ₂ emission.
Figure 4	Effect of residence time in collection tank on returns on invested capital (%), assuming cattle.
Figure 5	Effect of residence time in collection tank on returns on invested capital (%), assuming pigs.
Figure 6	Effect of gas production in collection tank on returns on invested capital (%).
Figure 7	Effect of gas production in collection tank on reducing CO ₂ emission
Figure 8	Effect of adding vegetative material on returns on invested capital (%).
Figure 9	Effect of adding vegetative material on CO ₂ emission.
Figure 10	Effect of heat requirement of digester on returns on invested capital (%).
Figure 11	Effect of heat requirement of digester on CO ₂ emission.
Figure 12	Effect of investment level on returns on invested capital (%).
Figure 13	Effect of size of investment subsidy on returns on invested capital (%).
Figure 14	Effect of price for electricity on returns on invested capital (%).
Figure 15	Effect of price for electricity supplied to grid on returns on invested capital (%).
Figure 16	Effect of number of working hours of gas engine on returns on invested capital (%).
Table 1	Overview of returns from manure digestion, for cattle and pigs (% of invested capital).
Table 2	Overview of the break-even points, with and without interest payment. For dairy cattle, based on the milk quota (quota x 1000 kg); for pigs, based on number of animals.
Table 3	Summarised sensitivity analysis for dairy cattle and pigs, assuming a price for supplying electricity to the grid that includes a bonus for green electricity.
Table 4	Percentage of CO ₂ emission after digestion on dairy farms. (benchmark situation (without digestion) =100)
Table 5	Percentage of CO ₂ emission after digestion, for pigs (in bold: breeder feeders). (benchmark situation (without digestion) =100)
Table 6	Data on gas production from digesting cattle and pig manure.
Table 7	Contents of cow manure (in kg per ton manure) after Henkens (1983).
Table 8	Contents of odiferous compounds (in mg/l) after 20 days' digestion at 30 °C.
Table 9	Prices for a complete digester, incl. VAT, after De Boks and Van Nes (1983).
Table 10	Assumptions for the base and positive scenarios for dairy farming.
Table 11	Assumptions for the base and positive scenarios for pig farming.
Table 12	Rough estimate of spontaneous fermentation in manure in m ³ CH ₄ /m ³ manure (Anonymous, 1992).
Table 13	Base scenario: cattle with limited grazing and milking parlour.
Table 14	Base scenario: cattle with limited grazing and milking robot.
Table 15	Positive scenario: cattle with limited grazing and milking parlour.
Table 16	Positive scenario: cattle with limited grazing and milking robot.
Table 17	Base scenario: cattle with summer feeding and milking parlour.
Table 18	Base scenario: cattle with summer feeding and milking robot.
Table 19	Positive scenario: cattle with summer feeding and milking parlour.
Table 20	Positive scenario: cattle with summer feeding and milking robot.
Table 21	Overview of returns from manure digestion on a cattle farm as percentage of invested capital.
Table 22	Overview of the break-even points, with and without interest payment, shown on basis of the milk quota (quota x 1000 kg).
Table 23	Base scenario: pigs (in bold: breeder feeders).
Table 24	Positive scenario: pigs (in bold: breeder feeders).
Table 25	Emission factors for the various processes.
Table 26	Percentage CO ₂ emission after digestion, assuming limited grazing.
Table 27	Percentage CO ₂ emission after digestion, assuming summer feeding.
Table 28	Percentage emission of greenhouse gases after manure digestion, for pigs (in bold: breeder feeders).
Table 29	Effect of short residence time in collection tank on the emission of greenhouse gases.

- Table 30** Trends in farm numbers and in the milk quota, by size class (Source: Commodity Board for Dairy Products).
- Table 31** Number of pig farms per size class in 1999 (source: CBS).
- Table 32** Investment ratios and cost percentages of a biogas unit.